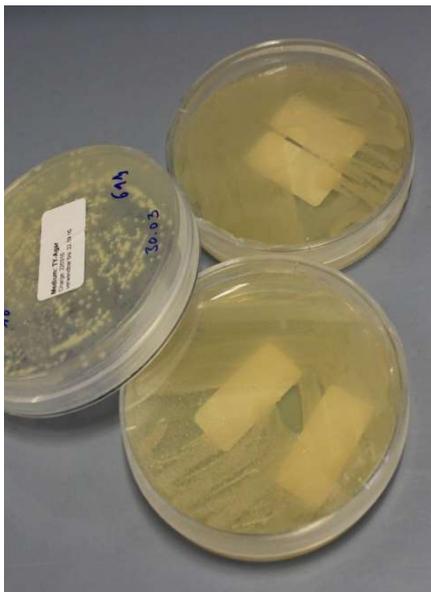


Abschlussbericht der Operationellen Gruppe Rhizo-Linse (Nr.192018)

im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft
„Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-AGRI).

Rhizo-Bakterien gestützte Optimierung des Linsenanbaus unter
Berücksichtigung bioökonomischer Wertschöpfung



Berichtszeitraum 01.06.2019 – 31.03.2022

Abgabe: 30. September 2022

Der Abschlussbericht wurde erstellt vom Projektkoordinator:

nadicom Gesellschaft für angewandte Mikrobiologie mbH;

Dr. Anne Broge, Dr. Bernhard Nüsslein

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Zusammenfassung..... | 7 |
| 1.1 | Ausgangssituation und Bedarf..... | 7 |
| 1.2 | Projektziel und und konkrete Aufgabenstellung..... | 8 |
| 1.3 | Mitglieder der OPG..... | 9 |
| 1.3.1 | Industriepartner..... | 9 |
| 1.3.2 | Landwirte..... | 9 |
| 1.3.3 | Forschungseinrichtungen..... | 9 |
| 1.3.4 | Sonstige..... | 9 |
| 1.4 | Projektgebiet..... | 9 |
| 1.5 | Projektlaufzeit und –dauer..... | 9 |
| 1.6 | Budget..... | 10 |
| 1.7 | Ablauf des Vorhabens..... | 10 |
| 1.8 | Zusammenfassung der Ergebnisse..... | 11 |
| 1.8.1 | Entwicklung eines Impfmittels für den Anbau von Linsen..... | 11 |
| 1.8.2 | Erarbeitung des Bioökonomischen Potenzials des Linsenanbaus..... | 13 |
| 2 | Eingehende Darstellung..... | 13 |
| 2.1 | Verwendung der Zuwendung..... | 13 |
| 2.2 | Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn..... | 14 |
| 2.2.1 | Ausgangssituation..... | 14 |
| 2.2.2 | Projektaufgabenstellung..... | 18 |
| 2.3 | Ergebnisse der OPG in Bezug auf..... | 19 |
| 2.3.1 | Zusammenarbeit..... | 19 |
| 2.3.2 | Mehrwert der OPG..... | 19 |
| 2.3.3 | Weitere Zusammenarbeit..... | 20 |
| 2.4 | Ergebnisse des Innovationsprojekts..... | 20 |
| 2.4.1 | Zielerreichung..... | 20 |
| 2.4.2 | Bewertung der Ergebnisse..... | 20 |
| 2.4.3 | Abweichung zum Projektplan..... | 22 |
| 2.4.4 | Projektverlauf..... | 23 |

| | | |
|-------|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.5 | Durchführung Topfversuche | 26 |
| 2.4.6 | Durchführung Exaktfeldversuch | 30 |
| 2.4.7 | Durchführung On-Farm Versuche | 36 |
| | Versuchsaufbau und -durchführung..... | 36 |
| | Statistische Auswertung | 39 |
| | Linsenertrag und Anzahl von Linsenkörnern und -hülsen | 40 |
| | Linsenertrag, Linsen- und Hülsenanzahl | 42 |
| 2.4.8 | Beitrag des Projekts zu förderpolitischen EIP Zielen | 45 |
| 2.4.9 | Nebenergebnisse | 45 |
| 2.5 | Nutzen der Ergebnisse für die Praxis | 46 |
| 2.6 | (geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse | 47 |
| 2.7 | Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit | 47 |
| 2.8 | Kommunikations- und Disseminationskonzept | 48 |
| 3 | Literaturangaben | 61 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ABBILDUNG 1.1 ÜBERBLICK ÜBER DEN EXAKT-FELDVERSUCH IN 2019 AM IHINGER HOF..... | 12 |
| ABBILDUNG 2.1: LINSE MIT STÜTZFRUCHT HAFER; RECHTS: SAATGUT GEMISCHT LINSE MIT GETREIDE | 16 |
| ABBILDUNG 2.2: ANZAHL DER LINSENKÖRNER (1/4 M ²) DES DRITTEN BIOMASSESCHNITTES IN DEN DREI VARIANTEN IN 2021. FEHLERBALKEN = STANDARDFEHLER..... | 22 |
| ABBILDUNG 2.3: PFLANZENKOHLEMISCHUNG NACH INOKULATION MIT RHIZOBIEN IN 2020..... | 24 |
| ABBILDUNG 2.4: LINSENPFLANZEN IM GEWÄCHSHAUSVERSUCH MIT SOFTMESH ALS STÜTZE (LINKS) UND NACH DEM ENTFERNEN DES SOFTMESH (OHNE STÜTZE)..... | 25 |
| ABBILDUNG 2.5: AUSSAAT DER VERSUCHE AUF DEN BETRIEBEN OTT (LINKS) UND HÄUßLER (RECHTS) IN 2020. | 25 |
| ABBILDUNG 2.6.: LINSENPFLANZEN IM GEWÄCHSHAUSVERSUCH MIT SOFTMESH ALS STÜTZE | 27 |
| ABBILDUNG 2.7 : AUSSAAT DES EXAKTVERSUCHES 2020..... | 30 |
| ABBILDUNG 2.8: SAATGUT VON ZWEI LINSENSORTEN UND GERSTE..... | 31 |
| ABBILDUNG. 2.9: LINSENERTRAG (KG/HA) DER ZWEI SORTEN (ANICIA UND SPÄTH'S ALBLINSE I) ÜBER DIE 9 VARIANTEN..... | 33 |
| ABB. 2.10: KNÖLLCHENANZAHL PRO PFLANZE DER ZWEI SORTEN (ANICIA UND SPÄTH'S ALBLINSE I) ÜBER DIE 9 VARIANTEN..... | 34 |
| ABB. 2.11: KNÖLLCHENAKTIVITÄT AUS 10 ZUFÄLLIG AUSGEWÄHLTEN KNÖLLCHEN PRO BIOMASSESCHNITT DER ZWEI LINSENSORTEN (ANICIA UND SPÄTH'S ALBLINSE I)..... | 34 |
| ABB. 2.12: TROCKNUNG DES LINSENSAATGUT NACH APPLIKATION DES ISOLATES AM FELDRAND IM SCHATTEN (BETRIEB SCHMOLL 2020)..... | 37 |
| ABB. 2.13: AUSSAAT DER VERSUCHE AUF DEN BETRIEBEN OTT (LINKS) UND HÄUßLER (RECHTS) IN 2020. ... | 38 |
| ABB. 2.14: LINSENERTRAG (KG/HA) DER VIER VARIANTEN | 40 |
| ABB. 2.15: ANZAHL LINSENKÖRNER (PRO 0,25 M ²) DER VIER VARIANTEN..... | 41 |
| ABB. 2.16: LINSENERTRAG (T HA ⁻¹) DES DRITTEN BIOMASSESCHNITTES IN DEN DREI VARIANTEN IN 2021. | 42 |
| ABB. 2.17: ANZAHL DER LINSENKÖRNER (1/4 M ²) DES DRITTEN BIOMASSESCHNITTES IN DEN DREI VARIANTEN IN 2021. | 42 |
| ABB. 2.18: ANZAHL AN HÜLSEN IN DEN DREI VARIANTEN UND DEN ZWEI BIOMASSESCHNITTEN (LINKS) UND ANZAHL AN GEFÜLLTEN HÜLSEN UND LEEREN BLINDHÜLSEN DES DRITTEN BIOMASSESCHNITTES (RECHTS) IN 2021. | 43 |
| ABBILDUNG 2.19: AUSSTELLUNG DES PROJEKTS RHIZOLINSE BEI DER BUGA 2019..... | 48 |
| ABBILDUNG 2.20: FLYER ZUM EIP AGRI RHIZOLINSE P | 49 |
| ABBILDUNG 2.21: HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=DP1R0HQJ5Xs | 50 |
| ABBILDUNG 2.22: POSTER ZUM EIP ARG I PROJEKT RHIZOLINSE | 51 |
| ABBILDUNG 2.23: BEITRAG ZUM PROJEKT RHIZOLINSE IN DER FACHZEITSCHRIFT #Ö- ÖKOLOGISCH ERFOLGREICH | 52 |
| ABBILDUNG 2.24: BERICHT AUS DEM RHIZOLINSE PROJEKT: NADICOM: PROJEKT „RHIZO-LINSE“ – WAHRE KLEINE DÜNGEMITTELFABRIKEN | 53 |
| ABBILDUNG 2.25: BERICHT AUS DEM RHIZOLINSE PROJEKT: LTZ AUGUSTENBERG FÖRDERT REGIONALE EIWEIßPRODUKTION | 54 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ABBILDUNG 2.26: BEITRAG AUS DEM RHIZOLINSE PROJEKT: UNIVERSITÄT HOHENHEIM WILL DIE BEDINGUNGEN IM LINSENANBAU FÖRDERN | 55 |
| ABBILDUNG 2.27: BEITRAG AUS DEM RHIZOLINSE PROJEKT: NOVOCARBO VERARBEITET PFLANZENABFÄLLE ZU PFLANZENKOHLE | 56 |
| ABBILDUNG 2.28: BEITRAG AUS DEM RHIZOLINSE PROJEKT: DIE LINSE KEHRT ZURÜCK INS HECKENGÄU..... | 58 |
| ABBILDUNG 2.29: BEITRAG AUS DEM RHIZOLINSE PROJEKT: LINSENREINIGUNG IN DER ALTDORFER MÜHLE . | 59 |
| ABBILDUNG 2.30: BEITRAG AUS DEM RHIZOLINSE PROJEKT: VON ANBAU BIS ZUM VERKAUF – DIE ALDLINSEN | 60 |

1 Zusammenfassung

1.1 Ausgangssituation und Bedarf

Die Linse ist eine der ältesten Kulturpflanzen und wird seit ca. 1.000 bis 1.500 Jahre vor Christus in Deutschland angebaut (Cubero et al. 2009). Bis in die 40er Jahre des vergangenen Jahrhunderts wurde sie in Baden-Württemberg auf großen Flächen angebaut (bis zu 4500 ha). Danach ging der Anbau deutschlandweit komplett zurück. Seit etwas über 10 Jahren wird die Linse in Baden-Württemberg wieder angebaut, wobei die Anbauflächen im Öko –Landbau deutlich stärker zunehmen als im konventionellen Landbau. Weltweit liegt die Linsenproduktion aktuell bei 6,5 Mio t, die auf ca. 5 Mio ha angebaut werden. Der Großteil davon wird in Kanada und Indien angebaut.

Unter anderem durch ihren hohen Proteingehalt spielt die Linse eine wichtige Rolle bei der Ernährung der Menschheit, insbesondere mit Blick auf eine zukünftig notwendige ökologisch nachhaltige Landwirtschaft und Ernährung.

Die Linse als Leguminose benötigt für ihr Wachstum eine Symbiose mit Wurzelknöllchenbakterien den sogenannten Rhizobien. Diese helfen der Pflanze bei der Aufnahme von Luftstickstoff und fördern so das Wachstum der Linsen. (Tricot et al 1997; Spehn et al. 2002; Pommeresche, R. & Hansen 2017) Nach der Aussaat muss die Pflanze diese Bakterien zunächst aus dem Boden rund um die Wurzel aufnehmen, sodass die Symbiose der beiden Organismen stattfinden kann. Die Art der Symbiose-Partner ist dabei sehr spezifisch, sodass nicht jede Linse mit jeder Rhizobien-Art eine effektive Symbiose eingeht. (Bremer et al. 1990; Reece et al. 2016) Bei der Linsen-Art *Lens culinaris* findet die Symbiose mit *Rhizobium leguminosarum* statt.

Um diesen Prozess der Symbiose zu beschleunigen und der Linse von Beginn der Keimung an eine optimale Versorgung mit Stickstoff durch Rhizobien zu ermöglichen, können die Rhizobien direkt mit dem Saatgut ausgebracht werden. Diesen Prozess nennt man „Impfen“. Durch die Impfung kann das Wachstum der Pflanzen und damit auch der Ertrag und die Qualität der Linsen verbessert werden. (Manjunath et al 1984; El-Wakeil and El-Sebai 2007; Khanna und Sharma 2011; Argaw 2013; Tena et al. 2016; Huang et al. 2016) Die Auswirkungen einer Impfung mit Rhizobien auf das Wachstum und den Ertrag der Linse ist dabei abhängig von Faktoren wie dem Standort und Bodentyp, Feuchtigkeit sowie der Verfügbarkeit von Licht und Nährstoffen (May and Bohlool 1983; Pommeresche, R. & Hansen 2017; Lau et al. 2012; Huang et al. 2016). Zudem wurde berichtet, dass auch die bereits im Boden verfügbaren Rhizobien durch eine Konkurrenzsituation mit den Impfmitteln den Erfolg einer Impfung beeinflussen können. (Thies et al. 1991; Argaw 2013)

Auch die Auswahl der Rhizobien spielt eine erhebliche Rolle. Von *Rhizobium leguminosarum*, wie von den meisten Bakterien-Arten, existieren verschiedene Stämme, die unterschiedliche Eigenschaften aufweisen können, bzw. die nur Pflanzenspezifisch zur Knöllchenbildung führen. Bakterien sind, ebenso wie die meisten Pflanzen und Tiere, an ihre Umgebung in der sie Vorkommen angepasst. Für die Beimpfung der Linse empfiehlt es sich daher, Rhizobien zu verwenden, die aus Böden und Pflanzen in der Region isoliert wurden, in der auch der spätere Einsatz als Impfmittel geplant ist. (Tena et al. 2016)

Während in anderen Ländern wie z.B. Nordamerika das Impfen der Linsen bereits üblich ist (Zakeri et al.,2012), wird dies hier zu Lande bisher nicht empfohlen. Die Gründe dafür liegen in verschiedenen Faktoren wie z.B. dem eher kurzfristigen Wiederaufbau der Linsen auf noch relativ geringen Flächen in Deutschland. Aber sicher auch durch das Fehlen geeigneten Impfmittel auf dem Markt und der damit einhergehenden fehlenden Impfempfehlung für die Landwirte. Die Empfehlungen für den Anbau von Linsen umfassen bisher lediglich ackerbauliche Maßnahmen, die Ernte und die Verarbeitung der Linse (LTZ Augustenberg 05/2022).

Die Linse wird in Baden-Württemberg seit kurzer Zeit wieder zunehmend angebaut. Die Anbaufläche hat sich innerhalb von 7 Jahren bis zum Jahr 2019 nahezu verdreifacht (Angabe MLR). Dennoch sind noch nicht alle Fragen, die bei der Erweiterung der Fläche entstehen geklärt. Aus diesem Grund findet Forschung zu den geeigneten Sorten und der richtigen Stützfrucht wie auch der Möglichkeit einer Beimpfung statt. Weitere Fragen aus der Praxis zu der Ernte, der Verarbeitung und der anschließenden Vermarktung der Linsen sind bisher nur teilweise beantwortet.

1.2 Projektziel und und konkrete Aufgabenstellung

Ziel dieses Projekts war es, ein bakterielles Impfmittel für Linsen zu entwickeln, um den Anbau der Linse zu verbessern und so die Wirtschaftlichkeit des Linsenanbaus zu steigern. Dazu sollten die Bakterien von der nadicom GmbH isoliert und kultiviert werden. Anschließend sollten Wachstumsversuche im Topf (Gewächshaus) und im Freiland an der Uni Hohenheim und bei verschiedenen Landwirten durchgeführt werden, um die Wirkung der Bakterien auf das Linsenwachstum zu zeigen. Pflanzenkohle als Trägermaterial für die Rhizobien sollte zusätzlich auf seine Eignung und eine mögliche positive Wirkung untersucht werden.

Darüber hinaus sollte im Rahmen dieses Projekts der gesamte Prozess des Linsenanbaus aus bioökonomischen Gesichtspunkten betrachtet werden. Der ökologische und konventionelle Linsenanbau soll miteinander verglichen und die verschiedenen bioökonomischen Potentiale der verschiedenen Linsen-Varianten und ihrer Stützfrucht erarbeitet werden. Durch die Veröffentlichung der Ergebnisse soll auch das Thema

Bioökonomie beim Linsenanbau eingebracht und bei den Anwendern bekannt gemacht werden.

1.3 Mitglieder der OPG

1.3.1 Industriepartner

- nadicom Gesellschaft für angewandte Mikrobiologie mbH, in UHINGEN (Kreis Göppingen)
- Novocarbo GmbH in Dörth

1.3.2 Landwirte

- Franz Häußler, Biolandhof aus Allmendingen-Schwörzkirch Ehingen (nahe Ulm)
- Max Mammel, Biolandhof aus Lauterach, Richtung (nahe Biberach an der Riß)
- Ingo Hagenlocher aus Renningen (bei Leonberg)
- Schmoll GbR aus Brackenheim-Hausen (bei Heilbronn)
- Ott Agrar GbR aus Niederhofen (bei Ulm)
- Helmut Kayser aus Gäufelden (bei Tübingen)

1.3.3 Forschungseinrichtungen

- Universität Hohenheim; Zentrum für ökologischen Landbau in Stuttgart
- Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) in Reinstetten

1.3.4 Sonstige

- BIOPRO Baden-Württemberg GmbH mit Sitz in Stuttgart

1.4 Projektgebiet

Das Projekt Rhizo-Linse wurde in Baden-Württemberg durchgeführt. Die nadicom GmbH, die Uni Hohenheim inkl. Ihinger Hof und die BIOPRO GmbH sind im Großraum Stuttgart ansässig. Das LTZ Augustenberg sitzt in Reinstetten bei Karlsruhe. Die Flächen der beteiligten Landwirte liegen zwischen Heilbronn und Tübingen rund um Stuttgart, sowie auf der Schwäbischen Alb.

1.5 Projektlaufzeit und –dauer

Die praktischen Arbeiten des Projekts umfassten drei Vegetationsperioden zwischen März 2019 und Winter 2021. Die Auswertung und Berichterstattung erstreckte sich bis März 2022.

1.6 Budget

Der bewilligte Zuwendungsbetrag lag bei 653.376,08 Euro. Er verteilt sich folgendermaßen auf die Projektpartner:

Tabelle 1.1 Übersicht des bewilligten Zuwendungsbetrags

| Kostenposition | Zuwendungsfähige Ausgaben (Euro) | Fördersatz (v.H) | Zuwendungsbetrag (Euro) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Laufenden Kosten der Zusammenarbeit, Direktkosten der Projekte und projektbegleitende Studien (außer Investitionen) | 615.546,32 | 100 | 615.549,32 |
| Investitionen | 63.123,06 | 60 | 37.873,84 |
| | Kürzungen aus bereits bewilligten Zahlungsanträgen | | 1.047,08 |
| Summe Zuwendungsbetrag | | | 653.376,08 |

1.7 Ablauf des Vorhabens

Die **Bereitstellung der Bakterien erfolgte 2019** zunächst durch das Labor der nadicom GmbH. Die Rhizobien wurden aus den Wurzelknöllchen von Linsenpflanzen aus Baden-Württemberg isoliert, in Reinkultur gebracht und bis auf Stammebene identifiziert. Anschließend wurden die Rhizobien in Flüssigkulturen angezogen, sodass diese als Impfmittel im Linsenanbau eingesetzt werden konnten.

Die im Labor hergestellten Flüssigkulturen wurden zur Uni Hohenheim gebracht. Dort fanden **2019 und 2020 die Topfversuche im Gewächshaus** statt. Dazu wurden die Linsen vor der Aussaat mit den Rhizobien beimpft. Die Behandlung des Saatguts vor der Aussaat, die Pflege der Pflanzen während des Wachstums, sowie die Erhebung der Messdaten nach der Ernte der Linsen wurde von den Mitarbeitern der Uni geplant und durchgeführt. Praktische Unterstützung gab es dabei durch die Mitarbeiter der nadicom GmbH. Alle diese Arbeiten fanden in den Forschungsanlagen der Universität Hohenheim (Ihinger Hof) statt.

Nach der Auswertung der ersten Ergebnisse aus 2019 durch die Uni Hohenheim wurde gemeinsam mit der nadicom GmbH die Auswahl der Bakterien-Stämme getroffen, welche eine Wirksamkeit auf das Linsenwachstum gezeigt haben. Von diesen Bakterien wurden im Labor

der nadicom GmbH erneut Flüssigkulturen angelegt und den Projektpartnern für die weiteren Tests im Freiland zur Verfügung gestellt.

Die **Exaktversuche wurden bereits April 2019 begonnen und im Oktober 2020** wiederholt während die **Freilandversuche bei den Landwirten 2020 und 2021** stattfanden. Die Landwirte wurden bei der Aussaat der Linsen durch die Uni Hohenheim und die nadicom GmbH vor Ort unterstützt. Die Ernteschnitte wurden von Mitarbeitern der Uni Hohenheim und der nadicom GmbH durchgeführt. Die Auswertung erfolgt durch die Uni Hohenheim.

Jedes Jahr wurde ein Workshop für alle Projektpartner durchgeführt, bei dem die Ergebnisse diskutiert und weitere Schritte geplant wurden.

Das Projekt wurde parallel von der BIOPRO GmbH begleitet, die auch die Öffentlichkeitsarbeit übernahm. Um das Projekt der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, wurde eine Projektseite auf der Homepage der BIOPRO GmbH eingerichtet, es wurden Artikel in Fachzeitingen veröffentlicht, Flyer und Infomaterial zusammengestellt und das Projekt auf Messen wie den Ökofeldtagen und der Bundesgartenschau präsentiert.

Ergänzend zu den praktischen Arbeiten wurde das Bioökonomische Potential des Linsenanbaus durch die BIOPRO GmbH betrachtet. Dazu wurden verschiedene Erntetechniken verglichen, die möglichen Nebenprodukte des Anbaus identifiziert und ihre mögliche Verwendung/ Weiterverarbeitung eruiert.

1.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

1.8.1 Entwicklung eines Impfmittels für den Anbau von Linsen

Die nadicom GmbH hat im Rahmen des Projekts erfolgreich mehrere Rhizobien-Stämme aus Wurzelknöllchen von Linsenpflanzen isolieren, identifizieren und kultiviert. Davon wurden sechs Stämme ausgewählt und in Gewächshaus- sowie in Freilandversuchen durch die Uni Hohenheim getestet. Zusätzlich wurden weitere Rhizobien-Stämme der Art *Rhizobium leguminosarum* getestet, die bis dahin als Impfmittel bei Klee eingesetzt wurden. Die Pflanzenkohle der Fa. Novocarbo GmbH kam im Test als Trägermaterial für die Rhizobien im Vergleich zur direkten Behandlung des Saatguts mit dem Impfmittel zum Einsatz.

