

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



Lebenswissenschaftliche Fakultät

Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften

Fachgebiet Pflanzenbau

**Pflanzenbauliche Wirkungen der Pelletierung von Linsen
(*Lens culinaris* Medik.) im ökologischen Landbau**

Bachelorarbeit

Zum Erwerb des akademischen Grades Bachelor of Science

(B.Sc. Agrarwissenschaften)

Eingereicht von

Aileen Neubauer

Matrikelnummer: 586626

Erstprüfer: Prof. Dr. Timo Kautz

Zweitprüferin: Dr. Christina-Luise Roß

Betreuer: Dipl.-Ing. Udo Hennenkämper, Keyserlingk-Institut, Salem

Berlin, 16. Februar 2021

„Alles Lebendige erhält sich nur in stetigem Wechsel und mit dem Werden, Bestehen und vergehen der Organismen ist unablässig ein großartiger Kreislauf des Stoffes verknüpft“ (PFEFFER 1897, zitiert nach BORESCH 1931).

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	I
Abkürzungen und Einheiten	II
1 Einleitung und Fragestellung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Bedeutung von Hülsenfrüchtlern und Linsen	3
2.1.1 Herkunft, Merkmale und Verbreitung.....	3
2.1.2 Pflanzenbau und Nährstoffversorgung	5
2.2 Wechselwirkung zwischen Leguminosen und Mikroorganismen.....	7
2.2.1 Bakterien.....	7
2.2.2 Pilze.....	8
2.3 Pelletierung als Saatgutbehandlung	9
2.3.1 Kompost.....	10
2.3.2 Molke	11
2.3.3 Baldrian.....	12
3 Material und Methoden	13
3.1 Pflanzen, Aussaat, Bodenbearbeitung.....	13
3.2 Boden, Witterung, Standort	13
3.3 Varianten der Pelletierung, Versuchsaufbau, Prüfmerkmale.....	15
4 Ergebnisse	18
4.1 Deckungsgrad (%).....	18
4.2 Blühbeginn (Datum) und Pflanzenhöhe (cm)	18
4.3 Krankheitsbefall (1 – 3).....	19
4.4 Kornertrag (g).....	21
5 Diskussion	23
5.1 Varianten der Pelletierung	23
5.1.1 Molke	24
5.1.2 Baldrian.....	22
5.1.3 Kompost.....	25
5.2 Pflanzen, Aussaat, Bodenbearbeitung.....	26
5.3 Boden, Witterung, Standort	27
6 Schlussfolgerungen und Ausblick	30
7 Zusammenfassung	31
8 Literaturverzeichnis	32
9 Anhang	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklungsstufen einer Linsenpflanze (a) trockener Samen; (b) gequollener Samen; (c) gekeimter Samen; (d) Zweiblattstadium; (e) ausgewachsene Pflanze (SAXENA 2009).....	4
Abbildung 2: Produktion von Linsen in verschiedenen Ländern, 2012 – 2014 (RAWAL und BANSAL 2019).....	5
Abbildung 3: Pfahl- und Seitenwurzeln mit länglichen Knöllchen (SAXENA 2009)	7
Abbildung 4: Klimadaten; eigene Aufzeichnungen am Hofgut (15.03. – 20.08.20)	14
Abbildung 5: A) Lage der Versuchsfläche orange markiert (GOOGLE MAPS 2020); B) Acker an einem angrenzenden Waldgebiet (eigene Aufnahme 08.04.20).....	15
Abbildung 6: Pelletierte Linsensamen A) Probe der Zutatenmischung; B) Streuprobe; C) Größenvergleich mit einer Münze (eigene Aufnahmen 07.04.20)	16
Abbildung 7: Versuchsplan (kleine Buchstaben stehen für die Wiederholungen; Variante 1 a – h, Varianten 2 bis 5 a – f)	17
Abbildung 8: Arithmetische Mittelwerte der Pflanzenhöhe in cm je Variante ($n_1 = 8$, $n_{2-5} = 6$); Fehlerbalken = Standardfehler.....	19
Abbildung 9: Kranke Linsenpflanze auf dem Feld (eigene Aufnahme, 17.06.20)	20
Abbildung 10: Arithmetische Mittelwerte des Krankheitsbefalls als Boniturnote von 1 – 3 je Variante; 1 = schwacher Befall, 3 = starker Befall ($n_1 = 8$, $n_{2-5} = 6$); Fehlerbalken = Standardfehler	20
Abbildung 11: Arithmetische Mittelwerte des Kornertrags in g je 6 m^2 je Variante ($n_1 = 8$, $n_{2-5} = 6$); Fehlerbalken = Standardfehler	22
Abbildung 13: Kranke Linsenpflanze (eigene Aufnahme 17.06.20)	39
Abbildung 14: Kranke Linsenpflanzen auf einer Parzelle der Molkevariante – d4 (eigene Aufnahme 26.06.20)	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mengenangaben der Inhaltsstoffe des Saatmantels je Variante (für 334,8 g Linsen).....	15
Tabelle 2: Nährwertangaben der verwendeten Sauermolke.....	16

Abkürzungen und Einheiten

°C	Grad Celsius
%	Prozent
a	Jahr
ACC-Desaminase	1-Aminocyclopropan-1-Carboxylat-Desaminase
AMP	Arbuskuläre Mykorrhizapilze
BBCH	morphologisches Entwicklungsstadium der Pflanze
HPO ₄ ²⁻	Hydrogenphosphat-Anionen
H ₂ PO ₄ ⁻	Dihydrogenphosphat-Anionen
K ₂ O	Kaliumoxid
Max.	Maximum
Mg	Magnesium
Min.	Minimum
N	Stickstoff
N ₂	elementarer Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium-Ion
P	Phosphor
P ₂ O ₅	Diphosphorpentoxid
PBM	pflanzenoptimierende Mikroorganismen (Plant-beneficial-microbes)
pers.	persönlich/ -e
sp.	Spezies
Temp.	Temperatur
TM	Trockenmasse
TKG	Tausendkorngewicht
v. Chr.	vor Christus

1 Einleitung und Fragestellung

Mikroorganismen sind omnipräsent. So rückt der Boden als Ort vielfältigster mikrobieller Lebensgemeinschaften in den Fokus aktueller Forschungsfragen zum Leben einer Pflanze (BAHRAM et al. 2018, BERG et al. 2013, NELSON 2018, QUI et al. 2020, SMITH et al. 2017). Neue Techniken genetischer Analysen machen die detaillierte mikrobielle Erforschung des Bodens möglich (BAHRAM et al. 2018, BERG et al. 2013). BAHRAM et al. (2018) fanden mit Hilfe der Metagenomik und des DNA-Barcodings globaler Bodenproben heraus, dass die genetische Vielfalt von Bakterien in Böden der gemäßigten Zonen um ein Vielfaches höher ist, als die von Pilzen. Erst das Zusammenspiel von Archaeen, Bakterien und Eukaryoten ermöglicht gesundes Pflanzenwachstum und Reproduktion (BULGARELLI et al. 2013, SMITH et al. 2017).

Endliche Ressourcen mineralischer Düngemittel, Phosphor als deutlichstes Beispiel, geben den Anlass zur Entwicklung neuer Düngestrategien im Pflanzenbau (SAEID et al. 2018, SHARMA et al. 2013). Der Einsatz mineralischer Düngestoffe und chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel wird sowohl von der Bevölkerung als auch in wissenschaftlichen Studien (SAEID et al. 2018, SHARMA et al. 2013, SMITH et al. 2017) kritisch betrachtet. Alternative Bewirtschaftungsverfahren könnten mit Hilfe pflanzenoptimierender Mikroorganismen (PBM) in Zukunft möglich sein (ROCHA et al. 2019a). Ein erhöhtes Vorkommen von Rhizobien, Arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMP) und *Trichoderma* im Boden, kann die Nährstoffversorgung, Toleranz gegenüber abiotischem und biotischem Stress und den Ertrag der Ackerkulturen steigern (HIRSCH und MAUCLINE 2012, ROCHA et al. 2019a, SAEID et al. 2018, SHARMA et al. 2013).

Mit dem Beginn des 20. Jahrhunderts werden Samen in steigendem Umfang pelletiert (QUI et al. 2020). Nach PEDRINI et al. (2017) erfolgte die Kommerzialisierung durch private Firmen, von denen fünf aktuell den globalen Markt bestimmen. Bayer Crop Science und Monsanto (Deutschland), Syngenta (Schweiz), BASF (Deutschland), DuPont-Pionier (USA) und Dow (USA) kombinieren die Entwicklung neuer Sorten mit der Anbringung von Pflanzenschutzmitteln in Form von Saatmänteln (PEDRINI et al. 2017). Durch strenger werdende Auflagen für den Einsatz chemischer Beizmittel, finanziert die KWS Saat SE & Co. KGaA Forschungsvorhaben zur Wirkung von Biostimulanzien im Projekt „Seed Treatment Solutions“ (pers. Mitteilung CONSTANZE HOLZFUß). Die kostengünstigere und von der Industrie unabhängige Variante der Saathülle ist der Einsatz natürlich vorkommender Stoffe, wie Kompost, Tonmineralien und wahlweise weiterer pflanzenwirksamer Additive (NWANKWO et al. 2018, QUI et al. 2020).

Masanabu Fukuoka, gelernter Mikrobiologe, entwickelte auf Feldern in Japan so genannte Saatbomben (seed balls). Nach seiner Philosophie der naturnahen Landwirtschaft, dienen Saatkugeln mit mehreren Samen zur pfluglosen Direktsaat von Reis (FUKUOKA 1978).

Samen, als Beginn des Pflanzenlebens und deren Entwicklung zu Jungpflanzen sind nach NELSON (2018) die kritischste Phase im Leben einer Pflanze. Eine starke Gefährdung entsteht durch Trockenheit, Granivoren, pilzliche samen- und bodenbürtige Schaderreger (NELSON 2018). Vor allem Linsensaatgut ursprünglicher Herkünfte ist in den gemäßigten Breiten durch tiefe Bodentemperaturen zur Aussaat im Frühling abiotischem Stress ausgesetzt (GRUBER et al. 2012, MORADTALAB et al. 2018). Komplexe Wirkungen zwischen Samen und ihrer Umgebung entscheiden über das Wachstum und schlussendlich den Ertrag einer Kultur (NELSON 2018).

Um Linsensamen in ihrer frühen Entwicklung und Auflaufphase zu stärken und ein keimungs- und wachstumsförderndes Umfeld zu schaffen, wurde die Wirkung einer Saatgutpelletierung untersucht. Zur einfachen Nachahmung interessierter Bauern besteht die Hülle aus lokalen Materialien und ist in einem einfachen Verfahren herstellbar. Besonders interessant schienen Inhaltsstoffe wie Kompost, Molke und Baldrian. Alle drei Zusätze sind durch ihr natürliches Vorkommen im ökologischen Landbau einsetzbar und bis auf Kompost bezüglich möglicher Düngewirkungen wenig erforscht.

Die Hypothese, dass das Pelletieren von Linsensaatgut die Samen in der Keimphase schützt und fördert und Wirkungen auf pflanzenbauliche Parameter, wie den Ertrag zeigt, wurde überprüft.

2 Literaturübersicht

Nachfolgend wird die Bedeutung der Linse als Kulturpflanze im weltweiten Anbau beschrieben. Als Leguminose besitzt sie die Fähigkeit, mit Hilfe von Bakterien Luftstickstoff zu binden. Auf weitere im Boden stattfindende mikrobielle Prozesse wird eingegangen. Eine einführende Erläuterung zur Pelletierung von Saatgut gibt einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung.

2.1 Bedeutung von Hülsenfrüchtlern und Linsen (*Lens culinaris* Medik.)

2.1.1 Herkunft, Merkmale und Verbreitung

Erste Funde lassen sich auf 13.000 bis 11.000 Jahre v. Chr. datieren und konzentrieren sich auf die Mittelmeerregion, mit frühen Nachweisen in Griechenland und Syrien (SANDHU und SINGH 2007). Linsen gehören somit, neben Erbsen, Gerste und den bespelzten Weizenarten Emmer und Einkorn zu den frühen kultivierten Pflanzen, assoziiert mit der Agrarrevolution im Nahen Osten oder auch dem fruchtbaren Halbmond (CUBERO et al. 2009). Die heute populäre *Lens culinaris* stammt nach einigen Autoren von der *L. nigricans*, aus Süd-Europa ab (CUBERO et al. 2009). LADIZINSKY (1979) und ZOHARY (1972) sehen *L. orientalis* aus dem Orient, aufgrund genetischer Ähnlichkeiten, als Vorläufer. Die klassische Unterteilung trennt die vier Arten *L. culinaris*, *L. orientalis*, *L. nigricans* und *L. ervoides* (LADIZINSKY 1979). Im asiatischen Raum dient sie schon immer als Hauptnahrungsmittel, zubereitet als scharfes, indisches „Dal“ (SHYAM et al. 2007).

Linsen sind einjährige, selbstbestäubende, meist kleinwüchsige Pflanzen. Je nach Genotyp und Anbauregion zeigen sie eine Bandbreite an morphologischen Varianten sowohl in der Ausprägung vegetativer als auch generativer Merkmale (SAXENA 2009). Ihre ein bis zwei Samen je Hülse sind in den häufigsten Farbvarianten rot, grün, gelb oder braun gefärbt (MCNEIL et al. 2007, SANDHU und SINGH 2007). Der Wuchs ist aufrecht, halbaufrecht oder ausgedehnt und kompakt als buschiges Kraut mit vielen Zweigen. Der Stamm ist schlank, kantig, grün mit einer Wuchshöhe von 15 – 75 cm (DUKE 1981). Die Fiederblätter sind alternierend (Abbildung 1) mit Farbausprägungen von gelblich grün über matt- oder dunkelgrün bis dunkel blaugrün. Nebenblätter fehlen oder sind schwach ausgeprägt. Die Rhachis ist 4 – 5 cm lang und hat meist 10 – 15 stachelspitzige Fiederblättchen in paariger Anordnung. Die oberen Fiederblättchen sind als Ranken oder Borsten ausgebildet (SANDHU und SINGH 2007).

