



**Hochschule
für nachhaltige Entwicklung
Eberswalde**

Fachbereich Landschaftsnutzung
und Naturschutz

Fachgebiet Agrarökologie und
nachhaltige Anbausysteme
- Prof. Dr. agr. Ralf Bloch -

**Ökonomische Bewertung der Eigenproduktion und des
innerbetrieblichen Transfers von Bitterlupinenschrot zur
Stickstoffdüngung von Winterweizen**

Masterarbeit

im Studiengang Öko-Agrarmanagement (M.Sc.)

vorgelegt von

Lino Kolb

Matrikelnummer: 18211889

1. Gutachter: Prof. Dr. agr. Ralf Bloch
2. Gutachterin: Charlotte Kling, M. Sc.

Eberswalde, 04. Juni 2021

Kurzfassung

Futterleguminosen nehmen aufgrund ihrer hohen symbiotischen N-Fixierungsleistung und Humusreproduktion die zentrale Rolle im Nährstoffmanagement ökologischer Fruchtfolgen ein. An die anspruchsvollen natürlichen Standortbedingungen in Brandenburg (leichte Böden und Trockenheit), welche sich im Zuge des Klimawandels voraussichtlich noch verschärfen werden, sind sie allerdings weniger gut angepasst. Zusätzlich wirtschaften ökologische Betriebe vermehrt viehlos, weshalb die Verfügbarkeit von Wirtschaftsdüngern abnimmt. Dem Nährstoffmanagement im Ökolandbau könnte damit langfristig eine zeitlich und räumlich flexibel einsetzbare N-Quelle fehlen.

Lupinen sind an die Brandenburger Standortbedingungen angepasst. Sie können auf dem eigenen Betrieb produziert und die Körner als Schrot in gut kontrollierbaren Mengen zeitlich und räumlich flexibel ausgebracht werden. Für den ökologischen Anbau sind Bitterlupinen (alkaloidreiche Lupinensorten) besser geeignet als Süßlupinen. Allerdings haben Bitterlupinen bisher als Körnerleguminosen keine Anbaubedeutung und die Verwendung von Bitterlupinenschrot zur N-Düngung ist kaum erforscht.

Diese Arbeit betrachtet modellhaft den Einsatz von Bitterlupinenschrot im innerbetrieblichen Nährstoffmanagement unter ökonomischen Gesichtspunkten, indem standardisierte Kalkulationsdaten betriebsindividuell an die Bedingungen und das Vorgehen eines Praxisbetriebs angepasst wurden. Mit Fokus auf den Standort Brandenburg wird folgende Fragestellung beantwortet: Können beim Einsatz von Bitterlupinenschrot, das auf dem eigenen Betrieb erzeugt und als mobiler, organischer N-Dünger in einem Winterweizen eingesetzt wird, die Kosten für die N-Bereitstellung durch die Erhöhung des Ertrags und der Qualität des Weizens mindestens gedeckt werden?

In Abhängigkeit der Herstellungskosten von Bitterlupinenschrot ($772,52 \text{ € ha}^{-1}$) und möglicher Bitterlupinen-N-Erträge am Brandenburger Standort ($70 - 140 \text{ kg N ha}^{-1}$) wurden die N-Nährstoffkosten berechnet. Mit $5,50 - 11,00 \text{ € kg}^{-1} \text{ N}$ liegen diese für Bitterlupinenschrot im Bereich der Kosten pflanzlicher Handelsdüngemittel, jedoch deutlich über denen tierischer Herkunft sowie den Bereitstellungskosten von Stickstoff aus dem Anbau von Klee gras. Aufgrund fehlender Praxisdaten stellen die N-Erträge von Bitterlupinen allerdings einen unsicheren Einflussfaktor auf die N-Nährstoffkosten dar.

Mit Hilfe der Düngebedarfsermittlung der Düngeverordnung (DüV) wurde anschließend der N-Bedarf verschiedener Kombinationen aus Qualitätsklassen und Ertragsniveaus eines Winterweizens festgelegt. Die N-Bedarfswerte wurden ohne Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit des organischen Stickstoffs aus dem Bitterlupinenschrot auf $64 - 159 \text{ kg N ha}^{-1}$ errechnet. Unter Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit in Höhe von 50 % schlägt ein N-Bedarf von $127 - 317 \text{ kg N ha}^{-1}$ zu Buche. Muss dieser zum Teil sehr hohe N-Bedarf des Winterweizens aus den N-Erträgen der Bitterlupine gedeckt werden, stellt dies die Fruchtfolgeplanung eines Marktfruchtbetriebs vor große Probleme. Die Bedarfswerte für ökologisch produzierten Weizen sind vermutlich jedoch deutlich niedriger anzusetzen, da bezweifelt wird, dass die DüV die Bedingungen des Ökolandbaus hinsichtlich der besonderen Anforderungen des Nährstoffmanagements hinreichend berücksichtigt.

Unter den berechneten Annahmen konnten die N-Bereitstellungskosten für Bitterlupinenschrot nur dann gedeckt werden, wenn sich erstens durch die Düngung hohe Flächenerträge und eine sehr gute backtechnische Qualität des Weizens realisieren ließe, zweitens die N-Nährstoffkosten infolge hoher Bitterlupinen-N-Erträge sehr niedrig sind und drittens bei der Ermittlung des Düngebedarfs die Mindestwirksamkeit von organischen Düngern außer Acht gelassen wird. Somit wird geschlussfolgert, dass die ausschließliche Düngung eines Winterweizens mit Bitterlupinenschrot zur Zeit nicht wirtschaftlich darstellbar ist. Allerdings konnten zur Einordnung der Ergebnisse nur Referenzwerte von Produktionsverfahren herangezogen werden, in denen die Düngebereitstellung kostenlos auf Basis von Wirtschaftsdüngern aus der Tierhaltung erfolgte.

Mit Blick auf die Auswirkungen des Klimawandels ist das Potenzial der Bitterlupine jedoch nicht zu unterschätzen. Auf Grundlage der Ergebnisse lässt sich festhalten, dass der Forschungsbedarf zum Anbau und der Verwendung von Bitterlupinen als flexibler N-Dünger noch nicht gedeckt ist.

Summary

Forage legumes play a central role in the nutrient management of organic farms due to their high capability of N fixation and humus reproduction. However, they are less well adapted to the demanding natural conditions in Brandenburg (light soils and drought), which are expected to become even less favourable in the course of climate change. In addition, there is an increasing number of stockless organic farms, which leads to a lack of farm manure. In the long run, nutrient management in organic farming could thus be lacking a temporally and spatially flexible N source.

Lupins are adapted to the conditions in Brandenburg. They can be produced on farm and the grains can be spread as meal in easily controllable quantities, flexible in time and space. For organic farming, bitter lupins (alkaloid-rich lupin varieties), which have had no relevance as grain legumes so far, are more suitable than sweet lupins. There is little research on the use of bitter lupin meal up until now.

This thesis examines the use of bitter lupin meal in nutrient management from an economic point of view by adapting standardized planning data to the conditions and approach of an existing farm. With focus on Brandenburg, the following question is answered: Can the costs for the N supply from bitter lupin meal, which is produced on farm and applied as a flexible fertilizer, be covered by the increase of yield and quality of winter wheat?

Costs of N were calculated depending on the production costs of bitter lupin meal (772.52 € ha⁻¹) and feasible lupin N yields in Brandenburg (70 – 140 kg N ha⁻¹). With a range of 5.50 - 11.00 € kg⁻¹ N costs are similar to those of commercial organic fertilizers of plant origin but significantly above those of animal origin as well as the production costs of N from the cultivation of clover grass. However, due to a lack of data from practice, N yields from bitter lupins are an uncertain factor influencing the N costs.

The calculation model for fertilizer requirements of the German Fertilizer Ordinance (DüV) was then used to determine the N requirements of various combinations of quality and yield of a winter wheat crop. The N requirements were calculated to be 64 – 159 kg N ha⁻¹ without taking into account the minimum turnover of organic N from the bitter lupin meal and 127 – 317 kg N ha⁻¹ when applying a minimum turnover of 50 %. If N yields from bitter lupin

have to cover the at times very high N requirement of winter wheat, this poses major issues to planning crop rotation of a cash crop farm. However, the N requirements for organically produced wheat are presumably to be set significantly lower, since it is doubted whether the DüV sufficiently takes into account the conditions of organic farming with regard to the special requirements of nutrient management.

Taking the calculated assumptions, the N supply costs for bitter lupin meal could only be covered if, first, fertilization could realize high yields and quality of winter wheat, second, N costs are very low as a result of high bitter lupin N yields, and third, the minimum turnover of organic N from bitter lupin meal is disregarded when determining fertilizer requirements. Thus, it is concluded that the exclusive fertilization of winter wheat with bitter lupine meal is not economically feasible at present. However, to classify the results, only reference values of production processes could be used in which fertilizer was provided free of charge on the basis of farm manure from animal husbandry.

Nevertheless, in view of the effects of climate change, the potential of bitter lupin should not be underestimated. Based on the results, it can be stated that the need for research on cultivation and use of bitter lupins as a flexible N fertilizer has not yet been met.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	III
SUMMARY	V
INHALTSVERZEICHNIS	VII
TABELLENVERZEICHNIS	IX
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	XI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XIII
1 EINLEITUNG	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung und Fragestellung	4
1.3 Aufbau der Arbeit.....	6
2 GRUNDLAGEN	7
2.1 Anbau von Lupinen	7
2.1.1 Anbauumfang	8
2.1.2 Züchtungshistorie	9
2.1.3 Unterscheidung Bitter- und Süßlupine	11
2.1.4 Anbaupraxis	12
2.2 Lupinenschrot als N-Dünger.....	17
2.2.1 N-Düngung im Ökolandbau	17
2.2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen.....	22
2.2.3 Eigenschaften von Lupinenschrot als N-Dünger	24
2.2.4 Eigenschaften ausgewählter organischer Düngemittel	29
2.3 N-Düngung im Weizen	32

3	METHODIK	35
3.1	Entwicklung des Forschungsansatzes.....	35
3.2	Datengrundlage	37
3.2.1	Praxisbetrieb	37
3.2.2	KTBL-Datensammlungen	38
3.3	Methoden.....	39
3.3.1	Kosten- und Leistungsrechnung	39
3.3.2	Sensitivitätsanalyse.....	42
4	ERGEBNISSE	45
4.1	Produktion von Bitterlupinenschrot zur N-Düngung.....	45
4.1.1	Anbauverfahren Bitterlupine	45
4.1.2	Direkt- und Arbeiterledigungskosten des Produktionsverfahrens	50
4.1.3	N-Flächenertrag	52
4.1.4	N-Nährstoffkosten	53
4.2	N-Düngung mit Bitterlupinenschrot im Weizen	54
4.2.1	Anbauverfahren Weizen.....	55
4.2.2	Direkt- und Arbeiterledigungskosten Weizen.....	58
4.2.3	N-Düngebedarfsermittlung.....	59
4.2.4	Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung.....	62
5	DISKUSSION	67
5.1	Diskussion der Ergebnisse	67
5.1.1	Produktion von Bitterlupinenschrot zur N-Düngung	67
5.1.2	N-Düngung mit Bitterlupinenschrot im Weizen	73
5.2	Diskussion der Methoden	80
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	83
	LITERATURVERZEICHNIS	87
	EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	99

Tabellenverzeichnis

Tabelle I: Standortbedingungen von Gelber, Schmalblättriger und Weißer Lupine (BÖHM et al., 2016: S. 9; KOLBE et al., 2002: S. 79; LFL, 2016: S. 4)	13
Tabelle II: Literaturübersicht zu Ertragszahlen für Schmalblättrige Lupine im Ökologischen Landbau	16
Tabelle III: Vergleich von EU-Öko-Verordnung und Bioland-Richtlinien hinsichtlich Regelungen zu Düngemaßnahmen (BIOLAND E.V., 2020; EU-LEX, 2007, 2018; SANDERS & HEB, 2019: S. 31)	23
Tabelle IV: Typische N-Gehalte, C:N-Verhältnis sowie N-Verfügbarkeit (N_{ver}) und durchschnittliche Preise pro kg N für verschiedene organische Düngemittel (BACHINGER et al., 2015: S. 122–123; MÖLLER & SCHULTHEIB, 2014b: S. 8, 2014a: S. 112–124).....	30
Tabelle V: Betriebsspiegel Praxisbetrieb, nach Aussagen des Betriebsleiters	38
Tabelle VI: Arbeitsvorgänge und Maschinenkosten des identifizierten Produktionsverfahrens für Bitterlupinenschrot.....	47
Tabelle VII: Direkt- und Arbeitserledigungskosten des Produktionsverfahrens Bitterlupinenschrot	51
Tabelle VIII: Arbeitsvorgänge und Maschinenkosten des identifizierten Produktionsverfahrens für Winterweizen	56
Tabelle IX: Direkt- und Arbeitserledigungskosten des Produktionsverfahrens Winterweizen	58
Tabelle X: N-Düngebedarfsermittlung für Winterweizen bei 40 dt ha ⁻¹ Ertrag und in Abhängigkeit der drei Qualitätsklassen.....	60

Tabelle XI: N-Düngebedarf für Winterweizen sowie resultierende Düngemenge Bitterlupinenschrot für neun Kombinationen aus Qualitätsklassen und Ertragsniveaus A) ohne Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit organischer Düngung und B) mit Berücksichtigung	61
Tabelle XII: Vergleich der Höhe der Direkt- und Arbeitserledigungskosten von Praxisverfahren Bitterlupine und KTBL-Vergleichsverfahren.....	69
Tabelle XIII: Vergleich der Höhe der Direkt- und Arbeitserledigungskosten von Praxisverfahren Winterweizen und KTBL-Vergleichsverfahren	75
Tabelle XIV: N-Gehalte von Weizenerzeugnissen im Vergleich (BECKMANN et al., 2001: S. 19; BMJV, 2021a: Anlage 7)	77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung I: Öko-Anbaufläche ausgewählter Körnerleguminosen 2014 – 2018 (Säulen) sowie relativer Anteil der Öko-Anbaufläche an der Gesamt-Anbaufläche der jeweiligen Körnerleguminose (Linien) (BSA, 2020: S. 272; SCHAACK & RAMPOLD, 2020).....	8
Abbildung II: vereinfachtes Schema zum Stickstoffkreislauf auf einem ökologischen Betrieb (WACHENDORF et al., 2018: S. 35)	20
Abbildung III: N-Verfügbarkeit im Jahr der Anwendung ausgewählter organischer Düngemittel (BACHINGER et al., 2015: S. 136)	31
Abbildung IV: schematische Darstellung des Forschungsansatzes und der Bearbeitungsschritte	36
Abbildung V: Kostengliederung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren (SCHROERS & KRÖN 2019: S. 14)	40
Abbildung VI: Schema der Kosten-Leistungsrechnung auf Produktionsverfahrensebene (SCHROERS & KRÖN 2019: S. 16).....	42
Abbildung VII: Potenziell erzielbare N-Erträge für Bitterlupine in Abhängigkeit vom Flächenertrag und Rohproteingehalten sowie Eingrenzung auf standortabhängige Durchschnittsbereiche (in rot).....	53
Abbildung VIII: N-Nährstoffkosten für Bitterlupinenschrot in Abhängigkeit vom N-Ertrag, standortabhängiger Durchschnittsbereich des N-Ertrags mit gestrichelter Linie markiert	54
Abbildung IX: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) im Winterweizen in Abhängigkeit der N-Nährstoffkosten des Bitterlupinenschrots für E-Weizen (E), A/B-Weizen (A) und C-Weizen (C) sowie die Ertragsniveaus 55 dt ha ⁻¹ (55), 40 dt ha ⁻¹ (40) und 25 dt ha ⁻¹ (25) ohne Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit der organischen Düngung; horizontale Linien markieren den KTBL-Vergleichswert für	

DAKfL von A) Backweizen und B) Futterweizen; vertikale Linien markieren die ermittelten standortabhängigen N-Nährstoffkosten 64

Abbildung X: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) im Winterweizen in Abhängigkeit der N-Nährstoffkosten des Bitterlupinenschrots für E-Weizen (E), A/B-Weizen (A) und C-Weizen (C) sowie die Ertragsniveaus 55 dt ha⁻¹ (55), 40 dt ha⁻¹ (40) und 25 dt ha⁻¹ (25) **mit** Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit der organischen Düngung; horizontale Linien markieren den KTBL-Vergleichswert für DAKfL von A) Backweizen und B) Futterweizen; vertikale Linien markieren die ermittelten standortabhängigen N-Nährstoffkosten 65

Abbildung XI: relative Verteilung der Maschinenkosten von (A) Praxisverfahren Bitterlupine (100 % = 412,72 € ha⁻¹) und (B) KTBL-Vergleichsverfahren (100 % = 417,34 € ha⁻¹) 68

Abbildung XII: relative Verteilung der Maschinenkosten des Produktionsverfahrens Winterweizen von (A) eigenem Produktionsverfahren (100 % = 382,43 € ha⁻¹) und (B) KTBL-Vergleichsverfahren (100 % = 361,20 € ha⁻¹) 73

Abkürzungsverzeichnis

DAKfL	Direkt- und arbeits erledigungskostenfreie Leistung
DüV	Düngeverordnung
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
LELF	Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg
LfL	Bayerische Landesamt für Landwirtschaft
TKG	Tausendkorngewicht

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Im ökologischen Landbau ist die Verwendung von chemisch-synthetischen Düngemitteln verboten, weshalb die Bewirtschaftung durch möglichst geschlossene Nährstoffkreisläufe angestrebt wird. Zentraler Pflanzennährstoff ist Stickstoff (N) (SEIPEL, 2014: S. 184). Pflanzen der Familie der Leguminosen stellen aufgrund ihres Beitrags zur Humusreproduktion und der Fähigkeit zur symbiotischen N-Fixierung mit Hilfe von Knöllchenbakterien die tragende Komponente in ökologischen Fruchtfolgen dar (LOCHNER & BREKER, 2015: S. 240–241). Sie können grob unterteilt werden in Futterleguminosen (z.B. Luzerne oder Klee in Leguminosen-Gräser-Gemengen) und Körnerleguminosen (z.B. Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen), die wahlweise zur Futter- und Nahrungsmittelerzeugung genutzt werden. Darüber hinaus finden sowohl Futter- als auch Körnerleguminosen Verwendung im Anbau als Gründüngung zur Bodenverbesserung (HAMPL, 1996: S. 65; WINTER et al., 2005: S. 6–7). Der in legumer Biomasse symbiotisch fixierte Luftstickstoff gelangt über Wurzelausscheidungen der lebenden Pflanze, mit dem Einarbeiten der gesamten pflanzlichen Biomasse zur Gründüngung, dem Verbleib der Wurzelmasse im Boden nach der Ernte bzw. Abfuhr des oberirdischen Materials oder der Rückführung über das Ausbringen von Wirtschaftsdüngern (z.B. Mist und Gülle) in den Boden (BACHINGER et al., 2015: S. 83–84; WACHENDORF et al., 2018: S. 37). Leguminosen-Gras-Gemenge wie etwa Klee gras, die als Kulturen mit der höchsten symbiotischen N-Fixierungsleistung und Humusreproduktion gelten und damit in der Regel die Basis ökologischer Fruchtfolgen darstellen, ergeben als Futterbaugemenge in Kombination mit Viehhaltung einen Wirtschaftsdünger, der zeitlich und räumlich flexibel einsetzbar ist (SCHMIDT, 1997: S. 1; WINTER et al., 2005: S. 10–11).

Allerdings entsprechen die natürlichen Brandenburger Standortbedingungen mit vielerorts leichten und nährstoffarmen Böden bei gleichzeitig geringen Jahresniederschlägen nicht den optimalen Anbaubedingungen für Klee gras, was sich u.a. in einer reduzierten Fixierungsleistung äußern kann (STANIAK, 2019; WINTER et al., 2005: S. 15–16). Aller Voraussicht nach wird diese Problematik durch die messbare Änderung der globalen mittleren Temperatur und Niederschlagsmengen sowie die Zunahme von Witterungs- und Wetterextremen verstärkt werden. In Brandenburg dürfte sich das in Zukunft durch häufigeres

Auftreten einer heißen und trockenen Witterung insbesondere in den Sommermonaten äußern (ENDLICHER & GERSTENGARBE, 2007: S. 78; IPCC, 2012: S. 10–15). Weiterhin hat der Strukturwandel in der Landwirtschaft – also eine steigende Konzentration und Spezialisierung vieler Betriebe – die Entstehung von mehr reinen Ackerbaubetrieben ohne Viehhaltung zur Folge, in denen die Vorteile von futterbaulich genutztem Klee gras (mehrjähriger Anbau, Anfall von Wirtschaftsdüngern) nicht mehr voll zum Tragen kommen (LUX, 2016: S. 3; MAAß et al., 2017). Ca. 30 % aller Ökobetriebe in Deutschland und Brandenburg wirtschaften heute bereits viehlos (SCHULZ et al., 2017; TROEGEL & SCHULZ, 2018: S. 52).

Im ökologischen Landbau und besonders im viehlosen Ackerbau stellt die bedarfsgerechte und damit zeitliche N-Versorgung der Kulturen eine der zentralen Herausforderungen dar (VOGT-KAUTE, 2004: S. 18–19; WENDLAND et al., 2018: S. 38). In Gemischtbetrieben kann unter den tierischen Wirtschaftsdüngern Gülle und besonders Jauche durch einen hohen Anteil schnell pflanzenverfügbaren Stickstoffs dieser Herausforderung gerecht werden und zielgerichtet zum Zeitpunkt des Hauptbedarfs einer Kultur ausgebracht werden (GUTSER et al., 2005). In viehlosen Betrieben ist der schlaggebundene N-Transfer durch Leguminosen (z.B. als Zwischenfrucht oder Rotationsbrache) hin zu einer marktfähigen Kultur (wie z.B. Weizen) vor allem im zeitigen Frühjahr durch fehlende Mineralisierung im Boden hingegen nur eingeschränkt möglich (DREYMANN et al., 2003). Alternative Klee grasnutzungen, wie etwa die Frischmasse-Transferdüngung oder die Kompostierung können häufig entweder nicht zeitlich flexibel nach N-Bedarf der Nehmerkultur eingesetzt werden oder stellen aufgrund ihrer organischen Zusammensetzung nur eine sehr langsame Quelle für pflanzenverfügbaren Stickstoff dar (MAAß et al., 2017). Weiterhin ist der Zukauf von externen organischen N-Düngern sowohl in der Menge rechtlich begrenzt (SANDERS & HEB, 2019, S. 31) als auch kritisch zu betrachten, da es sich hierbei häufig um Reststoffe handelt, die aus der Verarbeitung konventionell erzeugter Produkte stammen und über deren genaue Herkunft und Aufbereitungsschritte meist keine zurückverfolgbaren Informationen vorliegen (MÖLLER & SCHULTHEIß, 2014a: S. 7).

Der Rückgang von mehrjährigem Feldfutterbau mit Leguminosen-Gras-Gemengen und fehlende zeitlich und räumlich flexibel einsetzbare Düngemittel zur bedarfsgerechten N-Versorgung stellen somit langfristig eine Herausforderung für die Gewährleistung eines stabilen Nährstoffgehalts im Boden sowie einer ausreichenden Ertragsstabilität dar. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie unter den Brandenburger Standortbedingungen möglichst geschlossene Nährstoffkreisläufe im ökologischen Landbau langfristig realisierbar

sind und die Wirtschaftlichkeit der Betriebe gesichert werden kann (MAAß et al., 2017; PAULSEN & RAHMANN, 2004: S. 58; ZIMMER & DITTMANN, 2003).

Eine an die Brandenburger Trockenheit und Sandböden angepasste Leguminose ist die Lupine (*Lupinus spec.*), welche die Fähigkeit besitzt auch auf armen oder degradierten Standorten proteinreiche und damit stickstoffreiche Biomasse zu produzieren (LUCAS et al., 2015). Laut Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg (LELF) ist die Kultivierung von Lupinen auch noch auf Grenzstandorten von Ackerzahlen kleiner 30 möglich (HARNACK & LAU, 2019: S. 37). Lupinenkörner zeichnen sich durch einen höheren Proteingehalt als andere Körnerleguminosen wie Ackerbohnen oder Erbsen aus, der in der Spitze an jenen von Sojabohnen herankommt (KOLBE et al., 2002: S. 7–8). Lupinenschrot kann auf dem eigenen Betrieb produziert und in gut kontrollierbaren Mengen zeitlich und räumlich flexibel ausgebracht werden. Aufgrund dieser Eigenschaften wird der Lupine das Potential zugesprochen, eine flexible N-Quelle als Alternative zum Einsatz von Futterleguminosen zu bieten (KATROSHAN, 2011, S. 2).

Ein Großteil der Lupinen-Anbaufläche in Deutschland verteilt sich auf die ostdeutschen Bundesländer Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt, also Regionen mit einem hohen Anteil an leichten Sandböden, wo die Lupine vornehmlich zur Körnernutzung angebaut wird (BÖHM et al., 2016: S. 19). Im Anbau befinden sich fast ausschließlich sogenannte Süßlupinen, die züchterisch bearbeitet nur geringe Mengen an in Lupinen natürlich vorkommenden toxischen und bitter schmeckenden Alkaloiden enthalten und deshalb als Futter- und Nahrungsmittel geeignet sind (BÖHM et al., 2016: S. 48–51). Ohne nennenswerten Anbauumfang als Körnerleguminosen sind dagegen bisher alkaloidreiche Lupinensorten, die als Bitterlupinen bezeichnet werden. Bitterlupinen sind für den ökologischen Anbau in der Theorie besser geeignet als die bitterstoffarmen Sorten, da sie ertragsstärker und resistenter gegenüber Fraßfeinden sowie Bakterien-, Pilz- und Virenbefall sind (BLE, 2020; WINK, 1983). In der Praxis finden Bitterlupinen allerdings bisher nicht als Körnerleguminosen Verwendung, sondern werden vor allem als Komponente in Gründüngungs-Mischungen z.B. zur Verbesserung leichter Böden eingesetzt (BÖHM et al., 2016: S. 9). Die größte Anbaubedeutung in Deutschland kommt der Schmalblättrigen Lupine (*Lupinus angustifolius*) zu (KOLBE et al., 2002: S. 79).

Seit Ende der 1990er Jahre gibt es in Deutschland vermehrte wissenschaftliche Versuchstätigkeiten zum Einsatz von geschroteten Lupinenkörnern als N-Dünger,

vornehmlich zur kurzfristigen Deckung hoher N-Bedarfe im Gemüsebau (LABER, 2003a). Aber auch die Eignung in N-bedürftigen Ackerbaukulturen ist in der Literatur belegt (MÖLLER & SCHULTHEIB, 2014a: S. 376). Aktuellere wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema setzen sich vornehmlich mit Fragen zur N-Mineralisation und -Verfügbarkeit von Körnerleguminosenschroten, meist im Vergleich zu anderen organischen Handelsdüngern, auseinander (ENGELMANN et al., 2007; KATROSHAN & STÜTZEL, 2008; LABER, 2003a; LI et al., 2009; SABAHI et al., 2009, 2014; STADLER et al., 2006). In einigen wenigen Arbeiten wurden zudem positive Ertragseffekte in verschiedenen Gemüsekulturen untersucht (ENGELMANN et al., 2007; MÜLLER & VON FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF, 2003). Nach Sichtung der verfügbaren Literatur scheint es bisher jedoch keine Studien zu geben, die sich mit den wirtschaftlichen Aspekten der Verwendung von Lupinenschrot als N-Dünger beschäftigt haben.

Die Bearbeitung dieser Arbeit erfolgt innerhalb des vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft geförderten *Kompetenz- und Praxisforschungsnetzwerk zur Weiterentwicklung des Nährstoffmanagements im ökologischen Landbau* (Projekt NutriNet). Ziel des Forschungsnetzwerks *NutriNet* ist, das Nährstoffmanagement auf Biobetrieben zu verbessern. Um den teils regionaltypischen Herausforderungen dieser Zielsetzung zu begegnen, werden die Fragestellungen bundesweit mit Hilfe von 60 verschiedenen Netzwerkbetrieben – Biobetrieben aus der Praxis – in sechs verschiedenen Regionen bearbeitet. Der Impuls zur Bearbeitung der Problemstellung in dieser Arbeit erfolgte durch einen am Brandenburger Regional-Netzwerk beteiligten Betrieb (NUTRINET, 2020a, 2020b).

1.2 Zielsetzung und Fragestellung

Basierend auf dem Potenzial von Lupinenschrot als flexible N-Quelle und der Eignung von Bitterlupinen für den Ökolandbau unter Brandenburger Standortbedingungen, wird in dieser Arbeit der Einsatz von Bitterlupinenschrot im innerbetrieblichen Nährstoffmanagement unter ökonomischen Gesichtspunkten betrachtet. Im Brandenburger Ökolandbau spielt der Ackerbau eine übergeordnete Rolle. Deswegen wird in dieser Arbeit der Einsatz von Bitterlupinenschrot zu Düngezwecken in Winterweizen betrachtet, der neben Roggen wichtigsten ackerbaulichen Kultur in Brandenburg (TROEGEL & SCHULZ, 2018: S. 52).

Vorausgesetzt wird in der Untersuchung, dass sich eine N-Düngung mit Bitterlupinenschrot in Ertrags- und Qualitätseffekten im Winterweizen widerspiegelt. Die zentrale Fragestellung lautet: Können beim Einsatz von Bitterlupinenschrot, das auf dem eigenen Betrieb erzeugt und als mobiler, organischer N-Dünger in einem Winterweizen eingesetzt wird, die Kosten für die N-Bereitstellung durch die Erhöhung des Ertrags und der Qualität des Weizens mindestens gedeckt werden? Die Bearbeitung erfolgt anhand des beteiligten Praxisbetriebs mit Fokus auf den Brandenburger Standort mit Hilfe einer Modellierung. In dieser Arbeit wird der Anbau der Schmalblättrigen Bitterlupinen-Sorte *Azuro* unterstellt.

Dafür werden in einem ersten Schritt zunächst ein Produktionsverfahren zur Körnergewinnung von Bitterlupinen identifiziert und folgende Teilfragen beantwortet:

- Welches Anbauverfahren von Bitterlupinen zur Körnergewinnung und Schrotproduktion wird auf dem Praxisbetrieb als Standard durchgeführt?
- Wie hoch sind die Direkt- und Arbeitserledigungskosten dieses Anbauverfahrens?
- Wie hoch sind die resultierenden N-Nährstoffkosten des Bitterlupinenschrots dieses Anbauverfahrens in Abhängigkeit vom N-Ertrag der Bitterlupinenkörner?

In einem zweiten Schritt wird untersucht, unter welchen Bedingungen sich der innerbetriebliche Einsatz des Bitterlupinenschrots als N-Dünger in einem Winterweizen lohnt. Angenommen wird, dass der N-Bedarf während der Vegetation des Winterweizens durch die Düngung mit Bitterlupinenschrot gedeckt werden kann. In diesem Schritt werden folgende Teilfragen beantwortet:

- Welches Anbauverfahren für Winterweizen wird auf dem Praxisbetrieb als Standard durchgeführt?
- Wie hoch ist die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) für den Anbau von Winterweizen unter Einsatz von Bitterlupinenschrot als N-Dünger bei Variation der Qualitätsklassen und Ertragsniveaus des Winterweizens und Variation der N-Nährstoffkosten?

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen einen Beitrag zum Brandenburger Regional-Netzwerk des Forschungsnetzwerks *NutriNet* darstellen. Weiterhin sollen die Ergebnisse einerseits dem Betrieb helfen, das innerbetriebliche Nährstoffmanagement zu verbessern, andererseits sollen daraus konkrete Empfehlungen für andere Biobetriebe abgeleitet werden können.

1.3 Aufbau der Arbeit

Kapitel 2 beschreibt in drei Teilen die Grundlagen für diese Arbeit. Im ersten Teil wird auf den landwirtschaftlichen Anbau von Lupinen eingegangen und neben einem kurzen Abriss der Züchtungshistorie und des Anbauumfangs ein Überblick über die Anbaupraxis von Lupinen als Körnerleguminosen gegeben. Im zweiten Teil wird über eine Einleitung zur Theorie der N-Düngung im Ökolandbau und dessen rechtliche Rahmenbedingungen der wissenschaftliche Stand zur Eignung von Lupinenschrot als N-Dünger dargestellt. Abschließend erfolgt im dritten Teil ein kurzer Überblick über Grundlagen zur N-Düngung im Weizen. Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Grundlagenkapitel fließen in die weiteren Kapitel ein.

In Kapitel 3 wird die Methodik erläutert, die zur Erreichung der Zielsetzung verwendet wird, sowie der Forschungsansatz entwickelt und näher beschrieben. Wesentliche Elemente des Forschungsansatzes sind eine Kostenrechnung und Sensitivitätsanalyse als Methode. Die Datengrundlage bilden der Praxisbetrieb aus dem Forschungsnetzwerks *NutriNet* sowie Datensammlungen des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL).

Kapitel 4 fasst die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen. In einem ersten Schritt wird über die Identifikation eines Anbauverfahrens für Bitterlupinenschrot und Berechnung der Direkt- und Arbeiterledigungskosten dieses Verfahrens eine Spannweite für die N-Nährstoffkosten aus Bitterlupinenschrot in Abhängigkeit der standortabhängigen N-Flächenerträge ermittelt. Im zweiten Schritt wird die N-Düngung mit Bitterlupinenschrot in einem Winterweizen modelliert. Dafür wird ein Anbauverfahren für Winterweizen identifiziert und dessen Direkt- und Arbeiterledigungskosten berechnet. Über die N-Düngebedarfsermittlung wird der N-Bedarf verschiedener Ertragsniveaus und Qualitätsklassen von Weizen ermittelt. Dieser N-Bedarf wird mit der Spannweite der ermittelten N-Nährstoffkosten konfrontiert und die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung bei Vermarktung des Winterweizens berechnet.

In Kapitel 5 werden die Ergebnisse und die Methodik diskutiert, während Kapitel 6 abschließend die Schlussfolgerungen und einen Ausblick beinhaltet.

2 Grundlagen

2.1 Anbau von Lupinen

Leguminosen sind im ökologischen Landbau unverzichtbar und werden als Futter- und Körnerleguminosen sowohl für die N-Fixierung als auch proteinreiche Komponente in Futtermischungen benötigt (BÖHM & AULRICH, 2011). Innerhalb der Körnerleguminosen finden im Ackerbau in Mitteleuropa vor allem Lupinen (*Lupinus spec.*), Ackerbohnen (*Vicia faba*) und Erbsen (*Pisum spec.*) Verwendung. Größte globale Bedeutung wegen ihres hohen Rohproteingehaltes hat hingegen die Sojabohne (*Glycine max*), welche in großen Mengen zu Futterzwecken nach Europa importiert wird (JEROCH et al., 2016: S. 3; LUCAS et al., 2015). Innerhalb der in Mitteleuropa verbreitetsten Körnerleguminosen treten Lupinen durch den höchsten Eiweißgehalt hervor (MÖLLER & SCHULTHEIB, 2014a: S. 119–120).

Die Lupine (*Lupinus spec.*) gehört zur Familie der Leguminosen oder auch Hülsenfrüchtler (*Fabacea*) und ist weltweit mit vielen verschiedenen Arten verbreitet (WINTER et al., 2005: S. 155). Von Bedeutung für den landwirtschaftlichen Anbau in Mitteleuropa sind drei Arten: die Blaue Lupine (*Lupinus angustifolius*), die Weiße Lupine (*Lupinus albus*) und die Gelbe Lupine (*Lupinus luteus*), (BÖHM et al., 2016: S. 4). Die Farbnennung im Artnamen lässt bei Gelber und Weißer Lupine auf die Blütenfarbe schließen. Da von der Sorte *Lupinus angustifolius* aber nicht nur Sorten mit blauen Blüten existieren, wird häufig der Name Schmalblättrige Lupine verwendet, der auf das arteilene Merkmal der schmalen, lanzettartigen Blätter verweist (BSA, 2020: S. 270; KOLBE et al., 2002: S. 78). In dieser Arbeit wird der Name Schmalblättrige Lupine verwendet. Alle drei Arten sind einjährige Körnerleguminosen (WACHENDORF et al., 2018: S. 150). Hauptkriterium in der Entscheidung für den Anbau einer der Arten ist derzeit die Toleranz gegenüber der durch einen samenbürtigen Pilz verursachten Krankheit Anthraknose (TALHINHAS et al., 2016). Innerhalb der drei Arten findet deshalb zur Zeit vor allem die Schmalblättrige Lupine im landwirtschaftlichen Anbau Verwendung, da sich diese als deutlich weniger anfällig für die Anthraknose erweist als die Gelbe und Weiße Lupine (BÖHM et al., 2016: S. 4).

2.1.1 Anbauumfang

Daten zum Anbauumfang liegen nur für den Anbau von Süßlupinen (*Lupinus spec.*) als Körnerleguminosen vor. In der Körnergewinnung sind Bitterlupinen bisher ohne nennenswerten Anbauumfang (BLE, 2020). Öko-Körnerleguminosen standen 2018 auf fast 8 % aller Öko-Ackerflächen und spielen damit eine deutlich größere Rolle als in der konventionellen Landwirtschaft. Mehr als jeder vierte Hektar Körnerleguminosen wurde ökologisch bewirtschaftet (SCHAACK & RAMPOLD, 2020: S. 46). Im Ökolandbau kommt der Lupine vor der Futtererbse und nach der Ackerbohne die zweitgrößte Anbaubedeutung. Sie wurde 2018 auf fast 10.000 ha angebaut. Der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Lupinen-Anbaufläche an der gesamten Lupinen-Anbaufläche in Deutschland betrug 41 % bei steigender Tendenz in den vergangenen Jahren (siehe **Abbildung I**).

