



Abschlussbericht

LupiBreed

Erhöhung der Ertragsstabilität und Ertragsleistung der Süßlupine zur Sicherung der einheimischen Eiweißversorgung

Zuwendungsempfänger: Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche
Räume, Wald und Fischerei
Institut für Ökologischen Landbau
Trenthorst 32
23847 Westerau

Bearbeiter: Dr. Herwart Böhm
unter Mitarbeit von Charlotte Kling

FKZ: 2814 EPS 007

Laufzeit: 15.02.2015 – 31.12.2018

Kooperationspartner: Julius Kühn-Institut,
Quedlingburg / Groß-Lüsewitz

Saatzucht Steinach GmbH & Co. KG, Bocksee

Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und
Kulturpflanzenforschung, Gatersleben

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1 Einführung.....	9
1.1 Gegenstand des Vorhabens	9
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts.....	9
1.3 Planung und Ablauf des Projekts	10
2 Wissenschaftlicher und technischer Stand	11
2.1 Sortenspezifische Konkurrenzkraft	11
2.2 Gemengeanbau.....	15
2.2.1 Ertragswirkung	15
2.2.2 Unkrautunterdrückung	17
2.2.3 Gemengeanbau in Abhängigkeit vom Wuchstyp.....	18
2.2.4 Gemengeanbau in Abhängigkeit der Saatedichte.....	19
3 Material und Methoden.....	22
3.1 Standort und Witterung.....	22
3.2 Versuchsaufbau.....	24
3.3 Versuchsdurchführung.....	26
3.4 Untersuchungsmethoden	27
3.5 Entwicklung der Prebreeding-Linien	29
3.6 Datenanalyse.....	30
4 Ergebnisse	31
4.1 Etablierung eines Prüfsystems (Versuchsjahr 2015).....	31
4.2 Prüfung neuer Prebreeding-Linien (Versuchsjahre 2016 und 2017)	37
4.2.1 Zuordnung der Wuchstypen	37
4.2.2 Sortenspezifische Konkurrenzkraft	37
4.2.3 Unkrauttoleranz	38
4.2.4 Unkrautunterdrückung	42
4.3 Gemengeeignung	44
4.3.1 Erste Zeiternte: Sprossentwicklung	44
4.3.2 Zweite Zeiternte: Blüte	48
4.3.3 Garbenernte: Vollreife	52
4.3.4 Rohproteinerträge	58

4.3.5	Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR).....	62
4.3.6	N _{min} -Gehalte nach Ernte.....	64
5	Diskussion.....	65
5.1	Sortenspezifische Konkurrenzkraft	65
5.2	Gemengeeignung	69
6	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	74
7	Gegenüberstellung der geplanten zu den erreichten Zielen	75
8	Zusammenfassung	76
9	Literaturverzeichnis.....	77
10	Übersicht über alle vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen	82

Kurzfassung

Im Rahmen des Projektes wurde ein Prüfsystem zur Identifizierung von Prebreeding-Linien (PBL) der Blauen Süßlupine (*Lupinus angustifolius*), die in einem Mutageneseprogramm am Julius-Kühn-Institut entwickelt wurden, etabliert. Hiermit konnten PBL mit einer guten Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut, die gleichzeitig einen hohen Ertrag in Reinsaat und im Gemenge aufweisen sowie Varianten für ein optimiertes Gemengeanbausystem für Blaue Süßlupinen ermittelt werden.

Das Prüfsystem wurde mit den Partnerkulturen Sommerweizen, Hafer und Leindotter sowie sogenannten „künstlichen Unkräutern“, bestehend aus einem Gemenge von Winterraps, Buchweizen und Phacelia, die in 4 unterschiedlichen Saaddichten als additive Gemenge mit den beiden Süßlupinensorten Boregine (verzweigt) und Boruta (endständig) angebaut wurden, entwickelt. Die Prüfung der acht ausgewählten PBL erfolgte in den Jahren 2016 und 2017 mit zwei Partner-Saaddichten. Die Leistung der PBL wurde einerseits im Vergleich zu den Referenzsorten und andererseits in Abhängigkeit der Wuchstypen betrachtet. Zur Darstellung der Konkurrenzkraft der Lupinen wurden unterschiedliche Stufen des Unkrautdrucks simuliert. Die Gemengeeignung der in Reinsaatdichte ausgebrachten Lupinen wurde anhand der Partnerkulturen in zwei Saaddichten als Additivgemenge erfasst.

Es wurden sortenspezifische Unterschiede in der Unkrauttoleranz, die zur Garbenernte auch abhängig vom Unkrautdruck waren, nachgewiesen. Unterschiede in der Unkrautunterdrückung zeigten die Sorten bzw. PBL erst zur Garbenernte.

Eine generelle Überlegenheit der PBL in ihrer Konkurrenzkraft gegenüber den Referenzsorten konnte weder in Reinsaat noch im Gemenge festgestellt werden.

Es wurden positive Ertragseffekte durch den Gemengeanbau festgestellt. Eine höhere Saaddichte der Partner bewirkte eine bessere Unkrautunterdrückung, jedoch ohne dass die Erträge hierdurch positiv beeinflusst wurden. Zudem wurden PBL mit einer guten Eignung für den Gemengeanbau identifiziert.

Kontakt:

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau

Dr. Herwart Böhm

Trenthorst 32

23847 Westerau

herwart.boehm@thuenen.de

Abstract

In the project, a test system for the identification of prebreeding lines (PBL) of blue lupin (*Lupinus angustifolius*), developed in a mutagenesis program at the Julius Kühn Institute, was established. Hereby PBL could be identified with a good competitive power against weeds, which at the same time have a high yield in pure seed and in mixed cropping systems, as well as variants for an optimized intercropping system with blue lupins.

The test system was developed with the partner crops spring wheat, oat and false flax as well as so-called "artificial weeds", consisting of a mixture of winter rape, buckwheat and phacelia, which were grown in 4 different seed densities as additive mixtures with two varieties of blue lupins Boregine (branched) and Boruta (terminated). The evaluation of eight selected PBLs took place in 2016 and 2017 with two partner seed densities. The performance of PBL was considered on the one hand in comparison to the reference varieties and on the other hand depending on the growth types. To illustrate the competitiveness of the lupins, different levels of weed pressure were simulated. Suitability of blue lupin for mixed cropping was tested in additive mixtures at two reduced partner seed densities, while blue lupin was sown at 100 % sole cropping seed density.

Variety-specific differences in weed tolerance, which were also dependent on weed pressure at harvest time, were demonstrated. The varieties or PBL showed differences in weed suppression potential only at harvest.

A general advantage of PBL in its competitive power compared to the reference varieties could be found neither in pure seed nor in mixed cropping.

There were positive yield effects of intercropped blue lupins. A higher seed density of the partners resulted in better weed suppression, but without affecting the yields. In addition, PBLs with a good suitability for mixed cropping systems were identified.

contact:

Thünen-Institute of Organic Farming

Dr. Herwart Böhm

Trenthorst 32

23847 Westerau

Germany

herwart.boehm@thuenen.de

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Lufttemperatur (Monatsmittel in °C) und Niederschlag (Monatssumme in mm) in den Versuchsjahren 2015 bis 2017 der DWD-Wetterstation Lübeck (DWD 2017). 23
- Abbildung 2: Beprobungsschema in den Parzellen zur 1. und 2. Zeiternte sowie Garbenernte..... 28
- Abbildung 3 Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS] der Blauen Süßlupinensorten Boruta (BL-E) und Boregine (BL-V) in Abhängigkeit der Partner Sommerweizen (SW), Hafer (HA), Leindotter (LD) sowie des Gemenges aus künstlichen Unkräutern (KU) zum ersten Beprobungstermin ‚Spossentwicklung der Lupinen‘.
Verschiedene große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Lupinensorte, verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Lupinensorten innerhalb des jeweiligen Partners. 33
- Abbildung 4 Kornertrag [g m^{-2} TS] der Partnerkulturen sowie der Gesamtertrag der Blauen Lupinensorten Boruta (BL-E) und Boregine (BL-V) und der Partnerkulturen in Abhängigkeit der Partner Sommerweizen (SW), Hafer (HA) und Leindotter (LD). Verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Lupinensorte, verschiedene große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Lupinensorten innerhalb des jeweiligen Partners. 34
- Abbildung 5: Kornertrag [g m^{-2} TS] der Lupinensorten bzw. -Prebreedinglinien zur Garbenernte „Vollreife“ in Abhängigkeit der Unkrautvarianten ohne natürliches Unkraut (ohne UN), mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatedichte (KU_SD2) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatedichte (KU_SD4) für das Jahr 2016.
Verschieden große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Unkrautvarianten innerhalb der jeweiligen Lupinensorte bzw. – Prebreeding-Linie, verschieden kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der Lupinensorte bzw. Prebreeding-Linie innerhalb einer Unkrautvariante (Tukey-Test, $p < 0,05$). 40
- Abbildung 6: Oberirdische Biomasse [g m^{-2} TS] der Partner Hafer (HA), Leindotter (LD), Sommerweizen (SW) und „künstliches Unkraut“ (KU) zur zweiten Zeiternte „Blüte der Lupinen“ im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien.
Verschieden große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien innerhalb des jeweiligen Partners, verschieden kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der jeweiligen Partner innerhalb einer Lupinensorte bzw. Prebreeding-Linien (Tukey-Test, $p < 0,05$). 50
- Abbildung 7: Kornertrag [g m^{-2} TS] der Partner Hafer (HA), Leindotter (LD) und Sommerweizen (SW) zur Garbenernte „Vollreife“ in Abhängigkeit der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien für das Jahr 2016.....
Verschieden große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Lupinensorten bzw. PBLs innerhalb des jeweiligen Partners, verschieden kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der jeweiligen Partner innerhalb einer Lupinensorte bzw. PBLs (Tukey-Test, $p < 0,05$)..... 55

- Abbildung 8: Kornertrag [g m^{-2} TS] der Partner Hafer (HA), Leindotter (LD) und Sommerweizen (SW) zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien.....
 Verschieden große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Lupinensorten bzw. PBLs innerhalb des jeweiligen Partners, verschieden kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der jeweiligen Partner innerhalb einer Lupinensorte bzw. PBLs (Tukey-Test, $p < 0,05$)..... 57
- Abbildung 9: Gesamt-Kornertrag [g m^{-2} TS] in Abhängigkeit der Partner Hafer (HA), Leindotter (LD) und Sommerweizen (SW) und der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2017.....
 Verschieden große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Lupinensorten bzw. PBLs innerhalb des jeweiligen Partners, verschieden kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der jeweiligen Partner innerhalb einer Lupinensorte bzw. PBLs (Tukey-Test, $p < 0,05$)..... 58
- Abbildung 10: Unkrautbiomasse zum Zeitpunkt der Ernte [g m^{-2} TS] und Kornertrag [dt ha^{-1} TS] in Abhängigkeit der Lupinensorten Boruta und Boregine sowie unterschiedlichen Konkurrenzsituationen (ohne natürliches Unkraut (ohne Unkraut), mit natürlichem Unkraut (mit Unkraut) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatedichte (60 Körner m^{-2}) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatedichte ($120 \text{ Körner m}^{-2}$)) im Mittel der Jahre 2015 bis 2017. 68
- Abbildung 11: Unkrautbiomasse zum Zeitpunkt der Ernte [g m^{-2} TS] und Kornertrag [g m^{-2} TS] im Mittel der Jahre 2016 und 2017 für die Reinsaaten (RS) sowie die Gemenge (grün) und die niedrigen (SD2) und die hohen (SD4) Saatedichten (rot) gemittelt über alle Sorten bzw. Prebreeding-Linien..... 72
- Abbildung 12: Kornertrag [g m^{-2} TS] der Sorten bzw. Prebreeding-Linien im Mittel der Jahre 2016 und 2017 getrennt nach Lupinen- und Partner sowie im Vergleich zu den jeweiligen Lupinen-Reinsaaten. 73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bodenchemische Kennwerte der Versuchsflächen im Oberboden (0-30 cm) sowie Einordnung in die Gehaltsklassen A – E nach Richtwerten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Januar 2018) (Niedersachsen 2018).	22
Tabelle 2: Versuchsfaktoren und deren Faktorstufen sowie Kontrollvarianten im Feldversuch.	25
Tabelle 3: Bewirtschaftungsmaßnahmen in den Feldversuchen für die Jahre 2015 bis 2017.	26
Tabelle 4: Zuordnung der Sorten und Prebreeding-Linien zu Wuchstypen (endständig (E), verzweigt (V), intermediär (E/V)) anhand der Wuchstypen-Bonitur sowie Angaben zum Donor der Prebreeding-Linien und entsprechende Kennzeichnung.....	30
Tabelle 5 Oberirdische Biomasse [g m ⁻² TS] von Blauen Süßlupinen, Partnern und Unkraut in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupine, Partner und Saaddichten zum ersten Beprobungstermin zu ‚Spossentwicklung der Lupine‘. (BL-E: Boruta, BL-V: Boregine, _oUN: ohne Unkraut, SW: Sommerweizen, HA: Hafer, LD: Leindotter, KU: künstliche Unkräuter, SD1 - SD4: Saaddichte 1 bis 4).....	31
Tabelle 6 Oberirdische Biomasse [g m ⁻² TS] von Blauen Süßlupinen, Partnern und Unkraut zum zweiten Beprobungstermin zur ‚Blüte der Lupine‘ in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupine, Partner und Saaddichten. (BL-E: Boruta, BL-V: Boregine, _oUN: ohne Unkraut, SW: Sommerweizen, HA: Hafer, LD: Leindotter, KU: künstliche Unkräuter, SD1 - SD4: Saaddichte 1 bis 4).....	32
Tabelle 7 Kornerträge [g m ⁻² TS] von Blauen Süßlupinen, Partnern sowie Gesamterträge in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupine, Partner und Saaddichte zum Zeitpunkt der Garbenernte (BL-E: Boruta, BL-V: Boregine, _oUN: ohne Unkraut, _mUN: mit Unkraut, SW: Sommerweizen, HA: Hafer, LD: Leindotter, KU: künstliche Unkräuter, SD1 - SD4: Saaddichte 1 bis 4).....	34
Tabelle 8 Rohproteinträge [g m ⁻² TS] von Blauen Süßlupinen, Partnern sowie Gesamt-RP-Erträge in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupine, Partner und Saaddichte zum Zeitpunkt der Garbenernte. (BL-E: Boruta, BL-V: Boregine, _oUN: ohne Unkraut, _mUN: mit Unkraut, SW: Sommerweizen, HA: Hafer, LD: Leindotter, KU: künstliche Unkräuter, SD1 – SD4: Saaddichte 1 bis 4).....	35
Tabelle 9: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] der Lupinen zur ersten und zweiten Zeiternte sowie deren Kornertrag [g m ⁻² TS] zur Garbenernte des Jahres 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boruta, Boregine, PBL: Prebreeding-Linien) und Unkraut (ohne natürliches Unkraut (ohne UN), mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saaddichte (KU_SD2) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saaddichte (KU_SD4)).....	39
Tabelle 10: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] der Lupinen zur ersten und zweiten Zeiternte sowie deren Kornertrag [g m ⁻² TS] zur Garbenernte des Jahres 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boruta, Boregine, PBL: Prebreeding-Linien) und Unkraut (ohne natürliches Unkraut (ohne UN), mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saaddichte (KU_SD2) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saaddichte (KU_SD4)).....	41
Tabelle 11: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] des Unkrautes zur ersten und zweiten Zeiternte sowie zur Garbenernte im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Pre-Breeding-Linien (PBL)) und Unkraut (mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saaddichte (KU_SD2) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saaddichte (KU_SD4)).....	43