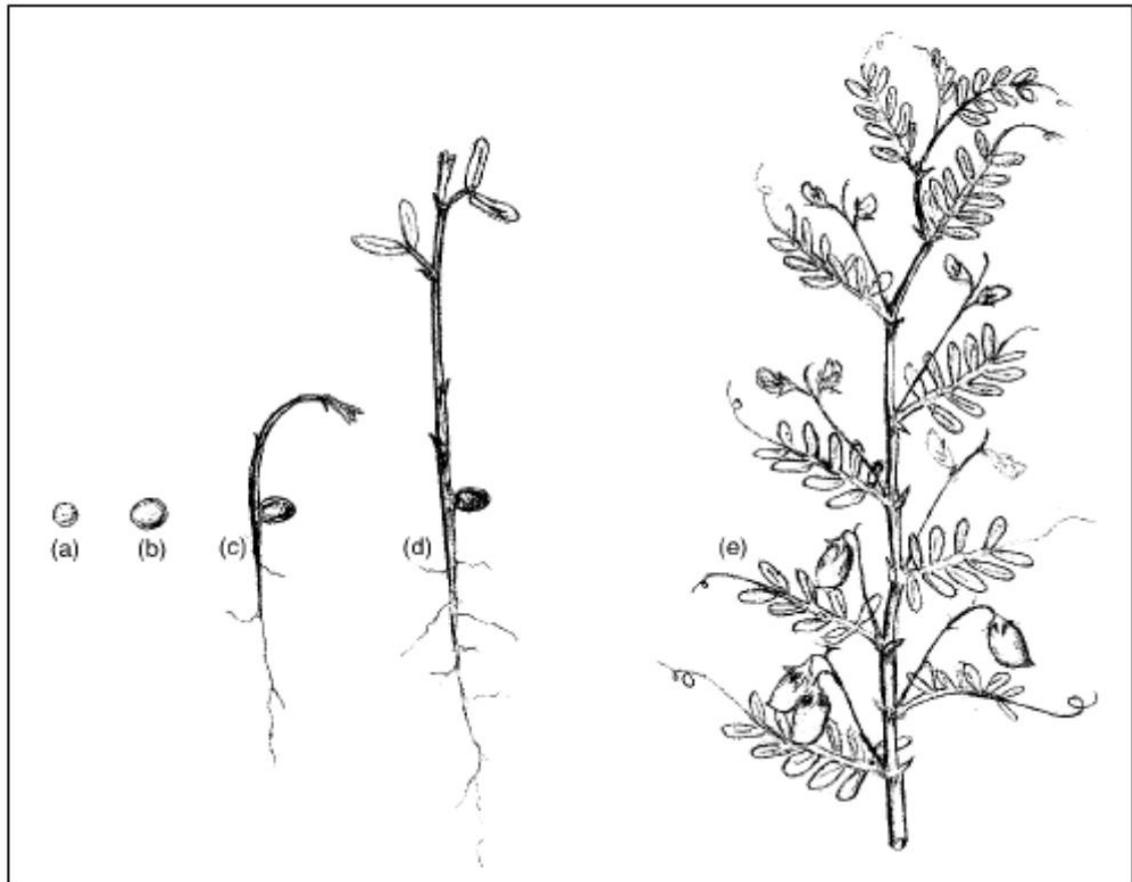


Abbildung 1: Entwicklungsstufen einer Linsenpflanze; (a) trockener Samen, (b) gequollener Samen, (c) gekeimter Samen, (d) Zweiblattstadium, (e) ausgewachsene Pflanze (SAXENA 2009)

Das Interesse an Linsen steigt weltweit im Konsum und auf dem Feld. Dies liegt nach GRUBER et al. (2012) u.a. an der wachsenden ernährungsphysiologischen Bedeutung mit hohen Protein-, Vitamin- und Nährstoffgehalten. Sie enthalten essentielle Aminosäuren, z.B. Lysin, sowie antioxidative Stoffe (URBANO et al. 2007). Weniger nutritive Bestandteile sind Phytinsäuren, Tannine und Oxalate, die einen Einfluss auf die Verfügbarkeit an Makro- und Mikronährstoffen haben (URBANO et al. 2007). Phosphor, das nach Kalium am meisten enthalten ist, wird durch seine gebundene Form in Phytinsäure weniger verfügbar für Monogastrier. Die meisten Mineralstoffe und Eiweiß sind in den Kolyedonen enthalten. Eisen und Calcium kommen überwiegend in der Samenschale vor (URBANO et al. 2007).

Mit der Gründung des „International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas“ (ICARDA) 1977, wurde der Grundstein züchterischer Bearbeitung für einen großflächigen Anbau gelegt (RAWAL und BANSAL 2019). Trotzdem sind die Erträge im globalen Durchschnitt von $0,8 \text{ t ha}^{-1}$ der letzten 16 Jahre eher gering (MCNEIL et al. 2007). In den Ursprungsländern wie Indien liegen die Erträge eher darunter.

Kanada, Australien, die Vereinigten Staaten und Deutschland können bis zu 3 t ha^{-1} ernten, wobei die Ernten weltweit jahresabhängig variieren (GRUBER et al. 2012, McNeil et al. 2007). Kanada ist mittlerweile vor Indien und der Türkei größter Produzent (Abbildung 2), mit einem Anteil von 40 % der weltweiten Produktion.

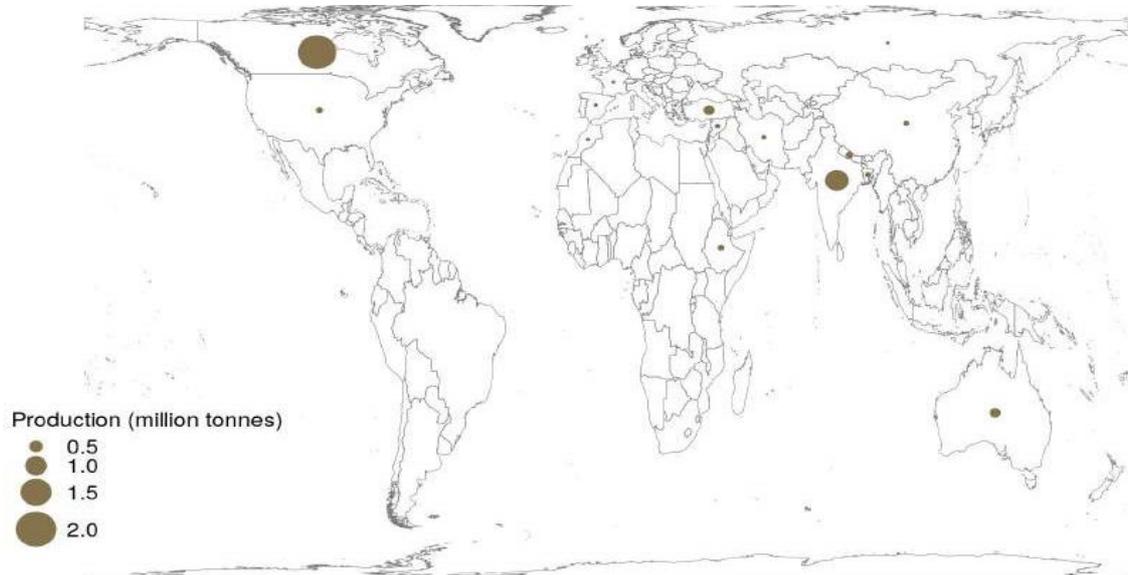


Abbildung 2: Produktion von Linsen in verschiedenen Ländern, 2012 – 2014
(RAWAL und BANSAL 2019)

Die starke Umstrukturierung der Linsenproduktion erfolgte in den letzten 30 – 40 Jahren. Exportorientierte Länder mit viel Fläche und hohen Erträgen, wie Kanada und Australien haben sich profiliert (MCNEIL et al. 2007). Trotz großer Eigenproduktion ist Indien stärkstes Importland (RAWAL und BANSAL 2019). Weitere bedeutende Produzenten sind Nepal, Bangladesch, Syrien und der Iran (MCNEIL et al. 2007). Deutschland ist im Anbau nicht gelistet und lag von 2011 – 2013 an 13. Stelle der weltweiten Importländer, mit 25 Tsd. Tonnen importierten Linsen pro Jahr (RAWAL und BANSAL 2019).

2.1.2 Pflanzenbau und Nährstoffversorgung

In Südasien ist der Anbau nach Monsunregenfällen typisch, von Oktober – März auf mit Wasser gesättigten Böden (ALI et al. 2009). 95 % der Flächen im Anbau werden somit nicht bewässert, sondern über Regenwasser feucht gehalten (MCNEIL et al. 2007). In Deutschland forscht Dr. Bernd Horneburg von der Universität Kassel seit über 20 Jahren an alten Landsorten. Sorten- und anbauspezifische Kenntnisse für einen Anbau in Mitteleuropa steigen durch die Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen wie den Universitäten Hohenheim und Göttingen und Genbanken in Gatersleben und St. Petersburg (pers. Mitteilung HENNENKÄMPER 2020).

Zum Anbau sind trockene, nicht staunasse Grenzertragsböden wie sie u.a. auf der Schwäbischen Alb vorliegen, geeignet. Sie wächst gut auf kargen, kalkhaltigen, leichten bis mittleren Böden. Neutrale bis gering basische Boden pH-Werte zwischen 6 – 8 werden bevorzugt. Böden mit pH-Werten unter 5,4 ohne entsprechende Kalkung wirken ertragsmindernd (GRUBER et al. 2012, SEKHON et al. 2007). In der Fruchtfolge sollte sie zur Unterdrückung von Krankheiten und Unkräutern nur alle 4 – 6 Jahre vorkommen. Als Vorfrüchte eignen sich Wintergetreidearten und Hackfrüchte (GAPP 2017, GRUBER et al. 2012). Die Bodenbearbeitung beginnt im Herbst mit einer sorgfältigen Stoppelbearbeitung, gefolgt von einer mitteltiefen Herbst- oder Winterfurche und flacher Frühjahrsbearbeitung. Starke Bodenbearbeitungen im Frühjahr stören den kapillaren Wasseranschluss auf trockenen Standorten (GAPP 2017). Im ökologischen Landbau werden zur Unkrautkontrolle wendende Verfahren mit dem Streichblechpflug eingesetzt (GRUBER et al. 2012). Zwischen Ende März bis Anfang Mai werden die Samen mit einer herkömmlichen Drillmaschine 2 – 4 cm tief gesät, bei einem Reihenabstand von 11 – 17 cm (GAPP 2017, GRUBER et al. 2012). Der Mischanbau mit Getreide, wie Hafer und Gerste oder Leindotter ermöglicht konkurrenzschwachen Linsenpflanzen ein aufrechtes Wachstum. Gleichzeitig werden Beikräuter unterdrückt (GRUBER et al. 2012). SEKHON et al. (2007) empfehlen bei Unkrautauflaufen den Einsatz von Herbiziden oder einen Anbau in Mischkultur, wobei beide Partner profitieren. Getreide als Mischungspartner in Kombination mit einer Phosphordüngung kann zu hohen Erträgen führen (HARMSSEN et al. 2001).

Aus der Familie der Fabaceae binden Linsen mit Hilfe von Bakterien, *Rhizobium leguminosarum*, der Gattung Bacteroides, Luftstickstoff (MAHLER 2015, MCNEIL und MATERNE 2007). Die Bakterien werden meist als Rhizobien (rhiza = Wurzel, bios = Leben) zusammengefasst (SMITH et al. 2017). Eine Stickstoffdüngung ist durch diese Eigenschaft weniger nötig und kann sogar die Funktionen der Bakterien einschränken (HIRSCH und FUJISHIGE 2012). Erfolgt die Saat in kalte und nasse Böden, mit pH-Werten unter 5,2 empfehlen MAHLER (2015) und MCKENZIE et al. (2007) eine Startergabe von 10 – 25 kg ha⁻¹ N bzw. die Inokulation mit *Rhizobium*. Als Vorfrucht können sie je nach Umweltbedingungen mehr als 20 kg ha⁻¹ a⁻¹ N im Boden speichern (MCNEIL und MATERNE 2007). In freier, assoziativer oder symbiotischer Form als kleine Knöllchen an den Wurzeln (Abbildung 3), wird elementarer Stickstoff (N₂) zu Ammoniak (NH₃) und pflanzenverfügbaren Ammonium-Ionen (NH₄⁺) reduziert (HIRSCH und FUJISHIGE 2012, MCNEIL und MATERNE 2007, SOUZA et al. 2015). Die Symbiose gehört nach HIRSCH und FUJISHIGE (2012) zu den am besten erforschten Prozessen der Signalübertragung zwischen Bakterien und Pflanzen.

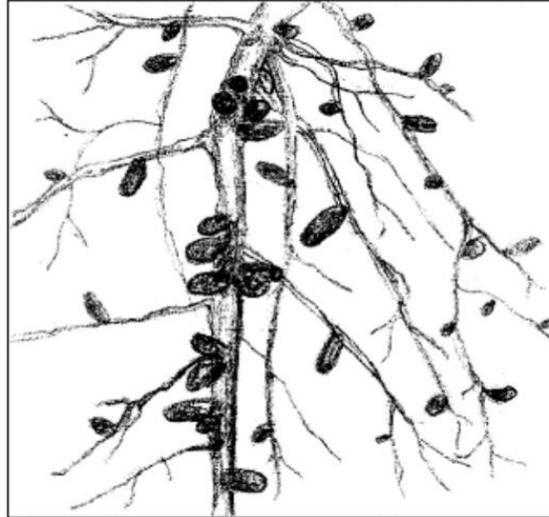


Abbildung 3: Pfahl- und Seitenwurzeln mit länglichen Knöllchen (SAXENA 2009)

Molybdän und Eisen als direkter Bestandteil des Enzyms Nitrogenase sind neben Brom, Cobalt, Kupfer, Mangan und Zink wichtige Mikronährstoffe (MCNEIL und MATERNE 2007, YADAV et al. 2009). Zu den wichtigsten Makromineralien gehören neben Kalium und Schwefel, besonders Stickstoff und Phosphor (MAHLER 2015). Phosphormangel kann die Stickstoffversorgung, durch eingeschränkte Aktivität der Bakterien zur Stickstofffixierung hemmen (RÖMER und LEHNE 2004). ALI et al. (2009) benennen Phosphor als den wichtigsten Nährstoff beim Wachstum und Ertrag von Linsen. Er ist an zahlreichen Prozessen beteiligt, wie dem Energietransport, der Wurzelbildung, Blütenbildung, Frucht- und Samenproduktion, Knöllchenentwicklung und N-Fixierung (ALI et al. 2009, SHARMA et al. 2013).

2.2 Wechselwirkung Leguminosen – Mikroorganismen

Die Gesamtheit der Mikroorganismen die Pflanzen umgeben, wird als Phytomikrobiom beschrieben, das pflanzen- und umweltbedingt individuell ist (LIRA et al. 2015, SMITH et al. 2017). Alle Organe der Pflanzen treten in Kontakt mit Mikroorganismen (SMITH et al. 2017, NELSON 2018). Die Bereiche werden ortsabhängig in die Rhizosphäre (Wurzel), Phyllosphäre (Blätter), Spermosphäre (Samen) und Carposphäre (Früchte) unterteilt (BERG et al. 2013, NELSON 2018). Außerdem kann die Endosphäre von der Ektosphäre (NELSON 2018) und der extrazelluläre vom intrazellulären Bereich getrennt betrachtet werden (SMITH et al. 2017). Die Trennung zwischen außen und innen der Wurzel ist nach NELSON (2018) eine schwierige, da Endophyten zu Epiphyten werden können und umgekehrt.

2.2.1 Bakterien

BENNETT und LLOYD (2015) weisen darauf hin, dass Bauern den Effekt von Leguminosen entdeckten. Ackerkulturen eines Feldes nach der Bewirtschaftung mit Leguminosen erschienen gesünder und grüner. 1887 zeigten Hellriegel und Wilfarth experimentell den Zusammenhang zwischen der Stickstofffixierung und mit Knöllchen besetzten Wurzeln von Leguminosen (DEAKER 2004). Im darauffolgenden Jahr isolierte und kultivierte Martinus Beijerinck erstmals Bakterien aus den Knöllchen verschiedener Leguminosenarten in den Niederlanden (HIRSCH und FUJISHIGE 2012). Es wurde bekannt, dass die Inokulation von Leguminosen mit Bakterien die Ausbildung von Knöllchen zur Stickstofffixierung erhöhen kann (DEAKER 2004).

