



Abschlussbericht der Operationellen Gruppe „Zistrose“

im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP)



Projektzeitraum: 29.03.2021 – 15.12.2023

**Dipl. Biologin Elke Haase, piccoplant Mikrovermehrungen GmbH
Version: 15.12.2023**



Abschlussbericht Projekt:

„Standardisierung und Optimierung sekundärer Inhaltsstoffe der Zistrose durch Züchtung und NIR-Sensorik für den nachhaltigen Anbau in der Landwirtschaft“

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzdarstellung	5
1.1. Ausgangssituation und Bedarf	5
1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung	6
1.3 Mitglieder der OG	7
1.4 Projektgebiet	9
1.5 Projektlaufzeit und Dauer	9
1.6 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen).....	9
1.7 Ablauf des Verfahrens	10
1.8 Zusammenfassung der Ergebnisse	11
2. Eingehende Darstellung	12
2.1 Verwendung der Zuwendung	12
2.1.1 Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte	12
2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen	12
2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn	13
2.2.1 Ausgangssituation.....	13
2.2.2 Projektaufgabenstellung	15
2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf.....	16
2.3.1 Gestaltung der Zusammenarbeit im Einzelnen	16
2.3.2 Besonderer Mehrwert bei der Durchführung des Projektes als OG	17
2.3.3 Weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts.....	17
2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes	17
2.4.1 Zielerreichung	17
2.4.2 Abweichungen zwischen Planung und Ergebnis.....	18
2.4.3 Projektverlauf	18
2.4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen	52
2.4.5 Nebenergebnisse	53
2.4.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung/zu keinem Ergebnis geführt haben.....	53
2.4.7 Mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern.....	54
2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis	54

2.6 Geplante Verwertung und Nutzung der Ergebnisse	54
2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	55
2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept:	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zeitlicher Verlauf der Arbeitspakete.....	10
Tabelle 2: Gegenüberstellung der geplanten und durchgeführten Arbeitsschritte.....	12
Tabelle 3: Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen	13
Tabelle 4: Ergebnisse der externen Referenzanalytik.....	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: In vitro-Kultur der Lack-Zistrose (<i>Cistus ladanifer</i>)	19
Abbildung 2: Mikrovermehrte Zistrose	20
Abbildung 3: <i>Cistus incanus</i> subsp. <i>tauricus</i> , frisch umgesetzt.....	20
Abbildung 4: Stecklinge von <i>Cistus albidus</i>	21
Abbildung 5: Erste Akklimation der mikrovermehrten Zistrose in der Baumschule	22
Abbildung 6: Vermehrung der Lack-Zistrose (<i>Cistus ladanifer</i>) über Stecklinge.....	22
Abbildung 7: Zistrosen in unterschiedlichen Containergrößen.....	23
Abbildung 8: Messung von Zistrosetee	24
Abbildung 9: Spektren von Zistrosetee	25
Abbildung 10: Messung der Zistrose direkt an einem optischen Fenster.....	26
Abbildung 11: Messung der Zistrose mit einem Lichtwellenleiter.....	26
Abbildung 12: Messung der Nährstofflösung direkt an einem optischen Fenster	27
Abbildung 13: Screenshot Software-Oberfläche: Darstellung von Absorptionsspektren (in diesem Beispiel: hellblau stellt die Messung einer lebenden von Piccoplant gezüchteten Zistrose-Pflanze und lila die Messung von getrockneten Zistrose-Blättern dar)	27
Abbildung 14: Verringerter Messsignal bei kälteren Blättern	28
Abbildung 15: Warme und kalte Blätter lassen sich deutlich unterscheiden	29
Abbildung 16: Deutliche Unterschiede in der Farbe der Blätter an der Zistrosepflanze	29
Abbildung 17: Deutliche Unterschiede in den Spektren anhand der Blattfarbe und der Seitenwahl der Blätter Blatt dunkel Vorderseite (Blau), Blatt dunkel Rückseite (Rot), Blatt hell Vorderseite (Grün), Blatt hell Rückseite (gelb).....	29
Abbildung 18: Verarbeitete Spektren zweier Zistrose-Pflanze (jeweils vergleichsweise frühe und vergleichsweise späte Wachstumsphase).....	30
Abbildung 19: 3D-Auswertungsdiagramm nach statistischer Auswertung der Messspektren	31
Abbildung 20: Weiße Rückstände von Zistroseblättern auf dem optischen Fenster des Sensors.....	31
Abbildung 21: Notwendige Menge (10 g) an getrockneten Zistrose-Blättern für eine nasschemische Analyse	33
Abbildung 22: Vergrößerung der Probenoberfläche durch Mörsern (Vorbereitung für die Extraktion) (links) und erhaltene Filtrate nach der Extraktion (rechts)	33
Abbildung 23: Kalibrierlösungen der Gallussäure nach der Methode von Folin-Ciocalteu	34

Abbildung 24: Kalibriergerade der Gallussäure nach der Methode von Folin-Ciocalteu.....	35
Abbildung 25: Zistrose-Extrakt vor (links) und nach Zugabe der Folin-Ciocalteu Reagenzien (rechts)	36
Abbildung 26: NIR-Referenzspektrum der Gallussäure.....	36
Abbildung 27: Unterschiedliche Zistroseproben für die externe Analytik	37
Abbildung 28: Spektrale Messergebnisse der drei Zistroseproben (Probe 1 = grünes Spektrum, Probe 2 = lila Spektrum, Probe 3 = blaues Spektrum)	38
Abbildung 29: Spektrale Messergebnisse der drei Zistroseproben und zwei weiterer Proben „Grüner Tee“ (Probe 1 = grünes Spektrum, Probe 2 = lila Spektrum, Probe 3 = blaues Spektrum, Probe „Grüner Tee Nr.1“ = gelb, Probe „Grüner Tee Nr.2“ = rot)	39
Abbildung 30: Spektrale Messergebnisse von unterschiedlichen Zistroseproben im Überblick	40
Abbildung 31: Screenshot Software-Oberfläche: Grundstein Farmbot	43
Abbildung 32: Aufgebauter Farmbot, der bereit für die ersten Funktionstests ist.....	44
Abbildung 33: Farmbot aufgebaut bei der Firma Piccoplant	45
Abbildung 34: Vergleich verschiedener LED-Spektren	47
Abbildung 35: Kastenmodul im Aufbau.....	48
Abbildung 36: Belüftungssystem mit integriertem Aktivkohle-Filter.....	49
Abbildung 37: LED-Beleuchtung im Kastenmodul.....	49
Abbildung 38: Outdoor-Aufbau des Robotersystems	50
Abbildung 39: Outdoor-Aufbau des Gehäuses.....	50
Abbildung 40: Abgeschlossener Outdoor-Aufbau.....	51
Abbildung 41: Innenansicht des Aufbaus.....	51
Abbildung 42: Ansteuerung des Roboters	52

Abkürzungen OG-Mitglieder:

Piccoplant Mikrovermehrungen GmbH: **PP**, InProSens UG (haftungsbeschränkt): **IPS**,
Baumschulberatungsring Weser-Ems e.V.: **BBR**

1. Kurzdarstellung

1.1. Ausgangssituation und Bedarf

Die Zistrose, eine Pflanze reich an medizinisch bedeutsamen Polyphenolen, zeigt großes Potenzial in Medizin und Pharmakologie, insbesondere durch ihre antioxidativen Eigenschaften und die Fähigkeit, das Immunsystem zu stärken und Entzündungen zu mindern.^{1,2,3,8} Ihre Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche klimatische Bedingungen macht sie auch für die nachhaltige Landwirtschaft in Nordeuropa interessant.⁴

Es gibt jedoch Herausforderungen: Die herkömmlichen Analysemethoden für Pflanzeninhaltsstoffe (wie LC-MS und GC-MS) sind präzise, aber auch kosten- und zeitintensiv, und erfordern spezielle Labore und qualifiziertes Personal. Diese Faktoren verlangsamen Forschung und Entwicklung. Auch im Anbau gibt es Schwierigkeiten, da traditionelle Techniken eventuell nicht optimal auf die Bedürfnisse der Zistrose abgestimmt sind, was Wachstum und Qualität der sekundären Pflanzenstoffe beeinträchtigen kann.

Trotz dieser Herausforderungen bestehen Chancen für Innovationen in Analysetechnologien und Anbaumethoden. Neue, schnellere und kostengünstigere Analysemethoden wie die Nahinfrarotspektroskopie (NIR) könnten die Forschung beschleunigen und ermöglichen es, Pflanzen direkt im Feld zu analysieren und schnelle Anpassungen im Anbau vorzunehmen.^{5,6,7}

Der Markt für sekundäre Pflanzenstoffe, dessen Wert bis 2027 auf etwa 9 Milliarden US-Dollar geschätzt wird, unterstreicht die wirtschaftliche und gesundheitliche Bedeutung dieses Bereichs.^{9,10,11} Die Optimierung von Anbau- und Analysemethoden könnte nicht nur die Forschung vorantreiben, sondern auch wirtschaftliche Möglichkeiten in der Land- und Ernährungswirtschaft eröffnen, besonders in ländlichen Gebieten wie Niedersachsen. Die vielfältigen gesundheitlichen Vorteile von Zistrosenextrakten tragen zusätzlich zur steigenden Nachfrage und zum Marktwachstum bei. Insgesamt bieten technologische Innovationen und das zunehmende Interesse an natürlichen Gesundheitsprodukten vielversprechende Möglichkeiten für die Zukunft der Zistrosenextrakte in der Medizin, Pharmakologie und kosmetischen Industrie.¹²

1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Das Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer fortschrittlichen Indoor-Farm-Technologie für den Anbau der Zistrosenpflanze (*Cistus*), die besonders für die medizinische und kosmetische Industrie wegen ihres Reichtums an Antioxidantien wie Polyphenolen und Flavonoiden interessant ist. Kernstück des Vorhabens ist ein hochmodernes Indoor-Farming-Modul, das mit neuester optischer Messtechnik, insbesondere NIR-Spektroskopie, ausgestattet ist. Diese Technik ermöglicht eine schnelle, nicht-invasive Analyse der Pflanzeninhaltsstoffe und eine präzise Anpassung der Wachstumsbedingungen zur Optimierung der Inhaltsstoffausbeute.

Ein weiterer wichtiger Aspekt des Projekts ist die Optimierung der Pflanzenproduktion durch integrierte Sensortechnologie, die die Überwachung und Anpassung von Bedingungen wie Beleuchtung, Temperatur und Wasserzufuhr ermöglicht. Ziel ist es, die Produktionsprozesse zu verfeinern und Erträge zu maximieren.

Die Qualitätssicherung wird durch die Kombination der NIR-Sensor-Technologie mit traditionellen Analysemethoden gewährleistet, um eine umfassende Qualitätskontrolle und Standardisierung der Inhaltsstoffe sicherzustellen. Ein innovativer Baustein ist ebenfalls die Entwicklung einer robotergestützten Messstation für präzise Messungen an jeder Pflanze.

Das Projekt umfasst auch die Erweiterung des Anbaus auf Outdoor-Bedingungen, um die Zistrosenpflanze in klimatisch herausfordernden Regionen wie Niedersachsen zu kultivieren und die landwirtschaftlichen Produktionsmöglichkeiten zu erweitern.

Nachhaltigkeit ist ein wichtiges Anliegen, wobei Methoden eingesetzt werden, die den Wasserbedarf und CO₂-Ausstoß minimieren und auf chemischen Pflanzenschutz und Düngemittel verzichten.

Die erfolgreiche Durchführung des Projekts dürfte wesentlich zur Förderung der lokalen Agrarwirtschaft beitragen. Es wird wertvolle Einblicke für den Anbau anderer landwirtschaftlicher Produkte liefern, die einen nachhaltigen, effizienten und umweltschonenden Ansatz in der Landwirtschaft unterstützen.

1.3 Mitglieder der OG

piccoplant Mikrovermehrungen GmbH

Die Diplombiologin und Geschäftsführerin Elke Haase gründete das Unternehmen piccoplant Mikrovermehrungen GmbH im Jahr 1988 als Labor zur in vitro-Vermehrung von Pflanzen. Im Jahr 2017 belief sich die Jahresproduktion auf etwa 6 Millionen Exemplare. Der Vertrieb der Ware findet sowohl in Deutschland als auch zu 50 Prozent im europäischen Ausland statt. Baumschulen, Gartengroßmärkte und Zierpflanzenhandel machen den Hauptanteil der Kunden aus. Daneben werden Forstgehölze für Forstbaumschulen, sowie für den Direktverkauf an Forstämter und private Forsten produziert. Piccoplant beschäftigt sich sowohl in vitro (im Labor), als auch in vivo (in Gärtnerei und Freiland – 15 Hektar) mit der Kultivierung und Vermehrung verschiedenster Pflanzen. Aufgrund des breiten Angebotes an Baumschulware am Markt begann Piccoplant bereits frühzeitig mit der Produktion von Elitepflanzen mittels des Verfahrens der in vitro- Mikrovermehrung. Aushängeschild des Unternehmens ist die Inkulturnahme des Gewebes einer Vielzahl verschiedener Fliederarten und -sorten, so dass das Unternehmen nicht nur regional und national, sondern auch international, als "Fliederspezialist" bekannt ist. Einen weiteren Kernpunkt bildet die in-vitro-Vermehrung von Azaleen, Bambus und Rhododendren. Auch werden bereits seit einigen Jahren mehrere Biomassepflanzen (Arundo donax, Bambus, Miscanthus, Paulownia, Pappeln, Populus tremula) kultiviert. Für die Landwirtschaft führt das Unternehmen unter anderem eine Kartoffelgenbank. Die Vermehrung zum Beispiel von Ginkgo-Pflanzen erfolgt für die Pharmazie. Zusätzlich wird Herr Prof. Dr. Uwe Englisch die Firma Piccoplant als wissenschaftlicher Berater im Projekt unterstützen.

InProSens UG (haftungsbeschränkt)

Das Start-up InProSens entwickelt innovative und neuartige Sensorsysteme. Dabei hat sich das Unternehmen als Ziel gesetzt, Sensoren der nächsten Generation zu entwickeln und die große Lücke zwischen Laboranalytik und bestehenden vor-Ort Messsystemen mit neuen Impulsen aus der chemischen Analytik und Messtechnik zu schließen. Gleichzeitig werden mit den Produkten von InProSens ganz neue Möglichkeiten geboten, sich den neuen Herausforderungen im Bereich Prozessoptimierung aktuell und in der Zukunft sicher zu stellen.

Als Spin-off der Universität Oldenburg kann das Start-up auf jahrelange Erfahrung im Bereich Entwicklung von Sensorik und Analysegeräten verweisen. Die Mitarbeiter kommen sowohl aus den Bereichen der Sensorentwicklung, der chemischen Analytik als auch der Informatik. Vom 01.06.2017 bis 31.05.2018 wurde das Team von InProSens mit dem EXIST-Gründerstipendium vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) an der Universität Oldenburg gefördert. Die Unternehmensgründung erfolgte im August 2018. Aktuell hat sich das Unternehmen auf die Entwicklung von optischen Sensoren im nahen Infrarotbereich fokussiert. Für den Sensor NIRScreen des Start-ups gibt es bereits jetzt schon vielversprechende Anwendungsbereiche (Landwirtschaft, Lebensmittel- und Getränkebranche chemische und pharmazeutische Industrie).

