



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft



---

Schlussbericht zum Thema

00. Monat 2024

---

Hochqualitative und nährstoffreiche Lebensmittel  
durch aus Gemüseabfällen gewonnene  
Biostimulanzien und Biopestiziden

FKZ: 2819OE150

Projektnehmer/Projektnehmerin:

**Institut für Lebensmittel- u. Umweltforschung e.V.**

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau.

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische Landwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der BÖL-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in die Praxis umgesetzt. Das Programm gliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder - das Forschungs- und das Informationsmanagement.

**Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter:**

[www.bundesprogramm.de](http://www.bundesprogramm.de)  
[www.oekolandbau.de/forschung](http://www.oekolandbau.de/forschung)

**Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:**

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Bundesprogramm Ökologischer Landbau  
Deichmanns Aue 29  
53179 Bonn  
Tel.: 0228-6845-3280  
E-Mail: [boel-forschung@ble.de](mailto:boel-forschung@ble.de)

# Schlussbericht

## Zuwendungsempfänger:

Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V. (ILU)  
Papendorfer Weg 3  
14806 Bad Belzig

## Titel des Forschungsvorhabens:

Hochqualitative und nährstoffreiche Lebensmittel durch aus Gemüseabfällen gewonnene Biostimulanzien und Biopestiziden (Bio4Food)

## Förderkennzeichen:

2819OE150

## Laufzeit des Vorhabens:

01.11.2020 – 30.04.2024

## beteiligte Kooperationspartner:

- P1:** Universität Gent (UGent, Gent, Belgien), Prof. Dr. Danny Geelen
- P2:** Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente (CREA, Bari, Italien), Dr. Mariangela Diacono
- P3:** Abdelmalek Essaadi University (FSST, Tangier, Marokko), Prof. Dr. Abderrazak Rfaki
- P4:** Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V. (ILU, Bad Belzig, Deutschland), Prof. Dr. Daniel Pleissner
- P5:** Ajinomoto Omnicem (Wetteren, Belgien), Pieter van Grieken

Gefördert durch



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## **Kurzfassung**

**Titel:** Hochqualitative und nährstoffreiche Lebensmittel durch aus Gemüseabfällen gewonnene Biostimulanzien und Biopestiziden  
**Autor:** Martin Almendinger  
**Kontakt:** Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V., Papendorfer Weg 3, 14806 Bad Belzig, [martin.almendinger@ilu-ev.de](mailto:martin.almendinger@ilu-ev.de)

Eine weit verbreitete Anwendung von persistierenden, synthetischen Pestiziden in der Landwirtschaft stellt ein erhebliches Risiko für die Biodiversität und die Umwelt dar. Darüber hinaus werden Pestizide von der Allgemeinheit als problematisch angesehen und die Öffentlichkeit setzt sich vermehrt für Produkte ein, die frei von persistierenden Pestiziden sind. Landwirt\*innen stehen vor der Aufgabe, sich mit diesen Sorgen auseinanderzusetzen und ein nachhaltiges Gleichgewicht zwischen „umweltfreundlicher“ und „profitabler“ Pflanzenproduktion zu finden. Um die Bedenken der Landwirt\*innen und Verbraucher\*innen zu berücksichtigen, ist es notwendig, neue Wege zu finden, um die Ernteerträge zu sichern, Nahrungs- und Ernteabfälle zu minimieren und Gemüse und Obst mit gesundheitsfördernden Eigenschaften zu produzieren. Im Rahmen des Bio4Food-Projekts wurden diese drei Gesichtspunkte behandelt und es wurde eine Strategie zur Wiederverwertung von Ernterückständen verfolgt. Vom ILU wurden daher Ernterückstände von Tomaten, Fenchel, Artischocke, Basilikum und Petersilie verwendet, um biostimulierende und biopestizid wirkende Extrakte herzustellen. Besonders die Extrakte aus Basilikumrückständen waren reich an phenolischen Verbindungen und wiesen eine hohe antioxidative Kapazität auf – im Vergleich zu den Extrakten der anderen Reststoffe.

Von Projektpartnern aus Belgien und Italien wurden die Extrakte im Labor, sowie in Feldversuchen getestet. Petersilienextrakte zeigten vor allem gegen pflanzenpathogene Pilze eine hemmende Wirkung in Laborversuchen. Beim Anbau von Fenchelpflanzen konnte ein Petersilienextrakt den Ertrag und den Mineralstoffgehalt der geernteten Knollen, im Vergleich zu unbehandelten Fenchelpflanzen, steigern.

**Title:** High quality and nutrient rich food through crop waste-derived biostimulant and biopesticide  
**Author:** Martin Almendinger  
**Contact:** Institute for Food- and Environmental Research e.V., Papendorfer Weg 3, 14806 Bad Belzig, [martin.almendinger@ilu-ev.de](mailto:martin.almendinger@ilu-ev.de)

The widespread use of persistent, synthetic pesticides in agriculture poses a significant risk to biodiversity and the environment. In addition, pesticides are seen as problematic by the general public and there is a growing demand for products that are free from persistent pesticides. Farmers are faced with the task of addressing these concerns and finding a sustainable balance between “environmentally friendly” and “profitable” crop production. To address the concerns of farmers and consumers, it is necessary to find new ways to secure crop yields, minimize food and crop waste and produce vegetables and fruit with health-promoting properties. As part of the Bio4Food project, these three aspects were addressed and a strategy for recycling crop residues was pursued. The ILU therefore used crop residues from tomatoes, fennel, artichoke, basil and parsley to produce biostimulant and biopesticide extracts. The extracts from basil residues in particular were rich in phenolic compounds and had a high antioxidant capacity compared to the extracts from the other residues. The extracts were tested in the laboratory and in field trials by project partners from Belgium and Italy. Parsley extracts showed an inhibitory effect in laboratory tests, particularly against plant pathogenic fungi. In the cultivation of fennel plants, a parsley extract was able to increase the yield and mineral content of the harvested tubers compared to untreated fennel plants.

## Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
Abkürzungsverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	4
1. Einführung.....	5
1.1. Gegenstand des Vorhabens.....	5
1.2. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts.....	5
1.3. Planung und Ablauf des Projektes.....	6
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	7
3. Material und Methoden.....	8
3.1. Extraktion.....	8
3.2. Analytik.....	9
3.2.1. Antioxidative Kapazität.....	9
3.2.2. Gesamtphenolgehalt.....	9
3.2.3. Flavonoidgehalt.....	9
4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	9
5. Diskussion der Ergebnisse.....	15
6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	16
7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen.....	16
8. Zusammenfassung.....	17
9. Literaturverzeichnis.....	18
10. Veröffentlichungsübersicht.....	20

## Abkürzungsverzeichnis

AOC	antioxidative Kapazität
AP	Arbeitspaket
CE	Catechin-Equivalente
CREA	Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente
GAE	Gallussäure-Equivalente
FC	Gehalt an Flavonoiden
ILU	Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung
OmniChem	Ajinomoto Omnicem
TE	Trolox-Equivalente
TPC	Gesamtgehalt phenolischer Verbindungen
UGent	Universität Gent

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematisch dargestellter, zeitlicher Projektablauf.....	7
Abbildung 2: Vermahlung der vorzerkleinerten Ernterückstände. ....	10
Abbildung 3: Soxhlet-Extraktion am Beispiel der Basilikumernterückstände.....	10
Abbildung 4: Gehalt an Antioxidantien, antioxidative Aktivitäten und pH-Werte der Extrakte.....	11
Abbildung 5: Auswahl hergestellter Extrakte.....	12
Abbildung 6: Mazeration im kleintechnischen Maßstab. ....	12
Abbildung 7: Optimierung der Soxhlet-Extraktion ausgewählter Ernterückstände.....	13

## 1. Einführung

### 1.1. Gegenstand des Vorhabens

Das Projekt Bio4Food förderte biologische und nachhaltige Lebensmittelsysteme durch die Einführung von Biostimulanzien und Biopestiziden, die aus Lebensmittel- und Agrarabfällen gewonnen werden. Der Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmethoden auf Basis natürlicher Rohstoffe zielt darauf ab, die Anwendung synthetischer Pestizide zu reduzieren und damit auf die Bedenken der Verbraucherinnen und Verbrauchern hinsichtlich der Zugänglichkeit von pestizidfreiem Obst und Gemüse einzugehen. Darüber hinaus werden Pflanzen dank der Verwendung neuer biologischer Stimulanzien, die die Aufnahme von Mineralien durch Pflanzen fördern, mit  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  angereichert. Diese Mineralien sind in der vegetarischen Ernährung typischerweise nur in begrenzten Mengen verfügbar. Die Verwendung von Lebensmitteln und landwirtschaftlichen Abfällen zur Herstellung von Biostimulanzien und Biopestiziden trägt auch zu einem effektiveren Düngemittel- und Pestizidmanagement in der Lebensmittelproduktionskette bei und erleichtert so den Übergang zu einer nachhaltigeren und ökologischeren Lebensmittelproduktion.