Pflanzenwachstumsfördernde Bakterien sind zur biologischen N-Fixierung, P-Solubilisierung, ACC-Desaminase Aktivität, Produktion von Siderophoren und Phytohormonen fähig (ROCHA et al. 2019a, SMITH et al. 2017, SOUZA et al. 2015). Dabei kann die Produktion von ACC-Desaminase abiotischen Stress reduzieren, die von Siderophoren Pathogene hemmen und Phytohormone das Wachstum anregen (SOUZA et al. 2015). Der Kontakt und Informationsaustausch erfolgen über die Abgabe primärer Stoffe wie Kohlenhydrate, Proteine und organische Säuren sowie sekundäre Wurzelexsudate, z.B. Flavonoide und verwandte Moleküle (HIRSCH und FUJISHIGE 2012, LIRA et al. 2015). Spezielle Gene, *nodD*, der Bakterien werden aktiviert, sodass die Produktion von Lipochitooligosacchariden angeregt wird, mit anschließender Knöllchenausbildung an den Wurzeln (SOUZA et al. 2015).

Häufig genannte Bakterien sind aus den Phyla Actinobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes und Proteobacteria (BERG et al. 2013, BULGARELLI et al. 2013, NELSON 2018). Eine exakte Trennung der Gattungen nach ihren Funktionen ist nicht möglich, da sie sich teilweise überschneiden (BULGARELLI et al. 2013, SHARMA et al. 2013, SOUZA et al. 2015).

SAEID et al. (2018) fanden heraus, dass drei unterschiedlich getestete *Bacillus* Arten, darunter *Bacillus megaterium*, organische Säuren produzieren. Unlösliche, anorganische Calciumphosphate, Hydroxylapatite und Phosphorite werden in pflanzenverfügbare Formen umgewandelt (SAEID et al. 2018). Hydrogenphosphat-Anionen (HPO_4^{2-})/ sekundäres Phosphat oder Dihydrogenphosphat-Anionen (H_2PO_4^-)/ primäres Phosphat werden vereinfacht aufgenommen (SAEID et al. 2018, SHARMA et al. 2013, SOUZA et al. 2015). Die Produktion des Enzyms Phosphatase durch u.a. *Pseudomonas*, führt zur Mineralisierung organisch gebundenen Phosphors (RODRIGUEZ und FRAGA 1999, SHARMA et al. 2013). SRIDEVI und MALLAIAH (2009) wiesen nach, dass unterschiedliche Stämme von *Rhizobium* ebenfalls zur P-Solubilisierung fähig sind.

2.2.2 Pilze

AMP und *Trichoderma* sind wichtige Symbionten in natürlichen und ackerbaulichen Ökosystemen (ROCHA et al. 2019a, CHANDA et al. 2020, THOMAS und SINGH 2019). Die Pilze erhalten Kohlenhydrate von den Pflanzen und fördern als Gegenleistung die Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit (CHANDA et al. 2020). Sie vergrößern die Aufnahme­fläche für Bodennährstoffe im Wurzelbereich oder bilden im Fall von Endomykorrhiza Haustorien in den Wurzelzellen aus (THOMAS und SINGH 2019, SMITH et al. 2017). AMP als ein Typ der Endomykorrhiza bilden Arbuskel oder Vesikel im Wurzelgewebe (THOMAS und SINGH 2019). Die Zersetzung abgestorbener Pflanzenteile von den beiden durch saprophytische Pilze produzierten Enzymen Ligninase und Chitinase erhöht die Verfügbarkeit von löslichem Phosphor und Stickstoff (CHANDA et al. 2020).

NELSON (2018) unterscheidet die beiden Abteilungen Ascomycota und Basidiomycetes. CHANDA et al. (2020) zählen Glomeromycota (*Glomus intraradices*) ebenfalls dazu. Als wahrscheinlich phosphoreffiziente Pilze benennen SHARMA et al. (2013) neben *Trichoderma* und *Rhizoctonia* die Stämme *Aspergillus* und *Penicillium*. Aufgrund der Vielfalt an Mikroorganismen sind weitere Forschungsvorhaben zur genauen Bestimmung nötig (SHARMA et al. 2013). Einige der genannten Mikroben werden bereits im Getreide- und Gemüseanbau erfolgreich als Samenbehandlung eingesetzt (SOUZA et al. 2015). Sie zeigen u.a. positive Wirkungen auf die Keimung, Meristemaktivität, das Pflanzenwachstum und die Pflanzengesundheit (SMITH et al. 2017, SOUZA et al. 2015).

2.3 Pelletierung als Saatgutbehandlung

Saatgutbehandlungen existieren seit der neolithischen Revolution (TAYLOR et al. 1998). Primär sollten Samen vorgekeimt werden. In Milch oder Wasser eingeweichte Saatkörner führten zu einem schnelleren Feldaufgang (TAYLOR et al. 1998). Traditionell säten Chinesen Bälle aus Schlamm und Reissamen in geflutete Felder zur besseren Haftung und Vermeidung des Abdriftens (TAYLOR et al. 1998). Aktuelle Verfahren der Samenbeschichtung sind Beizen, Filmbeschichtungen und Pelletieren (HALMER 2008, PEDRINI et al. 2017, ROCHA et al. 2019a). Je nach Ziel wird ein entsprechendes Verfahren eingesetzt, wobei in allen drei Varianten exogene Materialien an die natürliche Saathülle angebracht werden (HALMER 2008, TAYLOR und HARMAN 1990). Das Saatgut wird beim Pelletieren im Gewicht und der Größe vereinheitlicht (TAYLOR und HARMAN 1990). Zugefügte Nährstoffe und mikrobielle Impfstoffe wie PBM, Fungizide (ROKIB und MONJIL 2017), Herbizide, Insektizide und Nematizide schützen die Samen gegen Phytopathogene. Sie fördern die Keimung und das Pflanzenwachstum (HALMER 2008, PEDRINI et al. 2017).

Der Mantel besteht aus Binde- und Füllmaterialien (PEDRINI et al. 2017, ROCHA et al. 2019a). TAYLOR und HARMAN (1990) nennen Bindemittel wie Gummi arabicum, Gelatine, Stärke, Methylcellulose, Polyethylenglycol, Chitosan, Polyvinylalkohol, Ethylcellulose und Polyvinylacetat. Füllstoffe sind Calciumcarbonat, Talk, Lehm, Kieselgur, Gips, Bentonit, Sand und Asche (PEDRINI et al. 2017, ROCHA et al. 2019a, TAYLOR und HARMAN 1990).

Die Inokulation mit einzelnen Bakterienstämmen wird als ‚seed soaking‘, nicht ‚coating‘ beschrieben (ROCHA et al. 2019a). ROCHA et al. (2019b) befürworten den kombinierten Einsatz unterschiedlicher Mikroorganismen. SAEID et al. (2018) beobachteten durch die Verwendung verschiedener *Bacillus* Arten als direkte Applikation in den Boden eine gesteigerte Produktion organischer Säuren. *Bacillus megaterium* in Verbindung mit Fischknochenmehl führte zur höchsten Phosphorerschließung aus schwerlöslichen Formen (SAEID et al. 2018). Mögliche Probleme sind antagonistische Wechselwirkungen der Mikroorganismen und das Überleben an der Saat, durch die Produktion toxisch-löslicher Samenexsudate, die Trocknung sowie ungünstige Lager- und Bodenbedingungen (SHARMA et al. 2013, SOUZA et al. 2015, TAYLOR und HARMAN 1990).

Folgende Erläuterungen beziehen sich auf die im Versuch verwendeten Zusätze der Saatmäntel. Näher eingegangen wird auf die als bedeutungsvoll eingestuftten Stoffe, mit der Idee wachstumsfördernder Eigenschaften oder positiver Wirkungen auf den Samen, die Pflanze und den Boden.

2.3.1 Kompost

In der biologischen Wirtschaftsweise werden organische Abfälle recycelt und als Kompost dem Ackerboden wieder zugeführt. Kompost enthält neben Makro- und Mikroorganismen auch Mineralstoffe, z.B. leicht lösliches Phosphor, Kalium und Stickstoff (ANSARI et al. 2020, THOMAS und SINGH 2019). Phytohormone wie Auxine, Gibberelline und Cytokinine sind neben Enzymen, Säuren und Vitaminen nachweisbar (ADHIKARY 2012, ANSARI et al. 2020). HARTL et al. (1999) zeigten in sechsjährigen ackerbaulichen Versuchen, dass ökologisch bewirtschaftete Flächen, mit Hilfe von Kompostdüngungen, höhere Nährstoffgehalte mit einer gesteigerten P-Verfügbarkeit erreichten, im Vergleich zu mineralisch gedüngten Böden. ADHIKARY (2012) und KUMAR SOOTAHAR et al. (2020) begründen die Beobachtung durch die im Kompost enthaltenen Huminstoffe, die zur optimierten Bodenstruktur und -durchlüftung beitragen. Die Wasserhaltekapazität und Pufferung des Bodens werden verbessert. Höhere Aktivitäten von Mikroorganismen fördern die Mineralisierung organischen Materials, sodass Pflanzen Makro- und Mikronährstoffe vereinfacht aufnehmen (KUMAR SOOTAHAR et al. 2020).

THOMAS und SINGH (2019) benennen als kompostierende Organismen *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Klebsiella* und *Enterobacter*, die auch antimikrobielle Wirkungen auf Parasiten und Pathogene zeigen (THOMAS und SINGH 2019).

2.3.2 Molke

Molke entsteht als Abfallprodukt bei der Käse- und Quarkproduktion. Je nach Verfahren wird zwischen Süß- und Sauermolke unterschieden. Bei der Hartkäseherstellung gerinnt die Milch durch proteolytische Enzyme wie Chymosin. Es entsteht Süßmolke mit einem pH-Wert von 6 – 7 (CARVALHO et al. 2013). Pro einem produzierten Kilogramm Hartkäse könne zehn Liter Molke anfallen (NTALLI et al. 2019). Sauermolke (pH < 5) wird durch die Fermentation oder dem Zufügen organischer oder mineralischer Säuren bei der Produktion von Weichkäse und Quark erzeugt (CARVALHO et al. 2013).

Düngewirksame und das mikrobielle Wachstum anregende Inhaltsstoffe sind Stickstoff (0,5 – 10,8 mg l⁻¹), Phosphor (6 – 280 mg l⁻¹), Natrium (2,1 – 2,8 g l⁻¹), Kalium, Schwefel, Calcium, Magnesium, Laktose, Proteine und Vitamine (CARVALHO et al. 2013, GROSU et al. 2012). Die Nährwerte können je nach Produktionsverfahren und Art der eingesetzten Milch variieren (CARVALHO et al. 2013). Sauermolke hat nach CARVALHO et al. (2013) einen höheren Gehalt an Asche, jedoch einen geringeren Proteingehalt als Süßmolke. Die Werte für Calcium (1.2 – 1.6 g L⁻¹) sind in Sauermolke ca. zweifach höher. Laktose ist in geringerer Menge in Sauermolke enthalten (CARVALHO et al. 2013). Molke fördert direkt über Nährstoffe das Pflanzenwachstum oder indirekt durch eine Vermehrung von Mikroorganismen im Boden (DEMIR und OZRENK 2009).

DEMIR und OZRENK (2009) untersuchten den Einfluss zwei unterschiedlich hoher Dosen flüssiger Süßmolke auf die Kolonisierung und Sporulation von Linsen (*Lens orientalis*) mit AMP der Klade *Glomus intraradices*. Sie fanden heraus, dass geringe Molkedosen die Aktivität der Pilze erhöht. GROSU et al. (2012) wiesen durch Topfversuche positive Wirkungen von Sauermolke, auf den Biomasseertrag von Weizen, Soja und Brokkoli nach. Hemmende Effekte auf die Keimung bei allen Molkegaben im Vergleich zur Kontrolle wurden beobachtet (GROSU et al. 2012). NTALLI et al. (2019) bezogen sich in ihrer Studie auf die erfolgreiche Behandlung einiger durch Pilze und Nematoden verursachten Krankheiten mit Molke.

2.3.3 Baldrian

In der biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise nach Rudolf Steiner regt Baldrian die Blüten- und Fruchtbildung durch seine besondere Beziehung zum Phosphor an. (STEINER 1924). Als `Verwalter der Lichtkräfte´ soll er bewirken, dass sich der Boden gegenüber Phosphor richtig verhält und somit die Blüten- und Fruchtbildung angeregt werden (STEINER 1924). Grundlage des Präparats bilden die Blüten der Baldrianpflanze (*Valeriana officinalis*), die durch milchsäure Vergärung als Presssaft konserviert werden. Die Wurzeln der Baldrianpflanze werden zu medizinischen Zwecken verwendet. Enthaltene ätherische Öle und Valerensäure helfen bei Schlafstörungen und Ruhelosigkeit (PENZKOFER und HEUBERGER 2020). PENZKOFER und HEUBERGER 2020 benennen weitere sekundäre Pflanzenstoffe die in *Valeriana officinalis* vorkommen, wie Sesquiterperne, Iridoide (Valepotriate), Lignane, Flavonoide, Alkaloide, Aminosäuren, Phenolsäuren, Sterine und Kohlehydrate.

Die Wirkung eines Baldrianpräparats auf Ackerkulturen, insbesondere auf die Phosphoreffizienz, untersuchte HENNENKÄMPER (2008) im Rahmen seiner Diplomarbeit. Die beiden im Topfversuch verwendeten Versuchspflanzen Hafer und Lupine wurden in unterschiedlichen Wuchsstadien mit einem Baldrianpräparat als Spritzung behandelt. Beide Versuchspflanzen zeigten eine verbesserte Phosphoreffizienz. Vor allem auf mit Phosphor unterversorgten Böden kann Baldrian die Erschließung pflanzenverfügbaren Phosphors erleichtern (HENNENKÄMPER 2008).

3 Material und Methoden

3.1 Pflanzen, Aussaat, Bodenbearbeitung

Folgende Versuchspflanzen fanden im Feldversuch Verwendung:

Lens culinaris Medik. Sorte: Späth's Alblinse 1; TKG: 38,6 g

9,3 g m⁻² ≈ 240 Samen m⁻²

Camelina sativa L. Crantz Sorte: unbekannt

0,3 g m⁻²

Die Linsenpflanzen waren das Versuchsobjekt, der Leindotter diente als Stützfrucht. Bei der Linsensorte ‚Späths Alblinse‘ handelt es sich um eine in den 1940er Jahren gezüchtete Sorte des Züchters Fritz Späth aus Haigerloch. In der russischen Wawilow-Saatgutbank von St. Petersburg 2006 wiederentdeckt, wird sie seither regional angebaut (HENNENKÄMPER, pers. Mitteilung 2020). Leindotter dient wegen der leichten Reinigung nach der Ernte als Stützfrucht. Andere Vorteile sind die zeitgleiche Aussaat und Abreife. Die Drillsaat erfolgte am 08. April 2020, 2 – 3 cm tief, in 8 Reihen, bei einem Reihenabstand von 12 cm mit einer Parzellensämaschine (Hege Typ 80, Baujahr 1979). Durch die grobe Strukturierung des Bodens mit größeren Erdbrocken wurde die Saat mit einer Beetwalze aus dem Gemüsebau angewalzt. Eine Düngung erfolgte nicht. Die Jahre zuvor wurde die Fläche als Gemüseacker genutzt, mit dem Anbau von Zucchini 2018 und Petersilie 2019. Die Petersilie hat überwintert und wurde kurz vor Beginn des Versuchs im Frühjahr durch den Landwirt des Hofes umgebrochen. Der früh einsetzende starke Beikrautdruck veranlasste zur Pflege per Hand. Melde und Kräuter aus der Familie der *Brassicaceae*, u.a. Acker-Senf und Acker-Hellerkraut waren am häufigsten vertreten. Unter anderen Witterungsbedingungen wird üblicherweise drei Wochen nach der Saat gestriegelt. Fehlender Niederschlag in den ersten drei Wochen führte zur späten Keimung der Linsen-samen. Erst am 21.05.20, sechs Wochen nach der Saat konnte gestriegelt werden.