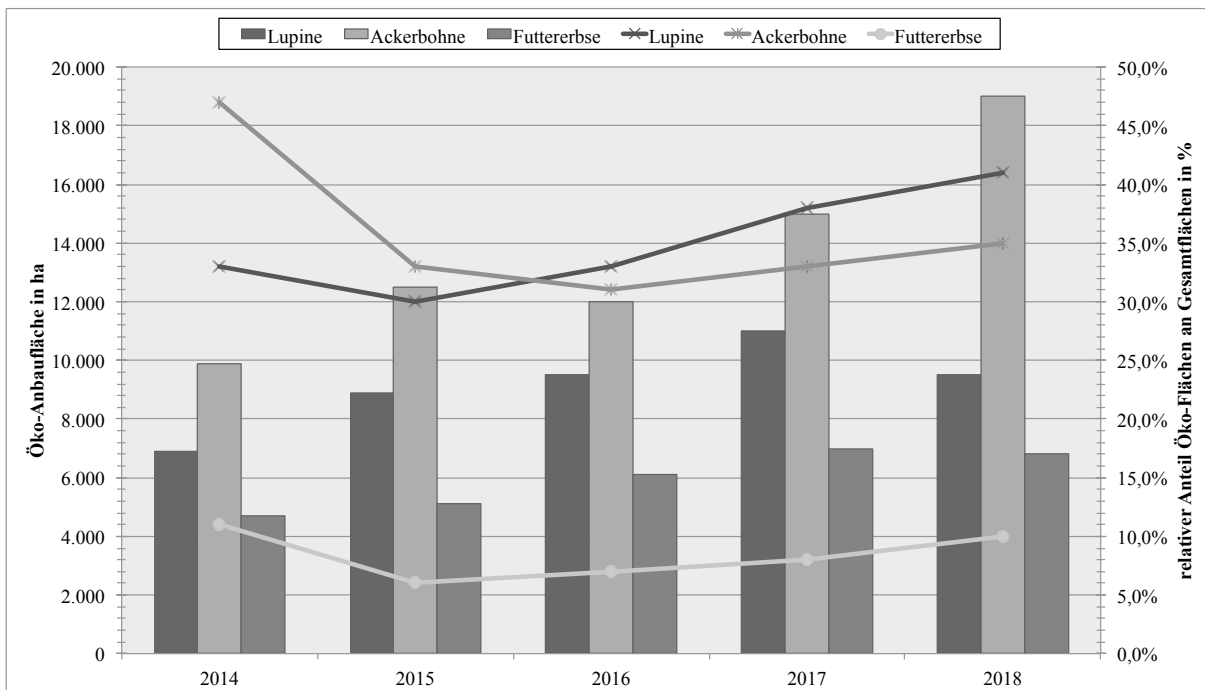


Abbildung I: Öko-Anbaufläche ausgewählter Körnerleguminosen 2014 – 2018 (Säulen) sowie relativer Anteil der Öko-Anbaufläche an der Gesamt-Anbaufläche der jeweiligen Körnerleguminose (Linien) (BSA, 2020: S. 272; SCHAACK & RAMPOLD, 2020)

Daten zur Verteilung der Lupinen-Anbauflächen auf die Bundesländer liegen nicht gesondert für den Ökolandbau vor. 2019 lag 82 % der Lupinen-Anbaufläche in den drei ostdeutschen Bundesländern Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt, wobei Brandenburg mit alleine 41 % der Fläche die bedeutendste Anbauregion darstellt. Innerhalb Brandenburgs war die Lupine lange Zeit die mit Abstand bedeutendste Körnerleguminose und wird heute in etwa auf der gleichen Fläche (8.600 ha) angebaut wie die Futtererbse (8.700 ha)

(BSA, 2020: S. 259, 273). Nach TROEGEL und SCHULZ (2018: S. 52) wuchs 2016 auf 9 % des Öko-Ackerlands in Brandenburg (rund 80.000 ha) hauptsächlich Erbse oder Lupine. Das entspricht etwa 7.000 ha.

Rückschlüsse über die Anbaubedeutung verschiedener Sorten der Schmalblättrigen Lupine sind nur über die Saatgutvermehrungsfläche möglich. Unter den Süßlupinen wurde vor allem Saatgut der Sorten *Boregine*, *Probor*, *Boruta* und *Bolero* (in absteigender Bedeutung) vermehrt. *Azuro* und *Ildigo* sind die einzigen beiden Bitterlupinensorten, die in den Sortenlisten des Bundessortenamts gelistet sind. Der Umfang ihrer Vermehrungsflächen ist mit wenigen Dutzend Hektar allerdings verschwindend gering gegenüber den Süßlupinen (BSA, 2020: S. 269, 334).

2.1.2 Züchtungshistorie

Lupinen sind mit mehreren hundert Arten als ausdauernde oder einjährige Wildformen in vielen Regionen der Erde verbreitet. Ein besonderer Artenreichtum findet sich auf dem gesamten amerikanischen Kontinent. Ihr natürliches Vorkommen in Eurasien und Afrika liegt im Bereich des Mittelmeerraumes und Ostafrika. Zu diesen Arten zählen ebenfalls die vorher genannten heute in Europa landwirtschaftlich kultivierten drei Arten (HACKBARTH & TROLL, 1959: S. 2). Entsprechend finden sich erste eurozentristische Erwähnungen von Lupinen – genauer der Weißen Lupine – vor über zweitausend Jahren im alten Ägypten und später in antiker griechischer Literatur, wo ihre Fähigkeit zur Bodenverbesserung und Toleranz armer Böden hervorgehoben wurde (JEROCH et al., 2016: S. 17–18). Erst im 19. Jahrhundert gelang die feldbauliche Vermehrung von Lupinen (Gelbe Lupine) in Mitteleuropa. Zunächst wurden sie zur Gründüngung und Bodenverbesserung angebaut und aufgrund der dadurch erzielbaren Ertragssteigerungen verbreitete sich die Lupine schnell über Deutschland und Polen bis nach Russland. Infolge der technischen Realisierung der Bindung von Luftstickstoff zur Ammoniak-Synthese im Haber-Bosch-Verfahren zu Anfang des 20. Jahrhunderts und der Einführung und Etablierung von Mineraldüngern ging die Anbaubedeutung von Lupinen zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit jedoch schrittweise zurück (ebd.).

Gleichzeitig stieg der Bedarf an tierischen Lebensmitteln und damit die Nachfrage nach eiweißhaltigen Futtermitteln. Allerdings weisen die ursprünglichen Sorten der genannten Lupinenarten relativ hohe Gehalte an giftigen Bitterstoffen (Alkaloiden) auf, die diesen den

Beinamen Bitterlupinen gaben und eine Nutzung der Körner aber auch der gesamten Pflanze als Futter- und später auch Nahrungsmittel nicht ohne Weiteres möglich machen. Dieser Umstand und die geringen Erträge der damals vorhandenen Sorten führten zwischen den beiden Weltkriegen zu erhöhter züchterischer Forschungsarbeit. In Populationen von Bitterlupinen konnten vereinzelt Pflanzen mit niedrigem Alkaloidgehalt identifiziert werden und Anfang der 1930er Jahre erstmalig Süßlupinen erfolgreich kultiviert werden (HACKBARTH & TROLL, 1959: S. 5–6; JEROCH et al., 2016: S. 17–18). Süßlupinensorten für den Anbau als Körnerleguminose setzten sich langfristig durch, so dass bereits Ende der 1950er Jahre ein deutlicher Rückgang im Anbauumfang von Bitterlupinen zu verzeichnen war (HACKBARTH & TROLL, 1959: S. 34).

Nach dem Zweiten Weltkrieg begann in vielen Ländern Europas und Südamerikas sowie vor allem in Australien eine umfangreiche Forschung an verschiedenen Lupinenarten, die sich nicht nur auf den Alkaloidgehalt sondern unter anderem auch auf den Flächenertrag, die Platzfestigkeit der Hülsen, Resistenzen gegen Pilze und Unkrauttoleranz bezogen (BERGER et al., 2013; JEROCH et al., 2016: S. 18). In Deutschland resultierte die Züchtung vor allem in einer großen Vielfalt und Ausdehnung der Anbaufläche von Gelber und Weißer Lupine (BÖHM et al., 2016: S. 4). Große Relevanz für die Lupinen-Züchtung hat heute die Erkrankung Anthraknose. Die aufgrund ihres Schadbilds auch Brennfleckenkrankheit genannte Erkrankung, ist die bei Weitem relevanteste und gefährlichste bei Lupinen und kann mitunter zu Totalausfällen im Bestand führen (DIETERICH & SAAL, 2018: S. 1). Erste Daten über das Auftreten der Anthraknose finden sich bereits in den 1930er Jahren in den USA (JEROCH et al., 2016: S. 29). Spätestens in den 1980er Jahren breitete sie sich schnell weltweit über zahlreiche Lupinenarten aus und führte zum Rückgang der Lupine in Fruchtfolgen vom amerikanischen Kontinent über Europa bis nach Australien. Dies führte zu einer verstärkten Suche und Züchtung resistenterer Sorten (SWEETINGHAM et al., 1995; TALHINHAS et al., 2016). In Deutschland brach der Anbau von Weißer und Gelber Lupine in der Folge praktisch komplett ein. Aufgrund der deutlich besseren Toleranz gegenüber der Anthraknose wird hier heute fast ausschließlich die Schmalblättrige Lupine angebaut. Eine Resistenz gegenüber der Anthraknose besteht jedoch nicht (SCHMIDT & LANGANKY, 2020: S. 40).

Deshalb haben jüngste Züchtungsbestrebungen neben der Erhöhung der Produktivität und Ertragsstabilität vor allem die Suche nach Resistenzquellen gegen die Anthraknose zum Ziel (LOHWASSER, 2018: S. 6). Sammlungen von *Lupinus spec.* befinden sich heute in Genbanken weltweit; die umfangreichsten in Australien und Deutschland. BERGER et al. (2013)

vermuten, dass diese genetischen Ressourcen in den relativ wenigen weltweiten Lupinenzuchtprogrammen bisher bei Weitem noch nicht ausgeschöpft sind. Durch Fokussierung auf einen niedrigen Alkaloidgehalt und frühe Reife beruht das derzeit in Verwendung befindliche Sortiment an Süßlupinen im Allgemeinen und der Schmalblättrigen Lupine im Besonderen auf einer schmalen genetischen Basis (DIETERICH & SAAL, 2018: S. 1; FISCHER et al., 2018: S. 14; ZEISE et al., 2018b). Diese Einengung des vorhandenen Zuchtmaterials begrenzt die Möglichkeit der Entwicklung und Anpassung der Kulturpflanze Lupine. Dabei wäre eine effektive Nutzung der vorhandenen genetischen Ressourcen von entscheidender Bedeutung für künftige landwirtschaftliche Herausforderungen (BERGER et al., 2013). Mit Blick auf Deutschland wird versucht, dieser Problematik mit dem Aufsetzen einiger Forschungsprojekte zur Untersuchung der genetischen Ressourcen von Süßlupinen (LOHWASSER, 2018) und Bitterlupinen (BLE, 2020; ZEISE et al., 2018b) zu begegnen. ZEISE et al. (2018a: S. 44) konnten dabei bereits feststellen, dass in alkaloidreichen Formen der Schmalblättrigen Lupine zahlreiche Merkmalsausprägungen identifiziert werden können, die im engen Genpool der Schmalblättrigen Süßlupinen nicht mehr vorkommen.

2.1.3 Unterscheidung Bitter- und Süßlupine

Ab einem Alkaloidgehalt von weniger als 0,05 % im Korn wird von Süßlupinen gesprochen, wobei aus ernährungsphysiologischer Sicht sogar Werte von unter 0,02 % anzustreben sind (BÖHM et al., 2016: S. 10). Süßlupinen werden als Körnerleguminosen für die Produktion von Futter- und Lebensmitteln angebaut, wohingegen Bitterlupinen im Zwischenfruchtbau als Reinsaat oder in Gemengen zur Gründüngung zum Einsatz kommen. (BSA, 2020: S. 270–271).

Die im Rahmen dieser Arbeit zur Verfügung stehende Literatur über Lupinen – etwa zu Erträgen, Rohproteingehalten oder Anbauverfahren – bezieht sich fast ausschließlich auf Süßlupinen. Wissenschaftliche Literatur zum Anbau von alkaloidreichen Sorten im Allgemeinen und zum Ertragspotential oder zu Rohproteingehalten im Korn im Speziellen ist kaum vorhanden. Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, ging die Anbaubedeutung von Lupinen zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit im vergangenen Jahrhundert schrittweise zurück. Heute fokussiert sich Praxis und Forschung auf die Nutzung alkaloidarmer Sorten als Körnerleguminosen zur Futter- und Nahrungsmittelerzeugung. HACKBARTH & TROLL (1959: S. 34) konstatieren bereits Ende der 1950er Jahre: „Für den Vergleich zwischen Süß- und

Bitterlupinen muss auch auf frühere Versuche zurückgegriffen werden, da in neuerer Zeit wegen des zurückgehenden Anbaues der Bitterlupinen nur vereinzelt Bitterlupinen in Süßlupinenprüfungen standen“. Mit Blick auf das Ertragspotential wird festgestellt, dass die Durchschnittserträge der Süßlupinen denen der Bitterlupinen unterlegen sind, vor allem, da diese empfindlicher auf negative Umwelteinflüsse reagieren (HACKBARTH & TROLL, 1959: S. 35).

Bitterlupinen bilden einen dichteren Bestand als Süßlupinen und sind damit konkurrenzfähiger gegenüber Unkräutern. Weiterhin haben sie aufgrund der enthaltenen Bitterstoffe einen höheren Schutz vor Fraßfeinden und sind resistenter gegenüber Bakterien-, Pilz- und Virenbefall. Für den ökologischen Landbau sind Bitterlupinen auch für den Anbau als Körnerleguminose in der Theorie deshalb besser geeignet als die bitterstoffarmen Varianten (BLE, 2020; BSA, 2020: S. 335; KOLBE et al., 2002,:S. 78; WINK, 1983).

2.1.4 Anbaupraxis

Die Grundlage der Berechnungen in dieser Arbeit bildet die Identifizierung eines Anbauverfahrens von Bitterlupinen. Deshalb wird im Folgenden ein Überblick über die Anbaupraxis von Lupinen gegeben. Im Fokus steht dabei der Anbau als Körnerleguminose zur Gewinnung von Lupinenkörnern.

Die Ansprüche von Lupinen an **Standortbedingungen** wie Klima und Boden sind vergleichsweise gering. Sie wachsen aufgrund ihrer Trockentoleranz auch auf Sandböden gut. Aufgrund der tiefen Pfahlwurzeln und des weitverzweigten Wurzelsystems tragen die Lupinen nicht nur zur Strukturverbesserung des Bodens bei, sondern reagieren im Vergleich zu Ackerbohnen und Erbsen auch weniger empfindlich auf Wassermangel (ELSALAHY et al., 2016; WINTER et al., 2005: S. 155). Der Anspruch an den pH-Wert reicht von 4,6 bis 6,8, was die Lupine zur einzigen Körnerleguminose macht, die auf schwächeren und gleichzeitig sauren Böden gut zurechtkommt (WINTER et al., 2005: S. 156). Auf basischen Böden mit pH-Werten über 7,0 reagiert die Lupine hingegen mit Ertragsdepressionen (JANSEN et al., 2010). Der Anbau von Lupinen ist nach Aussage des Landesamts für Landwirtschaft Brandenburg auch noch auf ackerbaulichen Grenzstandorten mit Ackerzahlen kleiner als 30 möglich (HARNACK & LAU, 2019: S. 37; SCHMIDT & LANGANKY, 2020: S. 5). **Tabelle I** fasst einige Eckdaten zur Anbaueignung der drei sich im landwirtschaftlichen Anbau in Mitteleuropa

befindlichen Lupinenarten zusammen. Die Schmalblättrige Lupine stellt dabei im Vergleich mittlere Ansprüche an den Standort und ist aufgrund der Ansprüche an die Witterung in weiten Teilen Deutschlands anbauwürdig. Sie reagiert weniger empfindlich auf Kalk und besticht durch die kürzeste Vegetationsdauer, die neben der Art auch abhängig von der verwendeten Sorte ist.

Tabelle I: Standortbedingungen von Gelber, Schmalblättriger und Weißer Lupine (BÖHM et al., 2016: S. 9; KOLBE et al., 2002: S. 79; LFL, 2016: S. 4)

	Gelbe Lupine (<i>Lupinus luteus</i>)	Schmalblättrige Lupine (<i>Lupinus angustifolius</i>)	Weißer Lupine (<i>Lupinus albus</i>)
Boden	leichte Böden: Sande, schwach lehmige Sande (AZ 15 – 20)	leichte bis mittlere Böden: Sande, sandige Lehme (AZ 20 – 40)	Mittelschwere Böden: Sandige Lehme, schluffiger Lehm (AZ 40 – 60)
pH-Wert des Bodens	4,6 – 6,0	5,0 – 6,8	5,5 – 6,8
Witterung	<ul style="list-style-type: none"> – wärmebedürftig – trockene Witterung zur Reife – mittlere Frostempfindlichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> – für alle Klimalagen Deutschlands geeignet – wenig frostempfindlich 	<ul style="list-style-type: none"> – wärmebedürftig vor allem in der Jugendphase – gute Wasserversorgung zur Blüte vonnöten – mittlere Frostempfindlichkeit
Vegetationsdauer	135 – 150 Tage	120 – 150 Tage	140 – 175 Tage

Lupinen werden nach zwei **Wuchstypen** unterschieden. Zum einen gibt es unverzweigte (auch als endständig oder determiniert bezeichnete) Typen, die meist nur einen Haupttrieb aufweisen, zum anderen verzweigte (indeterminierte) Wuchstypen mit ständigem Neuaustrieb von Nebentrieben (PALTA et al., 2008). Unverzweigte Typen reifen gleichmäßiger und sicherer ab und sind für niederschlagsreichere Gebiete geeignet. Verzweigte Typen haben ein höheres Ertragspotential und sind für trockenere Standorte geeignet, neigen allerdings aufgrund der Bildung von Nebentrieben zu einer späteren und ungleichmäßigeren Abreife. Die meisten Süßlupinen-Sorten und alle Bitterlupinen entsprechen dem Verzweigungstyp (BÖHM et al., 2016: S. 21; BSA, 2020: S. 270).

Die größte Bedeutung in der **Fruchtfolge** haben Lupinen aufgrund ihrer N-Fixierungsleistung, aber auch einer verbesserten Bodenstruktur und Bodengare (KOLBE et al., 2002: S. 81). Als tiefwurzelnde Kultur ist die zudem Lupine in der Lage, schwer verfügbaren Phosphor aufzuschließen und pflanzenverfügbar zu machen. Die Pfahlwurzeln dringen bis zu 3 m tief auch in verdichteten Unterboden ein, nehmen dort Phosphor auf, der dann über Ernte- und Wurzelrückstände in den Oberboden gelangt und für die Folgekultur eher verfügbar ist

als im Unterboden. Durch diese Pumpwirkung steigt die Phosphatverfügbarkeit im Boden nach dem Anbau von Lupinen um bis zu 20 % (BERGER et al., 2013; JEROCH et al., 2016: S. 28). Außerdem ermöglicht die Unterbodendurchporung durch die Pfahlwurzeln der Lupine eine tiefere Durchwurzelung der Folgekultur, was sich in Mehrerträgen widerspiegeln kann (KAHNT, 2008: S. 53). Aufgrund ihrer eher geringen Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut sollten Vorfrüchte gemieden werden, die zu starker Verunkrautung neigen (SCHMIDT & LANGANKY, 2020: S. 7). Als günstige Folgefrüchte gelten zum Beispiel Wintergetreide oder Winterraps. Folgt auf die Lupine hingegen eine Sommerung, sollte eine schnell wachsende Zwischenfrucht zur Aufnahme des Stickstoffs angebaut werden, um Auswaschungen zu vermeiden (WACHENDORF et al., 2018: S. 43–44). Lupinen sind wie die meisten Leguminosen nicht selbstverträglich. Bei zu engen Fruchtfolgen kann es zu Ertragseinbußen durch bodenbürtige Pilzkrankheiten kommen, weshalb Anbaupausen von mindestens 4 Jahren eingehalten werden sollten (BÖHM et al., 2016: S. 22).

Als stickstoffsammelnde Leguminose benötigt die Lupine keine zusätzliche **Düngung** mit Stickstoff (SCHMIDT & LANGANKY, 2020: S. 1). Eine Schwefeldüngung wird gelegentlich empfohlen (LUX, 2016: S. 111). Jedoch konnten BECKER et al. (2016: S. 18) in Feldversuchen auf ökologisch bewirtschafteten Flächen keine Wirkung auf den Kornertrag feststellen.

Voraussetzung für die N-Fixierungsleistung von Leguminosen ist die Symbiose mit Knöllchenbakterien, den sog. **Rhizobien**. Dabei gehen verschiedene Leguminosen mit unterschiedlichen Rhizobien eine Symbiose ein, diese ist also wirtsspezifisch. Lupinenspezifische Knöllchenbakterien gehören zum Stamm *Bradyrhizobium lupini* (BÖHM et al., 2016: S. 23–24). Das Vorhandensein der geeigneten Rhizobien-Stämme im Boden ist dementsprechend Voraussetzung für einen erfolgreichen Anbau, was auf die meisten Böden in Mitteleuropa zutrifft (WACHENDORF et al., 2018: S. 35–36). Als Faustzahl gilt, dass auf einem Schlag mindestens im Abstand von 10 Jahren Lupine oder Serradella angebaut werden sollte. Alternativ kann das Saatgut mit Rhizobium-Präparat geimpft werden. Dies kann mit Hilfe einer Mischtrommel, dem Besprühen des Saatguts beim Befüllen der Drillmaschine oder der Ausbringung des Präparats mittels Feldspritze direkt nach der Aussaat erfolgen (KOLBE et al., 2002: S. 84).

Vor der **Aussaat** gilt, dass der Unkrautdruck durch ackerbauliche Maßnahmen (Schlagauswahl, Bodenbearbeitung, Aussaatzeitpunkt und Aussaatverfahren) so gering wie möglich gehalten werden sollte. Lupinen haben ein weites Saatfenster von Mitte März bis

Ende April. Die Schmalblättrige Lupine ist tolerant gegen Fröste bis zu -7° C. Frühere Aussaaten befördern das generative Wachstum und steigern das mögliche Körnerertragspotenzial. Späte Aussaaten führen eher zu vegetativem Wachstum (KOLBE et al., 2002: S. 84). Lupinen sind flach 2 – 3 cm tief mit Reihenabständen gleich denen von Getreide auszusäen. Die Aussaatstärke wird für Verzweigungstypen mit 80 – 100 Körnern je Quadratmetern angegeben, für endständige Typen gelten Richtwerte von 110 – 120 Körnern je Quadratmeter (BÖHM et al., 2016: S. 28–29). Als Zielgröße sollte für die Bestandesdichte eine Zahl von 100 Pflanzen je Quadratmeter angestrebt werden. Die Bestandesdichte hat einen großen Einfluss auf den Kornertrag, sowohl direkt als auch indirekt über die Unkrautwirkung. Bis ca. 90 Pflanzen je Quadratmeter kann eine steigende unkrautunterdrückende Wirkung festgestellt werden (SCHMIDT & LANGANKY, 2020: S. 11). Da die Verbreitung des Erregers der Anthraknose meist über das Saatgut erfolgt, sollte zertifiziertes Saatgut verwendet werden (KOLBE et al., 2002: S. 33).

Die niedrige Konkurrenzkraft von heutigen Zuchtformen von Lupinen aufgrund der langsamen Jugendentwicklung und damit auch die hohe Relevanz von **Maßnahmen zur Unkrautunterdrückung** für das Ertragsniveau im Lupinenanbau ist bekannt (BÖHM et al., 2008; BOSTRÖM, 2005; SCHMIDT & LANGANKY, 2020: S. 14). Wildformen weisen unter anderem aufgrund des hohen Bitterstoffgehaltes und größerer Blätter eine höhere Konkurrenzkraft auf (KOLBE et al., 2002: S. 78; WINK, 1983). Als vegetationsbegleitende Maßnahmen im ökologischen Landbau bieten sich vor allem der Hackstriegel und je nach Reihenabstand auch die Hacke an. Ein Blindstriegeln im Voraufbau ist möglich, sollte aber wegen der geringen Saattiefe nicht zu scharf erfolgen. Eine ausreichende Pflanzenzahl und gleichmäßige Verteilung der Pflanzen verhindert in der späten Wachstumsphase eine Spätverunkrautung (SCHMIDT & LANGANKY, 2020: S. 11–13). Der Anbau von Lupinen in Gemengen kann eine gute Wirkung auf den Unkrautbesatz haben, allerdings ist der Ertragsanteil der Schmalblättrigen Lupinen im Mischanbau eher gering (BÖHM et al., 2008).

Die **Ernte** erfolgt mittels Drusch mit einem Mähdescher im Zeitraum Mitte August bis Mitte September. Die Kornfeuchte sollte zwischen 14 – 18 % liegen und die Hülsen im Bestand größtenteils braun gefärbt sein (KOLBE et al., 2002: S. 87; LfL, 2016: S. 9). Wegen einer nur durchschnittlichen Platzfestigkeit sollte die Schmalblättrige Lupine nicht überständig werden (BÖHM et al., 2016: S. 32).

Tabelle II gibt einen Überblick über die in der Literatur genannten **Ertragsniveaus** der Schmalblättrigen Lupine im Ökolandbau. Für leichtere Standorte mit durchschnittlich eher schwächeren Böden lässt sich daraus ein durchschnittlicher Ertrag von etwa 15 – 25 dt ha⁻¹ ableiten. Die wenigen Angaben zum Flächenertrag der Bitterlupinensorte *Azuro* lassen sich ebenfalls in diesen Rahmen einordnen.

Tabelle II: Literaturübersicht zu Ertragszahlen für Schmalblättrige Lupine im Ökologischen Landbau

Erträge in dt ha ⁻¹	Bemerkung	Art	Quelle
20 – 45		Richtwerte (konventioneller und ökologischer Landbau)	BÖHM et al., 2016: S. 9
20 – 30		Richtwerte	KOLBE et al., 2002: S. 88
15 – 35		Richtwerte	WACHENDORF et al., 2018: S. 134
20 – 35		Richtwerte für niedriges bis hohes Ertragsniveau auf leichten bis mittelschweren Böden	KTBL, 2020c
10 – 25 20 – 30 30 – 35	bei AZ < 30 bei AZ 31 – 45 bei AZ 46 – 60	Richtwerte	STEIN-BACHINGER & BACHINGER, 2004: S. 38
15 20 28	bei AZ < 27 bei AZ 28 – 33 bei AZ > 34	Richtwerte aus Versuchsergebnissen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft Mecklenburg-Vorpommern (MV)	KLEY, 2015: S. 14
25,8 25	im Schnitt aller Sorten nur Sorte <i>Azuro</i>	einjährige Versuchsergebnisse von 14 gängigen Süßlupinensorten sowie der Sorte <i>Azuro</i> an Standort in MV mit lehmigem Sandboden (AZ 47)	JANSEN & SEDDIG, 2007
31 21	im Schnitt aller Sorten nur Sorte <i>Azuro</i>	einjährige Versuchsergebnisse von 12 gängigen Süßlupinensorten sowie der Sorte <i>Azuro</i> an Standort in MV mit lehmigem Sandboden (AZ 47)	JANSEN et al., 2010
19,7	im Schnitt aller Sorten	Landessortenversuche 2014 – 2019 für verschiedene Süßlupinensorten	LELF, 2020: S. 26

Sowohl in der Literatur als auch unter Praktiker:innen gilt gemeinhin die Annahme, dass Körnerleguminosen und damit auch Lupinen weniger ertragsstabil sind als Nicht-Leguminosen (KOLBE et al., 2002: S. 88; SCHREUDER & DE VISSER, 2014: S. 6). Untersuchung von Ertrags-Zeitreihen aus den USA und Europa sowie Feldversuchen auf Standorten in Ostdeutschland bestätigen dies (CERNAY et al., 2015; JANSEN & SEDDIG, 2007; RECKLING et al., 2015). Gleichsam wird in einer jüngeren Studie von RECKLING et al. (2018) der methodische Ansatz kritisiert, Ertrags-Zeitreihen als Datengrundlage zu verwenden. Demnach enthielten Ertragsdaten aus nationalen Statistiken mit Blick auf die Ertragsstabilität verschiedener Kulturen Verzerrungen. Beispielsweise würde Winterweizen statistisch gesehen häufiger auf größeren und besseren Standorten angebaut, Lupinen hingegen auf eher kleineren und schlechten Standorten. Deshalb wurden in dieser Studie Langzeit-Feldversuche untersucht, um Verzerrungen zu vermeiden. Im Ergebnis zeigten Körnerleguminosen sogar eine höhere Ertragsstabilität als Wintergetreide.

2.2 Lupinenschrot als N-Dünger

2.2.1 N-Düngung im Ökolandbau

Anders als im konventionellen Landbau, in dem vorrangig mit Hilfe betriebsfremder, leicht löslicher Mineraldünger die unmittelbare Ernährung der Kulturpflanze erfolgt, orientiert sich das Nährstoffmanagement im Ökolandbau an den Prozessen von natürlichen Ökosystemen mit ihren geschlossenen Nährstoffkreisläufen. Die Stärkung der Bodenfruchtbarkeit steht im Mittelpunkt der Bewirtschaftung. Durch Zuführung organischer Substanz werden die Bodenorganismen ernährt und gefördert, die wiederum die darin enthaltenen Nährstoffe pflanzenverfügbar machen (LOCHNER & BREKER, 2015: S. 240–241; MÄDER et al., 2002).

Zentraler Pflanzennährstoff ist Stickstoff, der von Pflanzen vor allem zum Aufbau von Eiweißen, der DNA und Chlorophyll benötigt wird (SEIPEL, 2014: S. 184). Eine Pflanze deckt ihren Bedarf an Stickstoff hauptsächlich aus dem zu Vegetationsbeginn im Wurzelraum vorhandenen mineralisierten Stickstoff, dem während der Vegetationsperiode frei werdenden Stickstoff durch den Abbau organischer Stoffe oder aus dem über organische Düngemittel zugeführten pflanzenverfügbaren Stickstoff. Leguminosen decken einen Teil ihres Bedarfs darüber hinaus über den durch Knöllchenbakterien gebundenen Luftstickstoff (WENDLAND et al., 2018: S. 26). Über organische Wurzelausscheidungen der lebenden Pflanze, mit dem Einarbeiten der gesamten pflanzlichen Biomasse zur Gründüngung oder dem Verbleib von Wurzelmasse nach der Ernte, gelangt der in legumer Biomasse symbiotisch fixierte Luftstickstoff in den Boden und steht nach der Mineralisierung der Folgekultur zur Verfügung (SEIPEL, 2014: S. 211–212; WACHENDORF et al., 2018: S. 34–35). Eine weitere Möglichkeit der Nutzung von internen Betriebsstrukturen für den Nährstoffkreislauf stellt die Verfütterung von Futter- und Körnerleguminosen in viehhaltenden Betrieben dar. Über die Rückführung von Gülle, Jauche und Mist als Wirtschaftsdünger wird ein zeitlich und räumlich flexibel einsetzbarer Dünger bereitgestellt (LOCHNER & BREKER, 2015: S. 316–318).

Der Anteil an Leguminosen in ökologischen Fruchtfolgen nimmt eine zentrale Stellung ein und wird gemeinhin mit etwa 30 % beziffert, variiert aber je nach Ausrichtung des Betriebes (KOLBE, 2015: S. 7). FREYER (2003: S. 101–104) unterscheidet beispielhaft drei verschiedene Betriebsarten mit ihren unterschiedlichen Anforderungen an Leguminosen in der Fruchtfolge: In Milchviehbetrieben mit hohen Anteilen an Grünlandflächen kann der Anteil an

Futterleguminosen in der Fruchtfolge bis zu 50 % ausmachen. Bedeutendste Rolle spielen dort Klee- und Luzernegrasmengemische. In Veredlungsbetrieben, deren Futterbedarf aus der Schweine- und Geflügelhaltung resultiert, kommt den Körnerleguminosen eine größere Bedeutung zu. Dennoch wird auch in Veredlungsbetrieben immer noch ein Anteil von etwa 20 % Futterleguminosen in der Fruchtfolge zur N-Versorgung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit empfohlen. Die Futterleguminosen werden dann z.B. als Gründüngung (Rotationsbrache) angebaut. Die dritte Variante stellt der viehlose Ackerbau dar. Im Unterschied zur konventionellen Landwirtschaft stellt der viehlose Ackerbaubetrieb im ökologischen Landbau hohe Anforderungen an die Fruchtfolge. Durch die hohe Abhängigkeit im Anbau von verkaufsfähigen Marktfrüchten und dem Fehlen von betriebseigenen Futter- und Wirtschaftsdüngerkreisläufen stellt sich die Frage, durch welche Maßnahme die Fruchtfolge mit Stickstoff versorgt werden kann. In der Praxis kommen auch dort an erster Stelle Futterleguminosen als Grünbrache zum Einsatz. Daneben erfolgt häufig ein legumer Zwischenfruchtanbau verschiedener Arten von Futter- und Körnerleguminosen (FREYER, 2003: S. 101–104).

Aufgrund der organischen Düngung im ökologischen Landbau stellt die bedarfsgerechte N-Versorgung der Kulturen eine der zentralen Herausforderungen dar (WENDLAND et al., 2018: S. 38). Der schlaggebundene N-Transfer von Leguminosenbeständen zur folgenden Marktfrucht kann wegen der Mineralisierung des organisch gebundenen Stickstoffs nur indirekt über z.B. die Wahl des Zeitpunkt des Umbruchs von Klee gras oder die Stellung von Sommerungen und Winterungen in Fruchtfolgen gesteuert werden (KELM et al., 2007; RUHE et al., 2003). Dabei spielt vor allem die zeitliche Übereinstimmung des N-Angebots durch die Mineralisierung vorhandenen organischen Materials im Boden und des N-Bedarfs der Folgekultur eine große Rolle. Der Umbruch eines Klee grasbestandes als Vorfrucht im Herbst führt zu einer Erhöhung der N-Auswaschung ins Grundwasser gegenüber einem Umbruch im Frühjahr mit anschließender Sommerung als Nachfrucht (DREYMANN et al., 2003). Gleichzeitig weist Wintergetreide zum Beginn des Frühjahrs den höchsten N-Bedarf auf, dann wenn die Mineralisierungsleistung im Boden aufgrund der niedrigen Temperaturen noch relativ niedrig ist (AUFHAMMER, 2003: S. 175; KAHNT, 2008: S. 76). Dem Problem kann mit Hilfe von zeitlich und räumlich flexibel einsetzbaren Wirtschaftsdüngern begegnet werden, sofern diese auf einem Betrieb vorhanden sind (FREYER, 2003: S. 130).

Kann der N-Bedarf insbesondere in anspruchsvollen Kulturen nicht über Leguminosen in der Fruchtfolge oder die Bereitstellung von Wirtschaftsdüngern gedeckt werden, kann Stickstoff

aus externen Quellen über sogenannte organische Handelsdünger zugekauft werden. Dies ist im Ackerbau unter Umständen bei Backweizen oder Kartoffeln der Fall und im intensiven Gemüsebau die Regel (SCHMIDT, 2003: S. 174). Diese lassen sich nach ihrer tierischen oder pflanzlichen Herkunft unterteilen. Handelsdünger tierischer Herkunft, wie z.B. Blut- und Knochenmehle oder Hornprodukte stammen aus der Verarbeitung von Schlachtkörpern und damit häufig aus konventioneller Produktion. Sie stehen u.a. wegen möglicher Rückstände von Arzneimitteln und ihrer Herkunft aus der intensiven Tierhaltung in der Kritik. Gleichzeitig bestechen sie durch eine gute Marktverfügbarkeit, schnelle N-Freisetzung und niedrige Preise, weshalb sie lange der gängige Dünger zur Deckung hoher Nährstoffbedarfe im ökologischen Gemüsebau waren (DEUMLICH et al., 2016: S. 54–55; MÜLLER & VON FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF, 2003: S. 63, 2006). Bei Handelsdüngern pflanzlicher Herkunft handelt es sich meist um Pressrückstände aus der Ölgewinnung oder Reststoffe aus der industriellen Nahrungsmittelproduktion (z.B. Vinasse, Kartoffelfruchtwasserkonzentrat, Rapsextraktionsschrot) (MÖLLER & SCHULTHEIB, 2014a: S. 373). Daneben werden auch Leguminosenschrote häufig zu den organischen Handelsdüngern gezählt (Engelmann et al., 2007, S. 1). Eine weitere Form von Handelsdüngern, stellen (meist flüssige) Gärreste aus Biogasanlagen dar. Die Gärreste sind ebenso flexibel im Einsatz wie etwa Wirtschaftsdünger und weisen einen ähnlich hohen Anteil schnell pflanzenverfügbaren Stickstoffs auf wie etwa Gülle (GUTSER et al., 2005). Die Verteilung von Biogasanlagen in Deutschland ist allerdings regional sehr unterschiedlich und fokussiert sich im Besonderen auf Regionen mit hohem Tierbesatz (Nordwesten und Süden Deutschlands) (DÖHLER et al., 2013: S. 301). Weiterhin werden die meisten Biogasanlagen vor allem unter dem Einsatz von konventionellen Energiepflanzen, wie Silomais, betrieben. Der Fokus auf intensivem Energiepflanzenanbau widerspricht in weiten Teilen den Prinzipien des Ökolandbaus (HOFMANN, 2015: S. 6–7).