### 1.2. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Die praktischen Ziele des ILU-Teilprojekts in Bio4Food waren a) die durch Flüssigextraktion zu erreichende Transformation von Ernterückständen in biowirksame Extrakte, b) die Bereitstellung der Extrakte und Extraktionsrückstände für Labor-, Feld- sowie Kompostierungsversuche und c) die Optimierung der Extraktionsmethode, basierend auf den Ergebnissen der Laboranalysen und Feldversuche.

Mit dem wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziel der Entwicklung mindestens eines Prototyps für ein Biostimulans/Biopestizids auf Basis von Ernterückständen, leistet das Vorhaben einen Beitrag zu „**Topic 1: Resource efficient, circular and zero-waste food systems**“ der „Susfood 2“ Ausschreibung, in dem es einen Ansatz verfolgt, welcher verschiedenste Stakeholder und Disziplinen innerhalb des Agrar- und Lebensmittelsektors adressiert.

Die Relevanz für die Ausschreibung ergibt sich aus den folgenden Aspekten:

**Etablierung einer nachhaltigen Lebensmittelversorgungskette durch Reduzierung von Ernteabfällen:** Die Produktion und Verarbeitung von Obst, Gemüse und Kräutern geht mit dem Verlust von bis zu 50% der Ernte einher. Ein Teil davon gilt wegen schlechter Qualität, Form, Farbe usw. als ungeeignet für den Verzehr. In anderen Fällen wird die Zubereitung von Lebensmittelprodukten durch spezifische Normen oder Biomasseeigenschaften eingeschränkt. Die Entsorgung von Abfallströmen wird so lange durchgeführt werden müssen, wie es keinen wirtschaftlichen Nutzen und keine Verwertung für diese Ströme gibt. Der Beitrag des Vorhabens zum Abfallproblem beruht auf dem Konzept, dass Pflanzenabfälle potenzielle Quellen für Bio-Dünger (Kompost), Biostimulanzien und Biopestizide darstellen. Im Vorhaben werden Ergebnisse eines früheren Projekts namens Bio2Bio (Fkz. S006017N) genutzt, in dem gezeigt wurde, dass tanninhaltige Abwässer von Ajinomoto Omnicem und Wasserextrakte von Minze, Thymian und Fenchel biostimulierende oder biopestizide Wirkungen (gegen Oomyzeten, Pilze und Nematoden) besitzen.

**Nachhaltige Nahrungsmittelproduktion durch Schließen des Nährstoffkreislaufs:** Um Pflanzenproduktion und -qualität zu sichern sowie gleichzeitig den Einsatz von synthetischem Dünger zu reduzieren, ist eine Kombination verschiedener Methoden erforderlich. Pflanzenzüchter streben an, die Effizienz der Nährstoffnutzung durch gezielte Züchtungen zu verbessern, um in erster Linie die Kosten zu senken. Züchtung ist jedoch ein langsamer Prozess, der viele Jahre benötigt und darüber hinaus das Prinzip der Zirkularität nicht übernimmt. Ein Schritt zur Schließung des Nährstoffkreislaufs ist z.B. die Verwendung organischer Düngemittel in Form von Grünkompost, womit zusätzlich zur Bereitstellung mineralischer Ressourcen die Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen verbessert wird.

Der Einsatz von organischem Dünger in der Landwirtschaft ist jedoch nicht standardisiert und die Ernteerträge können stark variieren. Bio4Food wird dazu beitragen, die Verwendung von abgebauten, anorganischen Mineralien durch Erprobung verschiedener kompostierter Feststoffabfallfraktionen zu reduzieren und durch die Entwicklung neuer Biostimulanzien das Pflanzenwachstum zu verbessern.

**Begrenzung der Umweltbelastung:** Verbesserte Widerstandsfähigkeit der Pflanzen: Neben der Verfügbarkeit von Mineralien, sind Schädlinge und ungünstige Umweltbedingungen weitere wichtige Determinanten des Ernteertrags. Schäden, die durch abiotischen Stress verursacht werden, sind schwer abzuschwächen und erfordern möglicherweise eine zusätzliche Bereitstellung von Wasser und Nährstoffen sowie neue Methoden der Vorhersage und Behandlung. Pflanzliche Biostimulanzien, eine Klasse von Produkten, die häufig Pflanzenwachstumsregulatoren enthalten, verbessern nachweislich die Widerstandsfähigkeit gegenüber abiotischem Stress. Folglich werden Biostimulanzien in Produktionssystemen eingesetzt, um eine Optimierung der Produktivität unter Stressbedingungen, z.B. verursacht durch den Klimawandel, zu erreichen. Biostimulierungs- und Biopestizidprodukte, die durch Bio4Food hergestellt werden, sind eine gute Alternative zu synthetischen Produkten. Aus organischem Material gewonnene bioaktive Wirkstoffe sind von Natur aus biologisch abbaubar und tendieren daher nicht zur Akkumulation. Aufgrund ihres natürlichen Ursprungs können sie potenziell zur Schädlingsbekämpfung zugelassen werden und ökologische Produktionssysteme fördern.

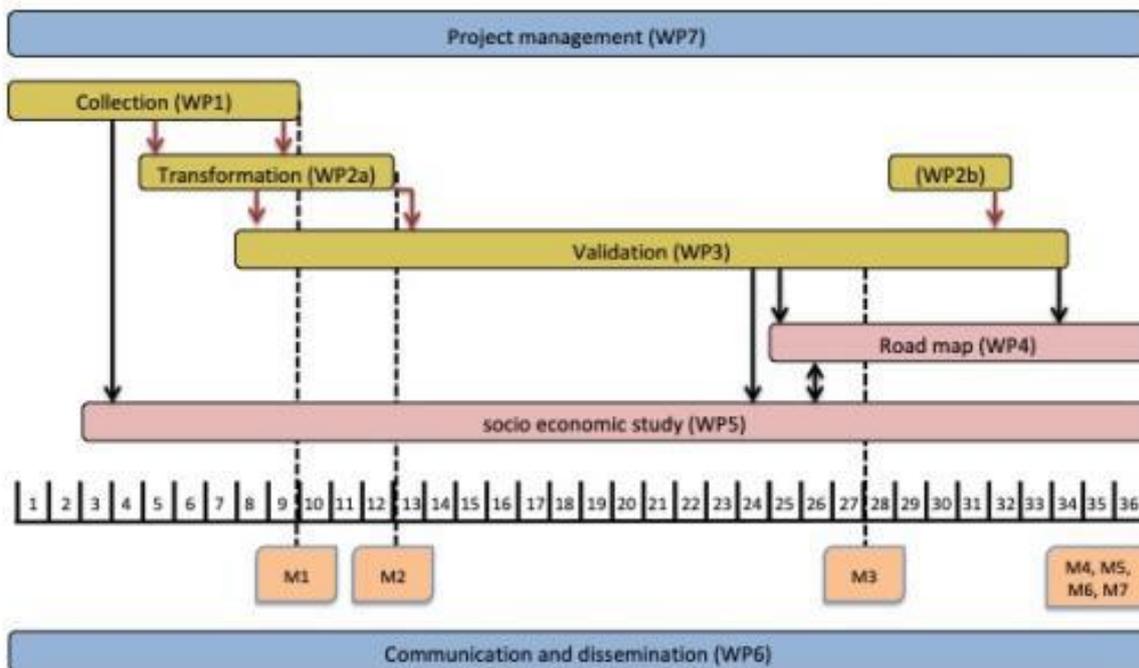
**Nachhaltigere ökologische Landwirtschaft:** Sozioökonomische Auswirkungen von Biostimulanzien: Mit der neuen Düngemittelrichtlinie (Verordnung (EU) 2019/1009) werden die hergestellten und auf dem europäischen Markt verkauften Biostimulanzien die Möglichkeit bekommen bei erfolgreicher Registrierung eine EG-Kennzeichnung und eine EU-Konformitätserklärung zu erhalten. Dies ist von großer Bedeutung, da ein Standard festgelegt wird, den die Produzierenden erfüllen müssen. Damit ergibt sich für KMUs die Möglichkeit mit der Produktion CE-zertifizierter Biostimulanzien zu beginnen, die aus verschiedenen Arten organischer Pflanzen- und Lebensmittelabfälle gewonnen werden. Biopestizide hingegen sind über EC 1107/2009 geregelt und dürfen ohne ordnungsgemäße Registrierung nicht verwendet werden.