Tabelle 12: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] des Unkrautes zur ersten und zweiten Zeiternte sowie zur Garbenernte im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Pre-Breeding-Linien (PBL)) und Unkraut (mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatchichte (KU_SD2) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatchichte (KU_SD4)).	44
Tabelle 13: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] von Lupinen, Partnern, Unkraut sowie der Summe aus Partnern und Unkraut zur ersten Zeiternte „Sprossentwicklung der Lupine“ im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Pre-Breeding-Linien (PBL)), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatchichte (SD2: niedrige Saatchichte, SD4: hohe Saatchichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatchichte.	45
Tabelle 14: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] von Lupinen, Partnern, Unkraut sowie der Summe aus Partnern und Unkraut zur ersten Zeiternte „Sprossentwicklung der Lupine“ im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Pre-Breeding-Linien (PBL)), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatchichte (SD2: niedrige Saatchichte, SD4: hohe Saatchichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatchichte.	47
Tabelle 15: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] von Lupinen, Partnern, Unkraut sowie der Summe aus Partnern und Unkraut zur zweiten Zeiternte „Blüte der Lupine“ im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und den Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatchichte (SD2: niedrige Saatchichte, SD4: hohe Saatchichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatchichte. Bei der Berechnung wurde ein Ausreißer im oberirdischen Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] der Lupine, Partner sowie Partner + Unkraut entfernt (PBL A3, KU, SD1, Wiederholung 1).	49
Tabelle 16: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] von Lupinen, Partnern, Unkraut sowie der Summe aus Partnern und Unkraut zur zweiten Zeiternte „Blüte der Lupine“ im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und den Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatchichte (SD2: niedrige Saatchichte, SD4: hohe Saatchichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatchichte.	51
Tabelle 17: Kornerträge [g m ⁻² TS] von Lupinen, Partnern (HA, LD, SW) und Gesamtkornerträge [g m ⁻² TS] der Lupinen und Partner (HA, LD, SW) sowie oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] von natürlichem Unkraut zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatchichte (SD2: niedrige Saatchichte, SD4: hohe Saatchichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatchichte.	53
Tabelle 18: Kornerträge [g m ⁻² TS] von Lupinen, Partnern (HA, LD, SW) und Gesamtkornerträge [g m ⁻² TS] der Lupinen und Partner (HA, LD, SW) sowie oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] von natürlichem Unkraut zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatchichte (SD2: niedrige	

	Saatdichte, SD4: hohe Saatdichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatdichte.....	56
Tabelle 19	Rohprotein-Erträge [g m ⁻² TS] von Lupinen, Partnern sowie Gesamt-RP-Erträge zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatdichte (SD2: niedrige Saatdichte, SD4: hohe Saatdichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatdichte.....	60
Tabelle 20	Rohprotein-Erträge [g m ⁻² TS] von Lupinen, Partnern sowie Gesamt-RP-Erträge zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatdichte (SD2: niedrige Saatdichte, SD4: hohe Saatdichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatdichte.....	61
Tabelle 21	Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) im Jahr 2016 zu ausgewählten Terminen in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatdichte (SD2: niedrige Saatdichte, SD4: hohe Saatdichte).	62
Tabelle 22	Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) im Jahr 2017 zu ausgewählten Terminen in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatdichte (SD2: niedrige Saatdichte, SD4: hohe Saatdichte).	63
Tabelle 23	N _{min} -Gehalte [mg kg ⁻¹ TS] nach der Ernte in den Jahren 2016 und in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatdichte (SD2: niedrige Saatdichte, SD4: hohe Saatdichte).	64

Abkürzungsverzeichnis

E	endständiger Wuchstyp
E/V	intermediärer Wuchstyp (endständig/verzweigt)
BL-E	Boruta (endständiger Wuchstyp)
BL-V	Boregine (verzweigter Wuchstyp)
Fa.	Firma
HA	Hafer
KU	Gemenge aus „künstlichem Unkraut“
LD	Leindotter
N	Stickstoff
NAP	Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Nutzung von Pflanzenschutzmitteln
mUN	mit Unkraut
oUN	ohne Unkraut
ÖFV	Ökologische Vorrangflächen
PBL	Prebreeding-Linie
RP	Rohprotein
SD	Saadichte
SD1	Saadichte 1 (SW, HA, KU: 30, LD: 100 keimfähige Körner m ⁻²)
SD2	Saadichte 2 (SW, HA, KU: 60, LD: 200 keimfähige Körner m ⁻²)
SD3	Saadichte 3 (SW, HA, KU: 90, LD: 300 keimfähige Körner m ⁻²)
SD4	Saadichte 4 (SW, HA, KU: 120, LD: 400 keimfähige Körner m ⁻²)
SW	Sommerweizen
TS	Trockensubstanz
V	verzweigter Wuchstyp

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Gegenstand des Vorhabens war in dreijährigen Versuchen die Konkurrenzkraft der schmalblättrigen oder Blauen Süßlupine (*Lupinus angustifolius* L.) durch gezielte Ausbringung verschiedener Partner zu prüfen. Hierdurch sollten unterschiedlich starke Konkurrenzsituationen hinsichtlich der Unkrautunterdrückung bzw. der Gemengeanbau-Partner geschaffen werden. Als Kontrolle dienten Reinsaaten mit der jeweiligen Sorte bzw. Prebreeding-Linie der Blauen Süßlupine, die von Unkraut freigehalten wurden.

Im ersten Versuchsjahr sollte ein Prüfsystem zur Bewertung der unkrautunterdrückenden Wirkung der Blauen Süßlupine sowie deren Eignung für den Gemengeanbau etabliert werden. In den beiden Folgejahren sollten ausgewählte Prebreeding-Linien aus einem EMS-Mutageneseprogramm (Rudloff et al. 2008, Rudloff 2011, Fischer et al. 2018) mit Hilfe des etablierten Prüfsystems auf ihre unkrautunterdrückende Wirkung sowie deren Eignung für den Gemengeanbau untersucht werden.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Gesamtziel des Gesamtvorhabens ‚LupiBreed‘ war es, die Ertragsstabilität und die Ertragsleistung der Blauen Süßlupine zu verbessern und damit ihre Bedeutung als heimische Eiweißpflanze im Sinne der Eiweißpflanzen-Strategie (EPS) der Bundesregierung zu vergrößern und deren Anbau auszuweiten (BMELV 2012). Gleichzeitig werden die im Nationalen Aktionsplan (NAP) formulierten Ziele zur Stärkung des vorbeugenden Pflanzenschutzes aufgegriffen. Im Nationalen Aktionsplan wird der unkrautunterdrückenden Wirkung von Sorten eine herausragende Bedeutung im ökologischen und im integrierten Anbau zugeschrieben.

Hieraus leiten sich folgende Aufgabenfelder ab:

- *Identifikation von neuen konkurrenzstarken Sorten bzw. Prebreeding-Linien der Blauen Süßlupine, die einen Beitrag zur vorbeugenden Unkrautregulierung leisten können und*
- *die Entwicklung eines geeigneten Gemengeanbausystems, das ebenfalls zur Unkrautunterdrückung beiträgt und gleichzeitig das Potenzial hat, höhere Gesamtertragsleistungen sowie eine bessere Ertragsstabilität zu realisieren.*

Daraus ergaben sich im Rahmen des Arbeitspaketes 5 „Unkrautunterdrückung und Gemengeanbau“ folgende Ziele:

I. Sortenspezifische Unkrautunterdrückung

- A. *Identifikation neuer Prebreeding-Linien mit einer höheren Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut im Vergleich zu bestehenden Sorten.*
- B. *Bewertung der Wuchstypen (endständig vs verzweigt) der Sorten bzw. Prebreeding-Linien im Hinblick auf ihre Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut.*
- C. *Entwicklung eines Prüfsystems unter Einbeziehung von sogenannten „künstlichen Unkräutern“ als Indikator für die Charakterisierung der Konkurrenzkraft von Blauen Süßlupinen.*

II. Gemengeanbau

- A. *Identifikation von neuen Prebreeding-Linien mit hoher Eignung für den Gemengeanbau in Bezug auf Ertrags- und Rohproteinertragsleistung und Unkrautunterdrückungsvermögen.*
- B. *Bewertung der Wuchstypen (endständig vs verzweigt) der geprüften Sorten bzw. der Prebreeding-Linien im Hinblick auf die Ertragsleistungen der Blauen Süßlupine und des Gesamtertrages sowie ihr Unkrautunterdrückungsvermögen im Gemengeanbau.*
- C. *Identifikation von Gemengepartnern, die keine zu hohe Konkurrenzskraft gegenüber der Blauen Süßlupine aufweisen, um möglichst hohe Lupinenerträge im Gemengeanbau zu realisieren.*

Die Ergebnisse des Arbeitspakets sollen zudem den Züchtern Hinweise geben, damit bereits bei der Züchtung/Selektion auf besondere Merkmale wie z. B. Frohwüchsigkeit, Blattmorphologie und Wuchstyp selektiert werden kann, die dazu beitragen, den Pflanzenschutz-aufwand bei der Unkrautregulierung zu reduzieren bzw. im Gemengeanbau möglichst hohe Ertragsanteile der Blauen Süßlupine zu realisieren.

Vor dem Hintergrund der geänderten Bedingungen für das Greening im Hinblick auf den Anbau von Körnerleguminosen hat die Thematik eine zusätzliche Bedeutung erlangt. Aus den Projektergebnissen sollen daher auch Empfehlungen für die Praxis abgeleitet werden, unter welchen Bedingungen ein Gemengeanbau mit Blauer Süßlupine erfolgreich ohne den Einsatz von Herbiziden durchgeführt werden kann.

1.3 Planung und Ablauf des Projekts

Das Arbeitspaket wurde entsprechend der Vorhabenbeschreibung bearbeitet. Eine detaillierte Beschreibung der Durchführung befindet sich im Kapitel 3 – Material & Methoden.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Körnerleguminosen erbringen durch die Fixierung von Luftstickstoff durch Symbiose mit Knöllchenbakterien, eine gute Vorfruchtwirkung sowie Auflockerung der Fruchtfolge und Erhöhung der Biodiversität vielfältige Ökosystemdienstleistungen, weshalb sie seither wichtigster Systembestandteil im Ökologischen Landbau sind (Alpmann und Schäfer 2014, Döring 2015, Schmidtke und Klöble 2013). In der ökonomischen Bewertung wird der Mehrertrag der Folgekulturen jedoch zumeist nicht den Körnerleguminosen als Vorfruchtwert zugeordnet und das Potenzial zur Betriebsmitteleinsparung durch die Bindung von Luft-N sowie phytosanitäre Vorteile unterschätzt (Alpmann und Schäfer 2014). Daher wird Körnerleguminosen allgemein eine geringe Wettbewerbsfähigkeit zugeschrieben (BMELV 2012). Zusätzlich wirken sich eine aufwändigere Anbautechnik und verloren gegangene Erfahrungswerte hemmend auf den Anbau von Körnerleguminosen aus (BMELV 2012, Schmidtke und Klöble 2013). Blaue Süßlupinen rücken jedoch zunehmend in den Fokus der heimischen Eiweißproduktion (Gefrom 2016), da sie durch ihren hohen Proteingehalt und geringem Gehalt an antinutritiven Substanzen entscheidende Vorteile gegenüber den ebenfalls heimischen Körnerleguminosen Ackerbohne und Erbse aufweisen (Berk et al. 2008, Böhm und Gruber 2013, Bramm et al. 2006). Zusätzlich können Lupinen durch ihr tiefes Pfahlwurzelsystem den Boden lockern und schwer lösliches Phosphat aufschließen (Horst und Waschkies 1987, Kutschera et al. 2009).

