Gefördert durch:
Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

# Abschlussbericht

Zum Teilprojekt: TP1 (InnoWert IGZ)

| Zuwendungsempfänger: | Förderkennzeichen: |
|---|---|
| Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) e V.<br>Theodor-Echtermeyer-Weg 1<br>14979 Großbeeren | 03WIR3024A |
| Vorhabenbezeichnung:<br>„WIR! – LIL- InnoWert- Gemeine Nachtkerze (*Oenothera biennis*) und Kleine Bibernelle (*Pimpinella saxifraga*) für neue Wertschöpfungsketten in der Lausitz; TP1: InnoWert IGZ “ | |
| Laufzeit des Vorhabens:<br>01.10.2023 bis 30.09.2025 | |
| Berichtszeitraum:<br>01.10.2023 bis 30.09.2025 | |

## Teil I, Kurzbericht

### 1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Ziel des Vorhabens InnoWert war es, neue nachhaltige Wertschöpfungsperspektiven für die Lausitz zu erschließen, indem gebietsheimische Wildpflanzen als innovative Sonderkulturen entwickelt und nutzbar gemacht werden. Im Fokus standen dabei die Gemeine Nachtkerze (*Oenothera biennis*) und die Kleine Bibernelle (*Pimpinella saxifraga*), die aufgrund ihrer wertgebenden Inhaltsstoffe, ihrer Robustheit gegenüber Trockenheit und Hitze sowie ihres Potenzials für nachhaltige Anbausysteme besonders geeignet erscheinen. Das Vorhaben zielte darauf ab, die wissenschaftlichen, technischen und anwendungsbezogenen Grundlagen für die Überführung dieser Wildpflanzen in klimaresiliente Nutzpflanzen zu schaffen. Dazu gehörten die Identifizierung geeigneter Genbankakzessionen, die Analyse der Biodiversität und der wertgebenden Inhaltsstoffe, die Optimierung von Keimung und Anbau sowie die Charakterisierung phytosanitärer und bodenverbessernder Eigenschaften. Ein besonderer Fokus lag auf der Nutzung antimikrobieller Inhaltsstoffe als biologische Alternative zu synthetischen Pflanzenschutzmitteln sowie auf dem Beitrag der Pflanzen zur Bodenstrukturverbesserung, Biodiversität und nachhaltigen Landnutzung. Darüber hinaus sollten neue Kultivierungs- und Monitoringansätze geprüft werden, unter anderem durch nicht-destruktive optische Verfahren zur Erfassung von Pflanzenstress und Inhaltsstoffen, um eine stabile und qualitätsgesicherte Produktion zu ermöglichen. Flankierend war der Ausbau und die Verstetigung von Netzwerken vorgesehen, um den Wissenstransfer zu unterstützen und neue regionale Wertschöpfungsketten aufzubauen. Durch die Zusammenarbeit mit dem Innolab Circular PhytoREVIER sollte zudem der überregionale Wissenstransfer zwischen Lausitz und Rheinischem Revier gestärkt und Synergien in der Bioökonomie genutzt werden.

## 2. Ablauf des Vorhabens

Zu Projektbeginn kam es zu einer zeitlichen Verzögerung von etwa drei Monaten, die im Wesentlichen auf die verzögerte Besetzung der vorgesehenen Projektmitarbeiterstelle zurückzuführen war. Diese Verzögerung wirkte sich zunächst auf den Start einzelner Arbeitspakete aus, führte jedoch nicht zu einer inhaltlichen Einschränkung der Projektziele. Im weiteren Verlauf wurde die zeitliche Abweichung durch die zeitweise Einstellung einer zweiten Projektmitarbeiterin kompensiert. Die Mehrzahl der geplanten Meilensteine konnte erreicht oder in einzelnen Fällen sogar übererfüllt werden. Abweichungen vom ursprünglichen Zeitplan traten vor allem im Bereich feldbasierter Arbeiten auf, die aufgrund externer Rahmenbedingungen wie Vegetationsverlauf und Keimungsdynamik nicht vollständig innerhalb der Projektlaufzeit abgeschlossen werden konnten.

## 3. Wesentliche Ergebnisse

Für *O. biennis* wurden wesentliche Grundlagen für eine zukünftige Nutzung als Agrarkultur erarbeitet. Es konnten Genotypen mit erhöhten Gehalten an wertgebenden Inhaltsstoffen (insbesondere Oenothein B) identifiziert und pflanzenphysiologisch charakterisiert werden. Ergänzend wurden zentrale Einflussfaktoren auf die Samenkeimung systematisch untersucht. Dabei zeigte sich, dass sowohl der Reifegrad bei der Ernte als auch Lagerdauer und Saatgutalter einen maßgeblichen Einfluss auf die Keimfähigkeit haben. Diese Ergebnisse liefern eine belastbare Grundlage für die Optimierung von Saatgutproduktion, Qualitätsmanagement sowie für selektive und züchterische Weiterentwicklungen. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Analyse der Trockenstresstoleranz von *O. biennis*. Unter kontrollierten Bedingungen wurden genotypspezifische Unterschiede in der Wurzelarchitektur, im Metabolom sowie in den Wurzelausscheidungen nachgewiesen. Die Ergebnisse belegen, dass Trockenstress deutliche, gewebespezifische metabolische Anpassungen auslöst, unter anderem eine erhöhte Akkumulation osmoregulatorischer Zucker und antioxidativ wirksamer Flavonoide. Diese Erkenntnisse stellen eine wichtige wissenschaftliche Basis für die Entwicklung klimaresilienter Anbausysteme auf marginalen Standorten dar.

Für *P. saxifraga* konnten erstmals unterschiedliche Chemotypen mit klar differenziertem phytosanitärem Potenzial identifiziert werden. Samenmehle ausgewählter Chemotypen zeigten eine signifikante antifungale Wirkung gegen den bodenbürtigen Pflanzenpathogen *R. solani*. Die Kombination aus chemischer Analytik (GC-MS, Headspace-Analysen) und Bioassays belegte, dass sowohl qualitative als auch quantitative Unterschiede in den flüchtigen und lösungsmittelextrahierbaren Metaboliten für die unterschiedliche Wirksamkeit verantwortlich sind. In Gewächshausversuchen konnte zudem gezeigt werden, dass ein Chemotyp bei geeigneter Dosierung keine Phytotoxizität aufweist und das Pflanzenwachstum unter Pathogendruck signifikant verbessert. Damit wurden tragfähige Grundlagen für die Entwicklung biologischer Pflanzenschutz- bzw. Biofumigationsprodukte geschaffen.

Darüber hinaus wurde die Eignung beider Wildpflanzenarten für schwierige Standortbedingungen untersucht. Versuche zur Bodenverdichtung zeigten, dass sowohl *O. biennis* als auch *P. saxifraga* moderate Verdichtungsgrade ohne signifikante Wachstumsbeeinträchtigungen tolerieren. Ergänzend wurden im Feld innovative Monitoring- und Modellierungsansätze etabliert. Dazu zählen drohnenbasierte Verfahren zur automatisierten Erkennung einzelner *O. biennis*-Pflanzen, hyperspektrale Analysen sowie Modellierungen der Bodenfeuchtigkeitsdynamik.

Insgesamt liefern die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Vorhabens eine gute Grundlage für die Weiterentwicklung nachhaltiger Anbausysteme, die Nutzung bioaktiver Inhaltsstoffe sowie für neue Anwendungen im biologischen Pflanzenschutz.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

# Abschlussbericht

Zum Teilprojekt: TP1 (InnoWert IGZ)

| Zuwendungsempfänger: | Förderkennzeichen: |
|---|---|
| Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) e V.<br>Theodor-Echtermeyer-Weg 1<br>14979 Großbeeren | 03WIR3024A |
| Vorhabenbezeichnung:<br>„WIR! – LIL- InnoWert- Gemeine Nachtkerze (*Oenothera biennis*) und Kleine Bibernelle (*Pimpinella saxifraga*) für neue Wertschöpfungsketten in der Lausitz; TP1: InnoWert IGZ “ | |
| Laufzeit des Vorhabens:<br>01.10.2023 bis 30.09.2025 | |
| Berichtszeitraum:<br>01.10.2023 bis 30.09.2025 | |

## Teil II, Eingehende Darstellung

### 1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlichen Ergebnisse

Der Start der Projektaufnahme war um 3 Monate verzögert, bedingt durch die Einstellung des Projektmitarbeiters Dr. Mohamed Ramadan Abdelfadil (siehe Zwischenbericht 2023). Dr. Abdelfadil war von Januar bis April 2024 in Teilzeit (60% vH) und ab Mai 2024 in Vollzeit angestellt. Diese zeitliche Verzögerung wurde durch die Einstellung einer zweiten Projektmitarbeiterin MSc. Melanie Hanser (Oktober 2024-März 2025, 65% vH) aufgeholt.