**Die Wahl der Verbraucher\*innen:** Verbesserung des Nährwerts von Biogemüse: Der pflanzliche Nährwert ist ein Maß für ein ausgewogenes Verhältnis der essenziellen Nährstoffe (Kohlenhydrate, Fett, Proteine, Mineralien und Vitamine) in Bezug auf den Nährstoffbedarf der Konsument\*innen. Aufgrund der Erschöpfung an Bodenmineralien durch landwirtschaftliche Intensivierung kommt es zu einem "Verdünnungseffekt" an Mineralstoffen in Biogemüse. Der Einsatz von Biostimulanzien (Pflanzenextrakte aus Ernterückständen) in der biologischen Gemüseproduktion kann die Biofortifikation von Gemüse durch Erhöhung der Konzentration von Vitaminen und Mineralien fördern. Insbesondere die Mikronährstoffe  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  und  $Zn^{2+}$  sind wichtig für die Gesundheit. Zusätzlich, um die Nachfrage nach Bioprodukten zu erfüllen, muss pestizidfrei produziert werden. Bio4Food wird sich auf die Nährstoffqualität organischer Lebensmittel nach Anwendung von Pflanzenextrakten aus Ernterückständen konzentrieren. Lebensmittel werden mit Bezug auf die mineralische Anreicherung im essbaren Teil und unter Berücksichtigung der täglichen Aufnahme durch den Menschen bewertet.

### 1.3. Planung und Ablauf des Projektes

Als Teil des Projektkonsortiums war das ILU im Projekt Bio4Food an den **Arbeitspaketen 2** (Reststofftransformation) und **6** (Projekttreffen, Kommunikation und Verbreitung) direkt beteiligt. Nachdem zu Projektbeginn verschiedene Ernterückstände von den anbauenden Partnern gesammelt und getrocknet wurden (**AP1**), wurden ab dem 4. Projektmonat im **AP2** diverse Extrakte aus Ernterückständen hergestellt. Die Extrakte wurden im Zuge von **AP3** sowohl im Labor als auch auf dem Feld und in Topfversuchen auf ihre biostimulierende (und biopestizide) Wirkung untersucht. Weiterhin war geplant, zu einem späteren Zeitpunkt die vielversprechendsten Extrakte zu optimieren und einer erneuten Bewertung zu unterziehen (**AP2b**). Projektbegleitend fand eine Sozioökonomiestudie statt, um die Bevölkerungsakzeptanz von auf Ernterückständen basierende Biostimulanzien sowie Lebensmittel, die mit Hilfe dieser Biostimulanzien hergestellt wurden, zu evaluieren (**AP5**).

Im letzten Projektjahr wurde eine Roadmap erstellt, um die Vermarktbarkeit und die Inverkehrbringung von Biostimulanzien zu planen (AP4). Projektübergreifend fanden Arbeiten in den Arbeitspaketen „Kommunikation und Dissemination“ (AP6) und Projektverwaltung (AP7) statt. Eine Übersicht über die zeitliche Abfolge der geplanten Arbeitspakete ist in **Abbildung 1** dargestellt.



**Abbildung 1: Schematisch dargestellter, zeitlicher Projekttablauf.**

Farbcodierung der Arbeitspakete: gelb: Herstellung und Testung der Biostimulanzien/Biopestizide, rot: Vermarktung und Vermarktbarkeit von auf Ernterückständen basierende Biostimulanzien, blau: Projektkoordination, -kommunikation und Erkenntnisverbreitung. Meilensteine sind orange gekennzeichnet.

## 2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Pflanzenbiostimulanzien sind anorganische, organische und mikrobielle Substanzen, die das Pflanzenwachstum und den Ertrag verbessern können, indem sie die Effizienz der Nährstoffnutzung erhöhen und die negativen Auswirkungen von abiotischem Stress minimieren. Die Europäische Union definiert „Pflanzliche Biostimulatoren“ als: „...ein Produkt, das pflanzliche Ernährungsprozesse unabhängig vom Nährstoffgehalt des Produkts stimuliert, mit dem alleinigen Ziel der Verbesserung einer oder mehrerer Eigenschaften der Pflanze oder der Pflanzenrhizosphäre (z.B. Effizienz der Nährstoffnutzung, Toleranz gegenüber abiotischen Stress...“)

Sowohl Biostimulanzien als auch Biopestizide verbessern die Pflanzengesundheit und erhöht ihre Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten und Schädlinge. Die Stimulierung von Abwehrreaktionen auf Krankheiten kann auch die Toleranz gegenüber abiotischem Stress fördern (Dimkpa, Weinand and Asch, 2009). Der europäische Gesetzgeber stuft Produkte, denen eine krankheitsresistenzgebende Wirkung zugeschrieben wird, als Pestizide ein (gemäß Richtlinie EG1107/2009). Zu den gängigen Biostimulanzien auf dem Markt gehören Inhaltsstoffe wie hydrolysierte Proteine, Aminosäuren, Huminstoffe und Algenextrakt (du Jardin, 2015). Obwohl diese Produkte wertvolle Zusatzstoffe für viele landwirtschaftliche Produktionssysteme sind, ist ihre Verarbeitung oder ihr zugrunde liegender Ursprung hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit und potenziellen Verwendung im ökologischen Landbau fraglich. Bio4Food füllt diese Lücke und zielt darauf ab, neue Biostimulanzien aus Pflanzenabfällen zu entwickeln.

Bisher wurden Studien durchgeführt, um das Vorhandensein biostimulierender Aktivität in Nebenprodukten zu untersuchen (Xu and Geelen, 2018; Madende and Hayes, 2020). Da alle Pflanzen unterschiedliche Sekundärmetabolite produzieren, die sie vor abiotischem und biotischem Stress schützen sollen, decken die genannten Studien nur einen Bruchteil der Erkenntnisse ab, die auf diesem Feld bereits gewonnen wurden. Beispielsweise nutzen Pflanzen diese Metaboliten, um auf Wurzel- oder Sprossenebene mit der mikrobiellen Umgebung zu kommunizieren oder sich gegen sie zu verteidigen (Cowan, 1999). Pflanzen nutzen einen erheblichen Teil der Photosynthese-Kohlenhydratproduktion, um nützliche Bakterien zu unterstützen und Mineralien aufzulösen (van Dam and Bouwmeester, 2016). Daher besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass in Pflanzenextrakten neue Biostimulanzien und Biopestizide identifiziert werden könnten. Beispielsweise fördern zwei Biostimulanzien sehr unterschiedlicher Herkunft (Seetang und Schwarztorf) die Anreicherung von  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Na^{+}$  und  $Cu^{2+}$  sowie die Wurzelspross-Translokation von  $Fe^{2+}$  und  $Zn^{2+}$ , zwei Mineralien, die teilweise in der Ernährung der Bevölkerung fehlen oder unterrepräsentiert sind. Verschiedene Arten von Biostimulanzien können als Biofortifikationsmittel eingesetzt werden. Aufbauend auf früheren Forschungsarbeiten untersuchte Bio4Food, ob die resultierenden Extrakte in Biofortifizierungsstrategien zur Reduzierung von Nährstoffdefiziten in der menschlichen Ernährung eingesetzt werden können.