Vor dem Hintergrund der im Nationalen Aktionsplan (NAP) formulierten Ziele zur Stärkung des vorbeugenden Pflanzenschutzes kommt der unkrautunterdrückenden Wirkung der Sorten eine herausragende Bedeutung im ökologischen und im integrierten Anbau zu.

2.1 Sortenspezifische Konkurrenzkraft

Im Ackerbau steht die Kultur mit Unkraut in interspezifischer Konkurrenz um die limitierenden Faktoren Licht, Nährstoffe und Wasser sowie Raum (Niemann 2000). Kulturartenspezifisch ist diese Konkurrenzfähigkeit unterschiedlich ausgeprägt (Lupine, Erbse < Sommergerste, Sommerweizen < Raps < Triticale, Roggen, Hafer) (Lemerle et al. 1995). Die Konkurrenzkraft eines Anbausystems kann neben erhöhter Saatkichten, reduziertem Reihenabstand, Gründüngung sowie Zwischenfruchtanbau und Biodiversität auch durch die Wahl konkurrenzstarker Sorten gesteigert werden (Blackshaw et al. 2006).

Sortenspezifische Konkurrenzkraft kann als Unkrauttoleranz oder Unkrautunterdrückung verstanden werden (Andrew et al. 2015). Unkrauttoleranz bedeutet, dass die Kultur dem hemmenden Wuchs des Konkurrenten widerstehen kann ohne Ertrag einzubüßen (Goldberg 1990). Unkrautunterdrückung benennt die Fähigkeit einer Kultur, den Wuchs des Konkurrenten zu hemmen (Hansen et al. 2008). Unkrautunterdrückung durch Sortenwahl bedeutet diesbezüglich eine Reduktion des Unkrautwachses, bei der die Reproduktion nicht verhindert wird (Niemann 2000).

Methodisch kann demnach das Unkrautunterdrückungspotenzial anhand der Unkrautbiomasse erfasst werden, während sich Unkrauttoleranz durch einen möglichst gleichbleibenden Kulturertrag bei unterschiedlichem Unkrautdruck quantifizieren lässt. Sortenspezifische Unkrautunterdrückung ist generell aus fruchtfolge-technischen Gründen erwünscht, wobei im Gemengeanbau eine Toleranz gegenüber dem Partner entscheidend für den Gesamtgemengeertrag ist. In der Literatur werden Unkrauttoleranz und Unkrautunterdrückung jedoch selten differenziert betrachtet (Verschwele 2014). Der Vollständigkeit halber ist darüber hinaus die Allelopathie als durch sekundäre Stoffwechselprodukte bedingte

Wechselwirkung zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern als Faktor für Konkurrenzkraft zu nennen (Niemann 2000).

Sortenspezifische Konkurrenzkraft wird weltweit für viele Kulturarten beschrieben und diesbezüglich der Sortenwahl bereits seit den 1930er Jahren großes Potenzial zur Implementierung im vorbeugenden Pflanzenschutz zugesprochen (Niemann 2000, Rademacher 1938). Seither wurde vor allem die Unkrautunterdrückung verschiedener Getreidesorten in der Forschung bewertet, wobei bis heute weitere Anstrengungen seitens der Züchtung und in der Beratung bei der Implementierung in der Praxis gesehen wird (Andrew et al. 2015, Christensen 1994, Christensen 1995, Drews et al. 2002, Eisele 1992, Lemerle et al. 2001, Lemerle et al. 1996, Travlos 2012, Verschwele 1994, Verschwele 2014, Verschwele und Niemann 1994). Andere Kulturarten wie auch Erbse und Blaue Süßlupine wurden bisher wenig beforscht (Niemann 2000). Kulturartenübergreifend wird die Konkurrenzkraft durch die Kombination der Merkmale Deckungsgrad, Wuchshöhe und Wachstumsgeschwindigkeit bestimmt (Niemann 2000). Im Durchschnitt verschiedener Kulturarten wird eine unkrautunterdrückende Wirkung der Sorte von bis zu 50 % benannt (Niemann 2000).

Für Weizen (*Triticum aestivum*) belegten Eisele (1992) im Ökologischen Landbau und Verschwele (1994) in der konventionellen Bewirtschaftung, dass morphologische Sortenunterschiede in Bezug auf die Bodenbeschattung bestehen, welche maßgeblich das Unkrautunterdrückungsvermögen bestimmen und somit die Konkurrenzkraft einer Sorte definieren. Das Beschattungsvermögen von Weizensorten wurde in Feldversuchen quantifiziert, wobei vor allem der Blattflächenindex sowie der Sortentyp (erektophil oder planophil) entscheidende Parameter darstellten (Eisele 1992). Im Bestand planophiler Sortentypen mit großer Blattfläche wurde bis zu 30 % weniger Licht gemessen als beim erektophilen Sortentyp (Verschwele 1994). Zusätzlich ist das Beschattungsvermögen einer Sorte abhängig von Deckungsgrad, Wuchshöhe und Weizen-Sproßmasse (Verschwele 1994). Der enge Zusammenhang zwischen dem Beschattungsvermögen und Unkrautunterdrückungspotenzial von Weizensorten wurde in weiterführenden Studien für den konventionellen und ökologischen Anbau bestätigt (Andrew et al. 2015, de Lucas Bueno und Froud-Williams 1994, Drews et al. 2002, Lemerle et al. 2001, Lemerle et al. 1995, Lemerle et al. 1996, Niemann 2000, Schmidtke et al. 2013, Verschwele 2014). Darüber hinaus betonen Andrew et al. (2015) und Drews et al. (2002), dass es abhängig von der Unkrautspezies und deren Lichtbedarf ist, inwieweit das Beschattungsvermögen einen Einfluss auf die Unkrautpopulation hat. Sie benennen eine frühe und schnelle Jugendentwicklung als wichtiges Merkmal, um das Unkrautunterdrückungspotenzial von Getreide zu beschreiben (Andrew et al. 2015). Hingegen betonen Pakeman et al. (2015) im Vergleich verschiedener Gerstensorten, dass die Konkurrenz um limitierende Faktoren im Boden (Nährstoffe, Wasser) eher entscheidend für das Unkrautunterdrückungsvermögen einer Sorte ist, als die Konkurrenz um Licht. Zudem sind Standort und Witterung ausschlaggebend für die erfolgreiche Unterdrückung von Unkraut durch konkurrenzstarke Sorten, da die volle Wirksamkeit nur unter günstigen Bedingungen erreicht werden kann (Drews et al. 2002, Lemerle et al. 1995). Letztlich sollte Konkurrenzkraft als dynamisches Merkmal immer in Kombination der Parameter und im Zeitverlauf gesehen werden (Christensen 1995). Im konventionellen Anbau wurde bisher die geringere Konkurrenzkraft der im Ertrag höheren erektophilen Sortentypen durch Herbizidanwendung ausgeglichen (Eisele 1992). In der Literatur wird jedoch angegeben, dass durch die Wahl konkurrenzstarker Weizensorten, der Herbizideinsatz um ein Drittel (Verschwele 1994) bzw. sogar bis zu 50 % (Travlos 2012) reduziert werden kann, ohne Ertragseinbußen in Kauf nehmen zu müssen. Somit kann die Sortenwahl entsprechend der Ziele des NAP einen

wichtigen Beitrag zur Reduzierung von Herbizidaufwand und zur Vermeidung von Herbizidresistenzen leisten (Christensen 1994, Verschwele 2014). Im Ökologischen Anbau von Winterweizen wird in Abhängigkeit vom Standort zumeist auf Einzelähren-Ertragstypen gesetzt, die eine geringere Bestandsdichte aufweisen, weswegen die morphologisch bedingte Konkurrenzkraft der Sorte ohnehin eine bedeutsame Stellung einnimmt (Eisele 1992). Im Vergleich zu pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Erhöhung der Konkurrenzkraft wie Anpassung der Saaddichten oder des Reihenabstandes wird der Sortenwahl ein stärkerer Einfluss zugeschrieben (Verschwele 1994). Zur Nutzung von Unkrautunterdrückung und Unkrauttoleranz in der Wahl von konkurrenzstarken Getreidesorten wird weiterhin Züchtungsbedarf gesehen, wobei konkurrenzstarke Weizensorten sich bereits als stabil in verschiedenen Umwelten gezeigt haben (Drews et al. 2002, Verschwele 2014). Auch für Gerste (*Hordeum vulgare*) (Christensen 1995, Dhima et al. 2010, O'Donovan et al. 2000), Mais (*Zea mays*) (Mhlanga et al. 2016), Raps (*Brassica napus*) (Lemerle et al. 2014), Kartoffeln (*Solanum tuberosum*) (Colquhoun et al. 2009) und Reis (*Oryza sativa*) (Zhao et al. 2006) wurden bereits sortenspezifische Unterschiede im Unkrautunterdrückungspotenzial identifiziert und Potenzial zur Nutzung im vorbeugenden Pflanzenschutz gesehen (Christensen 1995, O'Donovan et al. 2000).

Im Gegensatz zum Getreide ist das sortenspezifische Unkrautunterdrückungspotenzial von Körnerleguminosen bisher wenig untersucht (Niemann 2000). Im Erbsenanbau (*Pisum sativum*) kann zwischen normalblättrigen, langstrohigen und halbblattlosen, kurzwüchsigen Sorten unterschieden werden (Lemerle et al. 2006). Bei den Lupinen (*Lupinus* sp.) sind Sorten mit verzweigtem und determiniertem Wuchs zu benennen (Böhm et al. 2008b). Im Erbsenanbau fanden Harker et al. (2008) Unterschiede im Ertragspotenzial in Abhängigkeit vom Grad der Verunkrautung; so zeigten halbblattlose Erbsensorten bei geringem Unkrautdruck höhere Erträge als die normalblättrigen Wuchstypen, während diese bei höherer Verunkrautung mit geringeren Ertragsverlusten reagierten. Demnach gelten normalblättrige, langstrohige Sorten als konkurrenzstärker gegenüber Unkraut als die halbblattlosen, kurzwüchsigen Sorten, die sich dafür durch ihre Standfestigkeit auszeichnen (Harker et al. 2008, McDonald 2003, Spies et al. 2011). Lemerle et al. (2006) betonen dabei, dass die Konkurrenzkraft der Sortentypen in Abhängigkeit zur Pflanzendichte stehen; nur bei hoher Pflanzendichte wurden signifikant geringere Ertragsverluste durch Unkrautdruck in Beständen der normalblättrigen, langstrohigen Sorten festgestellt. Auch Gronle und Böhm (2014) bestätigen Sortenunterschiede in einem Feldversuch mit Wintererbsen und begründen die höhere Konkurrenzkraft mit der höheren Beschattungsleistung (gemessen an der photosynthetisch aktiven Strahlung im Bestand) des normalblättrigen, langstrohigen Sortentyps über den gesamten Vegetationszeitraum. Allerdings erfordern normalblättrige Erbsensorten aufgrund ihrer hohen Lagerneigung den Anbau im Gemenge mit einer Stützfrucht (Gronle et al. 2015a). Demnach fand Hänsel (2007) keine signifikanten Unterschiede im Unkrautdeckungsgrad zwischen den Sortentypen der Erbse in Reinsaat und im Trend geringere Erträge des normalblättrigen Sortentypen. Zumeist sind außerdem signifikante Jahreseffekte zu verzeichnen, die darauf hinweisen, dass Witterungseinflüsse die sortenspezifische Konkurrenzkraft überlagern können (Bajwa et al. 2016).