Im Verlauf des Projektes wurden den Projektpartnern IME, IBG-2 und UMSICHT alle Materialien zur Verfügung gestellt, die für die Durchführung der jeweiligen APs benötigt wurden. Dazu zählten Pflanzensamen, Jungpflanzen, Metabolitextrakte, Extraktionsprotokolle und andere relevante Informationen.

#### AP1.1 Netzwerkausbau

Am 6. Mai 2025 fand im Forschungszentrum Jülich (FZJ) eine Projektbesprechung statt, bei der das Konsortium den aktuellen Stand des Projekts vorstellte und diskutierte. Die abschließende Projektbesprechung fand am 23. September 2025 im Fraunhofer IME statt, wo Ergebnisse und Zukunftsperspektiven diskutiert wurden.

Am 9. und 10. April 2025 wurden die Projektergebnisse mit besonderem Schwerpunkt auf dem Arbeitspaket AP3.1 (Phytosanitäre Wirkung) auf der Leibniz-Konferenz zu bioaktiven Verbindungen als

Vortrag der Masterstudentin BSc. Jasmin Tauchelt vorgestellt. Diese jährliche Veranstaltung, die vom Leibniz-Forschungsnetzwerk Bioaktive Stoffe organisiert wird, fördert den interdisziplinären Dialog zwischen Wissenschaft und Industrie, hebt methodisches und technisches Fachwissen hervor und befasst sich gleichzeitig mit globalen Herausforderungen wie Pflanzengesundheit und Pflanzenschutz.

Vom 28. bis 31. Januar 2025 wurde das Projekt auf der „Weltleitmesse für Gartenbau | IPM ESSEN“ vorgestellt. Während dieser internationalen Veranstaltung wurden die Projektaktivitäten und Arbeitspakete vorgestellt, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf dem Arbeitspaket AP4.1 (Bodenverbessernde Wirkung) lag (Abbildung 1 a). Vom 15. bis 19. Juni 2025 wurden die Projektergebnisse auf der Rhizosphere 6-Konferenz in Edinburgh, Schottland, vorgestellt. Die Ergebnisse der im Arbeitspaket AP2.1 (Inhaltsstoffe) durchgeführten Experimente zur Trockenresistenz von *Oenothera biennis* wurden in Form eines Posters präsentiert (Abbildung 1 b). Am 16. September 2025 wurde das Projekt im Rahmen des Zukunftsdialogs „Wandel mit Wurzeln“ in Neupetershain vorgestellt (Abbildung 1 c).

**a** **b** **c**

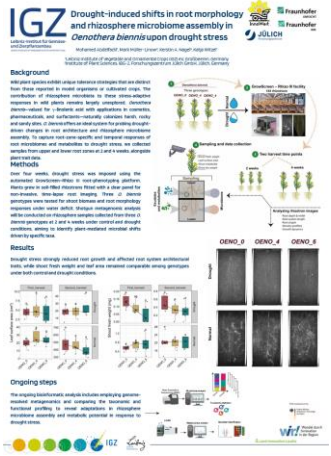

Abbildung 1. Networking-Aktivitäten. a) 28.–31. Januar 2025 Weltweit führende Fachmesse für Gartenbau | IPM ESSEN. b) 15.–19. Juni 2025 Rhizosphere 6 Konferenz; Posterpräsentation. c) 16. September 2025 Zukunftsdialog „Wandel mit Wurzeln“.

Der Meilenstein MS-IGZ-1 wurde größtenteils erreicht. Durch die Vernetzung mit dem Innolab Circular PhytoREVIER wurde das Projekt überregional bekannt gemacht. Die Teilnahme an zahlreichen Veranstaltungen hat dazu geführt, die Forschungsvermarktung von Wildpflanzen in der Lausitz voranzubringen. Trotz der Kontakte, die auch durch die Arbeiten im InnoWild-Projekt entstanden sind, ist es jedoch nicht gelungen, potentielle Unternehmen und andere Stakeholder aus der Wertschöpfungskette dauerhaft einzubinden. Daher fand der geplante Workshop am IGZ nicht statt. Die Ergebnisse, die in den Projekten InnoWild und InnoWert erzielt werden konnten, werden eine hervorragende Grundlage sein, die wirtschaftlichen Chancen für die Nutzung von Wildpflanzenarten zu erhöhen. Für die Arbeiten in diesem Arbeitspaket wurden 3,2 Personenmonate (PM) benötigt.

## AP2.1 Inhaltsstoffe

### Bewertung der Keimrate von *Oenothera biennis*-Samen

Die Keimraten bei Wildpflanzenarten sind oft variabel. Um die Faktoren zu bewerten, die die Keimung von *O. biennis* beeinflussen, haben wir drei unabhängige Saatgutpartien des Herstellers NagolaRe

untersucht. Die Keimung wurde getestet, indem die Samen in Wasser eingeweicht und auf feuchtes Filterpapier in Petrischalen gelegt wurden, die unter kontrollierten Raumbedingungen mit natürlichem Licht, aber ohne direkte Sonneneinstrahlung aufbewahrt wurden. Die Feuchtigkeit wurde konstant gehalten und die Keimung wurde zu zwei Zeitpunkten aufgezeichnet. Es wurden drei Saatgutpartien getestet: (i) die ursprüngliche Partie zum Projektstart vom Schwesterprojekt InnoWild (ca. 2021), (ii) Samen, die im Oktober 2022 bei voller Reife von Pflanzen aus der ersten Partie geerntet wurden, und (iii) Samen, die im Oktober 2023 in einem Feldversuch in einem unreifen Stadium (nicht voll ausgereift) gesammelt wurden. Es wurden deutliche Unterschiede in der Keimleistung beobachtet (Abbildung 2 a), wobei die vollreifen Samen aus dem Jahr 2022 die höchste Keimfähigkeit aufwiesen, während sowohl die älteren Samen aus dem Jahr 2021 als auch die vorzeitig geernteten Samen aus dem Jahr 2023 eine verringerte Keimrate aufwiesen (Abbildung 2 b). Diese Ergebnisse zeigen, dass die Keimfähigkeit der Samen nicht nur bei längerer Lagerung abnimmt, sondern auch, wenn die Samen vor der vollständigen Reife geerntet werden. Zukünftige Forschungen können untersuchen, wie Erntezeitpunkt, Lagerdauer und Lagerbedingungen bei *O. biennis*-Genotypen und verwandten Wildarten zusammenwirken, um die Samenqualität zu optimieren und eine gleichbleibende Keimleistung zu gewährleisten.

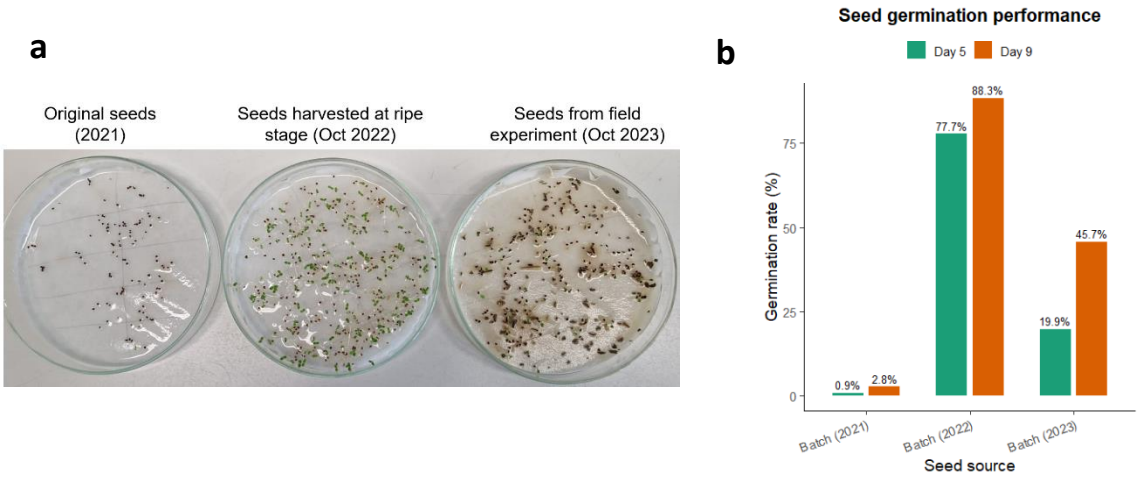


Abbildung 2. Bewertung der Keimleistung von *O. biennis*-Samen aus verschiedenen Chargen. a) Petrischalen-Assays nach 9 Tagen, die Unterschiede in der Keimung zwischen den Samenchargen zeigen. b) Balkendiagramm mit einer Zusammenfassung der Keimraten (%) am 5. und 9. Tag nach Aussaat.