### **3. Material und Methoden**

Ernterückstände von traditionellen und repräsentativen italienischen Gemüsepflanzen (Tomate, Fenchel, Artischocke) und Kräutern (Basilikum, Petersilie) wurden von einem Versuchsbetrieb des italienischen Partners CREA in Metaponto und umliegenden privaten Biobetrieben gewonnen. Das Pflanzenmaterial wurde an der Luft getrocknet und grob gemahlen, bevor die Proben vakuumverpackt und ans ILU versandt wurden.

#### **3.1. Extraktion**

Für die Extraktionen im Labormaßstab, wurde das grob zerkleinerte Pflanzenmaterial zunächst zu einem feinen Pulver vermahlen. Zu diesem Zweck wurde eine Ultrazentrifugalmühle ZM1 (Retsch GmbH, Haan, Deutschland) mit einem Ringsieb mit einer Maschenweite von 1 mm bzw. eine Rekord A Prallmühle (Gebr. Jehmlich GmbH, Nossen, Deutschland) verwendet. Die erhaltenen Pulver wurden mit zwei verschiedenen Methoden extrahiert: Soxhlet-Extraktion und einfache Mazeration. In beiden Fällen wurde das Pflanzenmaterial drei Stunden lang im Verhältnis 1:20 (w/v) mit grünem Lösungsmittel (nicht-synthetischer Ethanol in der Konzentration 100% bzw. 50% oder destilliertes Wasser) extrahiert. Die Mazeration erfolgte in Glasflaschen mit Schraubverschluss in einem Wasserbad bei 60 °C, die regelmäßig aufgeschüttelt wurden. Nach Beendigung der Extraktionszeit wurden die Soxhlet-Extrakte direkt durch Faltenfilter des Typs MN 617 ¼ (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Düren, Deutschland) mit einem Retentionsbereich von 7 - 12 µm filtriert. Die Mazerationsextrakte wurden vor der Filtration durch dreiminütige Zentrifugation bei 21.000 · g vom festen Extraktionsrückstand getrennt. Die filtrierten Extrakte wurden bis zur Analyse bei -20 °C gelagert. Extrakte, die für Topfversuche eingesetzt wurden, wurden zuvor mittels Rotationsevaporator auf die Hälfte ihres Volumens reduziert.

Beide Extraktionsmethoden wurden auf den Technikumsmaßstab übertragen. Die Soxhlet-Extraktion wurde dazu mit einem 5 L Extraktor und einem 10 L Rundkolben betrieben. Jeweils 400 g getrocknete Ernterückstände wurden mit 8 L 50% Ethanol für 3 Stunden extrahiert. Extrakte, die für Feldversuche eingesetzt wurden, wurden zuvor mittels Rotationsevaporator auf die Hälfte ihres Volumens reduziert. Die Mazerationen wurden in einem elektrisch beheizbaren 29 L Einkochautomaten (J. Weck GmbH u. Co. KG, Wehr-Öflingen, Deutschland) durchgeführt. Dazu wurden 1,2 kg der getrockneten Ernterückstände mit 16 L Wasser versetzt und für 60 min bei 80 °C unter ständigem Rühren extrahiert. Das Mazerat wurden anschließend durch ein Küchensieb gegossen, um die festen Extraktionsrückstände von der Flüssigkeit zu trennen. Die festen Rückstände wurden daraufhin bei 80 °C im Trockenschrank UF260 (Memmert GmbH + Co. KG, Schwabach, Deutschland) getrocknet.

## 3.2. Analytik

### 3.2.1. Antioxidative Kapazität

Die antioxidative Kapazität (antioxidant capacity = AOC) wurde mit einem ABTS<sup>+</sup> Test (2,2'-Azino-bis(3-Ethylbenzothiazolin-6-sulfonsäure) bestimmt, der gegenüber der ursprünglich beschriebenen Methode von (Miller *et al.*, 1993) leicht modifiziert wurde. Das Testverfahren mit den genannten Änderungen ist in der Arbeit von (Almendinger, Rohn and Pleissner, 2020) beschrieben. Für eine Trolox-Kalibrierungskurve wurde eine Stammlösung (2,5 mM) durch Auflösen von 6,4 mg Trolox (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) in 0,5 mL Methanol (Honeywell International Inc., Morristown, New Jersey, USA) hergestellt und mit 5 mM PBS-Puffer auf 10 mL aufgefüllt. Die Ergebnisse werden als  $\mu\text{M}$  Troloxäquivalenz pro Gramm trockener Ernterückstände, die für die Extraktion verwendet wurden, angegeben ( $\mu\text{M} \cdot \text{TE} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Die Extrakte wurden in dreifacher Ausführung gemessen.

### 3.2.2. Gesamtphenolgehalt

Der Gesamtphenolgehalt (total phenolic content = TPC) der Extrakte wurde mit einer modifizierten FOLIN-CIOCALTEU-Methode bestimmt, wie in der Arbeit von (Almendinger, Rohn and Pleissner, 2020) beschrieben. Der Gesamtphenolgehalt wurde in mg Gallussäureäquivalenten pro Gramm trockener Ernterückstände, die für die Extraktion verwendet wurden ( $\text{mg} \cdot \text{GAE} \cdot \text{g}^{-1}$ ), unter Verwendung einer zuvor erstellten Gallussäure-Kalibrierkurve (Sigma-Aldrich Inc., St. Louis, USA) bestimmt. Die Extrakte wurden in dreifacher Ausführung gemessen.

### 3.2.3. Flavonoidgehalt

Die Bestimmung des Flavonoidgehalts (flavonoid content = FC) erfolgte nach der von (Predescu *et al.*, 2016) beschriebenen Methode. Für die Erstellung einer Catechin-Kalibrierkurve wurde eine 1-mM-Stammlösung durch Auflösen von 29 mg Catechinhydrat (Sigma-Aldrich Inc., St. Louis, USA) in 100 ml reinem Ethanol hergestellt. Die Stammlösung wurde seriell verdünnt, um Konzentrationen zwischen 50 und 500  $\mu\text{M}$  zu erhalten. Die Ergebnisse werden als  $\mu\text{M}$  Catechin-Äquivalent pro Gramm Trockengewicht des für die Extraktion verwendeten Rückstands ( $\mu\text{M} \cdot \text{CE} \cdot \text{g}^{-1}$ ) angegeben. Für die Absorptionsmessungen wurden die Proben in 96-Well-Platten gegeben und bei 510 nm mit dem Infinite M200 pro (Tecan Trading AG, Zürich, Schweiz) und der Magellan-Software analysiert. Die Extrakte wurden in dreifacher Ausführung gemessen.

## 4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

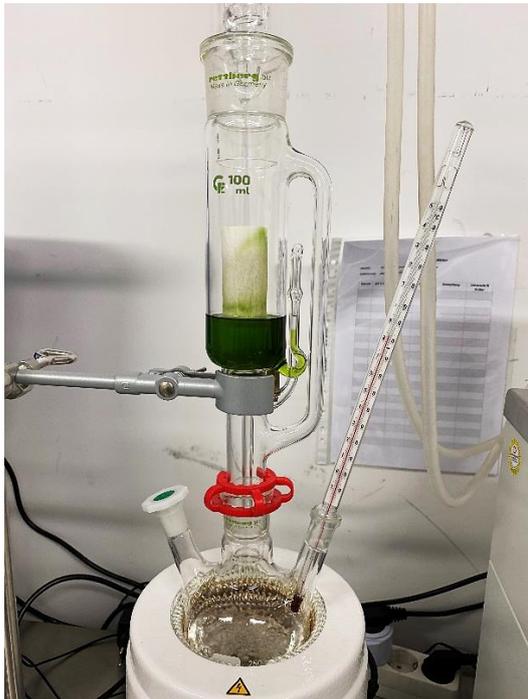
Die Arbeiten des ILU konzentrierten sich im Projektzeitraum auf die Herstellung der Extrakte aus Ernterückständen des italienischen Partners CREA im Zuge des **Arbeitspakets 2** (Reststofftransformation) und auf die Arbeiten der Verbreitung und Kommunikation der Ergebnisse sowie der Teilnahme an Projekttreffen innerhalb des Arbeitspakets 6 des Gesamtvorhabens. Insgesamt wurden dem ILU 80 kg getrocknete und zerkleinerte Ernterückstände verschiedener Kulturpflanzen und Kräuter (Tomate, Basilikum, Fenchel, Artischocke, Petersilie) zur Verfügung gestellt. Ziel der **Aufgabe 2.1** „Extraktion organischer Ernterückstände vom Feld“ war es, die bereitgestellten Ernterückstände weiter zu zerkleinern und mit Hilfe wässriger Extraktionsmethoden und „grünen“ Lösemitteln (Wasser bzw. nicht-synthetischer Ethanol) polare Substanzen, wie bspw. phenolische Verbindungen zu gewinnen.