Unter den Bedingungen in Zentraleuropa sind Blaue Süßlupinen (*Lupinus angustifolius*) den Weißen (*L. albus*) und Gelben Lupinen (*L. luteus*) aufgrund ihrer Anthraknosetoleranz überlegen (Böhm 2008, Bramm et al. 2006). Die langsame Jugendentwicklung der Blauen Süßlupine ist jedoch ein bedeutender Nachteil im Vergleich zu anderen Kulturarten, da sortenspezifische Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut erst bei Bestandsschluss vollständig erreicht wird und somit gegebenenfalls Verunkrautung erst später in der Vegetationsperiode durch

die Sortenwahl beeinflusst werden kann (Böhm 2008, Niemann 2000). Niemann (2000) geht dennoch bei Lupinen von einem sortenspezifischen Unkrautunterdrückungspotenzial von bis zu 50 % aus, wobei keine Differenzierung zwischen Blauer, Weißer und Gelber Lupine vorgenommen wird. In der Literatur werden verschiedene Wuchstypen der Blauen Lupine auf ihr Ertragspotenzial hin untersucht. So fanden Bramm et al. (2006) im Vergleich von 6 Sorten der Blauen Lupine (4 verzweigt, 2 endständig) an zwei Standorten unterschiedliche Ergebnisse: Auf dem leichteren Standort mit konventioneller Bewirtschaftung (Braunschweig) zeigten die verzweigten Wuchstypen höhere Erträge und auf dem lehmreicheren ökologisch bewirtschafteten Standort (Trenthorst) waren die determinierten Wuchstypen den verzweigten überlegen (Bramm et al. 2006). In weiterführenden Untersuchungen auf dem Standort Trenthorst konnten keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen 12 Sorten des verzweigten bzw. determinierten Wuchstypen festgestellt werden (Böhm et al. 2008b). Im Proteingehalt zeigten jedoch die verzweigten Sorten signifikant höhere Werte mit Ausnahme der determinierten Sorte Boruta (Böhm et al. 2008b, Bramm et al. 2006). In allen Untersuchungen wurden jedoch signifikante Jahreseffekte gefunden, weshalb unter den Bedingungen in Norddeutschland mit höheren Niederschlägen im Spätsommer der endständige Wuchstyp empfohlen wird, wohingegen verzweigte Wuchstypen höhere Erträge unter trockeneren Bedingungen zeigten (Böhm und Aulrich 2011). Böhm und Aulrich (2011) erfassten auch die unkrautunterdrückende Wirkung des Wuchstyps der Blauen Lupine und fanden eine höhere Konkurrenzkraft des verzweigten Wuchstypen (Bora) gegenüber dem determinierten Typ (Boruta), wobei der Unterschied nicht signifikant war. Arnold et al. (1985) untersuchten die Konkurrenzkraft zweier Wuchstypen der Blauen Lupine gegenüber *Lolium rigidum* und *Arctotheca calendula*. Es zeigte sich zum einen, dass der Lupinenertrag nicht beeinflusst wurde, wenn der Unkrautdruck erst 6 Wochen nach der Aussaat auftrat. Zum anderen verringerte erst die Spätverunkrautung den Lupinenertrag, wenn auch nicht signifikant. Des Weiteren wurden keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen dem längeren bzw. kürzeren Sortentypen festgestellt, jedoch wurde die Blattarchitektur bei Anwesenheit der Unkräuter verändert hin zu mehr Blattmasse am oberen Teil der Pflanzen (Arnold et al. 1985). Darüber hinaus beschrieben Harcha und Calderini (2008) signifikante Ertragsunterschiede verschiedener Sortentypen der Gelben Lupine, wobei Unterschiede in der Pflanzenarchitektur erst nach der Blüte auftraten und sich halb-determinierte Sorten gegenüber verzweigten Sorten durchsetzten.

Bei der Bewertung der Literatur ist zu beachten, dass signifikante Ergebnisse auch durch die Wahl von Sorten mit extremen Merkmalsausprägungen erreicht werden, die jedoch möglicherweise eine geringere Bedeutung im Anbau haben (Niemann 2000, Sardana et al. 2016). Für Getreide konnte jedoch bereits ermittelt werden, dass sich die Zuchtziele Unkrautunterdrückung und Kornenertrag sowie –qualität nicht ausschließen müssen (Verschwele 1994). Zudem zeigt sich die sortenspezifische Konkurrenzkraft erst bei Bestandsschluss und nur unter günstigen Bedingungen im vollen Umfang (Niemann 2000, Drews 2003). Zur Erfassung der sortenspezifischen Konkurrenzkraft können darüber hinaus verschiedene Methoden eingesetzt werden (Böhm 2016). Einerseits kann der Einfluss auf die natürlich vorkommenden Unkräuter erfasst werden, wobei meist eine unregelmäßige Verteilung der Verunkrautung auf der Versuchsfläche und standortspezifische Unterschiede zu Problemen bei der Datenauswertung führen können, die die statistische Verwertbarkeit gefährden (Böhm 2016, Paulsen et al. 2007). Dies kann durch die Verwendung von „künstlichen Unkräutern“ bzw. „Modellunkräutern“ vermieden werden, da auf diese Weise gleiche Verunkrautungsbedingungen auf der gesamten Fläche sichergestellt werden können (Böhm 2016). Sogenannte „künstliche Unkräuter“ können aus einer Art, z.B. *Sinapis alba* (Verschwele 2014) und

Lolium rigidum (Lemerle et al. 1995) oder Gemengen mit mehreren mono- und dikotylen Arten (Böhm 2016, Harker et al. 2008) bestehen, um verschiedene Unkraut-Sortentypen zu simulieren. Durch die Wahl der Methode zur Erfassung der unkrautunterdrückenden Wirkung können somit ebenfalls unterschiedliche Ergebnisse in der Literatur begründet sein.

2.2 Gemengeanbau

Gemengeanbau ist als gemeinsamer Anbau von zwei oder mehr Hauptkulturarten gleichzeitig auf einem Feld über die gesamte oder den Großteil der Vegetationsperiode definiert, wobei die Kulturen miteinander interagieren (Vandermeer 1989). Durch Komplementarität der Kulturarten in ihrem Bedarf an Wasser, Licht und Nährstoffen kann der vorhandene Ressourcenpool effizienter genutzt werden, wodurch positive Effekte auf den Ertrag, die Ertragsstabilität, das Unkrautunterdrückungsvermögen sowie Krankheits- und Schädlingsbefall entstehen (Anil et al. 1998, Döring 2015, Liebman und Dyck 1993, Smith et al. 2013, Strydhorst et al. 2008). So belegten beispielsweise Hauggaard-Nielsen et al. (2008) eine bis zu 50 % effektivere Ressourcenausnutzung, eine Steigerung der Fixierungsrate um 10-15 % sowie 20-40 % weniger Krankheitsbefall im Gemengeanbau von Körnerleguminosen und nicht-legumen Partnern gegenüber den Reinsaaten.

2.2.1 Ertragswirkung

Die Steigerung des Korn- und Gesamtpflanzenenertrags und der Ertragsstabilität von im Gemenge angebauten Körnerleguminosen mit einem Nicht-Leguminosen-Partner ist in einer Vielzahl von Studien belegt (Aufhammer 1999). Zudem kann im Gemengeanbau mit Körnerleguminosen zur Ganzpflanzennutzung zumeist ein höherer Proteinertrag und ein besserer Futterwert als in Getreidereinsaat erzielt werden (Anil et al. 1998, Carr et al. 1998, Strydhorst et al. 2008). Die meisten Erkenntnisse liegen für Gemenge aus Erbse (*Pisum sativum*) und Getreide vor, wobei sich insbesondere der Gemengeanbau von Sommerformen mit Sommergerste (*Hordeum vulgare*) (Corre-Hellou et al. 2011, Hauggaard-Nielsen et al. 2001) und Hafer (*Avena sativa*) (Lauk und Lauk 2008, Rauber et al. 2000, Urbatzka et al. 2012) sowie als Winterung mit Triticale (*Triticosecale*) (Gronle et al. 2015a) und Winterroggen (*Secale cereale*) (Urbatzka et al. 2011) als gut erprobtes Anbausystem mit Mehrererträgen gegenüber den Körnerleguminosenreinsaaten erwiesen haben. In einem vergleichenden Versuch zeigten Hafer und Sommerweizen (*Triticum aestivum*) als Getreidepartner im Gemenge mit Sommererbsen höhere Mehrererträge in Bezug auf den Kornenertrag als Sommergerste (Lauk und Lauk 2008). Es wird jedoch betont, dass die Gemengeeignung auch von der Sortenwahl beeinflusst wird (Lauk und Lauk 2008). Die positiven Effekte des Gemengeanbaus sind außerdem auf günstigen Standorten und bei geringerem Unkrautdruck weniger deutlich (Anil et al. 1998, Hänsel 2007, Urbatzka et al. 2012). Weiterhin zeigt der Gemengeanbau von Sommererbsen und Leindotter (*Camelina sativa*) Vorteile, die durch das Unkrautunterdrückungspotenzial und die Trockentoleranz des Leindotters geprägt sind (Ackermann und Saucke 2005, Gollner et al. 2010, Makowski und Pscheidl 2003, Paulsen et al. 2007, Urbatzka et al. 2012). Der Gemengeanbau von Ackerbohnen (*Vicia faba*) mit Hafer (Helenius und Jokinen 1994, Kahnt 2008), Sommergerste (Agegnehu et al. 2006, Kahnt 2008) und Sommerweizen (Wolfe et al. 2013) ist ebenfalls als bewährtes System verbreitet, wobei Ackerbohnen durch ihren hohen Wuchs und gute Konkurrenzfähigkeit bereits ab einem Gemengeanteil von 37,5 % zusätzlich zu 100 % Sommergerstensaatdichte Mehrererträge bedingen können (Wolfe et al. 2013, Agegnehu et al. 2006).

Für den Gemengeanbau von Lupinen (*Lupinus* sp.) mit Getreide wird ebenfalls großes Potenzial gesehen, um einen hohen Korn- und Proteinertrag (Böhm et al. 2008a) zu erreichen

bzw. einen hohen Ganzpflanzenertrag, gute Futterwerte sowie Silierbarkeit zu gewährleisten (Azo et al. 2012). Laut Palmason et al. (1992) decken Blaue Süßlupinen im Gemenge mit Getreide bis zu 96 % ihres N-Bedarfs durch Luft-N-Fixierung (92 % in Reinsaat) und stehen somit nicht in Konkurrenz zum Partner. Außerdem kann im Gemengeanbau der Getreidepartner von der Nährstoffmobilisierung (P, Mn, N) der Lupine profitieren (Gardner und Boundy 1983, Horst und Waschkies 1987) und so die Nährstoffaufnahme des Getreidepartners stimulieren (Wiche et al. 2016). Allerdings wurden Lupinengemenge in der Forschung bisher in weitaus geringerem Umfang berücksichtigt als solche mit Erbse und Ackerbohne (Berk et al. 2008, Böhm et al. 2008a), wobei zusätzlich die Literatur nach Korn- bzw. Ganzpflanzennutzung getrennt betrachtet werden muss.

In Bezug auf die Ganzpflanzennutzung stellt laut McKenzie und Spaner (1999) der Gemengeanbau von Weißer Lupine (*L. albus*) mit Hafer bei gleichen oder besseren Erträgen eine gute Alternative zum Sommererbsen-Hafer-Gemenge dar. Im Vergleich verschiedener Partner im Gemenge mit Weißer Lupine zur Nutzung als Ganzpflanzensilage stellte sich Weizen gegenüber Hafer durch eine höhere Landnutzungseffizienz (LER) bei akzeptablen Trockenmasseerträgen (TM) heraus (Jannasch und Martin 1999). Mais (*Zea mays*) erwies sich durch seine hohe Beschattungsleistung als ungeeignet (Carruthers et al. 2000, Jannasch und Martin 1999). Weiße Lupine zeigten im Gemenge mit Sommerweizen sowie Sommertriticale (Azo et al. 2012) oder Sommergerste (Mariotti et al. 2006) höhere Trockenmasse-Gesamterträge im Vergleich zur Reinsaat. Im Vergleich verschiedener Körnerleguminosen zeigten Erbsen-Sommergersten-Gemenge in einer Feldstudie in Kanada die höchsten TM-Erträge; die Ganzpflanzenerträge von Ackerbohne und Blauer Lupine (*L. angustifolius*) im Gemenge mit Sommergerste waren geringer aber auf gleichem Level (Strydhorst et al. 2008). Der höchste Proteinertrag wurde dabei im Ackerbohnen-Gemenge festgestellt (Strydhorst et al. 2008). Um einen hohen Anteil an Blauen Lupinen im Gemenge zu gewährleisten, empfehlen Strydhorst et al. (2008) einen weniger konkurrenzstarken Getreidepartner als Sommergerste zu wählen. So war bei 100 % Aussaatdichte (75 keimfähige Körner m⁻²) der Blauen Lupinen und reduzierter Getreidesaatdichte (30 %) der Anteil Blauer Lupine im Gemenge mit Sommerweizen (66 %) höher im Vergleich zu Gemengen mit Sommergerste (59 %) und Sommergerste-Hafer (51 %), der Gesamtertrag des Lupinen-Sommerweizen-Gemenge fiel jedoch 8 % geringer aus (Boström 2008). Mariotti et al. (2006) fanden ebenfalls in Sommerweizen-Gemengen mit 41 % höhere Anteile Weiße Lupine, als in Sommergersten-Gemengen (36 %), wobei in dieser Studie beide Partner in 100 % Aussaatdichte ausgebracht wurden (entspricht 80 keimfähigen Körnern m⁻² Weiße Lupine sowie 400 keimfähigen Körnern m⁻² für den Getreidepartner).