### Widerstandsfähigkeit von *O. biennis*-Genotypen gegenüber Trockenstress

Im vorherigen Berichtszeitraum wurden der Versuchsaufbau und das Design zur Untersuchung der physiologischen, metabolischen und rhizosphärischen Anpassungen von *O. biennis*-Genotypen unter Trockenstress detailliert beschrieben. Das Experiment wurde in Zusammenarbeit mit Projektpartnern am Forschungszentrum Jülich durchgeführt, wobei die automatisierte GrowScreen-Rhizo III-Plattform über einen Zeitraum von 30 Tagen genutzt wurde, um durch Trockenheit verursachte Veränderungen in der Wurzelarchitektur, den metabolomischen Profilen und der Zusammensetzung des Rhizosphärenmikrobioms bei verschiedenen *O. biennis*-Genotypen zu charakterisieren. Es wurden drei *O. biennis*-Genotypen getestet, die aus neun Genbank-Akzessionen aufgrund ihrer höchsten Keimraten und ihres hohen Oenothein-B-Gehalts ausgewählt worden waren. Vier Merkmale der Wurzelarchitektur

wurden im Zeitverlauf erfasst: Gesamtwurzellänge, Tiefe des Wurzelsystems, Breite des Wurzelsystems und Fläche der konvexen Hülle. Zusammen charakterisieren diese Merkmale das Wurzelwachstum unter gut bewässerten und Trockenbedingungen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Trockenheit die Wurzelentwicklung bei allen *O. biennis*-Genotypen beeinträchtigte, wobei die Auswirkungen nach etwa zwei Wochen deutlich wurden (Abbildung 3). Unter gut bewässerten Bedingungen entwickelte der Genotyp OENO-4 die längste Gesamtwurzellänge, Genotyp OENO-0 erreichte die größte Tiefe und die größte konvexe Hüllfläche, und Genotyp OENO-6 war durchweg der niedrigste Wert über alle Merkmale hinweg. Unter Trockenbedingungen behielt OENO-0 eine größere Tiefe, Breite und konvexe Hüllfläche bei, während OENO-4 die größte Gesamtwurzellänge beibehielt; OENO-6 blieb unter beiden Bedingungen am niedrigsten. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Trockenheit zwar das Wurzelwachstum bei allen Genotypen verringerte, die Reaktionsmuster jedoch je nach Genotyp unterschiedlich waren, was auf unterschiedliche Anpassungsstrategien an die Wasserverknappung hindeutet.

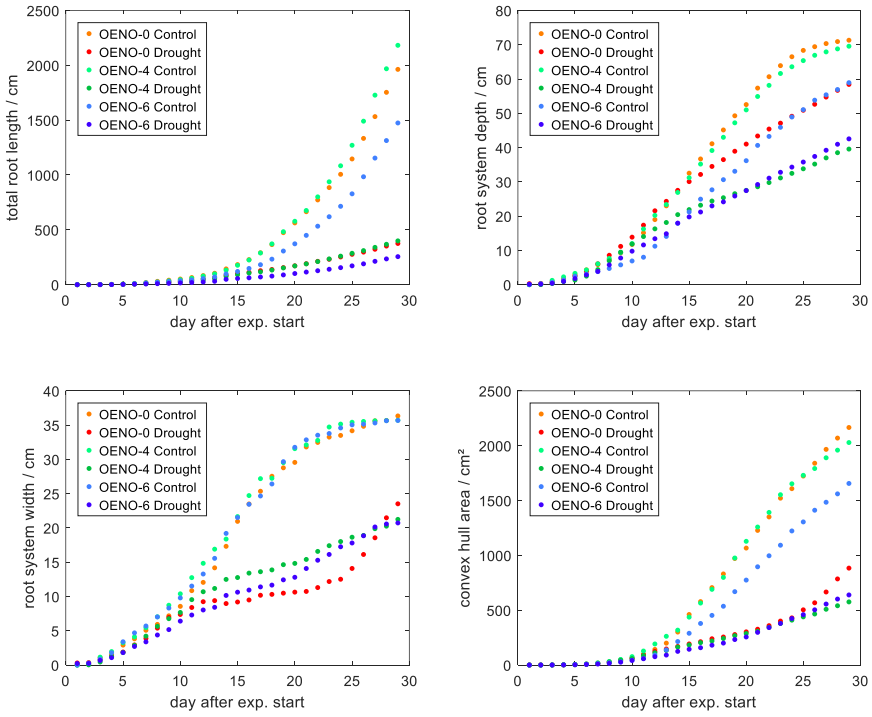


Abbildung 3: Zeitliche Wurzelarchitektur von drei *O. biennis*-Genotypen unter gut bewässerten und trockenen Bedingungen, gemessen mit der GrowScreen-Rhizo III-Plattform über einen Zeitraum von 30 Tagen.

In Zusammenarbeit mit Dr. Andreas Dunkel, Universität Wien, wurde ein nicht zielgerichtetes Metabolom-Profiling durchgeführt, um die Stoffwechselreaktionen von *O. biennis*-Organen unter Trockenheit und bei ausreichender Bewässerung zu untersuchen. Proben wurden zwei und vier Wochen nach Beginn der Stressbehandlung von Sprossen und Wurzeln der drei Genotypen entnommen. Bei den Wurzeln wurden die oberen und unteren Wurzelsegmente separat beprobt, da sich diese Bereiche in ihrem Entwicklungsstadium und ihrer physiologischen Aktivität unterscheiden, was einen starken Einfluss auf die Metabolitenakkumulation und die Wechselwirkungen mit der Wurzelumgebung haben

kann. Die Analyse zielt daher darauf ab, nicht nur Unterschiede zwischen Trocken- und Kontrollbehandlungen, sondern auch zwischen Wurzelzonen und ihren Entwicklungsinteraktionen im Laufe der Zeit aufzuklären. Darüber hinaus wurden Wurzelexsudate aus den oberen und unteren Wurzelsegmenten für die Metabolomanalyse gesammelt, da Ausscheidungen die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Mikroben vermitteln und voraussichtlich eine Schlüsselrolle bei der Gestaltung der Rhizosphärenmikrobiomzusammensetzung unter Trockenstress spielen.

Die Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Gewebemetaboliten zeigte eine klare Trennung nach Gewebetyp (Wurzel und Spross) und nach Behandlung (Trockenheit und gute Bewässerung, hier als normal bezeichnet) (Abbildung 4a). Im Datensatz der Wurzelexsudate trennten sich die Proben ebenfalls nach Behandlung, was auf durch Trockenheit verursachte Veränderungen in der Zusammensetzung der Ausscheidungen hindeutet (Abbildung 4b). Zusammengenommen zeigen diese Ergebnisse, dass Trockenheit starke gewebespezifische Stoffwechselveränderungen hervorruft und die Profile der Wurzelausscheidungen verändert. Analysen nach Genotyp, Erntezeitpunkt und Wurzelzone sind noch nicht abgeschlossen. Unter den annotierten Merkmalen waren Metaboliten mit bekannter Rolle bei der Trockenheitsreaktion in allen Genotypen sowohl in den Wurzeln als auch im Spross unter Trockenheitsbedingungen im Vergleich zu gut bewässerten Bedingungen angereichert. Melibiose, ein Disaccharid, zeigte unter Trockenheitsbedingungen im Vergleich zu gut bewässerten Bedingungen in allen drei Genotypen eine höhere Abundanz sowohl in den Wurzeln als auch in den Sprossen (Abbildung 4c). Dieses Muster steht im Einklang mit der Rolle löslicher Zucker als osmoprotektive Substanz, die zur osmotischen Anpassung und Stabilisierung der Zellstrukturen unter Wasserdefizit beitragen. In ähnlicher Weise zeigte Hesperetin, ein Flavanoid mit antioxidativen Eigenschaften, eine erhöhte Anreicherung unter Trockenstress (Abbildung 4d). Es wurden Unterschiede zwischen Wurzeln und Spross der verschiedenen Genotypen beobachtet; der allgemeine Trend deutet darauf hin, dass Trockenheit die Flavonoidbiosynthese in *O. biennis* verstärkt. Flavonoide sind weithin für ihre Fähigkeit bekannt, oxidativen Stress durch die Beseitigung reaktiver Sauerstoffspezies zu mildern und so das Überleben der Pflanzen unter Wassermangel zu unterstützen.

Obwohl die detaillierte Annotation der Metaboliten und die Analyse der Wurzelausscheidungen noch nicht abgeschlossen ist, zeigen die aktuellen Ergebnisse bereits, dass Trockenheit den Stoffwechsel von *O. biennis* als Reaktion auf Trockenstress verändert. Die laufende Mikrobiomanalyse wird entscheidend sein, um diese Stoffwechselveränderungen mit den Reaktionen der Rhizosphären-Gemeinschaft in Verbindung zu bringen. Zusammen sollen diese Datensätze Metabolit-Signaturen identifizieren, die die Wechselwirkungen zwischen Wurzeln und Mikrobiom prägen, und mikrobielle Taxa hervorheben, die zur Unterstützung der Trockenheitsminderung bei anderen Pflanzen genutzt werden können.