Am ILU wurden daher zunächst dreißig verschiedene Extrakte im Labormaßstab hergestellt, um zu ermitteln, welche Extraktionsmethode und welches Lösemittel für die Gewinnung der polaren Substanzen am geeignetsten ist. Wie unter Punkt „3. Material und Methoden“ beschrieben, wurden die fünf verschiedenen Ernterückstände dazu vermahlen (**Abbildung 2**) und anschließend mittels Soxhlet-Methode (**Abbildung 3**, links) und Mazeration unter zur Hilfenahme von Wasser, 50 % Ethanol oder 100 % Ethanol extrahiert.



**Abbildung 2: Vermahlung der vorzerkleinerten Ernterückstände.**

Links: Grob vorzerkleinerte, getrocknete Rückstände der Tomatenernte. Rechts: Vermahlene Rückstände der Tomatenernte.



**Abbildung 3: Soxhlet-Extraktion am Beispiel der Basilikumernterückstände.**

Links: Labormaßstab mit 100 ml Extraktor und 200 ml Rundkolben. Rechts: Kleintechnischer Maßstab mit 5 L Extraktor und 10 L Rundkolben.

Qualitativ wurden die hergestellten Extrakte nach den Parametern TPC, AOC, FC und pH-Wert beurteilt (**Abbildung 4**). Hinsichtlich der Antioxidantien und ihrer antioxidativen Wirkung zeigten die vergleichenden Analysen der Extrakte, dass die durch Soxhlet-Extraktion oder Mazeration mit 50 % Ethanol hergestellten Basilikumextrakte, die mit Abstand höchsten Messwerte [...] aller untersuchten Extrakte erreichten. [...]. Die pH-Werte der Extrakte lagen im Bereich von 4,8 [...] und 7,6 [...]. Die Extraktionsmethode scheint dabei keinen größeren Einfluss auf den pH-Wert des Extrakts zu nehmen. In den meisten Fällen lagen Extrakte aus gleichen Reststoffen und gleicher Lösemittelkonzentration nah beieinander, in Bezug auf den pH-Wert. [...].

[...]

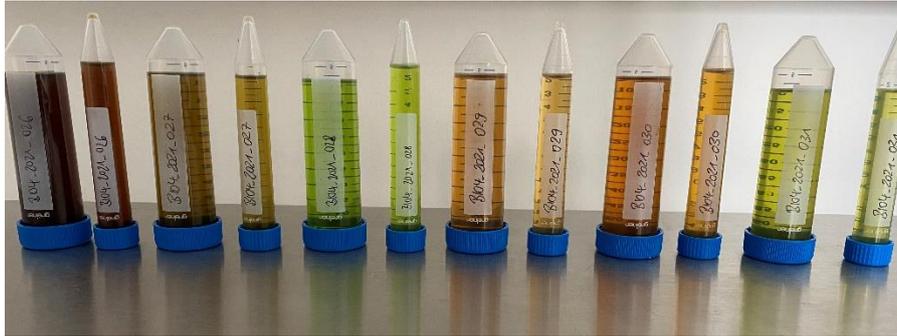
**Abbildung 4: Gehalt an Antioxidantien, antioxidative Aktivitäten und pH-Werte der Extrakte.**

Vergleichende Darstellung von (A) Gesamtphenolgehalt (ausgedrückt als mg Gallussäureäquivalent pro g Trockengewicht), (B) antioxidative Kapazität des Troloxäquivalents (ausgedrückt als  $\mu\text{M}$  Troloxäquivalent pro g Trockengewicht), (C) Gesamtgehalt an Flavonoiden (ausgedrückt als  $\mu\text{M}$  Catechin-Äquivalent pro g Trockengewicht) und (D) pH-Werte der Soxhlet- (schwarze Säulen) und Mazerations-Extrakte (weiße Säulen) von Tomaten- (Tom), Basilikum- (Bas), Artischocken- (Art), Fenchel- (Fen) und Petersilien- (Pet) Ernterückständen, die mit einer Ethanol-Konzentration von 100% (100), 50% (50) oder reinem Wasser (0) extrahiert wurden.

[...].

Die zu erreichenden **Leistungen D2.1 bis D2.5**, also die Herstellung von Extrakten aus den Ernterückständen von Petersilie, Basilikum, Tomate, Artischocke und Fenchel wurden planmäßig zum Projektmonat 12 erreicht.

Alle der dreißig im Labormaßstab hergestellten Extrakte (Auswahl in **Abbildung 5** dargestellt) wurden für tiefgreifende Analysen und diverse *in vitro* Versuche an den Partner UGent verschickt. Für die Topfpflanzversuche des Partners CREA wurden weitere Extrakte hergestellt und jeweils rund 200 mL Extrakt zur Verfügung gestellt. Dazu wurden alle fünf Reststoffe mittels Soxhlet Methode und 50 % Ethanol im Labormaßstab extrahiert und durch den Einsatz eines Rotationsverdampfers unter Vakuum auf ein Drittel ihres Volumens reduziert und mit destilliertem Wasser wieder aufgefüllt. Da Ethanol bei geringeren Temperaturen siedet als Wasser, konnte somit der Ethanolgehalt im fertigen Extrakt stark reduziert werden, ohne die durch Ethanol gewonnenen Inhaltsstoffe zu verlieren. Die Minimierung des Ethanols war wichtig für spätere Topf- und Feldversuche, um einen Einfluss des Ethanols auf die Pflanzengesundheit möglichst ausschließen zu können. Für die Feldversuche an Tomaten- und Fenchelpflanzen wurden vom Partner CREA größere Mengen an Extrakten benötigt, weshalb die Soxhlet Methode auch auf den kleintechnischen Maßstab übertragen wurde (**Abbildung 3**, rechts). So wurden 13,5 bzw. 12 L Basilikum- und Petersilienextrakt mit 50 % Ethanol hergestellt und wie oben beschrieben auf die Hälfte reduziert, um den Ethanolgehalt im Extrakt zu minimieren. Die eingeeingten Extrakte wurden mit dem Hinweis verschickt, diese mit Wasser wieder auf das Ausgangsvolumen aufzufüllen.



**Abbildung 5: Auswahl hergestellter Extrakte.**

Von links nach rechts: Mazerate aus Fenchelrückständen und Wasser (BIO4\_2021\_026), 50 % Ethanol (BIO4\_2021\_027), 100 % Ethanol (BIO4\_2021\_028) sowie Petersilienrückständen und Wasser (BIO4\_2021\_029), 50 % Ethanol (BIO4\_2021\_030), 100 % Ethanol (BIO4\_2021\_031).

Für die geplanten Kompostierungsversuche durch den Projektpartner CREA sollten rund 60 kg Extraktionsrückstände vom ILU zur Verfügung gestellt werden. Mit Hilfe der Mazerationsmethode im kleintechnischen Maßstab wurden die übrigen Ernterückstände daher mit Wasser extrahiert und die Extrakte anschließend von den festen Extraktionsrückständen getrennt (**Abbildung 6**). Die festen Rückstände wurden auf Siebbleche verteilt und im Trockenschrank getrocknet. [...]. Insgesamt waren dafür 58 Extraktionen und über 900 Liter Wasser nötig, um die geforderte Menge an getrockneten Extraktionsrückständen herzustellen. Mit dem Versand der Rückstände wurde planmäßig die zu erreichende **Leistung D2.6** (Extraktionsrückstände für Kompostierung) sowie der **Meilenstein M2.1** (Reststoffe behandelt, Extrakte hergestellt, Reststoffe kompostiert) zum Projektmonat 12 erreicht.



**Abbildung 6: Mazeration im kleintechnischen Maßstab.**

Links: Extraktion im elektrisch beheizbaren Weckautomaten mit kontinuierlicher Durchmischung mittels Rührwerk. Rechts: Trennung von Feststoff und Flüssigkeit durch Einsatz eines Küchensiebs nach erfolgter Extraktion.

[...].