Die innovativen Sensoren des Start-ups „InProSens“ bieten flexible Möglichkeiten feste, flüssige oder pastöse Substanzen direkt vor Ort auf Qualität, Identität und Konzentration an Inhaltsstoffen zu untersuchen. Das Messprinzip basiert auf optischer Messtechnik im nahen Infrarotbereich. Dank eines breiten Wellenlängenbereichs (900 bis 1700 nm) können eine Vielzahl an Rohstoffen und Produkten zerstörungsfrei in Sekundenschnelle auf Ihre Bestandteile untersucht werden. Eine Messung benötigt ca. 2-3 Sekunden. Die Produkte können sowohl im Labor als auch mobil direkt vor Ort in der Produktionsumgebung, Plantagen oder auf Feldern eingesetzt werden. Die Geräte sind mit einer Cloud verbunden, so dass die Messungen auch orteungebunden erfolgen können.

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgt über verschiedene Statistikverfahren. Diese können direkt auf dem Gerät oder wahlweise in der Cloud durchgeführt werden. Dadurch können auch große Datenmengen (Big Data) erzeugt, in Echtzeit ausgewertet und die Ergebnisse direkt für die Produktionsoptimierung genutzt werden.

Baumschulberatungsring Weser-Ems e.V.

Seit der Gründung am 18.12.1956 steht der Baumschulberatungsring Weser-Ems e.V. seinen Mitgliedern beratend zur Seite. Nach den anfänglich 23 Mitgliedsbetrieben sind heute über 200 Betriebe als Vollmitglied im Verein vertreten. Etwa weitere 100 Betriebe nutzen die Möglichkeit einer korrespondierenden bzw. überregionalen Mitgliedschaft mit eingeschränkten Leistungen.

Die Leistung für seine Mitglieder umfasst:

- Düngungsberatung (Auswertung von Boden- und Substratanalysen)
- Pflanzenschutzberatung (aktuelle Informationen zu notwendigen Maßnahmen, Zulassungssituation von Pflanzenschutzmaßnahmen, Beantragung einzelbetrieblicher Ausnahmen (nach §22/2 PflSchG durch Sammelanträge))
- Beratung zu Gartenbautechnik, Beregnung, EDV-Anwendungen, Hilfestellung bei der Planung von Betriebserweiterungen, Umstellung, Neuanlage, Versuchskonzepte
- Vertretung von Interessen des Berufstandes gegenüber Behörden und Öffentlichkeit, Durchführung von Fortbildungsveranstaltungen, Studienreisen, Untersuchungen bei der LUFA

1.4 Projektgebiet

Das Projektgebiet ist die Stadt Oldenburg im nordwestlichen Niedersachsen. Dort konnten auf dem Betriebsgelände des OG-Mitgliedes Piccoplant Zistrosepflanzen unter Einsatz des Pflanzenroboters und der Sensorik gezüchtet werden.

1.5 Projektlaufzeit und Dauer

Ursprünglicher Bewilligungszeitraum: 29.03.2021 bis 15.08.2023.

Aufgrund folgender Gründe wurde eine kostenneutrale Verlängerung um vier Monate bis zum 15.12.2023 genehmigt:

- deutlich verspätete Lieferung des Pflanzenroboters
- pandemiebedingte Einschränkungen

1.6 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen)

Für das Projekt wurde im Rahmen einer Vollfinanzierung eine Zuwendung von maximal 488.379 € bewilligt.

1.7 Ablauf des Verfahrens

Für den Ablauf des Projektes wurden die Kernaufgaben in folgende Arbeitspakete (AP) unterteilt:

AP 1: Auswahl und Züchtung geeigneter Zistrosepflanzen. Spektroskopische Untersuchung der Pflanzen auf ihre Inhaltsstoffe. Auswahl der Pflanzen mit den höchsten Anteilen an sekundären Pflanzenstoffen.

AP 2: Weiterentwicklung und Anpassung der Messtechnik für den Pflanzenbereich inklusive Auswahl verschiedener LED-Beleuchtungen für die Anzucht

AP 3: Tests für eine manuelle Züchtung inklusive manueller Messung und Beleuchtung

AP 4: Einbau einer automatisierten Steuerung inklusive Sensoren

AP 5: Entwicklung der Messverfahrenstechnik, Validierung und Optimierung des Systems

AP 6: Übertragung der Indoor-Konzepte auf den Outdoor-Bereich

AP 7: Verwaltung, Vermarktung und Öffentlichkeitsarbeit

Der zeitliche Verlauf die Arbeitspakete ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 1: Zeitlicher Verlauf der Arbeitspakete

Arbeitspaket	2021				2022				2023			
AP 1	■	■	■	■	■	■	■	■				
AP 2	■	■	■	■	■	■	■	■				
AP 3			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
AP 4				■	■	■	■	■	■	■	■	■
AP 5				■	■	■	■	■	■	■	■	■
AP 6									■	■	■	■
AP 7	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

1.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

In diesem Projekt wurden Zistrosenpflanzen erfolgreich in vitro kultiviert und unter verschiedenen Wachstumsbedingungen angezogen. Um die Pflanzen während der Wachstumsphase vorrangig auch in Bezug auf den Gehalt an Polyphenolen zu bewerten, wurde eine Nahinfrarotmessung entwickelt. Die Herausforderungen waren dabei vielschichtig und umfassten u.a. die Optimierung der Spektrometersignale und die Auswahl geeigneter Lichtquellen. Parallel dazu wurde eine spezialisierte Bedien- und Steuerungssoftware entwickelt. Diese ermöglicht einerseits die Handhabung der Messung und gleichzeitig die Analyse der Messungen. Spezifische Wellenlängen wurden auf die Weise identifiziert, die für die Detektion von Polyphenolen besonders effektiv sind. Für die Validierung der sensorischen Messung wurden die Pflanzen parallel auch mit chemischen Referenzmethoden untersucht. Eine weitere Schlüsselkomponente des Projekts stellte der Pflanzenroboter dar, der eine wichtige Rolle in der Automatisierung der Pflanzenpflege und –überwachung einnimmt. Dieser wurde für die Aufzucht der Pflanzen in ein Kastenmodul integriert und unter Einsatz der Messtechnik sowohl im Innen- als auch im Außenbereich eingesetzt.

Summary of results

In this project, cistus plants were successfully cultivated in vitro and grown under different growth conditions. In order to evaluate the plants during the growth phase, primarily with regard to the polyphenol content, a near-infrared measurement was developed. The challenges were complex and included, among other things, the optimization of the spectrometer signals and the selection of suitable light sources. At the same time, a specialized operating and control software was developed. On the one hand, this enables the measurement to be handled and, at the same time, the measurements to be analyzed. Specific wavelengths were identified that are particularly effective for the detection of polyphenols. To validate the sensory measurement, the plants were also examined in parallel using chemical reference methods. Another key component of the project was the plant robot, which plays an important role in automating plant care and monitoring. This was integrated into a box module for growing the plants and used both indoors and outdoors using measurement technology.

2. Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung

2.1.1 Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte

Im Projektzeitraum konnten alle Arbeitspakete durchgeführt werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die Arbeitspakete und die jeweils verantwortlichen OG-Mitglieder noch einmal dargestellt:

Tabelle 2: Gegenüberstellung der geplanten und durchgeführten Arbeitsschritte

AP-Nr.	Beschreibung	OG-Mitglied	Umsetzung ja/nein
1	Auswahl und Züchtung geeigneter Zistrosepflanzen. Spektroskopische Untersuchung der Pflanzen auf ihre Inhaltsstoffe. Auswahl der Pflanzen mit den höchsten Anteilen an sekundären Pflanzenstoffen	PP, BBR	ja
2	Weiterentwicklung und Anpassung der Messtechnik für den Pflanzenbereich inklusive Auswahl verschiedener LED-Beleuchtungen für die Anzucht	IPS, PP, BBR	ja
3	Tests für eine manuelle Züchtung inklusive manueller Messung und Beleuchtung	PP, IPS, BBR	ja
4	Einbau einer automatisierten Steuerung inklusive Sensoren	IPS, PP	ja
5	Entwicklung der Messverfahrenstechnik, Validierung und Optimierung des Systems	PP, BBR	ja
6	Übertragung der Indoor-Konzepte auf den Outdoor-Bereich	PP, BBR, IPS	ja
7	Verwaltung, Vermarktung und Öffentlichkeitsarbeit	PP, BBR, IPS	ja

2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen

Eine detaillierte Aufstellung der einzelnen Kosten wurde in Form von Beleglisten eingereicht.

Die wichtigsten finanziellen Positionen sind zusammengefasst für jedes OG-Mitglied in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 3: Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen

Ausgaben der Zusammenarbeit	
Beschreibung	Ausgaben [€]
Personalausgaben	51.747,50
Öffentlichkeitsarbeit	
Reisekosten	
Verwaltungspauschale	7.540,89
Summe	59.288,39
Piccoplant Mikrovermehrungen GmbH	
Beschreibung	Ausgaben [€]
Personalausgaben	132.151,99
Wissenschaftliche Studien, Untersuchungen, Analysen, Tests	35.000,00
Nutzungskosten sowie Material und Bedarfsmittel bei Unternehmen der Urproduktion	
Reisekosten	
Summe	167.151,99
InProSens UG (haftungsbeschränkt)	
Beschreibung	Ausgaben [€]
Personalausgaben	204.459,90
Wissenschaftliche Studien, Untersuchungen, Analysen, Tests	845,29
Kauf oder Leasing von Instrumenten und Ausrüstungsgegenständen	5.463,81
Summe	210.769,00
Baumschulberatungsring Weser-Ems e.V.	
Beschreibung	Ausgaben [€]
Personalausgaben	5.450,00
Reisekosten	54,00
Kauf oder Leasing von Instrumenten und Ausrüstungsgegenständen	
Summe	5.504,00
Gesamtsumme	442.713,38

2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

2.2.1 Ausgangssituation

Die Zistrosen, Pflanzen mit einem hohen Gehalt an medizinisch relevanten Polyphenolen, haben ihr erhebliches Potenzial offenbart. Diese Verbindungen, bekannt für ihre antioxidativen Fähigkeiten, könnten eine wesentliche Rolle in Medizin und Pharmakologie spielen. Sie sind besonders vielversprechend in Bezug auf die Stärkung des Immunsystems und die Minderung von Entzündungsreaktionen. ^{1,2,3,8} Aufgrund ihrer Fähigkeit, sich an verschiedene klimatische Bedingungen anzupassen, erweisen sich Zistrosen als aussichtsreiche Kandidaten für eine nachhaltige Landwirtschaft, insbesondere in Nordeuropa. ⁴

Jedoch stehen Forscher und Landwirte vor gewissen Herausforderungen. Die herkömmlichen Methoden zur Analyse der Pflanzeninhaltsstoffe, wie LC-MS und GC-MS, sind zwar präzise, aber auch kosten- und zeitintensiv. Diese Methoden erfordern spezielle Laborausrüstungen und qualifiziertes Personal, was den Prozess der Forschung und Entwicklung verlangsamt. Die Zeitspanne zwischen Probenahme und Ergebniserhalt kann zudem eine rechtzeitige Anpassung der Anbaumethoden erschweren.

Gleichzeitig gibt es auch Herausforderungen im Anbau. Traditionelle Techniken sind möglicherweise nicht optimal auf die speziellen Bedürfnisse der Zistrosen abgestimmt, was deren Wachstum und die Qualität der sekundären Pflanzenstoffe beeinflussen kann. Trotz dieser Schwierigkeiten bietet die Kultivierung von Zistrosen in Nordeuropa ein großes Potenzial für die Landwirtschaft, insbesondere im Hinblick auf Nachhaltigkeit und Anpassung an lokale Gegebenheiten. ⁴

Diese Herausforderungen eröffnen jedoch auch Chancen für Innovationen, sowohl in der Analysetechnologie als auch in den Anbaumethoden. Die Entwicklung neuerer, schnellerer und kostengünstigerer Analysemethoden wie der Nahinfrarotspektroskopie (NIR) könnte die Forschung und Entwicklung erheblich beschleunigen. Diese Technologien ermöglichen es, die Pflanzen direkt im Feld zu analysieren und schnelle Anpassungen im Anbau vorzunehmen. ^{5,6,7}

Die Aussicht auf einen wachsenden Markt für sekundäre Pflanzenstoffe, der bis 2027 auf etwa 9 Milliarden US-Dollar geschätzt wird, unterstreicht die Bedeutung der Weiterentwicklung in diesem Bereich. ^{9,10,11} Die Optimierung der Analyse- und Anbaumethoden kann nicht nur die Forschung vorantreiben, sondern auch wirtschaftliche Chancen für die Land- und Ernährungswirtschaft, insbesondere in ländlichen Gebieten wie Niedersachsen, eröffnen. Darüber hinaus tragen die gesundheitlichen Vorteile von sekundären Pflanzenstoffen, wie die Stärkung des Immunsystems und der Schutz vor Herz-Kreislaufkrankungen, zur steigenden Nachfrage und zum Marktwachstum bei.

In Anbetracht dieser Herausforderungen und Chancen ist es deutlich, dass die Weiterentwicklung sowohl in der Analyse als auch im Anbau von Zistrosen zentral für die Ausschöpfung ihres vollen Potenzials ist. Der wachsende Markt für sekundäre Pflanzenstoffe unterstreicht die wirtschaftliche Bedeutung dieses Bereichs. Insbesondere in Regionen wie Niedersachsen bietet die Optimierung der Anbau- und

Analysemethoden nicht nur die Möglichkeit, die Forschung zu beschleunigen, sondern auch neue wirtschaftliche Perspektiven für die Land- und Ernährungswirtschaft zu erschließen. Die Kombination aus technologischer Innovation und dem verstärkten Interesse an natürlichen Gesundheitsprodukten eröffnet somit vielversprechende Möglichkeiten für die Zukunft der Zistrosenextrakte in der Medizin, Pharmakologie und kosmetischen Industrie. ¹²

2.2.2 Projektaufgabenstellung

Das zentrale Ziel unseres Projektes ist die Entwicklung einer innovativen Indoor-Farm-Technologie, die maßgeschneidert für den Anbau der Zistrosenpflanze (*Cistus*) konzipiert ist. Diese Pflanze, hervorragend angepasst an trockene, sandige und nährstoffarme Böden,^[4] birgt ein erhebliches Potential für die medizinische und kosmetische Industrie, insbesondere aufgrund ihres Reichtums an Antioxidantien wie Polyphenolen und Flavonoiden. ^{12,13,14}

Unser Vorhaben umfasst die Entwicklung eines hochmodernen Indoor-Farming-Moduls, das mit neuester optischer Messtechnik ausgerüstet ist. Dabei liegt der Fokus auf NIR-Spektroskopie-Verfahren, die eine schnelle, nicht-invasive und direkte Analyse der Pflanzeninhaltsstoffe ermöglichen. Diese fortschrittliche Technik wird als effektive Alternative zu traditionellen, oft zeitaufwendigen Labormethoden angesehen und ermöglicht eine präzise und dynamische Anpassung der Wachstumsbedingungen der Pflanzen, was letztendlich zu einer optimalen Ausbeute an wertvollen Pflanzenstoffen führen soll.

Ein weiterer zentraler Aspekt des Projektes ist die Optimierung der Pflanzenproduktion. Durch den Einsatz der integrierten Sensortechnologie können die Wachstumsbedingungen wie Beleuchtung, Temperatur und Wasserzufuhr kontinuierlich überwacht und angepasst werden. Dieser Ansatz zielt darauf ab, die Produktionsprozesse zu verfeinern und die Erträge sowohl in Bezug auf Quantität als auch Qualität zu maximieren, was besonders für den medizinischen und kosmetischen Markt von Bedeutung ist.