Durch die Universität Hohenheim wurden die verschiedenen Rhizobien-Stämme im Gefäßversuch, im Exaktversuch und in On-Farm-Versuchen geprüft. Zum aktuellen Stand (nach Projektende) können aus pflanzenbaulicher Sicht die in dem Projekt untersuchten Impfmittel sowie Pflanzenkohle als Trägerstoff mit Einschränkungen für den Einsatz im Linsenanbau empfohlen werden. Ein statistisch signifikanter Mehrertrag der Isolate (einzeln oder in Mischung) über alle Sorten und Varianten hinweg konnte im Rahmen der

durchgeführten Exakt-Feldversuche nicht gezeigt werden, da diese Versuche nur über 2 Jahre durchgeführt worden sind. Jedoch wurde eine Sorten-Varianten-Interaktion beim Linsenertrag im Exaktversuch gezeigt. Die für die Alb regional bedeutende Sorte „Späth's Alblinse I“ zeigte eine Ertragssteigerung bei einzelnen Isolat. Bei der Sorte „Anicia“, ein häufig in der Praxis genutzte Sorte, konnte keine signifikante Wirkung festgestellt werden. Durch langjährige Erfahrungen bei bakteriellen Impfmitteln für unterschiedlichste Leguminosen ist aber generell festzuhalten, dass dieser Sorten-Effekt auch bei anderen Leguminosen-Arten wie Sojabohnen (siehe Impfmittelversuche des LTZ) und Erbsen auftritt. Da es sich um eine Interaktion zwischen Bakterien und Pflanzen handelt, ist es ein komplexer Vorgang von dem im Boden freilebenden Bakterium über die Aufnahme in die Pflanzenwurzel bis zur Ausbildung des Knöllchens.

Im Praxisversuch wurde ein höherer Kornertrag bei der beimpften Variante gegenüber der unbeimpften Variante über alle teilnehmenden Betriebe festgestellt.

Dieser war statistisch nicht signifikant, da es zwischen den Betrieben deutliche Abweichungen im Ertrag gegeben hat. Ebenso wurde der Effekt der jeweiligen Witterung auf einen Erfolg der Beimpfung festgestellt. Unter widrigen Wetterbedingungen für die Linse, wie sie im Jahr 2021 herrschten führt die Beimpfung zu einer besseren Schotenbildung und dann zu einem besseren Ertrag.

Somit ist eine wichtige Schlussfolgerung aus dem Projekt, dass ein universelles Impfmittel für den Linsenanbau konsequent weiterentwickelt werden muss, damit es auch langfristig einen Nutzen bringt.



Abbildung 1.1 Überblick über den Exakt-Feldversuch in 2019 am Ihinger Hof.

1.8.2 Erarbeitung des Bioökonomischen Potenzials des Linsenanbaus

Parallel wurde im Rahmen der Betrachtung des bioökonomischen Potenzials ein weiterer Focus auf die Verarbeitung und den Vertrieb der Linsen gelegt. Durch den Ausfall einer der Mühlen, die die Linsen für die Landwirte aus dem Projekt verarbeiten, wurde deutlich, dass nicht nur der Anbau der Linse in Baden-Württemberg flächenmäßig noch deutlich weiterentwickelt werden kann, sondern dass auch andere Teile der Wertschöpfungskette noch sehr instabil sind. Wenn der zuverlässige und ertragreiche Anbau der Linse gelingen soll, müssen auch die Verarbeitungs- und Vertriebswege optimiert werden. Um die Landwirte bei der Etablierung einer bioökonomischen Wertschöpfungskette im Linsenanbau zu unterstützen, wurden im Rahmen des Projekts drei verschiedene Modelle/Praxisberichte für die Verarbeitung und den Vertrieb der Linsen zusammengestellt und auf der Webseite des Projekts veröffentlicht (Links zu den Berichten siehe Kapitel 2.4.6 Varianten der Linsenvermarktung). Diese können den Landwirten beim Anbau der Linse eine Hilfestellung geben. Ohne einen wirtschaftlich sinnvollen Weg zum Vertrieb der Linsen ist der Anreiz zum Linsenanbau für die Landwirte sehr gering.

Da der Linsenanbau insgesamt noch wenig standardisiert und optimiert ist, gibt es hier noch großes Potential zur Ertragssteigerung zu der auch die Rhizobien einen Teil beitragen können.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung

Die zur Verfügung gestellten Mittel wurden ausschließlich für die laufenden Kosten und die Direktkosten verwendet. Die ursprünglich geplanten Investitionen wurden nicht getätigt, da im Rahmen dieses Projektes es keinen Bedarf an einem Laborfermenter und einem Klimaschrank gab. In der folgenden Tabelle sind die verwendeten Mittel aufgeführt:

Tabelle 2.1: Überblick über die Verwendung der bewilligten Zuwendung im Rahmen des Projekts

| Kostenposition | bereits ausgezahlt | noch abrufbare Mittel | Zuwendungsfähiger Betrag gesamt (inkl. Kürzungen) |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Laufende Kosten der Zusammenarbeit | | | |
| 1.1 Personalausgaben für die Projektkoordination | 162.016,16 € | 25.151,05 € | 187.167,21 € |
| 1.2 Reisekosten der an der OPG beteiligten Akteure | 4.492,25 € | 11.880,25 € | 16.372,50 € |
| 2 Allgemeine Betriebskosten der OPG (15 % der Nr. 1.1) | 24.302,43 € | 3.772,65 € | 28.075,08 € |
| Direktkosten des Projekts ohne Investitionen | | | |

| | | | |
|------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 3.1 Personalkosten nadicom | 19.148,06 € | 36.178,10 € | 55.326,16 € |
| 3.2 Personalkosten UHOH | 108.620,85 € | -5.606,78 € | 103.014,07 € |
| 3.3 Personalkosten UHOH Hiwis | 4.814,85 € | 5.019,15 € | 9.834,00 € |
| 3.4 Personalkosten BIOPRO | 97.337,48 € | 41.794,79 € | 139.132,27 € |
| 3.5 Sachausgaben Öffentlichkeitsarbeit | 3.642,76 € | 18.066,70 € | 21.709,46 € |
| 3.6 Sachausgaben Landwirte | 4.000,00 € | 2.000,00 € | 6.000,00 € |
| 3.7 Sachmittel Feldversuch UHOH | 756,60 € | 293,37 € | 1.049,97 € |
| 3.8 Flächennutzungsentgeld Feldversuch UHOH | 927,98 € | 122,02 € | 1.050,00 € |
| 4.1 Laborfermenter und Klimaschrank | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| 5.1 Laboranalytik UHOH | 6.002,74 € | 9.165,86 € | 15.168,60 € |
| 5.2 Bereitstellung Testmaterial Novocarbo | 1.000,00 € | 1.250,00 € | 2.250,00 € |
| 5.3 Laboranalytik nadicom | 29.500,00 € | 900,00 € | 30.400,00 € |
| Gesamt | 466.562,16 € | 148.421,99 € | 614.984,15 € |

Die größte Position waren die Personalkosten Positionen 1.1, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 in Höhe von 391.937,40 €. Die Labor- und Sachkosten für die Feldversuche betragen 42.187,32 €. Die Betriebskosten der OPG betragen 24.302,43 €. Da in dem Zeitraum dieses EIP-Agri-Projektes die Corona-Pandemie war, wurden die Reisekosten nicht wie geplant in Anspruch genommen. Stattdessen wurden ab 2020 vor allem Videokonferenzen durchgeführt.

Da im Jahr 2021 nicht alle Feldversuche durchgeführt wurden und bedingt durch die nasse Witterung ein Teil der Feldversuch nicht komplett ausgewertet werden konnten wurde ein Betrag von 148.421,99 € der zuwendungsfähigen Mittel nicht in Anspruch genommen.

2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

2.2.1 Ausgangssituation

Die Linse ist eine der ältesten Nutzpflanzen und wichtige Eiweißquelle für den Menschen. Bis in die 40er-Jahre des vergangenen Jahrhunderts wurde sie in Baden-Württemberg auf bis zu 4.500 Hektar angebaut. Daraufhin ging der Anbau in ganz Deutschland stark zurück. Seit knapp zehn Jahren erlebt die Linse nun in Baden-Württemberg ein Comeback, wobei die

Flächen im Öko-Landbau deutlicher zunehmen als im konventionellen Landbau. Derzeit wird sie hier auf etwa 640 Hektar angebaut (Angabe von 2019 MLR). Weltweit wird die Linse vor allem in Kanada und Indien angebaut, aber auch in Australien und der Türkei und weiteren, siehe Tabelle.

Tabelle 2.2: Die Top 10 Länder der Erde mit den größten Anbauflächen für Linsen; Quelle FOASTAT 2020

| Land | Linsen Anbaufläche in ha |
|---------------------------|---------------------------------|
| Canada | 1704800 |
| India | 1353912 |
| Australien | 412381 |
| Türkei | 247642 |
| Nepal | 212876 |
| USA | 208010 |
| Bangladesh | 141282 |
| Iran | 130582 |
| Russion Federation | 128583 |
| Syrien | 112657 |

Der Anbau der Linse erfolgt in Kombination mit einer weiteren Pflanze, wie z.B. Gerste, die als Stützfrucht für die Linse dient. Die Linse in Reinkultur neigt zu Lagerung auf dem Boden. Dies führt zu einem höheren Feuchtegrad der Schoten was wiederum die Anfälligkeit für Krankheiten erhöht. In nassen Jahren kann es bei der Linse zu Pilzerkrankungen kommen, die zu einem deutlichen Ertragsrückgang führen. Da im Ökolandbau der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht zugelassen ist, ist eine direkte Bekämpfung der Pilzerkrankungen nicht möglich. Zudem ist die maschinelle Ernte sehr schwierig, wenn der Abstand zum Boden zu gering ist, bzw. das Feld uneben ist. Die Wahl der richtigen Stützfrucht ist von verschiedenen Parametern anhängig, wie der Wuchsform, der Synchronizität von Saat und Ernte oder auch von der interspezifischen Konkurrenz. Für die Vermarktung sind die Trennfähigkeit beider Komponenten im Erntegut und der Marktpreis beider Mischungspartner entscheidend. Unter bioökonomischen Gesichtspunkten spielt auch die Zusammensetzung des Ernteguts und die Weiterverwertbarkeit der einzelnen Komponenten eine wichtige Rolle.



Abbildung 2.1: Linse mit Stützfrucht Hafer; rechts: Saatgut gemischt Linse mit Getreide

Die Linse als Leguminose benötigt für Ihr Wachstum eine Symbiose mit Wurzelknöllchenbakterien den sogenannten Rhizobien. Diese helfen der Pflanze bei der Aufnahme von Stickstoff und fördern so das Wachstum der Linsen. Nach der Aussaat muss die Pflanze diese Bakterien zunächst aus dem Boden rund um die Wurzel anlocken und aufnehmen, sodass die Symbiose der beiden Organismen stattfinden kann. Besonders in Böden in denen zuvor keine Leguminosen angebaut wurden, kann dieser Prozess länger dauern. Um den Prozess zu beschleunigen und der Linse von Beginn der Keimung an eine optimale Versorgung mit Stickstoff durch Rhizobien zu ermöglichen, sollen die Rhizobien direkt mit dem Saatgut ausgebracht werden. Diesen Prozess nennt man „Impfen“.

Für den Anbau der Linse gibt es offizielle Empfehlungen, die die ackerbaulichen Maßnahmen und auch die Ernte und Verarbeitung der Linse umfassen. Eine generelle Impfempfehlung für die Linse, wie z.B. bei dem Anbau der Soja-Bohne, gibt es aktuell nicht (siehe Hinweis Pflanzenbau Linse LTZ Augustenberg, Mai 2022). Die Beimpfung des Linsensaatguts vor der Aussaat mit Rhizobien wird zum aktuellen Stand nicht praktiziert, u.a. weil in Deutschland keine Impfmittel speziell für die Linse erhältlich sind und es auch keine Informationen zu dem Einsatz von Rhizobien im Linsenanbau gibt. In Nordamerika z.B. ist es dagegen üblich Linsen zu impfen (Zakeri et al., 2012).

Publikationen u.a. aus Italien, Kanada, Indien, Bangladesch und Äthiopien haben gezeigt, dass aus den Knöllchen der Linsenpflanzen spezifische Bakterien isoliert werden können, die ausschließlich bei Linsen vorkommen (Tena et al. 2015, Ruiz-Diaz et al. 2012, Zaccardelli et al 2012, Huang et al. 2017, Gan et al. 2005). Weiterhin wurde beschrieben, dass bei einer Beimpfung mit einer Kombination aus mehreren Bakterien-Arten die Größe der Pflanze positiv beeinflusst wurde und die Widerstandskraft gegenüber Pilzkrankungen gesteigert wurde (Essalmani and Lalou 2003). In Feldversuchen in Kanada, bei denen der Effekt einer Beimpfung mit Rhizobien bei der Linse untersucht worden ist, konnte gezeigt werden, dass je nach Impf-Präparat eine Ertragssteigerung zwischen 9% und 45% beim Körnerertrag

stattgefunden hat (Gan et al. 2005). Ebenso wurde gezeigt, dass eine gezielte Beimpfung mit Rhizobien den Proteingehalt der Linse um bis zu 34% erhöhen kann (Huang et al. 2017). Entsprechende Untersuchungen zur Beimpfung der Linse und den möglichen Auswirkungen auf das Wachstum und die Inhaltsstoffe existieren in Deutschland nicht.

Aktuelle Forschungsprojekte beziehen sich ausschließlich auf den Anbau der Linse in Punkten wie der Wahl der Stützfrucht, Standortparametern und Auswirkungen der Bodenbeschaffenheit. Weiterhin gibt es Untersuchungen zur Optimierung bei der Sortenauswahl der Linsenpflanzen. (Neumann a. et al.; 2003; Gruber S. et al, 2011; Wand L., Gruber S. und Caupein W., 2011; Boland E, Zikeli S. und Gruber S., 2015) Es gibt in Deutschland zum aktuellen Zeitpunkt keinerlei Untersuchungen zur Beimpfung von Linsenpflanzen, möglichen Impfmitteln (Bakterienarten oder -mischungen) und deren Effekten auf die Qualität und Quantität des Linsenanbaus. Für Leguminosen wie Lupine oder Soja gibt es von verschiedenen Herstellern Impfmittel, basierend auf ausgewählten Rhizobien-Arten zur Förderung des Wachstums und der Widerstandsfähigkeit der Pflanzen. Diese sind jedoch nicht an die regionalen klimatischen Verhältnisse angepasst und es gibt kein Impfmittel für Linsen aus Deutschland.

Durch die Selektion neuer Rhizobien-Stämme und anderer Bakterien-Arten direkt von den Wurzeln der Linsen aus dem Baden-Württembergischen Raum, sollen linsenspezifische und an die klimatischen Gegebenheiten in Baden-Württemberg angepasste Impfmittel für Linsen entwickelt werden. Der Linsenanbau in Baden-Württemberg kann dadurch deutlich angepasster an die vorhandenen Stressfaktoren (wie z.B. Nässe) erfolgen, wodurch eine Ertragssteigerung und eine Reduzierung der Ernteaufälle erzielt werden soll. Ebenso könnte der Linsenanbau für Kleinbetriebe eine lukrative Kultur sein und die Umstrukturierung sowie regionale Wertschöpfung in der Landwirtschaft unterstützen.

Durch die Beimpfung der Linse sind weitreichende Folgen für den Linsenanbau speziell in Baden-Württemberg zu erwarten. Die Wirtschaftlichkeit des Linsenanbaus könnte verbessert werden zum einen durch höhere Erträge aufgrund des stärkeren Pflanzenwachstums und zum anderen durch geringere Ernteaufälle aufgrund der erhöhten Widerstandsfähigkeit der Pflanzen. Dadurch stiege die Attraktivität des Linsenanbaus, sodass die Anbaufläche vergrößert werden könnte. Der Anteil der regional und unter ökologischen Standards hergestellten Linsen würde steigen, was wiederum ein Beitrag zur Eiweißinitiative der Baden-Württembergischen Landesregierung leisten könnte. Durch die Verwendung von natürlichen Düngemitteln anstelle herkömmlicher mineralischer Dünger würde eine nachhaltige, umweltschonende, ökologische Landwirtschaft gefördert. Der Ausbau des ökologischen Linsenanbaus könnte die Biodiversität auf unseren heimischen Äckern, die nachhaltige

Nutzung der Ressource Boden fördern und zur Wettbewerbsfähigkeit von Öko- und Biolandwirten beitragen.

2.2.2 Projektaufgabenstellung

Das Projekt hat sich zur Aufgabe gestellt ein Impfmittel zur Ertüchtigung des Linsenanbaus für den Einsatz in Baden-Württemberg zu entwickeln. Zudem sollte das bioökonomische Potenzial des Linsenanbaus, der Ernte und der Vermarktung betrachtet und ausgearbeitet werden.

Dazu sollten bei der nadicom GmbH Rhizobien von Linsenpflanzen und Böden aus Baden-Württemberg isoliert werden. Dies beinhaltete die Herstellung von Reinkulturen und deren Identifizierung. Aus diesen Isolaten sollten Flüssigkulturen hergestellt werden, die die nadicom GmbH der Uni Hohenheim zu Testzwecken zur Verfügung stellte.

Die Universität Hohenheim sollte diese Flüssigkulturen als Impfmittel für Linsen testen. Zu diesem Zweck sollten Gefäß-, Exakt- und On-Farm-Versuche durchgeführt und dabei der Einfluss der Rhizobien auf die ertragsbildenden Parameter sowie den Gesamtertrag der Linse untersucht werden. Bei den On-Farmversuchen waren insgesamt sechs verschiedene Landwirte in Baden-Württemberg beteiligt. Auch der Effekt durch die Ausbringung der Rhizobien auf Aktivkohle der Fa. NovoCarbo sollte mit betrachtet werden. Anhand der Ergebnisse der Tests sollte im Verlauf des Projekts die Zusammensetzung der Rhizobien optimiert werden, sodass daraus am Ende ein fertiges Impfmittel für Linsen resultieren würde. Dieses sollte in die offizielle Anbauempfehlung des Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) für Linsen aufgenommen werden.

Parallel zu den praktischen Aufgaben zur Entwicklung eines Impfmittels für Linsen wurde das bioökonomische Potenzial des Linsenanbaus von der Aussaat und der Kultivierung über die Ernte bis hin zur Vermarktung der Linsen durch die BIOPRO GmbH betrachtet und in verschiedenen Artikeln veröffentlicht.

Um das Projekt und den Nutzen eines Impfmittels für Linsen in der Öffentlichkeit und speziell auch bei den potenziellen Anwendern bekannt zu machen, wurde es von der BIOPRO GmbH begleitet, die die Öffentlichkeitsarbeit für das Projekt übernahm. Im Rahmen einer eigenen Webseite, mit Beiträgen in Fachzeitschriften sowie Flyern, Postern und Teilnahmen an verschiedenen Messen sollte das Projekt und seine Ergebnisse publik gemacht und so das Interesse am Linsenanbau zusätzlich weiter gefördert werden.

2.3 Ergebnisse der OPG in Bezug auf

2.3.1 Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern war über den Projektzeitraum sehr positiv und produktiv. Der Informationsaustausch zur Planung der Versuche verlief auf sehr kurzem Weg zwischen der nadicom GmbH und der Uni Hohenheim. Zum Start der Tests bei der Uni Hohenheim war ein Mitarbeiter der nadicom vor Ort um zu beraten und bei der praktischen Durchführung der Beimpfung der Linsen zu unterstützen.

Die Landwirte, die Versuchsflächen für die Feldversuche zur Verfügung stellten, hatten alle langjährige Erfahrung mit dem Linsenanbau. Für die Durchführung der Feldversuche erfolgte im Vorfeld eine intensive Planung in Zusammenarbeit der nadicom GmbH und der Uni Hohenheim. Bei der Aussaat waren entweder ein Mitarbeiter der nadicom GmbH und Mitarbeiterinnen der Uni Hohenheim zusammen vor Ort oder hatten sich die Standorte aufgeteilt. Die Durchführung der Ernteschnitte war in der Planung ausschließlich beim Projektpartner Uni Hohenheim angesiedelt. In der Praxis wurden diese Arbeiten tatkräftig von der nadicom GmbH unterstützt. Ebenso bei der Auswertung.

Die BIOPRO GmbH begleitete das Projekt. Sie organisierte Projekttreffen live und online und koordinierte dazu alle Projektpartner.

Ab dem Jahr 2020 wurde die Zusammenarbeit jedoch schwierig. Durch Corona konnte es keine persönlichen Treffen mehr geben. Durch das Kontaktverbot auf Grund von Corona waren die gemeinsamen Durchführungen von praktischen Arbeiten, wie Ernte oder Aufnahme der Messdaten nicht immer möglich, was die Koordination der anstehenden Arbeiten erschwerte.

Durch eine gemeinsame Besprechung der Hauptprojektpartner konnten im Herbst 2021 die ersten Ergebnisse zusammen besprochen werden.

2.3.2 Mehrwert der OPG

Die OPG hat den großen Vorteil, dass hier eine Zusammenarbeit zwischen Hochschule, Firmen und vor allem Praktikern vorurteilsfrei erfolgen lässt. Am Anfang befinden sich alle Projektpartner auf einer Ebene, sodass konstruktiv zusammengearbeitet wird.

Hervorzuheben ist auch die große Praxisorientierung. Das Projekt wird ja vornehmlich so durchgeführt, dass bei einem erfolgreichen Abschluss der Praktiker, sprich der Landwirte und auch die beteiligten Firmen einen Mehrwert haben.

2.3.3 Weitere Zusammenarbeit

Eine weitere Zusammenarbeit zwischen der nadicom GmbH und den Landwirten ist denkbar. Für weitere Testungen von Rhizobien für den Anbau von Linsen im Freiland ist die nadicom GmbH auf Partner in der Landwirtschaft angewiesen, die bereit sind die Produkte anzuwenden. Die bei diesem Projekt vermittelten Grundlagen zur Untersuchung des Effekts der Rhizobien bei den Linsen können in Zukunft gut genutzt werden.

Die Kooperation zwischen der nadicom GmbH und der BIORPO GmbH ist weiterhin aktiv. Sollte es weitere Ergebnisse zum Impfen von Linsen geben, werden diese in Zusammenarbeit mit der BIOPRO GmbH veröffentlicht.