Im Zuge der **Aufgabe 2.2** (Extraktion eines ausgewählten Ernterückstands), wurden zunächst Versuche zur Optimierung der Extraktion durchgeführt. Durch die in Aufgabe 2.1 gewonnenen Erkenntnisse und in Absprache mit den anderen Projektpartnern, wurde entschieden, die Soxhlet-Methode für die Ernterückstände von Basilikum und Petersilie zu optimieren. Die Versuche wurden daher auf Ethanolkonzentrationen von 25 % und 75 % ausgeweitet. [...]. Für die Vergleichbarkeit der Extrakte untereinander wurden dennoch alle relevanten Extraktionen mit einer Dauer von 180 min durchgeführt. Obwohl das ILU diese zusätzlichen Extrakte planmäßig zur Verfügung stellen konnte, wurden sie dennoch nicht mehr mit in die Analysen des Partners UGent aufgenommen, da sich die Assays zu dem Zeitpunkt bereits in der Durchführung befanden. Sowohl ein Basilikum- als auch ein Petersilienextrakt wurden dem Partner Ajinomoto Omnicem für eine detaillierte Formulierung zugesandt. Die Wahl fiel auf Basilikum, wegen der vielen Antioxidantien im Extrakt und auf Petersilie aufgrund der erzielten Ergebnisse von CREA im Feldversuch und von UGent in den diversen Laboranalysen. Wegen einer potenziellen Machbarkeit im Industriemaßstab entschied man sich bei der Extraktionsmethode für die Mazeration.

Somit wurde auch die **Leistung D2.7** (mind. 1 formulierter Extrakt ausgewählt und hergestellt) erreicht. Zum Zeitpunkt der Berichtslegung lagen dem ILU jedoch keine Informationen zu den Arbeiten zur Formulierung der Extrakte durch den Partner Ajinomoto Omnicem vor.

[...]

**Abbildung 7: Optimierung der Soxhlet-Extraktion ausgewählter Ernterückstände.**

TPC- (schwarz), AOC- (grau) und FC- (weiß) Werte der Basilikum- (A) und Petersilienextrakte (B) mit Ethanolkonzentration von 0, 25, 50, 75 und 100 %.

Weiterhin war das ILU über den ganzen Projektzeitraum im **Arbeitspaket 6** (Projekttreffen, Kommunikation und Verbreitung) tätig. Im Zuge der **Aufgabe 6.1** hat das ILU an den in

**Tabelle 1** aufgeführten Treffen, mit allen oder einem Teil der Projektpartner, teilgenommen. So wurde auch **Meilenstein M6.1** (Kick-off Treffen organisiert und Zwischentreffen sowie Endtreffen wurden geplant) planmäßig erreicht. Die **Leistungen D6.1** zur Erstellung eines Berichts vom Kick-Off Meeting und eines detaillierten Kommunikationsplans (**Leistung D6.2**) wurden erreicht und allen Projektpartnern vom Projektkoordinator UGent zur Verfügung gestellt.

**Tabelle 1: Liste der Projekttreffen, an denen das ILU teilgenommen hat.**

<b>Datum</b>	<b>Teilnehmer</b>	<b>Schwerpunkte</b>
14.12.2020	UGent, CREA, FSTT, ILU, OmniChem, Cicero	<b>Online: Kick-Off Meeting</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorstellung der Partner</li> <li>• Konsortialvereinbarung</li> <li>• Kommunikationsplan</li> <li>• Besprechung der Arbeitspaketinhalte und der Vorgehensweise</li> </ul>
12.02.2021	UGent, CREA, ILU	<b>Online: Absprache zu Arbeitspaket 2</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• benötigte Extraktmengen</li> <li>• Startzeitpunkt der Feldversuche</li> </ul>
27.04.2021	UGent, CREA, ILU	<b>Online: Absprache zu Arbeitspaket 2</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischenstand der Arbeiten am ILU</li> </ul>
22.09.2021	UGent, CREA, FSTT, ILU, OmniChem, Cicero	<b>Online: Projekttreffen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• administrative Punkte</li> <li>• Fortschrittsberichte der einzelnen Partner</li> <li>• Planung des weiteren Vorgehens</li> </ul>
23.02.2022	UGent, CREA, FSTT, ILU, OmniChem	<b>Online: Projekttreffen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• administrative Punkte (u.a. Kommunikation, Wissenstransfer, Website Inhalt)</li> <li>• Fortschrittsberichte der einzelnen Partner</li> <li>• Planung des weiteren Vorgehens</li> </ul>
19.10.2022	UGent, CREA, FSTT, ILU, OmniChem	<b>Projekttreffen bei CREA in Bari, Italien</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UGent und ILU wurden online dazu geschaltet</li> <li>• administrative Punkte (u.a. Projektzeitverlängerung, Mid-Term Report, Website, Ausscheiden von Partner Cicero)</li> <li>• Entwicklung der Roadmap für tanninreichen Extrakt und evtl. für Petersilienextrakt</li> <li>• Fortschrittsberichte der einzelnen Partner</li> <li>• Planung des weiteren Vorgehens</li> </ul>
13.02.2023	UGent, CREA, FSTT, ILU, OmniChem	<b>Online: Absprache zur Extraktformulierung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Darstellung der Extraktionsprozesse</li> <li>• Prinzipien der Formulierung</li> </ul>

Ein weiteres Projekttreffen in Präsenz war für Oktober 2023 in Marokko geplant. Dieses musste jedoch aufgrund der Erdbebenaktivitäten vor Ort abgesagt werden. Mit den fristgerechten Abgaben der Zwischenberichte im Jahr 2022 und 2023 wurden auch die **Leistungen D6.3** und **D6.4** erbracht. Mit der Einreichung dieses Abschlussberichts, wird auch **Leistung D6.5** erreicht werden.

Im Bereich der Verbreitung über soziale und elektronische Medien (**Aufgabe 6.4**) half das ILU, die Bio4Food Website (<https://www.horticell.ugent.be/bio4food/>) mit Beiträgen und Informationen zum Projekt und den beteiligten Personen zu füllen. Darüber hinaus wird auf der ILU-eigenen Website (<https://www.ilu-ev.de/portfolio-items/bio4food/>) und durch mehrere Twitter-Beiträge für das Projekt Bio4Food geworben. Seit Projektbeginn wird das Projekt und der aktuelle Bearbeitungsstand in den Jahresberichten des ILU aufgeführt. Im Zuge der **Aufgabe 6.5** (Verbreitung über wissenschaftliche Kanäle) wurde das ILU durch verschiedene Projektpräsentationen tätig. So wurde auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) e.V. am 22. und 23. März 2022 in Hohenheim ein Poster mit dem Titel „Hochqualitative und nährstoffreiche Lebensmittel durch auf Ernterückständen basierenden Biostimulanzien und Biopestiziden“ vorgestellt.

Am 23. und 24. Mai 2022 stellte das ILU das Bio4Food Projekt anhand eines Vortrags mit dem Titel „Phytoextrakte als potenzielle Quelle antioxidativ wirkender Substanzen“ auf dem Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Phytoextrakte 2022 (DECHEMA) in Frankfurt (Main) vor. Außerdem wurde ein weiterer Vortrag mit dem Titel „Biostimulanzien und Begleitpflanzen: Anpassungen des ökologischen Landbaus an den Klimawandel“ auf der Dafa Konferenz „Agrarforschung zum Klimawandel“ (11. bis 14. März 2024) in Potsdam gehalten. Darüber hinaus wurde ein Manuskript mit dem Titel „On-farm compost and liquid extract of parsley residues on organic fennel crop to improve agronomic performance and environmental sustainability“, an welchem das ILU mitgewirkt hat, im Journal „Agroecology and Sustainable Food Systems“ eingereicht. Ein weiteres Manuskript mit dem Arbeitstitel „Bioactivity screen of plant extracts for biostimulants, biofungicides, and bionematicides“ ist aktuell in Bearbeitung. Die Erreichung der **Leistung D6.6** hängt somit von der Beurteilung der Gutachter ab. Mit Hilfe des erstellten Merkblatts sollen die Erkenntnisse des Projekts zukünftig sowohl über offene Feldversuchstage, wie dem Infotag an den Parzellen am 15.06.2024 im MAFZ Erlebnispark Paaren - Schönwalde-Glien (**Aufgabe 6.2**), als auch über Sektorverbände und politische Entscheidungsträger\*innen (**Aufgabe 6.3**) verbreitet werden. Vorträge und Posterbeiträge wurden darüber hinaus der Öffentlichkeit über die Plattform „Organic Eprints“ zur Verfügung gestellt (**Leistung D6.7**). Für das ILU-Teilprojekt wurde der Kommunikationsplan vollständig erfüllt, wodurch auch der letzte **Meilenstein M6.2** erreicht werden konnte.