Die Evaluierung und Qualitätssicherung spielen in unserem Projekt eine wichtige Rolle. Die NIR-Sensor-Technologie wird mit bewährten chemisch-instrumentellen Analysemethoden kombiniert, um eine umfangreiche Qualitätskontrolle und die

Standardisierung der Inhaltsstoffe zu gewährleisten. Diese sorgfältige Überwachung und Kontrolle sind entscheidend, um eine konsistente Qualität und Wirksamkeit der aus den Zistrosen gewonnenen Produkte sicherzustellen.

Ein innovatives Feature unseres Projekts ist die Entwicklung einer robotergestützten Messstation. Diese Station wird speziell dafür entworfen, präzise Messungen an jeder einzelnen Pflanze durchzuführen und dabei essenzielle Wachstumsparameter zu überwachen. Dies ermöglicht es uns, den Gehalt an wichtigen Inhaltsstoffen wie Polyphenolen genau zu bestimmen und die Anbaubedingungen entsprechend anzupassen.

Das Projekt beinhaltet auch die Erweiterung des Anbaus auf Outdoor-Bedingungen. Durch die Anpassung unserer Technologie an Freilandbedingungen planen wir, die Zistrosenpflanze in klimatisch herausfordernderen Regionen wie Niedersachsen zu kultivieren. Dieser Schritt zielt darauf ab, die landwirtschaftlichen Produktionsmöglichkeiten zu erweitern und die Pflanze für eine breitere Palette von Anbaubedingungen zugänglich zu machen.

Ein wichtiges Anliegen unseres Projekts ist die Nachhaltigkeit. Durch die Implementierung von Methoden, die den Wasserbedarf und den CO₂-Ausstoß minimieren und den Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz und Düngemittel, streben wir eine umweltfreundliche und nachhaltige Produktionsweise an.

Wir erwarten, dass die erfolgreiche Umsetzung unseres Projekts nicht nur einen bedeutenden Beitrag zur Stärkung der lokalen Agrarwirtschaft leisten wird, sondern auch wertvolle Erkenntnisse für andere landwirtschaftliche Produkte bietet. Diese Erkenntnisse könnten wegweisend für die zukünftige Agrarproduktion sein und einen nachhaltigen, effizienten und umweltbewussten Ansatz in der Landwirtschaft fördern.

2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf

2.3.1 Gestaltung der Zusammenarbeit im Einzelnen

Am Anfang des Projektes waren persönliche Treffen aufgrund der Corona-Pandemie entsprechend noch schwieriger zu realisieren. OG-Treffen wurden daher online oder nach vorheriger Absprache sowie unter den gültigen Hygienemaßnahmen persönlich durchgeführt.

Als sich die Corona-Situation im Laufe des Projektes auch allgemein verbessert hat, fanden Treffen der OG-Mitglieder immer wieder auch außerhalb der regulären OG-Treffen statt. Da alle OG-Mitglieder aus Oldenburg und dem direkten Umland kommen, ließ sich dies immer gut und spontan realisieren. Auch im Rahmen der regelmäßigen Zistrosemessungen und der Betreuung des Pflanzenroboters bei dem OG-Mitglied Piccoplant bestand immer ein enger persönlicher Austausch vor Ort.

2.3.2 Besonderer Mehrwert bei der Durchführung des Projektes als OG

Durch die Pflanzenexpertise der OG-Mitglieder Piccoplant und des Baumschulberatungsringes einerseits und den fundierten Erfahrungen im Bereich Messtechnik des OG-Mitgliedes InProSens andererseits können die komplexen Prozesse des Pflanzenwachstums besser verstanden werden.

2.3.3 Weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts

Für eine weitere Zusammenarbeit der OG-Mitglieder nach Projektende gibt es viele interessante Themengebiete. Durch die Verbindung von Pflanzenkultivierung und Sensormesstechnik könnten Projekte in vielen Pflanzenanwendungsbereichen realisiert werden. Durch die Sensormesstechnik könnten so die Wachstumsphasen anderen Pflanzen, deren Inhaltsstoffe als Lebensmittel oder pharmazeutische Produkte eingesetzt werden, genauer aufgeklärt und optimiert werden.

2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes

2.4.1 Zielerreichung

Im Projekt wurde ein umfassender Ansatz zur Anzucht und Optimierung von Mutterpflanzen der Zistrose für in vitro-Kulturen verfolgt. Durch den Einsatz von u.a. spezifischen LED-Lichtspektren wurden gute Wachstumsbedingungen für eine Pflanzenart geschaffen, die bisher hauptsächlich in mediterranen Gebieten angebaut wurde.

Als eines der zentralen Elemente des Projektes wurde ein sensorischer Messaufbau und eine passende Bedien- und Auswertungssoftware entwickelt, auf Basis dessen in Sekundenschnelle und zerstörungsfrei Informationen zu sekundären Pflanzeninhaltsstoffen erhalten werden können.

Der Pflanzenroboter als weitere Schlüsselkomponente des Projekts konnte erfolgreich als Tool zur Automatisierung der Pflanzenpflege und –überwachung eingesetzt werden. Dieser Robotikansatz ermöglichte eine effiziente und genaue Pflege der Pflanzen, was für die Qualität der Forschungsergebnisse wesentlich ist.

2.4.2 Abweichungen zwischen Planung und Ergebnis

Ursprünglich wurde geplant zwei Pflanzenroboter und zwei Spektrometer zu bestellen. Aufgrund erheblich langer Lieferzeiten des Pflanzenroboters wurde beschlossen insgesamt nur einen Pflanzenroboter zu bestellen. Dadurch war die Bestellung eines zweiten Spektrometers auch hinfällig, weil dieses in Kombination mit dem Pflanzenroboter eingesetzt worden wäre.

Als Problem in der Praxis haben sich Kleberückstände von Pflanzensekreten auf dem optischen Fenster des Sensors erwiesen. Dadurch mussten automatisierte Messungen durch manuelle Sensormessungen ersetzt werden. Nur bei der manuellen Messung konnten die optischen Bauteile nach jeder Messung vollständig gereinigt werden und damit zuverlässige Messergebnisse erzielt werden.

2.4.3 Projektverlauf

Pflanzenaufzucht (AP 1, AP 2, AP 3)

Im Verlauf des Projektes wurden verschiedene Arten der Zistrose (*Cistus* sp.) in Vitro kultiviert und weitervermehrt. Zu Beginn des Projektes wurden vor allem winterharte Sorten ausgewählt. Neben der graubehaarten Zistrose (*Cistus incanus* subsp. *tauricus*) wurden auch Pflanzen der Lack-Zistrose (*Cistus ladanifer*), die Lorbeerblättrige Zistrose (*Cistus lauriifolius*) und die Purpur-Zistrose (*Cistus x purpureus*) für die weitere in-vitro Kultur verwendet. Zistrosen der Art *incanus* sind für medizinische Zwecke besonders interessant, da es zu ihren möglichen Anwendungsgebieten die meisten wissenschaftlichen Studien gibt. Die Lack-Zistrose (*Cistus ladanifer*), die im westlichen Mittelmeerraum weit verbreitet ist, wird vor allem

für ihr Harz „Ladanum“ kultiviert, das als Rohstoff für die Parfümindustrie verwendet wird. Diese Art ist wegen ihrer potentiellen antimykotischen, antibakteriellen und antikanzerogenen Eigenschaften der Pflanzeninhaltsstoffe ebenfalls medizinisch relevant.

Kulturinduktion von Zistrosen

Für die in Vitro-Kultur der Zistrosen wurden zunächst frische Triebe der Pflanzen im Gewächshaus geschnitten und in mehreren Schritten oberflächensterilisiert. Als Ausgangsmaterial, auch als Explantat bezeichnet, werden hierfür die Spitzen und weitere Nodien der Pflanze verwendet. Die sterilen Explantate werden auf einem Nährmedium kultiviert und neu gebildete Triebe subkultiviert. Die Abbildung 1 zeigt exemplarisch eine in Vitro-Kultur der Lack-Zistrose (*Cistus ladanifer*). Die Pflanzen konnten erfolgreich im Labor etabliert und weitervermehrt werden (Abbildung 2) Bei weiteren Vermehrungsschritten werden die Pflanzen dann unter sterilen Bedingungen geschnitten und die einzelnen Nodien auf frischem Nährmedium weiterkultiviert. Für die Zistrosen konnten dadurch hohe Vermehrungsraten erzielt werden.



Abbildung 1: In vitro-Kultur der Lack-Zistrose (*Cistus ladanifer*)



Abbildung 2: Mikrovermehrte Zistrose

Abbildung 3 zeigt eine Kultur der graubehaarten Zistrose *Cistus incanus* subsp. *tauricus* direkt nach dem Transfer auf frisches Nährmedium. Hieraus entwickeln sich neue Pflanzen, die weiter kultiviert werden können.



Abbildung 3: *Cistus incanus* subsp. *tauricus*, frisch umgesetzt

Die Konzentration verschiedener sekundärer Pflanzenstoffe kann sich bei den verschiedenen Arten stark voneinander unterscheiden und auch innerhalb von Individuen einer Sorte. Daher haben wir eine möglichst breite Auswahl verschiedener Arten und Unterarten angestrebt. Aus Spanien wurden uns im Laufe des Projektes einzelne Pflanzen, darunter auch Wildformen, zugeschickt. Diese waren leider bei

Ankunft teilweise vertrocknet oder beschädigt, sodass eine weitere Kultivierung dieser Pflanzen nicht mehr möglich war.

Weitere Sorten der Zistrose wurden vom botanischen Garten Oldenburg für die In Vitro-Vermehrung zur Verfügung gestellt. Die Stecklinge der Pflanzen wurden im botanischen Garten geschnitten. Zu den Sorten gehören die weißliche Zistrose (*Cistus albidus*, Abbildung 4), die Korsische Zistrose (*Cistus incanus* subsp. *corsicus*), die Clusius Zistrose (*Cistus clusii*), die Montpellier-Zistrose (*Cistus monspelliensis*), die albanische Zistrose (*Cistus albanicus*) und die kretische Zistrose (*Cistus incanus* subsp. *creticus*). Außerdem weitere Unterarten der *Cistus incanus* (subsp. *sennenianus* und subsp. *incanus*) und eine Hybridsorte *Cistus* x *longifolius*.



Abbildung 4: Stecklinge von Cistus albidus

Gleichzeitig wurden die ersten mikrovermehrten Zistrosen im Gewächshaus akklimatisiert (Abbildung 5). Die Pflanzen sind im Gewächshaus erfolgreich angewachsen.



Abbildung 5: Erste Akklimatisation der mikrovermehrten Zistrose in der Baumschule

Die akklimatisierten Pflanzen konnten gut über Stecklinge weitervermehrt werden (Abbildung 6)



Abbildung 6: Vermehrung der Lack-Zistrose (*Cistus ladanifer*) über Stecklinge

Die Stecklinge aus dem botanischen Garten sind im Gewächshaus gut angewurzelt und konnten schnell in größere Töpfe umgetopft werden. Neben den mikrovermehrten Zistrosen, wurden einiger dieser Pflanzen auch für die Versuche mit dem Farmbot verwendet (Abbildung 7).



Abbildung 7: Zistrosen in unterschiedlichen Containergrößen

Anhand der wissenschaftlichen Literatur über die medizinischen Eigenschaften von Zistrosen wurden verschiedene Arten ausgewählt. Insbesondere Individuen der graubehaarten Zistrose *cistus x incanus*, einer natürlich vorkommenden Hybridart zwischen *cistus albidus* und *cistus crispus* werden positive medizinische Eigenschaften nachgesagt. Viele der im Handel erhältlichen Arzneitees werden aus Blättern dieser Art hergestellt. Die positiven Eigenschaften dieser Zistrosenart wurden zudem in der wissenschaftlichen Literatur häufiger untersucht und der Polyphenolgehalt wurde hier als vergleichsweise hoch bewertet. Die anderen ausgewählten Arten wie *c. ladanifer* sind medizinisch allerdings ebenso von Relevanz.

Einzelnen Pflanzen der verschiedenen zur Verfügung stehenden Zistrosenarten wurden auf ihre Inhaltsstoffe untersucht. Pflanzen mit höheren Anteilen sekundärer Pflanzenstoffe wurden dann selektiert und im Labor weitervermehrt. Außerdem wurden, insbesondere zu Beginn des Projektes, auch Pflanzen ausgewählt, die allgemein ein gesundes Pflanzenwachstum aufwiesen. Die Stecklinge aus dem botanischen Garten wurden von einzelnen Mutterpflanzen abgeschnitten, sind also vom Genotyp her identisch.

Der Polyphenolgehalt der Pflanzen ist von verschiedenen Faktoren abhängig und kann sich auch innerhalb einer Art unterscheiden. Die Wachstumsbedingungen haben einen wesentlichen Einfluss auf den Polyphenolgehalt. Mit der Anpassung von physischen

Parametern wie der Lichtintensität und des Lichtspektrums, kann der Polyphenolgehalt gezielt beeinflusst werden. Aber auch Faktoren wie Temperatur, die Beschaffenheit des Bodens, die Art der Versorgung mit Nährstoffen und die Bewässerung, wirken sich auf den Polyphenolgehalt aus. Wichtig ist eine Kultivierung, die den natürlichen Wachstumsbedingungen der Zistrose entspricht. Die Pflanzen, die wir aus Spanien erhalten haben, konnten wir wie erwähnt aufgrund mangelnder Qualität, nicht mehr untersuchen. Der Vergleich der Inhaltsstoffe von Pflanzen, die direkt aus dem mediterranen Raum kommen, wäre neben der Auswertung der wissenschaftlichen Literatur, hilfreich gewesen.

Für die Anzucht der Zistrosen wurden Versuche mit unterschiedlicher Lichtintensität und -spektrum im Labor und im Gewächshaus durchgeführt.

Sensorik (AP 1, AP 2, AP 3, AP 5, AP 6)

Für die sensorische Detektion der Polyphenole wurde ein NIR-Spektrometer im Projekt bestellt. Nach Erhalt des Spektrometers wurde mit der Entwicklung der Bedien- und Steuerungssoftware begonnen. Das NIR-Spektrometer stellt einen der wesentlichen Bausteine des Sensors dar. Zusätzlich wurde auch eine passende Lichtquelle gesucht, mit der die Pflanze bestrahlt werden konnte und das reflektierte Licht zur Analyse ins Spektrometer gelenkt werden konnte. Wesentliche Entscheidungsfaktoren bei der Auswahl waren dabei die passende Wellenlänge, Möglichkeiten der Ansteuerung und Wärmeentwicklung.



Um einen spektralen Eindruck von der Zistrosepflanze zu erhalten und damit geeignete Wellenlängenbereiche zur Analyse zu identifizieren, wurden mit einem NIR-Sensor Spektren unterschiedlicher Zistroseteearten (getrocknet) aufgenommen.