Ein vereinfachtes Schema zum N-Kreislauf auf einem ökologischen Betrieb stellt **Abbildung II** dar. Über den Anbau von Leguminosen als Gründüngung oder deren Erntereste wird dem Boden Stickstoff über die Fruchtfolge zugeführt. Dieser Stickstoff kann aber anders als Wirtschaftsdünger oder zugekaufte Handelsdünger nicht flexibel auf den Bedarf ausgelegt werden. Lupinenschrot bietet das Potenzial sowohl innerbetrieblich produziert zu werden, als auch eine flexible N-Quelle darzustellen. Durch den Verkauf von tierischen und pflanzlichen Produkten verlässt organische Substanz und damit auch Stickstoff den Betrieb, weshalb dem Nährstoffmanagement in Kreislaufwirtschaft Grenzen gesetzt sind.

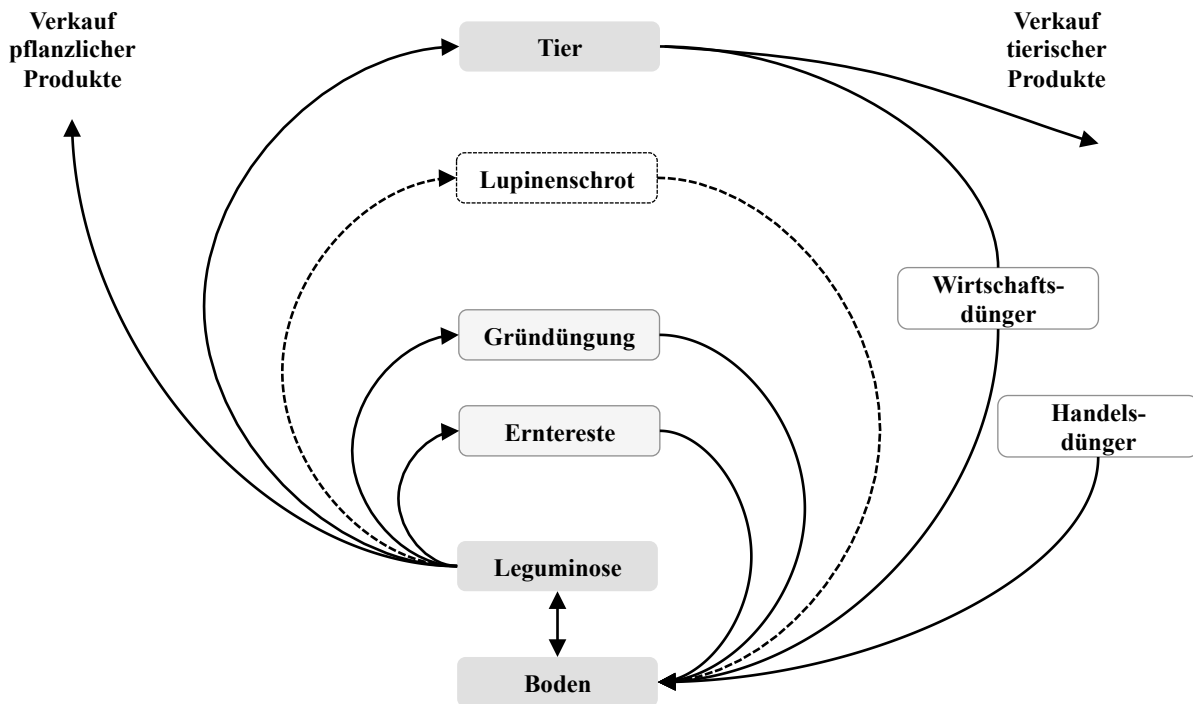


Abbildung II: vereinfachtes Schema zum Stickstoffkreislauf auf einem ökologischen Betrieb (WACHENDORF et al., 2018: S. 35)

Die bedeutendste N-Quelle von Betrieben im Ökolandbau stellt die N-Bindung durch die angebauten Leguminosen dar, gefolgt von der Zufuhr über organische Düngemittel (KOLBE et al., 2002: S. 8). Die jährliche N-Bindung durch Futterleguminosen kann in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Gemenge bis zu 300 kg N ha^{-1} betragen (BACHINGER et al., 2015: S. 112). Die Fixierungsleistung von gemulchtem Klee gras ist niedriger, als wenn der oberirdische Aufwuchs abgefahren wird (KATROSCHAN, 2011: S. 60). Die Fixierungsleistung von Körnerleguminosen ist in der Regel niedriger als die von Futterleguminosen und kann zwischen $50 - 170 \text{ kg N ha}^{-1}$ betragen (FREYER, 2003: S. 129; KOLBE et al., 2002: S. 14). Werden Leguminosen als Zwischenfrüchte angebaut, beträgt die jährliche N-Bindung etwa $40 - 50 \text{ kg N ha}^{-1}$ (BACHINGER et al., 2015: S. 114). Ein Teil des fixierten Stickstoffs verbleibt über Ernterückstände auf dem Feld, ein Teil wird über die Abfuhr dem Boden entzogen und kann in viehhaltenden Betrieben über Wirtschaftsdünger zeitlich und räumlich versetzt wieder dem Boden zugeführt werden (WACHENDORF et al., 2018: S. 35). STEIN-BACHINGER & BACHINGER (2004: S. 114–115) konstatieren, dass die Menge des symbiotisch fixierten Stickstoffs von Körnerleguminosen rechnerisch in etwa der N-Menge gleichkommt, die mit den Körnern vom Feld abgeführten. Dementsprechend tragen Körnerleguminosen, deren Ertrag geerntet und verkauft wird, nicht nennenswert zur N-Bilanz einer Fläche bei (FREYER, 2003: S. 104). Der kumulierte Eintrag von Stickstoff über die N-Deposition aus der

Atmosphäre oder Saat- und Pflanzgut beträgt in der Regel 20 – 40 kg N ha⁻¹ (KOLBE et al., 2002: S. 8).

Unter dem Einfluss des Klimawandels wird davon ausgegangen, dass sich unter Einbeziehung des Temperaturanstiegs die Wasserbilanz langfristig verschlechtern wird, so dass in Brandenburg vor allem durch die Abnahme von Sommerniederschlägen die Gefahr von sommerlichen Dürren steigen wird (GERSTENGARBE et al., 2003: S. 58–59; KUNDEL et al., 2020; ZEBISCH et al., 2005: S. 67). Dieser Hintergrund erfordert ein Überdenken von bestehenden Fruchtfolgen. Der Ökolandbau ist zwar weniger abhängig von externem Input als die konventionelle Landwirtschaft, dafür aber umso abhängiger von den natürlichen Standortbedingungen (KUNDEL et al., 2020; MÄDER et al., 2002). Die Stärke des Ökolandbaus, das Anstreben geschlossener Nährstoffkreisläufe über Futter- und Körnerleguminosen in Ackerbau- und Futterbaubetrieben, kann vor dem Hintergrund der skizzierten Klima-Prognosen zur Schwäche werden (BLOCH & BACHINGER, 2013). Besonders Futterleguminosen und damit der Motor ökologischer Fruchtfolgen leiden unter Trockenheit. Abiotische Stressfaktoren, wie hohe Temperaturen und Wassermangel, hemmen die N-Fixierungsleistung, was wiederum den Ertrag von Leguminosen und deren Begleitgräsern reduziert (LIPIEC et al., 2013; STANIAK, 2019). Weiterhin ist der Ökolandbau im besonderen Maße von einem intakten Mikrobiom im Boden abhängig. Dies zeigt sich durch eine höhere mikrobielle Diversität und Aktivität sowie größere Anzahl an Mikroorganismen in langfristig ökologisch bewirtschafteten Böden (LORI et al., 2017). Diese mikrobielle Gemeinschaft wiederum ist stark abhängig von Wassergehalt des Bodens. Anhaltende Trockenheit wirkt sich negativ auf N-bezogene mikrobielle Aktivität und damit die Mineralisierung von organischen Verbindungen in pflanzenverfügbaren Stickstoff aus (KUNDEL et al., 2021). Trockenheit trifft den Stickstoffkreislauf im Ökolandbau also doppelt: Zum einen nimmt die N-Fixierungsleistung von insbesondere Klee gras ab, welches im Ackerbau und der Viehhaltung gleichermaßen wichtig ist. Zum anderen verringert sich die Mineralisation von organischem Dünger im Boden durch Mikroorganismen. Kommt es darüber hinaus zu Starkregenereignisse, können große Mengen Stickstoff mineralisiert und im schlechtesten Fall in der Abreifephase oder nach der Ernte der Hauptfrucht nicht aufgenommen und ausgewaschen werden. Stickstoff ist dann nicht nur potenziell zu wenig vorhanden, sondern teilweise auch noch zum falschen Zeitpunkt im System (BLOCH & BACHINGER, 2013).

2.2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

In **Tabelle III** werden die rechtlichen Regelungen der EU-Öko-Verordnung und der Bioland-Richtlinien zu verschiedenen Düngemaßnahmen verglichen. Der Praxisbetrieb, auf den sich in dieser Arbeit bezogen wird, ist Mitglied im Bioland-Verband. Die Richtlinien des Anbauverbands Bioland weisen zum Teil deutlich strengere Kriterien auf als die EU-Öko-Verordnung. Nach den Bioland-Richtlinien ist die gesamte auszubringende N-Menge an einen theoretischen Viehbesatz geknüpft. Maximal zulässig ist das Äquivalent von 1,4 Dungeinheiten, was 112 kg N ha^{-1} entspricht. Grundsatz der Düngung stellt die Verwendung von Wirtschaftsdüngern dar. Zur Ergänzung der wirtschaftseigenen Dünger dürfen maximal 40 kg N ha^{-1} durch betriebsfremde organischen Dünger zugekauft werden. Durch die enge Bindung der N-Düngung an den Tierbesatz und die Begrenzung zusätzlicher Nährstoffzufuhr soll der Anbau von luftstickstoffbindenden Leguminosen gefördert werden. Weiterhin soll durch das Verbot von Gülle, Jauche und Geflügelkot aus konventioneller Tierhaltung der Eintrag von Schwermetallen und Medikamentenrückständen vermindert werden (BIOLAND E.V., 2020). Die Nutzung von Biogasgärresten wird bei den Anbauverbänden etwa seit 2005 diskutiert (HOFMANN, 2015: S. 10). Bioland erlaubt die Verwendung von Gärresten nur, wenn mindestens 60 % der Fermentationsstoffe aus biologischer Erzeugung stammen. Gärreste gelten dann nicht als Zukaufdünger, wenn ein Betrieb die selbe Menge Nährstoffe als Gärreste zurückführt, wie aus betriebseigener Erzeugung in eine Biogasanlage hineingegeben wurden (BIOLAND E.V., 2020: S. 7). Deutschlandweit existieren weniger als 200 Biogasanlagen auf ökologisch bewirtschafteten Betrieben (HOFMANN, 2015: S. 2).

Tabelle III: Vergleich von EU-Öko-Verordnung und Bioland-Richtlinien hinsichtlich Regelungen zu Düngemaßnahmen (BIOLAND E.V., 2020; EU-LEX, 2007, 2018; SANDERS & HEB, 2019: S. 31)

	EU-Öko-Verordnung	Bioland-Richtlinien
Höhe der N-Düngung im Ackerbau	<ul style="list-style-type: none"> – Unbegrenzte Gesamtstickstoffmenge – Menge an Wirtschaftsdünger ist begrenzt auf $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> – Begrenzte Gesamtstickstoffmenge auf max. $112 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (= 1,4 DE)
Zukauf von N-Düngern	<ul style="list-style-type: none"> – Zukauf ist nicht limitiert – Zukauf von Wirtschaftsdüngern aus konventioneller, flächengebundener Tierhaltung ($< 2,5 \text{ GV ha}^{-1}$) ist erlaubt 	<ul style="list-style-type: none"> – max. $40 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (= 0,5 DE) – Verbot von Gülle, Jauche und Geflügelkot aus konventioneller Tierhaltung
Organische Handelsdünger	<ul style="list-style-type: none"> – keine Einschränkungen 	<ul style="list-style-type: none"> – Blut-, Fleisch- und Knochenmehle sind verboten
Gärreste aus konventionellen Biogasanlagen	<ul style="list-style-type: none"> – erlaubt 	<ul style="list-style-type: none"> – verboten

Anforderungen an die Anwendung von Düngemitteln sind in Deutschland in der **Düngeverordnung** (DüV) geregelt. Sofern auf einem Schlag pro Anwendungsjahr wesentliche Mengen an Stickstoff (mehr als 50 kg N ha^{-1}) oder Phosphat (mehr als $30 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) ausgebracht werden, muss der Düngebedarf von Kulturen vor der ersten Ausbringung flächengenau ermittelt und dokumentiert werden. Für Stickstoff erfolgt die Düngebedarfsermittlung nach der N-Sollwert-Methode. Als Richtwerte dienen in der DüV ausgewiesene kulturspezifische Sollwerte für den N-Bedarf in Abhängigkeit des Ertragsniveaus. Mit Hilfe von Sollwert-Korrekturen wird der Richtwert an die spezifischen Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen angepasst. Dazu gehören u.a. die im Boden verfügbare Nährstoffmengen, die N-Nachlieferung aus der Vorkultur oder der Humusgehalt im Boden. Am Ende der Berechnung steht die während der Vegetation benötigte N-Menge (= N-Sollwert). Der für eine Kultur ermittelte Nährstoffbedarf darf beim Düngen nicht überschritten werden (BMJV, 2021a: § 4, Anlage 4).

Da in organischen Düngemitteln Stickstoff – anders als in Mineraldüngern – zu einem großen Teil in organisch gebundener Form vorliegt, muss die geringere N-Verfügbarkeit berücksichtigt werden. Deshalb gibt die DüV für verschiedene Düngemittel Werte für die Mindestwirksamkeit im Jahr der Aufbringung in Prozent des ausgebrachten Gesamtstickstoffs vor, welche im Wesentlichen dem schon in mineralisierter Form vorliegenden Ammonium-Stickstoff des jeweiligen Düngemittels entsprechen (WENDLAND et al., 2018: S. 41). Für nicht in der DüV aufgeführte Düngemittel müssen die Werte entweder bei der nach Landesrecht

zuständigen Stelle erfragt werden oder nach wissenschaftlich anerkannten Messmethoden ermittelt worden sein (BMJV, 2021a: § 3).

Um Auswaschungen von Stickstoff zu verhindern, gelten nach DüV verschiedene Maßnahmen. Für Düngemittel mit wesentlichem Gehalt an Stickstoff gilt – mit einigen Ausnahmen – eine Sperrfrist für die Ausbringung auf Ackerland von der Ernte der Hauptkultur bis zum 31. Januar des Folgejahres. Ist der Boden gar nicht aufnahmefähig, weil er überschwemmt, wassergesättigt, gefroren oder schneebedeckt ist, gilt ebenso ein Verbot. Weiterhin gilt, dass die in **Tabelle III** genannten Obergrenzen für Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern (EU-Öko-Verordnung) bzw. die Gesamtstickstoffmenge (Bioland-Richtlinie) im Betriebsdurchschnitt pro Hektar und Jahr zu ermitteln sind. In sogenannten nitratbelasteten Gebieten schreibt die DüV vor, dass die dort festgeschriebene Obergrenze von 170 kg N ha^{-1} aus allen ausgebrachten organischen Düngern schlagbezogen errechnet werden muss (BMJV, 2021a: § 13a). In Brandenburg umfasst diese ab 01. Januar 2021 geltende Regelung etwa 1,8 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (MLUK, 2020). Hintergrund dieser Regelungen ist, dass besonders Nitratstickstoff aufgrund seiner hohen Mobilität im Boden unvermeidbaren Auswaschungsverlusten unterliegt. Negative Auswirkungen auf die Umwelt – insbesondere das Grundwasser – sind die Folge, wenn die N-Zufuhr über den Pflanzenbedarf hinausgeht (WENDLAND et al., 2018: S. 26). Die vertikale Verlagerung von Stickstoff durch Versickerung aus dem Wurzelraum tritt vor allem im Winterhalbjahr auf (RENGER, 2002: S. 22).

2.2.3 Eigenschaften von Lupinenschrot als N-Dünger

Ausgangsstoffe für Leguminosenschrote sind die Körner von Ackerbohnen, Erbsen, Wicken, Lupinen oder Soja. Diese werden klassischerweise als Futtermittel oder für die Nahrungsmittelproduktion angebaut. Dementsprechend sind für den gezielten Anbau der Körner zu Dünge Zwecken nach Möller und Schultheiss keine Daten zum Anbauumfang bekannt (MÖLLER & SCHULTHEISS, 2014a: S. 207). Leguminosenschrote als Düngemittel unterliegen den Regelungen der Düngemittelverordnung, da ihre Nährstoffgehalte von N, P und K über den jeweiligen Kennzeichnungsschwellen liegen. Sie werden allerdings vor allem wegen ihrer N-Wirkung eingesetzt (ebd.). Die Verwendung von Lupinenkörnern zu Dünge Zwecken ist keine gänzlich neue Idee. KATROSHAN (2011: S. 2) berichtet von der Verwendung von Lupinenmehl als N-Dünger in Italien bereits in den 1920er Jahren. Nach

ihrer Verdrängung durch synthetische Düngemittel und Handelsdünger tierischer Herkunft wurde die Nutzung von Leguminosenschroten zur N-Düngung insbesondere im ökologischen Gemüsebau wissenschaftlich erst zum Ende der 1990er Jahre wiederentdeckt (LABER, 2003a).

Im Weiteren werden die Eigenschaften von Lupinenschrot als N-Dünger hinsichtlich des Rohproteingehalts im Korn, des C:N-Verhältnis, der N-Verfügbarkeit im Boden und der Wirkung auf der Geberfläche charakterisiert sowie der Stand der Forschung dargestellt.

Körnerleguminosen zeichnen sich durch einen mittleren bis hohen Gehalt an Speicherproteinen in der Samentrockensubstanz aus. Biologisch betrachtet dienen die Speicherproteine während der Keimung der Ernährung des Keimlings. Dabei reicht die Spanne des **Rohproteingehalts** von Körnerleguminosen von etwa 20 % bei Erbsen bis zu 40 % bei Soja (JEROCH et al., 2016: S. 52). Lupinen erreichen innerhalb der in Mitteleuropa gängigen Körnerleguminosen die höchsten Proteingehalte (JANSEN & SEDDIG, 2007: S. 46). Für die Schmalblättrige Lupine werden in Standardwerken Angaben von 28 – 33 % Rohprotein in der Trockensubstanz genannt (WACHENDORF et al., 2018: S. 134). Das Bundessortenamt konnte in den Wertepfahrungen der bei Ihnen gelisteten Schmalblättrigen Lupinensorten Rohproteingehalte von 30 – 35 % ermitteln (BSA, 2020: S. 271). Der Eiweißgehalt wird allerdings nicht nur artspezifisch bestimmt. Studien zeigen, dass der Rohproteingehalt in starker Abhängigkeit vom Genotyp steht und über einen weiten Bereich an Umwelteinflüssen relativ stabil ist (KATROSCHAN, 2011: S. 48). Ergebnisse aus Praxisversuchen mit verschiedenen alkaloidarmen Sorten der Schmalblättrigen Lupinen an leichteren Standorten in Ostdeutschland erzielten durchschnittliche Rohproteingehalte von 30 – 33 % (BÖHM et al., 2016: S. 16; JANSEN & SEDDIG, 2007: S. 47; SCHMIDT & LANGANKY, 2020: S. 66). In wenigen Studien, in denen die Bitterlupinen-Sorte *Azuro* untersucht wurde, konnten für diese Rohproteingehalte von 31 – 35,4 % festgestellt werden (GEFROM et al., 2014; JANSEN & SEDDIG, 2007: S. 47; KATROSCHAN, 2011: S. 59).

Zur Ermittlung des im Lupinen-Protein enthaltenen Stickstoffs wird ein Umrechnungsfaktor benötigt. Das Verhältnis von Stickstoff zu Protein variiert je nach betrachtetem Lebensmittel. Es gibt eine anhaltende wissenschaftliche Debatte über die Verwendung proteinquellenspezifischer Umrechnungsfaktoren, die allerdings nicht für alle Proteinquellen abschließend bekannt und bestätigt sind. Daher wird in der Praxis in der Regel von einem durchschnittlichen N-Gehalt von 16 % ausgegangen. Daraus folgt ein Umrechnungsfaktor von 6,25 von Gewichtseinheit Stickstoff zu Gewichtseinheit Protein (GORISSEN et al., 2018;

MARIOTTI et al., 2008; MATTILA et al., 2018). Dieser Umrechnungsfaktor wird – auch in Ermangelung von lupinenspezifischen Umrechnungsfaktoren – in dieser Arbeit ebenfalls verwendet.

Ein wichtiges Kriterium für die N-Düngewirkung von Düngemitteln ist das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff, das **C:N-Verhältnis**. Dieses ist für die Geschwindigkeit der Zersetzung der organischen Substanz relevant (SEIPEL, 2014: S. 133). Bei sehr weiten C:N-Verhältnissen, wie sie bei holzigen Pflanzenteilen vorliegen, entziehen die Mikroorganismen dem Boden Stickstoff bei der Zersetzung der organischen Masse und immobilisieren diesen vorübergehend (SEIPEL, 2014: S. 187). Eine Netto-N-Mineralisierung erfolgt je nach verwendetem Düngemittel bis zu einem C:N-Verhältnis in einer Spanne von 20 – 40:1 (CABRERA et al., 2005). Die Zersetzung und Mineralisierung organischer Masse erfolgt schneller, je enger das C:N-Verhältnis ist (WENDLAND et al., 2018: S. 41). Dennoch spielen auch andere Faktoren, wie die Zusammensetzung der Eiweiße und der C-Bestandteile in der zugeführten organischen Masse, eine wichtige Rolle (MÖLLER & SCHULTHEIB, 2014a: S. 32–33; SEIPEL, 2014: S. 133). Lupinen weisen mit durchschnittlich 7,6 ein deutlich engeres C:N-Verhältnis auf als etwa Ackerbohnen (9,9) und Erbsen (13,3) (BACHINGER et al., 2015: S. 122).

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Bewertung eines organischen Düngemittels ist die N-Ausnutzung der organischen Dünger im Boden im Jahr der Anwendung, die sog. **N-Verfügbarkeit** (MÖLLER & SCHULTHEIB, 2014a: S. 31). Organische Düngemittel zeigen im Vergleich mit Mineraldüngern direkt nach der Anwendung eine langsamere Umsetzungswirkung infolge niedrigerer Gehalte an mineralischem Stickstoff sowie der langsameren Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs. Deshalb ist ihre kurzfristige Verfügbarkeit niedriger als bei Mineraldüngern, die langfristigen Effekte auf die N-Versorgung der Pflanze aus dem N-Boden-Pool sind allerdings besser (GUTSER et al., 2005). Organische Düngemittel mit hohem Gesamt-N-Gehalt, hohem Gehalt an Ammonium (NH_4^+) und einem niedrigen C:N-Verhältnis haben in der Regel eine höhere N-Verfügbarkeit. Je höher das C:N-Verhältnis und je stabiler der Stickstoff in organischer Substanz gebunden ist, desto langsamer werden die Nährstoffe freigesetzt und desto niedriger ist meist auch die Verfügbarkeit im Jahr der Anwendung. Gleichzeitig zeigen diese Düngemittel, wie z.B. Mist und Kompost, eine stark erhöhte N-Ausnutzung (N-Effizienz) über viele Jahre hinweg infolge der Mineralisierung von akkumuliertem Stickstoff im Boden (GUTSER et al., 2005). Wichtige Einflussfaktoren für die N-Verfügbarkeit von organischen Düngern sind der Gehalt an

Ammonium sowie das C:N-Verhältnis und die Abbaustabilität der organischen Substanz. Über diese Einflussgrößen wird die N-Verfügbarkeit in der Regel abgeleitet (MÖLLER & SCHULTHEIß, 2014a: S. 32; MÜLLER & VON FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF, 2006). N-Umsetzungsprozesse und damit die N-Verfügbarkeit unterliegen einem komplexen Zusammenspiel verschiedener Faktoren wie dem Standort (Boden, Klima), der Bodenfruchtbarkeit (Umsetzung), der Kulturart (Länge der Vegetationsperiode in der wärmeren Jahreszeit und zeitlicher N-Bedarf) (GUTSER et al., 2005).

Für Lupinenschrot wird in der Literatur ein Wert von 50 – 60 % N-Verfügbarkeit angegeben (BACHINGER et al., 2015: S. 122). Nach Aussagen von MÖLLER & SCHULTHEIß (2014a: S. 210) sind diese vergleichsweise hohen Werte aber nur mit Sorten der Gelbe Lupine zu erreichen und die N-Verfügbarkeit von Schrot der Schmalblättrigen Lupine liegt mit 30 – 40 % deutlich niedriger. Die Schwierigkeit in der Aussagegenauigkeit von Richtwerten aufgrund der Komplexität von N-Umsetzungsprozessen wird bei Betrachtung verfügbarer Ergebnisse aus Brut- und Feldversuchen ersichtlich. LABER (2003a) bestätigt in Feldversuchen mit etwa 30 % N-Mineralisation die eher niedrigeren Raten für Schmalblättrige Lupine. KATROSHAN (2011: S. 67) konnte für die Bitterlupine *Azuro* in zwei Feldversuchen eine mittlere N-Mineralisation von 60 % erzielen. HIRZEL et al. (2019) hingegen ermittelten in einem Brutversuch in drei verschiedenen Bodentypen für Lupinenschrot nach 28 Tagen eine durchschnittliche N-Verfügbarkeit von 54,3 %. In mehreren Freilandversuchen untersuchten ENGELMANN et al. (2007: S. 60) Leguminosenschrote hinsichtlich ihrer Düngewirkung bei Kohlrabi. Dabei erreichte eine bitterstoffarme Sorte (*Bolero*) der Schmalblättrigen Lupine im Mittel eine Netto-N-Ausnutzung von 33 %, womit sie deutlich schlechter abschnitt als Gelbe Lupine (59 %). Die Netto-N-Ausnutzung ist ein rechnerischer Wert und beschreibt den scheinbaren Anteil des durch Düngung bereitgestellten Stickstoffs am N-Ertrag der Hauptkultur. Da bei einigen Kulturen besonders im Gemüsebau die zeitliche N-Verfügbarkeit ins zeitige Frühjahr fällt, untersuchten LI et al. (2009) das N-Mineralisierungspotential von Lupinenschrot verschiedener Arten unter niedrigen Temperaturen in Brutversuchen. Nach 7 Tagen Inkubation bei 18 °C waren 50 – 70 % als mineralischer Stickstoff freigesetzt. Die gleiche Menge wurde bei einer niedrigeren Temperatur von 5 °C erst nach 28 Tagen erreicht. Es konnte kein Unterschied zwischen den untersuchten Arten festgestellt werden. In einer ähnlichen Versuchsanordnung konnten LI et al. (2015) nach 6 Wochen Inkubationszeit N-Umsetzungsraten von 36 – 44 % ermitteln und dabei keinen signifikanten Unterschied für

verschiedene Temperaturniveaus (5 °C, 12 °C, 20 °C) feststellen. Zusätzlich zur Temperaturabhängigkeit untersuchten SABAHİ et al (2009) in Brutversuchen Effekte der Feinheit des Lupinenschrots auf die N-Mineralisierung. Im Ergebnis konnte bei 12 °C und 20 °C kein Unterschied festgestellt werden, bei niedrigen Temperaturen von 5 °C war die Umsetzungsrate des gröberen Schrots höher als bei feinerem Mehl. Weiterhin haben einige Forschungsvorhaben untersucht, ob es einen Unterschied macht, Lupinenschrot auszubringen oder das Saatgut mit hoher Dichte auszusäen und kurz nach dem Aufgang einzuarbeiten. Hintergrund ist die Vermutung, dass das C:N-Verhältnis im Keimling niedriger ist als im Saatkorn und damit auch die Düngewirkung zunimmt. Laborversuche haben festgestellt, dass das C:N-Verhältnis während der Keimung abnimmt und die Netto-N-Mineralisation der Keimlinge um bis zu 44 % höher liegt als beim Schrot (KATROSCHAN et al., 2012). In einem Feldexperiment mit Weißkohl als Nehmerkultur konnte bei Ausbringung vergleichbarer N-Mengen mit Hinblick auf die Ertragseffekte allerdings kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (KATROSCHAN & STÜTZEL, 2008). Insgesamt konnten positive Ertragseffekte in verschiedenen Gemüsebaukulturen bei der Verwendung von Schrot der Schmalblättrigen Lupine (ENGELMANN et al., 2007: S. 51) und von Gelber Lupine festgestellt werden (MÜLLER & VON FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF, 2003: S. 61–62)

Neben der Wirkung des Bitterlupinenschrots auf der Fläche der zu düngenden Kultur (Nehmerfläche), hat der Anbau der Bitterlupine zur Körnerernte auch einen **Düngeeffekt auf der Anbaufläche** (Geberfläche). Im Mittelpunkt steht die Frage danach, wie viel Stickstoff auf der Anbaufläche verbleibt und welchen Beitrag dieser zur N-Bilanz der Geberfläche leistet. Auch wenn bei Körnerleguminosen zur Abreife eine Verlagerung des Stickstoffs aus Blatt-, Stängel-, und Wurzelmasse in die Körner stattfindet, können relevante N-Mengen in den Ernterückständen zurückbleiben (KAHNT, 2008: S. 83–84). KOLBE et al. (2002: S. 14) quantifizieren die Relation zwischen Stickstoff, der mit dem Erntegut abgefahren wird und jenem, der in Stroh und Wurzeln verbleibt, für Schmalblättrige Lupinen mit 63 %. Bei einem angenommenen N-Entzug in Höhe von 120 kg ha⁻¹ über die Körner (KOLBE, 2008) entspricht dies 70 kg N, die auf der Geberfläche verbleiben. In Feldversuchen konnten diese Werte bestätigt werden (KAHNT, 2008: S. 48). Für die Beantwortung der Frage nach der Düngewirkung auf der Geberfläche ist allerdings relevant, ob es sich dabei um fixierten Luft-Stickstoff handelt. Der Anteil des fixierten Stickstoffs an der Gesamtaufnahme an Stickstoff durch die Pflanze wird in der Literatur mit 80 % beziffert (KOLBE et al., 2002: S. 14). Die Fixierungsleistung wird neben verschiedenen Faktoren, wie z.B. der Wasserverfügbarkeit, vor

allem durch den N_{\min} -Gehalt im Boden bestimmt. Je mehr Stickstoff in Form von Nitrat im Boden der Geberfläche vorhanden ist, desto mehr wird die Fixierung des Luftstickstoffs gehemmt und es käme bei der Düngung mit Bitterlupinenschrot nur zu einer Umverteilung des im Boden vorhandenen Stickstoffs (FREYER, 2003: S. 128; WACHENDORF et al., 2018: S. 36). Häufig findet sich in der Literatur die Aussage, dass die Menge des symbiotisch fixierten Stickstoffs rechnerisch in etwa der mit den Körnern vom Feld abgeführten N-Menge gleichkommt und damit Körnerleguminosen, deren Ertrag geerntet und verkauft wird, nicht nennenswert zur N-Bilanz der Geberfläche beitragen (KATROSCHAN, 2011: S. 67; STEINBACHINGER & BACHINGER, 2004: S. 114–115). Über das Aufstellen von N-Salden wird mit Hilfe von Rechenfaktoren aus Tabellenwerken und des abgeführten N-Ertrags im Korn abgeschätzt, wie viel des fixierten Luftstickstoffs nach der Ernte in vegetativer ober- und unterirdischer Biomasse, Blattstreu sowie sonstigen Ernterückständen auf der Geberfläche verbleibt (KOLBE, 2008). In der Literatur werden für Schmalblättrige Lupine Werte von 30 kg N ha^{-1} genannt (BACHINGER et al., 2015: S. 114). KATROSCHAN (2011: S. 49) schließt daraus, dass sich mit der innerbetrieblichen Produktion von Lupinenschrot die positiven Effekte vom Anbau einer Körnerleguminose auf der Geberfläche mit der guten Flexibilität und Kontrollierbarkeit eines organischen Handelsdüngers kombinieren lassen.

2.2.4 Eigenschaften ausgewählter organischer Düngemittel

Abschließend erfolgt ein Überblick über die Eigenschaften ausgewählter organischer Düngemittel als N-Dünger in **Tabelle IV** und **Abbildung III**. Dargestellt werden Wirtschaftsdünger sowie organische Handelsdünger, zu denen Leguminosenschrote häufig gezählt werden. Wenn Literaturdaten vorlagen, wird der Netto-Preis für das bereitgestellte kg N angegeben. Dies ist vor allem für Handelsdüngemittel der Fall, bei denen sich die N-Nährstoffkosten relativ einfach über den Preis und die N-Gehalte errechnen lassen (LABER, 2003b). Für Wirtschaftsdünger, die innerbetrieblich produziert werden und für die in der Regel keine Marktpreise vorliegen, können nur betriebsindividuell Verrechnungswerte ermittelt werden (BRÖTER et al., 2007, S. 58). Die dargestellten N-Nährstoffkosten von Lupinen-, Ackerbohnen-, und Erbsenschrot basieren auf aktuellen Marktpreisen von Futterware (KTBL, 2020a). In Abgrenzung zum Herstellungswert, der in dieser Arbeit errechnet wird, muss dabei allerdings vom Zukaufswert gesprochen werden.

Tabelle IV: Typische N-Gehalte, C:N-Verhältnis sowie N-Verfügbarkeit (N_{ver}) und durchschnittliche Preise pro kg N für verschiedene organische Düngemittel (BACHINGER et al., 2015: S. 122–123; MÖLLER & SCHULTHEIB, 2014b: S. 8, 2014a: S. 112–124)

Düngemittel	N % TM	C:N	N_{ver} % N	Preis N € kg ⁻¹
Wirtschaftsdünger				
Rindergülle	5,2	12	40 – 50	–
Schweinegülle	4,9	8,1	50 – 60	–
Rinderjauche	5,5	5,2	20 – 90	–
Rindermist	2,3	24	10 – 20	–
Handelsdünger tierischer Herkunft				
Haarmehlpellets	14,2	3,7	70 – 80	4,66 – 5,09
Horndünger	14,9	3,6	75 – 80	5,64 – 7,07
Knochenmehl	5,5	3,7	70 – 80	8,58 – 10,60
Fleischknochenmehl	8,3	4,2	55 – 65	4,44
Blutmehl	14,3	3,5	70 – 80	–
Handelsdünger pflanzlicher Herkunft				
Lupinenschrot	5,9	7,6	50 – 60	8,55
Ackerbohnsenschrot	4,5	9,9	35 – 45	10,13
Erbsenschrot	4,6	13,3	30 – 40	10,04
Wickenschrot	5,1	9,9	40 – 50	–
Gärprodukt NaWaRo flüssig	8,1	8,6	50 – 60	–
Gärprodukt NaWaRo fest	2,7	21	10 – 20	–
Leguminosen-Gras-Gemenge	30,0 ⁽¹⁾	17,1	25 – 50	–
Rizinusschrot	6,3	8,2	50 – 60	–
Maiskleber, pelletiert	1,1	4,3	30 – 40	7,10
Rapsextraktionsschrot	6,0	8,4	40 – 50	4,22
Vinasse (Zuckerrüben)	5,2	7,0	50 – 60	2,49 – 6,89
Kartoffelbruchwasserkonzentrat ⁽²⁾	4,8	7,2	45 – 60	1,40 – 1,95
MALTAflor ^{®(3)}	4,5	9,5	30 – 40	12,90 – 13,65
Biosol ^{®(4)}	7,3	6,3	40 – 50	8,14 – 8,71

⁽¹⁾ N in % FM, zusammengefasste Werte von Leguminosen-Gras als Mehl, Cobs und Silage

⁽²⁾ Nebenprodukt aus der Stärkeherstellung

⁽³⁾ Rückstände aus der Malzproduktion mit Zusatz von Rüben-Vinasse, pelletiert

⁽⁴⁾ Abgetötetes Pilzmycel und Substratreste aus der Antibiotikaherstellung

Das Ausbringen von 100 kg N eines organischen Düngers mit einer N-Verfügbarkeit von 50 % bedeutet, dass von der Kulturpflanze genauso viel N aufgenommen wird, wie wenn 50 kg N als Mineraldünger ausgebracht werden (GUTSER et al., 2005). Unter den Wirtschaftsdüngern weist Jauche eine sehr hohe Verfügbarkeit von bis zu 90 % auf. Handelsdünger tierischer Herkunft weisen hohe N-Gehalte und insgesamt ein sehr niedriges C:N-Verhältnis auf. Damit einher geht eine hohe N-Verfügbarkeit von teilweise bis zu 80 %. Bei gleichzeitig niedrigen Preisen je kg N erklärt dies die hohe Anwendung von diesen Handelsdüngern im intensiven Gemüsebau (DEUMLICH et al., 2016: S. 54). Eine Vielfalt an Produkten aus verschiedenen Quellen wird als Handelsdüngemittel pflanzlicher Herkunft bezeichnet. Sie sind dementsprechend eher heterogen in der Ausprägung der Eigenschaften. Insgesamt weisen sie geringere N-Gehalte sowie niedrigere N-Verfügbarkeiten als jene tierischer Herkunft auf. Weiterhin variieren sie im Preis sehr stark, sind aber eher teurer als Handelsdünger tierischer Herkunft. Innerhalb der Leguminosenschrote weist die Lupine die höchsten N-Gehalte sowie die höchste N-Verfügbarkeit auf.