In Bezug auf die Körnernutzung fielen in einem Gemengeversuch von Knudsen et al. (2004) und Hauggaard-Nielsen et al. (2008) die positiven Effekte auf den Kornertrag bei der Blauen Süßlupine im Gemenge mit Sommergerste geringer aus als bei Erbse und Ackerbohne, was darauf zurückgeführt wurde, dass die untersuchte endständige Sorte der Blauen Lupine (cv. Prima) nicht mit dem Partner um Licht konkurrieren konnten und die N-Fixierung dadurch gehemmt wurde. Zudem zeigte lediglich das Ackerbohnen-Sommergersten-Gemenge eine höhere Ertragsstabilität als die Reinsaaten (Hauggaard-Nielsen et al. 2008). Auch Wichmann et al. (2003) fanden im Vergleich zu Erbse, Ackerbohne mit Sommergerste und Hafer signifikant niedrigere Kornerträge des Blauen Lupinen-Sommergersten-Gemenge gegenüber allen Varianten (inklusive Reinsaaten), wobei bei der Blauen Süßlupine Ernteverluste durch die späte Abreife der verzweigten Sorte (cv. Boltensia) auftrat. Šarūnaitė et al. (2010) konnten darüber hinaus in 2 von 3 Versuchsjahren ertragssteigernde Effekte des Gemengeanbaus von Körnerleguminosen (Erbse, Ackerbohne, Lupine und Saatwicken) mit Sommerweizen ermitteln und betonen den jahresbedingten Witterungseinfluss. Positive

Effekte wurden für den Gemengeanbau von Saatwicken und Sommerweizen beschrieben, während Lupinen-Sommerweizen-Gemenge geringere Erträge als die untersuchten legumen Partner sowie im Vergleich zur Sommerweizenreinsaat aufwiesen (Šarūnaitė et al. 2010). Eine Steigerung im Kornertag von Blauer Lupine im Gemenge mit Sommergerste und Sommerweizen wurde von Böhm et al. (2008a) belegt. Es wird jedoch Optimierungsbedarf für die Arten- und Sortenwahl sowie für das Anbausystem im Gemengeanbau von Blauer Lupine gesehen (Böhm et al. 2008a).

2.2.2 Unkrautunterdrückung

Als wichtigen ertragsbeeinflussenden Faktor wurde das Unkrautauftreten in Körnerleguminosenreinsaaten im Vergleich zum Gemengeanbau mit Getreide- bzw. Ölsaatenpartnern untersucht und das bessere Unkrautunterdrückungsvermögen im Gemenge vielfach belegt (Liebman und Dyck 1993). Begründet wird dies mit einer höheren Beschattungsleistung (Gronle und Böhm 2014) und/oder effizienterer Nutzung der Bodenressourcen (Corre-Hellou et al. 2011, Paulsen et al. 2007, Poggio 2005). Dabei ist die Konkurrenzintensität um limitierende Faktoren und somit auch die positive Wirkung des Gemenges witterungsabhängig (Gollner et al. 2010). Unterschiede im Anteil der Körnerleguminosen im Gemenge, Nutzung verschiedener Sorten und Anbauverfahren bedingen zusätzlich Abweichungen in den Ergebnissen (Azo et al. 2012). Zudem belegten Urbatzka et al. (2011) eine bessere Unkrautunterdrückung der Winterungen gegenüber den Sommerungen von Erbsen in Getreidegemengen.

Corre-Hellou et al. (2011) quantifizierten in europaweiten Versuchen eine dreifach höhere Unkrautbiomasse in der Sommererbsenreinsaat im Vergleich zum Gemenge mit Sommergerste und weisen darauf hin, dass die Unkrautbiomasse in der Reinsaat größeren Schwankungen unterliegt, als im Gemenge. Zusätzlich stellten sie heraus, dass der Unkrautbesatz im Gemenge einen geringeren Einfluss auf den Gesamtpflanzenertrag hat als in Reinsaat, wobei in Reinsaat vor allem bei starkem Unkrautdruck größere Ertragsverluste entstehen können (Corre-Hellou et al. 2011). Diese Ergebnisse werden von Poggio (2005) bestätigt, der betont, dass der unkrautunterdrückende Effekt im Gemenge von der Sommergerste ausging und keine Unterschiede im Unkrautartenspektrum zwischen Reinsaaten und Gemengen zur Ganzpflanzennutzung bestanden. Zudem nahm der unkrautunterdrückende Effekt mit steigender Biomasse der Kulturen zu (Poggio 2005). Ähnliche Ergebnisse werden auch im Gemengeanbau zur Körnernutzung von Hauggaard-Nielsen et al. (2001) beschrieben, die ein besseres Unkrautunterdrückungspotenzial des Erbsen-Sommergersten-Gemenge im Vergleich zu den Reinsaaten fanden und es auch auf Standorten mit hohem Unkrautdruck und geringen Stickstoffressourcen als N-effizientes Anbausystem empfehlen. Auf Gunststandorten steht jedoch dem Unkraut mehr mineralisierter Stickstoff zur Verfügung, weshalb der unkrautunterdrückende Effekt im Gemenge (Erbsen mit Sommerweizen und -gerste) geringer ausfallen kann (Hänsel 2007). Um diese Interaktionen mit einzubeziehen, empfehlen daher Urbatzka et al. (2012) für halbblattlose Sommererbsen zur Körnernutzung auf Flächen mit geringem Unkrautdruck eine Erbsenreinsaat und auf Flächen mit höherer Verunkrautung additive Gemenge mit Leindotter oder Hafer. Hafer stellt durch seine hohe Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern einen weiteren wichtigen Gemengepartner dar, da er die langsame Jugendentwicklung der Körnerleguminosen kompensieren kann, wie es aus Untersuchungen mit Sommererbsen (Begna et al. 2011, Lauk und Lauk 2008, Rauber et al. 2000, Urbatzka et al. 2012), Wintererbsen (Gronle et al. 2015b, Urbatzka et al. 2011) und Saatwicken (Böhm 2014) bekannt ist. Zudem konnte für Hafer ein allelopathischer Effekt auf das Unkrautwachstum durch wachstumshemmende Wurzelexudate nachgewiesen werden (Gronle et al.

2015b). Leindotter ist durch seine schnelle Keimung und Jugendentwicklung als Kulturart mit hoher Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern bekannt (Gollner et al. 2010). Ackermann und Saucke (2005) belegten, dass durch den Anbau von Sommererbsen im Gemenge mit Leindotter der Unkrautbesatz im Vergleich zur Erbsenreinsaat um bis zu 64 % gesenkt werden kann. Die unkrautunterdrückenden Effekte von Erbsen-Leindotter-Gemenge werden auch von Paulsen et al. (2007) bestätigt. In einer dänischen Studie wurden verschiedene Körnerleguminosen (Erbse, Ackerbohne, Lupine) im Gemenge mit Sommergerste verglichen und eine bessere Unkrautunterdrückung im Gemenge festgestellt (Hauggaard-Nielsen et al. 2008). Auch in Feldversuchen in Litauen, in denen Erbse, Ackerbohne, Lupine und Saatwicken als Gemengepartner für Sommerweizen untersucht wurden, konnte die Unkrautmasse durch den Gemengeanbau im Vergleich zu den Reinsaaten signifikant verringert werden (Šarūnaitė et al. 2010). Saatwickengemenge zeigten die beste Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut und durch den Anbau von Lupinen im Gemenge mit Sommerweizen konnte *Chenopodium album* L. besser unterdrückt werden als in Reinsaat (Šarūnaitė et al. 2010).

Im Gemengeanbau von Lupinen sind die unkrautunterdrückenden Effekte des Gemenges eingeschränkt, da Lupine als Partnerkultur eine geringere Konkurrenzkraft gegenüber dem Unkraut und auch dem Gemengepartner zeigen (Böhm et al. 2008a). So fanden Azo et al. (2012) keine signifikante Verringerung des Unkrautbesatzes in Gemengen von Weißer Lupine mit Sommerweizen und Sommertriticale zur Ganzpflanzennutzung, wobei tendenziell die Lupinenreinsaaten und Gemenge mit hohem Lupinenanteil stärker verunkrautet waren. Auch in Blauen Lupinengemengen zur Körnernutzung ist anzunehmen, dass unkrautunterdrückende Effekte eher vom Getreidepartner ausgehen (Hauggaard-Nielsen et al. 2008). Dies weist wiederum auf das geringe Unkrautunterdrückungspotenzial der Blauen Lupine hin und steht im Kontrast zum Ziel, durch höhere Anteile von Lupinen im Gemenge, einen besseren Proteinertrag zur Körnernutzung zu erreichen (Berk et al. 2008, Böhm et al. 2008a). Paulsen et al. (2007) quantifizierten den Unkrautdeckungsgrad [%] im Mittel über vier Standorte in Deutschland in Lupinenreinsaaten mit ca. 50 % am Ende der Vegetationsperiode, wohingegen die Unkrautdeckung in den Erbsenbeständen (Winterung und Sommerung) nur etwa 30 % betrug. Im Gemengeanbau mit Leindotter konnte die Unkrautpopulation im Lupinengemenge auf etwa 30 % und im Erbsengemenge auf unter 20 % gesenkt werden, was auf die höhere Bestandsdichte der Kulturpflanzen zurückgeführt wurde (Paulsen et al. 2007). Eine höhere Beschattungsleistung des Lupinen-Leindotter-Gemenge im Vergleich zur Lupinenreinsaat wurde jedoch erst zum Vegetationsende hin festgestellt, weshalb Licht nicht der einzige limitierende Wachstumsfaktor für das Unkraut gewesen sein konnte (Paulsen et al. 2007).

2.2.3 Gemengeanbau in Abhängigkeit vom Wuchstyp

Ausgehend von der Annahme, dass vor allem die Beschattung limitierend für das Unkrautwachstum ist, wurde der Wuchstyp der Körnerleguminosen als weiterer Faktor im Gemengeanbau hinzugezogen (Gronle und Böhm 2014). Untersucht wurden wiederum insbesondere Anbausysteme mit Winter- und Sommerformen der Erbse mit Getreide und dabei Reinsaaten und Gemenge mit normalblättrigen und halbblattlosen Sortentypen in ihrem Ertrag und Unkrautunterdrückungspotenzial verglichen. Wie bereits in 2.2.2 beschrieben, sind in Reinsaat normalblättrige Erbsensorten in ihrem Unkrautunterdrückungsvermögen den halbblattlosen Sorten, sowohl als Winterung (Gronle et al. 2015a) als auch als Sommerung (Spies et al. 2011) überlegen. Im Gemenge der Winterungen wurde für beide Sortentypen eine (tendenzielle oder signifikante) Steigerung des Unkrautunterdrückungsvermögens festgestellt, die zwar beim halbblattlosen Sortentyp stärker ausfiel, sich jedoch zwischen den

Sortentypen nicht signifikant unterschied (Gronle und Böhm 2014). Dem gegenüber sind laut Gronle et al. (2015a) Gemenge mit normalblättrigen Wintererbsen und Triticale den halbblattlosen Sortentypen überlegen. Für die entsprechenden Sommerungen ermittelten Hauggaard-Nielsen et al. (2008) in dreijährigen Feldversuchen 13 % höhere Erträge in Sommergerstengemengen mit halbblattlosen Erbsen als mit normalblättrigen Sortentypen auf sandigem Lehm, wobei es keine Unterschiede auf sandigen Standorten gab. Hänsel (2007) fand keine signifikanten Ertragsunterschiede im Gemengeanbau von normalblättrigen und halbblattlosen Erbsen mit Sommergerste sowie Sommerweizen, wobei normalblättrige Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge eher eine schlechtere Leistung zeigten. Auch der Unkrautdeckungsgrad war zwischen den Sortentypen nicht signifikant differenziert (Hänsel 2007). Sortenspezifische Unterschiede im Erbsen-Hafer-Gemengeanbau ergaben, dass die Höhe der Erbsenpflanze einen größeren Einfluss auf die Gemengeeignung hat als der Sortentyp (Rauber et al. 2001). So benennen Rauber et al. (2001) kurzstrohige Sorten als ungeeignet und erzielten stattdessen mit langstrohigen halbblattlosen Erbsen die besten Ergebnisse. In einem Gemengeversuch mit langstrohigen normalblättrigen Sommererbsen beeinträchtigten diese den Haferpartner während der Kornbildungs- und Kornfüllungsphase durch Beschattung, was geringere TKG-Werte und Kornerträge bei einem höheren Proteingehalt im Haferkorn zur Folge hatte (Lauk und Lauk 2008). Sortenunterschiede wurden auch im Gemengeanbau von Saatwicken mit Hafer untersucht, wobei die sortenspezifische Unkrautunterdrückung im Gemenge mit zunehmendem Anteil des Getreidepartners abnahm (Böhm 2014). Im Gemengeanbau mit Leindotter sind normalblättrige Erbsensorten dem halbblattlosen Sortentyp in ihrer Unkrautunterdrückung zwar überlegen, erfordern jedoch aufgrund ihrer geringeren Standfestigkeit höhere Leindottersaatdichten, was sich negativ auf den Körnerleguminosenertrag auswirkt (Gollner et al. 2010).

Bei einem vergleichenden Feldversuch von Erbse, Ackerbohne und Blauer Süßlupine im Gemenge mit Sommergerste zeigte die Blaue Süßlupine geringere Ganzpflanzenertragsleistungen, was der Autor neben der langsamen Jugendentwicklung auch auf die geringere Wuchshöhe im Vergleich zur Erbse und Ackerbohne zurückführt (Strydhorst et al. 2008). Hauggaard-Nielsen et al. (2008) und Knudsen et al. (2004) gehen zudem davon aus, dass der verzweigte Sortentyp der Lupine durch seine bessere Lichtausnutzung eine höhere interspezifische Konkurrenzkraft im Gemenge zeigen kann. So erzielte in einem Gemengeversuch mit Sommerweizen und Sommertriticale die verzweigte Sorte cv. Dieta der Weißen Lupine durch ihre schnelle Jugendentwicklung die besten Ergebnisse (Azo et al. 2012).

Differenzierte Studien zum Einfluss verschiedener Wuchstypen der Blauen Süßlupine (endständig oder verzweigt) auf Gemengeeignung und Unkrautunterdrückungspotenzial liegen nach Wissen der Autoren nicht vor und soll daher in diesem Projekt untersucht werden.