Abbildung 8: Messung von Zistrosetee

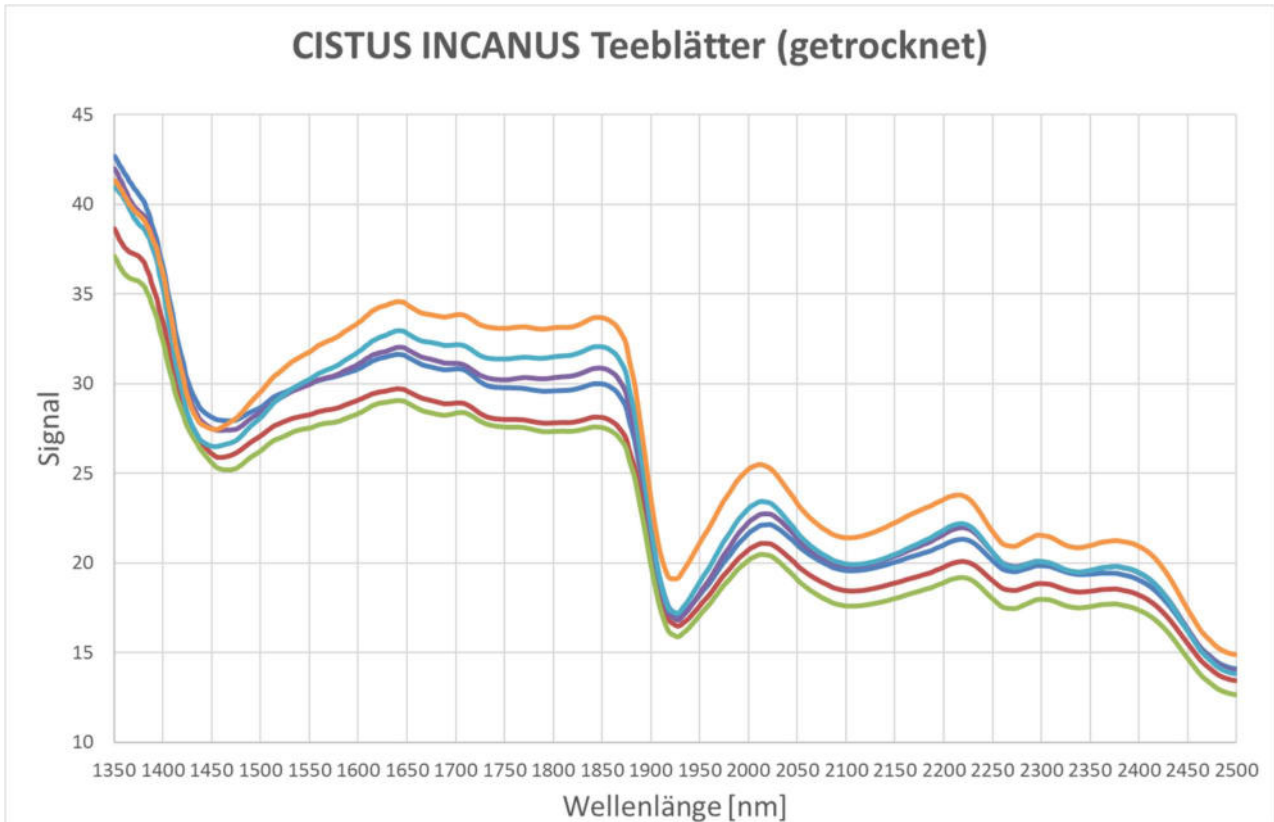


Abbildung 9: Spektren von Zistrosetee

Im ersten Vergleich mit Literaturspektren konnte der spektrale Bereich von 1665 bis 1760 nm als ein interessanter Bereich zur Identifizierung von Polyphenolen in den Pflanzen näher eingegrenzt werden. Um diesen ersten Eindruck zu bestätigen, wurden aber viele weitere Messungen, vor allem auch an der lebenden Pflanze, unter Einbeziehung von chemischen Referenzanalysen durchgeführt.

Im Bereich der Sensorik wurde ein passender erster Messaufbau mit geeigneter Elektronik und passenden Halterungen konstruiert. Für die direkte Messung der Zistrose-Blätter an der lebenden Pflanze wurde getestet, auf welche Weise die Pflanze am schonensten und messtechnisch effektivsten gemessen werden kann. Zuerst wurden die Blätter und auch der Stängel direkt an ein sog. optisches Fenster des Sensors gelegt (Abbildung 10). Es zeigte sich dabei, dass es sehr schwierig war, die Blätter exakt zentriert auf dieses optische Fenster zu platzieren. Bei dem Stängel war dieses Problem sogar noch ausgeprägter. Zudem bestand dabei die Gefahr, dass die Blätter oder der Stängel auf diese Weise ungünstig geknickt werden.

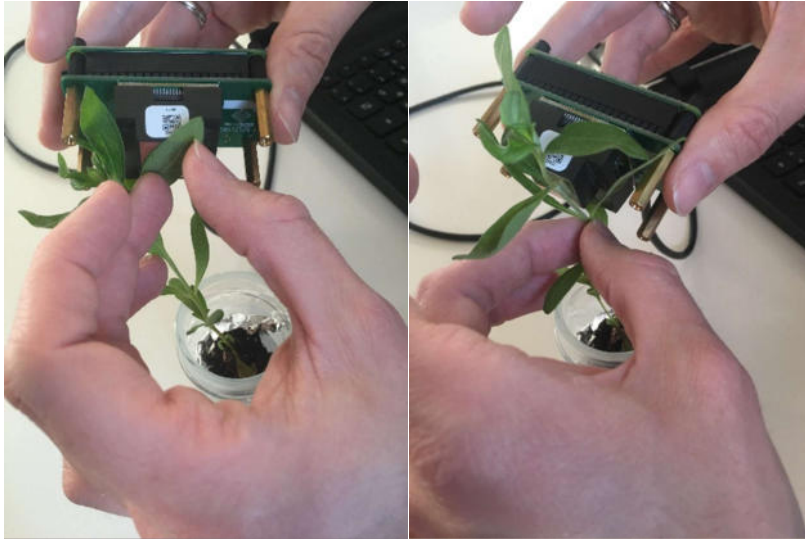


Abbildung 10: Messung der Zistrose direkt an einem optischen Fenster

Als Alternative wurde dann die Messung mit einem Lichtwellenleiter ausgewählt. Dabei wurde die Pflanze mit der NIR-Lichtquelle direkt bestrahlt. Das reflektierte Messsignal strahlt dabei dann direkt in den Lichtwellenleiter und wird direkt weiter zum Spektrometer geleitet. Lichtwellenleiter können in unterschiedlichen Längen gewählt werden und sind sehr flexibel.



Abbildung 11: Messung der Zistrose mit einem Lichtwellenleiter

Darüber hinaus schien aber die Variante mit dem optischen Fenster im späteren Verlauf als Proxylösung möglicherweise auch geeignet zu sein, um zusätzlich die Nährstoffversorgung in den Wachstumsschalen zu überwachen (Abbildung 12).



Abbildung 12: Messung der Nährstofflösung direkt an einem optischen Fenster

In der Software wurden darüber hinaus auch die Ansteuerung, Auswertung und Darstellung von Sensoren für die Messung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Kohlendioxid realisiert. Damit konnten parallel weitere wichtige Wachstumsparameter kontinuierlich überwacht werden und mit den Ergebnissen der NIR-Sensormessungen in Verbindung gesetzt werden.

Als weiterer Baustein wurde die Ansteuerung und Signalauswertung des NIR-Spektrometers in die Software integriert. Das Spektrometer konnte somit angesteuert werden, die Messsignale verrechnet und die Absorptionsspektren in der Software dargestellt werden. In Abbildung 13 ist ein Software-Screenshot der dargestellten Absorptionsspektren dargestellt.

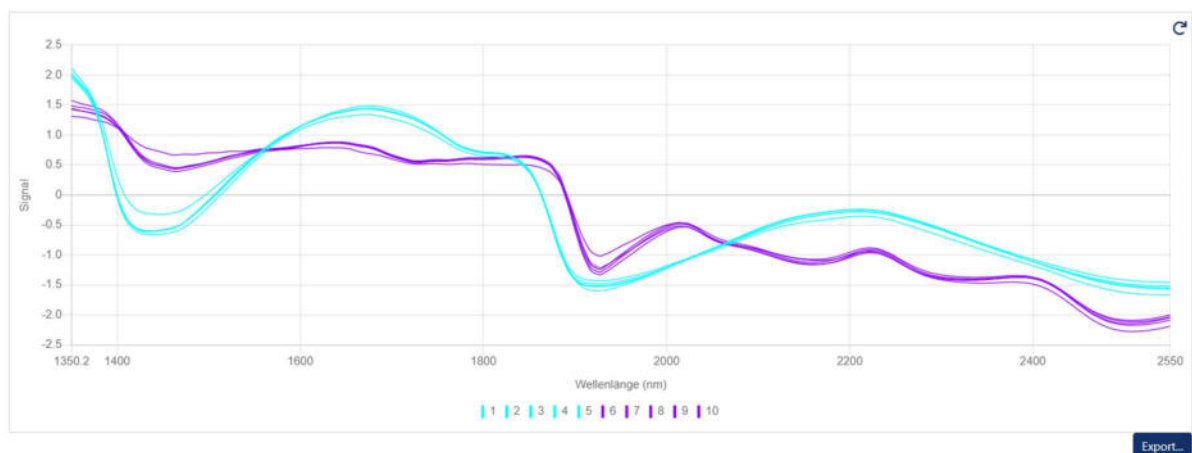


Abbildung 13: Screenshot Software-Oberfläche: Darstellung von Absorptionsspektren (in diesem Beispiel: hellblau stellt die Messung einer lebenden von Piccoplant gezüchteten Zistrose-Pflanze und lila die Messung von getrockneten Zistrose-Blättern dar)

Ebenso wurde begonnen nach geeigneten statistischen Auswerteverfahren zu recherchieren. Diese wurden in die Software integriert, so dass auf Grundlage der Messspektren und von chemischen Referenzmessungen im Laufe des Projektes Vorhersagemodelle für den Gesamtphenolgehalt in der lebenden Zistrose-Pflanze erstellt werden konnten.

In den warmen Projektmonaten konnte auch der Einfluss von höheren Temperaturen und extremen Änderungen der Luftfeuchtigkeit auf die Sensorik getestet werden. Hierbei musste beachtet werden, dass Luftfeuchtigkeit an den kühleren, optischen Gläsern der Sensorik kondensieren könnte, sollten gekühlte Geräte auf eine erhöhte Luftfeuchtigkeit treffen. Gleichzeitig sind Infrarotmessungen stark temperaturabhängig. Zusätzlich musste beachtet werden, dass die extremen Klimabedingungen (hohe Temperatur, höhere Sonneneinstrahlung und/oder hohe Luftfeuchtigkeit) auch Einfluss auf das Wachstum der Zistrosepflanze haben. Daher musste für die Messungen zusätzlich bei der Auswahl der Zistroseblätter beachtet werden, ob es Blätter an der Pflanze gibt, die z.B. einer höheren UV-Exposition als andere Blätter an der Pflanze ausgesetzt sind. Die Messungen von warmen und kalten Blättern der Zistrosepflanzen zeigten deutliche Unterschiede in dem Spektralverhalten. Kältere Blätter hatten ein deutlich verringertes Messsignal im Gegensatz zu wärmeren Blättern.

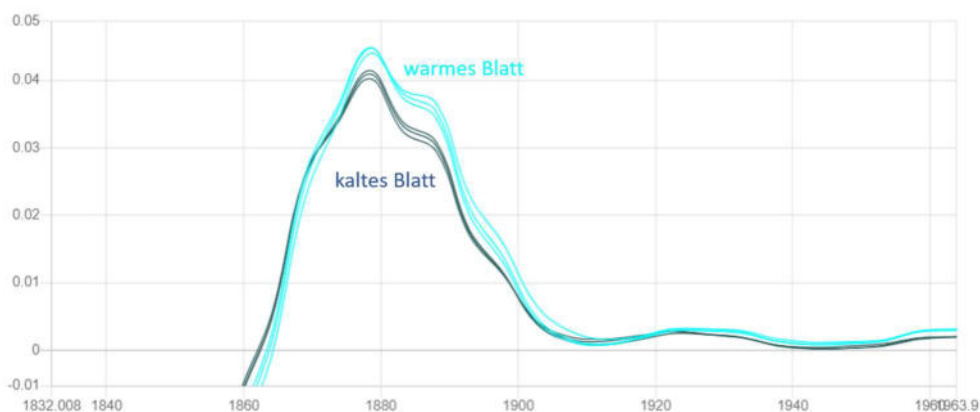


Abbildung 14: Verringertes Messsignal bei kälteren Blättern

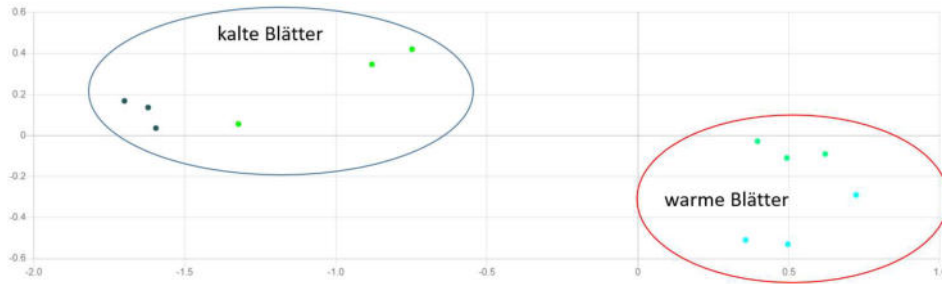


Abbildung 15: Warme und kalte Blätter lassen sich deutlich unterscheiden

Weitere optische Messungen wurden ebenfalls an den Blättern der Zistrosepflanze durchgeführt. Mit zunehmendem Alter der Blätter nimmt deren Grünehalt immer weiter zu (hellgrün zu dunkelgrün). Ein weiterer Unterschied bei den Messungen besteht darin, ob die Vorderseite oder Rückseite eines Blattes gemessen wurde.



Abbildung 16: Deutliche Unterschiede in der Farbe der Blätter an der Zistrosepflanze

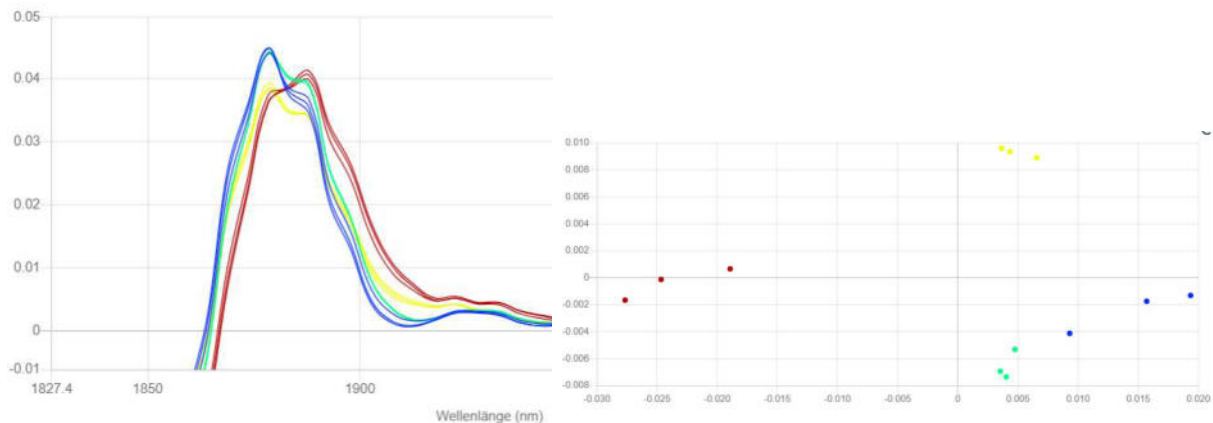


Abbildung 17: Deutliche Unterschiede in den Spektren anhand der Blattfarbe und der Seitenwahl der Blätter Blatt dunkel Vorderseite (Blau), Blatt dunkel Rückseite (Rot), Blatt hell Vorderseite (Grün), Blatt hell Rückseite (gelb)

Im Projektzeitraum wurde auch der spektrale Gesamtunterschied zwischen den Wachstumsphasen der Zistrose-Pflanzen verglichen. In den aufgenommenen Spektren können häufig augenscheinlich nur sehr geringe Unterschiede

wahrgenommen werden (Abbildung 18). Erst die anschließenden statistischen Auswerteverfahren ermöglichen es häufig deutliche Unterschiede erkennbar zu machen.