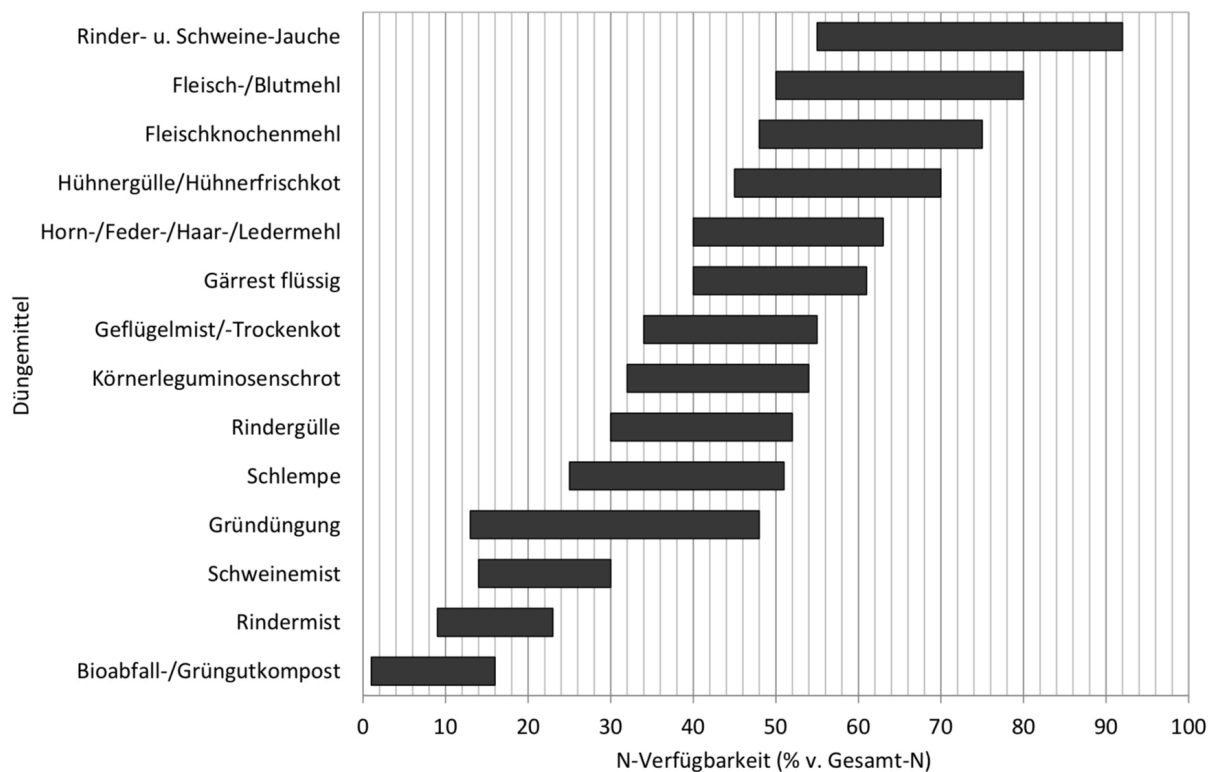


Abbildung III: N-Verfügbarkeit im Jahr der Anwendung ausgewählter organischer Düngemittel (BACHINGER et al., 2015: S. 136)

MÖLLER & SCHULTHEISS (2014a: S. 376) konstatieren, dass Leguminosenschrote aufgrund ihrer Eigenschaften als Dünger am besten für N-bedürftige Ackerkulturen geeignet sind. Im Gemüsebau und vor allem bei Kulturen mit kurzem Wachstumszyklus ist die Eignung eher begrenzt, da Leguminosenschrote eine mittlere bis niedrige N-Verfügbarkeit bei niedrigen Temperaturen aufweisen. Weiterhin können sie bei nachfolgenden Säukulturen eine Keimhemmung bewirken, weshalb nach der Düngung auf eine Anbaupause von mindestens 14 Tagen geachtet werden sollte (ebd.: S. 31).

2.3 N-Düngung im Weizen

Auf über der Hälfte des Öko-Ackerlands in Deutschland wie auch Brandenburg wächst Getreide (TROEGEL, 2008: S. 52). Weizen (*triticum aestivum* – Weichweizen oder auch Brotweizen genannt) und Roggen (*Secale cereale*) sind die beiden anbaustärksten Kulturen. Nachfrage besteht bei Weizen sowohl nach Futter- als auch Speisegetreide (SCHAACK et al., 2017: S. 5).

Beim Anbau von Weizen sind hinsichtlich seiner Nutzung als Backgetreide verschiedene Qualitätseigenschaften zu beachten, welche die Nutzung des Mehls zur Herstellung von Backwaren charakterisieren. Danach erfolgt die Einteilung von Weizen in folgende sogenannten Qualitätsgruppen: Eliteweizen (E), Qualitätsweizen (A), Brotweizen (B), sonstiger Weizen/Futterweizen (C) (BSA, 2020: S. 147–155). Die Qualitätsgruppen E, A, B zeichnen sich in dieser Reihenfolge absteigend zur Verwendung als Backgetreide aus. Zur Verbesserung werden gering backfähige Mehle häufig mit E- und A-Weizen aufgemischt. C-Weizen, auch Futterweizen genannt, wird wegen seiner geringen backtechnischen Eignung in der Regel als Futtergetreide in der Viehhaltung eingesetzt. Das Ertragspotential der Qualitätsgruppen steht in umgekehrter Reihenfolge zur backtechnischen Eignung, so dass Futterweizen meist das höchste Ertragspotential aufweist (AUFHAMMER, 2003: S. 74–75; HERZOG et al., 2017: S. 1–2). Entsprechend der Reihenfolge der Eignung als Backgetreide werden für eine Vermarktung von Weizen in E-Qualität die höchsten Erzeugerpreise erzielt, während Futterweizen im Preis unterhalb von Brotweizen liegt (RIESTER & HAASER-SCHMID, 2020: S. 50). Da der Proteingehalt bei Weizen mit guter Backeignung am höchsten ist, wird auch in der Düngebedarfsermittlung zwischen den genannten Qualitätsklassen unterschieden. Allerdings erfolgt dort eine Zusammenfassung der Klassen A und B (WENDLAND et al., 2018: S. 80).

Nach Aussagen des LELF ist im ökologischen Anbau in Brandenburg ein wettbewerbsfähiger Anbau von Backweizen in der Regel nur mit E-Weizen zu realisieren. Deren Nachteile im Ertragsniveau werden möglichst über Preiszuschläge ausgeglichen, welche die höhere Backqualität honorieren. Kann keine sichere Backqualität gewährleistet werden, stehen vor allem ertragreichere B- oder C-Sorten im Fokus (BARTHELMES & EBEL, 2020: S. 12). Landessortenversuche für ökologischen Winterweizen in Brandenburg haben im Mittel der Jahre 2015 – 2020 einen Ertrag von 39,8 dt ha⁻¹ erzielt (ebd.: S. 17).

Je nach Ertragsniveau kann der N-Bedarf von Winterweizen zwischen 65 – 170 kg N ha⁻¹ liegen (BECKMANN et al., 2001: S. 17). Anders als für viele Gemüsekulturen, die ein hohes N-Angebot in kurzer Wachstumszeit benötigen, vollzieht sich die N-Aufnahme von Winterweizen über die gesamte Kulturdauer von Herbst bis Sommer. Dabei besteht der größte N-Bedarf im Zeitraum von etwa 180 – 240 Tagen nach der Aussaat in den Frühjahrsmonaten (MÖLLER & SCHULTHEIB, 2014a: S. 31). Während dieses Zeitraums findet die Bestockung, das Schossen und Ährenschieben statt und es werden zentrale Ertragskomponenten im Weizen ausgebildet (AUFHAMMER, 1998: S. 281–282). Über eine N-Gabe zur Bestockung und zum Schossen werden eher Ertragseffekte erzielt, eine Düngung zum Ährenschieben hat größeren Einfluss auf den Rohproteingehalt und die Qualität des Weizens (BECKMANN et al., 2001: S. 15; MÜCKE, 2002).

Vor allem die N-Versorgung im zeitigen Frühjahr stellt im Ökolandbau die größte Herausforderung dar (SCHMIDT, 2003: S. 16). Da im Frühjahr bei kalten Temperaturen oder anhaltender Trockenheit die Mineralisierung von organischer Substanz im Boden nur langsam geschieht, wird im Ökolandbau im Frühjahr häufig mit Gülle oder Jauche gedüngt (BECKMANN et al., 2001: S. 16). Eine Frühjahrsdüngung mit Handelsdüngern kann sich positiv auf Ertrag und Qualität von Winterweizen auswirken (TOSTI et al., 2016; MÜCKE, 2002). Insgesamt bedarf die Erzeugung von Qualitätsgetreide im Ökolandbau unter den geschilderten Bedingungen der Düngung einer geschickten Bestandesführung. Wenn Weizen mit hoher Backqualität erzeugt werden soll, wird bei der Sortenwahl vorzugsweise auf E- oder A-Sorten zurückgegriffen. Diese eignen sich aufgrund ihres hohen N-Aneignungsvermögens und können etwaige fehlende Proteinmengen durch eine hohe Proteinqualität kompensieren (SEIBEL & BOTTERBRODT, 2005: S. 31).

3 Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik erläutert, die zur Erreichung der Zielsetzung verwendet wird, sowie der Forschungsansatz entwickelt und näher beschrieben. Dessen wesentliche Elemente sind eine Kostenrechnung und Sensitivitätsanalyse als Methodik. Die Datengrundlage bilden der Praxisbetrieb aus dem Forschungsnetzwerks *NutriNet* sowie KTBL-Datensammlungen.

3.1 Entwicklung des Forschungsansatzes

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Einsatz von Bitterlupinenschrot im innerbetrieblichen Nährstoffmanagement unter ökonomischen Gesichtspunkten betrachtet. Unter der Voraussetzung, dass sich eine N-Düngung mit Bitterlupinenschrot in Ertrags- und Qualitätseffekten im Winterweizen widerspiegelt, wird folgende Fragestellung beantwortet: Können beim Einsatz von Bitterlupinenschrot, das auf dem eigenen Betrieb erzeugt und als mobiler, organischer N-Dünger in einem Winterweizen eingesetzt wird, die Kosten für die N-Bereitstellung durch die Erhöhung des Ertrags und der Qualität des Weizens mindestens gedeckt werden? Die Beantwortung der Fragestellung erfolgt in Anlehnung an den im Projekt *NutriNet* verfolgten Ansatz der Praxisforschung zusammen mit einem Praxisbetrieb (Kapitel 3.2.1) und wird in zwei Schritten bearbeitet. **Abbildung IV** zeigt eine schematische Darstellung des Forschungsansatzes sowie die Verknüpfung der einzelnen Bearbeitungsschritte.

Im ersten Schritt sollen die N-Nährstoffkosten von Bitterlupinenschrot ermittelt werden. Zu beantworten ist dafür die Frage, welchen monetären Wert der selbst erzeugte Stickstoff hat. Innerbetrieblich erzeugter Stickstoff durch Leguminosen ist kein Handelsgut, weshalb kein realer Marktwert ermittelt werden kann. Daher müssen innerbetriebliche Verrechnungswerte gefunden werden. In dieser Arbeit wird der erzeugte Stickstoff im Bitterlupinenschrot über den Herstellungswert bemessen. Dieser stellt die Kosten der Erzeugung von 1 kg N durch den Anbau und die Gewinnung von Bitterlupinenschrot dar und errechnet sich aus den Erzeugungskosten durch die netto gewonnene Menge an Stickstoff (BRÖTER et al., 2007: S. 50–51). Dafür wird mit Hilfe der Erfahrung des Praxisbetriebs zuerst ein zur Gewinnung von Bitterlupinenschrot geeignetes und an den Standort angepasstes Anbauverfahren identifiziert. Im Anschluss werden die Direkt- und Arbeitserledigungskosten (Kapitel 3.3.1) für das

identifizierte Anbauverfahren ermittelt. Dafür wird auf vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) erhobene standardisierte Planungs- und Kalkulationsdaten zurückgegriffen, die modular einsetzbar für verschiedene Arbeitsvorgänge vorliegen (Kapitel 3.2.2). Auf diese Weise können betriebsindividuell Aussagen getroffen werden, die gleichzeitig auf standardisierten Planungsdaten beruhen und somit konkrete Empfehlungen auch für andere Biobetriebe ermöglichen. Zum Abschluss des ersten Teils wird unter Einbeziehung der ermittelten Kosten des Anbauverfahrens und unter Variation der am Standort möglichen N-Erträge im Lupinenkorn die resultierende Spannweite der N-Nährstoffkosten von innerbetrieblich erzeugtem Bitterlupinenschrot berechnet.

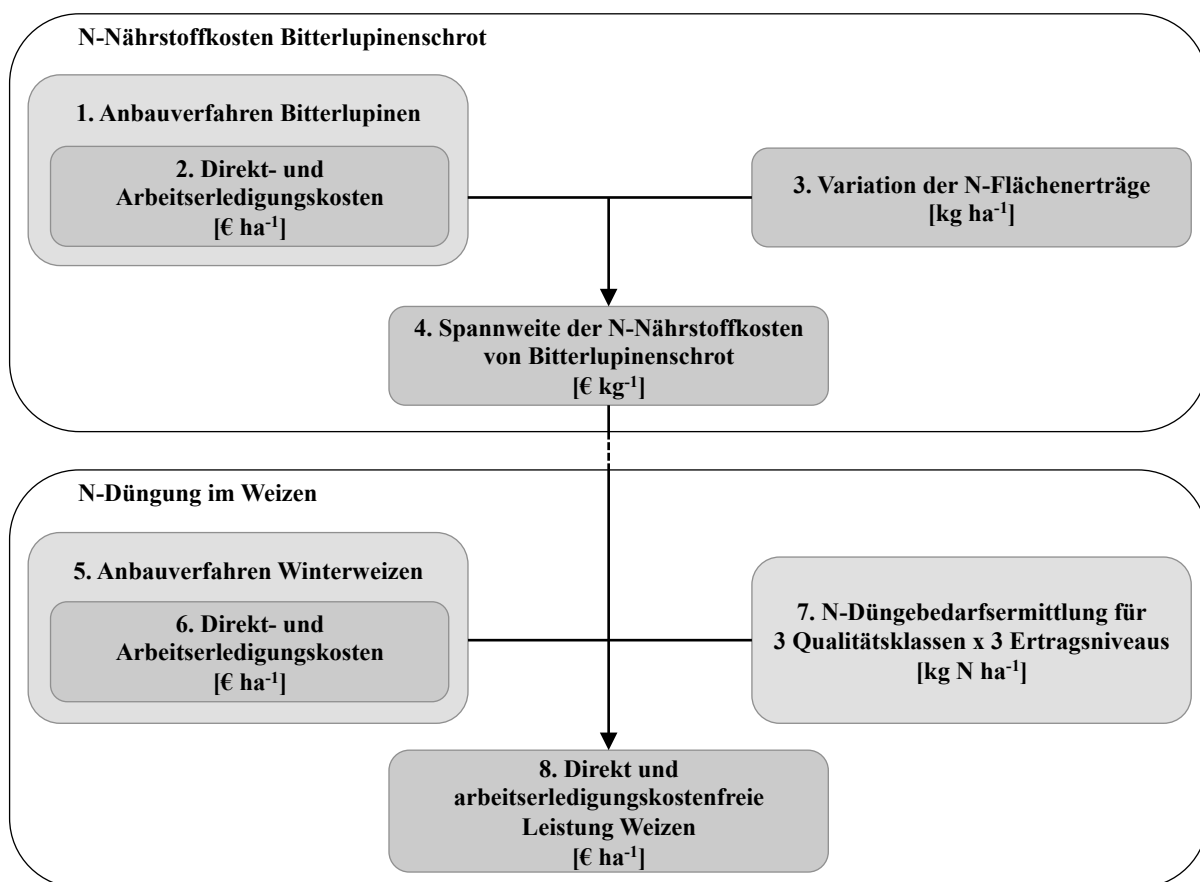


Abbildung IV: schematische Darstellung des Forschungsansatzes und der Bearbeitungsschritte

Im zweiten Schritt wird der betriebsinterne Einsatz des Bitterlupinenschrots als N-Dünger in einem Winterweizen modelliert. Im Ergebnis sind Aussagen zum Einfluss der N-Nährstoffkosten auf die Erfolgsrechnung des Winterweizens möglich. Dafür wird analog zum Vorgehen im ersten Schritt mit Hilfe des Praxisbetriebs ein Anbauverfahren für Winterweizen identifiziert und über die KTBL-Daten die Direkt- und Arbeitserledigungskosten berechnet. Um dem Einfluss der N-Düngung auf den Ertrag und die Qualität und somit auf die erzielbare

Leistung des Winterweizens Rechnung zu tragen, wird mit Hilfe der Düngebedarfsermittlung nach DüV die benötigte spezifische N-Düngemenge für neun verschiedene Kombinationen aus je drei Qualitätsklassen und Ertragsniveaus des Weizens festgelegt. Voraussetzung für diese Betrachtung ist die Annahme, dass der N-Düngebedarf während der Vegetation des Winterweizens durch Düngung mit Bitterlupinenschrot gedeckt werden kann. Im Anschluss wird mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse (Kapitel 3.3.2) der Einfluss der N-Nährstoffkosten des Bitterlupinenschrots auf die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung des Winterweizens ermittelt und berechnet, wann die Kosten für die N-Bereitstellung mindestens gedeckt werden.

Im Folgenden wird detaillierter auf die in der vorangegangenen Beschreibung des Forschungsansatzes genannten Datengrundlage und Methoden eingegangen. Die Datengrundlage dieser Arbeit beruht auf dem Praxisbetrieb und KTBL-Datensammlungen. Methodisch werden eine Kostenrechnung und Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

3.2 Datengrundlage

3.2.1 Praxisbetrieb

Der Impuls zur Bearbeitung von Fragestellungen rund um den Einsatz von Bitterlupinenschrot kam von einem im Forschungsnetzwerk *NutriNet* beteiligten Betrieb aus Brandenburg. *NutriNet* arbeitet vornehmlich mit dem Ansatz der Praxisforschung. Das bedeutet, auf Betrieben in der Praxis an offenen Fragestellungen zu experimentieren und diese unter Standortbedingungen zu testen. Auch wenn die Methode der Praxisforschung noch nicht eindeutig definiert ist, bildet die Einbindung der Praktiker:innen den zentralen Bestandteil der Methode. Diese werden als Akteur:innen in die Planung, Durchführung und Analyse einbezogen und sind nicht nur Objekt der Forschung (WILBOIS et al., 2015). Das Mittel der Praxisforschung mit seiner Einbeziehung von Landwirt:innen ist für den ökologischen Landbau historisch gesehen von großer Bedeutung, da der Ökolandbau zu seinen Anfängen im Wissenschaftsalltag nur wenig präsent war (SCHÄFER & FISCHINGER, 2018: S. 2).

Parallel zu der vorliegenden Arbeit erfolgt im Rahmen des Ansatzes der Praxisforschung ein Feldversuch zur N-Düngung mit Bitterlupinenschrot auf dem beteiligten Betrieb. Dabei wird die Bitterlupinen-Sorte *Azuro* der Schmalblättrigen Lupine geschrotet als Düngemittel auf

einem Weizenschlag eingesetzt und der Einfluss auf den Kornertrag ermittelt (NutriNet, 2020a). In der vorliegenden Masterarbeit wird die Problemstellung hinter dieser Versuchsanordnung aufgegriffen und aus einer ökonomischen Perspektive betrachtet. Dabei handelt es sich allerdings nicht im engeren Sinne um den Ansatz der Praxisforschung. Zum Zeitpunkt der Erarbeitung der vorliegenden Masterarbeit lagen noch keine Daten aus dem Feldversuch vor. Die Datengrundlage dieser Arbeit beruht deshalb zwar nicht auf Daten, die direkt auf dem Betrieb erhoben wurden, dennoch werden die standardisierten Daten des KTBL betriebsindividuell an die Bedingungen und das Vorgehen auf dem Praxisbetrieb angepasst. Der Betriebsspiegel in **Tabelle V** gibt Auskunft über klimatische und betriebliche Daten des beteiligten Praxisbetriebs.

Tabelle V: Betriebsspiegel Praxisbetrieb, nach Aussagen des Betriebsleiters

Bundesland	Brandenburg		
Landkreis	Potsdam-Mittelmark		
Wirtschaftsweise	ökologisch seit 1991		
Anbauverband	Bioland		
Betriebsfläche	290 ha Ackerland, 60 ha Grünland		
Jahresniederschlag	580 mm		
Durchschnittstemperatur	8,5° C		
Höhenlage	55 m. ü. NN		
führende Bodenart	Bodengruppe	1-2	nach VDLUFA
	Sand bis schwach lehmiger Sand (LLFG et al., 2008, S. 5)		
Bodenpunkte	18 – 35 (ø 27)		
Schlaggrößen	1 – 20 ha		
Pflanzenbau	Kartoffeln, Getreide (Back- und Futter-), Saatgutvermehrung (Getreide, Rotklee, Öllein), Körnerleguminosen (Lupinen, Wicken, Erbsen)		
Tierhaltung	60 Mutterkühe, 70 Gänse		

3.2.2 KTBL-Datensammlungen

Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) welches vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft institutionell gefördert wird, widmet sich dem Technologietransfer in Landwirtschaft und Gartenbau. Dabei beschreibt es u.a. den Stand der Technik und erhebt Planungs- und Kalkulationsdaten. Die daraus entstehenden

Datensammlungen, welche zum Teil als Online-Anwendungen zu Verfügung stehen, bieten bundeseinheitliche Grundlagen für Planungsrechnungen (KTBL, 2020b: S. 142).

Die Online-Anwendung *Verfahrensrechner Pflanze* (KTBL, 2020c) ermöglicht die Spezifikation eines Produktionsverfahrens für eine Kulturpflanze und zeigt im Ergebnis alle Arbeitsvorgänge an, von der Grundbodenbearbeitung über Saat bis zur Ernte. Außerdem werden für jeden Arbeitsvorgang der jeweilige Arbeitszeitbedarf sowie die Maschinenkosten errechnet. Zur betriebsindividuellen Anpassung können die Arbeitsverfahren modular ausgetauscht und angepasst werden und Spezifizierungen wie z.B. Schlaggröße und –entfernung sowie Bodenart erfolgen. Auf diese Weise lassen sich mit Hilfe des *Verfahrensrechners Pflanze* die Arbeiterledigungskosten eines Produktionsverfahrens ermitteln (ACHILLES et al., 2017: S. 17). Mit Hilfe des *Verfahrensrechners Pflanze* und einer Befragung des Betriebsleiters des Praxisbetriebs wird ein betriebsindividuelles Anbauverfahren für Bitterlupinen und Winterweizen definiert, welches gleichzeitig auf standardisierten Planungsdaten beruht. Die Online-Anwendung *Leistungs- und Kostenrechnung Pflanzenbau* (KTBL, 2020a) errechnet für ein Produktionsverfahren die Leistungen, Direktkosten, Arbeiterledigungskosten und ökonomische Erfolgsgrößen. Ebenso wie beim *Verfahrensrechner Pflanze* können betriebsindividuelle Anpassungen vorgenommen werden.

3.3 Methoden

3.3.1 Kosten- und Leistungsrechnung

Nach SCHROERS & KRÖN (2019: S. 13–15) können Kosten für landwirtschaftliche Produktionsverfahren, wie in **Abbildung V** dargestellt, gegliedert werden. Die Gliederung basiert auf dem von der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft im Jahr 2000 neu vorgestellten Standard, der die bis dato vorherrschende Vielfalt an Methoden für Kontroll- und Planungsrechnungen in landwirtschaftlichen Betrieben strukturiert und vereinheitlicht und vom KTBL für die Kosten-Leistungsrechnung angepasst worden ist (DLG, 2011: S. 11–13).

sowie die unmittelbaren Flächenkosten. Der Gebrauch von Rechten, wie z.B. Liefer- und Produktionsrechte, verursacht Kosten, wenn diese nachgefragt und gehandelt werden. Sie werden unter den Rechtekosten subsummiert. In die Gruppe der Allgemeynkosten fallen all jene Direkt-, Arbeitserledigungs-, Gebäude-, Flächen-, und Rechtekosten, die nicht eindeutig einem einzelnen Produktionsverfahren zuzuordnen sind und auf Betriebsebene für Organisation und Verwaltung entstehen. Sie zählen zu den Gemeinkosten, die, in Abgrenzung zu den Einzelkosten, jene Kosten umfassen, „die zwar vom Betrieb getragen werden müssen, aber in ihrer Höhe nicht von der Durchführung eines Produktionsverfahrens beeinflusst werden“ (FRISCH, 2012: S. 29).

Eine weitere Unterscheidung der Kosten kann nach variablen und fixen Kosten geschehen. Die variablen Kosten entstehen direkt beim Einsatz eines Gebrauchsgutes, z.B. durch nutzungsbedingten Verschleiß, Betriebsmittelverbrauch oder Reparaturen. Sie steigen proportional mit dem Einsatzumfang des Gebrauchsgutes an. Fixe Kosten hingegen fallen unabhängig vom Nutzungsumfang an, wie z.B. Steuer- und Versicherungskosten (ACHILLES et al., 2017: S. 27).

In dieser Arbeit wird die Summe aus Direktkosten und den fixen und variablen Arbeitserledigungskosten ermittelt. Auf diese Weise wird

- a) über die Direktkosten die biologische Produktivität (Verhältnis von Betriebsmitteleinsatz und Ertrag) ausgedrückt,
- b) über die variablen Arbeitserledigungskosten die Abhängigkeit des Produktionsverfahrens von der Technik und dem Standort sowie
- c) über die fixen Arbeitserledigungskosten Effekte der Auslastung der Arbeitsmittel (SCHROERS & KRÖN, 2019: S. 17; SCHROERS & SAUER, 2011: S. 47–50).

Zur Ermittlung der genannten Kostenblöcke werden die Web-Anwendungen *Verfahrensrechner Pflanzenbau* sowie *Leistungs- und Kostenrechnung Pflanzenbau* herangezogen. Kalkulatorische Kosten bzw. Opportunitätskosten werden nicht betrachtet. Alle Leistungen und Kosten sind Nettopreise.

Werden von der monetären Leistung eines Produktionsverfahrens die beschriebenen Teilkosten schrittweise subtrahiert, lassen sich als Ergebnis einer Kosten- Leistungsrechnung verschiedene Erfolgsgrößen abbilden. Dabei ergibt die Differenz aus Leistung und Teilkosten jeweils den Betrag, aus dem die übrigen Kosten gedeckt werden müssen. **Abbildung VI**

beschreibt diesen Zusammenhang. Um die ökonomische Bewertung des Einsatzes von Bitterlupinenschrot als N-Dünger in einem Winterweizen durchführen zu können, wird in dieser Arbeit die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) des Winterweizens berechnet, indem von der Marktleistung die Direktkosten und fixen sowie variablen Arbeitserledigungskosten abgezogen werden. Aus der DAKfL müssen die verbliebenen Kostengruppen (Gebäude-, Flächen-, Rechte- und Allgemeine Kosten) im Rahmen einer Vollkostenrechnung gedeckt werden können (SCHROERS & SAUER, 2011: S. 50). Öffentliche Direktzahlungen, wie z.B. EU-Agrarsubventionen, sind entkoppelt von der Tätigkeit eines einzelnen Betriebszweigs und müssen auf der Ebene des Gesamtbetriebs angerechnet werden (DLG, 2011: S. 26). Bei der Berechnung der DAKfL für Winterweizen werden sie dementsprechend nicht auf der Leistungsseite berücksichtigt.

Leistung <i>L</i>	Direktkosten <i>K.d</i>			Variable Kosten <i>K.v</i>		Einzelkosten <i>eK</i>	Vollkosten <i>K</i>
	Direktkostenfreie Leistung <i>DKfL</i>	Variable Arbeitserledigungskosten <i>Kv.ae</i>	Arbeits-erledigungskosten <i>K.ae</i>				
		Deckungsbeitrag <i>DB</i>		Fixe Arbeitserledigungskosten <i>Kf.ae</i>	Fixe Kosten <i>Kf</i>		
	Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung <i>DAKfL</i>		Gebäudekosten <i>K.geb</i>				
			Flächenkosten <i>K.flaeche</i>				
			Rechtekosten <i>K.rechte</i>				
			Einzelkostenfreie Leistung <i>EKfL</i>	Allgemeine Kosten <i>K.allg</i>	Gemeinkosten <i>gK</i>		
	Kalkulatorischer Gewinnbetrag <i>kGB</i>						

Abbildung VI: Schema der Kosten-Leistungsrechnung auf Produktionsverfahrensebene (SCHROERS & KRÖN 2019: S. 16).

3.3.2 Sensitivitätsanalyse

Nach MUBHOFF & HIRSCHAUER (2020: S. 434–440) handelt es sich bei der Sensitivitätsanalyse um eine Methode zur Entscheidungsfindung unter Unsicherheit. Dabei

gehört die Sensitivitätsanalyse zu den sogenannten pragmatischen Ansätzen, die bei der Berechnung einer unsicheren Zielgröße zwar nicht die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten der Input-Parameter berücksichtigt, aber aufgrund ihrer geringen rechentechnischen Anforderungen – deswegen der Begriff „pragmatisch“ – in der Praxis häufig zum Einsatz kommen. Die Sensitivitätsanalyse bildet Zusammenhänge zwischen Input und Output ab. Über die Variation der Höhe einer einzelnen Zufallsvariable wird untersucht, wie stark sich die Zielgröße verändert. Wichtig ist, dass dabei das Ceteris-Paribus-Prinzip eingehalten wird, wonach nur ein Einflussfaktor variiert wird, während alle anderen Faktoren konstant bleiben, so dass eine Aussage zum Einfluss des variierten Faktors getroffen werden kann (DABBERT & BRAUN, 2012: S. 18).

In dieser Arbeit wird die Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um zu untersuchen, wann die betriebsinternen Kosten für die N-Bereitstellung aus Bitterlupinenschrot in einem Winterweizen mindestens gedeckt werden. Als Zielgröße wird die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung eines Winterweizens ermittelt, dessen N-Düngebedarf während der Vegetation durch Düngung mit Bitterlupinenschrot gedeckt wird. Dafür werden zuerst, wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, die Direkt- und Arbeitserledigungskosten für das identifizierte Anbauverfahren von Winterweizen ermittelt. Um dem zentralen Einfluss einer N-Düngung auf den Ertrag und die Qualität sowie damit auf die erzielbare Leistung von Winterweizen Rechnung zu tragen, werden sowohl die erzielbare Qualitätsklasse als auch das Ertragsniveau des Weizens variiert. Dafür werden zum einen die in der DüV unterschiedenen drei Qualitätsklassen von Winterweizen (A/B, C, E) und ihre jeweils unterschiedlichen N-Bedarfswerte herangezogen (BMJV, 2021a: Anlage 4). Zum anderen wird das Ertragsniveau im Winterweizen in drei Stufen variiert, ausgehend von einem nach Aussagen des Betriebsleiters mittleren Ertrag von 40 dt ha^{-1} . Dadurch lässt sich für Winterweizen mit Hilfe der N-Düngebedarfsermittlung der DüV für 9 verschiedene Kombinationen aus Qualitätsklasse und Ertragsniveau je ein spezifischer N-Düngebedarf während der Vegetation ermitteln (WENDLAND et al., 2018: S. 46). Angenommen wird, dass dieser über die Düngung mit Bitterlupinenschrot bereitgestellt werden kann. Zur Berechnung der DAKfL des Winterweizens werden dann abschließend für die drei Qualitätsklassen unterschiedliche erzielbare Marktleistungen herangezogen.

Die Spannweite der N-Nährstoffkosten des Bitterlupinenschrots für die Bereitstellung der N-Düngung entspricht im Sinne einer Sensitivitätsanalyse der unsicheren Eingangsvariablen, deren Einfluss auf die Zielgröße DAKfL untersucht wird.

4 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse unterteilt sich entsprechend des Aufbaus des Forschungsansatzes in die zwei Abschnitte *Produktion von Bitterlupinenschrot zur N-Düngung* und *N-Düngung im Weizen* bestehend aus je vier Bearbeitungsschritten (**Abbildung IV** in Kapitel 3.1).

4.1 Produktion von Bitterlupinenschrot zur N-Düngung

4.1.1 Anbauverfahren Bitterlupine

Mit Hilfe der Erfahrung des Praxisbetriebs im Anbau von Lupinen wurde in einem ersten Schritt ein zur Gewinnung von Bitterlupinenschrot geeignetes und an den Standort angepasstes Anbauverfahren identifiziert. Im zweiten Schritt wurde die Online-Anwendung *Verfahrensrechner Pflanze* des KTBL herangezogen, die standardisierte Planungs- und Kalkulationsdaten enthält und für das Produktionsverfahren einer Kulturpflanze modular einsetzbare Arbeitsvorgänge bereitstellt. Diese wurden mit Hilfe der Aussagen des Betriebsleiters betriebsindividuell angepasst. Im *Verfahrensrechner Pflanze* existieren für jeden Arbeitsvorgang (z.B. Bodenbearbeitung) eine Vielzahl an auswählbaren Verfahren (z.B. Eggen, Fräsen, Pflügen, Grubbern) und verschiedene Maschinenkombinationen (z.B. Drehpflug, 4-scharig, 1,4 m Arbeitsbreite, angebaut an 138 kW-Traktor). Im Ergebnis werden für alle Arbeitsvorgänge von der Grundbodenbearbeitung über Saat bis zur Ernte der jeweilige Arbeitszeitbedarf sowie die resultierenden fixen und variablen Maschinenkosten ausgegeben (KTBL, 2020c).

Zu Beginn der Eingaben im *Verfahrensrechner Pflanze* werden einige grundlegende betriebliche Spezifikationen getroffen, die einen Einfluss auf den Arbeitszeitbedarf und die Maschinenkosten eines jeden gewählten Arbeitsvorgangs haben. Für die Berechnungen in dieser Arbeit wurden basierend auf dem Aussagen des Betriebsleiters folgende grundlegende betriebliche Spezifikationen gewählt:

- 5 ha Schlaggröße,
- 4 km Hof-Feld-Entfernung und
- Bewirtschaftung eines leichten Bodens.

Die Schlaggröße und die Feld-Hof-Entfernung haben vor allem einen Einfluss auf den Arbeitszeitbedarf für den jeweiligen Arbeitsvorgang und darüber auf die Auslastung der verwendeten Maschinen. Über die Auswahl der Bodenbeschaffenheit gehen unterschiedliche Bodenbearbeitungswiderstände und damit der erforderliche Kraftbedarf bei Arbeitsvorgängen in die Kalkulation ein.

Tabelle VI zeigt das Ergebnis der betriebsindividuellen Anpassung des *Verfahrensrechners Pflanze* für ein Produktionsverfahren zur Gewinnung von Bitterlupinenschrot. Für jeden Arbeitsvorgang werden die fixen Maschinenkosten ausgegeben, differenziert nach Abschreibung, Zinskosten für Maschinenkapital und sonstige Fixkosten. Die variablen Maschinenkosten werden in Reparaturen und Betriebsstoffe aufgeteilt. Diese Kostenpositionen werden im Weiteren für die Berechnung der Direkt- und Arbeiterledigungskosten des Anbauverfahrens benötigt. Die Abschreibungen spiegeln den zeitabhängigen Wertverlust der verwendeten Maschinen wegen Überalterung sowie den leistungsabhängigen Wertverlust wegen nutzungsbedingtem Verschleiß wider. Für in den Maschinen und Anlagen gebundenes Fremdkapital wird ein einheitlicher Zinssatz von 3 % unterstellt und als Zinskosten ausgewiesen. Unter Sonstiges werden maschinenspezifische Versicherungskosten und Kosten für die technische Überwachung von kennzeichnungspflichtigen Fahrzeugen subsummiert. Reparaturen enthalten vom Einsatzumfang abhängige Kosten zur Behebung von Funktionsstörungen, für Verbrauchs- und Verschleißmaterial, sowie die beim Ein- und Umbau anfallenden Lohnkosten. Die Position Betriebsstoffe enthält vor allem den Treibstoffbedarf der zu erledigenden Arbeiten und hängt von den im *Verfahrensrechner Pflanze* vorausgewählten betrieblichen Spezifikationen zu Schlaggröße und der Hof-Feld-Entfernung ab (ACHILLES et al., 2017: S. 62–68). Weiterhin ist der Gesamtarbeitszeitbedarf für jede Teilarbeit angegeben, welcher neben der Ausführungszeit auch die Rüst- und Wegezeiten in Abhängigkeit der voreingestellten betrieblichen Spezifikationen enthält (ebd. S. 181)

Tabelle VI: Arbeitsvorgänge und Maschinenkosten des identifizierten Produktionsverfahrens für Bitterlupinenschrot

Zeit- raum (1)	Arbeitsvorgang	Menge ... ha ⁻¹	Arbeitskosten			Maschinenkosten				Betriebs- stoffe ⁽²⁾
			Arbeits- zeitbedarf h ha ⁻¹	Diesel- bedarf l ha ⁻¹	Abschrei- bung	Zins- kosten	Sonstiges	Repara- turen		
MRZ1	Pflügen mit Drehpflug 5 Schare, 1,75 m, angebaut; 102 kW		1,44	19,01	17,73	5,07	2,27	21,78		15,02
APR1	Saatguttransport Frontlader; Leichtgutschaufel, 1,2 m ³ ; 54 kW Dreiseitenkippanhänger, 6 t; 54 kW	140 kg ⁽³⁾	0,04 0,12	0,10 0,44	0,25 0,55	0,07 0,15	0,04 0,10	0,29 0,79		0,08 0,35
APR1	Säen mit Grubber, Kreiselege und Sämaschine 4 m; 102 kW	140 kg	0,71	14,54	16,14	4,61	1,70	17,84		11,94
APR1	Striegeln 12 m; 83 kW		0,16	1,81	3,72	1,00	0,36	3,17		1,41
MAI1	Bestandesbonitur Visuelle Bonitur; Fahrten mit Pick-up		0,11	0,07	0,26	0,04	0,11	0,06		0,06
AUG2	Mähdrusch; Standwagen am Feldrand Mährescher, 10.500 l, 275 kW; Schneidwerk, 6 m	2,00 t ⁽⁴⁾	1,10	3,14	104,42	23,49	6,39	25,10		2,48
AUG2	Korntransport Dreiseitenkippanhänger, 14 t; 67 kW	2,00 t	0,14	0,74	1,43	0,44	0,35	1,34		0,58
AUG2	Lagern und Trocknen Lagerraum 10.500 m ³ ; Annahmelleistung 80 t/h	2,00 t	0,15	0,00	14,05	3,43	0,00	3,04		5,93
SEP1	Schälen mit Schäl-Drehpflug (mittel, schräg 30°) 8 Schare, 2,8 m, aufgesattelt; 120 kW		0,64	6,54	13,97	3,42	1,95	12,46		5,17
SEP2	1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°) 4,5 m; 102 kW		0,42	5,32	6,19	1,80	0,91	9,17		4,20
OKT1	2.Stoppelgrubbern tief, schräg (30°) 6 m; 102 kW		0,37	5,47	5,91	1,73	0,75	8,78		4,32
	Getreidequetsche mit 1 oder 2 Walzen ⁽⁵⁾ 1,4 t h ⁻¹ Durchsatz, 5 kW Antriebsleistung	2,86 h	0,50	0,00	–	–	6,47	3,06		3,71
	Summe		5,90	57,18	184,62	45,25	21,67	106,88		54,30

Im Laufe der Bearbeitung des *Verfahrensrechners Pflanze* mussten weitere in der **Tabelle VI** mit hochgestellten Ziffern gekennzeichnete Annahmen getroffen werden, welche im Folgenden detailliert erläutert werden:

(1) Die Angaben zum **Zeitraum** geben einen Orientierungsrahmen für die zeitliche Ausführung der Arbeiten an. Entsprechend der Darstellung im *Verfahrensrechners Pflanze* wird jeder Monat durch die nachgestellte Ziffer in einen ersten und einen zweiten Abschnitt unterteilt.