3.2 Boden, Witterung, Standort

Der Versuch wurde auf Flächen des Hofguts Rimpertsweiler in Salem-Oberstenweiler durchgeführt, die dem Keyserlingk-Institut zur Verfügung gestellt werden konnten. Für die Bodenseeregion typisch sind Braunerden auf Moränensediment. Die Böden sind teilweise verkiest und versandet im Wechsel zu eher anmoorigen Böden. Um das Hofgut sind Braunerden und Parabraunerden aus würmzeitlichem Geschiebemergel und Beckensedimenten (LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU 2017). Zur Bestimmung der Bodenqualität der Versuchsfläche wurden vier Bodenproben gleichmäßig auf dem Feld verteilt entnommen und vom Bodenlabor Dr. Eugen Lehle untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Boden mit pH-Werten um 7,0 neutral ist, mit einer guten Versorgung an Kalk. Eine Erhaltungskalkung in Höhe der Abfuhr reicht aus. Die Werte für Phosphor liegen mit 6 – 8 mg 100 g⁻¹ Boden im unteren Bereich, mit einer Düngempfehlung in Höhe der Abfuhr plus 40 kg ha⁻¹. Ebenso niedrig ist der ermittelte Kaliumgehalt. Eine Düngemenge in Höhe der Abfuhr plus 50 kg ha⁻¹ wird empfohlen. Die Magnesiumversorgung ist mit ermittelten 9 mg 100 g⁻¹ Boden ausreichend. Die Bodenart ist sandiger Lehm. Der Humusgehalt betrug 2,2 %.

Die Niederschlagshöhen liegen auf Grundlage der erhobenen Daten am Institut von 2012 – 2018 zwischen 900 – 1100 mm im Jahr. 2019 lag der Gesamtniederschlag bei 660 mm, 2020 bei 670 mm. Von Mitte März bis Ende April, zur geplanten Aussaat, war es überwiegend trocken. Der 29. März konnte als letzter Regentag vor der Saat, mit 7 mm Niederschlag, verzeichnet werden. Eine längere Regenperiode setzte erst Ende April ein (Abbildung 4).

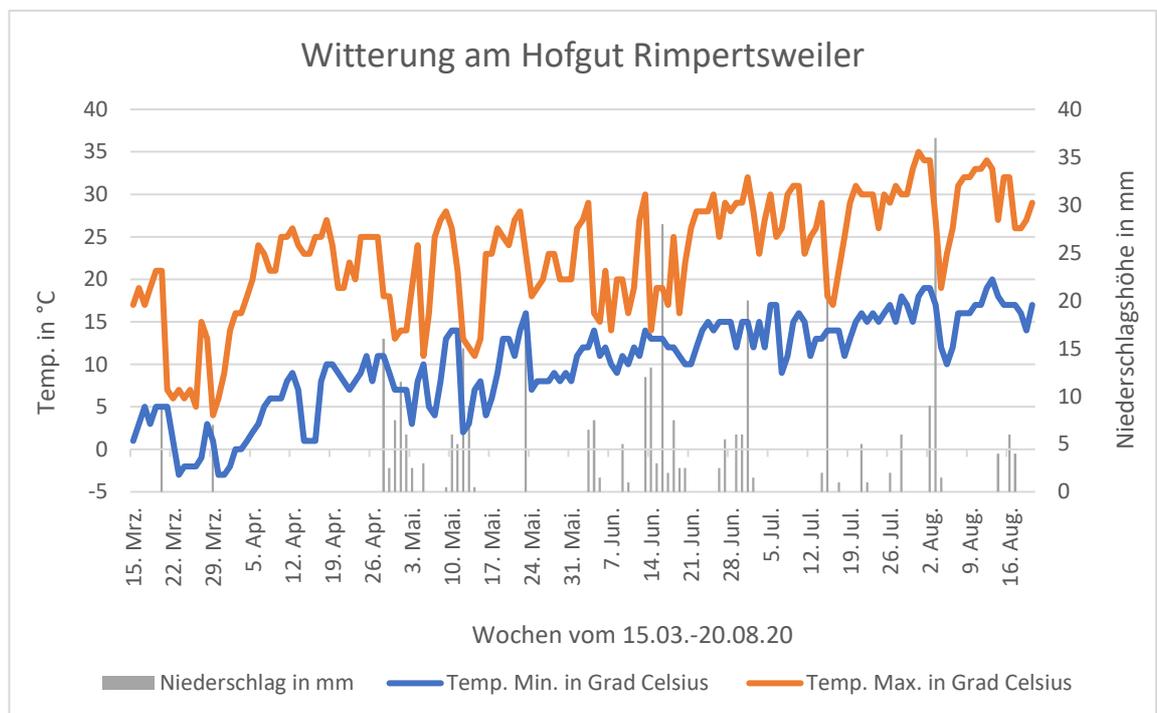


Abbildung 4: Klimadaten; eigene Aufzeichnungen am Hofgut (15.03. – 20.08.20)

Vom 23. März bis 03. April schwankten die Tageshöchstwerte von + 4 °C bis + 10 °C und gingen nachts in den Minusbereich bis - 3 °C. Ab dem 04. April stiegen die Temperaturminima und -maxima. Verglichen mit der anfänglichen Trockenzeit zur Keimphase war der Sommer feucht. Juni war nach August, im Durchschnitt der Monate April – August, der niederschlagreichste mit ca. 112 mm. Zum Blühbeginn und der Fruchtbildung war es überwiegend am Morgen und vormittags schwül. Im Juli und August gab es einzelne Tage mit einer Niederschlagshöhe von 37 mm.

Die Versuchsfläche lag in der Nähe des Hofguts Rimpertsweiler. Der Acker ist von drei Seiten mit Bäumen umgeben und grenzt im hinteren Teil an einen Wald (Abbildung 5). Dieser Umstand wurde nicht als systematischer Störfehler in den Versuch mit aufgenommen. Die Varianten sind so verteilt, dass alle fünf mindestens einmal in jeder Reihe oder jedem Block vorkommen. Die genaue Verteilung ist unter Punkt 3.3 dem Versuchsplan zu entnehmen.



Abbildung 5: A) Lage der Versuchsfläche orange markiert (GOOGLE MAPS 2020); B) Acker an einem angrenzenden Waldgebiet (eigene Aufnahme, 08.04.20)

3.3 Varianten der Pelletierung, Versuchsaufbau, Prüfmerkmale

Einschließlich der Kontrolle gibt es fünf Varianten mit vier verschiedenen Zusammensetzungen des Saatmantels als einzigem Prüffaktor.

Die Prüfglieder $a = 5$ sind wie folgt vergeben:

a1 = Kontrolle absolut

a3 = Kompost

a2 = Kontrolle Pellet

a4 = Kompost + Molke

a5 = Kompost + Baldrian.

Die Grundmischung der Pelletierung, außer der absoluten Kontrolle a1, die nicht pelletiert wurde, ist in allen weiteren vier Varianten gleich (Tabelle 1).

Tabelle 1: Mengenangaben der Inhaltsstoffe des Saatmantels je Variante (für 334,8 g Linsen)

Inhaltsstoff	Anteil
Bentonit	40 g
Weizenmehl (Typ 1050)	10 g
Melasse	33 g
Kompost (a3)	1,8 g
Kompost (a4 und a5)	3,0 g
Wasser bzw. Molke (a4) bzw. Baldrian (a5)	6,7 ml
Sonnenblumenöl	6,7 ml
Spülmittel	0,67 ml

Bentonit ist mengenmäßig die Hauptsubstanz, gemischt mit Weizenmehl als Füllstoffe. Zur Bindung dient ein Öl-Seife-Wasser Gemisch mit Melasse. Die Emulsion aus Öl und Wasser in Verbindung mit Seife und Melasse als Fixierungsmittel wird in einem finnischen Patent mit der Patentnummer DE 602 00 834 T2 2005 beschrieben. Die Mengenteile der jeweiligen Inhaltsstoffe die zur besten Haftung führen, wurden durch eigene Versuche bestimmt. In den Varianten a4 und a5 ist der Anteil von Wasser durch jeweils Molke bzw. Baldrian in gleicher Höhe ersetzt worden. Bei der verwendeten Sauermolke (pH < 5) handelt es sich um „Bio Trinkmolke pur“ von der Marke Heirler (Tabelle 2).

Tabelle 2: Nährwertangaben der verwendeten Sauermolke

Nährwert	g 100 g ⁻¹
Fett	0,2
Kohlenhydrate	9,4
davon Zucker	8,4
Eiweiß	6,0
Salz	0,1

Die letzten beiden Varianten enthalten 1,8 g gesiebten Kompost. Der reinen Kompostvariante wurden 3 g Kompost beigemischt. Das Baldrianpräparat und der Kompost stammen vom Hofgut Rimpertsweiler. Alle verwendeten Inhaltsstoffe sind regionaler und wenn möglich ökologischer Herkunft. Nach der laboranalytischen Bestimmung vom landwirtschaftlichen Bodenlabor Dr. Eugen Lehle hat der Kompost einen pH-Wert von 7,9. Der Wert für Phosphor (P₂O₅) liegt bei 353 mg 100 g⁻¹, für Kalium (K₂O) bei 767 mg 100 g⁻¹ und für Magnesium (Mg) bei 58 mg 100 g⁻¹. Mit einem Humusgehalt von 8 – 10 % wird er als sehr stark humos eingestuft.

Die Vermischung und Herstellung der Hülle und das Pelletieren erfolgte am Abend des 07.04.2020 bei Zimmertemperatur (20 – 25 °C). Die pelletierten Samen (Abbildung 6) trockneten über Nacht an der Luft und wurden direkt am Vormittag des 08.04.20 gesät.

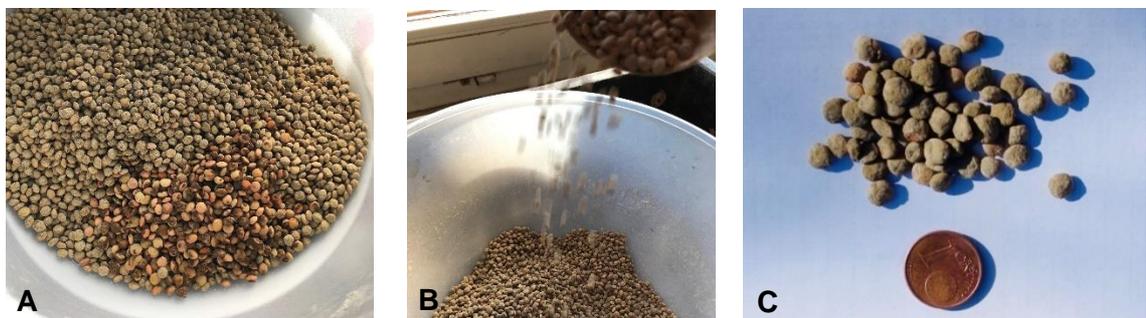


Abbildung 6: Pelletierte Linsensamen. A) Probe der Zutatenmischung; B) Streuprobe; C) Größenvergleich mit einer Münze (eigene Aufnahmen, 07.04.20)

Hilfsmittel zum Pelletieren waren Messbecher, Pipetten, Waagen, Rührschüsseln und Löffel. Größere Mengen werden in Zementmischern oder speziellen Pelletieranlagen behandelt (TAYLOR et al. 1998, ROCHA et al. 2019a). Der Ablauf je Variante ist folgender: Zuerst werden die Samen mit etwas Wasser bespritzt, sodass ein leichter Film am Saatgut entsteht. Es folgt eine Bestäubung mit Mehl und anschließendem Antrocknen für ca. 30 Minuten unter Wärmeeinfluss an der Heizung. Anschließend kommt das Bindemittel in kleiner Menge hinzu, danach das Füllmaterial als Bentonit-Mehl-Gemisch unter ständigem Rühren. Die Abfolge der Anbringung flüssiger und fester Komponenten führt zum Entstehen einer leichten Kruste um die Samen in bräunlichem Farbton. Die Samen sind beim Test des Rieselns aus der Hand gut streufähig und kleben nicht aneinander. Eine gleichmäßige Aussaat ist hierdurch möglich.

Der Versuch wurde als einfaktorielle Blockanlage angelegt (Abbildung 7). Die Parzellen waren je sechs m² groß. Es gab acht Wiederholungen der Kontrolle (n₁ = 8) und sechs Wiederholungen der weiteren Varianten (n₂₋₅ = 6). Der Gesamtversuchsumfang belief sich auf N = 32 Parzellen die je einen Meter breit und sechs Meter lang waren. Als Rand wurden Parzellen mit einem Leindotter-/ Linsengemisch gesät. Schmale Gänge zwischen den Parzellen in horizontaler (0,8 m breit) und vertikaler (0,3 m breit) Richtung ermöglichte ein einfaches Begehen der Versuchsfläche.

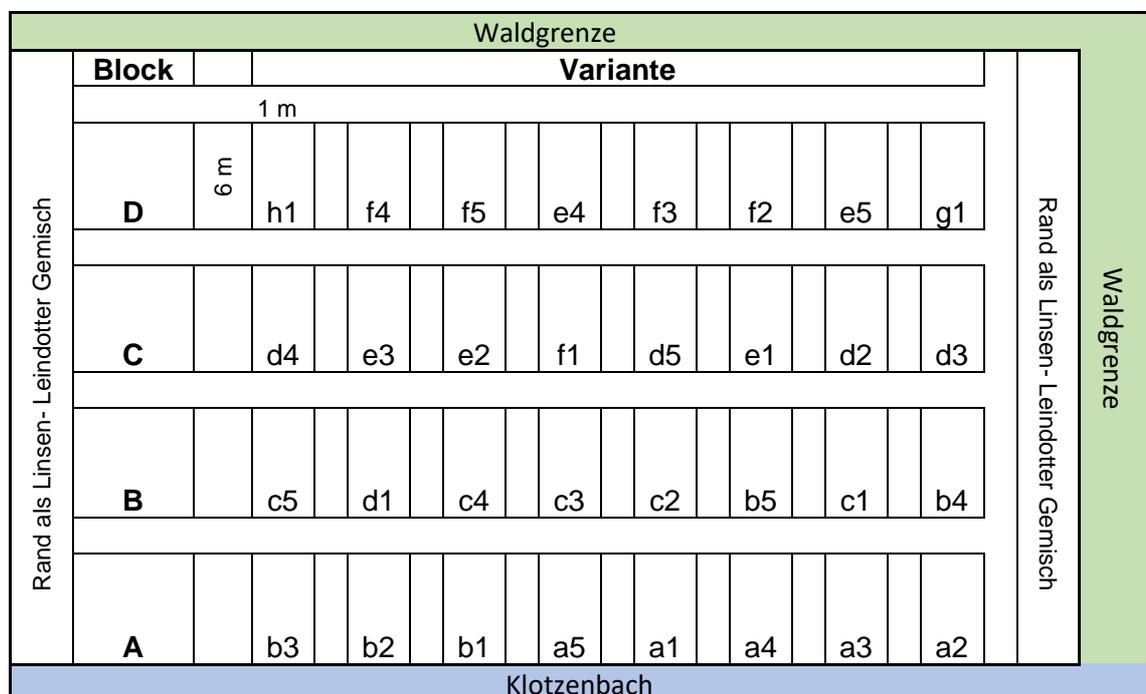


Abbildung 7: Versuchsplan (kleine Buchstaben stehen für die Wiederholungen; Variante 1 a – h, Varianten 2 bis 5 a – f)

Die Linsenpflanzen wurden im Bestand in ihren Entwicklungsstadien geprüft und bewertet. Die Bewertungen sind als Prüfmerkmale anzusehen. Sie sind an die „Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen“ (BUNDESSORTENAMT 2000) des Bundessortenamts angelehnt. Für Linsen existieren keine Richtlinien. Auf Grund der nahen Verwandtschaft dienten die Erläuterungen zu Futtererbsen mit Körnernutzung zur Orientierung. Abweichende Bestimmungen beruhen auf Vorgaben der Universität Hohenheim aus aktuellen Projekten zu Linsen.