2.2.4 Gemengeanbau in Abhängigkeit der Saatkichte

In Bezug auf die Saatkichte lässt sich unterscheiden zwischen (i) Substitutionsgemengen, in denen relative Anteile des einen Gemengekomponenten durch den anderen ersetzt werden, sodass die relative oder in Prozenten ausgedrückte Saatkichte der jeweiligen Partner in der Summe 100 % bilden und somit vergleichbar zu den jeweiligen Reinsaaten sind und (ii) Additionsgemengen, in denen Saatkichten der Gemengekomponenten zusammengefügt werden, was eine insgesamt höhere relative Saatkichte (> 100 %) ergibt (Aufhammer 1999). Zumeist können die größten Mehrerträge in anteiligen Additionsgemengen also mit > 100 % bis < 200 % der Reinsaatdichte generiert werden (Döring 2015, Willey 1979). Eine optimale Pflanzendichte ist dabei keine Definitionsfrage, sondern steht in Abhängigkeit der gewählten Komponenten sowie der Standort- und Witterungsbedingungen (Aufhammer 1999, Willey

1979). In Reinsaat führen höhere Saaddichten zu einer besseren Konkurrenzkraft der Kultur gegenüber Unkräutern (Duthion et al. 1994, Lemerle et al. 2001, Singh et al. 2013). Im Gemengeanbau stellen auch die entsprechenden Partner potenzielle Konkurrenten dar, weshalb es wichtig ist, die Saaddichten der Konkurrenzkraft der Gemengepartner sowie dem standortbedingten Unkrautdruck anzupassen (Aufhammer 1999, Urbatzka et al. 2012, Willey 1979). Rauber et al. (2000) leiteten auf Grundlage von zweijährigen Feldversuchsdaten von Gemengen mit je zwei Sorten Sommererbsen (halbblattlos und normalblättrig) und Hafer sowie den entsprechenden Reinsaaten eine optimale relative Saaddichte von 87 % Erbsen und 13 % Hafer als Substitutionsgemenge mit maximalem relativem Gesamtertrag (RYT) ab. Dabei betonten sie jedoch, dass auf schlechteren Standorten eine geringere Bestockung des Hafer zu erwarten sei, weshalb der Haferanteil entsprechend erhöht werden müsste (Rauber et al. 2000). Auch Hauggaard-Nielsen et al. (2006) stellten die Dominanz des Getreidepartners (Sommerweizen) im Gemenge mit Sommererbsen heraus, wobei sie für Additivgemenge einen geringeren Anteil (< 100 % der Reinsaatdichte) des Sommerweizens empfehlen.

In Feldversuchen ist vielfach belegt, dass Lupinen als schwächerer Partner zumeist unterdrückt werden und eine geringere Konkurrenzkraft als andere Körnerleguminosen aufzeigen (Boström 2008, Hauggaard-Nielsen et al. 2008, Mariotti et al. 2006, Šarūnaitė et al. 2010, Strydhorst et al. 2008). Allgemein können höhere Lupinensaaddichten zwar zu einer besseren Konkurrenzkraft im Gemenge führen, jedoch erfordert der im Vergleich höhere Saatgutpreis der Lupinen eine Optimierung der entsprechenden Gemengezusammensetzung hinsichtlich des Mehrertrages (Boström 2008). Im Vergleich verschiedener Körnerleguminosen-Gersten-Gemenge hatten Variationen in der Saaddichte von Ackerbohnen, Sommererbsen und Lupinen (50 %, 100 %, 150 % und 200 % der Aussaatdichte in Reinsaat) bei 25 % Aussaatdichte der Gerstenreinsaat keinen Einfluss auf den Ganzpflanzengesamtertrag, erhöhten aber den Leguminosenanteil im Gemenge und den Proteinertrag (Strydhorst et al. 2008). In Substitutionsgemengen mit Weißer Lupine und Sommerweizen bzw. Sommerticale waren Mehrerträge der Gesamtpflanzen verglichen mit den Reinsaaten unabhängig vom der Lupinensaaddichte, wobei wiederum der Ertragsanteil der Lupine am Gesamtertrag bei höherer Saaddichte und späterer Ernte zunahm (Azo et al. 2012). Böhm et al. (2008a) fanden einen signifikanten Einfluss der Saaddichte auf den Kornertrag von Blauer Lupine im Substitutionsgemenge mit Sommergerste und Sommerweizen. So hatte eine Steigerung des Anteils Blauer Süßlupine im Substitutionsgemenge einen Rückgang des Gesamtkornertrags zur Folge, was die geringe Konkurrenzkraft der Blauen Lupine im Gemenge verdeutlicht und sie somit zu einem anspruchsvolleren Partner macht als beispielweise die Erbse (Böhm et al. 2008a). Auch in Additivgemengen von Erbsen beispielsweise mit Hafer wird empfohlen, dass die Saaddichte des Haferpartners gering gehalten werden sollte ($\frac{1}{4}$ der Aussaatdichte, entsprechend 75 keimfähige Körner m^{-2}), da sonst der Ertrag des Erbsenpartners zu stark reduziert wird (Urbatzka et al. 2012).

Der Einfluss der Saaddichte auf das Unkrautvorkommen in Gemengen mit Körnerleguminosen und Nicht-Körnerleguminosen wird ebenfalls konträr diskutiert. Dabei bleibt unklar, welche Bedeutung dem Getreideanteil im Gemenge für dessen unkrautunterdrückende Wirkung zukommt: während Corre-Hellou et al. (2011) keinen Zusammenhang zwischen der Saaddichte und dem Unkrautunterdrückungspotenzial in Additiv- und Substitutionsgemengen mit Sommererbsen und Getreide zur Ganzpflanzennutzung sahen, wiesen Gronle und Böhm (2014) ein höheres Unkrautunterdrückungspotenzial des Wintererbsen-Gemenges zur Körnernutzung bei höherem Getreideanteil nach, wobei dieser Effekt erst zur Erbsenblüte auftrat. Ackermann und Saucke (2005) belegten, dass die unkrautunterdrückende Wirkung

des Anbaus von Erbsen im Additivgemenge mit Leindotter nicht in Abhängigkeit zur Saatedichte des Leindotter (300 und 600 keimfähige Körner m⁻²) steht. Im Substitutivgemenge zur Ganzpflanzennutzung von Weißer Lupine und Sommerweizen bzw. Sommertriticale fanden Azo et al. (2012) keine signifikante Verringerung des Unkrautbesatzes im Vergleich zu den Reinsaaten, wobei tendenziell die Lupinenreinsaaten und Gemenge mit hohem Lupinenanteil stärker verunkrautet waren. Dies weist wiederum auf das geringe Unkrautunterdrückungspotenzial der Lupine hin und steht im Kontrast zum Ziel, durch höhere Anteile von Lupinen im Gemenge, einen besseren Proteinertrag zu erreichen (Berk et al. 2008).

3 Material und Methoden

Im Rahmen des Projektes *LupiBreed* wurde in einem dreijährigen Feldversuch in den Jahren 2015 bis 2017 die Konkurrenzkraft neuer Prebreeding-Linien der Blauen Süßlupine gegenüber Unkräutern und Mischungspartnern im Gemengeanbau erfasst und bewertet, indem verschieden ausgeprägte Konkurrenzsituationen durch Variation der Gemengepartner sowie der Saattiefe geschaffen wurden. Im ersten Projektjahr wurde ein Prüfsystem mit zwei Sorten etabliert, welches in den beiden Folgejahren zur Prüfung ausgewählter Prebreeding-Linien eingesetzt wird.

3.1 Standort und Witterung

Der Feldversuch wurde am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau auf dem Standort Trenthorst (sandiger Lehm, 696 mm Niederschlag, 9°C Jahresdurchschnittstemperatur (DWD-Station Lübeck, Zeitraum 1986-2015)) in Schleswig-Holstein durchgeführt. Die Versuchsflächen werden seit dem 01.01.2001 nach den EU-Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet und zeichnen sich vorherrschend durch den Bodentyp Parabraunerde mit stellenweiser Pseudovergleyung und einer Bodenwertzahl von 50 Bodenpunkten aus. Bodenchemische Kenndaten sowie Einordnung in Gehaltsklassen A – E nach Richtwerten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Februar 2018) sind in Tabelle 1 aufgeführt (Niedersachsen 2018).

Tabelle 1: Bodenchemische Kennwerte der Versuchsflächen im Oberboden (0-30 cm) sowie Einordnung in die Gehaltsklassen A – E nach Richtwerten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Januar 2018) (Niedersachsen 2018).

	Parameter	pH-Wert	P [mg/100g]	K [mg/100g]	Mg [mg/100g]	C _{total} [%]	N _{total} [%]
2015		6,7	7,2	10,9	8,75	1,33	0,12
	Gehaltsklasse	C	C	C	C	-	-
2016		6,7	5,7	10,8	10,8	1,18	0,11
	Gehaltsklasse	C	C	C	D	-	-
2017		6,6	5,3	8,3	8,9	1,26	0,12
	Gehaltsklasse	C	C	B	C	-	-

Die Feldversuche wurden in der Betriebsfruchtfolge nach Winter- bzw. Sommerweizen und vor Triticale in einem Schlag mit Ackerbohnen-Hafer-Gemenge angebaut. Die Betriebsfruchtfolge umfasst folgende Fruchtarten: Klee gras – Klee gras – Mais – Weizen – Ackerbohnen-Hafer-Gemenge – Triticale.

Die Witterung war in den drei Versuchsjahren sehr unterschiedlich (Abbildung 1) mit zum Teil deutlichen Abweichungen vom langjährigen Mittel (1986 – 2017), das für die mittlere Jahrestemperatur 9,0°C und 698 mm Jahresniederschlag beträgt. In allen 3 Versuchsjahren war es mit 9,8°C (2015) und 9,7°C (2016 und 2017) deutlich wärmer. Im Jahr 2015 lag der Jahresniederschlag mit 654 mm auf vergleichbarem Niveau mit dem langjährigen Mittel. Während das Jahr 2016 mit 607 mm deutlich trockener war, zeichnete sich das Jahr 2017 mit 861 mm Jahresniederschlag durch anhaltende Feuchtigkeit aus. Die immer wiederkehrenden Niederschlagsereignisse im Frühjahr 2017 führten daher zu einer sehr späten Aussaat des Versuches.

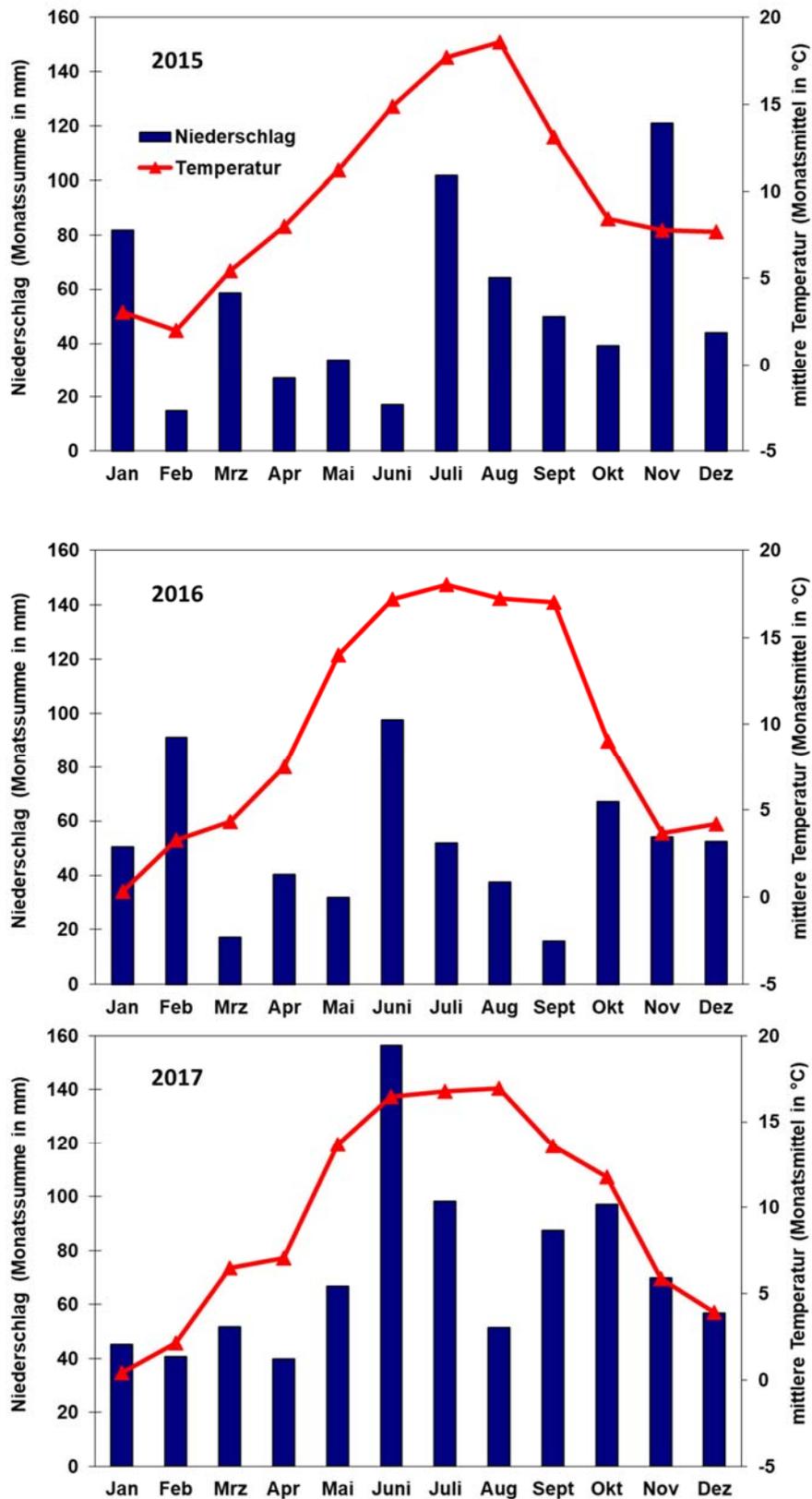


Abbildung 1: Lufttemperatur (Monatsmittel in °C) und Niederschlag (Monatssumme in mm) in den Versuchsjahren 2015 bis 2017 der DWD-Wetterstation Lübeck (DWD 2017).