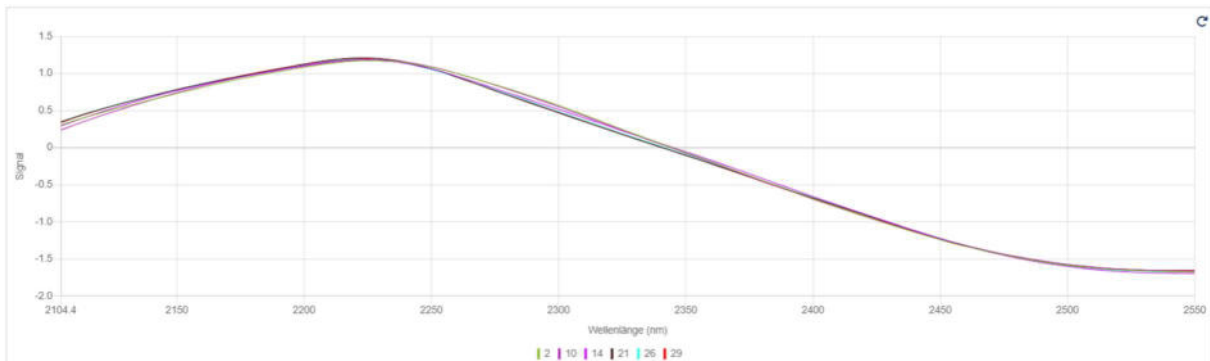


Abbildung 18: Verarbeitete Spektren zweier Zistrose-Pflanze (jeweils vergleichsweise frühe und vergleichsweise späte Wachstumsphase)

In Abbildung 18 erkennt man in einer beispielhaften Messung von Zistrose-Pflanzen in zwei unterschiedlichen Wachstumsphasen nur marginale Unterschiede. Durch die in die Software integrierten statistischen Auswertungsmöglichkeiten können dann aber deutliche Unterschiede zwischen früherer Wachstumsphase (rechter Bereich mit lila und grünen Datenpunkten) und späterer Wachstumsphase (linker Bereich mit blau, rot und braunen Datenpunkten) erkennbar gemacht werden (Abbildung 19). Die im Projekt integrierten Auswerteverfahren in der Software konnten sowohl qualitative wie auch quantitative Ergebnisanalysen, für z.B. die Messung von Polyphenolgehalten, ermöglichen.

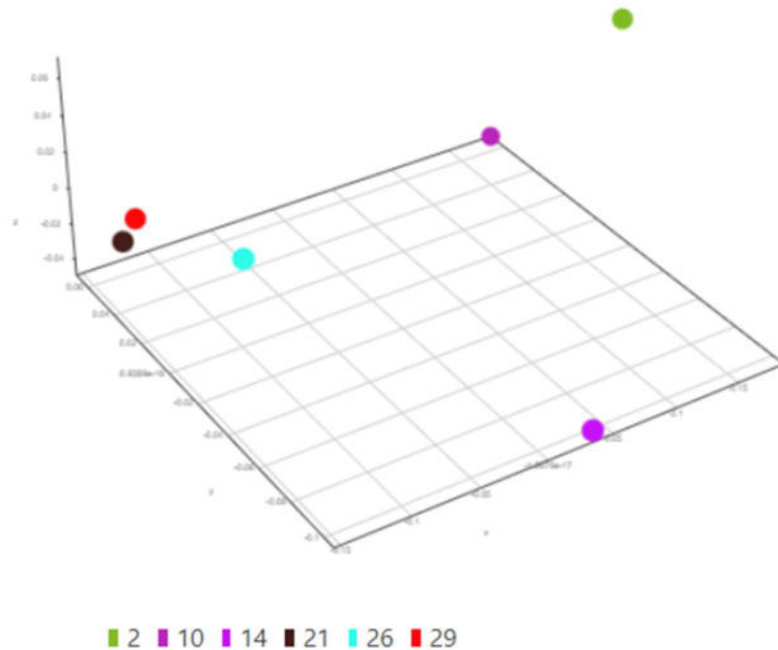


Abbildung 19: 3D-Auswertungsdiagramm nach statistischer Auswertung der Messspektren

Im Praxisbetrieb hat sich bei der Messung der Zistrose-Pflanzen auch gezeigt, dass diese schnell am optischen Fenster des Sensors festkleben. Dieses Phänomen wurde erst ab einem fortgeschrittenen Wachstumszeitpunkt der Pflanzen beobachtet. Während der frühen Wachstumsphase in den Nährstofflösungen konnte man diesen „Klebeffekt“ bei den noch verhältnismäßig sehr kleinen Blättern nicht feststellen.

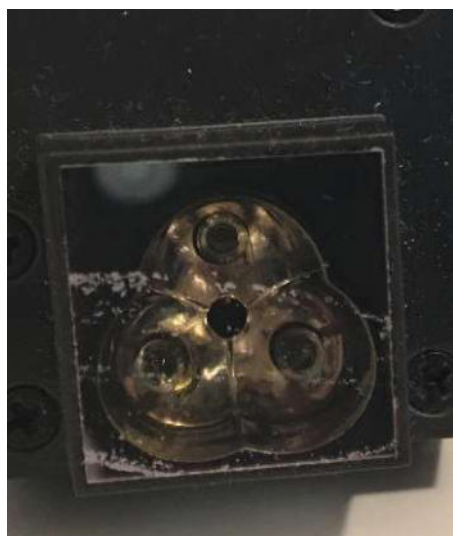


Abbildung 20: Weiße Rückstände von Zistroseblättern auf dem optischen Fenster des Sensors

Aufgrund der Verschmutzung nach Blätterkontakt war es unabdingbar, das optische Fenster nach jeder Messung zu reinigen. Das anhaftende Blättersekret hätte ansonsten zu einer Verfälschung der nächsten Messung führen. Es wurde daher erst eine Variante mit einem automatisierten Wischer zur Reinigung des optischen Fensters konzipiert. Durch das Wischblatt konnten aber die sehr hartnäckigen Blattrückstände nicht entfernt werden.

Versuche den direkten Kontakt zwischen dem optischen Fenster und der Pflanze zu vermeiden und den Sensor ein paar Millimeter vor dem Pflanzenblatt zu positionieren, erwiesen sich als kritisch. Einerseits war es schwierig diesen Abstand zwischen Sensor und den Blättern immer exakt und reversibel gleich einzustellen. Gleichzeitig hatte sich das Messsignal selbst bei wenigen Millimetern Abstand vom Blatt schon dermaßen verschlechtert, dass die nötigen spektralen Unterschiede, die zur Bestimmung des Polyphenolgehaltes wichtig sind, nicht mehr messbar gewesen wären.

Als Alternative wurde daher beschlossen, die Pflanzen auch vorrangig manuell zu messen. Nur im Rahmen von manuellen Messungen konnten eine Verschleppung von Verschmutzungen auf dem Sensor und dadurch falsche Messergebnisse verhindert werden. Nach jeder Messung wurde das hartnäckige Blättersekret manuell mit speziellen Reinigungstüchern vom optischen Fenster des Sensors entfernt.

Einen großen Stellenwert hatten im Berichtszeitraum auch die Referenzmessungen. Es wurde dafür die sog. nasschemische Methode nach Folin-Ciocalteu etabliert. Mit dieser Methode lassen sich wie auch mit der angestrebten spektroskopischen NIR-Methode die Gesamtkonzentrationen an Polyphenolen bestimmen.

Vor der nasschemischen Referenzanalyse wurden jeweils für den anschließenden Vergleich NIR-Spektren der Blätter gemessen.

Der Nachteil der nasschemischen Analyse wie auch der Methode der selektiven Bestimmung einzelner Polyphenole im Labor ist der hohe Bedarf an Probenmaterial. Für die Referenzanalyse einer Probe werden ca. 10 g getrocknete Blätter benötigt (Abbildung 21). Das wiederum bestärkte die Idee dieses Projektvorhabens mit einer zerstörungsfreien sensorischen Methode den Gehalt direkt an der lebenden Pflanze zu bestimmen.



Abbildung 21: Notwendige Menge (10 g) an getrockneten Zistrose-Blättern für eine nasschemische Analyse

Nach der Trocknung der Blätter wurden diese erst zu kleinen Partikeln in einem Mörser zermahlen (Abbildung 22). Auf diese Weise erhält man eine größere Oberfläche für die anschließende Extraktion. Für die Extraktion der Polyphenole wurden die Proben jeweils mit kochendem Wasser übergossen und 10 Minuten auf einer Magnetrührplatte ständig gerührt. Die Proben wurden dann filtriert und die Filtrate dann für die weitere Analyse nach Folin Ciocalteu dunkel gelagert.



Abbildung 22: Vergrößerung der Probenoberfläche durch Mörsern (Vorbereitung für die Extraktion) (links) und erhaltene Filtrate nach der Extraktion (rechts)

Die Folin-Ciocalteu Methode ist ein nasschemische, spektrale Methode. Mithilfe einer Referenzsubstanz und den für die Methode benötigten Chemikalien wird eine Blaufärbung gemessen. Als Referenzsubstanz wurde Gallussäure eingesetzt. Diese ist ein sehr weit verbreiteter Vertreter der Polyphenole. Von der Gallussäure wurden Lösungen unterschiedlicher Konzentrationen angesetzt

und nach der Methode von Folin-Ciocalteu mit den entsprechenden Chemikalien vermischt. In Abhängigkeit der vorliegenden Konzentration an Gallussäure entstehen unterschiedlich starke Blaufärbungen der Lösungen, die spektral mit einem eigenen Aufbau aus VIS-Lampe und Detektor gemessen wurden (Abbildung 23).

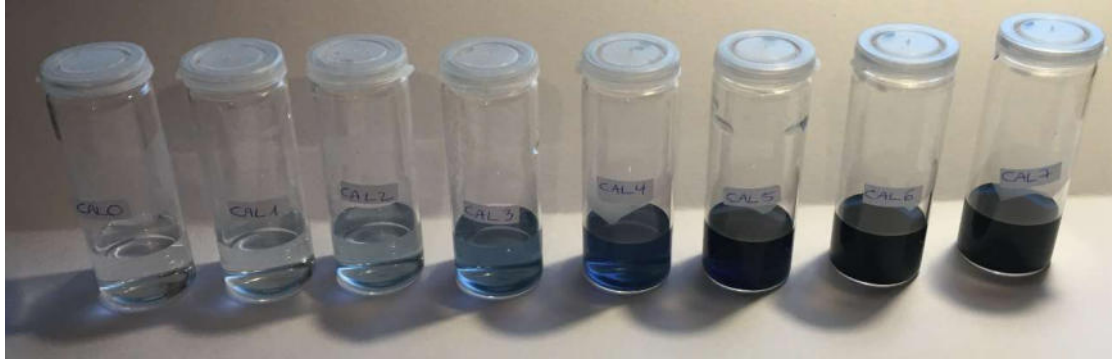


Abbildung 23: Kalibrierlösungen der Gallussäure nach der Methode von Folin-Ciocalteu

Das für jede Lösung erhaltene Messsignal bei einer bestimmten Wellenlänge wurde dann gegen die entsprechende Konzentration an Gallussäure aufgetragen. Die erhaltene Kalibriergerade war dann jeweils Grundstein für die Ermittlung der unbekanntem Polyphenolgehalte der Zistrose-Proben (Abbildung 24).

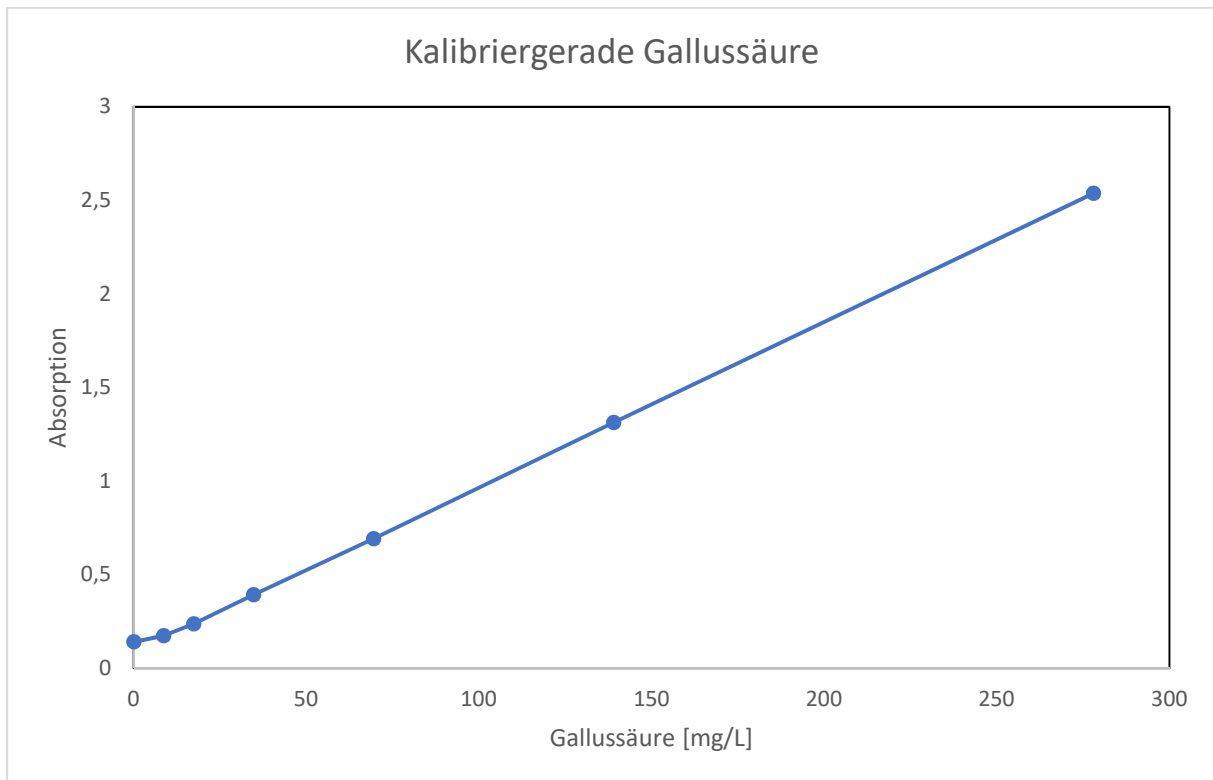


Abbildung 24: Kalibriergerade der Gallussäure nach der Methode von Folin-Ciocalteu

Die Zistrose-Extrakte wurden genauso wie die Gallussäure-Lösungen nach der Methode von Folin-Ciocalteu behandelt. Wie in Abbildung 25 beispielhaft dargestellt, konnte man dann für die Extrakte nach dieser Behandlung eine Blaufärbung erhalten. Die Intensität dieser Blaufärbung konnte dann gemessen werden und die Konzentrationen der in den Proben vorhandenen Polyphenole anhand der erhaltenen Signale aus der Kalibriergerade in Abbildung 24 bestimmt werden. Die erhaltenen Werte werden nach Konvention nicht direkt als „Gesamtpolyphenol-Gehalte“ bezeichnet, sondern „Gallussäure-Äquivalente“ genannt.