Alle nachfolgend beschriebenen Bewertungskriterien erfolgten für jede der 32 Parzellen einzeln. Der Deckungsgrad in Prozent je 6 m² wurde am 10.06.20 bestimmt. Die gesamte Parzelle wurde zur Bestimmung betrachtet. Zwischen dem 10.06.20 und 17.06.20 begannen die Bestände zu blühen, sodass der Blühbeginn (10 % der Pflanzen blühen) notiert wurde. Mit dem Einsetzen des Blühens sind die meisten Parzellen erkrankt. Der Krankheitsbefall wurde mit vereinfachten Boniturnoten von eins bis drei (nach Empfehlung durch Herr Hennenkämper) eingeschätzt. „Eins“ steht hier für schwachen Befall, „drei“ für starken. Die phytosanitäre Untersuchung führte das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenburg durch. Die Pflanzenhöhe in cm zur oder kurz nach der Blüte ist am 15.06.20 erfasst worden. Hierfür wurden drei Pflanzen je Parzelle vom Wurzelhals bis zur Pflanzenspitze ausgemessen und der Durchschnitt notiert. Eine Lagerbonitur erfolgte nicht. Besonders stark lagernde Parzellen sind durch Anmerkungen berücksichtigt worden. Der Kornertrag jeder Parzelle in g 6 m⁻² wurde nach der Ernte am 20.08.20 festgestellt.

Die aufgezeichneten Daten wurden in einer Excel Tabelle zusammengetragen. Statistische Kennwerte wie das arithmetische Mittel und der Standardfehler konnten ermittelt werden. Eine Varianzanalyse erfolgte nicht.

4 Ergebnisse

Als Grundlage der Ergebnisse dienen die durchgeführten pflanzenbaulichen Bewertungen über die Versuchsdauer von der Aussaat bis zur Ernte. Die Grafiken zeigen die errechneten arithmetischen Mittelwerte aller Parzellen je Variante und als Fehlerbalken die Standardfehler.

4.1 Deckungsgrad (%)

Ein leicht höherer Deckungsgrad im Durchschnitt der Varianten mit Molke und Baldrian konnte am 10.06.20 festgestellt werden. Die Parzellen der Variante mit Molke waren im Durchschnitt zu 78 % bedeckt. Einen leicht geringeren Grad der Bedeckung mit 75 % zeigte die Variante mit Baldrian. Die absolute und pelletierte Kontrolle und die Variante mit Kompost lagen mit einem Deckungsgrad von 70 % etwas unterhalb der beiden vorig Genannten.

4.2 Blühbeginn (Datum) und Pflanzenhöhe (cm)

Die Varianten mit Molke und Baldrian begannen ca. ein bis zwei Tage früher zu blühen, am 13.06.20, als die restlichen Varianten mit einem Blühbeginn um den 15.06.20.

Die gemessene Pflanzenhöhe zur oder kurz nach der Blüte war bei den letzten drei Varianten gering höher, als die der Kontrolle und der pelletierten Kontrolle (Abbildung 8).

Die Pflanzen der Varianten mit Kompost und Baldrian erreichten eine mittlere Wuchshöhe von 53,5 cm. Die Pflanzen der absoluten Kontrolle hatten mit 50,8 cm im Durchschnitt der acht Parzellen den kleinsten Wuchs.

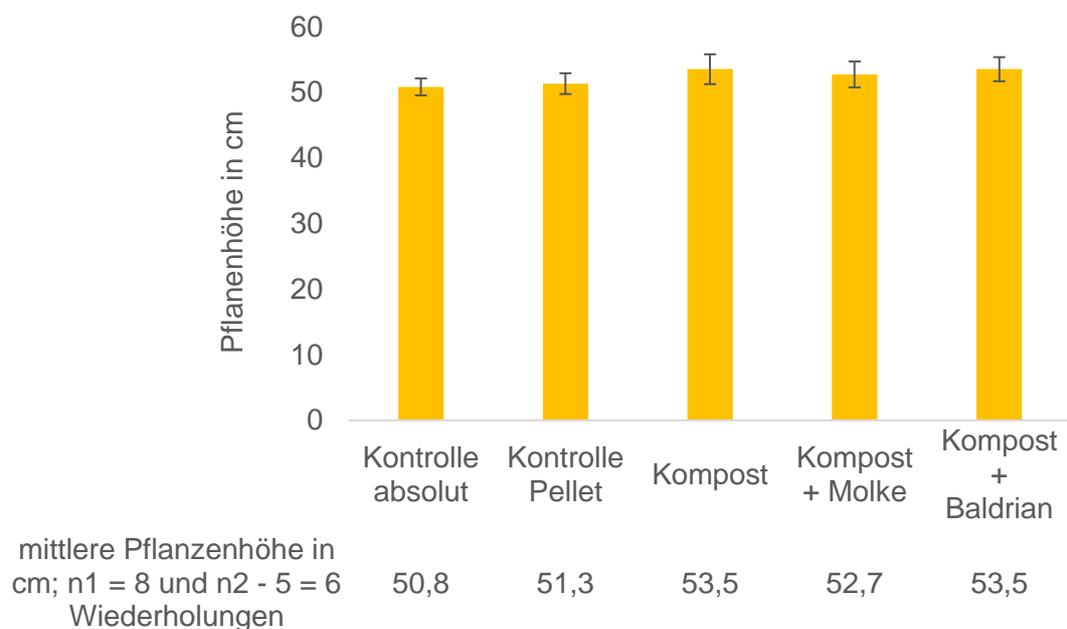


Abbildung 8: Arithmetische Mittelwerte der Pflanzenhöhen in cm je Variante (n₁ = 8, n₂₋₅ = 6); Fehlerbalken = Standardfehler

4.3 Krankheitsbefall (1 – 3)

Ab dem 17. Juni zeigten viele Linsenpflanzen Krankheitssymptome (Abbildung 9).



Abbildung 9: Erkrankte Linsenpflanze auf dem Feld (eigene Aufnahme, 17.06.20)

Die Pelletierung mit Kompost führte im Mittel der sechs Parzellen zum geringsten Krankheitsbefall der Linsenpflanzen mit der Benotung 1,8. Die Gesundheit aller anderen Varianten wurde mit 2,2 bis 2,4 bewertet, also weniger gesund (Abbildung 10).

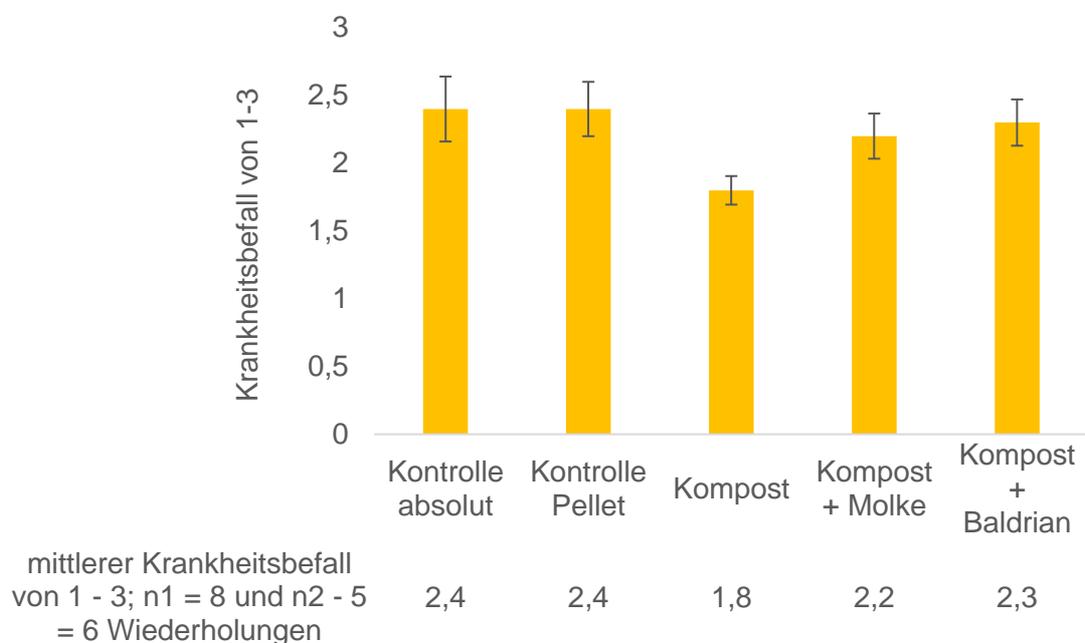


Abbildung 10: Arithmetische Mittelwerte des Krankheitsbefalls als Boniturnote von 1 – 3 je Variante; 1 = schwacher Befall, 3 = starker Befall ($n_1 = 8$, $n_{2-5} = 6$);

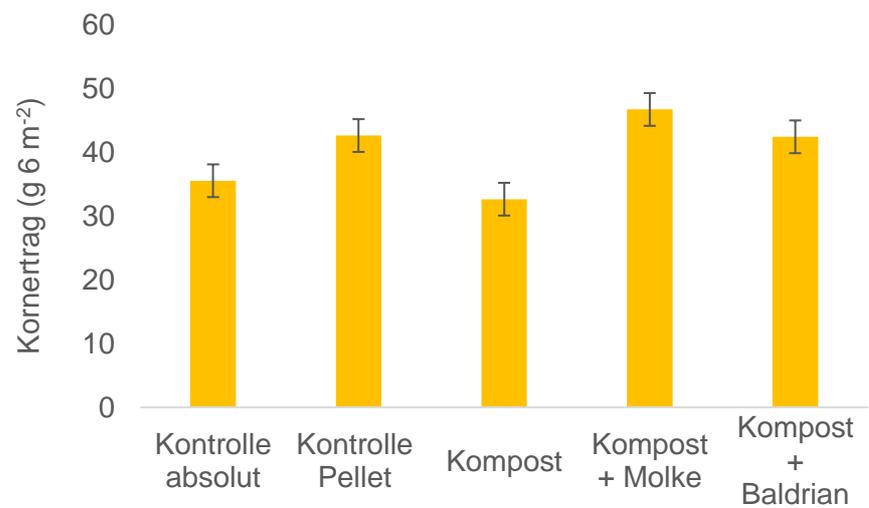
Fehlerbalken = Standardfehler

Bei der phytosanitären Untersuchung durch das LTZ Augustenberg konnte *Pratylenchus* sp. nachgewiesen werden. Die freilebenden Wurzelnematoden verursachen nach BÖRNER et al. (2009) partiell auftretende schlechtere Pflanzenentwicklungen als Folge der Wurzelverletzungen. Läsionen und Verfärbungen der Wurzeln sowie geringere Verzweigungen der Hauptwurzeln treten auf (CHEN et al. 2009).

Das Bohnenblattrollvirus (BLRV) und Erbsenenationenmosaikvirus (PEMV) wurden nachgewiesen. Beide Viruserkrankungen aus der Familie der Luteoviridae gehören zu den häufigeren weltweit bei Linsen (TAYLOR et al. 2007). Sie werden u.a. durch Blattläuse übertragen, sind also nicht samenbürtig und verursachen überwiegend Blattverfärbungen und -verformungen. Weitere Symptome sind Blattrollen, reduzierte Blattgrößen und eine starke Reduktion der Bildung von Hülsen (TAYLOR et al. 2007). Vor allem junge Blatttriebe zeigten erste und starke Ausprägungen mit gelben und bräunlichen Verfärbungen. Mit dem BLRV infizierte Blätter bilden Chlorosen zwischen den Blattnerven, die sich bis zur völligen Vergilbung intensivieren können (TAYLOR et al. 2007). Chlorotische, elongierte, transluzente Bereiche, die wie Fenster auf krankem Laub erscheinen sind charakteristisch für das PEMV (HAGEDORN 2013). Ab dem 27. Juni waren die meisten Blätter löchrig. Spät ausgebildete Blüten konnten sich kaum noch entwickeln, verfärbten sich braun und starben ab. Viele Linsenpflanzen sind komplett verkümmert.

4.4 Kornertrag (g)

Die Behandlung mit Molke und Baldrian führte neben der Kontrollpelletierung zu höheren Erträgen im Vergleich der restlichen Varianten mit 46,8 g 6 m⁻² mit Molkezusatz, 42,7 g 6 m⁻² der pelletierten Kontrolle und 42,5 g 6 m⁻² mit Baldrianzusatz (Abbildung 11). Die absolute Kontrolle (35,6 g 6 m⁻²) und die Pelletierung mit Kompost (32,7 g 6 m⁻²) zeigten die geringsten Erträge im Mittel der Parzellen.



mittlerer Korntrag in g je 6
Quadratmeter; n1 = 8 und
n2 - 5 = 6 Wiederholungen

Abbildung 11: Arithmetische Mittelwerte des Korntrags in g 6 m⁻² je Variante;
Fehlerbalken = Standardfehler

5 Diskussion

Die Ergebnisse werden anhand wissenschaftlicher Studien im Folgenden diskutiert.

5.1 Varianten der Pelletierung

Die Kontrolle lag in allen durchgeführten pflanzenbaulichen Merkmalsprüfungen im unteren Bereich der Ergebnisse. Ein möglicher Grund ist, dass die Pelletierung der Linsensamen bessere Wachstumsbedingungen ermöglichte. Kohlenstoffverbindungen in Mehl und Melasse können als Nahrungsgrundlage für Bakterien und Pilze deren Vermehrung begünstigt haben (ROCHA et al. 2019a). Bentonit als eine Mischung verschiedener Tonminerale ist stark wasseraufnahme- und quellfähig. Die Linsenpflanzen begannen allerdings erst mit dem einsetzenden Niederschlag Ende April zu wachsen, sodass die hygroskopische Wirkung keine frühere Keimung auslöste. Es ist möglich, dass bei einigen Linsensamen bereits vor der Niederschlagsperiode durch die Behandlung eine Keimung einsetzte, die Keimlinge dann jedoch durch die längere Trockenzeit abstarben. Da der Feldaufgang nicht geprüft wurde, ist eine sichere Aussage nicht möglich.