2.4 Ergebnisse des Innovationsprojekts

2.4.1 Zielerreichung

In diesem Projekt konnte gezeigt werden, dass durch den Einsatz von spezifischen Rhizobien-Stämmen bei dem Linsenanbau teilweise ein Mehrertrag generiert werden konnte. Dies ermöglicht in Zukunft eine Verbesserung des Linsenanbaus. Jedoch konnte kein universelles Impfmittel für verschiedene Linsen-Sorte final entwickelt werden. Die Sortenspezifische Knöllchenbildung wurde in den Exaktfeldversuchen gezeigt. Das Projekt hat es ermöglicht, dass mehrere Rhizobien-Stämme isoliert und ihre positive Wirkung auf das Wachstum von Linsenpflanzen gezeigt werden konnte. Die in zwei Jahren durchgeführten On-Farm-Versuche haben gezeigt, dass auch die Witterung einen Einfluss auf die Knöllchenbildung und den daraus resultierenden Mehrertrag an Linsen haben kann. Weiterführende Teste außerhalb dieses Projektes in verschiedenen Regionen von Baden-Württemberg haben im Jahr 2022 ergeben, dass diese Landwirte unter den Bedingungen in diesem Jahr deutliche Mehrerträge erzielt haben, wenn die Linsen zuvor beimpft wurden.

2.4.2 Bewertung der Ergebnisse

Bei allen Exakt- (Topf- und Exaktfeldversuche) und On-Farm Versuchen, die im Rahmen des Projekts durchgeführt wurden, konnten **zwei Wachstumsperioden** betrachtet werden. Die äußeren Faktoren wie Boden, Witterung usw. waren zum Teil sehr unterschiedlich zwischen den beiden Wachstumsperioden.

Die **Topfversuche im Gewächshaus** sind sehr unterschiedlich abgelaufen in den beiden Jahren in denen sie durchgeführt wurden. Im Jahr **2019** waren die Töpfe durch die **Wahl des Standorts** sehr stark der Witterung ausgesetzt. Dadurch konnten keine optimalen Bedingungen für das Wachstum der Linsen hergestellt werden. Das Wachstum und dem entsprechend auch der Ertrag der Testpflanzen war insgesamt sehr gering. Dennoch ist zu

erkennen, dass die beimpften Linsenpflanzen bei vier der Bakterienvarianten signifikant mehr Knöllchen an den Wurzeln gebildet haben, als die Kontrolle ohne Impfmittel.

Die Topfversuche im Jahr 2020 wurden auf Grund von Corona statt im April erst im Oktober ausgesät. Die Haltbarkeit der für diesen Versuch produzierten Impfmittel war offensichtlich bereits überschritten, die Qualität (**Lebendzellzahl LZZ**) dadurch nicht mehr so hoch, wie im Jahr 2019. Die Wachstumsbedingungen für die Linsenpflanzen waren durch einen geschützteren Standort mit kontrollierten Wachstumsbedingungen deutlich besser als im Jahr 2019. Der Effekt auf das Wachstum der Linsen im Vergleich zum Vorjahr ist jedoch eindeutig. Die Anzahl der gebildeten Knöllchen war im Jahr 2019 um ein Vielfaches höher als im Jahr 2020, obwohl die Wachstumsbedingungen für die Linsen 2019 schlechter waren als 2020. Dieser Effekt ist möglicherweise auf die Impfmittel zurückzuführen, die in 2020 durch die späte Aussaat eine schlechtere Qualität aufwiesen als im Vorjahr.

Dieser Effekt ist auch in der **Hülsenanzahl** zu sehen, die 2019 mehr als doppelt so hoch war wie im folgenden Jahr. Die Daten der Blindhülsen im Jahr 2020 zeigen für die Linsensorte „Anicia“ bei sechs der insgesamt sieben Bakterienvarianten mit denen das Saatgut behandelt wurde eine eindeutig geringere Anzahl an Blindhülsen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Gleichzeitig zeigen die Linsenerträge der beimpften Pflanzen im Jahr 2020 geringere Werte als die Kontrolle, trotz der größeren Anzahl an Knöllchen.

Bezogen auf die Sorte „Späths Alblinse“ sind in den Exaktversuchen bei 3-4 der Bakterien Isolate deutlich positive Effekte beim Linsenertrag erkennbar. Diese scheinen jedoch Sortenspezifisch zu sein, denn bei der Sorte „Anicia“ sind diese Effekte im Exaktversuch nicht erkennbar.

Die Freilandversuche bei den Landwirten konnten in 2020 komplett ausgewertet werden und in 2021 nur teilweise, da die Witterung einen vorzeitigen Abbruch bei einem Teil der teilnehmenden Landwirten zur Folge hatte. Hinzu kam, dass die äußeren Bedingungen (Vorfrucht, Stutzfrucht, Saatstärke usw.) bei den einzelnen Landwirten deutlich voneinander abwichen. Zudem wurde nur eine der beiden Linsensorten (Anicia) aus den Topf- und Exaktversuchen auch bei den Landwirten eingesetzt. Die zweite Sorte aus den Topfversuchen (Späts Alblinse), die einen Effekt der Rhizobien auf das Linsenwachstum gezeigt hat, wurde bei den Landwirten gar nicht angebaut. Ein Vergleich der Ergebnisse zwischen Topf- und Freilandversuch oder auch zwischen den Landwirten war daher kaum möglich.

Während im Jahr 2020, welches sehr trocken war keine signifikanten Unterschiede zwischen den Erträgen der behandelten und den unbehandelten Varianten erkennbar waren, war der Ertrag im Jahr 2021 bei der behandelten Variante höher.

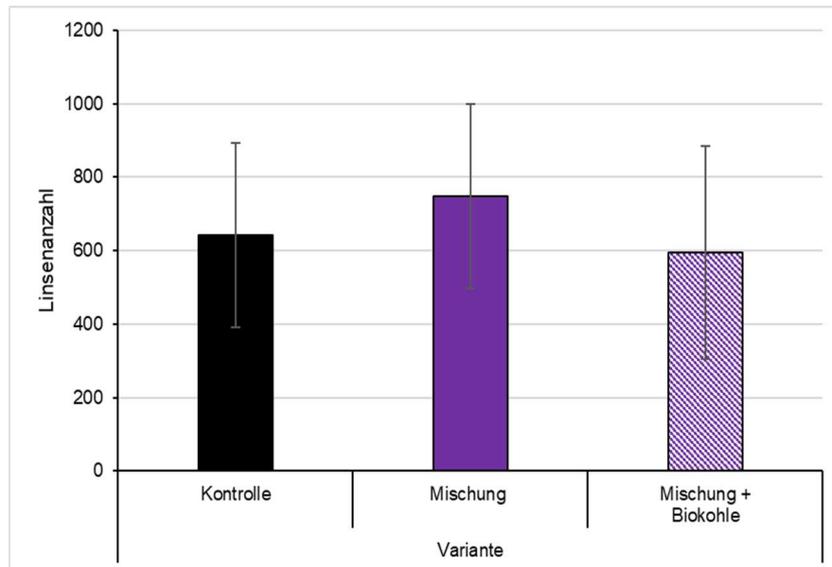


Abbildung 2.2: Anzahl der Linsenkörner ($1/4 \text{ m}^2$) des dritten Biomasseschnittes in den drei Varianten in 2021. Fehlerbalken = Standardfehler.

Dies zeigt auch, dass auch die Witterung einen großen Einfluss auf die Aktivität der Rhizobien hat. Zusätzlich muss auch berücksichtigt werden, dass im Jahr 2020 es sehr große Ertragsunterschiede zwischen den teilnehmenden Landwirten gegeben hat, die auf Faktoren, wie die Aussaatstärke und auch die verwendete Stützfrucht zurückzuführen sind. Im Jahr 2021 war aufgrund der nassen Witterung nicht bei allen Landwirten eine Auswertung möglich.

Trotz der großen Variationen sowohl bei den Wachstumsparametern als auch bei den Erträgen der Linsenpflanzen sind Effekte durch die Behandlung mit Rhizobien-Impfmittel zu erkennen. Durch weitere Optimierungen der Impfmittel z.B. durch die Auswahl der Rhizobien und eine Anpassung der Rhizobien an die jeweilige Linsen-Sorte können diese Effekte weiter ausgebaut werden.

2.4.3 Abweichung zum Projektplan

Die Isolierung einer möglichst großen Zahl Rhizobien aus Linsenwurzeln war für das erste Projektjahr 2019 vorgesehen. Auch im Jahr 2020 wurden weitere Rhizobien-Stämme aus den Knöllchen isoliert. Diese konnten aber dann nicht mehr eingesetzt werden, da die Exaktfeldversuche in 2020 mit denselben Stämmen, wie im Jahr 2019 wiederholt werden

sollten. Durch den nur einmal pro Jahr stattfindenden Test der Rhizobien im Feld waren die Versuche deutlich limitiert.

Die Topfversuche waren im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen für ein komplettes Jahr (März 2019 bis Januar 2020) geplant. Der tatsächliche Standort war jedoch lediglich überdacht, ansonsten aber der Witterung ausgesetzt. Somit konnte lediglich die Vegetationsperiode von Frühling bis Herbst 2019 für Topfversuche genutzt werden. Der nächste Ansatz der Topfversuche musste dann von April 2020 auf Oktober 2020 verschoben werden. Der Umfang und die Aussagekraft der Ergebnisse der Topfversuche ist daher deutlich kleiner als erwartet.

Während der Durchführung der Exaktversuche am Ihinger Hof sollten Bodenparameter (Nährstoff- und Humusgehalt) gemessen werden um den Einfluss des Bodens ebenfalls betrachten zu können. Diese Messwerte wurden jedoch nicht erhoben.

2.4.4 Projektverlauf

Bereitstellung der Bakterien (nadicom GmbH): Die Rhizobien zum Beimpfen der Linsen wurden aus Wurzelknöllchen von Linsenpflanzen isoliert, welche in Baden-Württemberg angebaut wurden. Dazu wurden Wurzeln mit Knöllchen von Linsenäckern auf der Alb, einem Demofeld in Rheinstetten und einem Versuchsfeld im Landkreis Hohenlohe verwendet. Aus den Knöllchen wurden die Bakterien isoliert und in mehreren Schritten als Reinkulturen kultiviert. Mittels molekularbiologischer Methoden erfolgte dann eine Identifizierung der Isolate. Um zu klären, in wieweit ein Verwandtschaftsverhältnis zwischen den isolierten Stämmen besteht, wurden DNA-Fingerprints durchgeführt. Diese wurden auch mehrfach durchgeführt um zu überprüfen, ob es genetische Veränderungen bei den Stämmen gegeben hat. Für Testzwecke wurden alle Kulturen, die den Rhizobien zugeordnet werden konnten, in verschiedenem Maßstab in Flüssigmedium kultiviert. Es musste auch erst das geeignete Medium zur Kultivierung der Rhizobien bestimmt werden. Diese Flüssigkulturen wurden als „Impfmittel“ in den weiteren Wachstumstest mit den Linsen verwendet.

Für die Jahre 2019, 2020 und 2022 wurden jeweils neue „frische“ Impfmittel zum Zeitpunkt der Aussaat kultiviert. Die Haltbarkeit der Impfmittel beträgt mindestens 6 Monate.

Für die Versuche mit Pflanzenkohle im Jahr 2020 und 2021 wurden die Impfmittel mit der Kohle vermengt und diese zusammen mit dem Saatgut ausgesät.



Abbildung 2.3: Pflanzkohlemischung nach Inokulation mit Rhizobien in 2020.

Die Exaktversuche wurden in Form von Gefäßversuche und Feldversuchen in den Jahren 2019 und 2020 durchgeführt. Bei allen Exaktversuchen kamen zwei verschiedene Linsensorten zum Einsatz. Bei den zwei ausgewählten Linsensorten handelt es sich um zwei Sorten, die vor allem in Baden-Württemberg, besonders auf der Schwäbischen Alb angebaut werden. Als kleinsamige Linsensorte hat die Sorte Anicia, eine dunkelgrün-marmorierte Linse, im Durchschnitt ein höheres Ertragsniveaus im Vergleich zu der Sorte Späth's Alblinse I ‚Die Große‘ (Dudda 1985; Pflaum et al. 2011). Diese Sorte wurde von dem Pflanzenzüchter Fritz Späth selektiert und aktuell durch die Öko-Erzeugergemeinschaft Alb-Leisa angebaut und vertrieben.

In den Exaktversuchen wurden jeweils 8 verschiedene Varianten der Rhizobien getestet:

Tabelle 2.3: Überblick der verschiedenen Varianten der in den Exaktversuchen eingesetzten Rhizobienstämme.

| Varianten | Beschreibung der verwendeten Rhizobienstämme | | Versuchsjahre |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|---------|---------------|
| Kontrolle | Keine Inokulation | | 2019-2020 |
| Iso 1 | <i>Rhizobium leguminosarum</i> | Typ 1 | 2019-2020 |
| Iso 2 | <i>Rhizobium leguminosarum</i> | Typ 2 | 2019-2020 |
| Iso 3 | <i>Rhizobium leguminosarum</i> | Typ 3 | 2019-2020 |
| Iso 4 | <i>Rhizobium leguminosarum</i> | Typ 4 | 2019-2020 |
| Iso 5 | <i>Rhizobium leguminosarum</i> | Typ 5 | 2019-2020 |
| Iso 6 | <i>Rhizobium leguminosarum</i> | Typ 6 | 2019-2020 |
| Mischung Iso 6 + Pflanzkohle (BK) | <i>Rhizobium leguminosarum</i> | Typ 7-8 | 2019 |
| | <i>Rhizobium leguminosarum</i> | Typ 6 | 2020 |

Die Aussaat der Gefäßversuche in 2019 und der Feldversuche in 2019 und 2020 fand plangemäß im April statt. Die Aussaat der Gefäßversuche im 2020 fand erst im Oktober statt, sodass die Versuche im Gewächshaus über die Winterperiode stattfanden.



Abbildung 2.4: Linsenpflanzen im Gewächshausversuch mit Softmesh als Stütze (links) und nach dem Entfernen des Softmeshs (ohne Stütze).

Die On-Farm Versuche bei insgesamt sechs verschiedenen Landwirten fanden in den Jahren 2020 und 2021 statt. Dabei kamen nur noch drei Rhizobien-Varianten zum Einsatz: eine



Abbildung 2.5: Aussaat der Versuche auf den Betrieben Ott (links) und Häußler (rechts) in 2020.

Mischung der zuvor als effektiv getesteten Rhizobien, dieselbe Mischung mit Pflanzenkohle und die Kontrolle ohne Rhizobien.

Zur Auswertung der Versuche wurden verschiedene Parameter untersucht. Dazu zählen:

- Linsenertrag: Anzahl der Körner und Hülse
- Pflanzenhöhe
- Biomasse: Oberirdisch (Sprossgewicht) und der Wurzel getrennt nach Linse und Stützfrucht
- Knöllchenanzahl und –aktivität
- Protein- und Stickstoffgehalt

Darstellung aller durch die Uni Hohenheim durchgeführten Versuche:

Die folgenden Angaben wurden aus dem Abschlussbericht der Uni Hohenheim zu diesem Projekt entnommen.

2.4.5 Durchführung Topfversuche

Die Aussaat des Gefäßversuches fand am 24. April 2019 statt. Die Aussaat im Folgejahr musste auf einen späteren Zeitpunkt des Jahres geschoben werden und der Versuch wurde am 7. Oktober 2020 im Gewächshaus gestartet. Der Gefäßversuch in 2019 wurde aufgrund eines Glasschadens des Gewächshauses in einem mit Draht überdachten Bereiches eines Gewächshauses auf dem Campus der Universität Hohenheim durchgeführt, während der Versuch in 2020 im neuen Forschungsgewächshaus der Universität unter kontrollierten Bedingungen angelegt wurde. In beiden Versuchsjahren wurden die Isolat-Behandlungen als 9 Varianten (Isolate 1 – 6, eine ungeimpfte Kontrolle sowie Isolatmischung aus Kleewurzeln (nur in 2019) und Isolat 6 + Pflanzenkohle (nur in 2020)) in zwei Linsensorten untersucht. Insgesamt wurden in 2019 sechs verschiedene Isolate von Nadicom zur Verfügung gestellt, die aus Linsenwurzeln gewonnen wurden sowie ein Isolat aus einer Rhizobienmischung, die aus Kleewurzeln gewonnen wurde. In 2020 wurde die Rhizobienmischung aus Klee durch eine neue Variante ausgetauscht, in der eine Pflanzenkohlemischung (BK) (bereitgestellt durch NovoCarbo) mit dem Isolat 6 beimpft wurde. Für den Gefäßversuch wurde ein durchlässiger Boden gemischt, der zu 3 Teilen aus gesiebt Filderlehm Boden sowie 1 Teil Sand bestand. Um eine Kontamination mit anderen im Boden oder an den Oberflächen von Gefäßen und Untersetzern vorkommenden Bakterien zu verhindern wurden der Boden bei für 2h bei 80°C bedampft sowie alle Oberflächen mit 70%igen Isopronol desinfiziert. Für die Beimpfung des Linsensaatgutes sowie auch der Pflanzenkohle wurden diese für 5 Minuten in das flüssige Inokulum gelegt. Anschließend wurden pro Gefäß 8 Samen in einer Tiefe von 2-3 cm ausgesät und mit dem Boden bedeckt. In 2020 wurde die beimpfte Pflanzenkohle vor der Aussaat mit der oberen Bodenschicht in dem Gefäß vermengt und anschließend konnte das unbeimpfte Saatgut ausgesät werden. Bei den zwei ausgewählten Linsensorten handelt es sich um die

Sorte Anicia und um Späths Albinse I. In den Gefäßversuchen wurden die Linsen im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Praxis, in der immer ein Anbau mit einer Stützfrucht - meist Getreide - stattfindet, als Reinsaat ausgesät. Als Rankhilfe/Stütze wurde um den Topf ein Schlauch aus SoftMesh an jeweils vier Bambusstäben befestigt, der die Linsenpflanzen in dem Topf stützt und aufrecht hält (siehe Abbildung 2.6).

Während der Versuchsdauer wurden drei Biomasseschnitte zu den folgenden Entwicklungsstadien durchgeführt: 1. Termin: Zur Blüte, 2. Termin: Erste Hülsen voll entwickelt; 3. Termin: Erntereife. Insgesamt wurden in 2019 (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und 2020 Versuche mit 144 Töpfen angelegt. Jede Isolat- und Sorten-Kombination wurden drei Mal wiederholt.

Bei der Aufbereitung der Biomasseschnitte wurden die Pflanzenhöhe gemessen, die Pflanzenentwicklung bestimmt sowie die Frischmasseerträge von Spross und Wurzeln bestimmt. Ab dem zweiten Schnittzeitpunkt wurden zusätzlich noch die Hülsen pro Topf erfasst. In 2020 wurden zusätzlich bei den Hülsen auch noch die Unterscheidung in gefüllte und ungefüllte Hülsen vorgenommen und erfasst. Für die Aufbereitung der Wurzeln zur Bestimmung der Frischmasse und der Knöllchenanzahl und – Aktivität wurden diese unter



Abbildung 2.6:: Linsenpflanzen im Gewächshausversuch mit Softmesh als Stütze

laufendem Wasser vorsichtig von der anhaftenden Erde befreit und anschließend die Wurzeln der drei Pflanzen per Hand unter Wasser getrennt. Dabei wurde auf einen vorsichtigen Umgang mit der Linsenwurzel geachtet, um keine Knöllchen abzuwaschen. Pro Wurzel wurde

die Knöllchenanzahl auf einer Fläche von insgesamt 12 cm² bestimmt. Die Aktivität der Knöllchen wurde durch das Einschneiden von zehn zufällig gewählten Knöllchen und die Beurteilung der Knöllchenfärbung bestimmt (rot=aktiv). Das Pflanzenmaterial (oberirdische Biomasse und Wurzeln) wurde gewogen, anschließend bei 60°C für 36 h und bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurde die Trockenmasse durch Rückwaage bestimmt. Nach dem Trocknen der Hülsen wurden diese per Hand ausgedroschen, die Samen manuell von den Hülsen getrennt und die Anzahl Linsensamen sowie das Samengewicht bestimmt.

Ergebnis der Topfversuche:

Für den Linsenertrag pro Topf bei der Abschlussernte zur Reife der Linse konnten in keinem der Versuchsjahre signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten, den Varianten und auch keine signifikanten Sorten*Varianten-Interaktionen festgestellt werden. Die Erträge wiesen über die zwei Versuchsjahre gemittelt eine große Variation mit hohen Standardfehlern auf.

Die Hülsenanzahl pro Topf unterschied sich signifikant zwischen den Varianten. Im Mittel hatten Pflanzen der Variante Iso 2 signifikant mehr Hülsen pro Pflanze im Vergleich zu den Varianten Iso 1, Iso 3, Kontrolle sowie Iso 6 + BK. Dabei wies die Variante Iso 6 + BK die geringste Hülsenanzahl (0,9 Hülsen pro Pflanze) auf. Weiterhin gab es signifikante Sorten*Schnitt-Interaktionen. Dabei erzielte Anicia beim dritten Schnitt mit 16,3 die höchste Hülsenanzahl im Gegensatz zu Späth's Alblinse I (3,9). Beim zweiten Schnitt gab es keine Signifikanzen zwischen den beiden Sorten. Die im zweiten Jahr untersuchte Anzahl an Blindhülsen zeigte signifikante Sortenunterschiede. Die Sorte Anicia zeigte mit 15 Blindhülsen pro Topf signifikant mehr Hülsen ohne ausgebildetes Linsenkorn im Vergleich zu Späth's Alblinse I mit zwei Blindhülsen pro Topf.

Die Knöllchenanzahl unterschied sich signifikant zwischen den Varianten, den beiden Sorten sowie den drei Schnittzeitpunkten und es wurden keine signifikanten Sorte*Schnittzeitpunkt Interaktionen festgestellt. Innerhalb der neun Varianten hatten Isolat 1 und die Isolate 3-5 die höchste Anzahl an Knöllchen pro Wurzel auf einer Fläche von 12 cm². Am wenigsten Knöllchen (0,5 pro 12 cm² Wurzelfäche) wurden bei der Applikation von Isolat 6 auf Pflanzenkohle gezählt, die Anzahl unterschied sich nicht signifikant von der Variante Mischung. Bei den Sorten hatte Späth's Alblinse signifikant mehr Knöllchen pro Wurzel als Anicia und mit zunehmender Pflanzenentwicklung nahm die Knöllchenanzahl signifikant ab. Die meisten Knöllchen konnten zum Blühbeginn (1. Schnitt) gezählt werden und die geringste Anzahl zur Erntereife.

Signifikante Unterschiede bei der Knöllchenaktivität konnten bei der Sorte*Varianten-Interaktion bestimmt werden. Innerhalb der Sorte Anicia wurde die höchste Knöllchenaktivität

bei den Isolaten 1,3 und 4 festgestellt. Die geringste Aktivität innerhalb der Sorte zeigte Isolat 6 + BK. Die Sorte Späth's Alblinse I hatte die höchste Knöllchenaktivität in den Varianten mit den Isolaten 1, 3,4 und 5. Die geringste Aktivität trat bei Isolat 6 auf.