Der Meilenstein MS-IGZ-2 wurde erfüllt. Ursprünglich geplant wurde die Identifizierung von Akzessionen von *P. saxifraga* und *O. biennis* mit erhöhten Gehalten wertgebender Inhaltsstoffe. Da sich zu Projektbeginn zeigte, dass das Potential von *O. biennis* als Agrarkultur deutlich von P. saxifraga abhob, wurde sich in dem AP auf *O. biennis* fokussiert. Akzessionen mit erhöhten Oenothein-B-Gehalten wurden identifiziert und pflanzenphysiologisch weiter charakterisiert. Die Erkenntnisse zur Samenkeimung sind eine wichtige Grundlage für weitere selektionelle oder züchterische Bearbeitung der Nachtkerze. Für die Arbeiten wurden 7,1 PM benötigt.

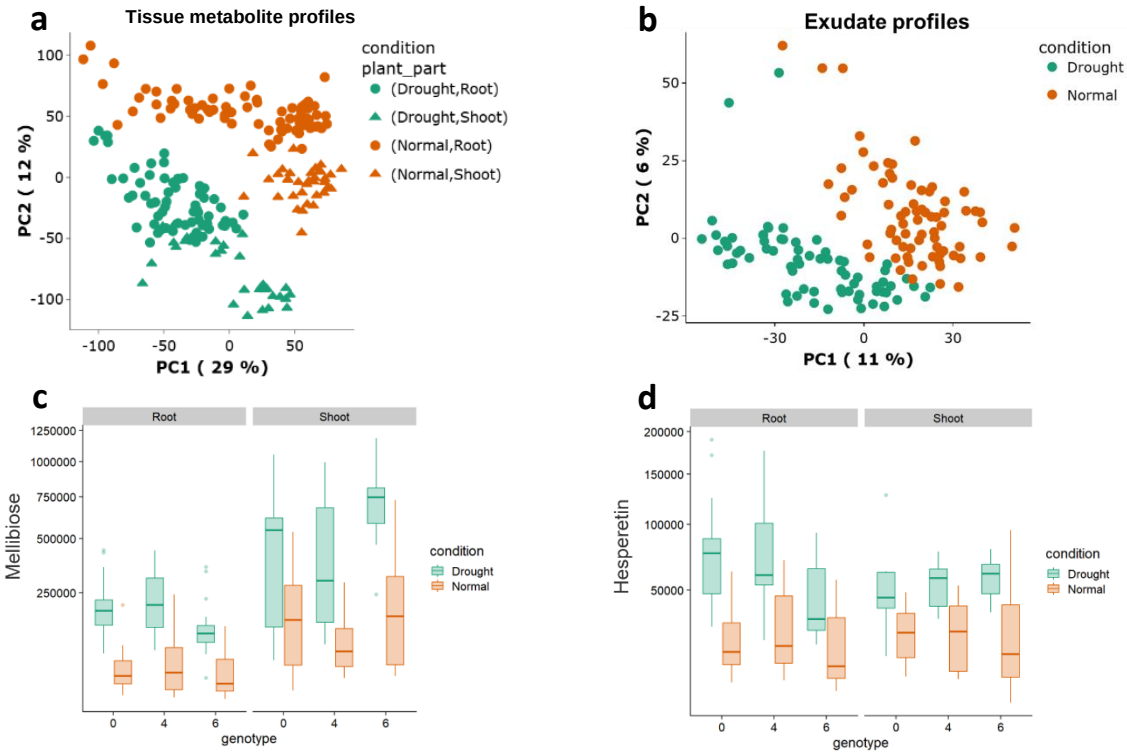


Abbildung 4. Stoffwechselprofile von *O. biennis* unter Trockenheit und bei ausreichender Bewässerung. a) PCA der Gewebemetabolitenprofile nach Gewebe und Behandlung. b) PCA der Wurzelausscheidungsprofile nach Behandlung. c) Melibiose-Häufigkeit nach Genotyp und Gewebe unter beiden Behandlungsbedingungen. d) Hesperetin-Häufigkeit nach Genotyp und Gewebe unter beiden Behandlungsbedingungen.

## AP3.1 Phytosanitäre Wirkung

Im vorherigen Berichtszeitraum wurde beschrieben, dass Rohextrakte aus *Pimpinella saxifraga*-Samen in Bioassays eine antimykotische Wirkung gegen *Rhizoctonia solani* aufwiesen. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde im aktuellen Experiment die Wirksamkeit von *P. saxifraga*-Samenmehl sowohl *in vitro* als auch *in vivo* gegen *R. solani* bewertet. Für den *in-vitro*-Test wurden Samenmehle von zwei verschiedenen *P. saxifraga* Chemotypen (JEL und NAG) in Konzentrationen von 0, 0,3 und 1,5 g getestet. In dem Testsystem wurde das Samenmehl in den Deckel einer Petrischale gegeben, während das *R. solani* enthaltende Agarmedium darauf gestülpt wurde, um sicherzustellen, dass der Pilz den aus dem Samenmehl freigesetzten flüchtigen Verbindungen ausgesetzt war. Sowohl das JEL- als auch das NAG-Samenmehl reduzierten das Myzelwachstum von *R. solani* im Vergleich zur Kontrolle signifikant (Abbildung 5a–b), was darauf hindeutet, dass die flüchtigen Verbindungen aus *P. saxifraga*-Samenmehl eine antimykotische Wirkung haben. Das Ausmaß der Hemmung unterschied sich zwischen den beiden Saatgutmehlen, wobei JEL eine signifikant stärkere Verringerung des Myzelwachstums zeigte als NAG, was auf Unterschiede in ihrer flüchtigen Zusammensetzung hindeutet.

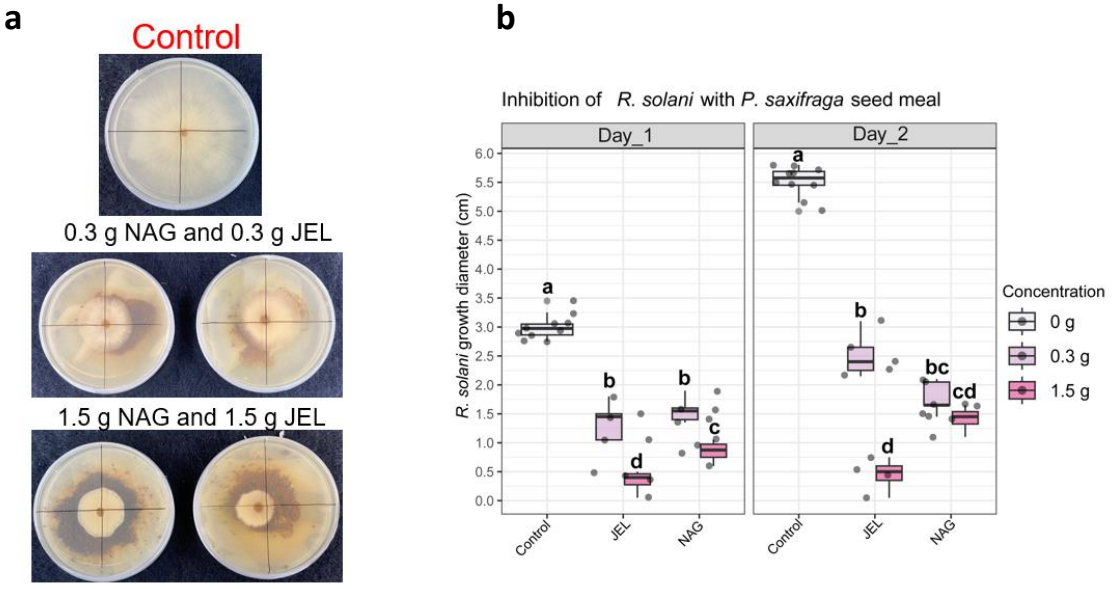


Abbildung 5. Antimykotische Wirkung von *P. saxifraga*-Samenmehl gegen *R. solani*. a) Repräsentative Petrischalen, die einen reduzierten Durchmesser des *R. solani* Mycelwachstums unter NAG- und JEL-Samenmehlbehandlung im Vergleich zur Kontrolle zeigen. b) Boxplots, die den Durchmesser der Pilzkolonie nach 1 und 2 Tagen Inkubation für zwei *P. saxifraga*-Samenmehle (JEL und NAG) zeigen, die in drei Konzentrationen (0, 0,3 und 1,5 g) getestet wurden.