3.2 Versuchsaufbau

Im Versuchsjahr 2015 wurde ein Prüfsystem erarbeitet, mit dem die unkrautunterdrückende Wirkung bei der Blauen Süßlupine (*L. angustifolius*) sowie deren Eignung zum Gemengeanbau erfasst und bewertet werden konnte, um in den beiden Folgejahren konkurrenzstarke Prebreeding-Linien (PBL) identifizieren zu können.

Hierzu wurde ein Parzellenversuch in 3-facher Feldwiederholung mit zwei sich phänologisch stark unterscheidenden Sorten (cv. Boruta [BL-E, endständiger Typ, 130 keimfähige Körner m⁻²], cv. Boregine [BL-V, verzweigter Typ, 100 keimfähige Körner m⁻²]) in Kombination mit ausgewählten Partnerkulturen, die sowohl als sogenannte „künstliche Unkräuter“ als auch als Gemengepartner fungierten, in jeweils vier Aussaatstärken [SD1 bis SD4] angelegt (Tabelle 4). Als Partnerkulturen wurden zum einen monokotyle Pflanzen (Sommerweizen [SW] (*Triticum aestivum*) und Hafer [HA] (*Avena sativa*)) als auch dikotyle Arten (Leindotter [LD] (*Camelina sativa*) bzw. ein Artengemisch aus Raps (*Brassica napus*), Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) und Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) als künstliche Unkräuter [KU] eingesetzt. Als Kontrolle dienten die beiden in Reinsaat gedrillten Lupinensorten, die zum einen von Hand unkrautfrei gehalten wurden [BL-E_oUK, BL-V_oUK], zum anderen mit den am Standort natürlich vorkommenden Unkräutern aufwuchsen. Ebenso wurden die Partner Sommerweizen, Hafer und Leindotter in Reinsaat angebaut.

In den Versuchsjahren 2016 und 2017 wurden jeweils acht Prebreeding-Linien (verschiedene Wuchstypen, 100 keimfähige Körner m⁻²) der Blauen Süßlupine sowie die zwei bereits 2015 eingesetzten, zugelassenen Sorten als Referenzsorten im gleichen Versuchsdesign auf ihr Unkrautunterdrückungspotenzial und ihre Gemengeeignung getestet, wobei die Partnerkulturen SW, HA, LD und KU auf Basis der Ergebnisse aus dem Jahr 2015 nur in 2 Saatkulturen (SD2 und SD4) geprüft wurden (siehe Tabelle 2). Als Kontrolle wurde wiederum eine konkurrenzfreie Situation geschaffen, indem die Reinsaaten der insgesamt 10 Sorten bzw. Prebreeding-Linien der Blauen Süßlupine manuell unkrautfrei gehalten wurden. Außerdem wurden Reinsaaten aller Kulturen mit am Standort vorkommendem Unkraut untersucht. Die Versuchsfaktoren und deren Faktorstufen sind in Tabelle 2 aufgeschlüsselt.

Aus den entsprechenden Varianten ergaben sich 309 Parzellen mit 1,25 m x 4 m Brutto-Größe, auf denen die in 3.4 beschriebenen Parameter erfasst wurden (siehe auch Abbildung 4 in Kap. 3.4).

Tabelle 2: Versuchsfaktoren und deren Faktorstufen sowie Kontrollvarianten im Feldversuch.

Faktor	Faktorstufe	(Versuchsjahre)	[Abkürzung]
1. Sorte / Prebreeding-Linie	1.1	Sorte Boruta (endständig), (2015 – 2017)	[BL-E]
	1.2	Sorte Boregine (verzweigt) (2015 – 2017)	[BL-V]
	1.3	Prebreeding-Linie 1 (2016 und 2017)	[PBL 1]
	1.4	Prebreeding-Linie 2 (2016 und 2017)	[PBL 2]
	1.5	Prebreeding-Linie 3 (2016 und 2017)	[PBL A2]
	1.6	Prebreeding-Linie 4 (2016 und 2017)	[PBL A3]
	1.7	Prebreeding-Linie 5 (2016 und 2017)	[PBL 5]
	1.8	Prebreeding-Linie 6 (2016 und 2017)	[PBL B5]
	1.9	Prebreeding-Linie 7 (2016 und 2017)	[PBL 7]
	1.10	Prebreeding-Linie 8 (2016 und 2017)	[PBL B15]
2. Partner	2.1	Sommerweizen	[SW]
	2.2	Hafer	[HA]
	2.3	Leindotter	[LD]
	2.4	künstliche Unkräuter	[KU]
3. Saatdichte	3.1	niedrige Saatdichte (nur 2015) (SW, HA, KU 30 und LD 100 keimfähige Körner m ⁻²)	[SD1]
	3.2	niedrige Saatdichte (2015 – 2017) (SW, HA, KU 60 und LD 200 keimfähige Körner m ⁻²)	[SD2]
	3.3	niedrige Saatdichte (nur 2015) (SW, HA, KU 90 und LD 300 keimfähige Körner m ⁻²)	[SD3]
	3.4	niedrige Saatdichte (2015 – 2017) (SW, HA, KU 120 und LD 400 keimfähige Körner m ⁻²)	[SD4]
Kontrollen / Reinsaaten	Reinsaaten Lupinen ohne Unkraut [ohne UN] (mechanisch unkrautfrei gehalten) Reinsaaten Lupinen mit natürlichem Unkrautbesatz [mit UN] (mit Unkrautregulierung) Reinsaaten Partner [SW, HA, LD] mit natürlichem Unkrautbesatz (ohne Unkrautregulierung)		

Die Aussaatdichte der Reinsaaten der Gemengepartner betragen bei Sommerweizen 420 keimfähige Körner m⁻², bei Hafer 350 und bei Leindotter 600 keimfähige Körner m⁻². Im Gemenge wurden Lupinen mit 100 % der Reinsaat-Aussaatdichte ausgebracht, woraus sich unter Einbeziehung der Saatdichten der Partner entsprechend Additivgemenge ergaben. Die beiden Referenzsorten der Blauen Süßlupine, Boruta und Boregine, wurden vom Projektpartner Saatzucht Steinach bezogen. Die Prebreeding-Linien wurden vom Julius Kühn-Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen entwickelt und sind nicht als Sorten eingetragen (siehe 3.5). Als Gemengepartner wurden die Sorten Tybalt (SW), Alonso (HA), Lisette (Phacelia) sowie Adriana (Winterraps) und Handelssaatgut der Firma Camena P24163 (LD) bzw. P24103 (Buchweizen) gewählt.

3.3 Versuchsdurchführung

Im Herbst des Vorjahres wurde nach der Ernte der Vorkultur Weizen auf den zukünftigen Versuchsfeldern eine Erhaltungskalkung (30 dt Coccolithenkalk ha⁻¹) durchgeführt, gefolgt von einer flachen (ca. 4-6 cm) Stoppelbearbeitung mit einem Exaktgrubber (Fa. Köckerling). Je nach Witterungsbedingungen erfolgte im Zeitraum Ende September bis Mitte Oktober die Grundbodenbearbeitung mit einem 5-Schar-Pflug (Albatros von Rabe). Im Frühjahr wurde, sobald die Befahrbarkeit der Flächen gegeben war, das Pflugland im April mit einer leichten Egge (Koralle von Fa. Lemken) aufgezogen und je nach Bodenbeschaffenheit mit Saatbettkombinationen (Allrounder, Fa. Köckerling; Germinator, Fa. Kongskilde; Koralle, Fa. Lemken) ein- bis zweimal bearbeitet. Am folgenden Tag wurde das Saatbett im Versuchsfeld mit einer Kreiselegge mit 4 m Arbeitsbreite (Zirkon, Fa. Lemken) bereitet, wobei der letzte Bearbeitungsgang in Drillrichtung des Parzellenversuches ausgeführt wurde (Tabelle 3).

Das Saatgut der Lupinen wurde zur Sicherstellung der Symbiose mit den Knöllchenbakterien (*Bradyrhizobium lupini*) mit Rhizobien geimpft. Dazu wurde entsprechend der Anleitung des Herstellers verfahren, d.h. 400 g HISTICK L (Fa. BASF Agricultural Solutions) auf 100 kg Saatgut. Die für die jeweilige Saatgutpartie benötigte Menge wurde abgewogen und direkt vor der Aussaat anteilig auf das leicht mit Wasser befeuchtete Saatgut gegeben und vermengt.

	2015	2016	2017
Kalkung (30 dt CaO ha ⁻¹)	29.08.2014	22.08. 2015	01.09.2016
Stoppelbearbeitung	19.09.2014	24.08. 2015	14.09.2016
Grundbodenbearbeitung	24.09.2014	25.10. 2015	15.10.2016
Saatbettbearbeitung (Koralle)	13.04.2015	11.04.2016	07.04.2017
Saatbettbearbeitung	14.04. 2015 (Köckerling)	20.04.2016 (Kongsgilde + Allrounder)	10.05.2017 (Koralle)
Kreiselegge (Zirkon, 4m)	15.04.2015	21.04. 2016	11.05.2017
Aussaat	16.04.2015	22.04. 2016	12.05.2017
1. Zeiternte (Sprossentwicklung)	24.-26.06.2015	13.-22.06.2016	19.-28.06.2017
2. Zeiternte (Blüte)	06.-08.07.2015	11.-20.07. 2016	10.-19.07.2016
Garbenernte (Vollreife)	26.08.-21.09.2015	28.08.-20.09. 2016	29.08.-16.10.2017

Tabelle 3: Bewirtschaftungsmaßnahmen in den Feldversuchen für die Jahre 2015 bis 2017.

Die Aussaat erfolgte mit einem Hege-Trägerfahrzeug und einer Versuchsdrillmaschine (Hege 80, Fa. Hege) mit 1,5 m Spurbreite in zwei Überfahrten. In der ersten Überfahrt wurden die Samen der Gemengepartner gedrillt und in der zweiten die Lupinensamen, beide mit einer Reihenweite von 12,5 cm und einer Aussaattiefe von 2-3 cm. Um Wild- und Hasenverbiss vorzubeugen, wurde um die Versuchsfeldherum ebenfalls Lupine gedrillt und zusätzlich ein Elektrozaun aufgebaut. Gegen Vogelfraß wurden Flugdrachen (Standard Eco, Fa. Vogelscheuche.de) installiert. In den Versuchen erfolgte keine flächendeckende mechanische Unkrautkontrolle mittels Striegel. Lediglich die Kontrollparzellen der Blauen Lupinen ohne

Unkrautbewuchs wurden händisch unkrautfrei gehalten. Ferner wurden im Versuch Wurzelunkräuter wie Ackerkratzdisteln und Ampfer aus den Parzellen entfernt. Düngungsmaßnahmen wurden ebenfalls nicht vorgenommen. In Tabelle 3 sind die Bewirtschaftungsmaßnahmen für die drei Versuchsjahre zusammengefasst.

3.4 Untersuchungsmethoden

Bonituren und Pflanzenzählungen

Als pflanzenbaulicher Parameter wurde das Datum des Feldaufgangs bonitiert sowie der Feldaufgang bestimmt, wobei alle Pflanzen auf einer Länge von einem Meter in jeweils 4 Reihen pro Parzelle ausgezählt wurden.

Die Entwicklungsstadien der Pflanzen wurden regelmäßig bzw. zu den jeweiligen Beprobungsterminen anhand der BBCH-Stadien (Meier 2001) erfasst.

Weiterhin wurde der HEB-Index (Sauer mann 2007) bestimmt, wofür die Wuchshöhe der Pflanzen drei Mal pro Parzelle zur Vollblüte und zur Reife gemessen wurde.

Der Deckungsgrad (in Prozent) wurde zu den Zeiternten und zur Garbenernte (Vollreife) getrennt für die Kulturarten, künstliche Unkräuter und natürlich am Standort vorkommende Unkräuter geschätzt.

Eine Lagerbonitur (in Prozent) erfolgte zur Reife vor der Beerntung der 1 m² großen Erteparzellen für die Garbenernte.

Um die Prebreeding-Linien einem Wuchstyp zuordnen zu können, wurden darüber hinaus Bonituren des Verzweigungsgrades in den Reinsaaten der Prebreeding-Linien der Blauen Süßlupine zu Beginn der Reife durchgeführt. Dabei wurde der dominierende endständig/verzweigt/ eher endständig) bonitiert.