(2) Die **Betriebsstoffe** enthalten verschiedene Annahmen des *Verfahrensrechners Pflanze* zu den Kosten der während der Teilarbeiten verbrauchten Treibstoffe. Übernommen wurden die voreingestellten Annahmen für einen Benzinpreis von $1,20 \text{ € l}^{-1}$, einen Heizölpreis von $0,55 \text{ € l}^{-1}$ und einen Strompreis von $0,26 \text{ € kWh}^{-1}$. Da Agrardiesel den größten Einfluss auf den Kostenpunkt Betriebsstoffe hat, wurde die Preisannahme gesondert überprüft. Dafür wurden als Datengrundlage die durchschnittlichen Brutto-Dieselpreise der Jahre 2015 bis 2019 herangezogen (DESTATIS, 2021). Der Brutto-Dieselpreis für das Jahr 2020 wurde nicht berücksichtigt, da zur Mitte des Jahres eine Mehrwertsteuer-Senkung erfolgte und der Netto-Dieselpreis nicht eindeutig berechnet werden konnte. Nach Abzug der Mehrwertsteuer und der Agrardieselvergütung in Höhe von $21,48 \text{ € l}^{-1}$, die sich Landwirt:innen im Rahmen des Energiesteuergesetzes als Steuerentlastung erstatten lassen können (BMJV, 2021b: § 57), ergibt sich ein Preis für Agrardiesel von $0,79 \text{ € l}^{-1}$, der für die Berechnungen herangezogen wurde.

(3) Zur **Aussaatmenge** hatte der Betriebsleiter keine Angaben gemacht. In dieser Arbeit wird angenommen, dass die Bitterlupinen-Sorte *Azuro* der Schmalblättrigen Lupine verwendet wird. Das in der beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamts (BSA, 2020: S. 344) gelistete Züchtungsunternehmen dieser Sorte gibt eine Empfehlung zur Saatmenge der Sorte *Azuro* von 180 kg ha^{-1} (FELDSAATEN FREUDENBERGER, 2021: S. 175). Diese bezieht sich allerdings auf einen Einsatz der Bitterlupine zur Gründüngung, wobei ein dichter Bestand unter anderem zur Unkrautunterdrückung angestrebt wird. Bei Sorten, die zur Körnergewinnung angebaut werden, liegt die Saatstärke etwas niedriger (KAHNT, 2008: S. 99–101). In der Regel wird bei der Nutzung als Körnerleguminose aber nicht die Aussaatmenge je Hektar angegeben, sondern die Saatstärke in Körnern je Quadratmeter. Für eine Sorte, die zur Kornernte gedacht ist (*Bolero*), wird eine Empfehlung in Höhe von 60 – 80 Körnern je Quadratmeter gegeben (FELDSAATEN FREUDENBERGER, 2021: S. 145). Bei einem

angenommenen Tausendkorngewicht (TKG) von 150 g (KOLBE et al., 2002: S. 76) ergibt sich eine Aussaatmenge von etwa 90 – 120 kg ha⁻¹. Auf Nachfrage beim Züchtungsunternehmen wurde bestätigt, dass beim Anbau der Sorte *Azuro* zur Körnergewinnung mit dieser Aussaatmenge kalkuliert werden kann. Für den Ökolandbau werden in der Literatur für Sorten, die dem Verzweigungs-Wuchstyp entsprechen, allerdings eher 80 – 100 Körner je Quadratmeter als Zielgröße angegeben. Auch die Sorte *Azuro* entspricht dem Verzweigungstyp (BSA, 2020: S. 344; KATROSCHAN, 2011: S. 50). Aus diesem Grund sollte in dieser Arbeit mit einer Aussaatmenge von 135 kg ha⁻¹ kalkuliert werden (entspricht 90 Körner je Quadratmeter bei 150 g TKG), allerdings konnte im *Verfahrensrechner Pflanze* als nächstmögliche Einheit nur eine Aussaatmenge von 140 kg ha⁻¹ ausgewählt werden.

(4) Als mittleres **Ertragsniveau** hatte der Betriebsleiter etwa 15 dt ha⁻¹ angegeben. Im *Verfahrensrechner Pflanze* konnte bei den entsprechenden Arbeitsverfahren als kleinste Einheit allerdings nur ein Flächenertrag von 20 dt ha⁻¹ ausgewählt werden.

(5) Da das Produktionsverfahren die Gewinnung von Bitterlupinenschrot als Ergebnis haben sollte, musste das Verfahren noch um den **Arbeitsgang des Schrotens** ergänzt werden. Für ein solches Verfahren liegt im *Verfahrensrechners Pflanze* keine Vorlage vor, weshalb hier Annahmen getroffen werden mussten. Nach Aussage des Betriebsleiters wird auf dem Betrieb das Lupinenkorn zweimal mit Hilfe einer Getreidequetsche zur Futtermittelbereitung gequetscht. Die Daten des KTBL enthalten zur Investitionsplanung Kalkulationsgrundlagen für eine Vielzahl von Maschinen – darunter auch für verschiedene Getreidequetschen. Ausgewählt wurde eine Quetsche mittlerer Leistung von 5 kW und einem Durchsatz von 1,4 t h⁻¹. Bei einer angenommenen Erntemenge von 2,0 t ha⁻¹ und zweimaligem Quetschen wäre eine solche Getreidequetsche 2,86 h ha⁻¹ im Einsatz. Als benötigter Arbeitszeitbedarf in Arbeitskraftstunden (Akh) wurde 0,5 Akh h⁻¹ für das Befüllen und die Überwachung des Vorgangs sowie die Entnahme des Bitterlupinenschrots angenommen. Weiterhin wurden fixe Maschinenkosten (als gesamte Kostenposition unter Sonstiges gelistet) und variable Maschinenkosten mit Hilfe der Kalkulationsgrundlagen ergänzt (ACHILLES et al., 2017: S. 140).

Insgesamt entstehen in dem Produktionsverfahren für Bitterlupinenschrot Maschinenkosten in Höhe von 412,72 € ha⁻¹ bei einem Arbeitszeitbedarf von 5,90 Akh ha⁻¹.

4.1.2 Direkt- und Arbeiterledigungskosten des Produktionsverfahrens

Basierend auf den Ergebnissen des vorangegangenen Kapitels wurden im Anschluss entsprechend des Vorgehens der Online-Anwendung *Leistungs- und Kostenrechnung Pflanzenbau* die Direkt- und Arbeiterledigungskosten des Produktionsverfahrens berechnet (siehe **Tabelle VII**). Als Direktkosten fallen Kosten für das Saatgut, Rhizobien-Impfmittel und eine Hagelversicherung an. Weiterhin werden für die im Produktionsverfahren eingesetzten Betriebsmittel für die Dauer einer kurzfristigen Kapitalbindung von 3 Monaten Zinskosten zu einem Zinssatz von 3 % berechnet (SCHROERS & KRÖN, 2019: S. 15). In den variablen Arbeiterledigungskosten werden die Kostenpositionen Reparaturen und Betriebsstoffe summiert. Außerdem werden auch für die Höhe der eingesetzten Betriebsmittel der variablen Maschinenkosten Zinskosten entsprechend des eben beschriebenen Vorgehens veranschlagt. Die fixen Arbeiterledigungskosten setzen sich aus den Kostenpositionen Abschreibung, Zinskosten für Maschinenkapital und sonstige Fixkosten zusammen. Da angenommen wird, dass die Ausführung der Arbeiten durch festangestellte Arbeitskräfte erfolgt, werden unter den fixen Arbeiterledigungskosten außerdem die fixen Lohnkosten des Verfahrens berechnet. In der Online-Anwendung *Leistungs- und Kostenrechnung Pflanzenbau* wird dafür ein Stundensatz von 21,00 € Akh⁻¹ angesetzt. Der Arbeitszeitbedarf ergibt sich aus den Ergebnissen der **Tabelle VI**.

Im Laufe der Bearbeitung mussten weitere in der Tabelle mit hochgestellten Ziffern gekennzeichnete Annahmen getroffen werden, welche im Folgenden detailliert erläutert werden:

(1) Auf Nachfrage beim Züchtungsunternehmen der Bitterlupinen-Sorte *Azuro*, welches die Sorte gleichzeitig auch vertreibt, muss für ökologisch produziertes Z-Saatgut mit **Saatgutkosten** in Höhe von 1,40 € kg⁻¹ kalkuliert werden.

(2) Es wird angenommen, dass das Saatgut vor der Aussaat mit einem **Rhizobien-Impfmittel** in flüssiger Form beimpft wird. Hierfür wurden auf Nachfrage beim Züchtungsunternehmen Kosten in Höhe von 30 € ha⁻¹ für ein für Pflanzen der Gattung *Lupinus spec.* geeignetes Mittel angegeben.

Tabelle VII: Direkt- und Arbeitserledigungskosten des Produktionsverfahrens Bitterlupinenschrot

Kosten	Menge	Preis	Betrag in € ha⁻¹
Direktkosten			
Bitterlupine, Z-Saatgut, ökologisch ⁽¹⁾	135 kg ha ⁻¹	1,40 € kg ⁻¹	189,00
Rhizobien-Impfmittel ⁽²⁾	1,00 l ha ⁻¹	30,00 € l ⁻¹	30,00
Hagelversicherung ⁽³⁾			13,94
Zinskosten			1,75
	Summe		234,69
Arbeitserledigungskosten			
variable Arbeitserledigungskosten			
variable Maschinenkosten			161,18
Zinskosten			1,21
fixe Arbeitserledigungskosten			
fixe Maschinenkosten			251,54
fixe Lohnkosten	5,90 Akh ha ⁻¹	21,00 € Akh ⁻¹	123,90
	Summe		537,83
Direkt- und Arbeitserledigungskosten			772,52

(3) Durch eine **Hagelversicherung** wird der Erntewert je Hektar abgesichert, sie berechnet sich also je Kultur ertrags- und marktpreisabhängig (LFL, 2021). Da in dieser Arbeit keine Marktleistung für den Verkauf der Bitterlupine angenommen wird, wurde auf die Planungsdaten der Online-Anwendung *Leistungs- und Kostenrechnung Pflanzenbau* für den Anbau von Süßlupinen als Körnerleguminose zurückgegriffen. Folglich wurden für einen durchschnittlichen Ertrag auf leichtem Boden Kosten für die Hagelversicherung in Höhe von 13,94 € ha⁻¹ veranschlagt (KTBL, 2020a).

Im Ergebnis entstehen für das Anbauverfahren Direkt- und Arbeitserledigungskosten in Höhe von 772,52 € ha⁻¹. Auf die fixen Arbeitserledigungskosten entfällt etwa die Hälfte dieses Betrags, auf die Direktkosten ein knappes Drittel und auf die variablen Arbeitserledigungskosten etwa ein Fünftel.

4.1.3 N-Flächenertrag

Zur Beantwortung der Fragestellung müssen die N-Nährstoffkosten unter Einbeziehung der im vorangegangenen Kapitel ermittelten Kosten des Anbauverfahrens berechnet werden. Zugrunde liegt die Überlegung, dass die Kosten des Produktionsverfahrens auf die netto gewonnene Menge Stickstoff aufgeteilt wird. Nach STEIN-BACHINGER & BACHINGER (2004: S. 114–115) entspricht die Menge des symbiotisch fixierten Stickstoffs von Körnerleguminosen rechnerisch in etwa der mit den Körnern vom Feld abgeführten N-Menge. Somit wird angenommen, dass der komplette N-Ertrag der Bitterlupine symbiotisch fixiert worden ist und es über die Düngung mit Bitterlupinenschrot nicht nur zu einer Umverteilung des Boden-N kommt.

Die netto gewonnene Menge Stickstoff des Bitterlupinenschrots entspricht damit dem N-Ertrag. Die Höhe der N-Nährstoffkosten ist folglich abhängig vom erzielten N-Ertrag. Der N-Ertrag je Fläche ist wiederum abhängig vom Korn-Flächenertrag und dem Rohproteingehalt im Korn. Da diese beiden Variablen abhängig vom Standort, den Witterungsbedingungen während der Kulturzeit sowie der Kulturführung sind, wurde modelliert, welche N-Erträge unter den gegebenen Bedingungen in Brandenburg möglich sind. Dafür wurden basierend auf den Ergebnissen der Grundlagen Variationen für den Rohproteingehalt in Höhe von 25 – 40 % und für den Flächenertrag von 10 – 30 dt angenommen.

Abbildung VII zeigt den N-Ertrag in Abhängigkeit vom Flächenertrag und exemplarisch für vier verschiedene angenommene Rohproteingehalte (Rp-Gehalt). Im Ergebnis zeigt sich, dass basierend auf den Annahmen N-Erträge im Bereich von 40 bis 192 kg ha⁻¹ möglich sind. Wird die betrachtete Spanne weiter auf die in den Grundlagen genannten standortabhängigen Durchschnittsbereiche eingegrenzt (Flächenertrag 15 – 25 dt und Rohproteingehalt 30 – 35 %), liegen die zu erwartenden N-Erträge im Bereich von 72 – 140 kg ha⁻¹ (in der Grafik rot markierter Bereich).

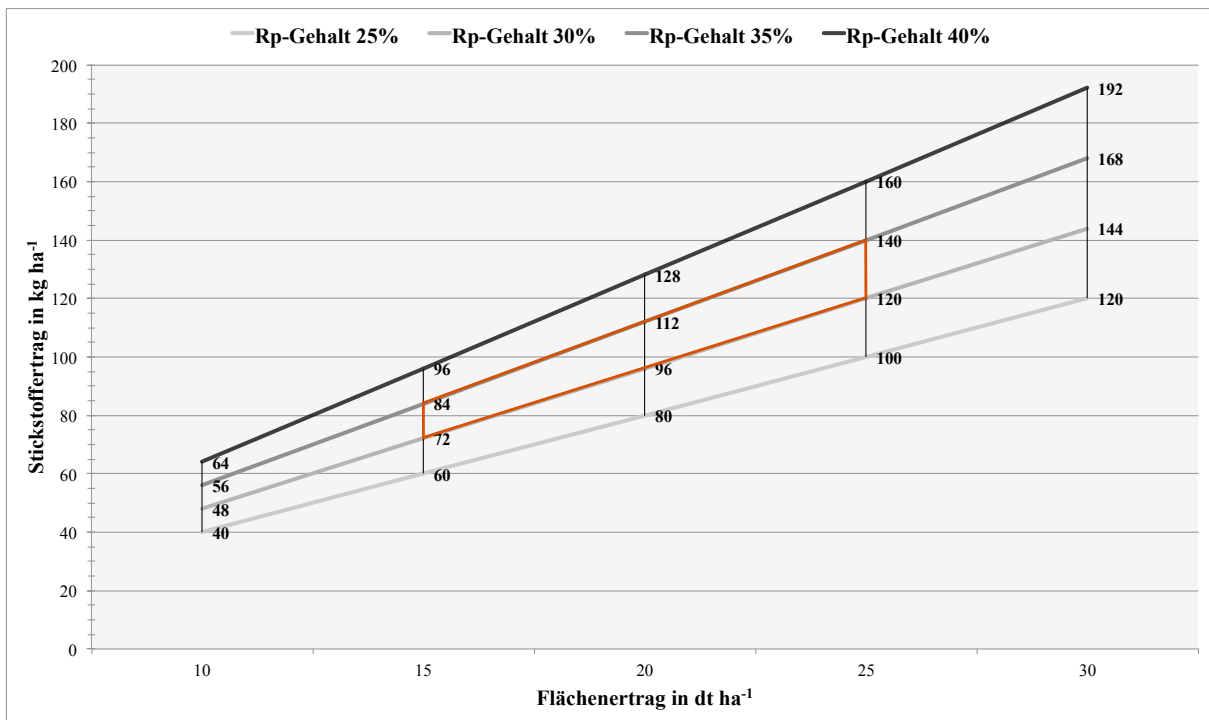


Abbildung VII: Potenziell erzielbare N-Erträge für Bitterlupine in Abhängigkeit vom Flächenertrag und Rohproteingehalten sowie Eingrenzung auf standortabhängige Durchschnittsbereiche (in rot)

4.1.4 N-Nährstoffkosten

Im nächsten Schritt wurden zur Berechnung der N-Nährstoffkosten die Direkt- und Arbeiterledigungskosten des Produktionsverfahrens auf die ermittelten N-Erträge verteilt. Vorangegangene **Abbildung VII** zeigt, dass ein höherer N-Ertrag u.a. mit einem höheren Flächenertrag korreliert. Gleichzeitig wirkt sich ein höherer Flächenertrag durch steigende Arbeiterledigungskosten im Bereich der Arbeitsvorgänge Drusch, Transport, Trocknung und Lagerung sowie den Einsatz der Getreidequetsche auch auf die Höhe der Direkt- und Arbeiterledigungskosten aus. Folglich müssten mit steigendem N-Ertrag auch höhere Direkt- und Arbeiterledigungskosten angenommen werden. Auf eine Anpassung der Arbeiterledigungskosten für jeden Berechnungsschritt wurde jedoch aus zwei Gründen verzichtet: Zum einen kann die genaue Höhe des Einflusses des veränderlichen Flächenertrags auf die Arbeiterledigungskosten nicht ermittelt werden, da der N-Ertrag neben dem Flächenertrag auch vom veränderlichen Rohproteingehalt beeinflusst wird. Zum anderen ergab eine überschlägige Anpassung des *Verfahrensrechners Pflanze*, dass eine Veränderung des Ertragsniveaus von ca. 5 dt mit einer relativ niedrigen Veränderung der Kosten von etwa einem Prozent einhergeht. Weiterhin lag der Berechnung des N-Ertrags eine

Variation des Flächenertrags im Bereich von 10 – 30 dt zu Grunde und die Arbeiterledigungskosten wurden für einen mittleren Flächenertrag von 20 dt berechnet.

Abbildung VIII zeigt abschließend die Aufteilung der Direkt- und Arbeiterledigungskosten auf den errechneten N-Ertragsbereich von etwa 40 – 200 kg ha⁻¹. Im Ergebnis zeigt sich, dass die N-Nährstoffkosten sinken, je höher der Stickstoffertrag ist und im Bereich von 3,90 – 19,30 € kg⁻¹ liegen. Wird die Betrachtung wie im vorangegangenen Kapitel weiter standortabhängig eingegrenzt auf einen N-Ertrag von 70 – 140 kg, ergeben sich N-Nährstoffkosten von 5,50 – 11,00 € kg⁻¹.

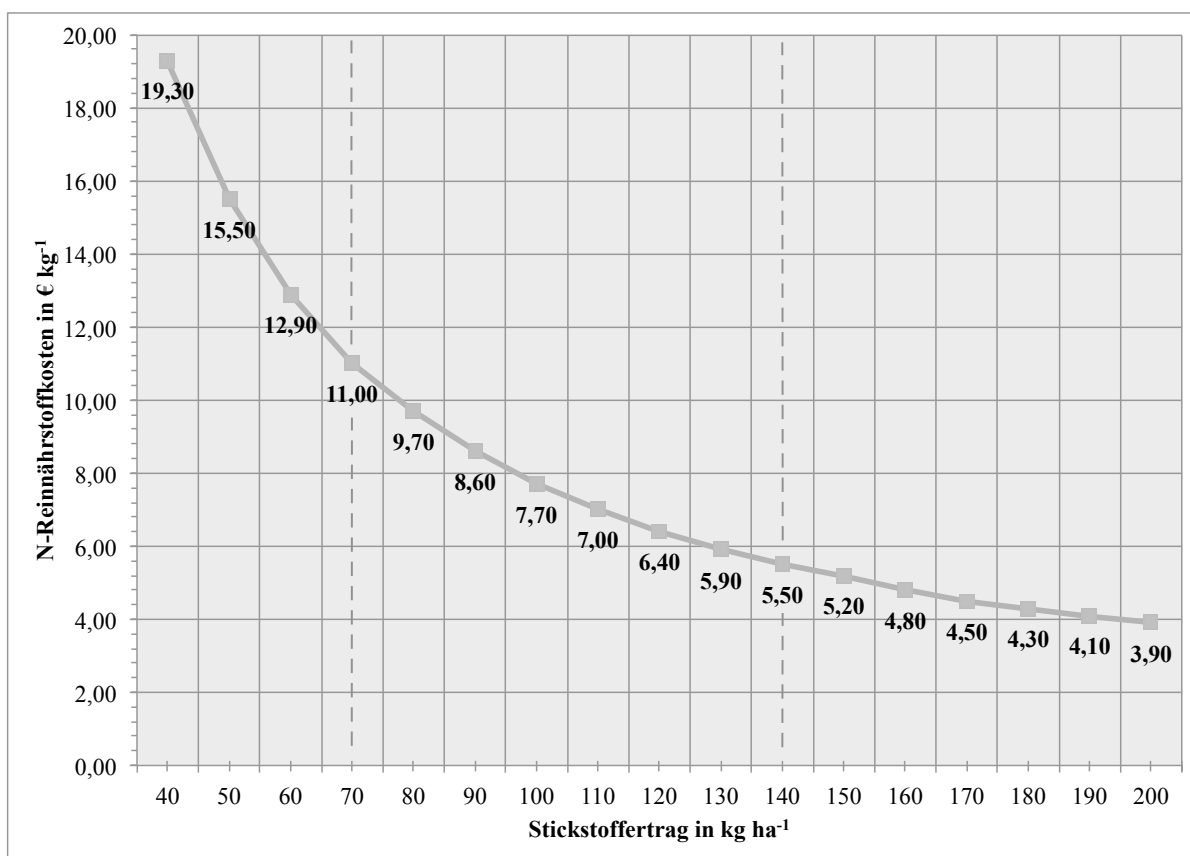


Abbildung VIII: N-Nährstoffkosten für Bitterlupinenschrot in Abhängigkeit vom N-Ertrag, standortabhängiger Durchschnittsbereich des N-Ertrags mit gestrichelter Linie markiert

4.2 N-Düngung mit Bitterlupinenschrot im Weizen

Nach der Identifikation eines Anbauverfahrens für Bitterlupinenschrot zur N-Düngung und der Berechnung der Spannweite resultierender N-Nährstoffkosten in Abhängigkeit vom

Flächenertrag im ersten Teil der Ergebnisse, werden im folgenden zweiten Teil die Ergebnisse der Modellierung des Einsatzes des Bitterlupinenschrots in einem Winterweizen dargestellt.

4.2.1 Anbauverfahren Weizen

In Analogie zum Vorgehen in Kapitel 4.1.1 wurde basierend auf den Angaben des Betriebsleiters ein Produktionsverfahren zum Anbau von Winterweizen und Düngung von Bitterlupinenschrot mit Hilfe des *Verfahrensrechners Pflanze* ausgearbeitet. Zu Beginn der Eingaben im *Verfahrensrechner Pflanze* werden einige grundlegende betriebliche Spezifikationen getroffen, die einen Einfluss auf den Arbeitszeitbedarf und die Maschinenkosten eines jeden gewählten Arbeitsvorgangs haben. Folgende grundlegende betriebliche Spezifikationen wurden basierend auf den Angaben des Betriebsleiters gewählt:

- 10 ha Schlaggröße,
- 4 km Hof-Feld-Entfernung und
- Bewirtschaftung eines leichten Bodens.

Tabelle VIII zeigt das Ergebnis der betriebsindividuellen Anpassung des *Verfahrensrechners Pflanze*. Der Betriebsleiter gab als mittleres Ertragsniveau etwa 40 dt ha⁻¹ an. Auf eine Strohbergung wurde im betrachteten Produktionsverfahren verzichtet, da die Vermarktung des Strohs bzw. die innerbetriebliche Verwendung in der weiteren Erfolgsbetrachtung nicht als Leistung mit in die Bewertung einfließt.

Tabelle VIII: Arbeitsvorgänge und Maschinenkosten des identifizierten Produktionsverfahrens für Winterweizen

Zeit- raum	Arbeitsvorgang	Menge ... ha ⁻¹	Arbeits- zeitbedarf h ha ⁻¹	Diesel- bedarf l ha ⁻¹	Maschinenkosten € ha ⁻¹				
					Abschrei- bung	Zins- kosten	Sonstiges	Repara- turen	Betriebs- stoffe
SEP2	Pflügen mit Drehpflug 5 Schare, 1,75 m, angebaut; 102 kW		1,34	18,45	16,94	4,85	2,16	21,03	14,58
OKT2	Saatguttransport Sackware, Gabelstapler 3m, 2 t Dreiseitenkippanhänger, 4 t; 37 kW	160 kg ⁽¹⁾	0,02 0,06	0,04 0,20	0,11 0,29	0,03 0,08	0,02 0,06	0,12 0,39	0,03 0,16
OKT2	Säen mit Grubber, Kreiselege und Sämaschine 4 m; 102 kW	160 kg	0,68	14,16	15,87	4,54	1,66	17,59	11,19
NOV1	Striegeln 12 m; 83 kW		0,14	1,58	3,56	0,96	0,34	2,99	1,25
FEB2	Bestandesbonitur Visuelle Bonitur; Fahrten mit Pick-up		0,10	0,04	0,17	0,02	0,07	0,04	0,03
MRZ1	Düngertransport, loser Dünger Frontlader; Mineraldüngerschaufel 0,65 m ³ ; 54 kW	1.400 kg	0,06 0,12	0,27 0,75	0,36 1,31	0,10 0,39	0,07 0,33	0,41 1,28	0,21 0,59
MRZ1	Dünger ausbringen, ab Feld, loser Dünger ⁽²⁾ Anbauschleuderstreuer, 1,5 m ³ ; 67 kW	1.400 kg	0,18	1,28	2,93	0,70	0,37	1,46	1,01
MRZ1	Striegeln zum Einarbeiten des Düngers 12 m; 83 kW		0,14	1,67	3,53	0,95	0,34	2,95	1,32
JUL2	Mähdrusch; Standwagen am Feldrand Mähdrüscher, 10.500 l, 275 kW; Schneidwerk, 6 m	4,00 t	0,60	18,55	57,22	12,87	3,80	15,49	14,65
JUL2	Korntransport Dreiseitenkippanhänger, 18 t; 83 kW	4,00 t	0,17	1,20	2,65	0,82	0,57	2,02	0,95
JUL2	Lagern und Trocknen Lagerraum 10.500 m ³ ; Annahmeleistung 80 t/h	4,00 t	0,31	0,00	29,38	7,17	0,00	6,35	11,35
AUG1	Schälen mit Schäl-Drehpflug (mittel, schräg 30°) 8 Schare, 2,8 m, aufgesattelt; 120 kW		0,55	6,06	13,05	3,17	1,82	11,65	4,79
AUG2	1. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°) 4,5 m; 102 kW		0,36	4,97	5,68	1,66	0,84	8,69	3,93
SEP2	2. Stoppelgrubbern tief, schräg (30°) 6 m; 102 kW		0,31	5,14	5,44	1,60	0,68	8,34	4,06
	Summe		5,14	74,36	158,49	39,91	13,13	100,80	70,10

Im Laufe der Bearbeitung des *Verfahrensrechners Pflanze* mussten weitere in der Tabelle mit hochgestellten Ziffern gekennzeichnete Annahmen getroffen werden, welche im Folgenden detailliert erläutert werden:

(1) In dieser Arbeit wird angenommen, dass die Winterweizen-Sorte *Tobias*, eine E-Sorte aus ökologischer Züchtung, angebaut wird (BSA, 2020: S. 132). Nach Angaben eines Saatgutherstellers kann mit einer **Aussaatsmenge** von 160 kg ha^{-1} kalkuliert werden.

(2) Für ein **Arbeitsverfahren zum Ausbringen von Leguminosenschroten zur Düngung** liegt im *Verfahrensrechner Pflanze* keine entsprechende Vorlage vor. Angenommen wurde der Transport der geschroteten Bitterlupinenkörner als loser Dünger zum Feld und die Ausbringung mit einem geeigneten Düngerstreuer. Nach MÖLLER & SCHULTHEIB (2014a: S. 99–100) kommen zur Ausbringung von vergleichbaren Düngemitteln Wurf- bzw. Schleuderstreuer, Kastenstreuer oder (pneumatische) Auslegestreuer in Frage. Da Kasten- und Auslegestreuer eher für den Beetanbau im Gemüsebau empfehlenswert sind, wird für das Ausbringen großer Mengen Schrot auf einer ackerbaulich genutzten Fläche der Schleuderstreuer ausgewählt. Diese zeichnen sich durch große Wurfweiten von bis zu 48 m und damit eine hohe Flächenleistung aus, sind günstig in der Anschaffung und verfügen über eine einfache und robuste Bauweise. Allerdings sind sie während des Ausbringens sehr windanfällig und ungeeignet für pulverförmige Düngemittel. Im *Verfahrensrechner Pflanze* wurde das Ausbringen von Haarmehlpellets mittels Anbauschleuderstreuer und einer Wurfweite von 24 m als Äquivalent ausgewählt. Weiterhin wurde vom Betriebsleiter angegeben, dass die Einarbeitung des Bitterlupinenschrots durch Striegeln erfolgt.

(3) Zur Berechnung der Maschinenkosten musste eine bestimmte auszubringende **Düngemenge** ausgewählt werden. Gleichzeitig ist die benötigte Menge an Bitterlupinenschrot bei den Berechnungen der weiteren Ergebnisse dieser Arbeit nicht einheitlich, sondern wird in Abhängigkeit der Düngebedarfsermittlung variiert. Die im *Verfahrensrechner Pflanze* maximal auswählbare Menge lag bei 1.400 kg ha^{-1} und wurde als Grundlage zur Berechnung der Maschinenkosten herangezogen.

Insgesamt entstehen in dem Produktionsverfahren Winterweizen Maschinenkosten in Höhe von $382,43 \text{ € ha}^{-1}$ bei einem Arbeitszeitbedarf von $5,14 \text{ Akh ha}^{-1}$.

4.2.2 Direkt- und Arbeiterledigungskosten Weizen

Basierend auf den Ergebnissen des vorangegangenen Kapitels wurden im Anschluss entsprechend des Vorgehens der Online-Anwendung *Leistungs- und Kostenrechnung Pflanzenbau* die Direkt- und Arbeiterledigungskosten des Produktionsverfahrens berechnet (siehe **Tabelle IX**). Die Kosten für das Bitterlupinenschrot innerhalb der Direktkosten werden erst im nächsten Schritt berücksichtigt. Die Arbeiterledigungskosten für die Ausbringung sind hingegen bereits berücksichtigt.

Tabelle IX: Direkt- und Arbeiterledigungskosten des Produktionsverfahrens Winterweizen

Kosten	Menge	Preis	Betrag in € ha ⁻¹
Direktkosten			
Weizen, Z-Saatgut, ökologisch ⁽¹⁾	160 kg ha ⁻¹	0,86 € kg ⁻¹	137,60
Hagelversicherung ⁽²⁾			12,97
Zinskosten			1,13
	Summe		151,70
Arbeiterledigungskosten			
variable Arbeiterledigungskosten			
variable Maschinenkosten			170,90
Zinskosten			1,28
fixe Arbeiterledigungskosten			
fixe Maschinenkosten			211,53
fixe Lohnkosten	5,14 Akh ha ⁻¹	21,00 € Akh ⁻¹	107,94
	Summe		491,65
Direkt- und Arbeiterledigungskosten			643,35

(1) Auf Nachfrage beim Saatguthersteller der Winterweizen-Sorte *Tobias* kann für ökologisch produziertes Z-Saatgut mit **Saatgutkosten** in Höhe von 0,86 € kg⁻¹ kalkuliert werden.

(2) Entsprechend dem Vorgehen in Kapitel 4.1.2 wurde zur Berechnung der **Hagelversicherung** auf die Planungsdaten der Online-Anwendung *Leistungs- und Kostenrechnung Pflanzenbau* für den Anbau von Backweizen zurückgegriffen und für einen durchschnittlichen Ertrag auf leichtem Boden Kosten in Höhe von 12,97 € ha⁻¹ veranschlagt (KTBL, 2020a).

Im Ergebnis entstehen für das Anbauverfahren Direkt- und Arbeitserledigungskosten in Höhe von 643,35 € ha⁻¹. Auf die fixen Arbeitserledigungskosten entfällt etwas weniger als die Hälfte diese Betrags, auf die variablen Arbeitserledigungskosten 27 % und auf die Direktkosten 25 %.

4.2.3 N-Düngebedarfsermittlung

Bevor abschließend die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung des Winterweizens unter N-Bereitstellung durch Bitterlupinenschrot ermittelt werden kann, musste zuerst der während der Vegetation benötigte N-Düngebedarf bestimmt werden. Angenommen wurde, dass dieser durch die Düngung mit Bitterlupinenschrot gedeckt werden kann. Um dabei dem Einfluss der N-Düngung auf den Ertrag und die Qualität sowie damit auf die erzielbare Leistung des Winterweizens Rechnung zu tragen, werden sowohl die erzielbare Qualitätsklasse als auch das Ertragsniveau variiert. Zum einen wurden die drei in der DüV unterschiedenen Qualitätsklassen von Winterweizen (A/B, C, E) und ihre jeweils unterschiedlichen N-Bedarfswerte bei einem Ertragsniveau von 80 dt ha⁻¹ herangezogen (BMJV, 2021a: Anlage 4). Zum anderen wurde das Ertragsniveau im Winterweizen in drei Stufen variiert (25, 40, 55 dt ha⁻¹), ausgehend von einem nach Aussagen des Betriebs mittleren Ertrag von 40 dt ha⁻¹. Somit lässt sich für Winterweizen mit Hilfe der N-Düngebedarfsermittlung der DüV für neun verschiedene Kombinationen aus Qualitätsklasse und Ertragsniveau je ein spezifischer N-Düngebedarf während der Vegetation ermitteln.

Tabelle X zeigt die Berechnung der N-Düngebedarfsermittlung entsprechend den Vorgaben der DüV exemplarisch für alle drei Qualitätsklassen bei einem angenommenen Ertragsniveau von 40 dt ha⁻¹. Im Ergebnis liegt der standortabhängige und an die betrieblichen Spezifikationen angepasste N-Düngebedarf für die drei betrachteten Qualitätsklassen bei einem Ertragsniveau von 40 dt ha⁻¹ bei 86 – 136 kg ha⁻¹. Dies ist laut DüV die „Nährstoffmenge, die den Nährstoffbedarf einer Kultur nach Abzug sonstiger verfügbarer Nährstoffmengen und unter Berücksichtigung der Nährstoffversorgung des Bodens abdeckt“ (BMJV, 2021a: § 2). Gleichzeitig stellt der Bedarf auch die standortbezogene Obergrenze dar und darf nicht überschritten werden.