In Zusammenarbeit mit Prof. Franziska Hanschen, QUALITY 2, und Dr. Monic Barman, SSP, am IGZ wurden lösungsmittelextrahierbare und flüchtige Metaboliten in JEL- und NAG-Samenmehl-Chemotypen analysiert, um Unterschiede in der Zusammensetzung zu untersuchen. Die mittels GC-MS analysierten Lösungsmittelextrakte (Abbildung 6a) zeigten quantitative Unterschiede, wobei einige Verbindungen in einem Samenmehl fast nicht vorhanden waren, im anderen jedoch reichlich vorhanden waren. Beispielsweise war (E)-α-Bergamoten in JEL angereichert, während (E)-β-Farnesen in NAG häufiger vorkam. Diese Variation könnte Unterschiede im Potenzial für ein verringertes Myzelwachstum von *R. solani* widerspiegeln, das für JEL im Vergleich zu NAG *in vitro* beobachtet wurde.

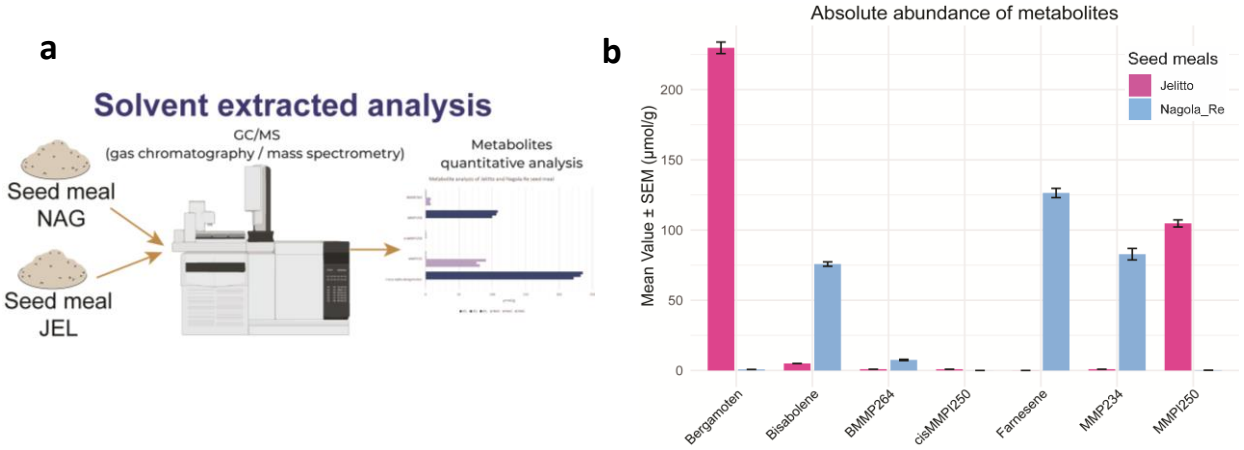


Abbildung 6. Mit GC-qTOF-MS erstelltes Profil der mit Lösungsmittel extrahierten Metaboliten aus

Samenmehl. a) Arbeitsablauf für die Lösungsmittelextraktion und die GC-qTOF-MS-Analyse. b) Absolute Häufigkeit ausgewählter Metaboliten in JEL- und NAG-Samenmehl.

Zur Charakterisierung der flüchtigen Verbindungen wurde eine Headspace-Sammlung und anschließende Gaschromatographie mit einem Quadrupol-Flugzeit-Massenspektrometer (GC–qToF/MS)-Analyse durchgeführt. Die Untersuchung ergab deutliche Unterschiede zwischen JEL und NAG sowohl in der qualitativen als auch in der quantitativen Zusammensetzung. Die fünf häufigsten flüchtigen Stoffe (Abbildung 7a) waren in beiden Saatgutmehlen am häufigsten vertreten, während das Venn-Diagramm (Abbildung 7b) zeigte, dass jedes Saatgutmehl zusätzlich zu einer gemeinsamen Gruppe von 18 flüchtigen Stoffen auch einzigartige Verbindungen produzierte. Unter den gemeinsamen Verbindungen unterschieden sich die relativen Häufigkeiten: JEL enthielt höhere Mengen an (E)-α-Bergamoten, während NAG relativ reich an (E)-β-Farnesen, β-Bisabolen und γ-Terpinen war (Abbildung 7c). Solche Unterschiede in der Zusammensetzung der beiden Samenmehle spiegeln möglicherweise Unterschiede in ihrer potenziellen Rolle bei der Pflanzenabwehr sowie mögliche Unterschiede in der phytotoxischen Wirkung auf die Pflanze wider.

Um die potenzielle Phytotoxizität von *P. saxifraga*-Samenmehl und dessen Fähigkeit, das Wachstum von Salat unter pathogener Infektion zu unterstützen, zu bewerten, wurde ein Gewächshausversuch durchgeführt, um eine geeignete nicht-phytotoxische Konzentration zu ermitteln. Samenmehl beider Chemotypen (JEL und NAG) wurde getestet, indem es in vier Konzentrationen (0 %, 0,5 %, 1,5 % und 2,5 %) mit dem Bodensubstrat gemischt wurde. Nach dem Mischen wurde das Substrat fünf Tage lang inkubiert, woraufhin vier Wochen alte Salatsämlinge in die Töpfe gepflanzt wurden. Die Ergebnisse zeigten, dass NAG-Samenmehl das Wachstum von Salat in allen getesteten Konzentrationen negativ beeinflusste, während JEL bei 1,5 % im Vergleich zu den Kontrollpflanzen ohne Samenmehl keine signifikanten phytotoxischen Wirkungen zeigte, was auf eine größere Eignung für die praktische Anwendung hindeutet (Abbildung 8). Das ursprüngliche Pathogensystem, das auf der Anwendung von mit *R. solani* beimpften Weizensamen basierte, konnte jedoch nicht erfolgreich etabliert werden.

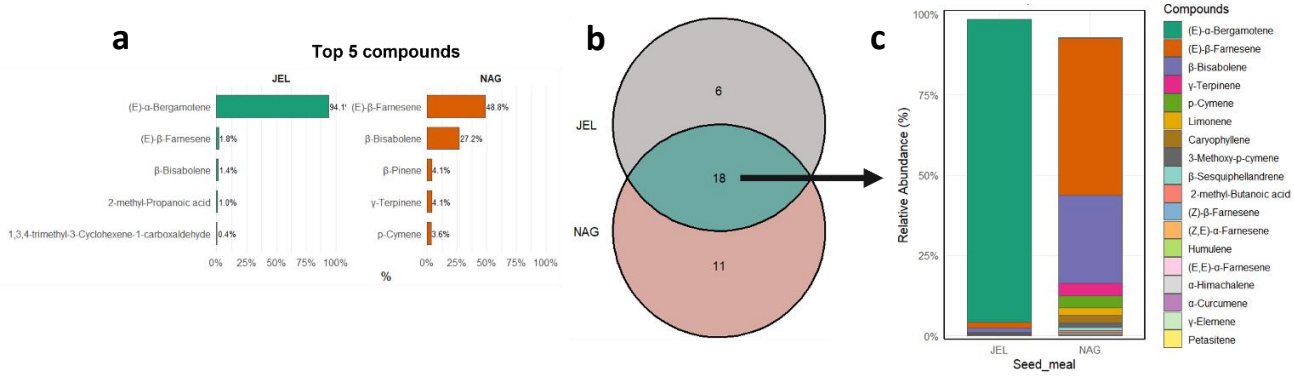


Abbildung 7. Headspace-Profil der flüchtigen Bestandteile von Saatgutmehlen mittels GC-qTOF-MS. a) Die fünf häufigsten flüchtigen Bestandteile für jedes Saatgutmehl. b) Venn-Diagramm der identifizierten Verbindungen: JEL (6), gemeinsam (18), NAG (11). c) Gestapeltes Balkendiagramm der relativen Häufigkeit (%) der identifizierten flüchtigen Stoffe in JEL- und NAG-Samenmehlen.