5.1.1 Molke

Die Werte zum Deckungsgrad, Blühbeginn und Ertrag zeigen, dass die Zugabe von Molke möglicherweise positive Wirkungen erzielte. Dies liegt nach DEMIR und OZRENK (2009) und NTALLI et al. (2019) an der Förderung der Bodenbeschaffenheit und des Bodenlebens. Molke kann die Bodenstruktur, das Wasserhaltevermögen und die Porosität beeinflussen (GROSU et al. 2012). In ihrer Studie konnten DEMIR und OZRENK (2009) nachweisen, dass geringe Anteile an Molke die Rate der Sporulation und Kolonisation von AMP erhöhen. Sie begründen ihre Ergebnisse u.a. durch den Laktosegehalt in Molke, der als Kohlenstoffquelle Energie für Mikroben liefert (DEMIR und OZRENK 2009). In der Literatur finden sich widersprüchliche Aussagen zur Wirkung von Laktose auf Mikroorganismen. CARVALHO et al. (2013) erwähnen, dass viele Laktose nicht als Kohlenstoffquelle nutzen können. Sauermolke enthält im Vergleich zu Süßmolke weniger Laktose (CARVALHO et al. 2013). Die Ergebnisse der pelletierten Variante mit Sauermolke weisen darauf hin, dass laktosearme Molke als Nährstoffquelle dienen kann.

Eine gesteigerte Effektivität der Pilze bemerkten DEMIR und OZRENK (2009) durch den Einsatz von Süßmolke. Die Linsenpflanzen konnten vereinfacht Nährstoffe aufnehmen, sodass die Nährstoffwerte in der Pflanze und im Boden stiegen (DEMIR und OZRENK 2009, GROSU et al. 2012). Bezüglich der Kolonisierung und Sporulation von AMP wurden höchste Werte bei niedrigster Molkegabe (50 ml kg^{-1}) erzielt (DEMIR und OZRENK 2009). SONNLEITNER et al. (2003) bestätigen gesteigerte Pilz- und Bakterienpopulationen durch Molke Applikationen.

GROSU et al. (2012) erzielten in Ihrem Versuch einen höheren Biomassertrag von Weizen, Soja und Brokkoli bei unterschiedlich hohen Dosen von Sauermolke. Auf Grundlage der Ergebnisse wird in allen Studien ein niedriger Einsatz von Molke als Düngemittel empfohlen. Zu hohe Dosen können sich nachteilig auf Mikroorganismen und die Bodenstruktur auswirken, unter anderem durch erhöhte Salzgehalte (CARVALHO et al. 2013, DEMIR und OZRENK 2009, GROSU et al. 2012, SONNLEITNER et al. 2003). Der Salzgehalt der verwendeten Sauermolke wird mit $0,1 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ als gering eingeschätzt. Die im Versuch verwendeten $6,7 \text{ ml}$ Molke je $334,8 \text{ g}$ Linsen, bzw. je 36 m^2 , waren sehr gering dosiert, sodass keine schädliche Wirkung vermutet wird. GROSU et al. (2012) bemerkten eine verzögerte Keimung aller Versuchspflanzen bei Molkedüngungen im Vergleich zur Kontrolle. Diese Beobachtung kann nicht bestätigt werden.

NTALLI et al. 2019 setzten Molke als natürliches Nematizid gegen die Wurzelgallenematode *Meloidogyne javanica* ein. Die mit Molke behandelten Tomatenpflanzen zeigten deutlich weniger Wurzelgallen als die unbehandelten. Daneben waren höhere Aktivitäten der Enzyme Phosphatase, Dehydrogenase und Urease nachweisbar. Dass Molke Pathogene verhindert, wurde an den Parzellen der Molkevariante nicht ersichtlich. Es konnten deutliche Krankheitssymptome beobachtet werden.

5.1.2 Baldrian

Die Parzellen der Baldrianvariante wirkten sehr frohwüchsig und dicht im Bestand. Diese Beobachtung wird durch einen höheren Deckungsgrad verglichen mit der Kontrolle, der pelletierten Kontrolle und Kompostvariante bestätigt. Bei der Bewertung des Deckungsgrads fielen Beikräuter mit in die Bewertung ein, sodass möglicherweise die Varianten mit Molke- und Baldrianzusatz höhere Werte durch einen größeren Anteil an Kräutern und Gräsern erzielten. Durch SCHMIDT (2002) kann diese Behauptung bestätigt werden. Er bemerkte bei Versuchen zur Düngewirkung von Baldrian, dass Parzellen mit Baldrianbehandlungen im Vergleich zu Parzellen mit einer üblichen P-Düngung erhöhte Kräuteranteile zeigten. Diese Wirkung wäre durch eine Ertragsminderung unerwünscht.

Linsenpflanzen der Baldrianvariante blühten durchschnittlich zwei Tage früher und waren neben der Variante mit Kompost am längsten. Dies könnte an einer verbesserten Phosphorerschließung der Pflanzen durch Baldrian liegen. Es ist möglich, dass die Phosphoreffizienz der Samen durch eine Baldrianbehandlung gesteigert wurde. Eine gute Phosphorversorgung des Samens erhöht die Wurzeloberfläche im Jungstadium einer Pflanze und ermöglicht somit eine bessere Nährstoffaufnahme (RILEY et al. 1993).

Nach Rudolf Steiner besitzt Baldrian eine besondere Beziehung zu Phosphor, als „Verwalter der Lichtkräfte“ (STEINER 1924). Er soll bewirken, dass sich der Boden gegenüber Phosphor richtig verhält und somit die Blüten- und Fruchtbildung angeregt werden (STEINER 1924). Hohe Nährstoffvorkommen an z.B. Phosphor im Baldrian werden in der Literatur nicht genannt. Wäre ein erhöhtes Phosphorkommen im Blütenpresssaft nachweisbar, könnte eine direkte Düngewirkung nicht ausgeschlossen werden. PENZKOFER und HEUBERGER (2020) erwähnen sekundäre Pflanzenstoffe im Baldrian, darunter ätherische Öle, Alkaloide und Flavonoide. Diese könnten wie pflanzeneigen produzierte Sekundärstoffe wirken. Sie böten Schutz vor Pathogenen und Fressfeinden. Dass sekundäre Pflanzenstoffe des Baldrians antimikrobielle Wirkungen auslösten wird nicht ausgeschlossen. Ein erhöhter Krankheitsbefall spricht jedoch gegen diese Vermutung. Parzellen dieser Variante waren stärker befallen, im Vergleich zu den Varianten mit Kompost und Molke.

5.1.3 Kompost

Die Linsenpflanzen der Variante mit Kompost machten den gesündesten Eindruck und wuchsen neben der Baldrianbehandlung durchschnittlich am stärksten in die Länge. THOMAS und SINGH (2019) betonen antimikrobielle Wirkungen kompostierender Mikroorganismen auf Parasiten und Pathogene. Diese Feststellung begründet den besseren Gesundheitszustand der Pflanzen dieser Variante. Inhaltsstoffe des Humus können schädliche Pflanzenpathogene, Pilze und Bakterien unterdrücken, vor allem bodenbürtige Krankheiten wie Wurzelfäule (ADHIKARY 2012).

Die Pflanzen der Samenpelletierung mit Molke und Baldrian sind stärker erkrankt, obwohl beide ebenfalls Kompost enthielten. Möglicherweise führte der geringere Anteil an Kompost von 1,8 g in den letzten beiden Varianten zu einer stärkeren Ausbreitung der Krankheiten, bot also weniger Schutz. Die Zusätze Molke und Baldrian könnten nicht nur pflanzenoptimierende Mikroorganismen gefördert, sondern gleichzeitig als Nahrungsgrundlage pathogener Organismen gedient haben. Konkurrenz um Nährstoffe und Nischen im Boden und die Produktion antagonistischer Sekundärmetaboliten kann zwischen Mikroorganismen auftreten (ROCHA et al. 2019a). Es ist auch möglich, dass zu den positiv getesteten Krankheiten weitere auftraten, die keine Berücksichtigung fanden, da lediglich probeweise Pflanzen zur Untersuchung eingeschickt wurden.

Trotz des geringsten Krankheitsbefalls, hatte diese Variante den schlechtesten Ertrag. Die verbesserte Wuchsleistung einiger Pflanzen der Variante mit Kompost führte wahrscheinlich zur intensiveren Lagerung. Starker Niederschlag am 08. August mit 37 mm, kann diesen Umstand begünstigt haben. Der geringe Ertrag der Baldrianvariante, mit ebenso langen Pflanzen, bekräftigt die Annahme.

Ein erhöhter Eintrag von Beikrautsamen durch die Pelletierung mit Kompost führte möglicherweise zu einem stärkeren Beikrautdruck (GRUBER et al. 2012), sodass sich konkurrenzschwache Linsenpflanzen schlechter entwickelten.

5.2 Pflanzen, Aussaat, Bodenbearbeitung

Die Wahl der Sorte und Saatgutreinheit nimmt Einfluss auf den Ertragserfolg (GRUBER et al. 2012). Die ausgewählte Linsensorte ‚Späths Albinse 1‘ wurde historisch auf der Schwäbischen Alb angebaut und ist an die dortigen geologischen und klimatischen Bedingungen durch züchterische Bearbeitung angepasst. Die Böden sind teilweise karg und steinig, durch Kalksteinverwitterung entstanden. Tiefgründige, humose Lehmböden aus abgeschwemmtem Bodenmaterial (Kolluvisol) über Lösslehm oder Kalksteinverwitterungston kommen ebenfalls vor (HAUFFE 2015). Durch die Ähnlichkeit der Bodenbeschaffenheit zur Versuchsfläche, mit einer guten Kalkversorgung, ist die Sorte für den standortspezifischen Anbau geeignet. In Indien wachsen die ursprünglicheren Sorten überwiegend auf leicht lehmigen Böden und Alluvionen (MATERNE und REDDY 2007). Die Saatgutreinheit konnte mit Hilfe einer manuellen Reinigung vor der Aussaat garantiert werden, sodass keine Unkrautsamen mit ausgebracht wurden.

Viele Autoren empfehlen einen Misanbau mit Getreide (HARMSSEN et al. 2001, GRUBER et al. 2012, SEKHON et al. 2007). Die Stützfrucht dient für ein aufrechtes Wachstum der Linsenpflanzen und zur Unterdrückung von Beikraut (GRUBER et al. 2012). Sekhon et al. (2007) erwähnen Lein zum Misanbau. Leindotter erwies sich überwiegend als geeignet, wobei stärkere Regenereignisse zur Lagerung führten. Tendenziell lagerten die Parzellen in Block D etwas stärker als die Blöcke am Klotzenbach in Block A. Annehmbar ist, dass je nach Windrichtung und -brechung, Parzellen unterschiedlich stark betroffen waren. Die unterschiedliche Bodenfeuchte wird als weitere Ursache gesehen. Parzellen des Blocks D am Waldrand hielten durch Beschattung der Bäume länger Feuchtigkeit im Oberboden. Die Wurzeln fanden weniger Halt in aufgeweichten Bereichen des Ackers.

Studien zum Linsenanbau in Mitteleuropa bestätigen die Erzielung höchster Erträge durch eine frühe Aussaat (GRUBER et al. 2012). Eine frühere Aussaat vor dem 08. April hätte wahrscheinlich zu einem schnelleren Feldaufgang geführt. Diese Vermutung wurde durch Beobachtungen einer früheren Pflanzenentwicklung bei anderen Linsenanbauern in der Umgebung bestätigt.

Gründliche Bodenbearbeitungen können Beikraut mindern (GRUBER et al. 2012). Wie GRUBER et al. (2012) erwähnen, ist die im Ökologischen Landbau betriebene Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug eine ausreichende zur Unterdrückung unerwünschter Samenkeimungen. Eine gute Bodengesundheit und -beschaffenheit fördert die Überlebens- und Etablierungsrate von Mikroorganismen (SOUZA et al. 2015). Geringe oder zu viel Feuchtigkeit und Bodendegradierung durch u.a. ein ungünstiges Bodenmanagement zeigen negative Effekte auf das Bodenleben (SOUZA et al. 2015). Dies spricht gegen eine Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Hackfrüchte wie Kartoffeln und Erdnüsse oder Getreide werden von GRUBER et al. (2012) als Vorfrüchte empfohlen. Die Einbindung in eine vielgestaltige Fruchtfolge wird betont (GRUBER et al. 2012). Zucchini und Petersilie als Vorkulturen in den Jahren 2018 – 2019 werden als weniger Beikraut unterdrückend eingeschätzt.

5.3 Boden, Witterung, Standort

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung zeigen eine Unterversorgung des Ackers mit Kalium und Phosphor, dagegen ein ausreichendes Vorkommen an Kalk und Magnesium. Als mittelschwerer Boden hat er eine gute Wasserspeicherkapazität und Luftdurchlässigkeit. PH-Werte um 7,0 sind optimal für das Linsenwachstum. Zu stark saure (pH < 5) und basische (pH > 9) Böden können das Wachstum einschränken (ALI et al. 2009).

MORADTALAB et al. (2018) definieren nasse, kalte Böden der temperierten Klimate im Frühling als stärkste Einschränkung bei der Kultivierung tropischer und subtropischer Kulturen wie Mais, Sojabohnen, Miscanthus oder Sorghum. Die Keimung und das Wurzelwachstum sind eingeschränkt. Die Diffusionsrate und Verfügbarkeit sowie Erschließung schwerlöslicher Nährstoffe können reduziert sein (MORADTALAB et al. 2018). Solche Kulturen sind weniger stressresistent und ertragsinstabil (MULDOON et al. 1984, MUHAMMAD et al. 2013). Zur Aussaat am 08. April lag die Tagestiefsttemperatur bei 6 °C mit vermutlich darunter liegenden Bodentemperaturen. Als nass wird der Boden zur und nach der Aussaat nicht eingestuft, durch fehlende Niederschläge. MORADTALAB et al. (2018) empfehlen Startergaben von Ammoniumphosphat in den flachen Unterboden, unter die Saat, zur Stressminderung. Möglicherweise wirkte die Behandlung mit Baldrian auf die Phosphorerschließung, sodass abiotischer Stress reduziert wurde. Diese Annahme erklärt den früheren Blühbeginn und eine gesteigerte Pflanzenhöhe der Linsenspflanzen durch eine Pelletierung mit Baldrianzusatz.

Blattspritzungen mit Mikronährstoffen wie Zink und Mangan können ebenfalls stressauslösende Reaktionen mindern (MORADTALAB et al. 2018), die allerdings im Stadium der Samenkeimung noch nicht durchführbar sind. In ihrer Studie zeigten MORADTALAB et al. (2018), dass Silicium als Samenapplikation ähnliche kältstressreduzierende Wirkungen zeigt. Es könnte sein, dass die im Bentonit enthaltenen Silikate ähnlich wirkten.