Abbildung 25: Zistrose-Extrakt vor (links) und nach Zugabe der Folin-Ciocalteu Reagenzien (rechts)

Darüber hinaus wurde die Gallussäure als Referenzsubstanz der Folin-Ciocalteu Methode auch gewählt für die angestrebte Sensor-Lösung. Dafür wurden Gallussäure-NIR-Spektren aufgenommen (Abbildung 26), so dass diese zur Korrelation mit gemessenen NIR-Spektren der Zistroseblätter herangezogen werden können.

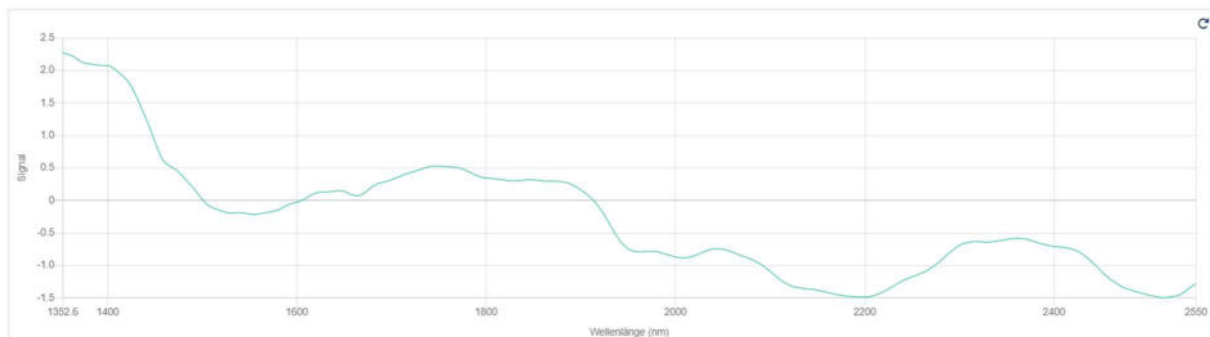


Abbildung 26: NIR-Referenzspektrum der Gallussäure

Mit den erhaltenen Referenzwerten aus der Folin-Ciocalteu Methode und den vorher aufgenommenen NIR-Spektren der Zistrose-Blätter wurden unterschiedliche statistische Auswertungsverfahren getestet, um eine Korrelation zwischen Spektren und nasschemischen Referenzwerten zu erstellen.

Zur Kalibrierung bzw. zur Erstellung eines geeigneten Vorhersagemodells wurden viele Daten benötigt. Um die spektralen NIR-Daten genauer auszuwerten, waren viele selbst durchgeführte chemische Referenzanalysen auf Basis der Folin-Ciocalteu Methode notwendig. Die eigene Methode zur chemischen Referenzanalytik wurde im

Projektzeitraum auch soweit modifiziert, dass von jeder Probe statt der ursprünglich benötigten 10 g Trockensubstanz letztendlich sogar nur 2 g ausreichten. Da eigene Fehler bei der chemischen Analytik ausgeschlossen werden sollten und um eine zuverlässige Validierung der spektralen Messungen zu ermöglichen, wurden drei getrocknete Zistroseproben an ein zertifiziertes Labor für eine externe Referenzanalytik geschickt.



Abbildung 27: Unterschiedliche Zistroseproben für die externe Analytik

Das erneute Problem der externen Referenzanalytik war die große benötigte Probemenge. Es wurde lediglich ein AnalySELabor gefunden, das nur eine Mindestmenge von 10 g Probenmaterial benötigte. Andere Anbieter gaben an, zwischen 50 g bis 200 g Trockensubstanz für die Analyse zu benötigen. Diese Menge an getrockneten Blättern von einer einzelnen Pflanze zu erhalten, wäre nicht möglich gewesen. Zudem wurde auch noch Probematerial für die eigene Analytik benötigt. Dieses Problem zeigt erneut auf, dass externe Referenzanalytik mit gängigen chemischen Methode für den Pflanzenbereich in der Regel schlecht umzusetzen ist.

Wie in Abbildung 27 schon deutlich zu erkennen, handelte es sich bei den drei Proben für die externe Referenzanalytik um unterschiedliche Zistroseproben. Obwohl gezielt drei unterschiedliche Zistroseproben gewählt wurden, waren nach Gutachten der externen Analytik die Gehalte an Polyphenolen sehr ähnlich (Tabelle 4).

Tabelle 4: Ergebnisse der externen Referenzanalytik

Bezeichnung	Gesamtpolyphenole (Gallussäureäquivalente) nach Folin
Probe 1	2,07 g/ 100 g
Probe 2	2,16 g/ 100 g
Probe 3	2,91 g/ 100 g

Die Ergebnisse des externen Labors bestätigten auch die eigenen Messungen. Sowohl die eigenen chemischen Referenzanalysen als auch die aufgenommenen NIR-Spektren der Proben waren auch sehr ähnlich. Zur Erstellung des Vorhersagemodells stellte dies leider eine Herausforderung dar, da für die Vorhersagemodelle Proben mit unterschiedlichen Polyphenolgehalten besser auszuwerten gewesen wären. In Abbildung 28 sind auch noch die Ergebnisse der spektralen Messung der drei eingeschickten Proben dargestellt.

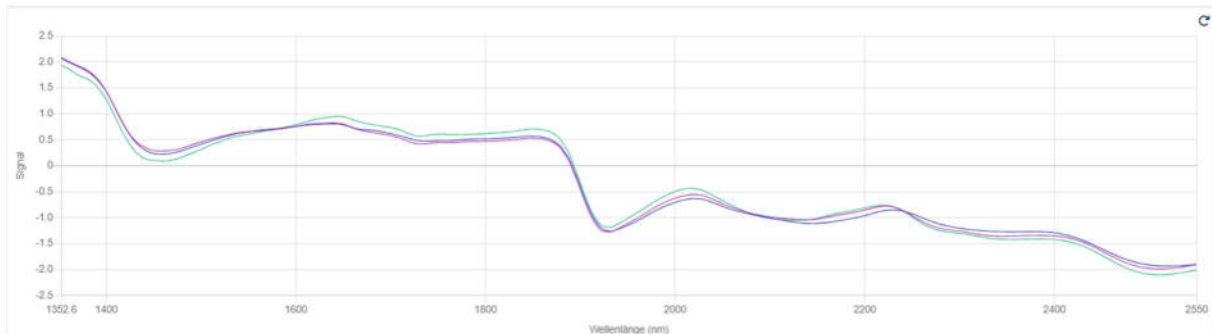


Abbildung 28: Spektrale Messergebnisse der drei Zistroseproben (Probe 1 = grünes Spektrum, Probe 2 = lila Spektrum, Probe 3 = blaues Spektrum)

In der Abbildung 28 lassen sich trotz der geringen Konzentrationsunterschiede an Polyphenolen leichte spektrale Unterschiede erkennen, die zur Auswertung herangezogen werden konnten. So konnten die Spektren mithilfe der Auswertesoftware nicht nur im ganzen sondern auch in einzelnen Wellenlängenbereichen genauer betrachtet und in Hinblick auf die Überschneidung mit Referenzdaten bewertet werden.

Da die meisten der vorhandenen Zistroseproben ähnliche Polyphenolgehalte aufwiesen und die Probenmenge junger Pflanzen in der Regel nicht ausreichten, wurden zusätzlich auch noch Proben von „Grünem Tee“ für die Analyse herangezogen. Grünem Tee werden ebenso wie der Zistrose durch den Gehalt höherer Konzentrationen an Polyphenolen gesundheitsfördernde Eigenschaften zugesprochen.

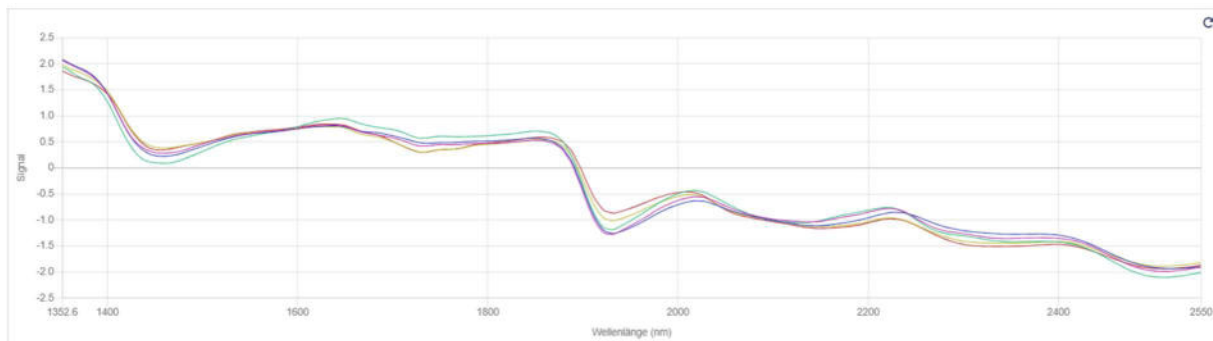


Abbildung 29: Spektrale Messergebnisse der drei Zistroseproben und zwei weiterer Proben „Grüner Tee“ (Probe 1 = grünes Spektrum, Probe 2 = lila Spektrum, Probe 3 = blaues Spektrum, Probe „Grüner Tee Nr.1“ = gelb, Probe „Grüner Tee Nr.2“ = rot)

In Abbildung 29 ist deutlich zu erkennen, dass grüner Tee ähnliche spektrale Eigenschaften ausweist und daher ebenfalls gut als Ergänzung für die Validierung des Systems genutzt werden konnte.

Im Rahmen des Projekts wurden umfangreiche Untersuchungen zum Polyphenolgehalt in Zistroseblättern durchgeführt. Diese Untersuchungen beinhalteten sowohl spektrale Messungen an Zistroseblättern als auch chemische Referenzanalysen nach der Folin-Ciocalteu-Methode, eine etablierte Methode zur Quantifizierung von Polyphenolen. Insbesondere bei größeren Pflanzen, die ausreichend Blattmaterial für die Analytik boten, wurden Blätter geerntet, sorgfältig getrocknet und anschließend chemisch untersucht. Zusätzlich wurden auch im Handel erhältliche Zistrosetee-Proben in die Analyse einbezogen.

Die Ergebnisse dieser Analysen zeigten, dass die Gesamtpolyphenolgehalte in den Zistroseproben in einem Bereich von 15 bis 32 mg/g Gallic Acid Equivalent (GAE) lagen. Der Gesamtpolyphenolgehalt in Zistrose wird aufgrund des Gallussäure-Standards der Folin-Ciocalteu-Methode und zur besseren Vergleichbarkeit in mg GAE pro Gramm Trockengewicht der Pflanze angegeben. Diese Werte spiegeln die hohe Konzentration und Vielfalt der in Zistrose enthaltenen Polyphenole wider und unterstreichen das Potenzial dieser Pflanze als Quelle für antioxidative Verbindungen.

Die Verifizierung der eigenen Messergebnisse wurde durch zusätzliche Analysen in einem externen Labor ermöglicht. Die Werte von drei ausgewählten Zistrosepflanzen wurden dort bestätigt (siehe Tabelle 4). Diese unabhängige Überprüfung stärkt das Vertrauen in die Validität der eigenen Ergebnisse und Methoden.

In der spektralen Auswertung der Proben wurde ebenfalls durch die Bewertung der Absorptionshöhe der einzelnen Messungen deutlich, dass die Polyphenolgehalte der Proben alle in einem ähnlichen Konzentrationsbereich liegen (Abbildung 30). Dies deutet auf eine gewisse Konsistenz in der Zusammensetzung der Polyphenole in den untersuchten Zistroseproben hin.

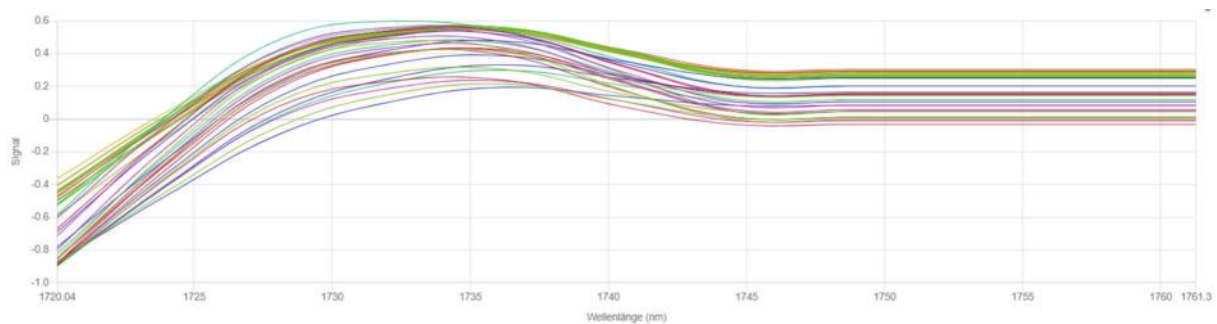


Abbildung 30: Spektrale Messergebnisse von unterschiedlichen Zistroseproben im Überblick

Im Vergleich zu anderen wissenschaftlichen Veröffentlichungen zeigten einige Studien jedoch höhere Gesamtpolyphenolgehalte für Zistrosepflanzen. Beispielsweise wurden von S. Pielorz et al., 2023 Werte zwischen 36,4 und 69,8 mg/g GAE¹⁵ und in der Veröffentlichung von V. Dimcheva & M. Karsheva, 2018 Werte zwischen 36,26 und 115,32 mg/g GAE¹⁶ festgestellt. Diese Unterschiede in den Messergebnissen können auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden.

Erstens können die Gesamtpolyphenolgehalte von der spezifischen Zistroseart abhängen. Unterschiedliche Arten der Gattung *Cistus* können variierende Mengen und Arten von Polyphenolen enthalten. Zweitens spielen die Wachstumsbedingungen eine wesentliche Rolle. Faktoren wie Bodenbeschaffenheit, Klima, Sonneneinstrahlung und Wasserverfügbarkeit können die Synthese von Polyphenolen in Pflanzen beeinflussen. Darüber hinaus können auch die Verarbeitungsmethoden, einschließlich der Art und Weise, wie die Blätter geerntet, getrocknet und gelagert werden, einen signifikanten Einfluss auf den Polyphenolgehalt haben.

Die Durchführung der Extraktion und der Analytik sind ebenfalls kritische Schritte, die die Ergebnisse beeinflussen können. Verschiedene Extraktionsmethoden können unterschiedliche Mengen und Arten von Polyphenolen aus dem Pflanzenmaterial extrahieren. Die Wahl des Lösungsmittels, die Extraktionszeit und die Temperatur sind

wichtige Faktoren, die die Effizienz der Polyphenolextraktion bestimmen. Die Referenzanalysemethoden selbst, wie die Folin-Ciocalteu-Methode, hat ihre eigenen Grenzen und Variabilitäten, die berücksichtigt werden müssen.

Zusammenfassend zeigt diese umfassende Untersuchung des Polyphenolgehalts in Zistrose, dass diese Pflanze eine reiche Quelle für antioxidative Verbindungen ist. Die Variabilität in den Ergebnissen zwischen verschiedenen Studien unterstreicht jedoch die Notwendigkeit einer standardisierten Methodik in der Ernte, Verarbeitung und Analyse, um vergleichbare und zuverlässige Daten zu erhalten. Weitere Forschungen sind erforderlich, um die genauen Mechanismen zu verstehen, die den Polyphenolgehalt in verschiedenen Zistrosearten beeinflussen, sowie um die potenziellen gesundheitlichen Vorteile dieser vielversprechenden Pflanzenfamilie weiter zu erforschen.