Diskussion der Ergebnisse

Die Beimpfung mit den einzelnen Rhizobien-Isolaten führte in den zwei Gefäßversuchen zu keinem signifikant höheren Linsenertrag. Problematisch bei der Beurteilung der Erträge sind die hohen Standardfehler in den Gefäßversuchen innerhalb der Varianten sowie zwischen den Versuchsjahren. Im zweiten Versuchsjahr wurde deutlich weniger Ertrag gebildet, außerdem trat eine sortenspezifische Verzögerung der Ertragsbildung aufgrund der nicht optimalen Gewächshausbedingungen ein. Der zweite Gefäßversuch wurde während der Wintermonate durchgeführt, wodurch die Einstellungen der Photoperiode, Tag/Nacht-Amplitude und Lichtintensität einen deutlich höheren Einfluss auf den Versuchsverlauf und die Ertragsbildung hatten als zuvor angenommen. Vor allem die Tageslänge führte zu den Unterschieden in den Zeitpunkten bei den beiden Sorten in 2020. In den Sortenversuchen innerhalb des BLE Projektes „LinSel“ zeigte sich eine Abhängigkeit der Linsensorten von der Photoperiode was in unserem Versuch zu einer 2-wöchigen Verzögerung während des über Winter laufenden Versuches führte.

Bei den meisten erfassten Parametern konnten vor allem Sortenunterschiede festgestellt werden. Außerdem hatten die Zeitpunkte der Probenahme einen großen Einfluss auf die Ergebnisse. Zwar konnte in unserer Arbeit ein Einfluss der Varianten auf die Knöllchenanzahl gefunden werden, eine erhöhte Knöllchenanzahl führte jedoch nicht zu einem signifikant höherem Ertrag. Umgekehrt hatte in dem Gefäßversuch Isolat 2 trotz eine geringe Knöllchenanzahl einen tendenziell einen höheren Linsenertrag, allerdings war dieser Ertragsunterschied nicht signifikant. In anderen Studien konnte festgestellt werden, dass die Knöllchenanzahl keine Auskunft über die Wirkung des Isolates als solches gibt, sondern nur über die größere Wirkung der der spezifischen Rhizobien -Inokulation (Beck et al. 1993; Shisanya 2002). Die vorhandenen Wurzelknöllchen in der Kontrolle zeigten aber auch, dass die getroffenen Vorsichtsmaßnahmen nicht ausreichten, um eine Kontamination mit anderen Isolaten der anderen Varianten oder bereits im Boden vorkommenden Rhizobien zu verhindern. Gründe könnten unter anderem eine Kontamination durch Spritzwasser beim Gießen oder durch den Regen (in 2019) sein, wodurch die Rhizobien von einem Gefäß in das nächste übertragen worden sein konnten. Weiterhin könnte die Bedampfung des Bodens nicht ausreichend gewesen sein um alle im vorkommenden Bakterien abzutöten. Weiterhin könnten aber auch an den Samen vorkommende Bakterien Grund für die Knöllchenbildung in der Kontrolle sein. Die Linsensamen wurden vor der Aussaat und Beimpfung nicht desinfiziert. Aus diesem Grund wurde ein zusätzlicher Gefäßversuch durchgeführt. In diesem wurden

unterschiedliche Desinfektionsmethoden des Bodens sowie des Saatgutes untersucht (s. Nebenergebnisse).

Eine Beimpfung des Linsensaatgutes mit verschiedenen Isolaten führte trotz höherer Knöllchenanzahl und hoher Knöllchenaktivität in verschiedenen Varianten zu keinem Mehrertrag der Linsen in den Gefäßversuchen. Basierend auf den Ergebnissen des Gefäßversuches, konnte noch kein Isolat unter den kontrollierten Bedingungen überzeugen.

2.4.6 Durchführung Exaktfeldversuch

Standort und Versuchsanlage:

Der Exaktversuch wurde auf den Versuchsflächen „Lehmgrube“ in 2019 und „Stockacker“ in 2020 auf der Versuchsstation für Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim Ihinger Hof (konventionell bewirtschaftet) durchgeführt. Die Versuchsstation liegt 25 km westlichen von Stuttgart auf einer Höhe von 460 – 520 m über NN und einer Jahresmitteltemperatur von 7,9°C und einem Jahresniederschlag von 690 mm. Während der Versuchsdauer war die gemittelte Temperatur von April-August 15,2 °C in 2019 und 14,7 °C in 2020. In diesem Zeitraum sind in 2019 227 mm und in 2020 162 mm Niederschlag gemessen worden. Bei der Auswahl der Versuchsflächen wurde darauf geachtet, dass mindestens vier Jahre zuvor keine Leguminosen auf den Flächen angebaut wurden. Die Aussaat des Exaktversuches fand in 2019 am 16. April und in 2020 am 8. April statt. In diesem zweifaktoriellen Versuch wurden die Faktoren Isolat-Behandlungen mit den insgesamt neun Varianten (Sechs Isolate, eine Isolatmischung gewonnen aus Kleewurzeln (in 2019), Isolat 6 + Pflanzenkohle (in 2020) und eine ungeimpfte Kontrolle) und Linsensorte (Anicia, Späth's Alblinse I) untersucht. Die Versuche wurden in den zwei Jahren als randomisierte Blockanlage mit drei Varianten



Abbildung 2.7 : Aussaat des Exaktversuches 2020

angelegt. Insgesamt wurden in 2019 sechs verschiedene Isolate von *nadicom* zur Verfügung gestellt, die aus Linsenwurzeln gewonnen wurden sowie eine Variante mit einer Rhizobienmischung aus Kleewurzeln. In 2020 wurde die



Abbildung 2.8: Saatgut von zwei Linsensorten und Gerste

nach der Inokulation mit Rhizobienbakterien - Späth's Ablinse I (links) und Anicia (rechts)

Rhizobienmischung aus Klee durch eine neue Variante ausgetauscht, in der eine Pflanzenkohlemischung (bereitgestellt durch NovoCarbo) mit dem Isolat 6 beimpft wurde (siehe Kapitel zum Gefäßversuch). Die Rhizobienstämme der Isolate 1-6 wurden aus den Wurzeln gesunder Linsenpflanzen von den Standorten des Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg isoliert. Die drei Rhizobienstämme der Mischung stammten aus Kleewurzeln. Alle in den Isolatbehandlungen verwendeten Rhizobienstämme gehören der Art *Rhizobium leguminosarum* an (Tabelle 2.3).

Als Stützfrucht wurde für beide Sorten die Nacktgerstensorte „Pirona“ verwendet. In den Versuchen wurde ein linsenbetontes Gemenge mit einem Verhältnis von 3 (Linse):1 (Gerste) gewählt. Pro Quadratmeter wurden dabei 180 keimfähige Körner Linse und 60 keimfähige Körner Gerste ausgesät. Die Parzellengröße betrug in 2019 13,5 m² und in 2020 wurde die Parzellengröße auf 24 m² vergrößert. Durch die Vergrößerung der Parzelle in der Länge konnte für den Parzellendrusch zur Ertragsermittlung mehr Pflanzenmaterial für ein aussagekräftigeres Ergebnis gewonnen werden.

Vor der Aussaat wurden die Linsen und Stützfrucht mit den jeweiligen Impfmitteln behandelt. Die Aufwandmenge betrug 5 g des flüssigen Impfmittels pro 100 g Linsen-Saatgut. Vor und während der Impfung des Saatgutes wurde auf hohe Hygienestandards geachtet, um eine Kontamination zwischen den Impfmitteln zu verhindern. Dafür wurden zwischen der Anwendung der einzelnen Impfmittel die Handschuhe gewechselt, neue sterilisierte Behälter zur Mischung verwendet sowie alle Oberflächen mit 70% Isopropanol desinfiziert. Nach der Zugabe und Mischung des Impfmittels mit den Linsensamen wurde das Saatgut der Stützfrucht hinzugegeben und erneut vermischt. Nachdem das Saatgut oberflächlich trocken war und nicht mehr aneinanderklebte, konnten die Parzellen gesät werden.

Die Aussaat der Behandlungen beginnend mit der Kontrolle bis hin zu der Mischung. Nach jedem Isolat wurde eine Randparzelle zur Reinigung der Sämaschine ausgesät, um so eventuelle Rückstände des Isolates zu entfernen und eine Kontamination zu verhindern.

Biomasseschnitte

Während der Versuchsdauer wurden drei Biomasseschnitte auf einer Fläche von 0,25 m² pro Parzelle durchgeführt. Die Schnitte wurden an den folgenden Terminen durchgeführt: 1. Termin: Blüte der Linse, 2. Termin: Erste Hülsen voll entwickelt; 3. Termin: Erntereife. Dafür wurde ein auf einer Seite offener Rahmen in die Parzelle gelegt und die oberirdischen Pflanzenteile (Spross) auf einer Höhe von ca. 3 cm über dem Boden abgeschnitten. Zusätzlich wurden auch alle Wurzeln dieser Fläche ausgegraben. Bei sehr trockenem Boden musste die beprobte Fläche nach dem Schnitt der oberirdischen Biomasse gewässert werden, um die Wurzeln am folgenden Tag möglichst intakt aus dem Boden ausgraben zu können.

Laboranalysen (N-Gehalt in der Pflanze)

Der Gehalt an Gesamtstickstoff (N_t) wurde in der Biomasse (Spross und oberirdische Pflanzenteile von Linsen und Gerste), den Hülsen und im Korn (Linsen und Gerste) bestimmt.

Parzellendrusch

Vor der Ernte wurde ein Scheiteln der Parzellen von Hand durchgeführt. Die Parzellenernten wurden am 23.08.2019 und am 10.08.2020 durchgeführt. Mit Hilfe eines Parzellen-Mähdreschers wurde eine Bruttoparzelle von 6 m² (2019) und von 14,5 m² (2020) geerntet. Die Druschproben des Linse-Gerste-Gemenges wurden gewogen und bei 40 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurden die Proben mittels Präzisions-Feinreinigungsmaschine (Labor Luft-/Siebreiniger Typ LALS, Westrup A/S, Slagelse, Dänemark) von Unkrautsamen gereinigt sowie Linse und Gerste getrennt. Dabei wurden sowohl ein Windsichter, drei verschiedene Siebe mit unterschiedlichen Lochgrößen und –formen zum Entfernen von Verunreinigung und zur Trennung der Samen sowie zur abschließenden Separierung ein Trieur eingesetzt. Im Nachgang wurden die Proben nochmals von Hand verlesen, um die Linsen- und Gerstenproben arten- und sortenrein für die weitere N-Analyse im Labor zu gewinnen. Im Anschluss an die Reinigung wurden die Linsen- sowie Gerstensamen erneut gewogen.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem Statistikprogramm SAS (Version 9.4) durchgeführt.

Ergebnisse der Exaktfeldversuche:

Linsenertrag

Der Linsenertrag des dritten Biomasseschnittes wies signifikante Sorten*Varianten Interaktionen auf (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Bei den Varianten Kontrolle und Isolat 1, Isolat 2, Isolat 4, Isolat 5 unterschieden sich die beiden Sorten signifikant voneinander und Anicia erzielte signifikant höhere Erträge im Vergleich zu Späth's Alblinse I. Bei den Varianten Isolat 3, Isolat 6, Isolat 6+BK sowie der Isolatmischung aus Klee waren die Unterschiede nicht signifikant. Innerhalb der Sorten konnten für Anicia keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen festgestellt werden. Bei Späth's Alblinse erzielte die Varianten Isolat 3-6, sowie die Mischung aus Klee und Isolat 6+BK signifikant höhere Erträge zu den Varianten Isolat 1, Isolat 2 und der Kontrolle. Die höchsten Erträge bei Späth's Alblinse wurden mit 1.408 kg/ha durch die Impfung mit Isolat 3 erzielt, gefolgt von der Variante Isolat 6+BK (1.391 kg/ha - 1-jährige Daten) und Isolat 6 (1.228 kg/ha).

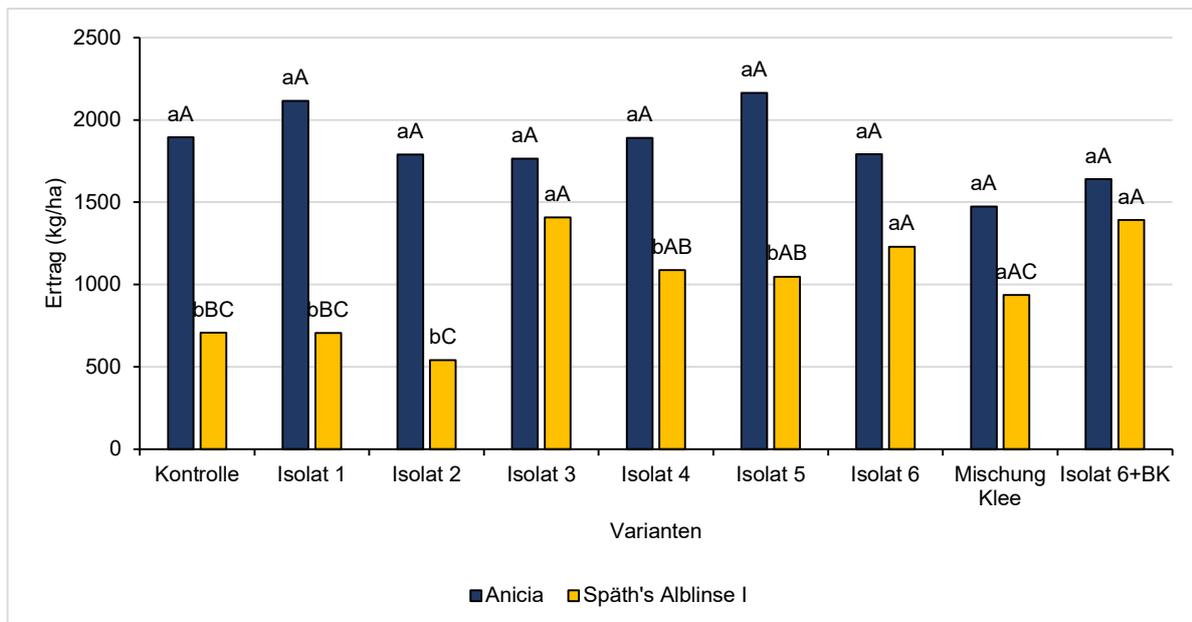


Abbildung. 2.9: Linsenertrag (kg/ha) der zwei Sorten (Anicia und Späth's Alblinse I) über die 9 Varianten

(Kontrolle, Isolat 1-6, Mischung (Klee) und Isolat 6+Pflanzenkohle) gemittelt über die Jahre 2019 und 2020 auf dem Standort Ihinger Hof. Die Ergebnisse der Varianten Mischung und Iso 6 + BK beziehen sich nur auf die einjährigen Daten aus 2019 bzw. 2020. Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen den Sorten einer Variante an und Großbuchstaben geben signifikante Unterschiede der Varianten innerhalb einer Sorte an für $p < 0,05$ (LSD).

Knöllchenanzahl und Aktivität der Knöllchen

Für Knöllchenanzahl pro Pflanze konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten und auch keine signifikante Interaktion von Sorte und Variante gefunden werden (Abb. 2.10). Zwischen den Sorten wurden signifikante Unterschiede in der Knöllchenanzahl festgestellt. Gemittelt über alle Varianten und Versuchsjahre bildete Späth's Alblinse I mehr Knöllchen pro Pflanze im Vergleich zur Sorte Anicia. Bei der Aktivität der Knöllchen kam es unter anderem zu signifikanten

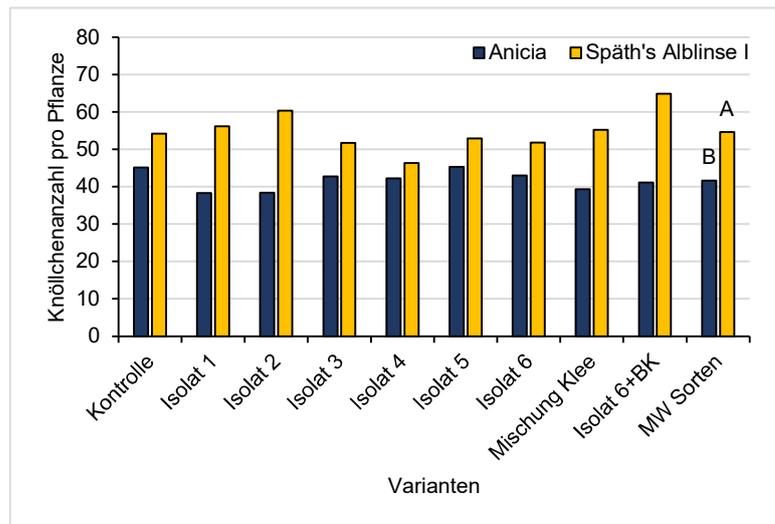


Abb. 2.10: Knöllchenanzahl pro Pflanze der zwei Sorten (Anicia und Späth's Alblinse I) über die 9 Varianten

(Kontrolle, Isolat 1-6, Mischung (Klee) und Isolat 6+Pflanzenkohle) gemittelt über die Jahre 2019 und 2020 auf dem Standort Ihinger Hof. Die Ergebnisse der Varianten Mischung und Iso 6 + BK beziehen sich nur auf die einjährigen Daten aus 2019 bzw. 2020. Großbuchstaben geben signifikante der Sorten für $p < 0,05$ (LSD) an.

Interaktionen von Sorte und Schnitttermin (Abb. 2.11). Bei beiden Sorten wurde die höchste Aktivität beim Biomasseschnitt zur Blüte (1. Termin) bestimmt und welche mit zunehmender Vegetationsdauer abnahm. Zu den einzelnen Schnitten zeigte Anicia bei Schnitt 1 und 2 signifikant höhere Aktivitäten im Vergleich zu Späth's Alblinse I. Nur beim 3. Schnitt konnten

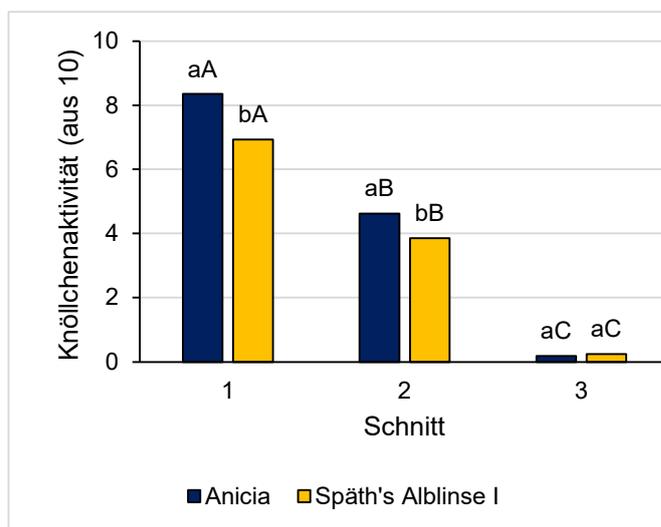


Abb. 2.11: Knöllchenaktivität aus 10 zufällig ausgewählten Knöllchen pro Biomasseschnitt der zwei Linsensorten (Anicia und Späth's Alblinse I)

gemittelt über die 9 Varianten und zwei Jahre. Großbuchstaben geben signifikante Unterschiede der Schnitte innerhalb einer Sorte an und Kleinbuchstaben signifikante Unterschiede der Sorten bei einem Schnittzeitpunkt für $p < 0,05$

keine Signifikanzen gefunden werden.

Die in 2020 zusätzliche Unterscheidung zwischen gefüllten und leeren Hülsen (Blindhülsen) zeigte signifikante Unterschiede zwischen den beiden Sorten. Anicia bildete die meisten gefüllten Hülsen, hatte aber auch die meisten Blindhülsen. Prozentual sind bei Späth's Alblinse I gemittelt über alle Varianten im Versuchsjahr 2020 ungefähr 28% der gebildeten Hülsen nicht gefüllt und bei Anicia 22%.

Diskussion der Ergebnisse:

Zaccardelli et al (2012) untersuchten unter anderem den Einfluss von Rhizobien auf den Ertrag von zwei Linsensorten in Italien und stellten dabei fest, dass eine Sorte durch die Impfung mit den Bakterien einen höheren Ertrag erzielte. Für die zweite Sorte konnte hingegen keine signifikante Erhöhung des Ertrages durch die Impfung erreicht werden. Dies konnte auch im Exaktversuch der vorliegenden Arbeit festgestellt werden. Hier konnte zwar durch die Impfung mit verschiedenen Rhizobien kein signifikant positiver oder negativer Einfluss auf den Kornertrag der Sorte Anicia festgestellt werden. Im Gegensatz dazu erreichte die Sorte Späth's Alblinse I höhere Erträge im Vergleich zur Kontrolle, wenn sie mit dem Isolat 3 sowie mit Isolat 6 beimpft wurde. Ein solcher Zusammenhang zwischen Sorte und Inokulum kann durch die hohe Spezifität der Beziehung zwischen Rhizobien und Pflanzen auftreten. In Erbsen zeigte sich, dass einige Rhizobienstämme effizienter als andere bei der Symbiose mit bestimmten Sorten waren (Hobbs and Mahon 1982; Young et al. 1982). Zaccardelli et al (2012) zeigten in ihrer Studie weiterhin, dass dieser Effekt vor allem bei Sorten auftritt, deren Ertrag in der unbehandelten Kontrolle am niedrigsten war. Dies konnten wir auch in unsere Studien feststellen, in der der Ertrag von Späth's Alblinse I signifikant geringer war im Vergleich zu Anicia und die Kontrolle geringe Erträge erzielte.

In der vorliegenden Arbeit konnte weiterhin festgestellt werden, dass der Faktor Jahr den größten Einfluss auf den N-Gehalt und Proteingehalt der Linse hat. Für die Faktoren Sorte und Isolat-Behandlung konnten hingegen keine signifikanten Einflüsse auf den N-Gehalt und Proteingehalt von Linse und Stützfrucht festgestellt werden. Einflüsse des Jahres sowie des Standortes wurden auch in den Studien von Chen et al. (2021) and Choukri et al. (2022) bei Linsen festgestellt. Trockenheit, vor allem in der reproduktiven Phase und der Kornfüllung, führte dabei zu einer Limitierung des Wachstums und der Entwicklung. Aufgrund der Sensitivität in diesen Stadien kann es zu geringeren Erträgen sowie N-Gehalten kommen (Choukri et al. 2022). Dieser Zusammenhang konnte in unseren Versuchen aber nicht festgestellt werden.