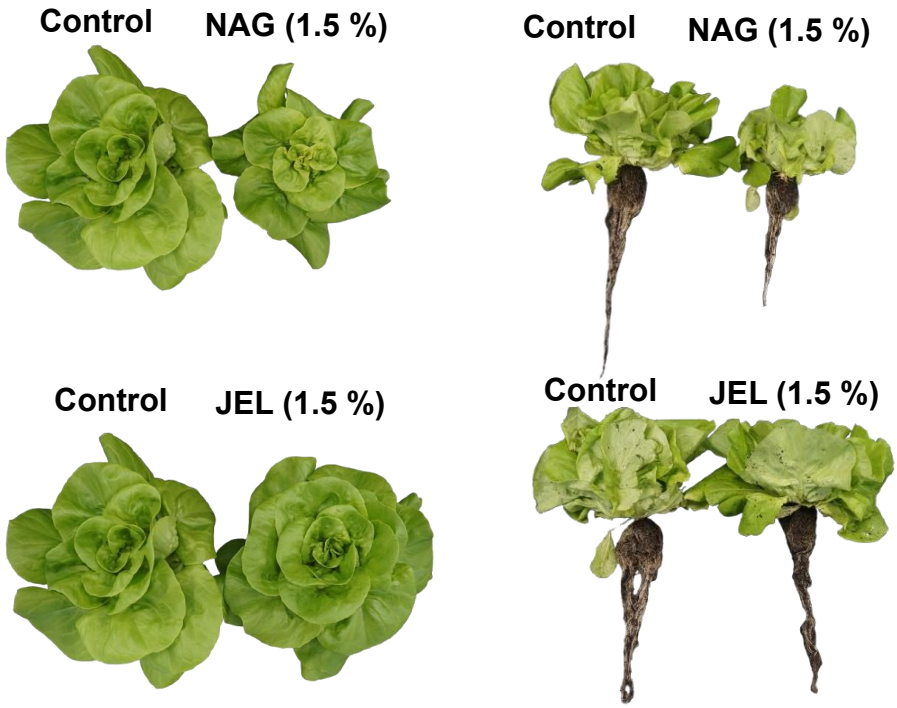


Abbildung 8. Auswirkungen von 1,5 % Samenmehl (JEL und NAG) auf Salatsprossen und -wurzeln im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Samenmehl).

In einem anschließenden Gewächshausversuch wurde die Wirksamkeit des JEL-Samenmehl-Chemotyps in einer Konzentration von 1,5 % gegen *R. solani* untersucht. JEL wurde in das Bodensubstrat eingearbeitet und fünf Tage lang inkubiert, bevor vier Wochen alte Salatsämlinge gepflanzt wurden. Die Infektion mit dem Pathogen *R. solani* wurde optimiert, indem fünf Agarplättchen mit aktiv wachsendem Myzel in den Boden um jede Pflanze herum eingebracht wurden. Es wurden zwei Kontrollen durchgeführt, eine pathogenfreie Kontrolle ohne Saatgutmehl und eine pathogeninfizierte Kontrolle ohne Saatgutmehl. Der Salat wurde vier Wochen lang kultiviert. Bei der Ernte wurde das Frischgewicht und der Chlorophyllgehalt bestimmt, sowie Proben für die Bestimmung des Trockengewichts und für eine Proteinanalytik genommen. Die Infektion mit *R. solani* verursachte sichtbare Blattschäden und reduzierte das Wachstum des Salats (Abbildung 9a). In mit JEL angereicherten Töpfen wiesen die angebauten Salate unter Pathogeninfektion ein signifikant höheres Frischgewicht auf als die pathogeninfizierte Kontrolle ohne Saatgutmehl (Abbildung 9b). Das Frischgewicht in der JEL-Behandlung unter Pathogeninfektion unterschied sich nicht signifikant von der pathogenfreien Kontrolle ohne Saatgutmehl, wie in Abbildung 9b dargestellt. Die beobachtete Wachstumsverbesserung in JEL-angereichertem Boden kann auf Nährstoffzufuhr aus dem Saatgutmehl sowie auf die Freisetzung bioaktiver flüchtiger Stoffe zurückzuführen sein. Zukünftige Forschungen können einzelne Kandidaten für flüchtige Stoffe und Metaboliten auf ihre antimykotische Wirksamkeit hin untersuchen und das Potenzial von Saatgutmehl als nachhaltiges biologisches Bekämpfungsmittel gegen Pflanzenpathogene testen.

Der Meilenstein MS-IGZ-3 wurde übererfüllt. Es gelang nicht nur, Pflanzenmaterial von *P. saxifraga* zu identifizieren, welches als Bestandteil des integrierten Pflanzenschutzes dienen kann. Es konnten auch gezeigt werden, dass unterschiedliche Chemotypen dieser Pflanzenart ein unterschiedlich hohes Potential haben, als Biofumigant eingesetzt zu werden. Diese zusätzlichen Erkenntnisse sind maßgeblich

im Rahmen der Master-Arbeit von Jasmin Tauchelt entstanden. Für die Arbeiten in diesem Arbeitspaket wurden 7,8 PM benötigt.

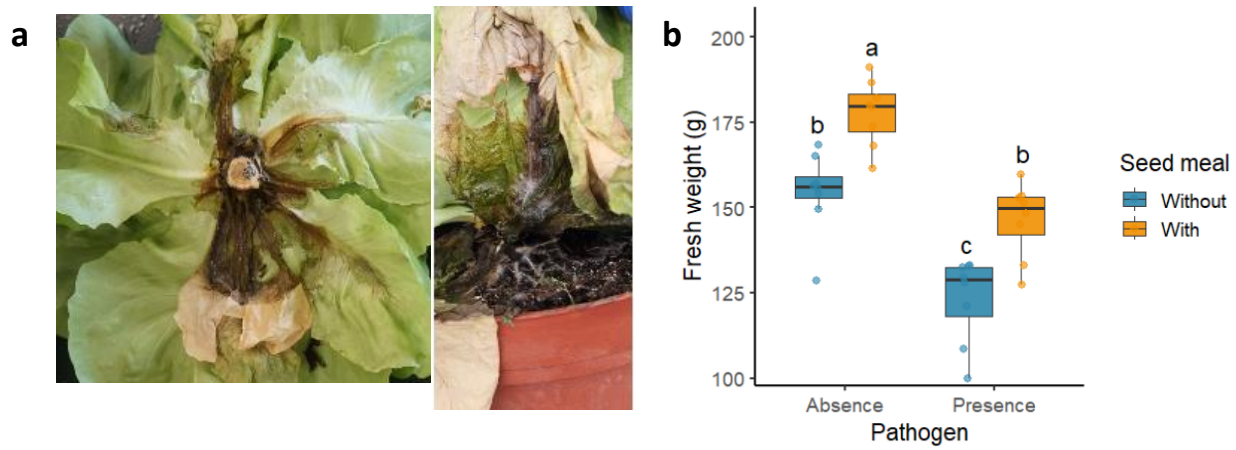


Abbildung 9. Wirkung von *P. saxifraga*-Samenmehl (JEL) auf das Wachstum von Salat bei *R. solani*-Infektion. a) Repräsentative infizierte Pflanze mit Blattschäden und Myzelwachstum an der Basis des Salats. b) Das Frischgewicht von Salatpflanzen, die mit und ohne Samenmehl, in Gegenwart und Abwesenheit von *R. solani*, getestet wurden.

## AP4.1 Bodenverbessernde Wirkung

In Zusammenarbeit mit Projektpartnern des Forschungszentrums Jülich wurden die Auswirkungen der Bodenverdichtung auf *O. biennis* und *P. saxifraga* in Wurzelkästen bei zwei Schüttdichten bewertet: 0,13–0,135 g*cm$^{-3}$ (normal verdichtet) und 0,175–0,18 g*cm$^{-3}$ (stärker verdichtet). Die Verdichtungshöhe ließ sich aufgrund der Substrateigenschaften (Torfsubstrat) nicht weiter erhöhen. Das Versuchsdesign umfasste zwei Behandlungen mit jeweils 15 Wiederholungen. Die Merkmale der Wurzelarchitektur und die Triebparameter wurden über einen bestimmten Zeitraum hinweg beobachtet (Abbildung 10 a, b). Die Diagramme zeigen die Mittelwerte aller Wiederholungen und die statistische Auswertung über verschiedene Zeitpunkte hinweg. Bei beiden Pflanzenarten wurden über den gesamten Zeitraum keine signifikanten Auswirkungen der Verdichtung auf die Trieb- oder Wurzelparameter festgestellt. Diese Ergebnisse stimmen zum großen Teil mit einem früheren Experiment mit Großbeeren-Sand überein, bei dem *P. saxifraga* bei drei Verdichtungsgraden (1,3, 1,4 und 1,5 g*cm$^{-3}$) getestet wurde und keine signifikanten Unterschiede im Frischgewicht oder Trockengewicht der Triebe zwischen den Verdichtungsgraden festgestellt wurden. Das Fehlen signifikanter Unterschiede im Wachstum von *P. saxifraga* und *O. biennis* zwischen normalem und stärker verdichtetem Boden deutet darauf hin, dass beide Arten eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegenüber Bodenverdichtung besitzen.

Der Meilenstein MS-IGZ-4 wurde erfüllt. Es konnte gezeigt werden, dass beide Pflanzenarten auf verdichteten Böden wachsen können. Die getesteten Verdichtungsstufen orientierten sich am verwendeten Substrat und der technischen Umsetzbarkeit im Versuchsaufbau. Allerdings liegen diese Werte deutlich unter der Bodenverdichtung von Abraumhalden, die bei ca. 2,65 g*cm$^3$ liegt. Weiterführende Experimente sollten daher in von Bodenverdichtung betroffenen Gebieten durchgeführt werden. Für diese Arbeiten wurden 3,7 PM benötigt.