Die 20-tägige Trockenzeit nach der Aussaat verhinderte einen frühen Feldaufgang. Leindotter und Beikräuter standen in Konkurrenz zur knappen Verfügbarkeit des Bodewassers. Sie entwickelten sich früher als die Linsenpflanzen. Von Mai – Juli, war es vergleichsweise feucht. Maximale Tagestemperaturen von 20 bis 28 °C mit Niederschlagshöhen von 60 – 120 mm je Monat, erzeugten Schwüle, vor allem zur Zeit der Blüten- und Fruchtbildung. Nematoden, als aquatische Lebewesen sind zur Fortbewegung auf Wasser angewiesen (BÖRNER et al. 2009). Lange Strecken können sie nicht zurücklegen, sodass sie sich über infizierte Arbeitsgeräte und verschmutzte Schuhe ausbreiten (BÖRNER et al. 2009, CASTILLO und VOVLAS 2007). Eine gute Bodenfeuchte begünstigt allerdings die Wanderung aus tieferen Bodenschichten an die Oberfläche (BÖRNER et al. 2009). Die feuchten Sommermonate werden als Hauptursache für die starken Krankheitsausbreitungen gesehen. Besonders auf Standorten mit den Bodenarten „Sandiger Lehm“ (sL) bis „Lehmiger Sand“ (IS), können hohe Schäden durch frei lebende Wurzel nematoden entstehen (BÖRNER et al. 2009).

Nach SEKHON et al. (2007) begünstigen fehlende Feldrotationen Krankheiten an Linsen, überwiegend durch Nematoden verursacht. BÖRNER et al. (2009) widerlegen diese Aussage, da das breite Wirtspflanzenspektrum von *Pratylenchus* (Getreide, Ackergräser, Raps, Gemüse, Zwischenfrüchte) eine Befallsminderung durch geeignete Fruchtfolgegestaltungen verhindert. Sie erwähnen nematizide Feindpflanzen, wie einige Sorten der Studentenblume *Tagetes*, die jedoch wegen hoher Saatgutkosten und fehlender Spezial-Aussaatechniken weniger praktikabel sind (BÖRNER et al. 2009). Pfluglose Bodenbearbeitungen können die Mobilität der Schadtiere begrenzen (BÖRNER et al. 2009). Ganzjährige Feldbedeckungen oder durchgehende Verunkrautung und Vergrasung, wie sie im ökologischen Landbau häufiger auftreten, bieten optimale Lebensbedingungen (BÖRNER et al. 2009). Die Züchtung resistenter Sorten sei am effektivsten (BÖRNER et al. 2009). Nach MATERNE und REDDY (2007) sollen Zystennematoden wie *Heterodera ciceri*, auch aus der Ordnung Tylenchida, weniger ertragsreduzierend wirken, als Pilze auf infizierte Linsenpflanzen. BÖRNER et al. (2009) sprechen jedoch von möglichen Totalausfällen bei der Infektion mit pathogenen Nematoden.

Durch die Infektion mit phytoparasitären Nematoden erhöht sich die Anfälligkeit der Pflanzen für andere Schadorganismen, wie pathogene Pilze, Viren oder Bakterien (BÖRNER et al. 2009). Es ist möglich, dass sich die beiden nachgewiesenen viralen Erreger durch die Infektion mit den Endoparasiten stärker ausbreiteten. Die Ausbreitung aller Krankheitserreger könnte auf geschwächte Pflanzen hinweisen. Resistenzen gegenüber pilzlichen, viralen und bakteriellen Pathogenen sind bei einer Unterversorgung der Pflanzen mit Nährstoffen nicht gegeben (HERLIHY und CARROLL 1969). Dies würde bedeuten, dass die Pelletierung in ungenügendem Umfang die Nährstoffversorgung der Linsenspflanzen steigerte oder der staunasse Boden möglicherweise die Wurzelatmung einschränkte. Der im Versuch flächendeckende Befall wird als wichtige Ursache der starken Ertragsminderung gesehen. Kranke Linsenspflanzen wurden erheblich geschädigt mit teilweise flächigen Ausfällen.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse des Feldversuchs geben Hinweise auf eine Wirkung von Saatgutbehandlungen auf Linsenpflanzen. Die Kontrolle schnitt, außer beim Ertrag, bei allen weiteren pflanzenbaulichen Kriterien am schlechtesten ab. Eine Pelletierung mit Molke wirkte auf die meisten pflanzenbaulichen Parameter fördernd. Auffällig war der hohe Krankheitsbefall pelletierter Samen. Eine reine Kompostbehandlung mit einem erhöhten Kompostanteil in der Hülle, hemmte Pathogene am stärksten.

Einschränkend muss betont werden, dass hohe Schwankungen der Wiederholungen einer Variante die Beurteilung der Wirkung verschiedener Pelletierungen erschwerte. Der hohe Unkrautdruck und die starke Krankheitsausbreitung verringerten das Ernteergebnis stark. Auf eine statistische Auswertung des Versuchs mit einer Varianzanalyse wurde daher verzichtet. Die Hypothese, dass der Mantel schutz- und keimfördernd wirkt und die Ertragsleistung steigert, kann durch den Feldversuch nicht sicher geklärt werden. Die Trockenheit zur Aussaat verhinderte eine frühe Keimung. Die Pelletierung förderte die Keimung nicht in dem Umfang, dass die Linsenpflanzen vor dem Beginn der Niederschlagsperiode wuchsen. Die Pelletierung könnte hier sogar konträr gewirkt haben. Die Samen begannen zu keimen, starben jedoch durch fehlende Feuchtigkeit nach der Aussaat im Boden ab.

In der Literatur werden vielfach wachstumsfördernde Eigenschaften durch Saatgutpelletierungen beschrieben. Eine schnellere und einheitlichere Keimung, ein besseres Pflanzenwachstum und Krankheitsunterdrückungen werden häufig genannt. Die Inhaltsstoffe der Saatmäntel und die Art der Pelletierung sind hierbei erfolgsentscheidend, sodass diese erst nach sorgfältiger Prüfung eingesetzt werden sollten. Eine dicke Kruste wirkt nachteilig. Die Keimung wäre verzögert, vermindert oder gestört. Möglicherweise treten toxische Wirkungen auf. Ein zu dünner Mantel könnte schon vor der Aussaat geschädigt werden oder das Überleben von Mikroorganismen gefährden. Weitere Studien könnten optimierte Zusammensetzungen der Pelletierung analysieren. Interessant wäre auch, inwiefern einzelne Mikroorganismen als Beigabe der Hülle wirken, wie es in einigen Arbeiten bereits durchgeführt wurde.

Zur Feststellung der Wirkung von Pelletierungen mit Zusätzen wie Kompost, Molke und Baldrian auf Linsensamen, ist eine Fortführung des Versuchs über mehrere Jahre sinnvoll. Folgende Feldversuche sollten auf Flächen mit geeigneten Vorfrüchten durchgeführt werden. Eine optimale Feldhygiene ist gerade bei konkurrenzschwachen Linsenpflanzen wichtig. Die Bodenbearbeitung und der Mischungspartner könnten in weiteren Untersuchungen angepasst werden.

7 Zusammenfassung

Ziel des Feldversuchs war die Untersuchung verschiedener Pelletierungsvarianten mit organischen und anorganischen Inhaltsstoffen auf pflanzenbauliche Parameter von Linsenpflanzen. Zusätze des Mantels mit Molke und Baldrian zeigten einen höheren Deckungsgrad, früheren Blühbeginn und durchschnittlich höchste Erträge. Eine Pelletierung mit Kompost wirkte sich positiv auf die Pflanzenhöhe und Gesundheit der Linsenpflanzen aus. Die pelletierten Samen erhalten eine Art Schutzmantel, der keim- und wachstumsfördernd wirken kann. Mikroorganismen könnten sich durch die Optimierung des Bodenmikrobioms besser entwickeln, sodass das Pflanzenwachstum angeregt wird und Pathogene gehemmt werden. Das Verbot des Verwendens chemisch-synthetischer Dünge- und Pflanzenschutzmittel im ökologischen Landbau erfordert alternative Hilfsstoffe. Saatpelletierungen mit geeigneten Inhaltsstoffen können als Ergänzung üblicher Düngestrategien zur Förderung von Bodenmikroorganismen und der Nährstoffversorgung von Linsenpflanzen eingesetzt werden.

8 Literaturverzeichnis

- ADHIKARY, S. (2012) Vermicompost the story of organic gold: A review. In: *AS 03* (07), S. 905-917. DOI: 10.4236/as.2012.37110.
- ANSARI, A.A., Ori, L., Ramnarain, Y.I. (2020) An Effective Waste Recycling Through Vermicompost Technology for Soil Health Restoration. In: Meena, R.S. (eds.) *Soil health and Restoration Management*, S. 83-112. DOI: 10.1007/978-981-13-8570-4_3.
- ALI M., Dahan R., Mishra, J.P., Saxena N.P. (2000) Towards the More Efficient Use of Water and Nutrients in Food Legume Cropping. In: Knight, R. (eds.) *Linking Research and Marketing Opportunities for Pulses in the 21st Century*. Dordrecht: Springer Netherlands, S. 355–368. DOI: 10.1007/978-94-011-4385-1_32.
- ALI M., Singh, K.K., Pramanik, S.C., Ali, M.O. (2009) Cropping Systems and Production Agronomy. In: Erskine, W., Muehlbauer, F.J., Sarker, A., Sharma, B. (eds.) *The lentil. Botany, production and uses*. Cambridge, Mass.: CABI, S. 213-228.
- BAHRAM, M., Hildebrand, F., Forslund, S.K., Anderson, J.L., Soudzilovskaia, N.A., Bodegom, P.M. et al. (2018) Structure and function of the global topsoil microbiome. In: *Nature* 560 (7717), S. 233–237. DOI: 10.1038/s41586-018-0386-6.
- BENNETT, G.M. und LLOYD, J. (2015) Legume Seed Inoculation and Coating. In: *Seed Inoculation, Coating and Precision Pelleting*. CRC Press, S. 81-163. DOI: 10.1201/b19298.
- BERG, G., Zachow, C., Müller, H., Philipps, J., Tilcher, R. (2013) Next-Generation Bio-Products Sowing the Seeds of Success for Sustainable Agriculture. In: *Agronomy* 3 (4), S. 648–656. DOI: 10.3390/agronomy3040648.
- BORESCH, K. (2013) Kreislauf der Stoffe in der Natur. In: Boresch, K., Dühring, F., Feichtinger, K. (eds.) *Pflanzenernährung*. Erster Band, S. 285-328. DOI: 10.1007/978-3-642-99601-6_3.
- BÖRNER, H., Schlüter, K., Aumann, J. (2009) Nematoden. In: Börner (ed.) 2009 – *Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, S. 137-163. DOI: 10.1007/978-3-540-49068-5_8.
- BULGARELLI, D., Schlaeppi, K., Spaepen, S., van Themaat, E.V. L., Schulze-Lefert, P. (2013) Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. In: *Annu. Rev. Plant Biol.* 64, S. 807–838. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050312-120106.
- BUNDESSORTENAMT (2000) Besondere Bestimmungen für die einzelnen Pflanzenarten – Futtererbse (Körnernutzung) In: *Richtlinien für die Durchführung von Wertprüfungen und Sortenversuchen*, Online verfügbar unter: https://www.bundessortenamt.de/bsa/media/Files/Richtlinie_LW2000.pdf, zuletzt geprüft am 02.01.20.

- CARVALHO, F., Prazeres, A.R., Rivas, J. (2013) Cheese whey wastewater: characterization and treatment. In: *The Science of the total environment* 445-446, S. 385-396. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.12.038.
- CASTILLO, P. und Vovlas, N. (2007) Pratylenchus (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, biology, pathogenicity and management In: *Nematology monographs and perspectives* 6. ISBN: 978-90-47-42401-7.
- CHANDA, A., Maghrawy, H., Sayour, H., Gummadidala, P.M, Gomaa, O.M. (2020) Impact of Climate Change on Plant-Associated Fungi. In: Negm, A.M. und Omran, E.S.E. (eds.): *Climate Change Impacts on Agriculture and Food Security in Egypt*, S. 83-96. DOI: 10.1007/978-3-030-41629-4_5.
- CHEN, W., Basandrai, A.K., Basandrai, D. Banniza, S., Bayaa, B., Buchwaldt, L., Davidson, J., Larsen, R., Rubiales, D., Taylor, P.W.J. (2009) Diseases and their Management. In: Erskine, W. et al. (eds.) *The lentil. Botany, production and uses*. Cambridge, Mass.: CABI, S. 262-281.
- CUBERO, J.I, Pérez de la Vega, M., Fratini, R. (2009) Origin, Phylogeny, Domestication and Spread. In: Erskine, W. et al. (eds.) *The lentil. Botany, production and uses*. Cambridge, Mass.: CABI, S. 13-33.
- DEAKER R. (2004) Legume seed inoculation technology – a review. In: *Soil Biology and Biochemistry* 36 (8), S. 1275-1288. DOI: 10.1016/j.soilbio.2004.04.009.
- DEMIR, S. und OZRENK, E. (2009) Effects of whey on the colonization and sporulation of arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus intraradices*, in lentil (*Lens orientalis*). In: *African Journal of Biotechnology* 8 (10), S. 2151-2156. DOI: 10.5897/AJB 09.075.
- DUKE J.A. (1981) *Handbook of legumes of world economic importance*. Plenum Press, NewYork; London, S. 52–57.
- FRIEDEL, J.K. (2008) Aktive Nährstoffmobilisierung und ihre Bedeutung für die Düngungspraxis im Biologischen Landbau. In: *Umweltökologisches Symposium 2008*. LFZ Raumberg-Gumpenstein, S. 35-39.
- FUKUOKA, M., (1978) *The one-straw revolution: an introduction to natural farming*. Hoshangabad: Friends Rural Centre.
- GAPP, E. (2017) Merkblatt Kulturanleitung Linsen. In: *Bioland Beratung*.
- GOOGLE MAPS (2020) <https://www.google.com/maps/place/Keyserlingk-Institut>, zuletzt geprüft am 11.01.20.
- GROSU, L., Fernandez, B., Grigoras, C.G., Patriciu, O.I., Grig-Alexa, I.C., Nicuta, D. et al. (2012) Valorization of whey from dairy industry for agricultural use as fertilizer: Effects on plant germination and growth. In: *Environ. Eng. Manag. J.* 11 (12), S. 2203-2210. DOI: 10.30638/eemj.2012.273.