## 5. Diskussion der Ergebnisse

Die Idee, pflanzliche Verarbeitungsrückstände und Reststoffe wertbringend in biowirksame Produkte für die Landwirtschaft umzuwandeln, vereint den klassischen Gedanken der Bioökonomie mit dem ebenso wichtigen Bestreben, die Ernährung der Weltbevölkerung klima- und umweltfreundlicher zu gestalten. Angestrebt sind die gleichzeitigen Reduktionen von Abfällen der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung sowie des Einsatzes von Pestiziden und Düngemitteln in der Landwirtschaft. Durch die aufkommenden Herausforderungen des Klimawandels und der steigenden, zu ernährenden Weltbevölkerung, wurden im vergangenen Jahrzehnt viele Anstrengungen in diesem Bereich unternommen. So wurden bspw. Projekte wie NOSHAN, SUNNIVA und Bio2Bio ins Leben gerufen, um die Verwertung von Nebenprodukten für die Lebensmittel- und Agrarindustrie sowie den Wirkungsmechanismus von Biostimulanzien aus organischen Abfallströmen zu untersuchen. Diverse Review Paper spiegeln das Maß an wissenschaftlicher Bestrebung auf dem Gebiet wider (darunter Xu and Geelen, 2018; Montoneri, Baglieri and Fascella, 2022; Voss et al., 2024). Oftmals konzentrierten sich die Arbeiten bisher auf die Herstellung von diversen Komposten, generelle Huminstoffe, Aminosäuren, Proteinhydrolysaten oder Derivate von Chitin bzw. Chitosan. Die Herstellung und der Einsatz flüssiger Extrakte als Biostimulanzien, beschränkte sich oftmals auf solche aus Mikroorganismen, Makro- und Mikroalgen (McHugh, 2005; Sharma *et al.*, 2014).

Ähnlich zu den Ergebnissen des Bio4Food Projekts, konnte in der Studie von Abou Chehade et al. (2018) festgestellt werden, dass ein wässriger Extrakt aus Fenchelrückständen und nicht vermarktbareren Fenchelknollen, das Sprosswachstum, den Ertrag und den Mineralstoff- Vitamin- und Phenolgehalt bei Tomaten steigern kann. Dabei reichte es aus, das Reststoffmaterial zu trocknen, zu zerkleinern und in Wasser für eine Stunde zu schütteln, bevor der Extrakt anschließend gefiltert wurde. Der Gehalt an phenolischen Substanzen und die gemessene antioxidative Kapazität des so hergestellten Fenchelextrakts, waren niedriger als die der Vergleichsextrakte aus Biertreber oder Reststoffen der Zitronenverarbeitung, dennoch war der Fenchelextrakt der Einzige, der das Sprosswachstum der Tomatenpflanzen signifikant steigerte. Im Falle der Bio4Food Extrakte zeigten die Petersilienextrakte, trotz wesentlich geringerem Phenolgehalt und antioxidativer Kapazität, im Vergleich zu den Basilikumextrakten, einen positiven Effekt auf die Erntemenge und Qualität von Fenchel. Dagegen konnte die Erntemenge an Tomaten nicht durch den Einsatz des stark antioxidativ wirkenden Basilikumextrakts gesteigert werden.

Obwohl Studien zeigen, dass pflanzliche Extrakte, die reich an phenolischen Verbindungen sind, erhebliches biostimulierendes und biopestizides Potenzial haben können (Czerniewicz *et al.*, 2016; Ertani *et al.*, 2016; Tudu *et al.*, 2022), lässt sich keine allgemeingültige Aussage zur Wirkungsweise von Pflanzenextrakten treffen. Auch ist die Wirkung pflanzlicher Extrakte oftmals von Faktoren wie die zur Extrakterstellung verwendeten Pflanzenteile, das Alter der verwendeten Pflanzen und der Einsatzkonzentration der Extrakte abhängig (Ahmad, Blasco and Martos, 2022). Demnach ist es möglich, dass trotz hoher Gehalte an phenolischen Verbindungen und hoher antioxidativen Kapazität der Basilikumextrakte, eine entsprechende biostimulierende Wirkung bei Tomaten ausblieb. Die hohe Komplexität von pflanzlichen Extrakten ist durch die Vielzahl an beinhaltenden Substanzen besonders hoch (Brown and Saa, 2015). Entsprechend schwierig ist es daher auch, die Wirkungen dieser Extrakte auf einzelne Verbindungen zurückzuführen. Die Ergebnisse der Extrakt-Formulierung, die beim Partner Ajinomoto Omnicem stattfinden, standen zur Berichtslegung leider noch nicht zur Verfügung. Diese hätten Hinweise auf Wirkmechanismen und wirkungsgebende Inhaltsstoffe liefern können. Auch müssen die angestrebte Sozioökonomiestudie und die zu erstellende Roadmap zeigen, ob der Einsatz von auf Ernterückständen basierende Biostimulanzien, von der Bevölkerung akzeptiert wird und ob es einen Weg gibt, diese effizient und rentabel herzustellen sowie zu vermarkten. Weiterführend ergibt sie die Fragestellung, ob sich die gezeigten Wirkungen (bspw. die Verbesserung des Fenchelertrags und der Nährstoffqualität durch den Einsatz des Petersilienextrakts) auch auf andere Kulturpflanzen übertragen lässt und ob sich das Extraktionsverfahren vereinfachen lässt, ohne die Wirkung zu mindern.

## **6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse**

Im Zuge des ILU-Teilprojekts konnte gezeigt werden, dass Ernterückstände (insbesondere solche aus Basilikumpflanzen) eine Quelle an phenolischen Verbindungen und anderer antioxidativ wirkender Substanzen sein können. Die Laboranalysen des Partners UGent deuten allerdings an, dass ein hoher Gehalt an Phenolen und Antioxidantien nicht pauschal einer möglichen Biostimulation von Pflanzen gleichzusetzen ist, auch wenn spezielle Antioxidantien für ihre biostimulativen Wirkungen bekannt sind (Mutale-joan *et al.*, 2020). Nichtsdestotrotz wurden bei den Wirksamkeitsversuchen im Labor und im freien Feld einige der, durchs ILU hergestellten, Extrakte als biostimulierend bzw. biopestizid bewertet. Diese Erkenntnisse sind für die Praxis von Bedeutung und wurden nach Vorgaben des *Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft* in einem **Merkblatt** für den Wissenstransfer zusammengefasst.

Neben der Verwertbarkeit der pflanzlichen Extrakte als Biopestizid oder Biostimulanz, ist eine weitere Nutzung der antioxidativ wirkender Extrakte, wie bspw. jene aus Reststoffen der Basilikumernte, denkbar. Einsatzmöglichkeiten für pflanzliche Antioxidantien sind z.B. in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie als natürliche Konservierungsstoffe zu sehen. Besonders bei Produkten, die der Fettoxidation ausgesetzt sind, ist der Einsatz von natürlichen Antioxidantien relevant, um die Haltbarkeit zu verbessern und den Einsatz künstlicher Konservierungsstoffe zu reduzieren.

Gleiches gilt für Produkte der Futtermittelindustrie. Darüber hinaus werden Antioxidantien in Nahrungsergänzungsmitteln sowie im Kosmetikbereich als Radikalfänger eingesetzt, um Alterungsprozesse zu verlangsamen.