Der Einsatz von Pflanzenkohle führte in unserer Studie zu ähnlichen Ergebnissen wie die direkte Inokulation der Samen. Clayton et al. (2004) vergleichen in ihrer Studie eine flüssige Sameninokulation, ähnlich der hauptsächlich in unserer Studie angewandten Methode, mit zwei Inokulationen auf Torfbasis. Die Art der Inokulation hatte einen signifikanten Einfluss auf die Knöllchenanzahl und den Stickstoffgehalt der Pflanzen. Die Knöllchenanzahl war signifikant geringer, wenn die Samen nur mit einem flüssigen Rhizobien-Impfmittel behandelt wurden. Dies lässt sich laut Clayton et al. (2004) darauf zurückführen, dass hier ohne die schützende Torfschicht ein Abbau der Rhizobien durch äußere Einflüsse wie Trockenheit wahrscheinlicher ist. In unsere Studie konnten wir diese Effekte bei dem Einsatz von

Pflanzkohle als Trägerstoff nicht finden. Aufgrund der nur 1-jährigen Datengrundlage können jedoch keine Rückschlüsse gezogen werden, ob die Ergebnisse abhängig vom Jahr sind oder von der verwendeten Pflanzkohle. Für weitere Versuche wäre neben zusätzlichen Versuchsjahren, die Untersuchung von weiteren Varianten (z.B. die Inokulation auf Torfbasis) empfehlenswert. Dadurch könnten die Ergebnisse besser mit den bisherigen Standardmethoden der Inokulation verglichen werden und es könnte eine bessere Aussage über Pflanzkohle als Trägerstoff für Impfmittel gegeben werden.

In dem Exaktversuch auf dem Ihinger Hof wurde für den Linsenertrag eine signifikante Sorten*Varianten Interaktion beobachtet. Die ertragsschwächere Sorte Späth's Alblinse I konnte durch einige Isolate einen höheren Ertrag im Vergleich zu der ungeimpften Kontrolle erzielen. Anicia, die am häufigsten angebaute Sorte in Baden-Württemberg, konnte durch die Isolate jedoch keinen Mehrertrag erzielen.

2.4.7 Durchführung On-Farm Versuche

Versuchsaufbau und -durchführung

Die On-Farm Versuche wurden in 2020 und 2021 auf insgesamt sechs Versuchsflächen von 6 (2020) bzw. fünf (2021) verschiedenen Landwirten im Heckengäu und auf der Schwäbischen Alb durchgeführt. Genaue Informationen zu den Versuchsflächen (Linsensorte, Vorfrucht, Saatstärke, usw.) sind in Tabelle 2.4 und Tabelle 2.5 für die jeweiligen Versuchsjahre angegeben. Im Jahr 2020 wurden vier Isolat-Behandlungen mit den Varianten (Isolat 2, Isolat 3, Isolat 6 und einer unbehandelten Kontrolle (keine Inokulation)) pro Betrieb in einer Streifenanlage angelegt. Die Varianten basierten auf den Ergebnissen des 1. Versuchsjahres des Exaktesversuches auf dem Ihinger Hof.

Tabelle 2.4: Überblick über die sechs Versuchsflächen auf Praxisbetrieben der OPG auf der Schwäbischen Alb und im Heckengäu in 2020.

| | Andreas Häußler | Anton und Christian Ott | Max Mammel | Helmut Kayser | Otto und Thomas Schmolli | Ingo Hagenlocher |
|-----------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Ort | Schwörz Kirch | Niederhofen | Lauterach | Gäufelden | Brackenheim-Hausen | Renningen |
| Vorfrucht | Dinkel | Triticale – Erbsen | Knoblauch | Weizen | Zuckerrübe | Sommergerste |
| Zwischenfrucht | Saatwicke, Ölrettich, weißer Senf & Buchweizen | Weißklee (Untersaat) | keine | keine | Senf | keine |
| Linsenanbau auf dem Schlag? | 2012 | Nein | Nein | 2015 | Nein | Nein |
| Linsensorte | Anicia | Anicia | Anicia | Anicia | DePuy | DePuy |
| Gemengepartner | Sommergerste (SG) | Sommergerste (SG) | Sommergerste (SG) | Senf | Leindotter (LD) | Hafer |
| Saatstärke (pro ha) | 50 kg Linsen + 70 kg SG | 50 kg Linsen + 80 kg SG | 60 kg Linsen + 50 kg SG | 30 kg Linsen + 3 kg Senf | 70 kg Linsen + 7 kg LD | 75 kg Linsen + 25 kg Hafer |
| Reihenweite | 12,5 cm | 25 cm | 13 cm | 16 cm | 12,5 cm | 12 cm |

Tabelle 2.5: Überblick über die sechs Versuchsflächen in 2021.

| | Andreas Häußler 1 | Anton und Christian Ott | Andrea Häußler 2 | Helmut Kayser | Otto und Thomas Schmoll | Ingo Hagenlocher |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Ort | Schwörzkirch | Niederhofen | Schwörzkirch | Gäufelden | Nordheim | Renningen |
| Vorfrucht | Dinkel | Weizen | Dinkel | Mais/Weizen | Winterdinkel | |
| Zwischenfrucht | Gemenge (vorwiegend aus weißer und gelber Send, Ölrettich) | Gemenge (Bohnen, Hafer, Weißklee, Reste von Begrünungsmischung) | Gemenge (vorwiegend aus weißer und gelber Send, Ölrettich) | Mischung aus Senf, Phacelia, Ölrettich | Ölrettich/Send | keine |
| Linsenanbau auf dem Schlag? | 2013 | Nein | 2013 | Nein | Nein | Nein |
| Linsensorte | Anicia | Anicia | Anicia | Anicia | DePuy | DePuy |
| Gemengepartner | Sommergerste (SG) | Sommergerste (SG) | Sommergerste (SG) | Hafer | Leindotter (LD) | Hafer |
| Saatstärke (pro ha) | 50 kg Linsen + 70 kg SG | 50 kg Linsen + 80 kg SG | 50 kg Linsen + 70 kg SG | 60 kg Linsen + 20 kg Hafer | 70 kg Linsen + 7 kg LD | 75 kg Linsen + 25 kg Hafer |
| Reihenweite | 12,5 cm | 25 cm | 12,5 cm | 16 cm | 12,5 cm | 12 cm |

Neben der Kontrollvariante ohne Inokulation mit einem Isolat wurden Isolat 3 und 6 ausgewählt, da diese beiden Isolate zu den höchsten Erträgen führten. Zusätzlich wurde Isolat 2 als negative Kontrolle in den On-Farm Versuch aufgenommen, da es bei beiden Sorten im Exaktversuch auf dem Ihinger Hof im Vergleich zu den anderen Isolaten geringe Erträge erzielte. In 2021 wurden auf Wunsch der Projektpartner neue Isolat-Behandlungen geprüft, so dass es keine mehrjährigen Prüfungen der Isolate stattfand. Die ursprünglichen Isolat-Behandlungen wurden dabei durch die neue Variante, bestehend aus einer Mischung der drei im Vorjahr getesteten Isolate, ersetzt. Auf dem Betrieb Hagenlocher wurde zusätzlich noch eine dritte Variante geprüft und zwar eine Mischung der oben genannten Isolate mit einer Pflanzenkohlemischung von Novocarbo.



Abb. 2.12: Trocknung des Linsensaatgut nach Applikation des Isolates am Feldrand im Schatten (Betrieb Schmoll 2020).



Abb. 2.13: Aussaat der Versuche auf den Betrieben Ott (links) und Häußler (rechts) in 2020.

Für die Impfung des Saatgutes mit den Isolaten 2, 3 und 6 in 2020 und der Mischung aller Isolate in 2021 wurde die zuvor berechnete Saatgutmenge abgewogen und mit dem jeweiligen Isolat in einem großen Behälter beimpft. Die Aufwandmenge betrug 5 g des flüssigen Impfmittels pro 100 g Linsen-Saatgut. Dabei wurde auf eine strenge Einhaltung der Hygieneregeln geachtet und alle Materialien, Handschuhe und Hände wurden vorher und zwischen der Aussaat der einzelnen Varianten mit 70%igen Isopropanol desinfiziert. Anschließend wurde das Saatgut für ca. 60 min im Schatten/ohne direkte Sonneneinstrahlung angetrocknet, bis die Oberfläche der Linse trocken und das Isolat aufgenommen war (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**2.12). Bei der Anlage des Versuches wurde die Kontrollvariante ohne Inokulation auf allen Standorten als erstes ausgesät um eine Kontamination mit den verschiedenen Isolaten zu vermeiden. Zwischen den einzelnen Varianten wurden sogenannte Reinigungstreifen angelegt. Durch diese Streifen sollten in der Sämaschine eventuelle Reste von anhaftenden Rhizobien durch ungeimpftes Saatgut aufgenommen werden. Dadurch sollte eine Übertragung von Variante zu Variante verhindert werden. Auch in den Reinigungstreifen wurden Proben genommen, um dies zu überprüfen. Während der Versuchsdauer wurden, wie auch in den Exaktversuchen auf dem Ihinger Hof, drei Biomasseschnitte auf einer Fläche von 0,25 m² pro Streifen durchgeführt. Die Biomasseschnitte wurden an den folgenden Terminen durchgeführt: 1. Termin: Blüte der Linse, 2. Termin: Erste Hülsen voll entwickelt; 3. Termin: Erntereife. Um die Zeitpunkte korrekt abzapfen zu können, wurde der aktuelle Entwicklungsstand durch die Landwirte vor Ort kontrolliert und an uns kommuniziert. Für die Biomasseschnitte wurde ein auf einer Seite offener Rahmen in die Parzelle gelegt und die oberirdischen Pflanzenteile (Spross) auf einer Höhe von ca. 3 cm über dem Boden abgeschnitten. Außerdem wurden auch alle Wurzeln auf dieser Fläche ausgegraben.

Bei der Aufbereitung der Biomasseschnitte erfolgte auf den Versuchsstationen Ihinger Hof und Kleinhohenheim der Universität Hohenheim. Dabei wurde die oberirdische Biomasse von Unkraut befreit und in die beiden Fraktionen Linse und Stützfrucht aufgeteilt. Die Unkrautbiomasse wurde anschließend verworfen. Die Erde um die Wurzeln von Linse und

Stützfrucht wurde in Wasser eingeweicht und anschließend konnten die Wurzeln unter fließendem Wasser vorsichtig von der noch anhaftenden Erde befreit werden. Dabei ist auf eine vorsichtige Behandlung der Linsenwurzeln zu achten um keine Knöllchen abzuwaschen. Zur Bestimmung der Gesamtknöllchenanzahl pro Wurzel wurden zufällig fünf Wurzeln ausgewählt und alle Knöllchen erfasst. Die Erfassung der Knöllchenaktivität erfolgt durch das Aufschneiden und die Farbbestimmung von zehn zufällig gewählten Knöllchen. Anschließend erfolgte die Einwaage von Spross und Wurzeln von Linse und Stützfrucht zur Bestimmung die Frischmasse zu bestimmen. Das Pflanzenmaterial wurde bei 60°C für 36 h in einem Trockenschrank getrocknet bis zum Erreichen Gewichtskonstanz. Bei dem dritten Biomasseschnitt wurden die Proben von Linse und Stützfrucht nach dem Trocknen im Anschluss gemahlen und der Gesamtstickstoff Gehalt auf dem Ihinger Hof mit der NIRS-Methode analysiert (s. Exaktversuch auf dem Ihinger Hof). Zusätzlich zu den bereits beschrieben erfassten Parametern erfolgte bei dem zweiten und dritten Biomasseschnitt die Bestimmung Hülsenanzahl (gefüllte und leere Hülsen) der Linsen sowie deren Frisch- und Trockenmasse bestimmt. Nach dem Ausdreschen der Linsen per Hand konnte die Anzahl Linsensamen und das Samengewicht bestimmt werden. Auch die Hülsen und Linsen wurden nach der Auszählung im Labor auf den Stickstoffgehalt mittels NIRS untersucht.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem Statistikprogramm SAS mit der Prozedur „Proc Mixed“ durchgeführt. Für die Auswertung der beiden zwei Versuchsjahre wurden aufgrund der verschiedenen Versuchsvarianten zwei unterschiedliche Modelle verwendet und die Daten getrennt ausgewertet, da sich die Varianten und Faktoren in den beiden Versuchsjahren deutlich unterschieden. Die einzelnen Betriebe wurden in den beiden Modellen als einzelner Block definiert. Dadurch konnten die verschiedenen Saatstärken, Sorten oder auch die verschiedenen Stützfrüchte in der Berechnung berücksichtigt werden. Die Normalverteilung und Homogenität der Daten wurde visuell geprüft. Wurden diese Voraussetzungen für eine Varianzanalyse nicht erfüllt, wurde eine log-Transformation (2020: Trockenmasse des Linsensprosses, Proteingehalt des Korns der Stützfrucht sowie Stickstoffgehalte der oberirdischen Biomasse der Stützfrucht, des Linsenkorns, des Korns der Stützfrucht (Biomasseschnitt und Erntedrusch), der Linsenwurzeln; 2021: Frischmasse der Gesamtbioasse Linse und Anzahl Blindhülsen) und sqrt-Transformation (2020: Anzahl der gesamten Hülsen, gefüllten Hülsen und Blindhülse, Knöllchenanzahl, Linsenspross Frischmasse, Ertrag (kg/ha) sowie die Wurzelrockenmasse von Linse und Stützfrucht) vor der statistischen Analyse durchgeführt. Bei den transformierten Daten basieren die Signifikanzen auf den transformierten Daten. Zur Darstellung der Ergebnisse wurden die Daten wieder

Rücktransformiert. Die Buchstabendarstellung der Signifikanzen wurde mit dem %mult Macro von Piepho et al. (2012) erstellt.

Ergebnisse 2020:

Linsenertrag und Anzahl von Linsenkörnern und -hülsen

Die statistische Auswertung des Linsenertrages zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier Isolat-Behandlungen (Abb. 21). Die höchsten Erträge gemittelt über alle Betriebe wurden in der Kontrollvariante erfasst (1.089 kg ha^{-1}), gefolgt von Isolat 3 (888 kg ha^{-1}), Isolat 6 (799 kg ha^{-1}) und die geringsten Erträge in der Variante Isolat 2 (691 kg ha^{-1}).

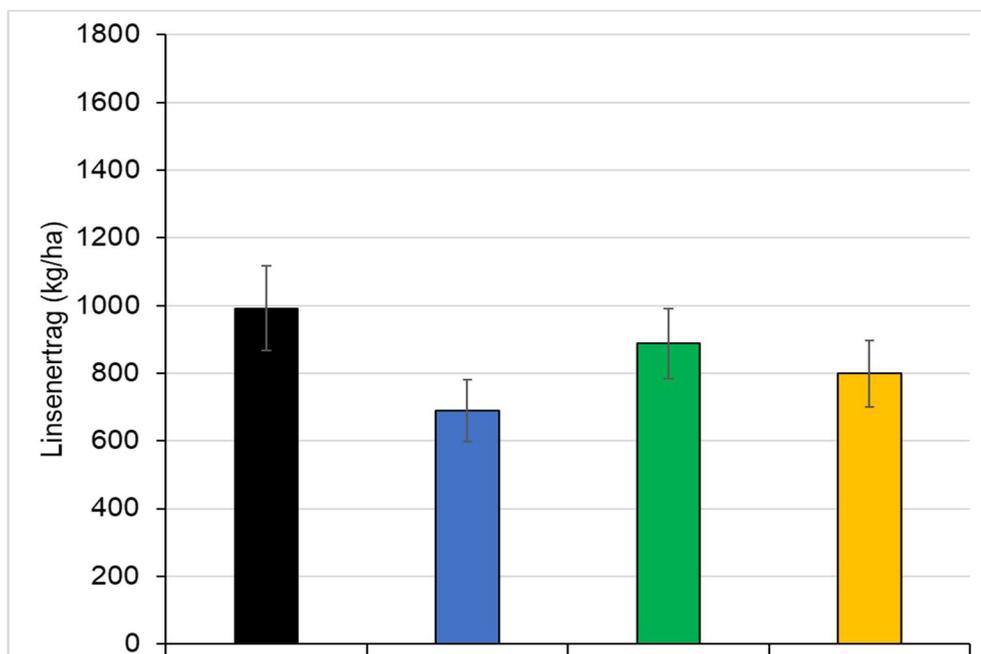


Abb. 2.14: Linsenertrag (kg/ha) der vier Varianten

(K = unbehandelte Kontrolle, Iso 2=Isolat 2, Iso3 = Isolat 3 und Iso6 = Isolat 6) in 2020.
Fehlerbalken = Standardfehler.

Für die Anzahl an Linsenkörnern pro $0,25 \text{ m}^2$ gab es signifikante Unterschiede für die Varianten und die Betriebe. Die Varianten Kontrolle (1.013) sowie Isolat 3 (968) unterschieden sich signifikant von Isolat 2 (803), welche die geringste Anzahl von Linsenkörnern produzierte (Abb.22). Bei den Betrieben wurden im Betrieb „Schmoll“ die meisten Linsen (1.493) gezählt (Tabelle 7). Der Betrieb unterschied sich dabei signifikant von den allen anderen Betrieben. Die geringste Anzahl Linsenkörner wurden bei den Betrieben „Mammel“ (479) sowie „Kayser“ (40) erfasst.

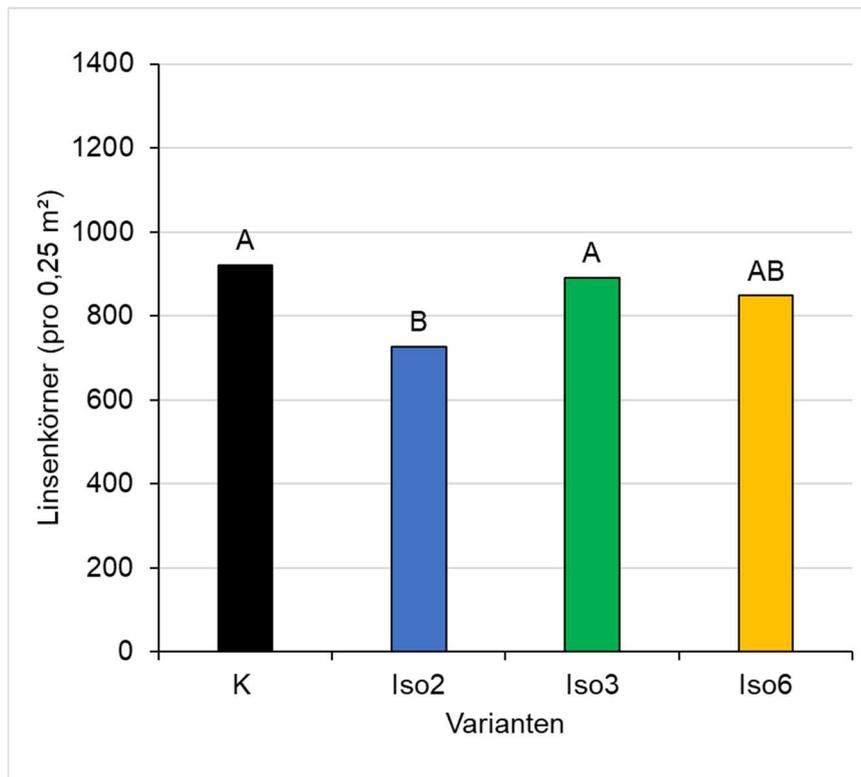


Abb. 2.15: Anzahl Linsenkörner (pro 0,25 m²) der vier Varianten

(K = ungeimpfte Kontrolle, Iso 2=Isolat 2, Iso3 = Isolat 3 und Iso6 = Isolat 6) in 2020 gemittelt über alle Betriebe. Großbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen den Varianten für $p < 0,05$ (LSD) an.

Zwischen den sechs Betrieben konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden (Tabelle 2.6). Der höchste Ertrag wurde mit 1.597 kg ha⁻¹ auf dem Betrieb „Schmoll“ erfasst, gefolgt von den Betrieben „Hagenlocher“ (1.239 kg ha⁻¹) und „Häußler“ (1.201 kg ha⁻¹), deren Erträge sich nicht signifikant von „Schmoll“ unterschieden. Die geringsten Erträge hatte Betrieb „Kayser“ mit 39 kg ha⁻¹.

Tabelle 2.6: Linsenertrag (kg/ha)

Anzahl Linsenkörner pro 0.25 m² und Anzahl von gefüllten Hülsen und Blindhülsen pro 0.25 m² der sechs Betriebe am 3. Biomasseschnitt gemittelt über alle Varianten in 2020. Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen den Varianten für $p < 0,05$ (LSD) an.

| Betriebe | Linsenertrag (kg/ha) | | Anzahl Linsenkörner | | Hülsen | | | | | | | |
|-------------|----------------------|------------|---------------------|------------|-----------------|------------|-------------|------------|---|-----|------|----|
| | | | | | Gefüllte Hülsen | | Blindhülsen | | | | | |
| | Mittelwert | Std.fehler | Mittelwert | Std.fehler | Mittelwert | Std.fehler | Mittelwert | Std.fehler | | | | |
| Häußler | 1201 | ± 69 | ab | 995 | ± 93 | b | 751 | ± 110 | b | 102 | ± 24 | bc |
| Mammel | 517 | ± 45 | c | 479 | ± 93 | c | 692 | ± 106 | b | 161 | ± 30 | b |
| Ott | 1138 | ± 67 | b | 920 | ± 93 | b | 692 | ± 106 | b | 77 | ± 21 | c |
| Kayser | 39 | ± 13 | d | 40 | ± 93 | c | 80 | ± 36 | c | 46 | ± 16 | c |
| Schmoll | 1597 | ± 80 | ab | 1493 | ± 93 | a | 1513 | ± 156 | a | 306 | ± 41 | a |
| Hagenlocher | 1239 | ± 70 | ab | 999 | ± 93 | b | 894 | ± 120 | b | 86 | ± 22 | c |

Ergebnisse 2021:

Linsenertrag, Linsen- und Hülsenanzahl

Von den drei Varianten erzielte die Mischung (beimpfte Variante) höhere Erträge ($0,76 \text{ t ha}^{-1}$) im Vergleich zur Kontrolle ($0,62 \text{ t ha}^{-1}$) und der Variante Mischung+Pflanzkohle ($0,61 \text{ t ha}^{-1}$) siehe Abbildung 2.16. Allerdings waren diese Ergebnisse nicht signifikant verschieden. Dabei ist festzustellen, dass zwischen den Betrieben große Ertragsunterschiede vorlagen. Die Kovarianz-Parameter-Schätzung ergab einen deutlich höheren Einfluss der verschiedenen Betriebe (Standorte) auf den Ertrag sowie eine Betrieb*Variante-Interaktion.

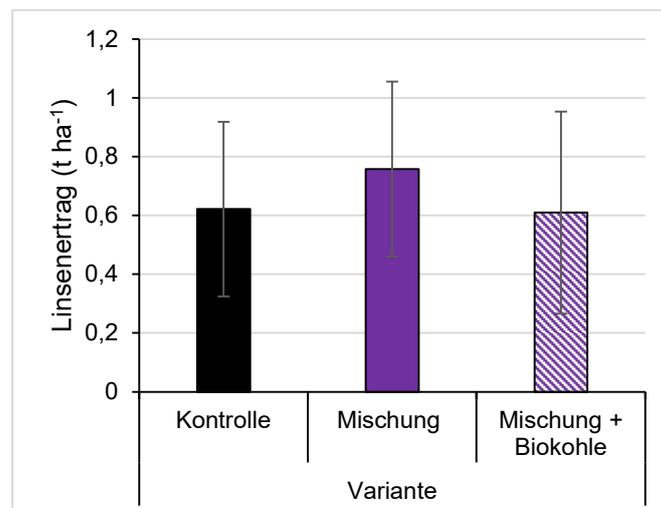


Abb. 2.16: Linsenertrag (t ha^{-1}) des dritten Biomassenschnittes in den drei Varianten in 2021.