- GRUBER, S., Wahl, E., Zikeli, S., Claupein, W. (2012) Perspektiven und Grenzen der Unkrautregulierung bei Linsen (*Lens culinaris*) im Ökologischen Landbau. In: *Journal für Kulturpflanzen*, 64 (10), S. 365-377, ISSN 1867-0911.
- HAGEDORN, D.J. (2013) Pea Enation Mosaic Enamovirus: Ecology and Control. In: Harrison, M. (ed.) 2013 – Plant viruses: Springer-Verlag. New York, S. 345-356.
- HAKALA, M.R., Söderkulla, F.I., Lukkarinen, P., Peltonen, J., Hero, H. (2005) Fixiermittel in Form einer Suspension oder Emulsion des Öl/Wasser-Typs sowie dessen Herstellung. In: *Patent (DE60200834T2)*. Bundesrepublik Deutschland Deutsches Patent- und Markenamt.
- HALMER, P. (2008) Seed technology and seed enhancement. In: *Acta Hort.*, 771 (771), S. 17-26. DOI: 10.17660/ActaHortic.2008.771.1.
- HARMSSEN, K., Matar, A.E., Saxena, M.C., Silim, S.N. (2001) Yield response to phosphorus fertilizer in a wheat-lentil rotation in a Mediterranean environment. In: *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences* 49 (4), S. 385–404. DOI: 10.1016/S1573-5214(01)80025-7.
- HARTL, W., Erhart, E., Putz, B. (1999) Beitrag von Biotonnenkompost zur Nährstoffversorgung in viehlosen ökologisch wirtschaftenden Betrieben. In: Hoffmann, H. und Müller, S. (eds.): Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Berlin, Verlag Dr. Koster, Berlin, S. 93 - 96.
- HAUFFE, H.K. (2015) Boden, Böden, Bodenschutz, S. 24-25. Online verfügbar unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publicationen/Umwelt/Boden_Boeden_Bodenschutz.pdf, zuletzt geprüft am 08.01.20.
- HERLIHY, M. und CARROLL, P.J. (1969) Effects of N, P and K and their interactions on yield, tuber blight and quality of potatoes. In: *J. Sci. Food and Agric.* 20, S. 513-517.
- HIRSCH, A.M., und FUJISHIGE, N.A. (2012) “Molecular Signals and Receptors: Communication Between Nitrogen-Fixing Bacteria and Their Plant Hosts. In: Witzany, G. und Baluška, F. (eds.): Biocommunication of Plants, Berlin: Springer, S. 255–280. DOI: 10.1007/978-3-642-23524-5.
- HIRSCH, P.R. und MAUCLINE, T.H. (2012) Who’s who in the plant root microbiome? In: *Nat. Biotechnol.* 30 (10), S. 961–962. DOI: 10.1038/nbt.2387.
- HENNENKÄMPER, U. (2008) Wirkungen eines Präparates aus den Blüten des Baldrian (*Valeriana officinalis*) auf die Phosphoreffizienz von Hafer (*Avena sativa*) und weißer Lupine (*Lupinus albus*). Diplomarbeit, Universität Kassel. Online verfügbar unter: <https://www.saatgut-forschung.de/publikationen/biologisch-dynamische-pr%C3%A4parate/>, zuletzt geprüft am 20.12.20.

- KUMAR SOOTAHAR, M., Zeng, X., Wang, Y., Su, S., Soothar, P., Bai, L. et al. (2020): The Short-Term Effects of Mineral- and Plant-Derived Fulvic Acids on Some Selected Soil Properties: Improvement in the Growth, Yield, and Mineral Nutritional Status of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Soils of Contrasting Textures. In: *Plants (Basel, Switzerland)* 9 (2), S. 205. DOI: 10.3390/plants9020205.
- LADIZINSKY, G. (1979) The Origin of lentil and its wild genepool. In: *Euphytica*. 28 (1), S. 179–187. DOI: 10.1007/BF00029189.
- LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU (2017) Geowissenschaftliches Portal für Baden-Württemberg. Online verfügbar unter: <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/bodenkunde/jungmoraenen-huegelland/bodeneigenschaften>. zuletzt geprüft am 15.12.20.
- LIRA, M.A., Nascimento, L.R.S., Fracetto, G.M. (2015) Legume-rhizobia signal exchange: promiscuity and environmental effects. In: *Frontiers in Microbiology*. Volume 6. Art. 945. S. 15-23.
- MAHLER, R.L. (2015) Lentils: Northern Idaho Fertilizer Guide. In: *UI Extension publishing catalog*. Online verfügbar unter: <https://www.extension.uidaho.edu/publishing/pdf/CIS/CIS1083.pdf>, zuletzt geprüft am 25.12.20.
- MATERNE, M. und Reddy, A.A. (2007) Commercial Cultivation and Profitability. In: Yadav, S.S., McNeil, D.L. und Stevenson, P.C. (eds) *Lentil: an Ancient Crop for Modern Times*. Springer, Heidelberg, S. 173–186.
- MATERNE, M., McNeil, D., Hobson, K., Ford, R. (2007) Abiotic Stresses. In: Yadav, S.S., McNeil, D.L. und Stevenson, P.C. (eds) *Lentil: an Ancient Crop for Modern Times*. Springer, Heidelberg, S. 315–330.
- MCKENZIE, B.A., Andrews, M., Hill, G.D. (2007) Nutrient and irrigation management. In: Yadav, S.S., McNeil, D.L. und Stevenson, P.C. (eds) *Lentil: an Ancient Crop for Modern Times*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, S. 145–158.
- MCNEIL, D.L. und MATERNE, M.A. (2007) Rhizobium management and nitrogen fixation. In: Yadav, S.S., McNeil, D.L., Stevenson, P.C. (eds) *Lentil: an Ancient Crop for Modern Times*. Springer, Heidelberg, S. 127–143.
- MCNEIL, D.L., Hill, G.D., Materne, M., McKenzie, B.A. (2007) Global Production and World Trade. In: Yadav, S.S., McNeil, D.L., Stevenson, P.C. (eds) *Lentil: an Ancient Crop for Modern Times*. Springer, Heidelberg, S. 95–105.
- MORADTALAB, N., Weinmann, M., Walker, F., Höglinger, B., Ludwig, U., Neumann, G. (2018) Silicon Improves Chilling Tolerance During Early Growth of Maize by Effects on Micronutrient Homeostasis and Hormonal Balances. In: *Front. Plant Sci.* 9, S. 420. DOI: 10.3389/fpls.2018.00420.

- MUEHLBAUER F.J., Cubero, J.I., Summerfield, R.J. (1985) Lentil (*Lens culinaris* Medik.). In: Summerfield, R.J., Roberts, E.I. (eds) *Grain Legume Crops*. Collins, 8 Grafton Street, London, UK, S. 266–311.
- MUHAMMAD, I., Mahmood, A., Römheld, V., Neumann, G. (2013) Accumulation and distribution of Zn and Mn in soybean seeds after nutrient seed priming and its contribution to plant growth under Zn- and Mn- deficient conditions. In: *Journal of Plant Nutrition* 40 (5), S. 695-708. DOI: 10.1080/01904167.2016.1262400.
- MULDOON, D.K., Wheeler, J.L., und Pearson, C.J. (1984) Growth mineral composition and digestibility of maize sorghum and barnyard millets at different temperatures. In: *Aust. J. Agric. Res.* 35, S. 367–368. DOI: 10.1071/AR9840367.
- NELSON, E.B. (2018) The seed microbiome: Origins, interactions, and impacts. In: *Plant Soil* 422 (1-2), S. 7–34. DOI: 10.1007/s11104-017-3289-7.
- NTALLI, N., Tsiafouli, M.A., Tzani, K., Mavridi, O., Oplos, C., Menkissoglu-Spiroudi, U., Monokrousos, N. (2019) Whey: The Soil Bio-Community Enhancer That Selectively Controls Root-Knot Nematodes. In: *Plants* (Basel, Switzerland) 8 (11), S. 445. DOI: 10.3390/plants8110445.
- NWANKWO, C.I., Blaser, S.R.G.A., Vetterlein, D., Neumann, G., Herrmann, L. (2018) Seedball-induced changes of root growth and physico-chemical properties - a case study with pearl millet. In: *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 181 (5), S. 768–776. DOI: 10.1002/jpln.201800059.
- PEDRINI, S., Merritt, D.J., Stevens, J., Dixon, K. (2017) Seed Coating: Science or Marketing Spin?. In: *Trends in Plant Science* 22 (2), S. 106-116. DOI: 10.1016/j.tplants.2016.11.002.
- PENZKOFER, M., und HEUBERGER, H. (2020) *Valeriana officinalis* L. s.l.: Valerian. In: Novak, J. und Blüthner, W.D. (eds.) *Medicinal, aromatic and stimulant plants*, Handbook of plant breeding 12, S. 559-603. DOI: 10.1007/978-3-030-38792-1_19.
- PFEFFER, W. (1881) *Pflanzenphysiologie*. Band 1, Stoffwechsel, 383 Seiten, Leipzig: Engelmann.
- QIU, Y., Amirkhani, M., Mayton, H., Chen, Z., Taylor, A.G. (2020) Biostimulant Seed Coating Treatments to Improve Cover Crop Germination and Seedling Growth. In: *Agronomy* 10 (2), S. 154. DOI: 10.3390/agronomy10020154.
- RAWAL, V. und BANSAL, V. (2019) Lentil: Emergence of large-scale, export-oriented production. Kap. 5, S. 71-85. In: Rawal, V. und Navarro, D.K., *The Global Economy of Pulses*. Rome, FAO.

- RILEY, M.M., Adcock, K.G., Bolland, M.D.A. (1993) A small increase in the concentration of phosphorus in the sown seed increased the early growth of wheat. In: *Journal of Plant Nutrition* 16 (5), S. 851-864. DOI: 10.1080/01904169309364579.
- ROCHA, I., Ying, M., Souza-Alonso, P., Vosátka, M., Freitas, H., Oliveira, R. (2019a) Seed Coating: A Tool for Delivering Beneficial Microbes to Agricultural Crops. In: *Front. Plant Sci.* 10, S. 1357. DOI: 10.3389/fpls.2019.01357.
- ROCHA, I., Souza-Alonso, P., Pereira, G., Ma, Y., Vosatka, M., Freitas, H., Oliveira R.S. (2019b) Using microbial seed coating für improving cowpea productivity under a low-input agricultural system. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100 (3), S. 1092-1098. DOI: 10.1002/jsfa.10117.
- RODRIGUEZ, H. und FRAGA, R. (1999) Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. In: *Biotechnology Advances* 17 (4-5), S. 319-339. DOI: 10.1016/S0734-9750(99)00014-2.
- ROKIB, A. und MONJIL, M. (2017) Fungicidal seed treatment on germination and seedling vigour of lentil var. BINA Masur-3. In: *Asian J. Med. Biol. Res.* 3 (1), S. 140-144. DOI: 10.3329/ajmbr.v3i1.32050.
- RÖMER, W. und LEHNE, P. (2004) Vernachlässigte Phosphor- und Kaliumdüngung im ökologischen Landbau senkt die biologische Stickstofffixierung bei Rotklee und den Kornertrag bei nachfolgendem Hafer. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167 (1), S 106-113.
- SAEID, A., Prochownik, E., Dobrowolska-Iwanek, J. (2018) Phosphorus Solubilization by *Bacillus* Species. In: *Molecules*. 23 (11), S. 2897. DOI: 10.3390/molecules23112897.
- SANDHU, J.S. und SINGH, S. (2007) History and Origin. In: Yadav, S.S., McNeil, D.L., Stevenson, P.C. (eds) *Lentil: an Ancient Crop for Modern Times*. Springer, Heidelberg, S.1-11.
- SAXENA, M.C. (2009) Plant Morphology, Anatomy and Growth Habit. In: Erskine, William: *The lentil. Botany, production and uses*. Cambridge, Mass.: CABI, S. 34-46.
- SCHMIDT, R. (2002) Baldrianpräparat im Vergleich mit verschiedenen Phosphordüngern im Grünland. *Lebendige Erde* 5, S. 46-47. Verfügbar unter: <https://orgprints.org/26705/1/Baldrianpraep.pdf>, zuletzt geprüft am 11.01.20.
- SEKHON, H.S., Singh, G., Ram, H. (2007) Lentil-based cropping systems. In: Yadav, S.S., McNeil, D.L., Stevenson, P.C (eds.), *Lentil: An Ancient Crop for Modern Times*, Springer, Heidelberg, S. 107-126.
- SHARMA, S.B., Sayyed, R.Z., Trivedi, M.H., Gobi, T.A. (2013) Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. In: *SpringerPlus* 2 (1), S. 587. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587.

- SHYAM, S., Stevenson, P.C., Rizvi, A.H., Manohar, M., Gailing, S., Mateljan, G. (2007) Uses and Consumption. In: Yadav, S.S., McNeil, D.L., Stevenson, P.C. (eds) *Lentil: an Ancient Crop for Modern Times*. Springer, Heidelberg, S. 33-46.
- SMITH, D.L., Gravel, V., Yergeau, E. (2017) Editorial: Signaling in the Phytomicrobiome. In: *Frontiers in Plant Science* 8, S. 611. DOI: 10.3389/fpls.2017.00611.
- SONNLEITNER, R., Lorbeer, E., Schinner, F. (2003) Effects of straw, vegetable oil, and whey on physical and microbiological properties of a chernozem. In: *Applied Soil Ecology* 22 (3), S. 195-204. DOI: 10.1016/S0929-1393(02)00159-2.
- SOUZA, R., Ambrosini, A., Passaglia, L.M.P. (2015) Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. In: *Genetics and Molecular Biology* 38 (4), S. 401-419. DOI: 10.1590/S1415-475738420150053.
- SRIDEVI, M. und MALLAIAH, K.V. (2009) Phosphate solubilization by Rhizobium strains. In: *Indian J. Microbiol.* 49 (1), S. 98-102. DOI: 10.1007/s12088-009-0005-1.
- STEINER, R. (1924) *Geisteswissenschaftliche Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft*. Landwirtschaftlicher Kurs. Rudolf Steiner Verlag. 4. Auflage 2010. Verfügbar unter: <http://anthroposophie.byu.edu/vortraege/327.pdf>, zuletzt geprüft am 06.01.20.
- TAYLOR, A.G., Allen, P.S., Bennett, M.A. (1998) Seed enhancements. In: *Seed Sci. Res.* 8 (2), S. 245-256. DOI: 10.1017/S0960258500004141.
- TAYLOR, A.G. und HARMAN, G.E. (1990) Concepts and Technologies of Selected Seed Treatments. In: *Annu. Rev. Phytopathol.* 28 (1), S. 321-229. DOI: 10.1146/annurev.py.28.090190.001541.
- TAYLOR, P., Lindbeck, K., Chen, W., Ford, R. (2007) Lentil Diseases. In: Yadav, S.S., McNeil, D.L., Stevenson, P.C. (eds.) *Lentil: an Ancient Crop for Modern Times*. Springer, Heidelberg, S. 1–11.
- THOMAS, L. und SINGH, I. (2019) Microbial Biofertilizers: Types and Applications. In: Giri, B., Prasad, R., Wu, Q.S., Varma, A. (eds.) *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment*. Springer Nature Switzerland, S. 1-19.
- YADAV, S.S., McNeil, D.L., Andrews, M., Chen, C., Brand, J., Singh, G., Shivakumar, B.G., Gangaiah, B. (2009) Soil Nutrient Management. In: Erskine, W. *The lentil. Botany, production and uses*. Cambridge, Mass.: CABI, S. 194-212.
- ZOHARY, D. (1972) The wild progenitor and place of origin of the cultivated lentil: *Lens culinaris*. In: *Econ Bot* 26 (4), S. 326–332. DOI: 10.1007/BF02860702.

9 Anhang



Abbildung 12: Kranke Linsenpflanze (eigene Aufnahme; 17.06.20)



Abbildung 13: Kranke Linsenpflanzen auf einer Parzelle der Molkevariante – d4 (eigene Aufnahme; 26.06.20)

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig angefertigt habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese schriftliche Arbeit wurde noch an keiner Stelle vorgelegt.

Berlin, 16. Februar 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A. NG' with a stylized flourish at the end.