Pflanzenroboter (AP 2, AP 4, AP 5, AP 6)

Auswahl Farmbot Genesis:

Der FarmBot Genesis, den wir für unser Pflanzenzuchtprojekt ausgewählt haben, ist ein hochmodernes und vielseitiges Gerät, das speziell für präzise und flexible Pflanzenzucht entwickelt wurde. Er ist ideal geeignet, um Lebensmittel mit höchster Präzision anzubauen, komplexe Experimente durchzuführen und lässt sich einfach modifizieren und erweitern.

Einige Schlüsseleigenschaften des FarmBot Genesis, die ihn besonders attraktiv für unser Projekt machen, sind:

DIY und Anpassungsfähigkeit: Alle Kits des Genesis dienen als flexible DIY-Plattformen für Experimente und Modifikationen. Mit dem Universal-Werkzeugmontagesystem können eine Vielzahl von Werkzeugen montiert und genutzt werden.

Open-Source-Prinzip: Der FarmBot Genesis ist zu 100% Open-Source, was bedeutet, dass alle CAD-Modelle, Schaltpläne, Stücklisten und mehr frei verfügbar sind. Dies bietet große Möglichkeiten für Studenten, Macher und Wissenschaftler, die Plattform voll auszunutzen.

Universelle Werkzeugmontage: Der Universal Tool Mount (UTM) ermöglicht es, eine Vielzahl von leichten Werkzeugen zu montieren und zu demontieren – je nach Bedarf für die jeweilige Aufgabe (Aussaat, Bewässerung, Unkrautentfernung usw.).

Die Wahl des FarmBot Genesis für unser Projekt basiert auf diesen fortschrittlichen Funktionen und der Flexibilität, die er bietet. Mit seiner Anpassungsfähigkeit, Open-Source-Natur und der Vielzahl an Werkzeugen, die speziell für die Gartenarbeit entwickelt wurden, ist er ein ideales Werkzeug für die präzise und effiziente Pflanzenzucht.

Lieferschwierigkeiten:

Der erste von zwei FarmBots, ein integraler Bestandteil unseres Projekts, wurde im Sommer 2021 bestellt. Aufgrund der aktuellen Marktsituation bot der Hersteller nur die neueste Generation des FarmBots an, weshalb eine Vorbestellung erforderlich war. Die Auslieferung war ursprünglich für August/September 2021 geplant. Jedoch führten globale Materiallieferengpässe und logistische Probleme in der Schifffahrt an der Westküste der USA zu unerwarteten Verzögerungen. Die Auslieferung des Farmbots hatte sich dann auf fast ein Jahr hingezogen. Wir hatten aufgrund der Lieferschwierigkeiten mit dem ersten Farmbot auf die Bestellung eines zweiten Farmbots verzichtet, da wir die begründeten Bedenken hatten, dass der zweite Farmbot erst nach Ende des Projektes geliefert werden würde.

Da die nötigen Softwareinformationen des Farmbots open source zur Verfügung standen, konnte dennoch planmäßig im Projekt z.B. mit der Softwareentwicklung weitergearbeitet werden (Abbildung 31).

Im Folgenden wird beispielhaft auf den Teil der Software eingegangen, der direkt mit dem Farmbot kommuniziert.

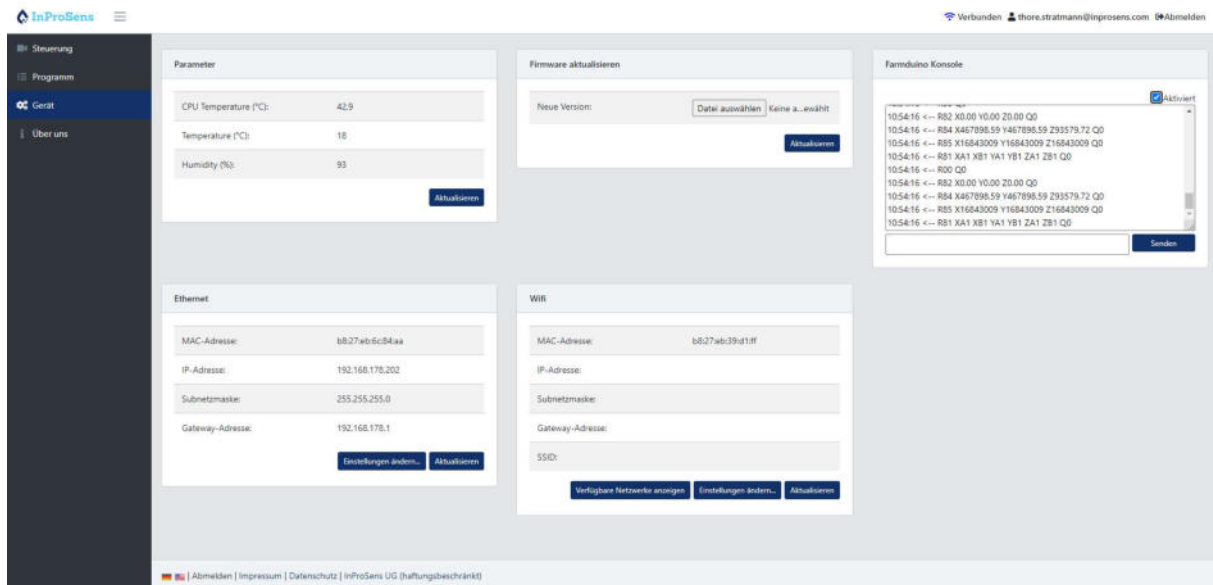


Abbildung 31: Screenshot Software-Oberfläche: Grundstein Farmbot

Im Screenshot ist der Menüpunkt "Gerät" ausgewählt. Unter diesem Menüpunkt finden sich verschiedene Unterpunkte, die es dem Benutzer ermöglichen, den Farmbot und seine Funktionen direkt zu steuern und anzupassen:

Parameter: Hier werden wichtige Echtzeitinformationen über den Farmbot angezeigt, wie die aktuelle CPU-Temperatur, die Außentemperatur und die Luftfeuchtigkeit. Diese Daten sind entscheidend, um sicherzustellen, dass der Farmbot unter optimalen Bedingungen operiert und keine Überhitzung oder andere wetterbedingte Probleme auftreten.

Firmware aktualisieren: Dieser Bereich ermöglicht es dem Benutzer, die Software des Farmbots auf dem neuesten Stand zu halten. Wenn eine neue Firmware-Version verfügbar ist, kann sie hier heruntergeladen und installiert werden, um die Leistungsfähigkeit und Sicherheit des Systems zu verbessern.

Farmduino Konsole: In dieser Konsole können spezielle Befehle an den Farmbot gesendet werden. Dies kann für eine Vielzahl von Aufgaben nützlich sein, wie zum Beispiel die Positionierung der Kamera oder andere spezifische Aktionen, die über die Standardautomatisierung hinausgehen.

Ethernet: Dieser Bereich dient der Konfiguration der Ethernet-Schnittstelle des Farmbots. Eine stabile und sichere Netzwerkverbindung ist für die Fernüberwachung und -steuerung des Roboters unerlässlich.

Wifi: Ähnlich wie die Ethernet-Konfiguration erlaubt dieser Menüpunkt dem Benutzer, die Wifi-Schnittstelle des Farmbots zu konfigurieren. Dies ist besonders wichtig in Umgebungen, wo eine kabelgebundene Verbindung nicht möglich oder praktikabel ist.

Nach der Lieferung der Grundbauteile konnte mit dem Aufbau des Systems begonnen werden. Dieser Prozess umfasste nicht nur den physischen Aufbau des Farmbots, sondern auch die Anpassung der Halterungen für die verschiedenen Bauelemente. Nachdem die Einzelteile zusammengesetzt und auf ihre Funktionalität getestet wurden, wurde das System zu seinem Einsatzort bei dem OG-Mitglied Piccoplant transportiert.



Abbildung 32: Aufgebauter Farmbot, der bereit für die ersten Funktionstests ist

Nach dem erfolgreichen Aufbau des FarmBots bei Piccoplant, einem wichtigen Schritt in unserem Projekt, konnten die im Vorfeld geplanten Halterungen für das Spektrometer getestet werden. Diese Tests sind entscheidend, um sicherzustellen, dass das Spektrometer korrekt positioniert ist und effizient arbeiten kann. Weitere Anpassungen für einen reibungslosen Betrieb des Spektrometers im Zusammenspiel mit dem FarmBot wurden im Laufe des Projektes vorgenommen. Ziel war es, eine nahtlose Integration und maximale Effizienz zu erreichen.



Abbildung 33: Farmbot aufgebaut bei der Firma Piccoplant

Während des Berichtszeitraums wurden auch erhebliche Fortschritte in der Softwareintegration des FarmBots erzielt. Nach der Lieferung des FarmBots wurden verschiedene Software-Updates implementiert und die Software in Kombination mit dem FarmBot getestet. Diese Tests waren wesentlich, um die Funktionalität und Zuverlässigkeit des Systems zu gewährleisten. Während dieser Testphase wurden mehrere Bugfixes an der bestehenden Software durchgeführt, um die Stabilität und Performance zu verbessern. Besonders bemerkenswert ist der erstmalige erfolgreiche Test des Fernzugriffs auf die FarmBot-Software, was einen wichtigen Meilenstein für die Fernüberwachung und -steuerung des Systems darstellt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt unserer Arbeit war die Integration und das Testen des CO₂-Parameters als zusätzlicher Faktor neben Feuchtigkeit und Temperatur. Diese Integration zielt darauf ab, die Überwachung und Steuerung des Pflanzenwachstums weiter zu verfeinern. Durch die Berücksichtigung des CO₂-Levels können wir die Umweltbedingungen noch genauer auf die Bedürfnisse der Pflanzen abstimmen.

Schließlich wurden im Bereich der Software auch Optimierungsschritte zur Ansteuerung der Anlage im Outdoor-Bereich integriert. Diese Anpassungen sind entscheidend, um die Leistungsfähigkeit des FarmBots unter verschiedenen Umweltbedingungen zu gewährleisten. Fehlerbehebungen und Verbesserungen, die das Handling des Systems erleichtern, wurden ebenfalls umgesetzt.

Insgesamt zeigen diese Entwicklungen, wie die Leistungsfähigkeit des Pflanzenroboters kontinuierlich verbessert und an die spezifischen Anforderungen des Projektes angepasst wurden. Durch diese fortlaufenden Verbesserungen können die Effizienz und Genauigkeit dieser landwirtschaftlichen Technologie erhöht werden.

LED-Lichtquellen:

LED-Lichtquellen für Pflanzen sind speziell darauf ausgelegt, das Wachstum von Pflanzen zu fördern, indem sie ein für die Photosynthese optimiertes Lichtspektrum bereitstellen. Diese Lichter emittieren Wellenlängen, die besonders effektiv für verschiedene Wachstumsstadien der Pflanzen sind. Beispielsweise fördern blaue Lichtspektren das Blattwachstum, während rote Spektren die Blüte und Fruchtentwicklung unterstützen. LEDs sind energieeffizient, erzeugen weniger Wärme und ihre Lichtintensität sowie das Spektrum können präzise gesteuert werden, was sie ideal für den Einsatz in Gewächshäusern oder Indoor-Gärten macht.

In der erweiterten Betrachtung des Projekts wurde ein besonderer Fokus auf die Analyse und den Vergleich der Lichtspektren verschiedener LED-Lichtquellen gelegt, um deren Einfluss auf das Pflanzenwachstum zu verstehen. Dabei ist es entscheidend, genau zu bestimmen, welches Spektrum jede Lampe bietet. Unterschiedliche Spektren haben variierende Auswirkungen auf verschiedene Wachstumsphasen der Pflanzen. Die blaue und rote Spektralbereiche sind besonders förderlich für Wachstum und Blüte. Zusätzlich zur Spektrum Analyse ist die korrekte Positionierung der Lampen von großer Bedeutung. Der Winkel, in dem die Lampen angebracht werden, spielt eine entscheidende Rolle, um sicherzustellen, dass die Pflanzen gleichmäßig und effektiv beleuchtet werden. Eine optimale Ausrichtung der Lichtquellen gewährleistet, dass die gewünschte Fläche mit dem richtigen Spektrum beleuchtet wird, was wiederum eine zentrale Voraussetzung für das erfolgreiche Pflanzenwachstum ist. Dieser ganzheitliche Ansatz in der Beleuchtungstechnik ermöglicht eine präzise Steuerung der Wachstumsbedingungen, was zu einer verbesserten Pflanzenentwicklung führt.

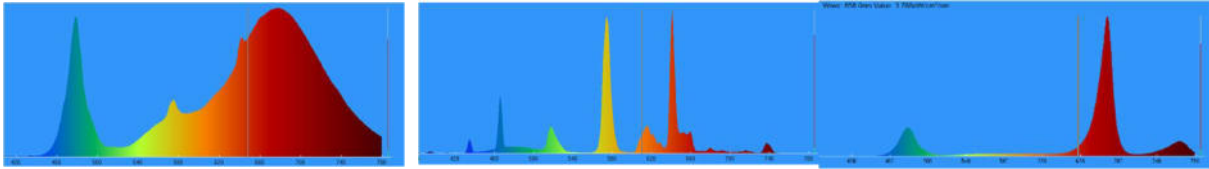


Abbildung 34: Vergleich verschiedener LED-Spektren

Es wurden passende Lampenmodule für die aktuelle Wachstumsphase der Zistrose-Pflanzen getestet.

Um eine ausreichende Beleuchtung der Pflanzen sicherzustellen, wurde ein LED-Panelmodul gewählt. Dieses deckt ein breites Wellenlängenspektrum ab. Das ViparSpectra Modul P2000 hat sich bei Versuchen als gute Lösung für eine LED-Beleuchtung herausgestellt.

Kastenmodul:

Dieser Abschnitt behandelt die Entwicklung des Kastenmoduls für die Pflanzenanzucht. Dieses Modul ist darauf ausgelegt, eine präzisere Kontrolle über die Wachstumsbedingungen der Pflanzen zu ermöglichen. Die zentrale Innovation dieses Systems liegt in seiner Fähigkeit, die wichtigsten Wachstumsparameter effektiv zu regulieren, was für die Gesundheit und das Wachstum der Pflanzen von entscheidender Bedeutung ist.

Ein Schlüsselement des Kastenmoduls ist das auf Aktivkohlefilter basierende Lüftungssystem. Dieses System sorgt für eine erhöhte Reinheit der Zuluft in dem Anzuchtbereich. Durch die Filtration von Schadstoffen und Pathogenen aus der Luft wird das Risiko von Krankheiten, die sich unter den Pflanzen ausbreiten könnten, erheblich reduziert. Dies ist besonders wichtig in geschlossenen Anbausystemen, wo Pflanzen dicht beieinanderstehen und somit anfälliger für die schnelle Ausbreitung von Krankheiten sind.

Die Integration von Sensoren in das Robotersystem spielt eine wesentliche Rolle bei der Optimierung der Wachstumsbedingungen. Diese Sensoren sind in der Lage, wichtige Umgebungsparameter wie Luftfeuchtigkeit, Temperatur und CO₂-Konzentration kontinuierlich zu messen. Auf Basis dieser Daten kann das System automatisch Anpassungen vornehmen, um die idealen Wachstumsbedingungen aufrechtzuerhalten. Beispielsweise kann bei zu niedriger Luftfeuchtigkeit die Bewässerung erhöht oder bei zu hoher Temperatur die Belüftung verstärkt werden.