Fehlerbalken = Standardfehler.

Auch bei der Anzahl Linsenkörner wurden ähnliche Ergebnisse festgestellt (Abb. 2.17). Die Anzahl unterschied sich nicht signifikant zwischen den Varianten. Die meisten Linsenkörner

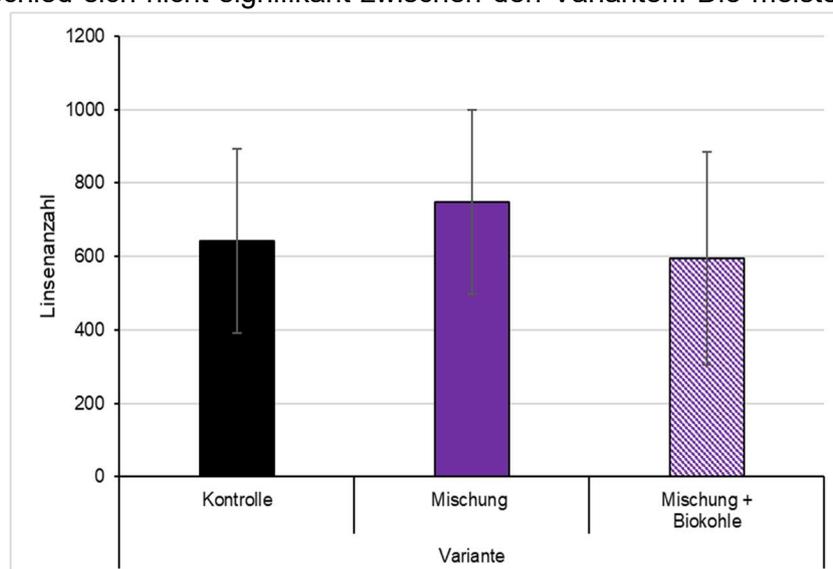


Abb. 2.17: Anzahl der Linsenkörner ($1/4 \text{ m}^2$) des dritten Biomassenschnittes in den drei Varianten in 2021.

wurden in der Mischung gezählt (749 Körner 0,25 m²). Die Kontrollvariante ohne Inokulation mit Rhizobien bildete durchschnittlich 642 Körner 0,25 m².

Die Auswertung der Hülsenanzahl ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Varianten und den zwei Biomasseschnitten. Siehe Abbildung 2.18. Die Hülsenanzahl nahm nach dem zweiten Biomasseschnitt um durchschnittlich 150 Hülsen ab. Innerhalb der Varianten wurde die höchste Hülsenanzahl in der Mischung erfasst (814), gefolgt von der Kontrolle (772) und der Variante Mischung + Pflanzenkohle (734). Die Analyse des dritten Schnittzeitpunktes ergab keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl an gefüllten Hülsen und leeren Blindhülsen. Die Variante Mischung produzierte circa 81 % gefüllte Hülsen und 19 % Blindhülsen, die Variante mit Pflanzenkohle 79% gefüllte Hülsen und 21% leere Hülsen und die Kontrolle 77% gefüllte Hülsen sowie 23% Blindhülsen.

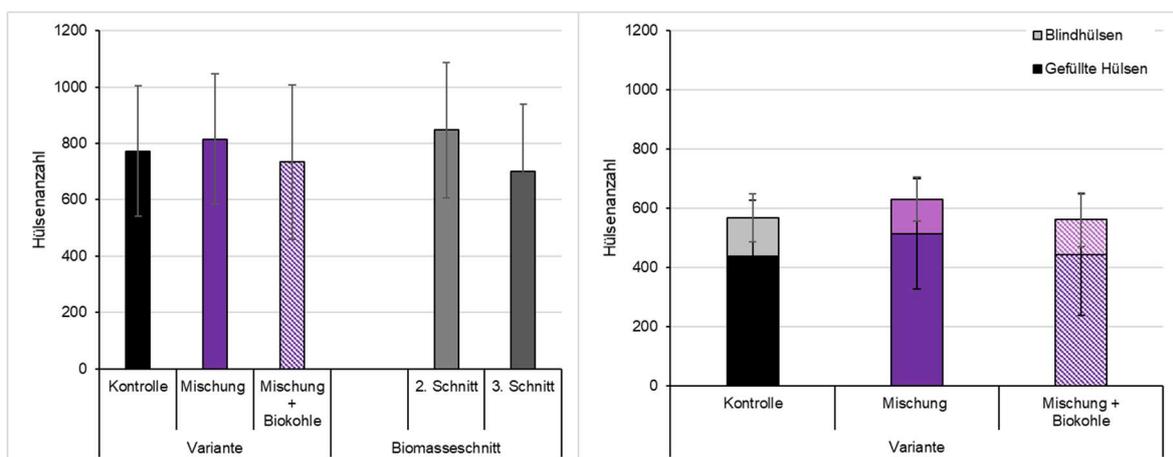


Abb. 2.18: Anzahl an Hülsen in den drei Varianten und den zwei Biomasseschnitten (links) und Anzahl an gefüllten Hülsen und leeren Blindhülsen des dritten Biomasseschnittes (rechts) in 2021.

Fehlerbalken = Standardfehler.

Diskussion der Ergebnisse

Frühere Studien weisen auf die positiven Wirkungen der Rhizobienimpfung auf Biomasse und Ertrag bei Linsen hin (Argaw, 2013; El-Wakeil & El-Sebai, 2007; Khanna & Sharma, 2011; Pereyra et al., 2015), jedoch zeigten die Versuchsergebnisse im On-Farm-Versuch für die Jahre 2020 in 2021 keine signifikanten Unterschiede zwischen den mit Rhizobien beimpften Pflanzen und der Kontrolle. Bei den Ertragsparametern hatten die Isolate lediglich eine signifikante Wirkung auf das Samengewicht sowie den Proteingehalte im Linsenkorn. Im Jahr 2020 hatte die Kontrolle einen höheren Samenertrag als die drei mit Isolaten behandelten Varianten. Mit einem durchschnittlichen Ertrag von 1,1 t ha⁻¹ lag die Kontrolle höher als der weltweite Durchschnitt von 10t ha⁻¹ im Jahr 2018 (FAOSTAT, 2020). Allerdings wurde dieser Ertrag durch händisch durchgeführten Biomasseschnitten ermittelt, wodurch der Ertrag überschätzt wird. Im maschinellen Drusch sind die Ernteverluste deutlich höher. Insofern

sollten diese Ertragsergebnisse im Vergleich zu Ertragsdaten aus einer echten maschinellen Ernte nicht überbewertet werden. Im Gegensatz dazu war der Linsenertrag im Jahr 2021 bei allen Varianten deutlich niedriger, was auf die schlechten Wetterbedingungen zurückzuführen ist. Im Jahr 2021 war aber im Gegensatz zu 2020 ein Effekt der Beimpfung mit Rhizobien auf den Ertrag vorhanden.

Eine höhere Knöllchenaktivität führte nicht unbedingt zu höheren Erträgen. Nach Thies et al., (1991) hängt die Knöllchenaktivität von den Boden- und Klimabedingungen, aber auch vom pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden und von der Qualität der einheimischen Rhizobienpopulationen ab. Die Leguminosen reagieren am stärksten auf die Inokulation, wenn sie zum ersten Mal auf einer bestimmten Fläche angebaut werden. Danach ist die Wirkung abnehmend (Thies et al., 1991; van Kessel & Hartley, 2000). Da Rhizobien saprophytisch im Boden überleben können, können sie sich auf einem Feld etablieren und einen stabilen einheimischen Stamm aufbauen (van Kessel & Hartley, 2000), was vermutlich auf den Flächen der Partnerbetriebe der Fall ist, da die im Projekt mitwirkenden Landwirte bereits seit mehreren Jahren Linsen anbauen. Außerdem zeigen verschiedene Stämme sehr unterschiedliche Wirkungen, was darauf hindeutet, dass die Symbiose zwischen *R. leguminosarum* und der Linse (*Lens culinaris* Med.) sehr spezifisch ist und sich die Wirksamkeit je nach Rhizobienstamm ändern kann (Bremer et al., 1990).

Die Ergebnisse der Versuche deuten darauf hin, dass auf einem Teil der Flächen genügend und gut etablierte Rhizobienstämme im Boden vorhanden waren. Somit konnte die Zugabe von Rhizobien über die Beimpfung des Saatguts den Linsenertrag auf diesen Flächen nicht deutlich verbessern. Auch der Einsatz von Pflanzenkohle als Trägerstoff für die Rhizobien in 2021 konnte den Ertrag nicht zusätzlich beeinflussen. Genaue Rückschlüsse über den Einfluss der Rhizobienmischung und sowie des Einsatzes von Pflanzenkohle als Trägerstoff der Rhizobien konnte anhand der Unterschiede in den Versuchen auf den verschiedenen Betrieben sowie der hohen Niederschläge in 2021 nicht gezogen werden. Aufgrund des Projektendes zum 31.03.2021 konnte auch kein weiteres Untersuchungsjahr zur Prüfung der Mischung der drei Isolate und die Mischung + Pflanzenkohle durchgeführt werden. Um statistisch besser abgesicherte Aussagen treffen zu können, wäre eine Wiederholung der Versuche sinnvoll.

2.4.8 Beitrag des Projekts zu förderpolitischen EIP Zielen

Tabelle 2.7: Darstellung des Beitrags des Projekts zu den förderpolitischen Zielen des Projekts

| Nr. | Förderpolitische EIP Ziele | Beitrag des Projekts |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Förderung eines ressourceneffizienten, wirtschaftlich lebensfähigen, produktiven, wettbewerbsfähigen, emissionsarmen, klimafreundlichen und klimaresistenten Agrar- und Forstsektors mit einem Hinarbeiten auf agrarökologische Produktionssysteme, der in Harmonie mit den wesentlichen natürlichen Ressourcen funktioniert, von denen die Land- und Forstwirtschaft abhängt. | Gentechnikfreie natürliche Impfmittel fördern die ökologische Landwirtschaft, sie tragen zur Reduktion von mineralischen Düngern bei und spielen so eine Rolle bei der Belebung und Erhaltung des Bodens, als eine unserer wesentlichen Ressourcen. Die ertragssteigernde Wirkung der Rhizobien verbessert die Wirtschaftlichkeit des Linsenanbaus. Da die Linse ursprünglich aus ariden Gebieten der Erde kommt, ist sie an Trockenheit angepasst und somit für den Klimawandels gewappnet. |
| 2 | Beitrag zu einer sicheren, stetigen und nachhaltigen Versorgung mit Lebensmitteln, Futtermitteln und Biomaterialien, das sowohl bestehende als auch neue Produkte betrifft; | Durch den Einsatz von natürlichen, bakteriellen Impfmitteln kann der Linsenanbau in Bezug auf den Ertrag aber auch auf die Gesundheit und Stresstoleranz der Pflanzen verbessert werden. Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit und die Flächen im Linsenanbau erhöht. Linsen können durch ihren großen Proteingehalt einen großen Beitrag zu einer nachhaltigeren, fleischärmeren Ernährung leisten. |
| 3 | Verbesserung der Prozesse zur Bewahrung der Umwelt, zur Eindämmung des Klimawandels und zur Anpassung an seine Auswirkungen; | natürliche Impfmittel fördern die Biodiversität und reduzieren den Aufwand der Stickstoffdüngung, Sie können besonders auf Stickstoffarmen Böden das Wachstum der Linse fördern. |

2.4.9 Nebenergebnisse

Effektivität der Boden- und Saatgutsterilisation

Im Rahmen der ersten Gewächshausversuche im Topf an der Uni Hohenheim wurden auch bei den Kontrollen Wurzelknöllchen gefunden. Da der für die Topfversuche verwendete Boden zuvor durch bedampfen sterilisiert wurde, sollten in der Kontrolle eigentlich keine Knöllchen enthalten sein. Um zu untersuchen wo die Quelle der Knöllchenbakterien der Kontrolle ist, wurde ein separater Versuch angelegt. Dabei wurde der Boden jeweils unbehandelt, durch Bedampfen sterilisiert und autoklaviert eingesetzt. Das verwendete Linsen-Saatgut wurden ebenfalls unbehandelt, mit 70% Isopropanol und mit Isopropanol + NaOH (Bleiche) behandelt eingesetzt. Zur Auswertung wurde die Feuchte Masse (FM) und trockene Masse (TM) der

Pflanzen und der Wurzeln jeweils separat gemessen. Außerdem wurden die Knöllchen an den Wurzeln gezählt.

Die Ergebnisse dieses Versuchs zeigen, dass eine große Anzahl an Rhizobien aus dem Boden kommen. Durch die Behandlung des Bodens wird die Zahl der Knöllchenbakterien deutlich reduziert (Bedampfen) bzw. nahezu vollständig eliminiert (Autoklavieren), sodass weniger/deutlich weniger Knöllchen an den Wurzeln gebildet werden. Die Behandlung des Saatguts dagegen hat kaum einen Effekt auf die Zahl der gebildeten Knöllchen. Dies zeigt, dass der deutlich größere Teil der Rhizobien aus dem Boden kommen. Dieses Ergebnis hat aber auch die Theorie bestätigt, dass in Pflanzensamen Bakterien inkorporiert sind und somit ein eigenes Mikrobiom haben. Ob diese samenbürtigen Rhizobien tatsächlich einen Wachstumsfördernden Effekt haben ist aber nicht sicher bestätigt.

Varianten der Linsenvermarktung

Durch den Ausfall einer der Mühlen für die Verarbeitung der Linsen wurde die Aufmerksamkeit auf einen Prozessschritt gelenkt, der ebenso wichtig für die Optimierung des Linsenanbaus ist, wie die Optimierung des Wachstums der Pflanzen. Für die Landwirte muss der Anbau von Linsen wirtschaftlich sein. Das heißt ohne Möglichkeit die Linsen auch zu verarbeiten und anschließend zu vermarkten fehlt die Motivation Linsen anzubauen. Durch die Kultivierung der Linsen mit einer Stützfrucht ist die Verarbeitung der Linse nicht so trivial wie bei Einzelfrüchten. Zum aktuellen Zeitpunkt ist die Entwicklung der Technik für die Linsenernte noch nicht sehr weit vorangeschritten im Vergleich zu anderen Ländern. Daher sind Anwendungsempfehlungen für die Landwirte nicht nur im Bereich des Anbaus, sondern eben auch in der Verarbeitung und der Ernte hilfreich. Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Erntetechniken und drei Modelle zur Vermarktung der Linsen vorgestellt und veröffentlicht. So können interessierte Landwirte sich leichter über die verschiedenen Möglichkeiten informieren (siehe Kapitel 2.8).

2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Im Rahmen des Projekts konnte noch kein universelles Impfmittel für Linsen fertig entwickelt werden. Einige der getesteten Rhizobien-Stämme haben einen Sorten-spezifischen Effekt gezeigt. Die Mischung der Rhizobien zeigte einen positiven Effekt auf den Linsenertrag, dieser war aber aufgrund der großen Ertragsunterschiede bei den teilnehmenden Landwirten nicht signifikant abgesichert. Diese Ergebnisse sind aber dennoch für die weiteren Entwicklungen von Rhizobien-Produkten wichtig. Es sollten daher, im Gegensatz zu den meisten von anderen Anbietern kommerziell erhältlichen Rhizobien-Produkten, immer mehrere Rhizobien-Stämme verwendet werden. So kann auch ein Pflanzensorten-unabhängiger Knöllchenansatz gefördert werden. Die nadicom GmbH setzt daher dieses Ergebnis konsequent um.

Ebenso wurde durch die zwei klimatisch unterschiedlichen Jahre deutlich der Einfluss des Wetters auf die Effizienz einer Impfung sichtbar.

Der Leitfaden zu verschiedenen Erntetechniken sowie die Fallbeispiele zur Vermarktung der Linsen die von der BIOPRO GmbH erstellt wurden können bei der Planung des Linsenanbaus für den Anwender eine große Hilfe sein.

2.6 (geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Die bisherigen Ergebnisse sind die Basis für weitere Entwicklungen eines Impfmittels für Linsen. Die nadicom GmbH plant weitere Rhizobien Stämme aus Linsen zu isolieren, bzw. die anderen isolierten Stämme zu verwenden und möchte diese Stämme auch weiterhin, möglicherweise in Topfversuchen im eigenen Labor an Linsen testen. Wenn es gelingt noch weitere Partnerbetriebe zu finden, möchte die nadicom GmbH das neue Produkt anschließend im Freiland testen. Die Entwicklung eines universellen Linsen-Impfmittels wird bei der nadicom GmbH weiterhin vorangetrieben.

Für den Fall das dies gelingt bzw. weitere Ergebnisse vorliegen, sollen diese mit Unterstützung der BIOPRO GmbH veröffentlicht und bekannt gemacht werden.

Wenn der Nutzen des Impfmittels reproduzierbar und Sortenübergreifend nachgewiesen wurde, könnte über das LTZ Augustenberg eine dementsprechende Anwendungsempfehlung herausgegeben werden.

2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Da im Rahmen des Projekts noch kein fertiges Impfmittel formuliert werden konnte, aber durchaus einzelne positive Effekte gesehen werden konnten, ist die Suche nach weiteren Rhizobien-Stämmen durchaus vielversprechend. Möglicherweise können weitere Rhizobien mit einer sortenspezifischen Wirkung auf andere Linsen-Sorten gefunden werden, bzw. gibt es weitere Linsensorten bei den die hier verwendeten Rhizobien ebenfalls einen Effekt haben.

Da die Stickstoffverfügbarkeit für die Pflanzen vom Boden abhängig ist, ist die Anwendung von Impfmitteln auf verschiedenen Böden ebenfalls ein vielversprechender Ansatzpunkt. Böden mit geringeren Stickstoffverfügbarkeit werden möglicherweise einen deutlicheren Effekt zeigen als Böden in denen die Stickstoffversorgung bereits ausreichend ist. Somit ist auch ein an die Bodenverhältnisse angepasster Impfstoff denkbar.

Von der Uni Hohenheim wurde darauf hingewiesen, dass vor einer Empfehlung zur Impfung weitere Exakt- und auch On-Farm-Versuche erfolgen sollten.

2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept

Das EIP Agri Projekt Rhizo-Linse wurde von Beginn an von der BIOPRO GmbH begleitet, die die Öffentlichkeitsarbeit für das Projekt übernommen hat.

Die BIOPRO GmbH hat zu Beginn des Projektes eine Projektseite für das Rhizo-Linsen-Projekt auf ihrem Portal eingerichtet sowie eine Pressemitteilung zum Projektstart auf dem Portal der BIOPRO GmbH veröffentlicht. Danach wurde mit Hilfe von Redakteuren der BIOPRO GmbH über jeden Projektpartner im Projekt ein Artikel mit den jeweiligen Tätigkeiten des Instituts sowie über die Motivation an dem Projekt teilzunehmen, veröffentlicht. Nach und nach wurde die Projektseite immer wieder mit Bildern und Neuigkeiten im Projekt aktualisiert.

<https://www.bio-pro.de/aktivitaeten/bereich-biooekonomie/eip-agri-projekt-rhizo-linse>

Für die Verbreitung von Informationen über das Projekt wurde 2019 ein Flyer mit den Zielen und Aufgaben im Projekt erstellt und gedruckt (siehe Abbildung 2.20). Dieser wurde dann beispielsweise auf der Bundesgartenschau 2019 in Heilbronn ausgestellt und kam bei den Besuchern gut an. Darüber hinaus gab es eine Präsentationsstehle mit Informationen des Projektes, zwei verschiedene Sorten von Linsenkörnern und die dazu gehörigen Pflanzen zur praktischen Anschauung für die Besucher (siehe Abbildung 2.19). An einem der 14 Ausstellungstage auf der Bundesgartenschau gab es einen Aktionstag über das Projekt. Dabei wurde ein Gewinnspiel zum Thema Linse durchgeführt mit dem Gewinn von verschiedenen Produkten aus Linsen. Des Weiteren gab es zu zwei Zeiten ein Interview mit zwei Landwirten aus dem Projekt mit Fragen zum Linsenanbau und ihrer Motivation Linsen anzubauen. Das Publikum konnte ebenfalls Fragen an die Landwirte stellen. Wir haben viele positive Rückmeldungen zum Projekt bekommen.



Abbildung 2.19: Ausstellung des Projekts Rhizolinse bei der BUGA 2019

Projektpartner

nadicom Die nadicom GmbH ist ein international agierendes biotechnologisches Unternehmen und ist seit mehreren Jahren erfolgreich im Bereich der Agrarbiologie tätig. In diesem Geschäftsbereich produziert und vermarktet nadicom Bakterien-Arten, die als Plant Growth Promoting Bacteria in der Landwirtschaft, dem Gartenbau und auch in Hausgärten eingesetzt werden.

NOVO CARBO NovoCarbo ist ein führender Hersteller und Vermarkter von Pflanzenschutz und Schädlingsbekämpfungsmitteln auf Schwefelbasis in Indien- und Südamerika. NovoCarbo versteht sich als CleanTech Unternehmen, weshalb sie intensiv in angewandte Forschung investieren, um weitere Anwendungsfelder rund um die Pflanzenschutz zu entwickeln.

BIOPRO Die BIOPRO Baden-Württemberg GmbH anerkennt als landesweit tätige Innovationsgesellschaft den Aufbau einer Bioökonomie in Baden-Württemberg. BIOPRO ist der zentrale Ansprechpartner für Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Netzwerke und Grünökológien.

UNIVERSITÄT HOHENHEIM Die Universität Hohenheim ist die führende Agraruniversität in Deutschland und Europa mit einem der vielfältigsten Studiengänge in Europa. Das Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, FG Allgemeine Pflanzenbau und das Zentrum Ökologischer Landbau beschäftigen sich intensiv mit aktuellen Fragestellungen im Bereich nachhaltiger ökologischer und innovationsorientierter Landwirtschaft sowie dem Wissensaustausch von Forschung und Praxis.

ITZ Das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (ITZ) ist eine nicht-erwerbsmäßige Anstalt im Geschäftsbereich des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. Sein leistungsfähiges Versuchs- und Untersuchungsweesen in den Bereichen Pflanzenbau und Pflanzenschutz dient einer nachhaltigen Landwirtschaft und einem vorangehenden Verbraucherschutz.