Tabelle X: N-Düngebedarfsermittlung für Winterweizen bei 40 dt ha⁻¹ Ertrag und in Abhängigkeit der drei Qualitätsklassen

Faktoren für die Düngebedarfsermittlung	Winterweizen E-Qualität	Winterweizen A/B-Qualität	Winterweizen C-Qualität
angenommenes Ertragsniveau [dt ha ⁻¹]	40	40	40
	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹
N-Bedarfswert bei Ertragsniveau von 80 dt ha ⁻¹	260	230	210
N-Abschlag wg. Ertragsdifferenz von 40 dt ha ⁻¹	- 38	- 38	- 38
Im Boden verfügbare N-Menge (N _{min})	- 44	- 44	- 44
Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat	0	0	0
Stickstoffnachlieferung aus organischer Düngung des Vorjahres	0	0	0
Vorfrucht	- 20	- 20	- 20
Zwischenfrucht	0	0	0
Stickstoffdüngbedarf während der Vegetation	136	106	86

Entsprechend dieser Berechnungen wurde für alle neun verschiedenen Kombinationen aus Qualitätsklasse und Ertragsniveau je ein spezifischer N-Düngebedarf nach Düngebedarfsermittlung errechnet. Aus dem N-Düngebedarf kann wiederum auf die benötigte Menge an Bitterlupinenschrot geschlossen werden. Dafür wurde von einem mittleren N-Gehalt von 5,28 % ausgegangen (entsprechend eines mittleren Rohproteingehalts des Bitterlupinenschrots von 33 %). Die Ergebnisse dieser Rechnungen sind im oberen Teil von **Tabelle XI** dargestellt. Demnach besteht für einen Weizen der Qualitätsklasse C mit niedrigstem Ertragsniveau ein Bedarf von 64 kg N bzw. 1,2 t Bitterlupinenschrot je Hektar. Für einen Weizen der Qualitätsklasse E bei höchstem Ertragsniveau wären nach dieser Rechnung 159 kg N bzw. 3,0 t Bitterlupinenschrot je Hektar vonnöten.

Da in organischen Düngemitteln Stickstoff anders als in Mineraldüngern zu einem großen Teil in organisch gebundener Form vorliegt und damit nicht sofort pflanzenverfügbar ist, muss bei der Ermittlung der Düngemenge noch die geringere N-Verfügbarkeit berücksichtigt werden. Nach DüV ist bei der Ausbringung von organischen Düngemitteln eine Mindestwirksamkeit im Jahr des Aufbringens in Prozent des Gesamtstickstoffgehaltes anzusetzen (BMJV, 2021a: § 3). Allerdings werden in der DüV keine Zahlen für die Mindestwirksamkeit im Jahr des Aufbringens von Lupinenschroten oder ähnlichem genannt. Für nicht in der DüV aufgeführte Düngemittel müssen die Werte entweder bei der nach

Landesrecht zuständigen Stelle erfragt werden oder nach wissenschaftlich anerkannten Messmethoden ermittelt worden sein (ebd.).

Nach Rücksprache mit der zuständigen Stelle des LELF (LÜBCKE, pers. Kommunikation v. 26.05.21) wurde auf Basis der in der Literatur genannten Werte (BACHINGER et al., 2015: S. 122) eine Mindestwirksamkeit von 50 % zur Berechnung herangezogen. Im unteren Teil der **Tabelle XI** wird der sich daraus ergebende Bedarf an organischem Stickstoff (N_{org}) sowie die resultierende Düngemenge Bitterlupinenschrot dargestellt. Demnach besteht für einen Weizen der Qualitätsklasse C mit niedrigstem Ertragsniveau ein Bedarf von 127 kg N_{org} bzw. 2,4 t Bitterlupinenschrot je Hektar. Für einen Weizen der Qualitätsklasse E bei höchstem Ertragsniveau wären nach dieser Rechnung 317 kg N_{org} bzw. 6,0 t Bitterlupinenschrot je Hektar vonnöten.

Tabelle XI: N-Düngebedarf für Winterweizen sowie resultierende Düngemenge Bitterlupinenschrot für neun Kombinationen aus Qualitätsklassen und Ertragsniveaus A) ohne Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit organischer Düngung und B) mit Berücksichtigung

Ertragsniveau [dt ha ⁻¹]	Winterweizen E-Qualität			Winterweizen A/B-Qualität			Winterweizen C-Qualität		
	55	40	25	55	40	25	55	40	25
A)									
N-Düngebedarf zur Vegetation [kg N ha ⁻¹]	159	136	114	129	106	84	109	86	64
Düngemenge Lupinenschrot [t ha ⁻¹]	3,0	2,6	2,1	2,4	2,0	1,6	2,1	1,6	1,2
B)									
Organische Düngung zur Kultur [kg N_{org} ha ⁻¹]	317	272	227	257	212	167	217	172	127
Düngemenge Lupinenschrot [t ha ⁻¹]	6,0	5,2	4,3	4,9	4,0	3,2	4,1	3,3	2,4

4.2.4 Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung

Abschließend wurden die bisherigen Ergebnisse zusammengeführt und die DAKfL im Winterweizen ermittelt. Einflussgrößen auf der Kostenseite sind erstens die Direkt- und Arbeitserledigungskosten des Produktionsverfahrens Winterweizen sowie zweitens die Spannweite für N-Nährstoffkosten von Bitterlupinenschrot. Auf der Leistungsseite schlägt die Vermarktung des Winterweizens in den drei verschiedenen Qualitätsklassen zu Buche.

In Kapitel 4.2.2 wurden die Arbeitserledigungskosten des Weizens für ein Ertragsniveau von 40 dt ha⁻¹ ermittelt. Die Höhe des Ertragsniveaus hat einen Einfluss auf die Kostenpositionen Ernte sowie Lagern und Trocknen. Der Variation der Höhe des Ertragsniveaus auf 25 bzw. 55 dt wurde deswegen basierend auf den Daten des *Verfahrensrechner Pflanze* mit einem Zu- bzw. Abschlag von 20 € Rechnung getragen. Weiterhin wurden die Arbeitserledigungskosten für eine auszubringende Düngemenge von 1,4 t ha⁻¹ ermittelt. Die ermittelten Düngemengen aus dem Vorkapitel übersteigen diese Menge jedoch teilweise um ein Vielfaches. Steigenden Kosten durch größere Ausbringungsmengen wurde, wie in Kapitel 4.1.4 erläutert, mit einer Erhöhung der Kosten um ein Prozent je 5 dt Erhöhung der Ausbringungsmenge Rechnung getragen.

Zur Berechnung der Marktleistung mussten Annahmen für die einzelnen Qualitätsklassen getroffen werden. Anders als in der Vermarktung von konventionellem Getreide konnte keine eindeutige Klassifizierung zur Vermarktung im Ökolandbau festgestellt werden. Einige Quellen unterscheiden in Back- und Futterweizen (KTBL, 2020a), andere in Weizen der Klasse I und II sowie Futterweizen (LFL, 2021; SCHAACK & RAMPOLD, 2015: S. 91) oder Klasse 1, 2, 3 (HÜWING, 2009: S. 30–31) und wieder andere verwenden die Qualitätsklassen E, A/B und C für die Vermarktung (SCHANDERL, pers. Kommunikation v. 27.04.21). Für diese Arbeit wurden auf Basis der Kalkulationswerte der Online-Anwendung *Leistungs- und Kostenrechnung Pflanzenbau* (KTBL, 2020a) und der Agrarmarkt Informations-Gesellschaft (AMI, 2021) folgende Preisszenarios als Mittelwerte auf Bundesebene angenommen:

- Qualitätsklasse E: 44,00 € dt⁻¹,
- Qualitätsklasse A/B: 39,50 € dt⁻¹
- Qualitätsklasse C: 33,80 € dt⁻¹

Aus der DAKfL müssen noch die verbliebenen Kostengruppen (Gebäude-, Flächen-, Rechte- und Allgemeine Kosten) einer Vollkostenrechnung gedeckt werden. Entsprechend stellt ein positives Ergebnis der DAKfL nicht zwangsläufig die ökonomische Vorzüglichkeit eines Verfahrens dar. Da keine Vergleichsdaten für den Weizenanbau unter Düngung durch Leguminosenschrote vorliegen, wurde als Referenzgröße in der Online-Anwendung *Leistungs- und Kostenrechnung Pflanzenbau* die DAKfL für verschiedene Vergleichsverfahren von Backweizen und Futterweizen mit Gülle- bzw. Festmist-Düngung errechnet. Bei ansonsten gleichen Standort- und Betriebsspezifikationen (Schlaggröße 10 ha, Hof-Feld-Entfernung 4 km, leichter Boden) wurde dabei für ein Produktionsverfahren von Backweizen eine DAKfL von im Schnitt 850 € ha⁻¹ erzielt und für ein Produktionsverfahren von Futterweizen im Schnitt 500 € ha⁻¹.

Die Spannweite der N-Nährstoffkosten des Bitterlupinenschrots für die Bereitstellung der N-Düngung entspricht im Sinne einer Sensitivitätsanalyse der unsicheren Eingangsvariablen, deren Einfluss auf die Zielgröße DAKfL untersucht wird. Die Eingangsvariable N-Nährstoffkosten wird im Bereich von 4,00 – 11,00 € kg⁻¹ variiert.

Abbildung IX stellt abschließend die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der DAKfL unter Variation der N-Nährstoffkosten des Bitterlupinenschrots **ohne** Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit der organischen Düngung dar. Der DAKfL-Referenzwert von 850 € ha⁻¹ für Backweizen wird weder bei einer Vermarktung als E-Weizen noch als A/B-Weizen bei einem niedrigen oder mittleren Ertragsniveau erreicht. Bei einem hohen Ertragsniveau von 55 dt ha⁻¹ überschreitet die Variante A55 den DAKfL-Referenzwert bei N-Nährstoffkosten für das Bitterlupinenschrot von 5,00 € kg⁻¹ oder niedriger und die Variante E55 bei 5,50 € kg⁻¹ oder niedriger. Damit werden für die beiden Backweizen-Qualitätsklassen die Kosten für die N-Bereitstellung aus Bitterlupinenschrot erst dann gedeckt, wenn die N-Kosten niedriger liegen als in dem in Kapitel 4.1.4 festgestellten Durchschnittsbereich für N-Nährstoffkosten von 5,50 – 11,00 € kg⁻¹. Der DAKfL-Referenzwert von 500 € ha⁻¹ für Futterweizen wird nur von der Futterweizenvariante C55 bei einem hohen Ertragsniveau überschritten, wenn die N-Nährstoffkosten des Bitterlupinenschrots 6,30 € kg⁻¹ oder niedriger sind. Dieses Ergebnis liegt noch knapp innerhalb der standortabhängigen Spannweite für die N-Nährstoffkosten. Für alle Qualitätsklassen gilt, dass beim niedrigen Ertragsniveau keine positive DAKfL erzielt werden kann. Bei einem hohen Ertragsniveau ist die DAKfL außer bei N-Nährstoffkosten von 11,00 € kg⁻¹ immer positiv.

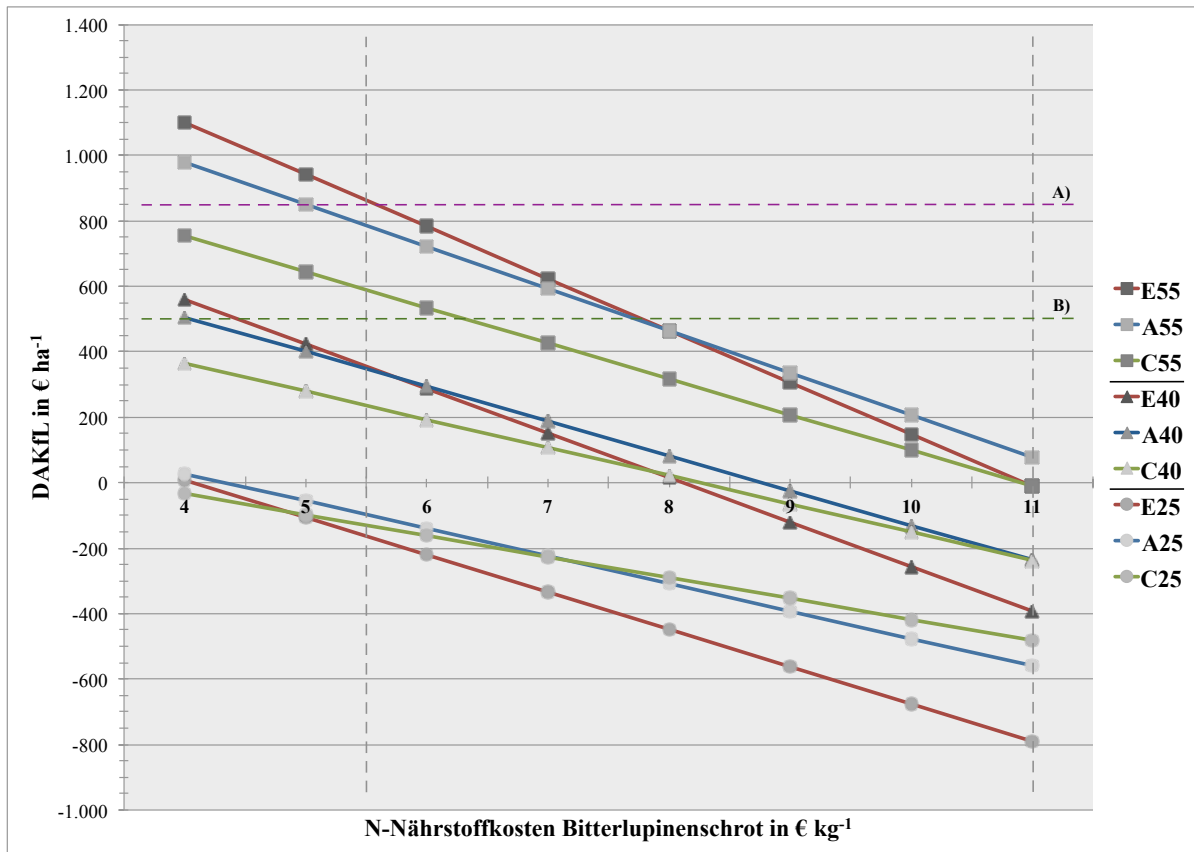


Abbildung IX: Direkt- und arbeits erledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) im Winterweizen in Abhängigkeit der N-Nährstoffkosten des Bitterlupinenschrots für E-Weizen (E), A/B-Weizen (A) und C-Weizen (C) sowie die Ertragsniveaus 55 dt ha⁻¹ (55), 40 dt ha⁻¹ (40) und 25 dt ha⁻¹ (25) **ohne** Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit der organischen Düngung; horizontale Linien markieren den KTBL-Vergleichswert für DAKfL von A) Backweizen und B) Futterweizen; vertikale Linien markieren die ermittelten standortabhängigen N-Nährstoffkosten

Abbildung X stellt abschließend die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der DAKfL unter Variation der N-Nährstoffkosten des Bitterlupinenschrots **mit** Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit der organischen Düngung dar. In dieser Betrachtung können weder die Backweizen- noch die Futterweizen-Varianten die DAKfL Referenzgröße überschreiten. Weiterhin erreichen alle drei Qualitätsklassen eine positive DAKfL überhaupt erst beim hohen Ertragsniveau und N-Nährstoffkosten von etwa 5,50 € kg⁻¹ oder niedriger.

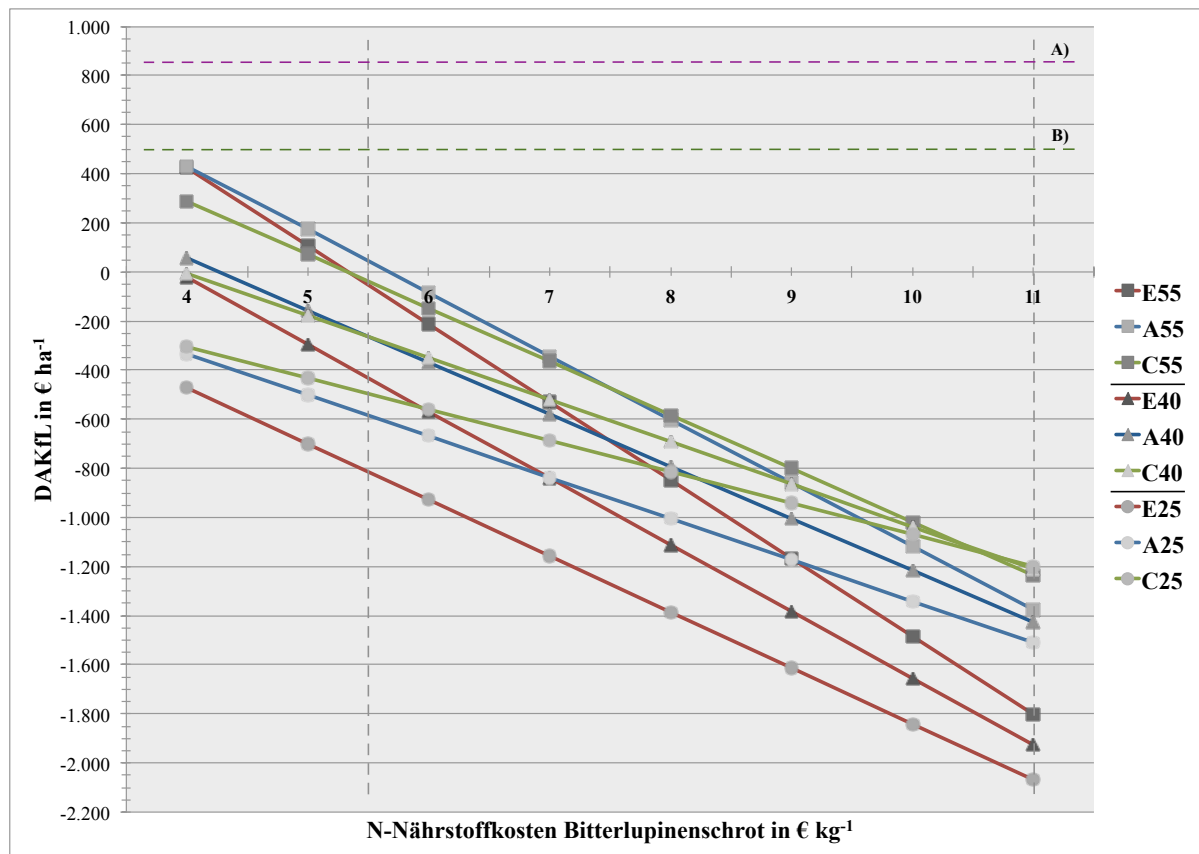


Abbildung X: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) im Winterweizen in Abhängigkeit der N-Nährstoffkosten des Bitterlupinenschrots für E-Weizen (E), A/B-Weizen (A) und C-Weizen (C) sowie die Ertragsniveaus 55 dt ha⁻¹ (55), 40 dt ha⁻¹ (40) und 25 dt ha⁻¹ (25) mit Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit der organischen Düngung; horizontale Linien markieren den KTBL-Vergleichswert für DAKfL von A) Backweizen und B) Futterweizen; vertikale Linien markieren die ermittelten standortabhängigen N-Nährstoffkosten

5 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse anhand der in der Zielsetzung (Kapitel 1.2) formulierten Hypothese und Fragestellungen diskutiert. Die Diskussion erfolgt in Anlehnung an den Aufbau des Forschungsansatzes für die vier Bearbeitungsschritte des Abschnitts *Produktion von Bitterlupinenschrot zur N-Düngung* und anschließend für den Abschnitt *N-Düngung im Winterweizen*. Abschließend erfolgt eine Diskussion der Methoden.

5.1 Diskussion der Ergebnisse

5.1.1 Produktion von Bitterlupinenschrot zur N-Düngung

A. Anbauverfahren Bitterlupine

Abbildung XI zeigt die relative Verteilung des mit Hilfe des Praxisbetriebs identifizierten Produktionsverfahrens Bitterlupinenschrot (Kapitel 4.1.1, im Weiteren „Praxisverfahren Bitterlupine“ genannt) mit einem KTBL-Vergleichsverfahren zur Körnergewinnung von Süßlupinen. Als Vergleichsverfahren wurde das vom *Verfahrensrechner Pflanze* vorgeschlagene Anbauverfahren mit einem mittleren Mechanisierungsgrad von 120 kW gewählt, bei ansonsten gleichen Annahmen zu Schlaggröße, Hof-Feld-Entfernung, Aussaatmenge und Ernteniveau. Zusätzlich wurden dem Vergleichsverfahren die Annahmen zur Schrotung zugefügt. Das Praxisverfahren Bitterlupine weist Maschinenkosten in Höhe von 412,72 € ha⁻¹ aus und ist damit annähernd identisch mit den Kosten des KTBL-Vergleichsverfahrens (417,34 € ha⁻¹). Die Betrachtung der Verteilung der relativen Kosten auf die einzelnen Arbeitsvorgänge bestätigt dieses Bild. Bei genauerer Betrachtung ergeben sich allerdings einige Unterschiede.

Die Kosten für die Stoppelbearbeitung im Praxisverfahren sind aufgrund dreifacher Stoppelbearbeitung – gegenüber einer zweifachen – um etwas mehr als ein Drittel größer. Das KTBL-Vergleichsverfahren weist weiterhin Kosten für die Entnahme von Bodenproben und das Ausbringen von Kalk alle drei Jahre aus, welche unter dem Punkt Sonstiges subsummiert sind, allerdings nur 1,1 % der Kosten ausmachen. Diese Verfahrensschritte sind nicht im Praxisverfahren enthalten.

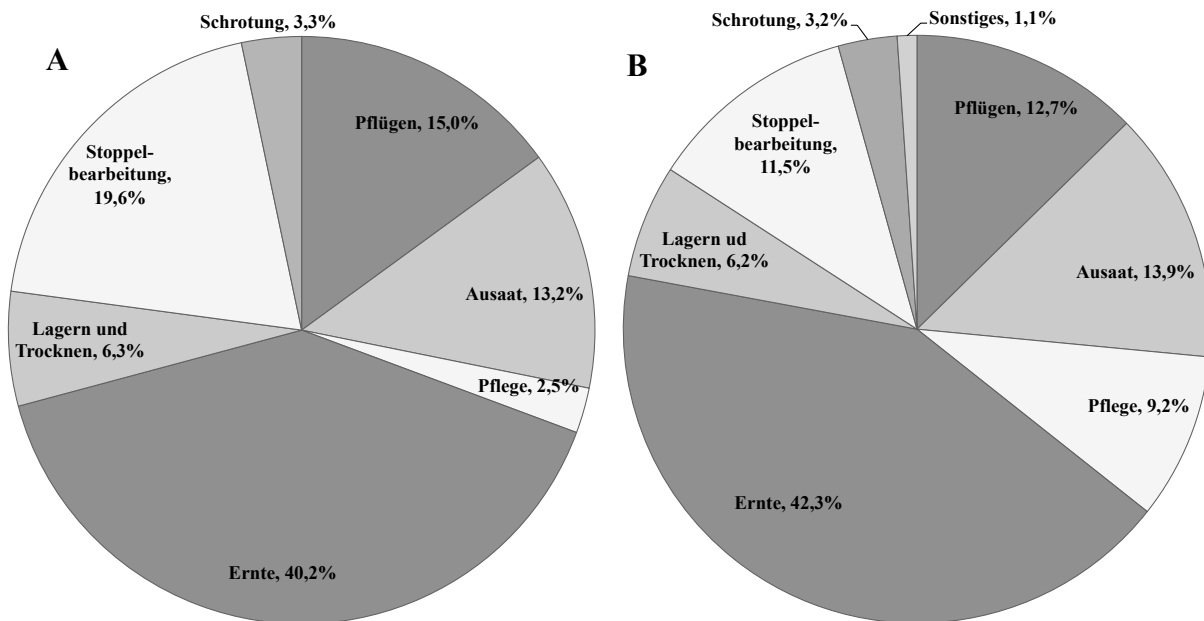


Abbildung XI: relative Verteilung der Maschinenkosten von (A) Praxisverfahren Bitterlupine (100 % = 412,72 € ha⁻¹) und (B) KTBL-Vergleichsverfahren (100 % = 417,34 € ha⁻¹)

Auffällig ist weiterhin, dass im Vergleichsverfahren der Anteil der Kosten für Pflegemaßnahmen fast viermal höher ist. Anders als im Praxisverfahren, in dem das Blindstriegeln zur Anwendung kommt, wird im Vergleichsverfahren zusätzlich eine weitere Anwendung des Striegels etwa zwei Wochen nach der Aussaat und eine Überfahrt mit der Hackmaschine (9 m Arbeitsbreite) etwa einen Monat nach der Saat durchgeführt. Diskutiert wird deshalb, ob der geringe Umfang an Pflegemaßnahmen im Praxisverfahren Ertragsverluste nach sich ziehen könnte.

SCHMIDT & LANGANKY (2020) haben zwischen 2015 und 2018 auf 27 Betrieben Nordostdeutschlands insgesamt 44 ökologisch bewirtschaftete Schläge mit Schmalblättriger Süßlupine hinsichtlich verschiedenster Parameter mit Fokus auf Ertrag, Rohproteingehalt und den Faktor Unkraut untersucht. Insgesamt konnte ein starker Zusammenhang zwischen Ertrag und Unkrautauftreten festgestellt werden, welcher in einem Ertragsrückgang von ca. 2 dt ha⁻¹ je 10 % Unkrautdeckungsgrad zum Ende der Lupinenblüte resultiert. Bei mehr als der Hälfte der untersuchten Flächen lag der Unkrautdeckungsgrad zu diesem Zeitpunkt zum Teil deutlich über 10 %. Mit Hilfe verschiedener Maßnahmen mechanischer Unkrautregulierung ist eine Reduzierung der Verunkrautung im Bestand möglich. Dazu gehörten in der Studie der Einsatz eines falschen Saatbetts, des Striegels und der Hacke. Der Striegel kam auf 90 % der Schläge zum Einsatz, die Maschinenhacke (15 %) und das falsche Saatbett (20 %) deutlich seltener. Die Häufigkeit der Striegeleinsätze variierte stark. Auf der

Hälfte der Flächen erfolgten ein bis zwei Striegelgänge. Auf 40 % sogar drei bis sechs. Bei einem Einsatz der Hackmaschine war der Unkrautdeckungsgrad im Durchschnitt deutlich geringer als bei ausschließlichem Striegeln. In der Studie konnte insgesamt nur ein leicht positiver Effekt auf den Unkrautdeckungsgrad bei zunehmender Intensität der mechanischen Unkrautregulierung festgestellt werden. Der Erfolg der einzelnen Maßnahmen hängt vielmehr von vielen Faktoren ab, wie z.B. dem aktuellen Bodenzustand, der Geräteeinstellung oder der Witterung, die in der Studie jedoch nicht gesondert untersucht wurden. Weiterhin wurde festgestellt, dass eine hohe Bestandeshomogenität, abhängig von sorgfältiger Saatbettbereitung und Aussaat, von größerer Bedeutung für den Ertrag ist als die Unkrautregulierung (SCHMIDT & LANGANKY, 2020: S. 49–65).

Zwar fehlen ähnlich umfangreiche und aktuelle Feldstudien zum Anbau von Bitterlupinen als Körnerleguminosen, dennoch ist wie in den Grundlagen erläutert von einer höheren Konkurrenzfähigkeit dieser gegenüber Unkräutern auszugehen. Es lässt sich somit vermuten, dass beim Anbau von Bitterlupinen zur Körnergewinnung langfristig die Kosten für Pflegemaßnahmen geringer ausfallen könnten als beim Anbau von Süßlupinen.

B. Direkt- und Arbeitserledigungskosten Praxisverfahren Bitterlupine

Tabelle XII vergleicht die aus dem Praxisverfahren Bitterlupine resultierenden Direkt- und Arbeitserledigungskosten (Kapitel 4.1.2) mit dem KTBL-Vergleichsverfahren. Das Vergleichsverfahren kalkuliert mit einer etwas höheren Aussaatmenge von 160 kg ha⁻¹, dafür allerdings mit einem geringeren Preis des Saatguts von 1,21 € kg⁻¹. Weiterhin werden im Vergleichsverfahren Kosten für kohlen-sauren Kalk angenommen und keine Kosten für eine Rhizobien-Impfung berechnet. In der Summe ergibt sich ein leichter Unterschied in der Höhe der Direktkosten. Aufgrund der Ähnlichkeit der Höhe der Maschinenkosten beider Verfahren sind die variablen und fixen Arbeitserledigungskosten annähernd identisch.

Tabelle XII: Vergleich der Höhe der Direkt- und Arbeitserledigungskosten von Praxisverfahren Bitterlupine und KTBL-Vergleichsverfahren

Kosten	Praxisverfahren Bitterlupine	KTBL Vergleichsverfahren
Direktkosten	234,69	250,10
variable Arbeitserledigungskosten	161,12	158,11
fixe Arbeitserledigungskosten	375,44	376,12
Direkt- und Arbeitserledigungskosten	772,52	784,33

ZIESEMER (2010: S. 16) nimmt für Mecklenburg-Vorpommern anhand von Daten der Agrarstrukturerhebung der Jahre 2003 – 2007 und Betriebsbefragungen eine ökonomische Bewertung des Anbaus von Schmalblättriger Süßlupine vor und leitet Richtwerte für eine Deckungsbeitragsrechnung im ökologischen Landbau ab. Als Richtwerte gelten Direktkosten in Höhe von 160 € ha⁻¹ (ausschließlich Kosten für Saatgut) und variable Maschinenkosten von 121 € ha⁻¹ bei einem Arbeitszeitbedarf von 4,0 Akh ha⁻¹. Diese Werte sind vergleichbar mit den im Praxisverfahren Bitterlupine ermittelten und beziehen sich auf eine Region mit ähnlichen Standortbedingungen.

Das in dieser Arbeit auf Grundlage der Aussagen des Praxisbetriebs ermittelte Produktionsverfahren für Bitterlupinenschrot ist hinsichtlich der Ausprägung der Arbeitsverfahren und der Höhe der Direkt- und Arbeiterledigungskosten mit einem durchschnittlichen Produktionsverfahren für Süßlupine vergleichbar. Es ist somit davon auszugehen, dass die ermittelten Ergebnisse dieses Abschnitts belastbar sind und als Orientierung für andere Betriebe mit ähnlichen Standortbedingungen herangezogen werden können.

C. N-Flächenertrag

Der mögliche N-Flächenertrag wurde in Abhängigkeit vom Korn-Flächenertrag und dem Rohproteingehalt auf Basis der in den Grundlagen beschriebenen Studien mit einer möglichen Spannweite von 40 – 192 kg N ha⁻¹ berechnet und anhand standortabhängiger Durchschnittsbereiche auf 72 – 140 kg N ha⁻¹ weiter eingegrenzt (Kapitel 4.1.3). SCHMIDT & LANGANKY (2020: S. 73) ermittelten auf den ökologisch bewirtschafteten Schlägen in Nordostdeutschland anhand des Lupinenertrags und des Proteingehalts von Handernteproben den Proteintrag für jeden einzelnen Schlag. Werden die Ergebnisse der Studie mit dem Umrechnungsfaktor Protein zu Stickstoff verrechnet, wurde dort ein N-Flächenertrag von 20 – 150 kg N ha⁻¹ erzielt. Die mittleren 50 % der Daten lagen zwischen 48 – 100 kg N ha⁻¹ bei einem Mittelwert von 64 kg N ha⁻¹. Weiterhin wurde festgestellt, dass die Streuung der N-Erträge nur in geringem Maße vom Rohproteingehalt beeinflusst wird und in erster Linie vom Korn-Flächenertrag abhängt. In derselben Studie wurden vor allem der Unkrautdeckungsgrad, die Bestandesdichte und die Bestandeshomogenität als ausschlaggebende Faktoren für einen hohen Flächenertrag ermittelt (ebd.: S. 28). KATROSCHAN (2011: S. 57) stellte in einem zweijährigen Feldversuch auf mittlerem Boden für die Bitterlupine *Azuro* N-Erträge in Höhe von 98 und 157 kg N ha⁻¹ fest. Die im selben Versuch angebaute Süßlupine *Boruta* erzielte N-

Erträge von 101 und 113 kg N ha⁻¹, wobei sie in einem Versuchsjahr starken Schäden durch Taubenfraß ausgesetzt war.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse und der in den Grundlagen beschriebenen Studien lässt sich generell vermuten, dass sich mit der Bitterlupine *Azuro* vergleichbare N-Erträge erzielen lassen wie mit verbreiteten Süßlupinensorten. In Frage zu stellen ist allerdings, wie belastbar die errechneten Werte für einen realistischen N-Ertrag in Brandenburg in Höhe von 72–140 kg N ha⁻¹ sind. Mit Blick auf die aktuellen Daten von SCHMIDT & LANGANKY (2020: S. 73) aus der Praxis ist anzunehmen, dass unter stärkerer Berücksichtigung der geringen Bodenqualität in Brandenburg die anzusetzenden N-Erträge weiter nach unten korrigiert werden müssten.

D. N-Nährstoffkosten

Legt man die Ergebnisse der N-Erträge von SCHMIDT & LANGANKY (48–100 kg N ha⁻¹, Mittelwert: 64 kg N ha⁻¹) der Berechnung der N-Nährstoffkosten zugrunde, ergibt sich ein Preis von 7,70–15,50 € kg⁻¹ N bei einem Mittelwert von 12,10 € kg⁻¹ N. Das ist ein signifikanter Unterschied zu den in dieser Arbeit standortabhängig eingegrenzten 5,50–11,00 € kg⁻¹ N (Kapitel 4.1.4).

Für die N-Nährstoffkosten von innerbetrieblich produziertem Lupinenschrot konnten keine Vergleichswerte in der Literatur gefunden werden. Allerdings wurden in **Tabelle IV** N-Nährstoffkosten für Lupinen-, Ackerbohnen- und Erbsenschrote überschlägig auf der Basis von aktuellen Erzeugerpreisen für Futterware in Höhe von etwa 8–10 € kg⁻¹ N errechnet. In Abgrenzung zum Herstellungswert, der in dieser Arbeit errechnet wurde, muss allerdings vom Zukaufswert gesprochen werden. Die Schrotung wurde dabei nicht miteinbezogen. Aus einem rein ökonomischen Blickwinkel würde sich die innerbetriebliche Produktion von Bitterlupinenschrot dementsprechend erst rechnen, wenn die Herstellungskosten niedriger als 8 € kg⁻¹ N sind. Allerdings ist die rechtlich zugelassene Ausbringungsmenge von zugekauften Leguminosenschroten auf 40 kg N ha⁻¹ begrenzt, was den Einsatz der Deckung des Nährstoffbedarfs in einem Winterweizen ausschließen würde.

Mit Blick auf den ökologischen Gemüsebau, in dem häufig organische Handelsdünger zum Einsatz kommen, liegen die errechneten N-Nährstoffkosten für Bitterlupinenschrot im Bereich anderer Handelsdünger pflanzlicher Herkunft, allerdings deutlich über den Preisen

von in der Praxis auf EU-Öko-Betrieben häufig verwendeten Handelsdüngern tierischer Herkunft (siehe **Tabelle IV**). Ältere Quellen nennen im ökologischen Gemüsebau für im Einsatz befindliche Handelsdünger N-Kosten in Höhe von 3,50 – 6,00 € kg⁻¹ N als Faustzahlen (LABER, 2003b).

Mit Blick auf den Ackerbau und den dort hauptsächlich zum Einsatz kommenden Wirtschaftsdünger gestaltet sich ein Vergleich schwierig. N-Nährstoffkosten von Wirtschaftsdüngern können nur innerbetrieblich in Abhängigkeit von Standort, Bewirtschaftung und beteiligter Betriebszweige errechnet werden (BRÖTER et al., 2007: S. 58). Standardisierte Vergleichswerte liegen in der Literatur nicht vor. Auch das Bayerische Landesamt für Landwirtschaft (LfL) bewertet Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern für Deckungsbeitragsrechnungen im Öko-Landbau nur mit einem innerbetrieblichen Verrechnungswert in Höhe von 4,40 € kg⁻¹ N (LfL, 2021). Das LfL verwendet als Berechnungsgrundlage allerdings den Marktpreis von Haarmehlpellets unter der Annahme, dass diese als quasi normierter Handelsdünger in einer Vielzahl von Kulturen Anwendung finden (REISENWEBER, pers. Kommunikation v. 26.05.21).

Mit Blick auf den viehlosen Ackerbau, in dem der Eintrag von Stickstoff vornehmlich durch den Anbau von Leguminosen-Gras-Gemengen (gemulcht) erfolgt, haben BRÖTER ET AL. (2007: S. 57) eine überschlägige Berechnung der Herstellungskosten von Stickstoff aus Klee gras über die Kosten des Verfahrens und die Netto-Fixierungsleistung ermittelt. Bei Vollkosten in Höhe von 323 € ha⁻¹ sowie einer Fixierungsleistung von 164 kg N ha⁻¹ ergeben sich N-Nährstoffkosten in Höhe von etwa 2,00 € kg⁻¹ N. Das LfL folgt dieser Vorgehensweise, rechnet allerdings mit N-Nährstoffkosten etwa in Höhe von 4,00 – 5,00 € kg⁻¹ N (REISENWEBER, pers. Kommunikation v. 26.05.21). Mit derart niedrigen N-Kosten können die Ergebnisse für das Bitterlupinenschrot nicht konkurrieren. Allerdings stellt eine Klee grasbrache keine flexibel nutzbare N-Quelle dar.

Zusammenfassend betrachtet liegen die ermittelten N-Kosten für Bitterlupinenschrot eher im Bereich von Handelsdüngern pflanzlicher Herkunft, die aufgrund ihres hohen Preises vor allem im Gemüsebau und weniger im Ackerbau zum Einsatz kommen. Die Bereitstellungskosten für Stickstoff aus Klee grasbrachen oder Wirtschaftsdüngern liegen vermutlich ebenfalls deutlich niedriger. Weiterhin ist davon auszugehen, dass die errechnete Kostenspanne von 5,50 – 11,00 € kg⁻¹ N aufgrund der eher hoch angesetzten durchschnittlichen N-Erträge weiter nach oben korrigiert werden müsste.