## **7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen**

Wie unter **Punkt 4. „Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse“** beschrieben, wurden die ursprünglich geplanten Ziele des ILUs weitestgehend planmäßig erreicht. Die Optimierung des Extraktionsverfahrens eines ausgewählten Ernterückstands (**AP2b**) wurde zwar fristgerecht in der zweiten Projekthälfte vom ILU durchgeführt, die Wirkungen des optimierten Extrakts wurde jedoch nicht mehr durch die Partner CREA und UGent evaluiert, da die Labor- und Feldversuche zu dem Zeitpunkt bereits liefen. Für eine fundierte Vorgehens- und Anwendungsempfehlung der Herstellung und des Einsatzes von biostimulierender Extrakte aus Ernterückständen, müssten die Optimierungsarbeiten vertieft und die Wirkungsweise im offenen Feld an verschiedensten Kulturpflanzen bestätigt werden.

## 8. Zusammenfassung

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Arbeiten am ILU planmäßig und fristgerecht durchgeführt wurden. Das Teilprojekt des ILU, mit den geplanten Aufgaben, zu erbringenden Leistungen und zu erreichenden Meilensteinen, wurde vollumfassend erfüllt. Die hergestellten Extrakte zeigten vielversprechende antioxidative Eigenschaften, welche nicht nur für die Herstellung von Biostimulanzien oder Biopestiziden von Relevanz sein könnten, sondern einen Einsatz als natürliches Konservierungsmittel und Radikalfänger auch in der Lebensmittel-, Futtermittel- oder Kosmetikindustrie denkbar machen. Aufgrund von Laboranalysen, wurden vor allem die Extrakte aus Basilikum- und Petersilienrückständen als Biostimulanzien in Betracht gezogen. In der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* wurden positive Effekte auf das Wurzel- und Sprosswachstum nachgewiesen, wenn Extrakte aus Basilikum- und Petersilienrückständen zum Einsatz kamen. Im Feldversuch konnte der Einsatz eines Extrakts aus Petersilienrückständen den Ertrag und den Nährstoffgehalt von Fenchel, im Vergleich zu Fenchelpflanzen, die mit einer Komposterde oder auch einem kommerziellen Dünger behandelt wurden, steigern. Neben höheren Gehalten an Kalium und Magnesium im erntereifen Fenchel, hatte der Einsatz des Extrakts reduzierende Effekte auf die Einlagerung von Schwermetallen. Auch der Einsatz des Extrakts aus Basilikumrückständen beim Anbau von Tomaten hatte vor allem positive Auswirkungen auf den Nährstoffgehalt der Tomatenfrüchte. Der Einsatz des Komposts steigerte den vermarktaren Ertrag an Tomaten [...] (im Vergleich zu ungedüngten Tomatenpflanzen). Die Antwort auf die Frage der Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf andere Kulturpflanzen stellt ein zukünftiges Forschungsziel dar.

## 9. Literaturverzeichnis

- Abou Chehade, L. *et al.* (2018) 'Biostimulants from food processing by-products: agronomic, quality and metabolic impacts on organic tomato (*Solanum lycopersicum* L.)', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(4), pp. 1426–1436. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.8610>.
- Ahmad, A., Blasco, B. and Martos, V. (2022) 'Combating Salinity Through Natural Plant Extracts Based Biostimulants: A Review', *Frontiers in Plant Science*, 13, p. 862034. Available at: <https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.862034>.
- Almendinger, M., Rohn, S. and Pleissner, D. (2020) 'Malt and beer-related by-products as potential antioxidant skin-lightening agents for cosmetics', *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17, p. 100282. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100282>.
- Brown, P. and Saa, S. (2015) 'Biostimulants in agriculture', *Frontiers in Plant Science*, 6(AUG), p. 155882. Available at: <https://doi.org/10.3389/FPLS.2015.00671>.
- Cowan, M.M. (1999) 'Plant products as antimicrobial agents', *Clinical microbiology reviews*, 12(4), pp. 564–582. Available at: <https://doi.org/10.1128/CMR.12.4.564>.
- Czerniewicz, P. *et al.* (2016) 'Aphidicidal and deterrent activity of phenolic acid extracts from some herbal plants towards *Myzus persicae* Sulz. and *Rhopalosiphum padi* L'. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/314114928> (Accessed: 25 April 2024).
- van Dam, N.M. and Bouwmeester, H.J. (2016) 'Metabolomics in the Rhizosphere: Tapping into Belowground Chemical Communication', *Trends in plant science*, 21(3), pp. 256–265. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2016.01.008>.
- Dimkpa, C., Weinand, T. and Asch, F. (2009) 'Plant–rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions', *Plant, Cell & Environment*, 32(12), pp. 1682–1694. Available at: <https://doi.org/10.1111/J.1365-3040.2009.02028.X>.
- Ertani, A. *et al.* (2016) 'Biological Activity of Vegetal Extracts Containing Phenols on Plant Metabolism', *Molecules 2016, Vol. 21, Page 205*, 21(2), p. 205. Available at: <https://doi.org/10.3390/MOLECULES21020205>.
- du Jardin, P. (2015) 'Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation', *Scientia Horticulturae*, 196, pp. 3–14. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.
- Madende, M. and Hayes, M. (2020) 'Fish By-Product Use as Biostimulants: An Overview of the Current State of the Art, Including Relevant Legislation and Regulations within the EU and USA', *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(5). Available at: <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25051122>.
- McHugh, D.J. (2005) 'A guide to the seaweed industry.', *FAO Fisheries Technical Paper*, (No.441 PP-Rome), p. x + 105 pp.
- Miller, N.J. *et al.* (1993) 'A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates', *Clinical Science*, 84(4), pp. 407–412. Available at: <https://doi.org/10.1042/cs0840407>.
- Montoneri, E., Baglieri, A. and Fascella, G. (2022) 'Biostimulant Effects of Waste Derived Biobased Products in the Cultivation of Ornamental and Food Plants', *Agriculture*, 12(7), pp. 994–994. Available at: <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12070994>.
- Mutale-joan, C. *et al.* (2020) 'Screening of microalgae liquid extracts for their bio stimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of *Solanum lycopersicum* L.', *Scientific Reports*, 10(1), p. 2820. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59840-4>.

Predescu, N.C. *et al.* (2016) ‘The influence of solid-to-solvent ratio and extraction method on total phenolic content, flavonoid content and antioxidant properties of some ethanolic plant extracts’, *Revista de Chimie*, 67(10), pp. 1922–1927.

Sharma, H.S.S. *et al.* (2014) ‘Plant biostimulants: A review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses’, *Journal of Applied Phycology*, 26(1), pp. 465–490. Available at: <https://doi.org/10.1007/S10811-013-0101-9>.

Tudu, C. *et al.* (2022) ‘Role of plant derived extracts as biostimulants in sustainable agriculture: A detailed study on research advances, bottlenecks and future prospects’, *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Sustainable Agriculture: Revitalization through Organic Products*, pp. 159–179. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85579-2.00017-4>.

Voss, M. *et al.* (2024) ‘Unlocking the Potential of Agrifood Waste for Sustainable Innovation in Agriculture’. Available at: <https://doi.org/10.3390/recycling9020025>.

Xu, L. and Geelen, D. (2018) ‘Developing Biostimulants From Agro-Food and Industrial By-Products’, *Frontiers in Plant Science*, 9, p. 1567. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01567>.

## 10. Veröffentlichungsübersicht

(Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Veröffentlichungsart	Titel	Journal/Veranstaltung	Datum
Posterpräsentation	Hochqualitative und nährstoffreiche Lebensmittel durch auf Gemüseabfällen basierenden Biostimulanzen und Biopestiziden	Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) e.V. (DGQ) 2022, Hohenheim	22. und 23. März 2022
Vortrag	Phytoextrakte als potenzielle Quelle antioxidativ wirkender Substanzen	Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Phytoextrakte 2022, Frankfurt/Main	23. und 24. Mai 2022
Vortrag	Biostimulanzen und Begleitpflanzen: Anpassungen des ökologischen Landbaus an den Klimawandel	Dafa-Konferenz „Agrarforschung zum Klimawandel“, 2024, Potsdam	11. bis 14. März 2024
Wiss. Publikation	On-farm compost and liquid extract of parsley residues on organic fennel crop to improve agronomic performance and environmental sustainability	Journal of Agroecology and Sustainable Food Systems	09.02.2024
Wiss. Publikation	Bioactivity screen of plant extracts for biostimulants, biofungicides, and bionematicides		geplant
Merkblatt	Potenzial von aus Ernterückständen gewonnenen Biostimulanzen und Biopestiziden		Verbreitung geplant über diverse Feldversuchstage und andere öffentliche Veranstaltungen