Abbildung 35: Kastenmodul im Aufbau

Das Design des Kastenmoduls berücksichtigt auch die physischen Anforderungen des Robotersystems, insbesondere des Roboterarms, der sich auch nach oben bewegen kann. Um diesem Bedarf gerecht zu werden, musste das Kastensystem eine Höhe von über zwei Metern aufweisen. Die gewählte Lösung war eine Folientunnelvariante mit aufrollbaren Seitenwänden. Dieses Design bietet nicht nur die benötigte Höhe, sondern ermöglicht auch einen einfacheren Wartungszugang zum Robotersystem.



Abbildung 36: Belüftungssystem mit integriertem Aktivkohle-Filter

Das Belüftungssystem wurde seitlich am Folientunnel angebracht. Durch die Abdichtung des restlichen Tunnels konnte ein Überdruck im Inneren erzeugt werden, der hilft, die Luftqualität auf einem hohen Niveau zu halten. Die Ansteuerung des Belüftungssystems wurde so konfiguriert, dass die Lüfterstärke in Abhängigkeit von den vom Robotersystem gemessenen Parametern reguliert werden kann. Dies ermöglicht eine dynamische Anpassung an die Bedürfnisse der Pflanzen und die jeweiligen Umweltbedingungen, wodurch ein optimales Wachstumsumfeld geschaffen wird.

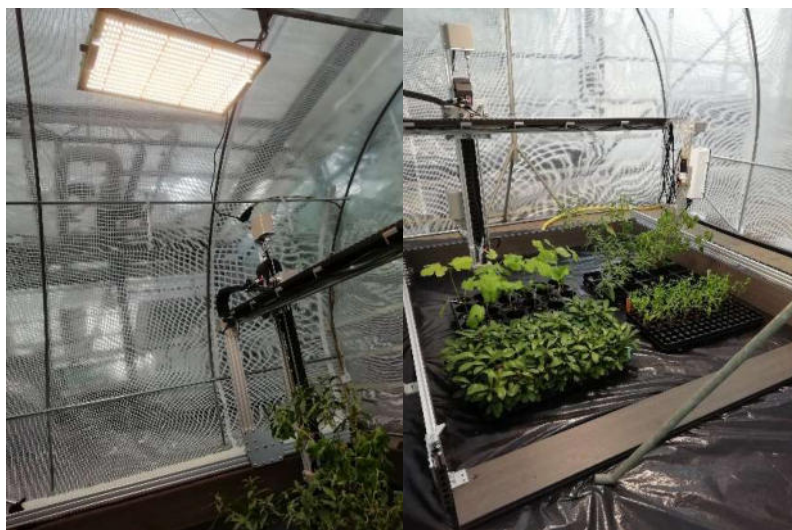


Abbildung 37: LED-Beleuchtung im Kastenmodul

Aus den Erfahrungen dieses Indoor-Aufbaus wurden dann Planungen für die Übertragung des Systems in den Outdoor-Bereich erstellt.

Outdooreinsatz:

Im Berichtszeitraum wurde der Aufbau des Robotersystems für den Outdoor-Einsatz weiter geplant und mit Start der wärmeren Monate auch durchgeführt.

In den folgenden Abbildungen ist der Aufbau genauer dargestellt:



Abbildung 38: Outdoor-Aufbau des Robotersystems



Abbildung 39: Outdoor-Aufbau des Gehäuses

In Abbildung 38 ist der Aufbau des Robotersystems und in Abbildung 39 das Gerüst des Außengehäuses dargestellt.



Abbildung 40: Abgeschlossener Outdoor-Aufbau

In Abbildung 40 ist der finale Outdoor-Aufbau zu sehen. Um einer zu hohen Luftfeuchtigkeit und damit Schimmelbildung auf den Pflanzen oder der Erde vorzubeugen, wurde auch darauf verzichtet das Gehäuse zum Schutz komplett zu schließen.



Abbildung 41: Innenansicht des Aufbaus

Die Innenansicht ist in Abbildung 41 dargestellt. In Abbildung 42 ist dargestellt, wie gezielt sich der Roboter einer bestimmten Pflanze nähern kann.



Abbildung 42: Ansteuerung des Roboters

Im Projektzeitraum wurde die Anlage sowohl im Innenbereich als auch im Außenbereich regelmäßig betreut. Neben Optimierungen und Tests am Aufbau wurden zusätzlich auch manuelle Messungen mit dem NIR-Sensor durchgeführt.

Während des Outdoor-Betriebes ereigneten sich leider in den Sommermonaten eine ungewöhnlich hohe Anzahl starker Stürme. In Anbetracht der Wetterlage musste die Station zwischenzeitlich auch abgebaut und in den Indoor-Bereich verlagert werden. Die Gefahr erschien zu groß, dass das Zelt wegweht oder die elektronischen und mechanischen Komponenten der Anlage durch den Wind selbst oder durch umherfliegende Gegenstände beschädigt werden.

2.4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen

Das Ergebnis des Projekts zur Entwicklung nachhaltiger Indoor-Farming-Systeme, insbesondere im Kontext von Zistrosepflanzen, trägt ebenfalls zu förderpolitischen EIP-Themen bei:

1. Nachhaltige Landwirtschaft: Die Zistrose ist eine nährstoffarme und robuste Pflanze, die wenig anfällig für Schädlinge ist. Ihre Anbauweise in Indoor-Farming-Systemen fördert eine nachhaltige Landwirtschaft, da der Bedarf an Pestiziden und Düngemitteln stark reduziert wird. Dies unterstützt das Ziel von

EIP Agri, umweltfreundliche und nachhaltige landwirtschaftliche Praktiken zu fördern.

2. Ressourceneffizienz: Durch den Indoor-Anbau von Zistrosepflanzen auf engstem Raum wird der Platzbedarf minimiert, während moderne Wasserversorgungskonzepte den Wasserverbrauch reduzieren. Dies erhöht die Ressourceneffizienz und entspricht somit den Förderzielen von EIP Agri.
3. Innovation und Forschung: Die Anbau- und Pflegepraktiken für Zistrosepflanzen in Indoor-Farming-Systemen erfordern innovative Herangehensweisen. Dies trägt zur Weiterentwicklung von Anbausystemen und agrarwissenschaftlicher Forschung bei, was im Einklang mit den EIP-Themen steht.
4. Anpassung an den Klimawandel: Der Anbau von Zistrosepflanzen in Indoor-Systemen ermöglicht eine gezielte Kontrolle der Umgebungsbedingungen. Dies kann dazu beitragen, die Auswirkungen des Klimawandels auf die Pflanzenproduktion zu minimieren und trägt somit zur Anpassung an den Klimawandel bei.
5. Zusammenarbeit und Wissenstransfer: Die Implementierung von Indoor-Farming-Systemen für Zistrosepflanzen erfordert die Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen, Beratungsdiensten und landwirtschaftlichen Betrieben. Dies unterstützt den Wissenstransfer und den kooperativen Ansatz von EIP Agri.

Insgesamt trägt das Ergebnis des Projekts zur Entwicklung nachhaltiger Indoor-Farming-Systeme, insbesondere in Bezug auf Zistrosepflanzen, zu den förderpolitischen EIP-Themen bei, indem es auf Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz, Innovation, Klimawandelanpassung und Zusammenarbeit fokussiert und somit den Zielen von EIP Agri entspricht.

2.4.5 Nebenergebnisse

Neben den eigentlichen Projektzielen sind keine signifikanten Nebenergebnisse erzielt worden.

2.4.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung/zu keinem Ergebnis geführt haben

Für alle Kernarbeiten des Projektes wurden Ergebnisse erzielt.

2.4.7 Mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern

Eine direkte weitere Verwendung der beantragten Investitionsgüter (FarmBot, Spektrometer) nach Projektende ist aktuell nicht geplant. Falls auf Grundlage der Ergebnisse ein neues EIP-Projekt gestartet werden könnte, ist der erneute Einsatz der Investitionsgüter aber durchaus möglich.

2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Innovative Indoor-Farming-Module mit integrierten Sensorik- und Digitalisierungslösungen sorgen für eine Weiterentwicklung bisheriger Agrarbewirtschaftungssysteme. Sie sind ein Schritt zur Entwicklung nachhaltiger und ressourcenschonender Bioökonomie. Durch eine automatisierte Analyse wichtiger Wachstums- und Umweltparameter kann das Wachstum der Pflanzen gezielt optimiert werden. Eine bessere Kontrolle der Anbaubedingungen kann sowohl den Wasserverbrauch als auch den Einsatz von Pestiziden deutlich reduzieren.

2.6 Geplante Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Die gewonnenen Ergebnisse können für weitere Projekte verwendet werden, welche das Thema Sensorik im Gartenbau aufgreifen. Die Integration von Sensorik und digitaler Datenauswertung in den Anbau verschiedener Pflanzenarten wird ein zunehmend wichtiger Aspekt nachhaltiger Bewirtschaftung. Die stetige Weiterentwicklung der Robotik und künstlichen Intelligenz führt außerdem zu mehr Automatisierung in Wachstumsrelevanten Prozessen des Pflanzenanbaus wie Bewässerung oder Pflanzenschutz.

Zistrosen eignen sich gut zur Nutzbarmachung karger Böden, da sie an trockene und nährstoffarme Lebensräume angepasst sind. Durch die zunehmende Austrocknung der Böden und den steigenden Temperaturen im Rahmen des Klimawandels, wird der Anbau von Zistrosen in unseren Breitengraden grundsätzlich möglich. Die Pflanzen werden über das Projektende hinaus weiter kultiviert. Anbauversuche über einen längeren Zeitraum sind denkbar.

2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Das Projekt zeichnet sich durch seine innovative Kombination von fortgeschrittener Pflanzenzuchttechnologie und moderner Analyseinstrumentation aus. Es stellt einen bedeutenden Schritt in der biologischen als auch instrumentellen Forschung dar, indem es neue Möglichkeiten für die Pflanzenkultivierung und -analyse unter Einsatz modernster technologischer Lösungen aufzeigt.

Die entwickelte Kombination aus Pflanzenroboter und Sensormesstechnik kann als ein neues System für die Überwachung und Steuerung von Pflanzenwachstumsphasen angeboten werden. In wissenschaftlicher Hinsicht wäre dabei zukünftig neben der sensorischen Erfassung von Polyphenolen auch eine Erweiterung der Messparameter im Bereich Pflanzeninhaltsstoffe interessant.

Die sensorische Erfassung und digitale Auswertung von Umweltparametern werden darüber hinaus auch zunehmend in andere Projekte integriert. In Kooperation mit der Uni-Oldenburg werden z.B. im Rahmen des Mikroklee-Projektes aktuell automatisierte Messungen der Bodenfeuchtigkeit über einen längeren Zeitraum durchgeführt, wodurch der Einfluss von Mikroklee als Bodendecker auf die Bodenfeuchte, untersucht werden kann.

Die standardisierte Kultivierung von Arzneipflanzen und die kontrollierte Produktion pharmazeutisch relevanter sekundärer Pflanzenstoffe wird auch für den Anbau anderer Arzneipflanzen wie Cannabis, in Zukunft ein wichtiges Thema sein.

In wirtschaftlicher Hinsicht besonders interessant ist die mögliche Symbiose der Zistrose (*Cistus incanus*) mit Burgundertrüffeln (*Tuber aestivum/unicatum*). Die Wurzeln der Zistrosen werden hierbei mit Trüffelpilzsporen beimpft (Trüffelmykorrhiza). Dies bedeutet für den zukünftigen Nutzen sowohl den gesundheitsfördernden und heilenden Aspekt des Tees gegen Virusinfektionen im Bronchial- und Lungenbereich aber auch neue landwirtschaftliche Einnahmequellen durch Trüffel-Gewinnung. Durch die attraktiven Blüten sind Zistrosen für Bienen interessant und dienen als attraktives Ziergehölz.

2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept:

Über das Projekt haben alle OG-Mitglieder auf ihren Internetseiten informiert. Darüber hinaus wurde das Projekt in der Datenbank der Deutschen Vernetzungsstelle Ländliche Räume (DVS) veröffentlicht. Die Zistroseaufzucht in Kombination mit dem Pflanzenroboter und der Sensorik bei dem OG-Mitglied Piccoplant wurde unterschiedlichen Besuchergruppen vor Ort präsentiert. Weitere Kontakte konnten beispielsweise auch im Rahmen des DVS-Workshops "Regionale Wertschöpfung und Biotechnologie" geknüpft werden. Die Ergebniszusammenfassung des Projektes wurde als einseitiges Dokument ebenfalls auf den Homepages veröffentlicht.

Literaturverzeichnis

1. Agnieszka Stępien et al. (2018)
Biological properties of *Cistus* species
Eur J Clin Exp Med 2018; 16 (2): 127–132.
2. Tariq Khan et al. (2019)
Anticancer Plants: A Review of the Active Phytochemicals, Applications in Animal Models, and Regulatory Aspects
Biomolecules MDPI
3. Agnieszka Ewa Stępień (2017)
Cytotoxic and anti-cancer activity of the *Cistus* species of herbal plants
Eur J Clin Exp Med 2017; 15 (2): 165–168
4. Giovanna Arrone* and Veronica De Mich (2001)
Seasonal Dimorphism in the Mediterranean *Cistus incanus* L. subsp. *incanus*
Annals of Botany 87: 787-794.
5. Daniel Cozzolino (2009)
Near Infrared Spectroscopy in Natural Products Analysis
Planta Medica, 746-754.
6. Bec, KB and Huck, CW (2019)
Breakthrough Potential in Near-Infrared Spectroscopy: Spectra Simulation. A Review of Recent Developments.
Frontiers in Chemistry, 7:48. doi: 10.3389/fchem.2019.00048
7. Haidy A. Gad et al. (2012)
Application of Chemometrics in Authentication of Herbal Medicines: A Review
Phytochemical Analysis, wiley-onlinelibrary, DOI 10.1002/pca.2378
8. Stephanie Regensburg et al. (2017)
Potent in vitro antiviral activity of *Cistus incanus* extract against HIV and Filoviruses targets viral envelope proteins
Nature Scientific Reports | 6:20394 | DOI: 10.1038/srep20394
9. Dariusz Szeremeta et al. (2017)
Qualitative Evaluation of Composition of the Volatile Fraction in Commercial Samples of *Cistus inc.*
Acta Chromatographica 29 (3), 427–442

10. Paweł Kubica et al. (2017)
In vitro shoot cultures of pink rock-rose (*Cistus ×incanus* L.) as a potential source of phenolic compounds
Acta Societatis Botanicorum Poloniae 11, 1-11.
11. Agnes M. Móricetz et al. (2018)
Antibacterial potential of the *Cistus incanus* L. phenolics as studied with use of thin-layer chromatography combined with direct bioautography and in situ hydrolysis
J. Chromatogr. A, 2018, Doi: 10.1016/j.chroma.
12. Katarzyna Gaweł-Beben et al. (2020)
Characterization of *Cistus × incanus* L. and *Cistus ladanifer* L. Extracts as Potential Multifunctional Antioxidant Ingredients for Skin Protecting Cosmetics
Antioxidants MDPI-online
13. Agnieszka Viapiana et al. (2017)
Cistus incanus L. commercial products as a good source of polyphenols in human diet
Industrial Crops & Products 107, 297-304.
14. Anna Roidaki et al. (2016)
Superfoods and Superherbs: Antioxidant and Antifungal Activity
Current Research in Nutrition and Food Science Vol. 4, 138-145.
15. Sonia Pielorz et al. (2023)
Quantitative Determination of Polyphenols and Flavonoids in *Cistus incanus* on the basis of IR, NIR and Raman Spectra,
Molecules, 28, 161.
16. Vanya Dimcheva & Maria Karshava (2018)
Cistus incanus from Strandja Mountain as a Source of Bioactive Antioxidants,
Plants, 7,8.