5.1.2 N-Düngung mit Bitterlupinenschrot im Weizen

A. Anbauverfahren Winterweizen

Abbildung XII zeigt die relative Verteilung des mit Hilfe des Praxisbetriebs identifizierten Produktionsverfahrens Winterweizen (Kapitel 4.2.1, im Weiteren „Praxisverfahren Winterweizen“ genannt) mit einem KTBL-Vergleichsverfahren. Als Vergleichsverfahren wurde das vom Verfahrensrechner Pflanze vorgeschlagene Anbauverfahren mit einem mittleren Mechanisierungsgrad von 120 kW gewählt, bei ansonsten gleichen Annahmen zu Schlaggröße, Hof-Feld-Entfernung, Aussaatmenge und Ernteniveau. Das Praxisverfahren Winterweizen weist Maschinenkosten in Höhe von 382,43 € ha⁻¹ aus und ist damit annähernd identisch mit den Kosten des KTBL-Vergleichsverfahrens (361,20 € ha⁻¹). Beim Blick auf die relative Verteilung der Kosten auf die einzelnen Arbeitsverfahren zeigen sich einige Unterschiede.

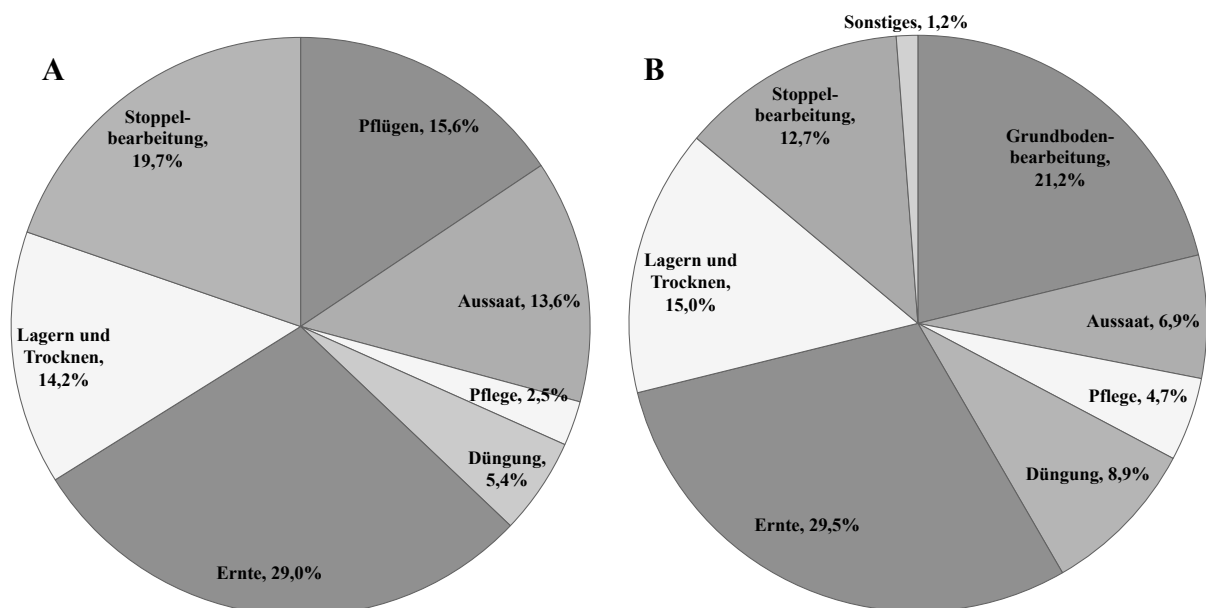


Abbildung XII: relative Verteilung der Maschinenkosten des Produktionsverfahrens Winterweizen von (A) eigenem Produktionsverfahren (100 % = 382,43 € ha⁻¹) und (B) KTBL-Vergleichsverfahren (100 % = 361,20 € ha⁻¹)

Das Vergleichsverfahren fällt durch anteilig höhere Kosten für die Grundbodenbearbeitung bei gleichzeitig deutlich geringeren Kosten für die Aussaat auf. Dies ist damit zu erklären, dass im Vergleichsverfahren neben dem Pflügen zusätzlich eine Überfahrt mit der Saatbettkombination erfolgt. Im Praxisverfahren hingegen wird nur gepflügt. Die Aussaat erfolgt dann mit einer Kombination aus Grubber, Kreiselegge und Sämaschine. Im Ergebnis

entfallen in beiden Verfahren auf Grundbodenbearbeitung und Aussaat jedoch anteilig etwa 30 % der Kosten.

Der Anteil der Kosten für die Stoppelbearbeitung ist im Praxisverfahren aufgrund dreifacher Stoppelbearbeitung gegenüber einer zweifachen Überfahrt im Vergleichsverfahren um etwa ein Drittel höher. Das KTBL-Vergleichsverfahren weist weiterhin Kosten für die Entnahme von Bodenproben und das Ausbringen von Kalk alle drei Jahre aus, welche unter dem Punkt Sonstiges in **Abbildung XII** subsummiert sind, allerdings nur 1,2 % der Kosten ausmachen. Diese Verfahrensschritte sind nicht im Praxisverfahren enthalten.

Auffallend ist weiterhin, dass die Ausbringungskosten für die Düngung (12 m³ Gülle mittels Schleppschlauch) im Vergleichsverfahren 8,9 % der Kosten ausmachen, im Praxisverfahren nur 5,4 % der Kosten auf die Ausbringung des Lupinenschrots mittels Anbauschleuderstreuer entfallen. Da für dieses Verfahren keine adäquate Vorlage im *Verfahrensrechner Pflanze* vorlag, wurde zur Berechnung die Ausbringung von Haarmehlpellets ab Feld als äquivalentes Verfahren gewählt. Dies wird im Folgenden eingehender diskutiert.

MÖLLER & SCHULTHEIB (2014a: S. 99) geben für die Ausbringung von 3,8 t Ackerbohenschrot mit einem Schleuderstreuer Arbeiterledigungskosten in Höhe von etwa 70 bzw. 100 € ha⁻¹ bei einer Hof-Feld-Entfernung von 2 bzw. 5 km an. Ein großer Teil dieser Kosten entsteht durch den hohen zugrunde gelegten Zeitbedarf von 2,23 bzw. 3,35 Akh ha⁻¹. Für den Arbeitsvorgang, der im Praxisverfahren Winterweizen ausgewählt wurde, entstehen hingegen für die Ausbringung von 1,4 t Haarmehlpellets mit einem Schleuderstreuer bei einem Arbeitszeitbedarf von 0,36 Akh nur Arbeiterledigungskosten in Höhe von 19,08 € ha⁻¹ und damit etwa ein Viertel bzw. ein Fünftel der von MÖLLER & SCHULTHEIB (2014a) vorgelegten Richtwerte. Zu beachten ist allerdings, dass dort die ausgebrachte Düngemenge deutlich größer ist und die Ausbringung ab Hof erfolgt. Im Arbeitsvorgang des Praxisverfahren Winterweizen erfolgt die Ausbringung ab Feld (Düngertransport zum Feld mittels Anhänger). Diese gewählte Praxis erscheint bei den hohen auszubringenden Düngemengen die ökonomischere Alternative zu sein. Etwaigen höheren Kosten infolge größerer Düngermengen wurde darüber hinaus in der Berechnung der DAKfL mit einer Erhöhung der gesamten Kosten um ein Prozent je 500 kg zusätzlicher Ausbringungsmenge Rechnung getragen. Das entspricht bei einer Ausbringungsmenge von 4 t Lupinenschrot einer absoluten Erhöhung der Arbeiterledigungskosten um etwa 35 €.

B. Direkt- und Arbeiterledigungskosten Praxisverfahren Winterweizen

Tabelle XIII vergleicht die aus dem Praxisverfahren Winterweizen resultierenden Direkt- und Arbeiterledigungskosten (Kapitel 4.2.2) mit dem KTBL-Vergleichsverfahren. Die um ein Drittel höheren Direktkosten des Vergleichsverfahrens resultieren aus einer etwas höheren Aussaatmenge von 180 kg ha^{-1} sowie Kosten für kohlen sauren Kalk. Hingegen sind die variablen Kosten im Vergleichsverfahren um etwa 15 % geringer als im Praxisverfahren. Das lässt darauf schließen, dass die gewählte Technik im Vergleichsverfahren besser an Standort und Produktionsverfahren angepasst ist. Die variablen Kosten im Praxisverfahren Winterweizen könnten z.B. durch die Wahl Betriebsstoffe sparerer Arbeitsverfahren oder durch die Verminderung von Wegezeiten gesenkt werden (SCHROERS & SAUER, 2011: S. 50).

Tabelle XIII: Vergleich der Höhe der Direkt- und Arbeiterledigungskosten von Praxisverfahren Winterweizen und KTBL-Vergleichsverfahren

Kosten	Praxisverfahren Winterweizen	KTBL Vergleichsverfahren
Direktkosten	151,70	210,03
variable Arbeiterledigungskosten	172,18	149,44
fixe Arbeiterledigungskosten	319,47	311,15
Direkt- und Arbeiterledigungskosten	643,35	670,62

Wie auch für das Praxisverfahren Bitterlupine lässt sich für das Praxisverfahren Winterweizen konstatieren, dass es mit durchschnittlichen Produktionsverfahren vergleichbar ist. Es ist somit davon auszugehen, dass die ermittelten Ergebnisse dieses Abschnitts belastbar sind und als Orientierung für andere Betriebe mit ähnlichen Standortbedingungen herangezogen werden können.

C. N-Düngebedarfsermittlung

Um dem Einfluss der N-Düngung auf den Ertrag und die Qualität sowie damit auf die erzielbare Leistung des Winterweizens Rechnung zu tragen, wurde mit Hilfe der N-Düngebedarfsermittlung die benötigte spezifische N-Düngemenge für neun verschiedene Kombinationen aus je drei Qualitätsklassen und Ertragsniveaus des Weizens festgelegt (Kapitel 4.2.3). Die Düngebedarfsermittlung muss von allen Landwirt:innen durchgeführt werden, wenn auf einem Schlag pro Anwendungsjahr mehr als $50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ausgebracht

werden, und basiert auf standardisierten Daten. Allerdings ergeben sich bei diesem Vorgehen verschiedene Schwächen, die im Folgenden erläutert werden.

Die Düngebedarfsermittlung bildet als vorherrschende landwirtschaftliche Wirtschaftsweise vor allem die konventionelle Landwirtschaft ab. Daraus folgt ein vorrangiger Fokus auf den Einsatz von Mineraldüngern und erst in einem zweiten Schritt auf den Einsatz von organischen Düngemitteln, wie das Vorwort des Leitfadens für die Düngung von Acker- und Grünland vom LfL zeigt (WENDLAND et al., 2018: S. 7). Weder die Besonderheit des Ökolandbaus einer rein organischen N-Düngung noch insbesondere die Herausforderung der bedarfsgerechten N-Versorgung von Kulturen finden in der DüV eine explizite Berücksichtigung. Weiterhin enthält Weizen, dessen hoher N-Bedarf im Frühjahr im Ökolandbau nur schwierig zu decken ist, als Faustzahl etwa 1 % weniger Rohprotein als konventionell erzeugter Weizen. Gleichsam kann mit Öko-Weizen bei gezielter Sortenwahl, einer ausreichenden N-Versorgung und angepasster Vermahlung ein vergleichbares backtechnisches Niveau erreicht werden wie mit herkömmlichen Backweizen (SEIBEL & BOTTERBRODT, 2005: S. 31). Trotz geringerer Rohproteingehalte im Öko-Weizen erfolgt die Düngebedarfsermittlung mit den Bedarfswerten von herkömmlichen Weizensorten. Weiterhin nennt die DüV keine Richtwerte für die Mindestwirksamkeit von Leguminosenschroten, sondern benennt nur für gängige (konventionelle) Dünger wie Gülle, Mist, Klärschlamm oder Gärsubstrat eindeutige Werte.

Zur Diskussion der in dieser Arbeit mit Hilfe der Düngebedarfsermittlung errechneten Bedarfswerte für Winterweizen müssten explizit Daten für den N-Bedarf von Öko-Weizen in Abhängigkeit von Ertrag und Qualität herangezogen werden können, die allerdings nicht vorliegen. Es kann jedoch auf Daten für den N-Entzug von sowohl Öko-Weizen als auch den in der DüV verwendeten Qualitätsklassen zurückgegriffen werden (**Tabelle XIV**). Wichtig ist dabei die Unterscheidung zwischen dem N-Bedarf, also der Gesamtmenge an Stickstoff, der von der Pflanze aufgenommen wird und dem N-Entzug, als der Menge an Stickstoff, die über das Ernteprodukte die Fläche verlässt (BECKMANN et al., 2001: S. 17).

Tabelle XIV: N-Gehalte von Weizenerzeugnissen im Vergleich (BECKMANN et al., 2001: S. 19; BMJV, 2021a: Anlage 7)

	Ernteprodukt	kg N dt ⁻¹ FM
N-Gehalte pflanzlicher Erzeugnisse nach DüV		
Winterweizen C-Sorte	Korn (12 % Rp)	1,81
Winterweizen A/B-Sorte	Korn (14 % Rp)	2,11
Winterweizen E-Sorte	Korn (16 % Rp)	2,41
Winterweizen alle Sorten	Stroh	0,50
N-Gehalte für ökologischen Landbau		
Winterweizen	Korn (< 10,5 % Rp)	1,60
Qualitätsweizen	Korn (> 10,5 % Rp)	1,90
alle Sorten	Stroh	0,44

Deutlich wird zum einen die uneinheitliche Klassifizierung von Weizen im Ökolandbau, die nicht immer der Klassifizierung des konventionellen Anbaus folgt. In der verwendeten Quelle werden Winterweizen und Qualitätsweizen abgegrenzt. Es ist anzunehmen, dass mit der Bezeichnung Qualitätsweizen ein Weizen mit hohen backtechnischen Eigenschaften gemeint ist, welche bei einer Vermarktung mit entsprechenden Preisauflagen honoriert werden. Zum anderen zeigt sich das deutlich niedrigere Niveau an Rohproteingehalten und die resultierenden geringeren N-Entzüge von Öko-Weizen. Öko-Qualitätsweizen enthält in der Addition von Korn und Stroh Stickstoff in Höhe von 2,34 kg N dt⁻¹ FM und damit annähernd so viel wie ein C-Weizen (2,31 kg N dt⁻¹ FM). Nimmt man vereinfachend den N-Entzug als Grundlage zur Ermittlung der N-Bedarfswerte, lässt sich daraus ableiten, dass ein ökologisch erzeugter Qualitätsweizen einen vergleichbar hohen Düngbedarf hat wie ein konventionell erzeugter C-Weizen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die in dieser Arbeit ermittelten N-Bedarfswerte für ökologisch produzierten E, A/B und C-Weizen deutlich nach unten korrigiert werden müssten. Eine eindeutig quantifizierbare Aussage ist allerdings aufgrund der fehlenden Daten und der uneinheitlichen Klassifizierung von Weizen im Ökolandbau nicht möglich.

Werden die ermittelten N-Bedarfswerte (64 – 317 kg N ha⁻¹) vor dem Hintergrund der rechtlichen Obergrenzen für die Ausbringung von organischem Stickstoff (Kapitel 2.2.2) betrachtet, überschreiten diese zum Großteil die privatrechtliche Grenze des Bioland-Verbands von 112 kg N ha⁻¹. Die in der DüV festgeschriebene Obergrenze von 170 kg N ha⁻¹ wird nur von den Bedarfswerten unter Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit von Bitterlupinenschrot überschritten. Allerdings errechnen sich die Obergrenzen aus der

ausgebrachten N-Menge aus dem Durchschnitt aller Betriebsflächen. Somit fallen in die Berechnung auch nicht gedüngte Flächen, die den N-Einsatz im Betriebsschnitt wieder senken. Nur in nitratbelasteten Gebieten ist die N-Obergrenze der DüV schlagbezogen zu ermitteln. In Brandenburg betrifft dies allerdings nur etwa 1,8 % der landwirtschaftlichen Nutzflächen (MLUK, 2020). Sollten auch in der Praxis derart hohe N-Mengen mit Bitterlupinenschrot ausgebracht werden, müsste in besonderem Maße auf die Einhaltung der rechtlichen Obergrenzen für die Ausbringungsmenge von organischem N geachtet werden.

Abschließend werden die ermittelten N-Bedarfe des Winterweizens ($64 - 317 \text{ kg N ha}^{-1}$) und die ermittelten N-Erträge ($70 - 140 \text{ kg N ha}^{-1}$) des Bitterlupinenschrots zusammengeführt und hinsichtlich des daraus resultierenden Flächenbedarfs der Leguminosen in der Fruchtfolge diskutiert. Unterstellt wurde, dass der N-Bedarf des Weizens ausschließlich aus dem Bitterlupinenschrot gedeckt wird. Eine theoretische Beispielrechnung verdeutlicht die daraus resultierende Problematik für die Fruchtfolge. Ausgehend von einem mittleren N-Ertrag von 100 kg N ha^{-1} durch die Bitterlupine ergibt sich bei einem ebenso hohen N-Bedarf des Winterweizens ein Anteil der Bitterlupine an der Gesamtfläche von 50 %. Aus ökonomischer Sicht wäre damit die zur Verfügung stehende Fläche für Marktfrüchte sehr klein. Aus biologischer Sicht kann unter dieser Annahme die vierjährige Anbaupause von Lupinen nicht eingehalten werden. Da die ermittelten N-Bedarfswerte zum Teil bei bis zu 300 kg N ha^{-1} lagen, verschärft sich diese Problematik noch. Unter den ermittelten N-Erträgen der Bitterlupine ist eine Deckung des N-Bedarfs im Rahmen der Fruchtfolge somit nur dann möglich, wenn eine weitere N-Zufuhr in nennenswertem Umfang über Rotationsbrachen oder legume Zwischenfrüchte erfolgt (KAHNT, 2008: S. 42). SCHULZ et al. (2017) stellten eine viehlose Fruchtfolge, deren N-Fixierungsleistung nur auf dem Anbau von Körnerleguminosen beruht, einer viehlosen Fruchtfolge mit Klee grasbrache und einem Gemischtbetrieb mit Futterbau gegenüber. Sie kommen zu dem Schluss, dass der Anbau von Körnerleguminosen als einziges legumes Glied einer Fruchtfolge vermutlich nicht ausreicht, um ausreichend Stickstoff für den Ackerbau bereitzustellen, so dass der Anbau von Futterleguminosen unentbehrlich ist. Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Optimierung der Verwertung von Futterleguminosen in viehlosen Betrieben sowie der skizzierten Trockenheitsproblematik.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Düngebedarfsermittlung der DüV zwar standardisierte N-Bedarfswerte bereitstellt, sich diese allerdings nur bedingt für die Anwendung im Öko-Landbau eignen. Die in dieser Arbeit ermittelten Bedarfswerte sind sehr

hoch und stellen dadurch grundlegende Herausforderungen an die Fruchtfolge, solange der Bedarf ausschließlich über das Bitterlupinenschrot gedeckt werden soll. Die N-Bedarfswerte von ökologisch produziertem Back- und Futterweizen sind in der Praxis vermutlich deutlich niedriger als die über die DüV ermittelten Bedarfswerte. Es wird empfohlen, in weiterer Feldforschung einen empirischen Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Bitterlupinenschrot als N-Dünger und dem daraus resultierenden Weizenertrag sowie dessen Qualität zu untersuchen.

D. Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung

Mit Blick auf die Ergebnisse aus Kapitel 4.2.4 ist der Einsatz von Bitterlupinenschrot unter Berücksichtigung seiner Mindestwirksamkeit von 50 % nicht wirtschaftlich darstellbar. Wird die Mindestwirksamkeit jedoch nicht berücksichtigt, ergeben sich geringere Düngemengen. Dann ist der Einsatz von Bitterlupinenschrot bei einem hohen Ertragsniveau im Winterweizen von 55 dt ha^{-1} und niedrigen N-Kosten, die wiederum einen hohen Flächenertrag der Bitterlupine bedingen, wirtschaftlich darstellbar. Allerdings stellen unter den gegebenen Standortbedingungen in Brandenburg solche Ertragszahlen eher die Ausnahme als die Regel dar. Es lässt sich somit vereinfachend sagen, dass die Kosten für die N-Bereitstellung des Bitterlupinenschrots von einem Winterweizen unter den gegebenen Bedingungen nicht nachhaltig gedeckt werden können.

Allerdings wurde in den vorangegangenen Abschnitten diskutiert, dass die ermittelten N-Bedarfe für die verschiedenen Qualitätsklassen des Weizens mit großer Unsicherheit behaftet sind, da in der Düngbedarfsermittlung die Bedingungen des Ökolandbaus nicht hinreichend berücksichtigt werden. Es ist davon auszugehen, dass schon mit einer geringeren N-Düngung höhere Weizenerträge und gute backtechnische Eigenschaften erzielbar sind, was sich positiv auf das Ergebnis der Berechnung der DAKfL auswirken würde. Gleichzeitig wurde jedoch auch diskutiert, dass die N-Erträge des Bitterlupinenschrots nach unten korrigiert werden müssten, was sich wiederum auf eine Erhöhung der N-Nährstoffkosten auswirkt. Eine exakte Quantifizierung des Einfluss auf die DAKfL durch eine Anpassung der diskutierten Aspekte war im Rahmen der Diskussion dieser Arbeit allerdings nicht möglich und müsste in Folgeprojekten untersucht werden.

Kann ein Teil des N-Bedarfs des Winterweizens durch eine geschickte Fruchtfolgegestaltung (z.B. über Umbruchart und –zeitpunkt) einer Klee-gras-Vorfrucht gedeckt werden (BECKMANN et al., 2001: S. 26), könnte Bitterlupinenschrot in geringeren Ausbringungsmengen für die Deckung der N-Bedarfs-Spitzen im zeitigen Frühjahr eingesetzt werden. In einem solchen Fall müsste weiter untersucht werden, ob der Einsatz des Bitterlupinenschrots trotz der hohen N-Bereitstellungskosten wirtschaftlich tragbar ist.

Darüber hinaus ist für die Interpretation der Ergebnisse wichtig zu beachten, dass in der vorliegenden Arbeit keine Betrachtung der Vorfruchtwirkung durch den Anbau der Bitterlupine auf der Geberfläche erfolgte. Der Vorfruchtwert ergibt sich aus der starken Wurzelbildung, dem Nährstoffaufschlussvermögen und der bodenverbessernden Wirkung beim Anbau von Lupinen und kann zu einem Mehrertrag in Folgekulturen (z.B. Winterweizen) auf der Geberfläche führen (ZIESEMER, 2010; ZIMMER et al., 2015). Die Monetarisierung dieses Vorfruchtwerts ist schwierig durchzuführen und kann nur in der Betrachtung einer gesamten Fruchtfolge vorgenommen werden. Er bemisst sich u.a. am Mehrertrag der Folgekultur(en) sowie Einsparungen in der Bodenbearbeitung der Folgefrüchte und im Einsatz von Düngemitteln (PREISSEL et al., 2015; ZIESEMER, 2010). KAHNT (2008: S. 88) quantifiziert chemische (N-Rückstände), biologische (phytosanitäre Wirkung) und bodenphysikalische Effekte (Bodenlockerung) auf die Fruchtfolge grob mit Kosteneinsparungen in Höhe von 100 – 500 € ha⁻¹. Bei einer Betrachtung der Wirtschaftlichkeit einer ganzen Fruchtfolge könnten diese ökonomischen Effekte noch miteinfließen und würden das Ergebnis mitunter positiv beeinflussen.

5.2 Diskussion der Methoden

Im Folgenden werden einige Aspekte des methodischen Vorgehens kritisch betrachtet.

Die Erhebung der Daten für die Praxisverfahren Bitterlupine und Winterweizen erfolgte auf Basis einer Befragung des Betriebsleiters und zum Großteil mit Hilfe der KTBL-Anwendungen *Verfahrensrechner Pflanzenbau* sowie *Leistungs- und Kostenrechnung Pflanzenbau*. Auf diese Weise konnten betriebsindividuell Aussagen getroffen werden, die zugleich auf standardisierten Planungsdaten beruhen. Gleichzeitig wurden in der Diskussion KTBL-Vergleichsverfahren herangezogen, um eine Einordnung der Aussagekraft der Ergebnisse vorzunehmen. Diese Vergleichsverfahren wurden ebenfalls mit Hilfe der KTBL-

Anwendungen erstellt, woraus sich Verzerrungen für die Einordnung ergeben. Allerdings konnten keine Daten vergleichbarer Qualität gefunden werden. Weiterhin basieren die Planungsdaten des KTBL auf bundesdeutschen Durchschnittswerten. Deshalb lassen sich die Ergebnisse auch auf andere Betriebe gut übertragen. Gleichzeitig sinkt dadurch die standortbezogene Aussagekraft. Eine Anpassung an den Brandenburger Standort im Allgemeinen und den des Praxisbetriebs im Speziellen erfolgte in den KTBL-Anwendungen nur über die Auswahl eines leichten Bodens als Bewirtschaftungsgrundlage.

Um die ökonomische Bewertung des Einsatzes von Bitterlupinenschrot als N-Dünger in einem Winterweizen durchführen zu können, wurde in dieser Arbeit die direkt- und arbeits erledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) eines Winterweizens berechnet. Dies erlaubt eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit unabhängig von den Eigentumsverhältnissen und dient dazu, den höchsten Beitrag zur Deckung der restlichen Einzel- und Gemeinkosten im Rahmen einer Vollkostenrechnung zu ermitteln. Wäre beispielsweise nur die direktkostenfreie Leistung als Zielgröße gewählt worden, hätte sich die Datenbeschaffung zwar insgesamt einfacher gestaltet, da dort nur wenige und leicht zu erfassende Daten zum Betriebsmitteleinsatz vonnöten sind (DLG, 2011: S. 27). Allerdings erlaubt die DAKfL eine bessere Aussagekraft beim Vergleich mit anderen Produktionsverfahren (SCHROERS & SAUER, 2011: S. 48–50).

Da es keine Vergleichsdaten für durchschnittliche DAKfL von Winterweizen gibt, der mit Leguminosenschroten gedüngt wird, wurde auf KTBL-Vergleichswerte für DAKfL von Backweizen und Futterweizen zurückgegriffen. Grundlage dieser Vergleichswerte sind Produktionsverfahren, in denen die Düngung mit Mist bzw. Gülle erfolgt. Kosten für die N-Bereitstellungen werden in diesen Verfahren allerdings nicht angesetzt. Hintergrund ist die Überlegung, dass die Kosten des Anbaus der Futterleguminosen durch die Viehhaltung getragen werden und somit die Düngebereitstellung in Form von Wirtschaftsdünger quasi eine kostenlose Leistung für den Marktfruchtbau darstellt (BRÖTER et al., 2007: S. 57). Würde ein hypothetischer Herstellungswert für die N-Bereitstellung aus Wirtschaftsdünger errechnet und dem Winterweizen aufgeschlagen, wären als Resultat die KTBL-Vergleichswerte der DAKfL vermutlich niedriger als die angenommenen Grenzwerte von 850 € ha^{-1} für Backweizen und 500 € ha^{-1} für Futterweizen. Dadurch hätte sich ein anderes Bild in der Bewertung der Wirtschaftlichkeit der errechneten DAKfL für den Einsatz von Bitterlupinenschrot ergeben. Ebenfalls sinnvoll wäre der Vergleich mit der durchschnittlichen DAKfL von Winterweizen aus viehlos wirtschaftenden Betrieben, in denen die N-

Bereitstellung im Winterweizen über Klee gras als Vorfrucht erfolgt. Allerdings müssten dabei analog zu dem Vorgehen in dieser Arbeit die Bereitstellungskosten von Stickstoff aus Klee gras monetarisiert und dem Produktionsverfahren Winterweizen in entsprechender Weise zugerechnet werden.

Die Schwierigkeit bei der Bewertung der Ergebnisse aufgrund verzerrter Vergleichswerte für die DAKfL hätte möglicherweise mit der Betrachtung einer gesamten Fruchtfolge statt nur eines Fruchtfolgeglieds umgangen werden können. Die Herstellungskosten für das Bitterlupinenschrot würden in diesem Fall als negative DAKfL des Fruchtfolgeglieds Bitterlupine stehen. Über die DAKfL im Durchschnitt aller Fruchtfolgeglieder müssten diese Kosten dann ausgeglichen werden. Auf diese Weise könnten auch positive Vorfruchteffekte beim Anbau von Bitterlupine auf die Fruchtfolge besser berücksichtigt werden. Gleichzeitig besteht weiterhin die Frage, ob eine Fruchtfolge, die einzig auf dem Anbau von Bitterlupinen zur N-Deckung beruht, einen langfristig ausgeglichenen N-Saldo vorweisen kann.

Für die Aussagekraft der Gesamtergebnisse ist neben der Höhe der N-Nährstoffkosten vor allem der Zusammenhang zwischen N-Bedarf im Winterweizen und dem resultierenden Weizenertrag sowie der backtechnischen Qualität von großer Bedeutung. Die Schwierigkeiten, die im Zusammenhang mit der Ermittlung der theoretischen N-Bedarfe über die Düngedarfsermittlung entstanden sind, wurden eingehend diskutiert. Validere Ergebnisse hätten auf Basis belastbarer Daten aus der Praxis über den Zusammenhang der Höhe der N-Düngung mit Bitterlupinenschrot und daraus resultierender Ertrags- und Qualitätseffekte erzielt werden können. Abermals liegen dafür allerdings keine Daten vor. Weiterhin stellt in der Praxis die N-Versorgung zur Erzielung von Ertrags- und Qualitätseffekten eine große Herausforderung dar und hängt u.a. vom Zeitpunkt der Düngegabe ab. Die Komplexität dessen wurde in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Da die Problemstellung dieser Arbeit im Rahmen von Feldversuchen noch untersucht wird (Kapitel 3.2.1), bietet es sich an, die Ergebnisse dieser Feldversuche für eine erneute Berechnung der DAKfL heranzuziehen. Dabei könnte auch untersucht werden, inwieweit zur Erreichung positiver Ertragseffekte in der Praxis tatsächlich eine geringere N-Düngemenge mit Bitterlupinenschrot vonnöten ist und wie sich dies auf die Wirtschaftlichkeit der Anwendung von Bitterlupinenschrot auswirkt.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Bedingt durch die leichten Böden, zunehmende Trockenheit vor allem in den Sommermonaten und vermehrt viehlos wirtschaftende Betriebe, wird das Wirtschaften in möglichst geschlossenen Nährstoffkreisläufen im ökologischen Landbau am Standort Brandenburg vor großen Herausforderungen stehen. Vorauszusehen ist der Rückgang von (mehrjährigem) Feldfutterbau bzw. Rotationsbrachen mit Leguminosen-Gras-Gemengen und eine fehlende Verfügbarkeit von zeitlich und räumlich flexibel einsetzbaren Düngemitteln (wie z.B. Wirtschaftsdünger) zur bedarfsgerechten N-Versorgung. Auf dem eigenen Betrieb produziertes Bitterlupinenschrot besitzt das Potenzial, dieser Problematik zu begegnen. Als an Trockenheit angepasste Leguminose stellt sie eine flexible N-Quelle mit ähnlicher N-Verfügbarkeit wie Gülle oder Handelsdünger pflanzlicher Herkunft dar. Im Gegensatz zu diesen Düngemitteln, die entweder eine Viehhaltung bedingen oder deren Herkunft und Inhaltsstoffe oftmals kritisch zu betrachten sind und deren Zukauf in der Höhe begrenzt ist, kann Bitterlupinenschrot ohne Weiteres innerbetrieblich produziert werden. Ferner hat Bitterlupinenschrot im Anbau zusätzlich eine bodenverbessernde Wirkung auf die Fruchtfolge. Bei der Untersuchung der Fragestellungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden.

Für das Produktionsverfahren von Bitterlupinenschrot als auch Winterweizen, das auf dem Praxisbetrieb durchgeführt wurde, konnten als Direkt- und Arbeiterledigungskosten belastbare Ergebnisse in Höhe von 772,52 € ha⁻¹ bzw. 643,35 € ha⁻¹ ermittelt werden.

Die Ermittlung standortangepasster möglicher N-Erträge von Bitterlupinen auf Grundlage von Richtwerten aus der Literatur beläuft sich auf 70 – 140 kg N ha⁻¹. Vermutlich sind diese N-Erträge etwas zu hoch angesetzt, wobei dreistellige N-Erträge nur in überdurchschnittlichen Jahren erzielbar sind. Diese N-Erträge sind mutmaßlich zu niedrig, als dass Bitterlupinen als alleinige N-Quelle langfristig einen zentralen Beitrag zu einem ausgeglichenen N-Saldo von Fruchtfolgen leisten können. Für eine bessere Datengrundlage sind Praxisversuche mit Bitterlupinen an vergleichbaren Standorten vonnöten.

Die N-Nährstoffkosten als Herstellungswert (Erzeugungskosten durch die netto gewonnene Menge an Stickstoff) errechnet sich auf 5,50 – 11,00 € kg⁻¹ N. Damit liegt der Herstellungswert im Bereich des Zukaufswertes von Lupinenschrot (8,55 € kg⁻¹ N) und

anderer Handelsdünger pflanzlicher Herkunft, allerdings deutlich über den N-Nährstoffkosten von Handelsdüngern tierischer Herkunft sowie einem hypothetischen Herstellungspreis von Stickstoff aus Klee grasbrachen in Höhe von 2,00 – 5,00 € kg⁻¹ N. Aufgrund der Unsicherheit über die Spannweite in Brandenburg erzielbarer N-Erträge von Bitterlupine ist weiterhin anzunehmen, dass die N-Nährstoffkosten eher im zweistelligen Bereich liegen. Auf Basis dieser Ergebnisse ist davon auszugehen, dass Bitterlupinenschrot ähnlich wie organische Handelsdünger eher zur Deckung von Bedarfsspitzen in N-bedürftigen ackerbaulichen Kulturen oder im intensiven Gemüsebau zum Einsatz kommen kann.

Die N-Bedarfswerte von Winterweizen für verschiedene Qualitätsklassen und Ertragsniveaus wurden ohne Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit des organischen Stickstoffs aus dem Bitterlupinenschrot auf 64 – 159 kg N ha⁻¹ errechnet. Unter Berücksichtigung der Mindestwirksamkeit in Höhe von 50 % schlägt ein N-Bedarf von 127 – 317 kg N ha⁻¹ zu Buche. Diese Werte sind zum Teil so hoch, dass im besonderen Maße die gesetzlichen Obergrenzen für die Ausbringungsmenge von organischem N im Betriebsschnitt beachtet werden müssen. Weiterhin stellen derart hohe Düngebedarfsmengen die Fruchtfolgeplanung eines Marktfruchtbetriebs vor große Probleme. Die reine Deckung des N-Bedarfs des Winterweizens über die Bereitstellung von Bitterlupinenschrot wäre so kaum möglich. Weiterhin stellt sich die Frage, inwiefern die DüV die Bedingungen des Ökolandbaus hinsichtlich der besonderen Anforderungen des Nährstoffmanagements hinreichend berücksichtigt. Es lässt sich vermuten, dass die Bedarfswerte für ökologisch produzierten Weizen deutlich niedriger anzusetzen sind.

Unter den berechneten Annahmen konnten die N-Bereitstellungskosten für Bitterlupinenschrot nur dann gedeckt werden, wenn sich erstens dadurch hohe Flächenerträge und eine sehr gute backtechnische Qualität des Weizens realisieren ließe, zweitens die N-Nährstoffkosten der Bitterlupine infolge hoher N-Erträge sehr niedrig sind und drittens bei der Ermittlung des Düngebedarfs die Mindestwirksamkeit von organischen Düngern außer Acht gelassen wird. Somit lässt sich konstatieren, dass die ausschließliche Düngung eines Winterweizens mit Bitterlupinenschrot zur Zeit nicht wirtschaftlich darstellbar ist. Allerdings konnten zur Einordnung der Ergebnisse nur Referenzwerte von Produktionsverfahren herangezogen werden, in denen die Düngebereitstellung kostenlos auf Basis von Wirtschaftsdüngern aus der Tierhaltung erfolgte. Der Vergleich mit der Höhe der DAKfL für ein Produktionsverfahren von Winterweizen, in dem die Kosten der N-Bereitstellung durch z.B. eine Klee grasbrache einfließen, ist noch zu untersuchen.

Forschungsbedarf wird im Rahmen dieser Arbeit vor allem in Bezug auf den Anbau von alkaloidarmen Lupinen gesehen, damit langfristig die Vorteile im Anbau von Bitterlupinen gegenüber Süßlupinen ausgenutzt werden können. Dazu bedarf es neben züchterischer Forschung einer stabilen Datengrundlage sowie Empfehlungen zum Anbau von Bitterlupinen als Körnerleguminosen. Damit das Potenzial von Bitterlupinenschrot als flexible N-Quelle weiter genutzt werden kann, benötigt es darüber hinaus mehr Wissen zur Düngewirkung von Bitterlupinenschrot auch in ackerbaulichen Kulturen.

Eingangs wurden das Potenzial und die Vorzüglichkeit von Lupinenschrot als flexible N-Quelle sowie die Eignung von Bitterlupinen für den Ökolandbau mit Blick auf zukünftige Brandenburger Standortbedingungen dargestellt. Zusammenfassend wurde am Beispiel des Winterweizens in dieser Arbeit allerdings gezeigt, dass Bitterlupinenschrot im Sinne der Verfügbarkeit der N-Mengen und der resultierenden N-Nährstoffkosten (noch) keinen Ersatz für herkömmliche Wirtschaftsdünger und Leguminosen-Gras-Gemenge im Ackerbau darstellt. Zur Erreichung ausgeglichener N-Bilanzen ökologischer Fruchtfolgen scheint bisher die N-Fixierungsleistung von Futterleguminosen unverzichtbar zu sein. Noch nicht abzusehen ist, inwieweit die N-Nährstoffkosten für die Bereitstellung von Bitterlupinenschrot zukünftig durch Fortschritte in der Forschung weiter gesenkt werden. Somit bleibt fraglich, ob eine Wirtschaftlichkeit von Bitterlupinenschrot als hauptsächliche N-Quelle einer Fruchtfolge langfristig darstellbar ist. Dennoch sind die Vorzüge der Bitterlupine insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels eindeutig. Deshalb muss aus einer gesamtgesellschaftlichen Perspektive unter Umständen ein langfristig nachhaltiges Wirtschaften in möglichst geschlossenen Nährstoffkreisläufen u.a. durch den Anbau von Bitterlupinen mit gezielter Förderung durch öffentliche Gelder (EU-Agrarsubventionen) möglich gemacht werden.