Ansprechpartner im Projekt
Projektkoordinator nadicom GmbH
 Thomas Josef Hattig
 Sessenerstr. 23
 71666 Ulmingen
 Tel.: 07141 - 40075680
 E-Mail: hattig@nadicom.com

Öffentlichkeitsarbeit
 BIOPRO Baden-Württemberg GmbH
 Vanessa Kelsch
 Alexanderstr. 5
 70564 Stuttgart
 Tel.: 07141 - 258 083 42
 E-Mail: info@bio-pro.de

Weitere Informationen zu Fördermaßnahmen des MLR:
www.mglp.landwirtschaft-bw.de





EIP-AGRI-Projekt

**Rhizo-Bakterien gestützte
 Optimierung des Linsenanbaus
 unter Berücksichtigung
 bioökonomischer
 Wertschöpfung**

Gefördert durch:



Linsenanbau in Deutschland

Die Linse ist eine der ältesten Kulturpflanzen und eine wichtige Eiweißquelle der Menschen. Bis in die 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts wurde sie in Baden-Württemberg auf großen Flächen angebaut (auf bis zu 4.500 ha). Danach ging der Anbau deutschlandweit komplett zurück. Seit nicht als 10 Jahren wird die Linse in Baden-Württemberg wieder angebaut, wobei hier die Anbaufläche von derzeit ca. 200 ha noch deutlich vergrößert werden kann.

Um die Anbaufläche für Linsen weiterhin zu steigern und die Wirtschaftlichkeit des Anbaus und die Ertragsstabilität zu verbessern, bräute eine Inzucht der Linsen eine sinnvolle Lösung sein. Dabei werden die Linsen zur Zucht mit Rhizobien und anderen Bakterien Arten beimpft. Durch die auf diese Weise erhöhte Stickstoffeffizienz in den Wurzelknäulen erwartet man einen positiven Effekt auf das Wachstum, den Ertrag und die Qualität der Linse. Für die Linse gibt es, im Vergleich zu Soja- und Lupinenanbau, derzeit keine Inzucht. Gestiegenes Interesse der Konsumenten und Anbauer für Linsen führen zu einer vermehrten Nachfrage nach regional angebauten Linsen sowie effizienten Maßnahmen zur Ertragssteigerung und -stabilität im Linsenanbau. Letztere sollen durch den gezielten Einsatz von Rhizobien im Linsenanbau unterstützt werden.



Ziele und Aufgaben im Projekt

Langfristiges Ziel des Projektes ist es, sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Linsenanbau die Anbauflächen zu erhöhen. Dazu entwickelt die Firma nadicom GmbH ein Inzuchtmaterial, welches den Linsenanbau für die Landwirte wirtschaftlicher machen soll.

Die Gewächshaus- und Feldversuche zum Testen des Inzuchtmaterials werden von dem Institut für Kulturpflanzenwissenschaften und dem Zentrum Ökologischer Landbau der Universität Hohenheim durchgeführt. Diese haben bereits Erfahrungen im Linsenanbau.

Das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (ITZ) war bei der Betriebsnahme aktiv und wird die Feldversuche sowie die Praktika weiter begleiten.

Als weiteres innovatives Anbau wird die Firma NovoCarbo GmbH unterstützen, ob das Inzuchtmaterial von Pflanzenschutz als Düngemittel in den Boden appliziert werden kann.

Ab 2020 werden die selektierten Rhizobien-Stämme von Landwirten aus dem Neckarraum und der Alb-Lana Erzeugergemeinschaft für ihren Linsenanbau verwendet. Dabei sollen die Rhizobien-Stämme unter realen Bedingungen von Praktikern getestet werden.

Die Aufgabe der BIOPRO Baden-Württemberg GmbH wird sein, das bioökonomische Potenzial des Linsenanbaus zu betrachten und mögliche neue Wertschöpfungsketten zu entwickeln. Dabei sollen nicht nur die Linsenfrüchte Verwertung finden, sondern auch die Linsenstroh sowie die Strohfrucht auf ihre Wertschöpfungspotenziale hin untersucht werden.



Eckpunkte des Projektes

Das Projekt wird von Februar 2019 bis Dezember 2021 im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-AGRI) mit einer Summe von 655.500 Euro

von dem Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) und dem Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg gefördert.

Abbildung 2.20: Flyer zum EIP Agri Rhizolinse P

Im Jahr 2020 wurde für das MLR ein Imagefilm über Bioökonomie im ländlichen Raum erstellt, der die Entwicklung eines Impfmittels vom Labor bis zur Ernte beim Landwirt zeigt:



Abbildung 2.21: <https://www.youtube.com/watch?v=DP1R0HQJ5Xs>

Im Jahr 2020 begann die Corona-Pandemie und dadurch fanden öffentliche Veranstaltungen nicht mehr statt. Dadurch war die Verbreitung des Projektes in der Öffentlichkeit gehemmt. Das Projekt wurde auf den online Veranstaltungen Bioökonomiekongress 2020 am 22. September und auf dem 4. Bundesweiten Workshop für Operationelle Gruppen (OGs) und Innovationsdienstleister (IDL) am 12. August präsentiert.

Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des Ländlichen Raums (ELER)

Hier investiert Europa in die Ländlichen Gebiete
mitfinanziert durch das Land Baden-Württemberg



Rhizo-Bakterien gestützte Optimierung des Linsenanbaus unter Berücksichtigung des bioökonomischen Potenzials

OPG  Rhizo-Linse

Ausgangslage/Problemstellung

Die Linse ist eine der ältesten Kulturpflanzen und eine wichtige Eiweißquelle des Menschen. Bis in die 40er Jahre des vergangenen Jahrhunderts wurde sie in Baden-Württemberg auf großen Flächen angebaut (bis zu 4500 ha). Danach ging der Anbau deutschlandweit stark zurück. Seit knapp 10 Jahren wird die Linse in Baden-Württemberg wieder angebaut, wobei die Anbaufläche noch deutlich vergrößert werden kann.

Projektziel

Im Projekt soll der Anbau der Linse durch die Verwendung von Bakterien als Impfmittel verbessert und so die Wirtschaftlichkeit des Linsenanbaus gesteigert werden. Darüber hinaus soll das bioökonomische Potenzial des Mischkulturanbaus (Linsen/Stützfrucht) betrachtet und mögliche neue Wertschöpfungsketten entwickelt werden.

Projektbeteiligte

- nadicom GmbH
- NovoCarbo GmbH
- BIOPRO Baden-Württemberg GmbH
- Universität Hohenheim
- Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
- 6 Landwirtschaftsbetriebe



Baden-Württemberg - Universität Hohenheim

Leadpartner der OPG

nadicom Gesellschaft für angewandte
Mikrobiologie mbH
Siemensstraße 23
76033 Uhingen

Ansprechpartner:
Thomas Josef Härtig

Tel.: 0151 / 40475689
E-Mail: haertig@nadicom.com
<https://www.bio-pro.de/OPG-Rhizo-Linse>

Projektlaufzeit: März 2019 -
Dezember 2022
Fördermittelvolumen: 654.423 €

Ein Vorhaben des Maßnahmen- und Entwicklungsplans
Ländlicher Raum Baden-Württemberg 2014 - 2020 (MEPL III)



www.mepl.landwirtschaft-bw.de



Abbildung 2.22: Poster zum EIP Argi Projekt Rhizolinse

Des Weiteren sind in den Fachzeitschriften BWAgrar und #Ö – Ökologisch bewirtschaften Ende 2020 jeweils ein Artikel mit allgemeinen Informationen zum Projekt und den Zielen veröffentlicht worden (<https://www.bio-pro.de/aktivitaeten/bereich-biooekonomie/eip-agri-projekt-rhizo-linse>).



Startseite

STARTSEITE AKTUELLES TIERHALTUNG PFLANZENBAU MANAGEMENT ÜBER UNS Q

ANBAU VON LINSEN

Impfung für die Linse



Unter Gewächshausbedingungen werden jeweils drei Linsenpflanzen in einem Topf angepflanzt. Dabei werden Daten wie der Nmin-Gehalt, Anzahl Rhizobien sowie das Wachstum bestimmt.
© Universität Hohenheim/Weiler

Als Kulturpflanze wurde die Linse im letzten Jahrhundert in Mitteleuropa kaum mehr angebaut. Nun erlebt sie ein Comeback. Das EIP-AGRI-Projekt „Rhizo-Linse“ will den Linsenanbau in Baden-Württemberg fördern und für Landwirte attraktiver machen.

TOP-THEMEN

- Geflügel Rind Schaf Schwein
- Ziege Ackerbau Gemüse
- Grünland Obst Betriebsführung
- Markt Vermarktung

NEWSLETTER

Die P#öst kommt! Mit dem Newsletter von #Ö sind Sie stets auf dem Laufenden! Kostenlos erhalten Sie spannende Themen aus der Ökobranchen.

[zur Newsletter-Anmeldung](#)

KLEINANZEIGE AUFGEBEN

Kaufen, verkaufen, Stellen suchen? Die Kleinanzeigenbörse von #Ö hilft!

[zur Kleinanzeigenaufgabe](#)

Abbildung 2.23: Beitrag zum Projekt Rhizolinse in der Fachzeitschrift #ö- Ökologisch erfolgreich

Im Jahr 2021 konnten ebenfalls viele Veranstaltungen nicht in Präsenz stattfinden. Das Projekt wurde erneut online auf dem 5. Bundesweiten Workshop für Operationelle Gruppen (OGs) und Innovationsdienstleister (IDL) am 18./19. August präsentiert.

Im Jahr 2019 wurde begonnen Hintergrundinformationen zur Linse und zum Thema Bioökonomie zusammenzutragen und erste bereits bestehende Wertschöpfungsketten zu identifiziert. Folgende Artikel wurden durch die BIOPRO GmbH veröffentlicht:

Bioökonomie BW

Erster Beitrag aus der Artikelreihe im EIP-AGRI-Projekt Rhizo-Linse

nadicom: Projekt „Rhizo-Linse“ – Wahre kleine Düngemittelfabriken

Als Kulturpflanze wurde die Linse im letzten Jahrhundert in Mitteleuropa kaum mehr angebaut. Nun erlebt sie ein Comeback. Das EIP-AGRI-Projekt „Rhizo-Linse“¹ soll historische Linsensorten wieder einführen und den Anbau für Landwirte attraktiv machen. Die Firma nadicom Gesellschaft für angewandte Mikrobiologie mbH entwickelt eigens für die Linse ein ökologisches Produkt aus Knöllchenbakterien, das der Linse beim Wachsen helfen soll.

Stickstoff ist für Pflanzen der limitierende Faktor, der sie in ihrem Wachstum begrenzt. Normalerweise sind Pflanzen darauf angewiesen, Stickstoff in Form von anorganischen Verbindungen aufzunehmen. Hülsenfrüchtler oder Leguminosen, zu denen Linsen, Erbsen und Sojabohnen gehören, gehen jedoch eine Symbiose mit speziellen Knöllchenbakterien (Rhizobien) ein, die es ihnen ermöglicht, den atmosphärischen Stickstoff aus der Luft zu verwerten. Das verschafft ihnen einen enormen Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Pflanzen, denn sie gedeihen so auf kargen und stickstoffarmen Böden. Durch diese ausgezeichnete Stickstoffversorgung sind Linsen echte Energiepakete: Sie beinhalten je nach Sorte bis zu 30 Prozent Eiweiß, viele Mineralstoffe und Vitamine².

Das Comeback der Linse



Die Linsensorten Anicia und Späths-Alblinse werden im Feldversuch der Uni Hohenheim gemeinsam mit der Nacktgerste als Stützfrucht gesät. So bekommt die Linse Halt und die Gerste kann ebenfalls verwendet werden.
© Carolin Weiler, Universität Hohenheim

Abbildung 2.24: Bericht aus dem Rhizolinse Projekt: nadicom: Projekt „Rhizo-Linse“ – Wahre kleine Düngemittelfabriken

Bioökonomie BW

Die "EiweißInitiative" und das EIP-AGRI-Projekt „Rhizo-Linse“

LTZ Augustenberg fördert regionale Eiweißproduktion

Mehr Linsen, Soja, Erbsen, Ackerbohnen und Lupinen sollen wieder auf den Feldern in Baden-Württemberg wachsen. Daran arbeitet Dr. Carola Blessing vom Landwirtschaftlichen Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg. Daher war schnell klar, dass das LTZ Augustenberg auch beim Projekt „Rhizo-Linse“ mitwirkt, mit dem der Linsenanbau gesteigert werden soll.



Dr. Carola Blessing vom LTZ Augustenberg
© LTZ, Riehm

In den letzten Jahrzehnten wurden in Deutschland immer weniger Linsen, Soja, Erbsen, Ackerbohnen und Lupinen angebaut. Momentan wachsen diese auch als Körnerleguminosen bezeichneten Eiweißpflanzen nur noch auf etwa zwei Prozent der Ackerflächen in Baden-Württemberg. Das hat verschiedene Gründe. Mit Körnerleguminosen werden im Vergleich zu anderen Kulturen wie Getreide oder Mais geringere Erträge erzielt, die zudem stark schwanken können. Die Unkrautregulierung ist aufwendig und da sie keine Hauptkulturen sind, ist die Infrastruktur für Verarbeitung, Verkauf und Handel teilweise nicht gut ausgebaut. Außerdem können Körnerleguminosen zu günstigen Preisen importiert werden.

Aber viele Verbraucher legen wieder mehr Wert auf regionale, nachhaltig produzierte Nahrungsmittel und wollen sicher sein, dass diese ohne gentechnisch veränderte Organismen (GVO) hergestellt werden. Daher hat die baden-württembergische Landesregierung im Jahr 2012 das Projekt „EiweißInitiative“ gestartet. Ziel ist, wieder mehr Körnerleguminosen als Nahrungs- und Futtermittel anzubauen und die Erträge von Futterleguminosen, zu denen verschiedene Kleearten und Luzerne zählen, zu

Abbildung 2.25: Bericht aus dem Rhizolinse Projekt: LTZ Augustenberg fördert regionale Eiweißproduktion

Universität Hohenheim will die Bedingungen im Linsenanbau verbessern

Während die Linse früher als Essen für arme Leute galt, ist die Nachfrage heutzutage so groß wie noch nie². Um dieser nachzukommen, muss allerdings der Linsenanbau in Deutschland wieder ausgedehnt werden. Darum ist die Universität Hohenheim an dem EIP-AGRI-Projekt „Rhizo-Linse“ beteiligt. Ziel des Projektes ist es, geeignete Rhizobienstämme für die Linsenpflanze zu finden, um so den Anbau und die Qualität zu verbessern.

Die Universität Hohenheim zählt sowohl in Deutschland als auch in Europa zu den bedeutenden Adressen in der Agrarforschung. Die Schwerpunkte der Agrarforschung in Hohenheim liegen in den Nutztierwissenschaften, der Agrartechnik, der Agrarökonomie, den Bodenwissenschaften sowie der Pflanzenproduktion. Insgesamt gibt es elf verschiedene Institute. Eines davon ist das Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, das sich mit allen grundlegenden Fragestellungen zu Kultur- und Nutzpflanzen beschäftigt sowie optimale Anbausysteme für den konventionellen und ökologischen Landbau.

Beginn der Linsenforschung



Linsen werden in der Regel zusammen mit Stützfrüchten angebaut. Diese dienen der Linse als Rankhilfe.
© Carolin Weiler, Universität Hohenheim

Begonnen hat die Linsenforschung in Hohenheim ungefähr 2008. Zunächst haben sich die Wissenschaftler mit der Frage beschäftigt, welche Probleme sich beim Linsenanbau ergeben. „Mit dem Beginn der Forschung ist vieles andere im Linsenanbau ins Rollen gekommen und man hat schnell gemerkt, dass in dieser Nischenkultur noch Potenzial steckt“, erzählt Prof. Dr. Sabine Gruber, die von Anfang an maßgeblich an der Forschung zur Linse beteiligt war. Im Gegensatz zu vielen anderen Forschungsvorhaben an der Universität stand das Institut bei diesem Projekt immer in engem Kontakt mit Landwirten.

Linsen gehören zur Familie der Leguminosen. Sie können mit Bodenbakterien der Art *Rhizobium leguminosarum* eine Symbiose eingehen und Wurzelknöllchen bilden. In diesen Knöllchen binden die Bakterien Luftstickstoff und stellen ihn der Linsenpflanze zur Verfügung. Im Gegenzug werden die Bakterien von der Pflanze mit Assimilaten versorgt. Dadurch sind Linsenpflanzen stickstoffautark und nicht auf Stickstoffdüngung angewiesen. Bei einigen anderen Leguminosen-Arten wird das Saatgut mit Rhizobienstämmen geimpft, um so bessere Erträge und Qualitäten zu erreichen. Hierbei wird das Saatgut mit einem Medium, das die Bakterien enthält, benetzt. So wird sichergestellt, dass ausreichend Rhizobien für die Symbiose mit den Pflanzen zur Verfügung stehen.

Die Linse ist hinsichtlich ihres Standorts nicht sehr anspruchsvoll, solange der Boden durchlässig ist und sie keiner Staunässe ausgesetzt ist. Das heißt, sie wächst auch auf kargen Böden, in denen nicht sehr viele Nährstoffe vorhanden sind. Dafür ist sie aber fordernd, was ihren Anbau und die Ernte betrifft. Linsen sind aufgrund ihrer Botanik nicht sehr konkurrenzstark gegenüber Unkräutern. Wegen ihrer Lageranfälligkeit ist es nötig, sie mit anderen Kulturen, auch Stützfrüchte genannt, anzubauen. Die negative Konsequenz daraus ist, dass zum einen die Gefahr für

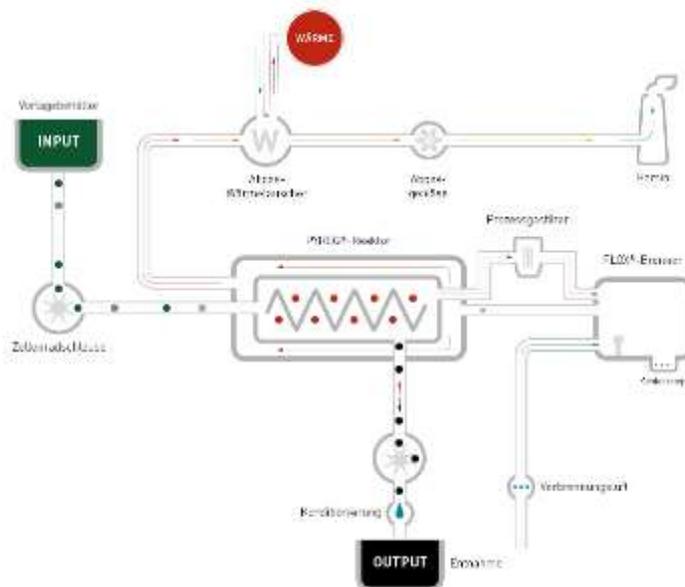
Abbildung 2.26: Beitrag aus dem Rhizolinse Projekt: Universität Hohenheim will die Bedingungen im Linsenanbau fördern

Bioökonomie BW

Unternehmensporträt

NovoCarbo verarbeitet Pflanzenabfälle zu Pflanzenkohle

Pflanzenkohle aus pflanzlichen Reststoffen wie Holzhackschnitzeln, Nussschalen oder Mist stellt die NovoCarbo GmbH her. Je nach Ausgangsmaterial und Verarbeitung entstehen dabei Pflanzenkohlen mit unterschiedlichen Eigenschaften, die als Bodenverbesserer, Stalleinstreu oder in Biogasanlagen eingesetzt werden können. Ob sie sich auch als Trägerstoff für "Impfmittel" im Linsenanbau eignen, wird derzeit im Projekt „Rhizo-Linse“ untersucht.



Schematische Darstellung des PYREG-Verfahrens: Die pflanzlichen Reststoffe werden vom Vorlagebehälter in den PYREG-Reaktor transportiert. Dort werden sie bei 500 bis 700 Grad Celsius verkohlt. Die entstehenden Prozessgase werden gefiltert und im FLOX-Brenner schadstoffarm verbrannt. Mit der dabei entstehenden thermischen Energie wird der PYREG-Reaktor beheizt, der produzierte Überschuss wird anderweitig genutzt oder in Strom umgewandelt.
 © PYREG GmbH

Pflanzenkohle wird aus pflanzlichen Reststoffen hergestellt wie sie in der Landwirtschaft, im Garten- und Weinbau oder in Kommunen anfallen. „Wir verarbeiten pro Jahr 3.000 Tonnen pflanzliche Biomasse zu 700 Tonnen Pflanzenkohle“, sagt Florian Lage, Marketing- und Sales-Manager bei NovoCarbo in Dörth, hundert Kilometer westlich von Frankfurt am Main. Das im Jahr 2015 gegründete Unternehmen stellt die Pflanzenkohle im PYREG-Verfahren her. Dabei werden die chemischen Verbindungen im Pflanzenmaterial bei 500 bis 700 Grad Celsius gespalten. Da der Prozess weitgehend unter Luftabschluss stattfindet, verbrennt

Abbildung 2.27: Beitrag aus dem Rhizolinse Projekt: Novocarbo verarbeitet Pflanzenabfälle zu Pflanzenkohle

Da bei den Versuchen mit dem biologischen Impfmittel bis zum Jahr 2020 noch kein universeller Effekt nachgewiesen werden konnte, war eine Veröffentlichung mit Daten und Anwendung des Impfmittels für die Praktiker noch nicht möglich. Die OPG hatte sich daher Ende 2021 entschieden einen weiteren Fokus auf die Verarbeitung/Vermarktung anhand von drei Praxisbeispielen, die im Projekt beteiligt sind, zu legen. Hierfür wurden drei Redakteure von der BIOPRO GmbH beauftragt die drei Praktiker zu interviewen und jeweils pro Praxisbeispiel ein Schaubild zur Vermarktung/Verarbeitung zu erstellen. Die drei Artikel sind auf der Projektseite Rhizo-Linse bei der BIOPRO GmbH veröffentlicht.

Da 2022 immer noch die Corona-Pandemie anhält, war eine Planung für eine Abschlussveranstaltung in Präsenz schwierig. Eine online Veranstaltung wird ebenfalls als nicht zielführend angesehen, da die Zielgruppe der Landwirte, die mit den Ergebnissen aus dem Projekt erreicht werden sollen, an online Aktivitäten nur mäßig teilnehmen. Diese Erfahrungen wurden im Jahr 2020 und 2021 im Projekt gemacht. Da der Aspekt des biologischen Impfmittels nicht zum gewünschten Erfolg geführt hat, stehen diese Ergebnisse für eine Veröffentlichung nicht zur Verfügung. Die Ergebnisse aus dem bioökonomischen Teil des Projektes wurden auf der Veranstaltung der Uni Hohenheim „LinSel Konferenz 2022“ in einem Workshop zum Thema „Wertschöpfungsketten / Verarbeitung von Linsen“ von der BIOPRO GmbH vorgestellt und mit den Teilnehmern diskutiert. Die Vorbereitung und Durchführung des Workshops wurde von der BIOPRO GmbH getätigt.

Eine Abschlussveranstaltung für alle teilnehmenden Landwirte mit der Darstellung der Ergebnissen aus den Feldversuchen ist noch geplant.