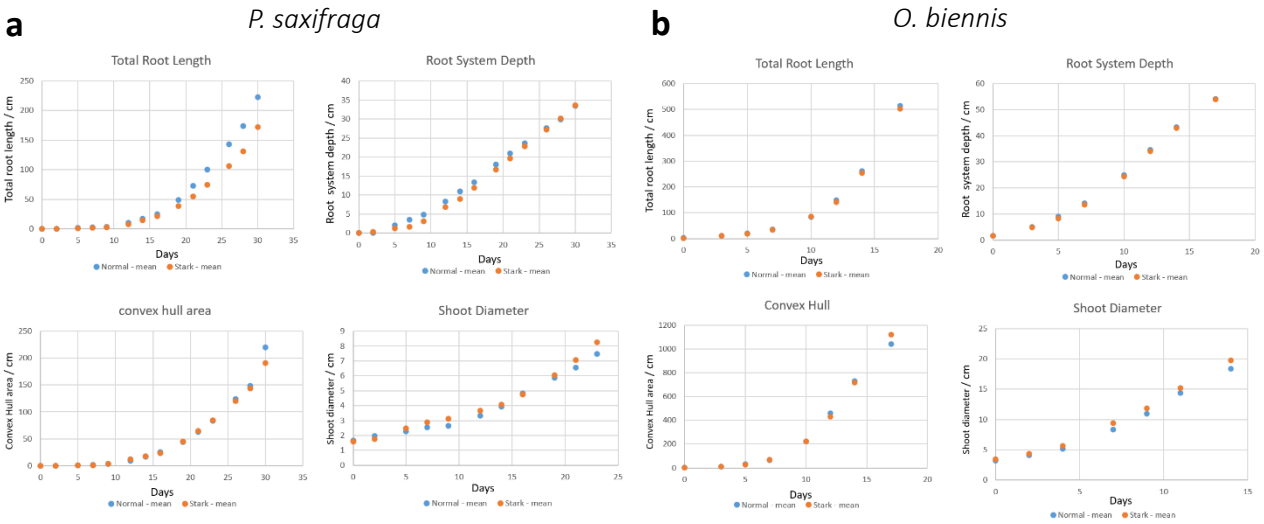


Abbildung 10: Wurzel- und Sprossentwicklung von *P. saxifraga* (a) und *O. biennis* (b) unter normalen und stärker verdichteten Bodenbedingungen von 0,13–0,135 g*cm$^{-3}$ (normal) und 0,175–0,18 g*cm$^{-3}$ (hoch). Wachstumsmessungen der Wurzelmerkmale (Gesamtwurzellänge, Tiefe und konvexe Hüllfläche) bei Pflanzen, die unter normalen und stärker verdichteten Bodenbedingungen gewachsen sind.

## AP6.1 Modellanbau Nachtkerze

Im Sommer 2024 wurden *O. biennis*-Samen auf dem heterogenen Feldstandort am IGZ (Parzelle A4) ausgesät, um das Wachstum in 2025 zu charakterisieren (zweijährige Kultur). In Zusammenarbeit mit Partnern des LauMon-Projektes Dr. Nicole Köllner und Dr. Carsten Neumann (Geoforschungszentrum Potsdam) wurde ein Experiment gestartet, um zu testen, wie sich die Heterogenität des Bodens auf das Wachstum von *O. biennis* auswirkt, und um die Wechselwirkungen zwischen Boden und Pflanzen unter Feldbedingungen zu untersuchen. Die Bodenfeuchtigkeitsdynamik wurde modelliert und mit hyperspektralen Feldmessungen integriert, um die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Boden zu verfolgen (Abbildung 11 a). Während des Pflanzenwachstums in der Wachstumsperiode 2025 wurde ein drohnenbasierter Erkennungsworkflow entwickelt, um *O. biennis*-Einzelpflanzen im Feld zu kartieren und zu unterscheiden (Abbildung 11 b). Im Laufe der Wachstumsperiode hat sich gezeigt, dass die Keimungsrate sehr gering ausfiel und sich im Laufe des Sommers vermehrt Rosetten gebildet haben, die in 2026 austreiben und Blüten bilden werden. Daher verbleiben die Pflanzen bis zur nächsten Vegetationsperiode 2026 auf dem Feld, dann werden Proben für chemische Analysen und die Erstellung von Rhizosphären-Mikrobiomprofilen entnommen. Die resultierenden Datensätze, darunter Bodenmodelle, hyperspektrale Messungen, Pflanzenwachstumsdaten und Mikrobiomdaten, werden integriert, um einen umfassenden Überblick darüber zu geben, wie die Heterogenität des Bodens das Wachstum, die Physiologie und die damit verbundenen Mikrobiome von *O. biennis* beeinflusst.

Der Meilenstein MS-IGZ-5 wurde teilweise erfüllt. Durch die nicht nutzbare Vegetationsperiode 2024 (siehe Zwischenbericht 2024) konnten die geplanten Arbeiten bezüglich der Ertrags- bzw. Qualitätsabschätzungen nicht durchgeführt werden. Gegenwärtig läuft dieses Experiment weiter, so

dass im Jahr 2026 eine Ertragsabschätzung durchgeführt werden kann. Sehr vielversprechend waren die Ergebnisse, die aus der Zusammenarbeit mit LauMon entstanden sind. Auch diese Kooperation wird für die Vegetationsperiode 2026 weitergeführt. Für die Arbeiten wurden 1,5 PM benötigt.

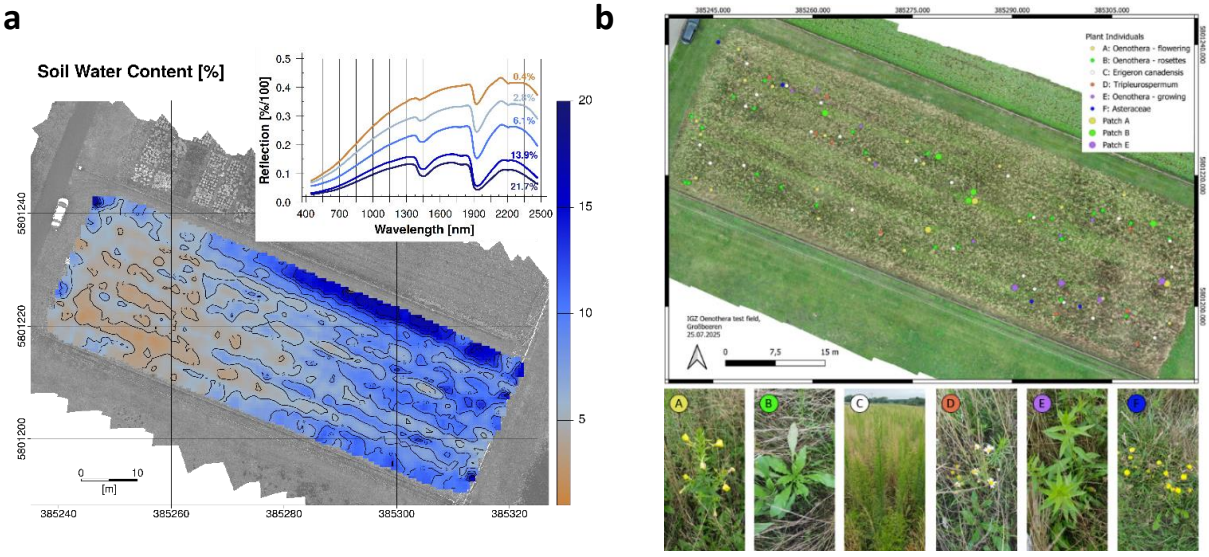


Abbildung 11. Feldbasiertes Monitoring von *O. biennis* auf einem heterogenen Bodenstandort (IGZ, Parzelle A4). a) Bodenfeuchtigkeitsmodell in Kombination mit hyperspektralen Bildern des Feldes zur Analyse der Wechselwirkungen zwischen Boden und Pflanzen. b) Drohnenbild mit automatischer Erkennung einzelner Nachtkerzen-Pflanzen auf dem Feld.