Literaturverzeichnis

- ACHILLES, W., BELAU, T. & BICKELHAUPT, J. (2017). Ökologischer Landbau: Daten für die Betriebsplanung im ökologischen Landbau (KTBL-Datensammlung) (2. Auflage.). Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V (KTBL).
- (AMI) AGRARMARKT INFORMATIONS-GESELLSCHAFT. (2021). Einkaufspreise des Großhandels und Naturkost-Einzelhandels für Bio-Produkte in Deutschland. Zugriff über Kunden-Login am 25.05.21. Verfügbar unter: <https://www.ami-informiert.de/ami-maerkte/maerkte/ami-maerkte-oekolandbau/meldungen>
- AUFHAMMER, W. (1998). Getreide- und andere Körnerfruchtarten: Bedeutung, Nutzung und Anbau ; 491 Tabellen (UTB für Wissenschaft Grosse Reihe Agrarwissenschaften). Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- AUFHAMMER, W. (2003). Rohstoff Getreide. Stuttgart: Ulmer.
- BACHINGER, J., BECHERER, U., BEE, W., BELAU, T., BLUM, H., BLUMSCHEIN, A. et al. (2015). Faustzahlen für den Ökologischen Landbau. (KTBL, Hrsg.) (S. 1–760). Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- BARTHELMES, G. & EBEL, G. (2020). Sortenratgeber Ökologischer Landbau 2020 / 2021. (LELF, Hrsg.). Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF), Frankfurt (Oder).
- BECKER, K., RIFFEL, A., SCHMIDTKE, K. & FISCHINGER, S. (2016). Schwefeldüngung zu Futter- und Körnerleguminosen – Empfehlungen für den ökologischen Landbau. (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Hrsg.). Bonn.
- BECKMANN, U., GRÜNBECK, A., HÄNSEL, M., KARALUS, W., KOLBE, H., SCHUSTER, M. et al. (2001). Getreide im Ökologischen Landbau: Informationen für Praxis und Beratung. (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Hrsg.). Dresden.
- BERGER, J. D., CLEMENTS, J. C., NELSON, M. N., KAMPHUIS, L. G., SINGH, K. B. & BUIRCHELL, B. (2013). The essential role of genetic resources in narrow-leaved lupin improvement. *Crop and Pasture Science*, 64 (4), 361.
- BIOLAND e.V. (Hrsg.). (2020). Bioland Richtlinien – Fassung vom 24. November 2020. Zugriff am 5.3.2021. Verfügbar unter: https://www.bioland.de/fileadmin/user_upload/Verband/Dokumente/Richtlinien_fuer_Erzeuger_und_Hersteller/Bioland_Richtlinien_24_Nov_2020.pdf
- BLOCH, R. & BACHINGER, J. (2013). Entwicklung klimaangepasster Anbauverfahren im Ökolandbau mittels Methoden der Aktionsforschung. In: D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler u.a. (Hrsg.), *Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau - Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung*, Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, 5. bis 8. März 2013, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- (BMJV) BUNDESMINISTERIUM FÜR JUSTIZ UND VERBRAUCHERSCHUTZ. (2021a). Düngeverordnung (DüV) – Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Zugriff am 25.4.2021. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/

- (BMJV) BUNDESMINISTERIUM FÜR JUSTIZ UND VERBRAUCHERSCHUTZ. (2021b). Energiesteuergesetz (EnergieStG). Zugriff am 15.4.2021. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/energiestg/__57.html
- BÖHM, A., DIETZE, M. Dr., GEFROM, A. Dr., PRIEPKE, A. Dr., SCHACHLER, B., STRUCK, C. Dr. et al. (2016). Lupinen - Anbau und Vermehrung. (Gesellschaft zur Förderung der Lupine (G.F.L.), Hrsg.). Bocksee.
- BÖHM, H. & AULRICH, K. (2011). Effects of different row distances and seed densities on yield and quality of blue lupin (*L. angustifolius*) in organic farming. In: Naganowska B, Kachlicki P, Wolko B (Hrsg.) *Lupin crops - an opportunity for today, a promise for the future: proceedings of the 13th International Lupin Conference*, 6. bis 10. Juni 2011, Poznan, Poland. Canterbury: International Lupin Association, 144-148.
- BÖHM, H., BRAMM, A., AULRICH, K. & RÜHL, G. (2008). Effect of different sowing densities in mixed cultivation of blue lupin (*Lupinus angustifolius*) with spring crops on yield and quality. IN J.A. Palta and J.B. Berger (Hrsg). 2008. '*Lupins for Health and Wealth*' *Proceedings of the 12th International Lupin Conference*, 14. bis 18. September 2008, Fremantle, Western Australia. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand.
- BOSTRÖM, U. (2005). Weed management in organically-grown narrow-leaved lupin. In: E van Santen and G D. Hill (Hrsg.) *Mexico, Where Old and New World Lupins Meet. Proceedings of the 11th International Lupin Conference*, Guadalajara. Jalisco. Mexico. 4. bis 9. Mai 2005.
- BRÖTER, A. C., ERFFA VON, F., MANN, K. H., REDELBERGER, H. & WOLF, D. (2007). Betriebszweigabrechnung im ökologischen Ackerbau: Vorschlag für eine bundeseinheitliche Gestaltung von Betriebszweigabrechnungen für ökologisch wirtschaftende Betriebe (Arbeiten der DLG). (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Hrsg.) (1. Aufl.). Frankfurt am Main: DLG-Verlag
- (BLE) BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG. (2020). Verbundvorhaben: Erschließung des Potentials der schmalblättrigen Bitterlupine (*Lupinus angustifolius* L.) für die Humanernährung. Koordination (LUPROME). Zugriff am 25.3.2021. Verfügbar unter: https://service.ble.de/ptdb/index2.php?detail_id=19166256&site_key=141&stichw=Erschlie%C3%9Fung+des+Potentials+der+schmalbl%C3%A4ttrigen+Bitterlupine+%28Lupinus+angustifolius+L.%29+P%C3%BCr+die+Humanern%C3%A4hrung&foerdrPg=170851&zeilenzahl_zahler=21#newContent
- (BSA) BUNDESSORTENAMT (Hrsg.). (2020). Beschreibende Sortenliste – Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Hannover.
- CABRERA, M., KISSEL, D. & VIGIL, M. (2005). Nitrogen mineralization from organic residues: Research opportunities. *Journal of environmental quality*, 34, 75–9.
- CERNAY, C., BEN-ARI, T., PELZER, E., MEYNARD, J.-M. & MAKOWSKI, D. (2015). Estimating variability in grain legume yields across Europe and the Americas. *Scientific Reports*, 5 (1), 11171. Nature Publishing Group.
- DABBERT, S. & BRAUN, J. (2012). Landwirtschaftliche Betriebslehre: Grundwissen Bachelor (UTB Agrarwissenschaften) (3., korrigierte Auflage.). Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- DESTATIS. (2021). Durchschnittlicher Dieselpreis bis 2021. *Statista*. Zugriff am 11.4.2021. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/779/umfrage/durchschnittspreis-fuer-dieselmotoren-seit-dem-jahr-1950/>

- DEUMLICH, M., LUX, G. & SCHMIDTKE, K. (2016). Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau. Bericht. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie, Fachgebiet Ökologischer Landbau, Dresden.
- DIETERICH, R. & SAAL, B. (2018). LupiBreed - Erhöhung der Ertragsstabilität und Ertragsleistung bei Süßlupinen als agrarökologisch wertvolle Eiweißpflanze (Teilprojekt Saatzucht Steinach GmbH & Co KG - Nutzung neuer Prebreeding-Linien für die Sortenzüchtung). Bericht. Saatzucht Steinach GmbH & Co KG, Bocksee, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Sanitz.
- DLG (Hrsg.). (2011). Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft. Die neue Betriebszweigabrechnung: ein Leitfaden für die Praxis; Vorschlag für bundeseinheitliche Gestaltungen von Betriebszweigabrechnungen auf der Grundlage des BMVEL-Jahresabschlusses (Arbeiten der DLG) (3., vollst. überarb. Aufl.). Frankfurt am Main: DLG-Verlag.
- DÖHLER, S., DÖHLER, H., Fachkongress Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe & Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.). (2013). *Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven: FNR/KTBL-Kongress vom 10. bis 11. September 2013 in Kassel*; (KTBL-Schrift). Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.
- DREYMAN, S., LOGES, R. & TAUBE, F. (2003). Einfluss der Klee gras-Nutzung auf die N-Versorgung und Ertragsleistung marktfähiger Folgefrüchte. Kauter, D.; Kämpf, A.; Claupein, W. und Diepenbrock, W. (Hrsg.) *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* (Band 15, S. 83–86). Verlag Günter Heimbach Stuttgart.
- ELSALAHY, H., GROM, G., ELLMER, F. & DÖRING, T. (2016). Effect of water stress on above-ground and below-ground biomass of eight legume species. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 28: 210–211.
- ENDLICHER, W. & GERSTENGARBE (Hrsg.). (2007). Der Klimawandel: Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam: Potsdam-Inst. für Klimafolgenforschung.
- ENGELMANN, P., SCHEU-HELGERT, M., SCHUBERT, W., RASCHER, B. & VON MANSBEG, A. (2007). Stickstoffdynamik im ökologischen Gemüsebau im Freiland mit organischen Düngern unter besonderer Berücksichtigung von Flachabdeckungen zur Verfrühung und Verlängerung der Anbausaison. No. Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Abschlussbericht Förderkennzeichen: 03OE031. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim, Abteilung Gartenbau.
- EU-LEX. (2007). Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. OJ L. Zugriff am 5.5.2021. Verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/reg/2007/834/oj/deu>
- EU-LEX. (2018). Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) No 834/2007. OJ L. Zugriff am 5.5.2021. Verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/reg/2018/848/oj/eng>
- FELDSAATEN FREUDENBERGER GmbH & Co. KG (Hrsg.). (2021). Saatgut Landwirtschaft 2021/2022. Zugriff am 15.4.2021. Verfügbar unter: https://www.freudenberger.net/media/files/ff_lw-katalog_2021_es.pdf

- FISCHER, K., ROUX, S., JÜRGENS, H.-U. & RUGE-WEHLING, B. (2018). LupiBreed - Erhöhung der Ertragsstabilität und Ertragsleistung der Süßlupine zur Sicherung der einheimischen Eiweißversorgung (Teilprojekt JKI - Entwicklung von Prebreeding-Linien für die Sortenzüchtung). Bericht. Julius Kühn-Institut, Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, Quedlinburg.
- FREYER, B. (2003). Fruchtfolgen: [konventionell, integriert, biologisch]: 116 Tabellen. Stuttgart: Ulmer.
- FRISCH, J. (Hrsg.). (2012). Betriebsplanung Landwirtschaft 2012/13: Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft (23. Aufl.). Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.
- GEFROM, A., BALKO, C. & ZEYNER, A. (2014). Silierung von feuchtem Körnerschrot von Ackerbohnen, Futtererbsen und Lupinen als Verfahren der Konservierung und zur Reduzierung antinutritiver Inhaltsstoffe. Zugriff am 16.5.2021. Verfügbar unter: <https://www.proteinmarkt.de/fileadmin/download/nachrichten/versuchsberichte/schwein/Proteinmarkt14.pdf>
- GERSTENGARBE, F., BADECK, F.-W., HATTERMANN, F., KRYSANOVA, V., LAHMER, W., LASCH, P. et al. (2003). Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und 55 deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektive. (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V., Hrsg.) (Band PIK Report No. 83). Potsdam.
- GORISSEN, S. H. M., CROMBAG, J. J. R., SENDEN, J. M. G., WATERVAL, W. A. H., BIERAU, J., VERDIJK, L. B. et al. (2018). Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*, 50 (12), 1685–1695.
- GUTSER, R., EBERTSEDER, Th., WEBER, A., SCHRAML, M. & SCHMIDHALTER, U. (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168 (4), 439–446.
- HACKBARTH, J. & TROLL, H.-J. (1959). Lupinen als Körnerleguminosen und Futterpflanzen. In: *Kappert & Rudolf: Handbuch der Pflanzenzüchtung, Bd. 4., 1-51*. Berlin: Paul Parey.
- HAMPL, U. (1996). Gründung: Grundlage der Bodenfruchtbarkeit (Praxisbuch Pflanzenbau). Graz: Stocker.
- HARNACK, C. & LAU, H. (2019). Wirtschaftsergebnisse landwirtschaftlicher Unternehmen Brandenburgs – Wirtschaftsjahr 2017/2018. (LELF, Hrsg.). Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF), Frankfurt (Oder).
- HERZOG, E., SCHÖNE, F. & GUDDAT, C. (2017). Backqualität von Getreide Neue Parameter zur Charakterisierung der Backqualität von Weizen. (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Hrsg.). Jena.
- HIRZEL, J., DONNAY, D., FERNÁNDEZ, C., MEIER, S., LAGOS, O., MEJIAS-BARRERA, P. et al. (2019). Controlled experiment to determine nitrogen availability for seven organic fertilisers in three contrasting soils. *Biological Agriculture & Horticulture*, 35 (3), 197–213.
- HOFMANN, F., WEDDIGE, U., BLUMENSTEIN, B., MÖLLER, D., GRIEB, B., MÄDER, R. et al. (2015). Biogasanlagen im Ökolandbau. (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Hrsg.).
- HÜWING, H. (2009). Vergleich der Winterweizenproduktion ökologisch und konventionell wirtschaftender Betriebe in Schleswig-Holstein: COMPASS (Comparative Assessment of Land Use Systems). Dissertation. Kiel: Universitätsbibliothek Kiel.

- IPCC. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker & Q. Dahe, Hrsg.). Cambridge: Cambridge University Press.
- JANSEN, G., EICKMEYER, F. & MICHEL, V. (2010). Einfluss von Kalkung und pH-Wert im Boden auf Kornertrag und Eiweißgehalt von *Lupinus angustifolius* L. *Journal für Kulturpflanzen*, 62 (10), 367–375.
- JANSEN, G. & SEDDIG, S. (2007). Ökologisch und konventionell erzeugte Leguminosen - Erträge und ausgewählte Qualitätsparameter im Vergleich. *Ressortforschung für den ökologischen Landbau 2007 : Schwerpunkt Pflanze Vol. 314(2007), S. 41-51*, 12.
- JEROCH, H., LIPIEC, A., ABEL, H., ZENTEK, J., GRELA, E. R. & BELLOF, G. (2016). Körnerleguminosen als Futter- und Nahrungsmittel (2. aktualisierte Auflage.). Frankfurt am Main: DLG Verlag.
- KAHNT, G. (2008). Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau. Frankfurt am Main: DLG-Verl.
- KATROSHAN, K.-U. (2011). Narrow-leaved Lupine (*Lupinus angustifolius* L.) as Nitrogen Source in Organic Vegetable Production Systems. Dissertation. Universität Hannover.
- KATROSHAN, K.-U. & STÜTZEL, H. (2008). Mineralization of lupine seed meal and seedlings used as N fertilizer in organic vegetable production. *Cultivating the Future Based on Science: 2nd Conference of the International Society of Organic Agriculture Research ISOFAR*, Modena, Italy, 18. bis 20. Juni, 2008.
- KATROSHAN, K.-U., TEIXEIRA, G., KAHLEN, K. & STÜTZEL, H. (2012). Decomposition of lupine seeds and seedlings as N fertilizer in organic vegetable production. *Plant and Soil*, 357 (1), 59–71.
- KELM, M., LOGES, R. & TAUBE, F. (2007). N-Auswaschung unter ökologisch und konventionell bewirtschafteten Praxisflächen in Norddeutschland – Ergebnisse aus dem Projekt COMPASS. In: Zikeli, S.; Claupein, W.; Dabbert, S.; Kaufmann, B.; Müller, T. und Valle Zarate, A. (Hrsg.) *Zwischen Tradition und Globalisierung. Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Verlag Dr. Köster, Berlin, 1, S. 29-32.
- KOLBE, D. H. (2008). Verfahren zur Berechnung der N-Bindung von Leguminosen im Ökolandbau. Arbeitspapier, FB Pflanzliche Erzeugung, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig .
- KOLBE, H. (2015). Wie ist es um die Bodenfruchtbarkeit im Ökolandbau bestellt: Nährstoffversorgung und Humusstatus? Bodenfruchtbarkeit - Grundlage erfolgreicher Landwirtschaft (BAD Tagungsband 2015) (S. 89–123). Frankfurt/Main: Bundesarbeitskreis Düngung (BAD).
- KOLBE, H., KARALUS, W., HÄNSEL, M., GRÜNBECK, A., GRAMM, M., ARP, B. et al. (2002). Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau; Informationen für Praxis und Beratung. (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Hrsg.). Dresden.
- KTBL. (2020a). KTBL Online-Anwendung: Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. Zugriff am 15.3.2021. Verfügbar unter: <https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html;jsessionid=83AC11B424B8C7651C69108418FAE177>
- KTBL (Hrsg.). (2020b). Jahresbericht 2019 – Aufgaben und Ergebnisse. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL). Darmstadt.

- KTBL. (2020c). KTBL Online-Anwendung: Verfahrensrechner Pflanze. Zugriff am 15.3.2021. Verfügbar unter: <https://daten.ktbl.de/vrpflanze/home.action;jsessionid=A5840A261FD1AC1BCABB1A9BDAD7370A>
- KUNDEL, D., BODENHAUSEN, N., JØRGENSEN, H., TRUU, J., BIRKHOFFER, K., HEDLUND, K. et al. (2020). Effects of simulated drought on biological soil quality, microbial diversity and yields under long-term conventional and organic agriculture. *FEMS microbiology ecology*, 96.
- KUNDEL, D., LORI, M., FLIESSBACH, A., VAN KLEUNEN, M., MEYER, S. & MÄDER, P. (2021). Drought Effects on Nitrogen Provisioning in Different Agricultural Systems: Insights Gained and Lessons Learned from a Field Experiment. *Nitrogen*, 2 (1), 1–17.
- LABER, H. (2003a). N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern – Übersicht und eigene Versuchsergebnisse im ökologischen Gemüsebau. in Gerold Rahmann und Hiltrud Nieberg (Hrsg.) Ressortforschung für den ökologischen Landbau 2002, Tagungsband zum Statusseminar „Ressortforschung für den ökologischen Landbau – Aktivitäten aus Bund und Ländern“ am 13. März 2003 im Forum der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, Landbauforschung Völkenrode, FAL Agricultural Research, Sonderheft 259, Seite(n) 17-20.
- LABER, H. (2003b). Wie viel kostet „Bio-Stickstoff“? – eine Anregung zur Diskussion, Ökumenischer Gärtner-Rundbrief (Fe/Mä) :35-38.
- LELF (Hrsg.). (2021). Empfehlung 2021 entsprechend Düngeverordnung § 4 (4) für Winterungen und Sommergetreide. Zugriff am 20.4.2021. Verfügbar unter: <https://lelf.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Empfehlung-2021-entsprechend-Duengeverordnung-fuer-Winterungen-und-Sommergetreide.pdf>
- LFL (Hrsg.). (2016). Lupine – Anbau und Verwertung. Freising-Weihenstephan.
- LFL. (2021). LfL-Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Zugriff am 23.4.2021. Verfügbar unter: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/oekolupinen.html>
- LI, Z., SCHULZ, R. & MÜLLER, T. (2009). Short-term Nitrogen Availability from Lupine Seed Meal as an Organic Fertilizer is Affected by Seed Quality at Low Temperatures. *Biological Agriculture and Horticulture*, 26, 337–352.
- LI, Z., SCHULZ, R. & MÜLLER, T. (2015). Mineralization of legume seed meals as organic fertilizers affected by their quality at low temperatures. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31 (2), 91–107.
- LIPIEC, J., DOUSSAN, C., NOSALEWICZ, A. & KONDRACKA, K. (2013). Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics*, 27 (4), 463–477.
- LOCHNER, H. & BREKER, J. (2015). Agrarwirtschaft Grundstufe Landwirt: Fachtheorie für Boden Pflanze, Tier, Technik, Chemie, Physik, Biologie (5. Edition.). München: BLV Buchverlag.
- LOHWASSER, U. (2018). Lupi Breed - Erhöhung der Ertragsstabilität und Ertragsleistung der Süßlupine zur Sicherung der einheimischen Eiweißversorgung (Teilprojekt IPK – Genetische Ressourcen). Bericht. Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), Seeland.
- LORI, M., SYMNACZIK, S., MÄDER, P., DEYN, G. D. & GATTINGER, A. (2017). Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—A meta-analysis and meta-regression. *PLOS ONE*, 12 (7). Public Library of Science.

- LUCAS, M. M., STODDARD, F. L., ANNICCHIARICO, P., FRIAS, J., MARTINEZ-VILLALUENGA, C., SUSSMANN, D. et al. (2015). The future of lupin as a protein crop in Europe. *Frontiers in Plant Science*, 6. Frontiers.
- LUX, G. (2016). Einfluss organischer Düngung auf Ertrag, symbiotische N₂-Fixierung und Nährstoffaufnahme von Saatplatterbse (*Lathyrus sativus* L.), Ackerbohne (*Vicia faba* L.) und Rotklee (*Trifolium pratense* L.) sowie auf Ertrag eines nachfolgenden Winterweizens (*Triticum aestivum* L.). Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin.
- LÜBCKE, J. (2021). Abteilung Bodenschutz und Düngung beim Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg (LELF), schriftliche Mitteilung vom 26.05.21
- MAAß, H., BLUMENSTEIN, B., BRUNS, C. & MÖLLER, D. (2017). Alternativen der Kleegrassnutzung in vieharmen und viehlosen Betrieben. In: S. Wolfrum, H. Heuwinkel, H.J. Reents, u.a. (Hrsg.) (2017): *Ökologischen Landbau weiterdenken - Verantwortung übernehmen - Vertrauen stärken. Beiträge der 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Freising-Weihenstephan, 7.-10. März 2017. Dr. Köster, Berlin.
- MÄDER, P., FLIESSBACH, A., DUBOIS, D., GUNST, L., FRIED, P. & NIGGLI, U. (2002). Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming Science. *Science (New York, N.Y.)*, 296, 1694–7.
- MARIOTTI, F., TOMÉ, D. & MIRAND, P. P. (2008). Converting Nitrogen into Protein—Beyond 6.25 and Jones’ Factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48 (2), 177–184. Taylor & Francis.
- MATTILA, P., MÄKINEN, S., EUROLA, M., JALAVA, T., PIHLAVA, J.-M., HELLSTRÖM, J. et al. (2018). Nutritional Value of Commercial Protein-Rich Plant Products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73 (2), 108–115.
- (MLUK) MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND KLIMASCHUTZ. (2020). Novellierung der Brandenburgischen Düngeverordnung. Zugriff am 25.4.2021. Verfügbar unter: <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/aktuelles/presseinformationen/detail/~22-12-2020-novellierung-der-brandenburgischen-duengeverordnung>
- MÖLLER, K. & SCHULTHEIß, U. (2014a). Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau: Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis (KTBL-Schrift). (KTBL, Hrsg.). Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- MÖLLER, K. & SCHULTHEIß, U. (2014b). Schlussbericht: Organische Handelsdüngemittel tierischer und pflanzlicher Herkunft für den ökologischen Landbau - Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis. (KTBL, Hrsg.). Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- MÜCKE, M. (2002). Was bringen organische stickstoffhaltige Zukaufdünger zur Ertrags- und Qualitätsverbesserung im ökologischen Weizenanbau? Zusammenfassung der Ergebnisse von 2000 - 2002. In: *Versuchsbericht 2002: Ergebnisse der Versuche im ökologischen Landbau*. Landwirtschaftskammer Hannover, Referat Ökologischer Landbau.
- MÜLLER, T. & VON FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF, P. (2003). Umsatz und Wirkung vegetabiler Düngemittel im ökologischen Gemüseanbau. Bericht. Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften.
- MÜLLER, T. & VON FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF, P. (2006). Organic fertilizers derived from plant materials Part I: Turnover in soil at low and moderate temperatures. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169, 255–264.

- MUBHOFF, O. & HIRSCHAUER, N. (2020). *Modernes Agrarmanagement Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren*. Verlag Franz Vahlen GmbH.
- NUTRINET. (2020a). Praxisversuch: Stickstoff-Düngung mit Bitterlupinenschrot. Zugriff am 4.2.2021. Verfügbar unter: <https://www.nutrinet.agrarpraxisforschung.de/aus-der-praxis/praxisversuche/regionetzwerk-brandenburg/bitterlupinenschrot>
- NUTRINET. (2020b). Kompetenz- und Praxisforschungsnetzwerk NutriNet - Nährstoffmanagement in der ökologischen Landwirtschaft: Projektbeschreibung. Zugriff am 12.3.2021. Verfügbar unter: <https://www.nutrinet.agrarpraxisforschung.de/das-projekt/projektbeschreibung-nutrinet-2019>
- PALTA, J., BERGER, J. & LUDWIG, C. (2008). The growth and yield of narrow leafed lupin: Myths and realities. *Proceedings of the 12th International Lupin Conference*. Perth, Western Australia: International Lupin Society.
- PAULSEN, H.-M. & RAHMANN, G. (2004). Wie sieht der energieautarke Hof mit optimierter Nährstoffbilanz im Jahr 2025 aus? (Braunschweig Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)). *Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 274*, 57–73.
- PREISSEL, S., RECKLING, M., SCHLÄFKE, N. & ZANDER, P. (2015). Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research*, 175, 64–79.
- RECKLING, M., DÖRING, T. F., BERGKVIST, G., STODDARD, F. L., WATSON, C. A., SEDDIG, S. et al. (2018). Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across northern Europe. *Agronomy for Sustainable Development*, 38 (6), 63.
- RECKLING, M., DÖRING, T. F., STEIN-BACHINGER, K., BLOCH, R. & BACHINGER, J. (2015). Yield stability of grain legumes in an organically managed monitoring experiment. *Aspects of Applied Biology* 128, *Valuing long-term sites and experiments for agriculture and ecology* (S. 7). Newcastle.
- REISENWEBER, J. (2021). Leitung Arbeitsgruppe Ökonomik des Marktfruchtbaus IBA 5b der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), telefonische Mitteilung vom 26.05.21
- RENGER, M. (2002). Sicker- und Fließzeiten von Nitrat aus dem Wurzelraum ins Grundwasser in Abhängigkeit von den Standortbedingungen, insbesondere Boden und Gestein. Arbeitsbericht. Stuttgart: Akad. für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg
- RIESTER, R. & HAASER-SCHMID, S. (2020). *Agrarmärkte 2019*. (LfL, Hrsg.). Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan.
- RUHE, I., LOGES, R. & TAUBE, F. (2003). Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus – Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In B. Freyer (Hrsg.), *Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau: Ökologischer Landbau der Zukunft* (S. 97–100). Universität für Bodenkultur (Boku), Wien.
- SABAHI, H., REZAYAN, A. H., SADEGHI, S. & JAMEHDOR, S. (2014). Study the N Turnover of Legume Seed Meals for Designing a Slow-Release Nitrogen Fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45 (10), 1325–1335. Taylor & Francis.
- SABAHI, H., SCHULZ, R., MÜLLER, T. & LI, Z. (2009). Nitrogen turnover of legume seed meals as affected by seed meal texture and quality at different temperatures. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 55 (6), 671–682. Taylor & Francis.
- SANDERS, J. & HEB, J. (2019). Förderung des ökologischen Landbaus - Maßnahmen, Strategien und betriebliche Perspektiven. Thünen-Institut, Braunschweig.

- SCHAACK, D. & RAMPOLD, C. (2015). AMI Markt Bilanz Öko-Landbau 2015. (Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, Hrsg.). Bonn.
- SCHAACK, D. & RAMPOLD, C. (2020). AMI Markt Bilanz Öko-Landbau 2020: Daten, Fakten, Entwicklungen, Deutschland, EU, Welt. (Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, Hrsg.). Bonn.
- SCHAACK, D., RAMPOLD, C. & Behr, H.-C. (2017). Strukturdaten im ökologischen Landbau in Deutschland 2016. (Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, Hrsg.). Bonn.
- SCHANDERL, M. (2021). Einkauf Druschfrüchte Süd-Ost Bayern bei der Vermarktungsgesellschaft Bio-Bauern mbH, schriftliche Mitteilung vom 27.04.21
- SCHÄFER, F. & FISCHINGER, S. (2018). Forschung mit der Praxis – Voraussetzungen für gelingende Praxisforschung im Ökolandbau. (Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frankfurt a. M., Hrsg.). Frankfurt a. M.
- SCHMIDT. (2003). Viehloser Ackerbau im ökologischen Landbau – Evaluierung des derzeitigen Erkenntnisstandes anhand von Betriebsbeispielen und Expertenbefragungen. Bericht. (S. 211). Universität Gießen.
- SCHMIDT, H. (1997). Viehlose Fruchtfolge im ökologischen Landbau: Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoff-quellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Dissertation. Universität Gesamthochschule Kassel.
- SCHMIDT, H. & LANGANKY, L. (2020). Lupinen-Anbau in der Praxis Ackerbauliche Ergebnisse zur Blauen Süßlupine - ökologisch & konventionell. Stiftung Ökologie & Landbau.
- SCHREUDER, R. & DE VISSER, C. (2014). EIP-AGRI Focus Group Protein Crops: final report. Zugriff am 2.6.2021. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/publications/eip-agri-focus-group-protein-crops-final-report>
- SCHROERS, J. O. & KRÖN, K. (2019). Methodische Grundlagen der Datensammlung „Betriebsplanung Landwirtschaft“. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL).
- SCHROERS, J. O. & SAUER, N. (2011). Die Leistungs-Kostenrechnung in der landwirtschaftlichen Betriebsplanung (KTBL-Schrift). Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL).
- SCHULZ, F., BROCK, C., KNEBL, L. & LEITHOLD, G. (2017). Gemischtbetrieb mit Viehhaltung vs. viehloser Ökolandbau 3. Rotation im Dauerfeldversuch Gladbacherhof. In: S. Wolfrum, H. Heuwinkel, H.J. Reents, u.a. (Hrsg.) (2017): *Ökologischen Landbau weiterdenken - Verantwortung übernehmen - Vertrauen stärken*. Beiträge der 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Freising-Weihenstephan, 7.-10. März 2017. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- SEIBEL, W. & BOTTERBRODT, S. (Hrsg.). (2005). Warenkunde Getreide: Inhaltstoffe, Analytik, Reinigung, Trocknung, Lagerung, Vermarktung, Verarbeitung (Getreide-Bibliothek) (6. Aufl.). Bergen/Dumme.
- SEIPEL, H. (2014). Fachkunde für Gärtner/-innen: Lehr- und Arbeitsbuch (9. Auflage.). Hamburg: Verlag Handwerk und Technik.
- STADLER, C., TUCHER, S. VON, SCHMIDHALTER, U., GUTSER, R. & HEUWINKEL, H. (2006). Nitrogen release from plant-derived and industrially processed organic fertilizers used in organic horticulture. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169 (4), 549–556.

- STANIAK, M. (2019). Changes in yield and nutritive value of red clover (*Trifolium pratense* L.) and Festulolium (*Festulolium braunii* (K. Richt) A. Camus) under drought stress. *Agricultural and Food Science*, 28 (1), 27–34.
- STEIN-BACHINGER, K. & BACHINGER, J. (Hrsg.). (2004). Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau: ein Handbuch für Beratung und Praxis ; Berechnungsgrundlagen, Faustzahlen, Schätzverfahren zur Erstellung von Nährstoffbilanzen ; Handlungsempfehlungen zum effizienten Umgang mit innerbetrieblichen Nährstoffressourcen, insbesondere Stickstoff (KTBL-Schriften). Münster: Landwirtschaftsverlag
- SWEETINGHAM, M. W., COWLING, W. A., BUIRCHELL, B. J., BROWN, A. G. P. & SHIVAS, R. G. (1995). Anthracnose of lupins in Western Australia. *Australasian Plant Pathology*, 24 (4), 271–271.
- TALHINHAS, P., BARONCELLI, R. & LE FLOCH, G. (2016). Anthracnose of lupins caused by *Colletotrichum lupini*: A recent disease and a successful worldwide pathogen. *Journal of Plant Pathology*, 98 (1), 5–14.
- TOSTI, G., FARNESELLI, M., BENINCASA, P. & GUIDUCCI, M. (2016). Nitrogen Fertilization Strategies for Organic Wheat Production: Crop Yield and Nitrate Leaching. *Agronomy Journal*, 108 (2), 770–781.
- TROEGEL, T. (2008). Ökologischer Landbau – im Land Brandenburg, Deutschland, Europa und weltweit –. In Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (Hrsg.), *Zeitschrift für amtliche Statistik Berlin Brandenburg* (Band 6/08). Potsdam
- TROEGEL, T. & SCHULZ, C. (2018). Ergebnisse der Agrarstrukturerhebung 2016 für das Land Brandenburg. In Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (Hrsg.), *Zeitschrift für amtliche Statistik Berlin Brandenburg* (Band 1/18). Potsdam.
- VOGT-KAUTE, W. (2004). Viehloser Ackerbau aus der Sicht eines Beraters. In H. Schmidt (Hrsg.), *Viehloser Öko-Ackerbau: Beiträge, Beispiele, Kommentare*. Berlin: Verlag Dr. Köster, S. 18-20.
- WACHENDORF, M., BUERKERT, A. & GRAB, R. (Hrsg.). (2018). Ökologische Landwirtschaft (UTB Agrarwissenschaften Forstwissenschaften Ökologie). Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- WENDLAND, M. Dr., DIEPOLDER, M. Dr., OFFENBERGER, K. & RASCHBACHER, S. (2018). Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland – Gelbes Heft. (LfL, Hrsg.). Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan.
- WILBOIS, K.-P., FISCHINGER, S., GEIER, U. & VOGT-KAUTE, W. (2015). Praxisforschung für den ökologischen Landbau. (Verbund Ökologische Praxisforschung, Frankfurt a. M., Hrsg.). Frankfurt a. M.
- WINK, M. (1983). Wounding-Induced Increase of Quinolizidine Alkaloid Accumulation in Lupin Leaves. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 38 (11–12), 905–909. Verlag der Zeitschrift für Naturforschung.
- WINTER, S., FREYER, B., PIETSCH, G. & HRBEK, R. (Hrsg.). (2005). Futter- und Körnerleguminosen im biologischen Landbau (1. Aufl.). Leopoldsdorf: Österreich. Agrarverlag
- ZEBISCH, M., GROTHMANN, T., SCHRÖTER, D., HASSE, C., FRITSCH, U. & CRAMER, W. (2005). Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme (Forschungsbericht 201 41 253 UBA-FB 000844). (Umweltbundesamt, Hrsg.).

- ZEISE, K., EICKMEYER, F., SCHMIDT, F., ROSE, J., NOLL, G., PRÜFER, D. et al. (2018a). Merkblatt LUPI-ZAV – Zuchtmaterialerstellung durch Erschließung und Selektion bisher nicht erfasster Anbau - und Verwertungsmerkmale in bisher nicht genutzten genetischen Ressourcen der Schmalblättrigen Lupine (*Lupinus angustifolius* L.). ESKUSA GmbH, Partstetten; Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Biologie und Biotechnologie der Pflanzen, Münster und Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Rostock.
- ZEISE, K., EICKMEYER, F., SCHMIDT, F., ROSE, J., NOLL, G., PRÜFER, D. et al. (2018b). *Schlussbericht* LUPI-ZAV – Zuchtmaterialerstellung durch Erschließung und Selektion bisher nicht erfasster Anbau - und Verwertungsmerkmale in bisher nicht genutzten genetischen Ressourcen der Schmalblättrigen Lupine (*Lupinus angustifolius* L.). ESKUSA GmbH, Partstetten; Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Biologie und Biotechnologie der Pflanzen, Münster und Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Rostock.
- ZIESEMER, A. (2010). Lupinenanbau im Ökolandbau – Bereitstellung von agrarökonomischen Informationen und Entscheidungshilfen für den Ökolandbau in Mecklenburg-Vorpommern. Instituts für Betriebswirtschaft der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei in Mecklenburg-Vorpommern.
- ZIMMER, J. & DITTMANN, B. (2003). Nährstoffbilanzen im ökologischen Landbau unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme. Zugriff am 12.4.2021. Verfügbar unter: <https://gruendungsnetz.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/N%C3%A4hrstoffbilanzen%20im%20%C3%B6kologischen%20Landbau.pdf>
- ZIMMER, S., HAASE, T., STOLL, E., HEIDT, H. & HEB, J. (2015). Korn- und Proteinerträge verschiedener Körnerleguminosenarten in Reinsaat und im Gemengeanbau sowie deren Vorfruchtwirkung auf Winterweizen. Vortrag: 13. *Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, 17. - 20. März 2015. Verlag Dr. Köster, Berlin.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Lino Kolb, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet sowie die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen und Gedanken als solche kenntlich gemacht habe. Diese Arbeit wurde noch keiner anderen Prüfungskommission in dieser oder einer ähnlichen Form vorgelegt.

Eberswalde, 04. Juni 2021

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Lino Kolb, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet sowie die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen und Gedanken als solche kenntlich gemacht habe. Diese Arbeit wurde noch keiner anderen Prüfungskommission in dieser oder einer ähnlichen Form vorgelegt.



Eberswalde, 04. Juni 2021