Bioökonomie BW

Linsenanbau und Reinigung im eigenen Betrieb - EIP-AGRI-Projekt Rhizo-Linse

Die Linse kehrt zurück ins Heckengäu

Die Linse ist eine der ältesten Kulturpflanzen der mitteleuropäischen Landwirtschaft und war Volksnahrungsmittel im alten Ägypten, Persien und Mesopotamien. Nachdem die Hülsenfrucht in Deutschland bis Mitte des 20. Jahrhunderts verbreitet war, verschwand sie völlig von den Äckern. Seit gut zehn Jahren wird sie als regionales Produkt wieder neu entdeckt und naturnah angebaut. In Kooperation mit fünf Aktionspartnern im Projekt Rhizo-Linse werden Anbaubedingungen verbessert und von Landwirten im Freiland getestet. Einer von ihnen ist Helmut Kayser, der dieses Jahr seine Anbaufläche für die Linse verdoppeln will.

Die Linse ist ein von den Schwaben heiß geliebtes, hochwertiges Lebensmittel mit vorbildlicher Nährstoffkonzentration sowie hohem Protein- und Ballaststoffgehalt. Als Leguminose wächst die anspruchslose Pflanze auch auf kargen Böden und bei ungünstigem Klima und kann ohne Düngemittel gedeihen. Schwierigkeiten bekommt die Linse eher auf fruchtbaren Böden, da sie schwachwüchsig ist und schnell von anderen Pflanzen unterdrückt werden kann. Auch ist sie bei Nässe anfällig für Pilzinfektionen und wenig unkrauttolerant. Für ihre Stabilität beim Anbau benötigt sie eine Stützfrucht. Im Projekt „Rhizo-Bakterien gestützte Optimierung des Linsenanbaus unter Berücksichtigung bioökonomischer Wertschöpfung“ soll die pflanzeigene Abwehr der Heckengäulinse durch eine biologische Impfung mit Knöllchenbakterien gestärkt und die Pflanze dadurch insgesamt konkurrenzstärker gemacht werden. So hofft man auf eine langfristige Erweiterung der Fruchtfolge auf den Äckern schwäbischer Landwirte. Des Weiteren wird das bioökonomische Potenzial im Linsenanbau im Projekt beurteilt.

Von der Le Puy- zur Heckengäulinse



Die Heckengäulinse (hellgrün) mit Hafer als Stützfrucht (dunkelgrün) konnte auch aufgrund der Witterungsverhältnisse im Jahr 2021 nicht optimal gedeihen.
 © Helmut Kayser

Einer der Praktiker im Projekt ist Helmut Kayser, der in Gäufelden zehn Hektar Ackerland sowie 20 Hektar Grünflächen als Nebenerwerb besitzt. Im Hauptberuf betreibt er eine Reitsportanlage mit 25 Pferden und gibt Reitunterricht. Da er Pflanzenproduktionsberater im Landwirtschaftsamt war, kam der Kreisbauernverband vor sechs Jahren mit der Frage auf ihn zu, ob er sich an den Freilandtests mit der Linse beteiligen wolle. Da er auf der Suche nach einem Nischenprodukt war, begann er, neben Weizen, Dinkel, Braugerste und Hafer, die Linse anzubauen. Ursprünglich kam sie als Le Puy-Linse aus Frankreich, wird aber aufgrund der Region hier Heckengäulinse genannt. „Den Namen haben wir mit den anderen Landwirten so festgelegt“, sagt Kayser. „Früher wurden hier im Heckengäu sehr viele Linsen angebaut.“ Im letzten Jahr nahm der Linsenanbau bei Kayser 2,5 Hektar ein, dieses Jahr sollen es fünf Hektar werden. „Seit sechs Jahren probiere ich jeden Sommer, was man noch besser machen könnte“, erzählt er. „Die Linse ist ein Produkt, das jedes Jahr neue Überraschungen bereithält.“

Die Ernte steht und fällt mit dem Wetter und dem Stützgetreide. Gut eignete sich der Leindotter und die Erbse für den gemeinsamen Anbau, schlechter die Gerste und der Hafer. Als es im letzten Jahr im Mai und Juni ständig regnete, ist der Hafer zu stark geworden und hat die Linsen unterdrückt. Zudem war es zu nass zum Dreschen. „Die Linsen fingen dann schon an, auf dem Acker zu schimmeln“, klagt Kayser. „So sind mir 1,5 Hektar kaputtgegangen.“

Trocknung und Reinigung des Ernteguts: eine Wissenschaft für sich

Abbildung 2.28: Beitrag aus dem Rhizolinse Projekt: Die Linse kehrt zurück ins Heckengäu

Linsenreinigung - EIP-AGRI-Projekt Rhizo-Linse

Linsenreinigung in der Altdorfer Mühle

In der Altdorfer Mühle, knapp 7 km südlich von Böblingen, werden seit 2019 Linsen gereinigt. Damals hatte gerade die Sessler Mühle im 20 km weiter nördlich gelegenen Renningen den gesamten Betrieb und damit auch die Linsenreinigung eingestellt. Nach mehreren Anfragen von Landwirten und umliegenden Mühlen haben es die Brüder Karl und Jörg Ruthardt gewagt und zusätzlich zu Mühlenbetrieb und Hofladen die Linsenreinigung übernommen.



Karl Ruthardt, einer der Geschäftsführer der Altdorfer Mühle.
© Karl Ruthardt

Die Linse ist eine krautige Pflanze, die je nach Sorte bis zu 50 cm hoch wird. Alleine angebaut, legt sie sich gerne um, vor allem wenn es stark regnet. Das erschwert die Ernte und erhöht das Risiko für Pilzkrankheiten. Daher wird die Linse meist zusammen mit Stützfrüchten angebaut, von denen sie nach der Ernte wieder aufwendig getrennt werden muss.

In der Region werden hauptsächlich grüne Linsen nach Le Puy-Art angebaut. Gestützt werden die Pflanzen von Hafer oder Leindotter. Die Bauern bringen ihre Ernte zunächst zur BayWa Agrar Heimerdingen, 30 km nördlich von Böblingen. Dort wird gewogen und getrocknet, eine grobe Siebreinigung gemacht und die Ernte zwischengelagert. "Dafür haben wir bei uns nicht genügend Platz", sagt Karl Ruthardt. Bei der Siebreinigung werden Stroh, Sand und Ackerreste entfernt. Am Ihinger Hof in Renningen, einer Versuchsstation der Universität Hohenheim, werden Hafer und Linsen dann grob voneinander getrennt. Alle weiteren Reinigungsschritte laufen in Altdorf ab, und auch die Linsen-Leindotter-Ernte wird dort mithilfe von Sieben separiert.

Linsen durchlaufen mehrere Reinigungsschritte

Anschließend werden die Linsen in einer Siebmaschine von groben Verschmutzungen wie Steinen gereinigt. Im nächsten Schritt wandern die Linsen in den Trieur. Dieser trennt Rundes von Länglichem. Er besteht aus einer Blechtrommel, in der innen Vertiefungen eingearbeitet sind, in die die runden Linsenkörner ganz hineinpassen, längliche Verunreinigungen wie Hafer oder Unkrautsamen formbedingt nicht ganz. Dreht sich die Trommel, verbleiben die verschiedenen Körnersorten unterschiedlich lang in den Vertiefungen, bevor sie herausfallen und können so an unterschiedlichen Stellen gesammelt werden.

Danach trennt der Gewichts- und Steinausleser Schweres von Leichtem. Die Maschine besteht aus einer schräg stehenden Platte, aus der Luft strömt. Die Linsen mit Verunreinigungen werden durch den Luftstrom zum Schweben gebracht und ordnen sich dabei entsprechend ihres Gewichts an: Schweres sinkt nach unten, Leichtes wandert nach oben. Da die Platte gleichzeitig noch rüttelt, wandern die schweren Teilchen bergauf, und die leichten fließen über die schweren Teilchen bergab. Die Rüttelplatte hat verschiedene Abgänge und trennt Linsen, Klein- und Bruchkorn, Unkrautsamen, Steine, Erdbrocken sowie Spelzen voneinander.

Farbausleser pustet unerwünschte Körner aus

Im letzten Reinigungsschritt werden die Linsen durch den sogenannten Farbausleser geschickt. Im Computer wird eingestellt, welche Körnerfarbe nicht erwünscht ist und aussortiert werden muss. Die Linsen mit Verunreinigungen werden auf einer

Bioökonomie BW

Linsenanbau in einer Erzeugergemeinschaft - EIP-AGRI-Projekt „Rhizo-Linse“

Vom Anbau bis zum Verkauf – die Alblinsen

Komplizierter Anbau, schwankende Erträge und aufwendige Reinigung: Leisa – so heißen Linsen auf Schwäbisch – sind anspruchsvoll. Um wirtschaftlich produzieren zu können, haben sich auf der Schwäbischen Alb 130 Landwirte zur Öko-Erzeugergemeinschaft Alb-Leisa zusammengeschlossen und lassen ihre Linsenernte von den Lauteracher Alb-Feld-Früchten verarbeiten und vermarkten.

Die Linse ist eine krautige Pflanze, die je nach Sorte bis zu 50 cm hoch wird. Alleine angebaut, legt sie sich gerne um, vor allem wenn es stark regnet. Das erschwert die Ernte und erhöht das Risiko für Pilzkrankheiten. Daher werden Linsen meist zusammen mit einer Stützfrucht angebaut. Für die Landwirte der Öko-Erzeugergemeinschaft Alb-Leisa auf der Schwäbischen Alb haben sich Hafer, Braugerste und Leindotter als Stützfrüchte für die von ihnen angebauten Linsensorten bewährt. Um den Linsenanbau zu stärken, haben sich zwei Landwirte aus der Erzeugergemeinschaft auch an den Feldversuchen im Projekt Rhizo-Linse beteiligt. Ziel des Projekts ist es, die Stickstoffversorgung der Linsenpflanzen auf natürliche Weise zu verbessern und das bioökonomische Potenzial im Linsenanbau zu identifizieren.



Braugerste und Linsen werden auf dem Biohof Häußler geerntet.
 © Thomas Stephan

Begonnen hat alles auf dem Bioland-Hof Mammel in Lauterach, der seit 1985 Linsen anbaut, anfangs auf wenigen Hektar. Die Nachfrage wurde immer größer, sodass mehr Bauern Linsen anpflanzten. Die Erzeugergemeinschaft wurde 2001 gegründet und zählt heute 130 Landwirte, die auf insgesamt 400 bis 450 ha Alb-Linsen kultivieren. Sie alle gehören einem ökologischen Anbauverband an und beziehen das Saatgut für Linsen und Stützfrüchte von den Lauteracher Alb-Feld-Früchten. Das ebenfalls Bioland-zertifizierte Unternehmen ist aus dem Bioland-Hof Mammel hervorgegangen und wurde 2009 von Lutz Mammel übernommen, damals noch unter anderem Namen. Hier ist er mit zwölf Mitarbeitern damit beschäftigt, die Linsenernte anzunehmen, aufzuarbeiten, zu verpacken und zu vermarkten. Neben Linsen sind Buchweizen, Leindotteröl, Nudeln, Leinsamen, Hanfsamen und Nacktgerste die wichtigsten Eigenprodukte. Im Hofladen kaufen etwa 1.000 Kunden pro Jahr ein, über einen Onlineshop werden jährlich über 8.000 Pakete verschickt.

Zudem werden 1.300 Einzelhändler, 100 Unverpackt-Läden sowie 450 Gastro- und Großküchen mit Produkten beliefert.

Auf einem Acker werden mindestens sechs Jahre Linsenpause eingelegt

„Die Mitglieder der Öko-Erzeugergemeinschaft sind über Anbauverträge mit den Lauteracher Alb-Feld-Früchten verbunden“, erklärt Franz Häußler, der dort die Linsensbauern betreut. Das sind einjährige Verträge, in denen festgelegt wird, wie viel Hektar Linsen pro Anbaujahr ausgesät werden, und welche Linsensorte mit welcher Stützfrucht angebaut wird. Außerdem wird festgehalten, was in den Vorjahren auf dem Acker kultiviert wurde. „Es müssen mindestens sechs Jahre Linsenpause eingehalten werden, weil die Fruchtfolgekrankheiten sonst den Ertrag schmälern bis ganz ausfallen lassen“, beschreibt Häußler. „Linsen sind heikel“, sagt er.

Die Erzeugergemeinschaft baut drei Linsensorten an: Späths Alblinse I „Die Große“, Späths Alblinse II „Die Kleine“ und die Dunkelgrüne marmorierte Linse. Sie alle können mit Leindotter und Hafer angepflanzt werden, die Dunkelgrüne auch mit Braugerste. Die Ernte nehmen die Lauteracher Alb-Feld-Früchte auf der südlichen Alb sowie zwei weitere Landwirte auf der westlichen und mittleren Alb an. Dort werden Linse und Stützfrucht im ersten Schritt bei maximal 40 °C bis zu einem

Abbildung 2.30: Beitrag aus dem Rhizolinse Projekt: Von Anbau bis zum Verkauf – die Alblinsen

3 Literaturangaben

- Argaw A (2013) Evaluation of symbiotic effectiveness and size of resident *Rhizobium leguminosarum* var. *viciae* nodulating lentil (*Lens culinaris* medic) in some Ethiopian soils. *Arch Agron Soil Sci* 59:929–945. <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.690144>
- Bazzano LA, He J, Ogden LG, Loria C, Vupputuri S, Myers L, Whelton PK (2001) Legume consumption and risk of coronary heart disease in US men and women: NHANES I Epidemiologic Follow-up Study. *Arch Intern Med* 161:2573–2578. <https://doi.org/10.1001/archinte.161.21.2573>
- Beck DP, Materon LA, Afandi F (1993) Practical *Rhizobium*-legume technology manual. In: *Technical Manual - International Center for Agricultural Research in the Dry Areas*. p 389 pp
- Blessing C, Finck M, Hüsgen K (2022) Linse (*Lens culinaris*) - Hinweise zum Pflanzenbau
- Bourion V, Laguerre G, Depret G, Voisin AS, Salon C, Duc G (2007) Genetic variability in nodulation and root growth affects nitrogen fixation and accumulation in pea. *Ann Bot* 100:589–598. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm147>
- Boye J, Zare F, Pletch A (2010) Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Res Int* 43:414–431. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>
- Bremer E, Van Kessel C, Nelson L, Rennie RJ, Rennie DA (1990) Selection of *Rhizobium leguminosarum* strains for lentil (*Lens culinaris*) under growth room and field conditions. *Plant Soil* 121:47–56. <https://doi.org/10.1007/BF00013096>
- Campos-Vega R, Loarca-Piña G, Oomah BD (2010) Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Res Int* 43:461–482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.004>
- Cubero JI, de la Vega Pérez M, Fratini R (2009) Origin, phylogeny, domestication and spread. *Lentil Bot Prod uses* 13–33. <https://doi.org/10.1079/9781845934873.0013>
- Dudda E (1985) Linsenbau – eine Variante im Angebot landwirtschaftlicher Produkte?! 59
- EI-Wakeil NE, EI-Sebai TN (2007) Role of biofertilizer on faba bean growth, yield, and its effect on bean aphid and the associated predators. *Res J Agric Biol Sci* 3:800–807. <https://doi.org/10.1080/03235400701650882>
- Erskine W (2009) Global Production, Supply and Demand. In: *The Lentil: Botany, Production and Uses*. pp 4–12
- FAO (2022) Compare Data - Lentil. <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- Ferguson ME, Maxted N, Slageren M Van, Robertson LD (2000) A re-assessment of the taxonomy of *Lens* Mill. (Leguminosae, Papilionoideae, Viciae). *Bot J Linn Soc* 133:41–59. <https://doi.org/10.1006/bojl.1999.0319>
- Grusak MA (2009) Nutritional and Health-beneficial Quality. In: *The Lentil: Botany, Production and Uses*. CAB International, pp 368–390
- Harun-or Rashid M, Gonzalez J, Young JPW, Wink M (2014) *Rhizobium leguminosarum* is the symbiont of lentils in the Middle East and Europe but not in Bangladesh. *FEMS Microbiol Ecol* 87:64–77. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12190>
- Hobbs SLA, Mahon JD (1982) Effects of pea (*Pisum sativum*) genotypes and *Rhizobium leguminosarum* strains on N₂(C₂H₂) fixation and growth. *Can J Bot* 60:2594–22600. <https://doi.org/https://doi.org/10.1139/b82-315>

- Hossain Z, Wang X, Hamel C, Gan Y (2017) Nodulation and nitrogen accumulation in pulses vary with species, cultivars, growth stages, and environments. *Can J Plant Sci* 98:527–542. <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0114>
- Howard JB, Rees DC (1996) Structural basis of biological nitrogen fixation. *Chem Rev* 96:2965–2982. <https://doi.org/10.1021/cr9500545>
- Huang J, Keshavarz Afshar R, Chen C (2016) Lentil Response to Nitrogen Application and Rhizobia Inoculation. *Commun Soil Sci Plant Anal* 47:2458–2464. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1254786>
- Jarpa-Parra M (2018) Lentil protein: a review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality. *Int J Food Sci Technol* 53:892–903. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13685>
- Khanna V, Sharma P (2011) Potential for enhancing lentil (*Lens culinaris*) productivity by co-inoculation with PSB, plant growth-promoting rhizobacteria and *Rhizobium*. *Indian J Agric Sci* 81:932–934
- Kim J, Rees DC (1994) Nitrogenase and Biological Nitrogen Fixation. *Biochemistry* 33:389–397
- Ladizinsky G (1979) The Origin of Lentil and its Wild Genepool. *Euphytica* 28:179–187
- Lau JA, Bowling EJ, Gentry LE, Glasser PA, Monarch EA, Olesen WM, Waxmonsky J, Young RT (2012) Direct and interactive effects of light and nutrients on the legume-rhizobia mutualism. *Acta Oecologica* 39:80–86. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.01.004>
- Leibnitz E (1974) Brockhaus ABC Landwirtschaft, 3rd edn. Brockhaus Verlag, Leipzig
- Manjunath A, Bagyaraj DJ, Gowda HSG (1984) Dual inoculation with VA mycorrhiza and *Rhizobium* is beneficial to *Leucaena*. *Plant Soil* 78:445–448. <https://doi.org/10.1007/BF02450380>
- May SN, Bohloul BB (1983) Competition among *Rhizobium leguminosarum* strains for nodulation of lentils (*Lens esculenta*). *Appl Environ Microbiol* 45:960–965. <https://doi.org/10.1128/aem.45.3.960-965.1983>
- Mylona P, Pawlowski K, Bisseling T (1995) Symbiotic nitrogen fixation. *Plant Cell* 7:869–885. <https://doi.org/https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.869>
- Pereyra G, Hartmann H, Michalzik B, Ziegler W, Trumbore S (2015) Influence of rhizobia inoculation on biomass gain and tissue nitrogen content of *Leucaena leucocephala* seedlings under drought. *Forests* 6:3686–3703. <https://doi.org/10.3390/f6103686>
- Pflaum S, Mammel W, Lenz R, Sneyd J, Zimmermann C, Pektrun C (2011) Linsenprojekt-Abschlussbericht 2008–2010. 77
- Piepho HP (2012) A SAS macro for generating letter displays of pairwise mean comparisons. *Commun Biometry Crop Sci* 7:4–13
- Pommeresche, R., & Hansen S (2017) Examining root nodule activity. 1–4
- Reece JB, Urry LA, Crain ML, Wassermann SA, Minorsky P V, Jackson R (2016) *Campbell Biologie*, 10. Pearson, Hallbergmoos, Germany
- Rizvi AH, Aski M, Sarker A, Dikshit HK, Yadav P (2019) Origin, Distribution, and Gene Pools. In: Singh M (ed) *Lentils - Potential Resources for Enhancing Genetic Gains*. Elsevier, pp 7–19
- Shisanya CA (2002) Improvement of drought adapted tepary bean (*Phaseolus acutifolius* a. Gray var. *latifolius*) yield through biological nitrogen fixation in semi-arid SE-Kenya. *Eur J*

Agron 16:13–24. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(01\)00117-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00117-4)

- Spehn EM, Scherer-Lorenzen M, Schmid B, Hector A, Caldeira MC, Dimitrakopoulos PG, Finn JA, Jumpponen A, O'Donovan G, Pereira JS, Schulze ED, Troumbis AY, Körner C (2002) The role of legumes as a component of biodiversity in a cross-European study of grassland biomass nitrogen. *Oikos* 98:205–218. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.980203.x>
- Tena W, Wolde-Meskel E, Walley F (2016) Symbiotic efficiency of native and exotic *Rhizobium* strains nodulating lentil (*Lens culinaris* Medik.) in soils of southern Ethiopia. *Agronomy* 6:1–10. <https://doi.org/10.3390/agronomy6010011>
- Thies JE, Singleton PW, Bohlool BB (1991) Influence of the size of indigenous rhizobial populations on establishment and symbiotic performance of introduced rhizobia on field-grown legumes. *Appl Environ Microbiol* 57:19–28. <https://doi.org/10.1128/aem.57.1.19-28.1991>
- Tricot F, Crozat Y, Pellerin S (1997) Root system growth and nodule establishment on pea (*Pisum sativum* L.). *J Exp Bot* 48:1935–1941. <https://doi.org/10.1093/jxb/48.11.1935>
- Virtanen AI, Laine T (1946) Red, brown and green pigments in leguminous root nodules. *Nature* 157:25–26
- Wang L, Gruber S, Claupein W (2012) Optimizing lentil-based mixed cropping with different companion crops and plant densities in terms of crop yield and weed control. *Org Agric* 2:79–87. <https://doi.org/10.1007/s13165-012-0028-5>
- Wilson DO, Reisenauer HM (1963) Determination of leghemoglobin in legume nodules. *Anal Biochem* 6:27–30. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(63\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0003-2697(63)90004-6)
- Young JPW, Johnston AWB, Brewin NJ (1982) A SEARCH FOR PEAS (*PISUM SATIVUM* L.) SHOWING STRAIN SPECIFICITY FOR SYMBIOTIC RHIZOBIUM LEGUMINOSARUM. *Heredity* (Edinb) 48:197–201
- Zaccardelli M, Campanile F, Del Galdo A, Lupo F (2012) Selection of *Rhizobium* isolates able to improve productivity of lentil (*Lens culinaris* Medik). *Acta Agric Scand Sect B Soil Plant Sci* 62:256–262. <https://doi.org/10.1080/09064710.2011.605386>
- Zhang B, Deng Z, Ramdath DD, Tang Y, Chen PX, Liu R, Liu Q, Tsao R (2015) Phenolic profiles of 20 Canadian lentil cultivars and their contribution to antioxidant activity and inhibitory effects on α -glucosidase and pancreatic lipase. *Food Chem* 172:862–872. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.144>
- Zhang B, Deng Z, Tang Y, Chen P, Liu R, Ramdath DD, Liu Q, Hernandez M, Tsao R (2014) Fatty acid, carotenoid and tocopherol compositions of 20 Canadian lentil cultivars and synergistic contribution to antioxidant activities. *Food Chem* 161:296–304. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.014>