## 2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Finanzierung der Projektmitarbeitenden stellt die wichtigste Position dar. Durch den verspäteten Projektstart und die Aufstockung der PMs durch eine zweite Projektmitarbeiterin ergaben sich Änderungen in Hinblick auf die ursprüngliche Planung. Im Folgenden ist tabellarisch die tatsächliche Verteilung der PM auf die Arbeitspakete dargestellt.

| | 2023 | 2024 | | | | 2025 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Arbeitspakete** | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 |
| **AP1.1 Netzwerkausbau** | 0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,2 |
| **AP2.1 Inhaltsstoffe** | 0 | 0,4 | 0,8 | 0,9 | 2 | 1,5 | 0,5 | 1 |
| **AP3.1 Phytosanitäre Wirkung** | 0 | 0 | 0,8 | 1 | 2 | 2 | 1,5 | 0,5 |
| **AP4.1 Bodenverbessernde Wirkung** | 0 | 0,9 | 0,1 | 0 | 0,45 | 0,95 | 0,5 | 0,8 |
| **AP6.1 Modellanbau** | 0 | 0 | 0,4 | 0,6 | 0 | 0 | 0 | 0,5 |

## 3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die durchgeführten Projektarbeiten waren notwendig, um die definierten Zielsetzungen des Projekts

vollständig und qualitativ hochwertig zu erreichen. Die Arbeiten orientierten sich eng an diesen Bedarfen und stellten sicher, dass sowohl technische als auch organisatorische Voraussetzungen geschaffen wurden, um nachhaltige Ergebnisse zu erzielen. Die Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten ergibt sich aus ihrem direkten Bezug zu den Projektzielen sowie der effizienten Nutzung der verfügbaren Ressourcen. Jeder Arbeitsschritt wurde so geplant und umgesetzt, dass er einen messbaren Mehrwert zum Gesamtfortschritt beitrug. Darüber hinaus wurden Methoden und Maßnahmen gewählt, die dem Umfang, der Komplexität und dem zeitlichen Rahmen des Projekts entsprachen. Damit war gewährleistet, dass das Projekt zielgerichtet, wirtschaftlich und qualitativ abgesichert realisiert werden konnte.

## 4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

1. Wissenschaftlich-technische Verwertbarkeit

1.1. Nutzung für Züchtung, Selektion und Anbausysteme von *O. biennis*

Aus den Ergebnissen von AP2.1 ergeben sich klare verwertbare Grundlagen für die Weiterentwicklung einer neuen regionalen Wildpflanzenkultur. Identifizierte Genotypen mit erhöhten Oenothein-B-Gehalten sind direkt relevant für die Entwicklung neuer Wertschöpfungswege (Aromatik, bioaktive Stoffe, potenzielle Nutzung in der Kosmetikindustrie, Ernährung). Fundierte Erkenntnisse zur Keimungsbiologie (Einfluss von Reifegrad, Lagerdauer, Saatgutqualität) ermöglichen die Optimierung der Saatgutproduktion (z. B. durch NagolaRe), verbesserte Qualitätsstandards und setzen die Grundlage für zukünftige selektionelle oder züchterische Programme. Erste physiologische und metabolische Marker für Trockenresistenz eröffnen die Möglichkeit, trockenheitstolerante Linien gezielt auszuwählen. Die Ergebnisse bilden eine wissenschaftliche Basis für nachhaltige Anbausysteme und eine klimaresiliente Nutzung auf marginalen Standorten in der Lausitz.

1.2. Entwicklung eines biologischen Pflanzenschutzmittels auf Basis von *P. saxifraga*

Die Arbeiten in AP3.1 liefern unmittelbar verwertbare Erkenntnisse, um diese Pflanzenart zur Krankheitsunterdrückung bzw. gegenüber bodenbürtigen Krankheitserregern einzusetzen. So wurden Chemotypen mit deutlicher antimykotischer Aktivität gegen *R. solani* identifiziert. Unterschiedliche Wirkstoffprofile in JEL- und NAG-Chemotypen bieten Potenzial für zielgerichtete Produktentwicklung, die Optimierung der Extraktionsverfahren und die Identifizierung einzelner bioaktiver Komponenten. JEL-Samenmehl zeigte eine Reduktion von Pathogenschäden bei gleichzeitig fehlender Phytotoxizität. Die Ergebnisse liefern Ansatzpunkte für die Entwicklung eines neuen biologischen Pflanzenschutzmittels (Bodenhilfsstoff, Biofumigant, Pflanzenstärkungsmittel).

1.3. Eignung der Wildpflanzenarten für schwierige Standorte

Die Ergebnisse aus AP4.1 zeigen, dass beide Arten moderate Bodenverdichtung ohne nennenswerte Einschränkungen des Wachstums tolerieren. Dies hat eine Relevanz für rekultivierte oder degradierten Standorte, auch wenn weitere Tests auf stärker verdichteten Abraumhalden empfohlen werden.

1.4. Etablierung eines feldtauglichen Monitoring- und Modellierungsansatzes

Aus AP6.1 resultieren verwertbare Werkzeuge, wie die Entwicklung eines drohnenbasierten Monitoring-Workflows zur Erkennung einzelner *O. biennis*-Pflanzen im Feld. Modellierungsansätze der Bodenfeuchtigkeit, kombiniert mit hyperspektraler Diagnostik, liefern ein skalierbares Instrument zur

Optimierung des Anbaus, Präzisionslandwirtschaft und Standortbewertung.

2. Wirtschaftliche Verwertbarkeit

Die Projektergebnisse tragen zur Etablierung einer neuen Wertschöpfungskette bei und können direkt durch das Saatgutunternehmen NagolaRe verwendet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für zukünftige Wildpflanzenprodukte im Gourmet-, Lebensmittel- und Gewürzmarkt und haben das Potenzial für regionale Verarbeitung und Aufbereitung, insbesondere bei nachgewiesenem Nutzen der Inhaltsstoffe (bioaktiv, phytosanitär). Damit ist eine Diversifizierung landwirtschaftlicher Betriebe und der Aufbau einer regionalen Bioökonomie möglich.

JEL-Samenmehl als möglicher Biofumigant liefert ein konkretes Startprodukt, das weiterentwickelt werden kann. Die identifizierten Metabolite ermöglichen die Entwicklung zum biologischen Pflanzenschutzmittel, Bodenhilfsstoff oder Pflanzenstärkungsmittel.

Trotz der (noch) fehlenden dauerhaften Einbindung von Stakeholdern wurden die überregionale Sichtbarkeit des Projektes gewährleistet und die wissenschaftlich-technische Grundlagen für Folgeprojekte gelegt. Das Projekt schafft Anknüpfungspunkte für weitere Kooperationen im Strukturwandel, z. B. im Rahmen neuer Innovationslabore, öffentlich-privater Partnerschaften oder landwirtschaftlicher Pilotanlagen.

3. Verwertungsperspektive in Folgeprojekten

Viele Ergebnisse sind so weit entwickelt, dass sie in mehreren Bereichen direkt weitergenutzt werden können. Dazu gehören Selektionsprogramme für geeignete *O. biennis*-Genotypen, die Entwicklung eines marktreifen Biofumigationsprodukts aus *P. saxifraga*, Weiterentwicklung von Modellierungs- und Monitoringtools für Precision Farming und die Durchführung von Feldversuchen zur Skalierung und wirtschaftlichen Bewertung.

## 5. Der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit gab es keine neuen Erkenntnisse, die die Durchführung des Projektes beeinflusst haben.

## 6. Veröffentlichungen der Ergebnisse nach Nr. 5 der NKBF/NABF

*Vorträge auf Tagungen*

"Antimicrobial potential of *Pimpinella saxifraga* seeds for controlling *Rhizoctonia*" Jasmin Tauchelt, Leibniz Conference on Bioactive Compounds 2025, Großbeeren, 09.-10-04.2025

*Posterbeiträge auf Tagungen*

"Drought-induced shifts in root morphology and rhizosphere microbiome assembly in *Oenothera biennis* upon drought stress", Mohamed Abdelfadil, Mark Müller-Linow, Kerstin A. Nagel, Katja Witzel; Rhizosphere 2025 Conference, Edinburgh, 15.-20.06.2025

"The Potential of Selected Wild Plant Species as Crops on Poor Soil" Melanie Hanser, Baraa A. Jalil, Mohamed R. Abdelfadil, Cheng-Han Hsieh, Franziska S. Hanschen, Katja Witzel; Meeting of COST Action Sustain, Valencia, 26.-30.05.2024

*Geplante Publikationen*

Aus dem Projekt sollen drei Publikationen veröffentlicht werden. Die Publikationen umfassen jeweils die Ergebnisse des AP 2.1, 3.1 und 6.1.

*Veranstaltungen, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit*

„Weltleitmesse für Gartenbau | IPM ESSEN“, Essen, 28.-31. Januar 2025

„Info-Tag an den Parzellen”, Paaren, 20.06.2024

„34. Bernburger Winterseminar Arznei- und Gewürzpflanzen“, Bernburg, 20.-21. Februar 2024

„Lausitzer ZukunftsForum Landnutzung“, Cottbus, 26.-27. September 2024

Das Projekt wurde auf die Website des InnoWild-Projekts aufgenommen, um die Reichweite zu erhöhen (https://innowild.igzev.de/).

Erstellung eines 3,3-minütigen Imagefilms, mit Unterstützung der BTU Cottbus und NagolaRe.