Photosynthetisch aktive Strahlung (radiation) (PAR)

Die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) wurde zu verschiedenen Terminen während der Hauptwachstumsphase fünf (2015) bzw. vier Mal (2016 und 2017) pro Parzelle oberhalb des Kulturpflanzenbestandes (Gesamtstrahlung) und auf Höhe des Unkrautbestandes im Winkel von 45° zur Drillrichtung gemessen und ins Verhältnis gesetzt. Die Messungen erfolgten mit Hilfe des SunScan Canopy Analysis System type SS1 und BF5 Sunshine Sensor (Delta-T Devices, GB).

Beerntungen

Zu den Entwicklungsstadien Sprossentwicklung, Blüte und Vollreife der Blauen Lupine wurde die oberirdische Biomasse in den Parzellen per Hand geerntet, wobei Entnahmen aus der Mitte der Parzellen stattfanden, um Randeffekte zu vermeiden (Abbildung 2). Zur 1. Zeiternte (Sprossentwicklung) und zur 2. Zeiternte (Blüte) wurden 0,5 m² Schnitte bodennah entnommen und die Trockenmasse getrennt nach Lupine, Partner und natürlich vorkommenden Unkräutern durch Trocknung (Fa. Heraeus) für 48 h bei 105°C ermittelt. Die Biomasseerträge wurden auf die Bezugsgröße g Trockenmasseertrag m⁻² berechnet.

Zur Garbenernte (Vollreife) wurden 1 m² Schnitte bodennah entnommen und wiederum nach Kulturen und Unkräutern getrennt. Für das „künstliche Unkraut“ sowie das natürlich vorkommende Unkraut wurden entsprechend den vorherigen Zeiternten die Trockenmasse bestimmt. Die anderen Kulturen (Lupinen, SW, HA, LD) wurden auf einer Flächentrocknung bei 30-40°C in Säcken nachgetrocknet, um sie bis zur Weiterverarbeitung sicher lagern zu können.

Erfassung der Korn- und Stroherträge

Die Ertragsdaten wurden nach Korn und Stroh getrennt ermittelt, wobei die entsprechende Trennung mit einem Standdrescher (Allesdrescher K 35, Fa. Baumann) und anschließender Saatreinigung im Kleinprobenreiniger nach Schlingmann (Fa. Baumann) durchgeführt wurde. Die Trockenmasse für Korn und Stroh erfolgte wie bereits beschrieben bei 105°C. Alle Korn- und Stroherträge der Lupine, SW, HA und LD wurden erfasst und auf die einheitliche Bezugsgröße g Trockenmasseertrag m⁻² berechnet.

Tausendkorngewichtes

Das Tausendkorngewicht wurde mit einem Kornzählgerät (Contador, Fa. Pfeuffer) aus drei Stichproben mit je 200 Körnern bestimmt.

		1,25 m Parzellenbreite	
		1,00 m Ernte	
4,00 m Brutto-Parzellenlänge zur Aussaat	3,00 m Netto-Parzellenlänge		0,25 m Rand
			0,50 m ² 1. Zeiternte (Sprossentwicklung)
			0,25 m Rand
			0,5 m ² 2. Zeiternte (Blüte)
			0,25 m Rand
			1 m ² Garbenernte (Vollreife)
			0,25 m Rand

Abbildung 2: Beprobungsschema in den Parzellen zur 1. und 2. Zeiternte sowie Garbenernte.

Rohproteingehalt und -ertrag

Die Kornproben wurden in einer Cyclotec-Probenmühle (Foss Tecator 1093, SE) mit einem 1 mm Sieb vermahlen und anschließend der Stickstoffgehalt mit einem CNS-Analysator (Vario MAX Cube Elementar Analysensysteme, DE) analysiert. Der Rohproteingehalt wurde durch Multiplikation des N-Gehaltes mit dem Faktor 6,25 berechnet; alle Werte sind in Prozent auf Basis Trockenmasse angegeben. Der Rohproteinertrag wurde durch Multiplikation des Kornertrages mit dem Rohproteingehalt berechnet, wobei als einheitliche Bezugsgröße Gramm Protein pro m² gewählt wurde.

N_{min}-Gehalt im Boden

Nach der Ernte wurde jede Parzelle mit einem Bodenprobenentnahmegesetz (Fa. Fritzmeier, DE) in den Bodentiefen 0-30 und 30-60 cm beprobt. Die Proben wurden nach der Probenahme gekühlt und anschließend bis zur Analyse bei -17°C gelagert. Die Bestimmung des N_{min}-Gehaltes im Boden erfolgte nach Extraktion in 0,0125 M CaCl₂-Lösung nach VDLUFA (1991). Die Werte wurden auf die einheitliche Bezugsgröße mg kg⁻¹ umgerechnet. Die Ergebnisse werden für den Bodenhorizont 0-60 cm dargestellt.

3.5 Entwicklung der Prebreeding-Linien

In einem seit 2006 laufenden Mutageneseprogramm zur Erhöhung der genetischen Variabilität bei der Blauen Süßlupine am Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen des Julius Kühn-Instituts (JKI) in Groß Lüsewitz wurden Mutationslinien aus den Sorten Boruta, Boregine und Probor entwickelt (Rudloff 2011, Ruge-Wehling et al. 2016). Durch künstlich induzierte Mutation mittels Ethylmethansulfonat konnten von 40.000 Samen der Sorte Boruta beispielsweise 27.300 fertile Pflanzen in der ersten Generation geerntet werden (Rudloff 2011). In den folgenden Generationen wurden die Pflanzen auf Abweicher in Bezug auf morphologische Merkmale der Ausgangsform sowie Frohwüchsigkeit, Wuchstyp und Blütentyp untersucht. Dabei zeigten bereits in der zweiten Generation einige Zuchtlinien homogene Phänotypen und in der dritten Generation waren 70 % der untersuchten Zuchtlinien homogen (Rudloff 2011). Zwischen diesen Zuchtlinien konnte in der dritten und folgenden Generation durch Erfassungen an Einzelpflanzen große Variabilität in verschiedenen Ertragskomponenten (u.a. Pflanzenhöhe, Hülsen- und Samenanzahl, Tausendkorngewicht) festgestellt werden (Rudloff 2011). In der vierten Generation wurden sie vereinzelt nach ihrem Ertragspotenzial im Feldversuch selektiert und zu stabilen Linien weiterentwickelt. Diese zeichnen sich unter anderem durch neue Sortentypen aus, die eine hoch angesetzte Verzweigung aufweisen. In Vorversuchen konnte bereits für einige Zuchtlinien eine potentielle Überlegenheit im Kornertrag pro Pflanze gegenüber der Ausgangssorte Boruta festgestellt werden (Ruge-Wehling et al. 2016). Langfristig sollen somit neue ertragsstarke Sorten entstehen (Fischer et al. 2016). Im Rahmen des Projektes *LupiBreed* wurden acht dieser Zuchtlinien, im Folgenden Prebreeding-Linien (PBL) genannt) ausgewählt, um sie am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau auf ihre Gemengeeignung und ihr Unkrautunterdrückungspotenzial zu testen. Dazu wurden ca. 150 der beschriebenen Zuchtlinien über zwei Jahre vermehrt und über visuelle Bonituren (z.B. Bodenbedeckung, Bodenschattierung) wurden Zuchtlinien mit einem voraussichtlich guten Unkrautunterdrückungsvermögen ausgewählt (Roux 2017). In Tabelle 4 ist die Zuordnung der jeweiligen Prebreeding-Linien auf den Donor dargestellt. Die Mehrzahl der PBLs gehen auf den Donor Boruta zurück, nur die PBL 7 und PBL B15 auf den Donor Boregine. Vier der acht Prebreeding-Linien waren im Rahmen des Projektes *LupiBreed* am JKI in Groß Lüsewitz und auf den Flächen der Saatzucht Steinach in den 3-jährig durchgeführten Leistungsprüfungen für frühreifende Prebreeding-Linien (PBL A2 und PBL A3) bzw. spätreifenden Prebreeding-Linien (PBL B5 und PBL B15) unter verschiedenen Anbaubedingungen (u.a. ökologische Bewirtschaftung) integriert (Fischer et al. 2016, Ruge-Wehling et al. 2016). Vorläufige Ergebnisse aus dem ersten Prüffjahr zeigten dabei für die PBLs A2, A3 und B5 im Mittel über drei Umwelten 91 %, 114 % und 106 % Kornertrag im Vergleich zu Boruta, während PBL B15 mit 75 % deutlich unter dem Ertragspotential der Donorsorte Boregine lag (Roux 2017).

Tabelle 4: Zuordnung der Sorten und Prebreeding-Linien zu Wuchstypen (endständig (E), verzweigt (V), intermediär (E/V)) anhand der Wuchstypen-Bonitur sowie Angaben zum Donor der Prebreeding-Linien und entsprechende Kennzeichnung.

Sorte/ Prebreeding-Linie (PBL)	Donor	Wuchstyp	Abkürzung
Sorte Boruta	-	E	BL-E
Sorte Boregine	-	V	BL-V
Prebreeding-Linie 1	Boruta	E	PBL 1
Prebreeding-Linie 2	Boruta	E/V	PBL 2
Prebreeding-Linie A2	Boruta	E	PBL A2
Prebreeding-Linie A3	Boruta	V	PBL A3
Prebreeding-Linie 5	Boruta	V	PBL 5
Prebreeding-Linie B5	Boruta	V	PBL B5
Prebreeding-Linie 7	Boregine	V	PBL 7
Prebreeding-Linie B15	Boregine	V	PBL B15

3.6 Datenanalyse

Die Datenanalyse erfolgte getrennt für die Erfassung der sortenspezifischen Konkurrenzkraft (zweifaktorielle ANOVA) und der Gemengeeignung (dreifaktorielle ANOVA). Für alle Datensätze wurde das Statistikprogramm SAS (Version 9.4) verwendet und mit einer Varianzanalyse (ANOVA) unter Verwendung der Prozedur MIXED die Haupt- und Wechselwirkungen der jeweiligen Faktoren erfasst und das entsprechende Signifikanzniveau ermittelt. Bei signifikanten Zusammenhängen bzw. Wechselwirkungen wurden multiple Mittelwertvergleiche mittels Tukey-Test bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % abgeschlossen und signifikante Unterschiede unter Verwendung des SAS-Marco nach Piepho (2012) mit Buchstaben dargestellt. Dabei schlossen signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren die Betrachtung der Einzelfaktoren aus. Da bei pflanzlichen Ertragswerten in der Grundgesamtheit von Normalverteilung ausgegangen werden kann, wurde Normalverteilung der Residuen unterstellt (Kroschewski 2017). Weiterhin sind Tests auf Varianzhomogenität bei Stichprobenumfängen $n \leq 5$ nicht ausreichend robust, weshalb diese in der vorliegenden Arbeit ($n = 3$) nicht berücksichtigt wurden (Dufner et al. 2004). Zusätzlich wurden die Datensätze mit der Prozedur ROBUSTREG auf Ausreißer hin untersucht (Munzert 2015). Die Ergebnisse wurden mit Microsoft Office Excel 2010 dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Etablierung eines Prüfsystems (Versuchsjahr 2015)

Dargestellt werden die Ergebnisse der oberirdischen Biomasse der beiden angebauten Lupinensorten, der dazu ausgesäten Partnern, der Unkräuter sowie der Summe der Partner und der Unkräuter für den ersten (Tabelle 5) und den zweiten Beprobungstermin (Tabelle 6). In Tabelle 7 sind die Daten der Kornerträge für die Beerntung zur Vollreife und in Tabelle 8 die Rohproteinträge dargestellt. Eine statistisch abgesicherte Wechselwirkung trat beim ersten Termin für Lupine x Partner auf (Abbildung 3); in den Tabellen sind die Ergebnisse für die Hauptfaktoren dargestellt.

Zu beiden Beprobungsterminen wies die oberirdische Biomasse von BL-E signifikant höhere Werte auf als von BL-V. Gleichzeitig war die Unkrautbiomasse im Vergleich zu BL-E in BL-V signifikant höher. In Abhängigkeit der gewählten Lupinensorten zeigte sich zu beiden Terminen kein signifikanter Einfluss auf die gebildete oberirdische Biomasse der Partner. Die zusätzlich geprüften Reinsaaten ohne Unkrautkonkurrenz zeigten zu beiden Probenahme-terminen für BL-E_oUK geringere Biomasseaufwüchse als für BL-V_oUK.

Tabelle 5 Oberirdische Biomasse [g m⁻² TS] von Blauen Süßlupinen, Partnern und Unkraut in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupine, Partner und Saatkichten zum ersten Beprobungstermin zu ‚Sporentwicklung der Lupine‘.
(BL-E: Boruta, BL-V: Boregine, _oUN: ohne Unkraut, SW: Sommerweizen, HA: Hafer, LD: Leindotter, KU: künstliche Unkräuter, SD1 - SD4: Saatkichte 1 bis 4).

		Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS] von							
		Lupine		Partner		Unkraut		Partner+Unkraut	
Lupine	BL-E_oUN	101,27		-		-		-	
	BL-V_oUN	116,87		-		-		-	
	BL-E	132,10	b	111,25	n.s.	40,33	a	151,58	a
	BL-V	109,56	a	114,92	n.s.	50,99	b	165,91	b
Partner	SW	124,09	n.s.	112,08	b	49,21	b	161,29	ab
	HA	126,25	n.s.	111,52	b	51,64	b	163,16	b
	LD	111,38	n.s.	139,10	c	30,92	a	170,02	b
	KU	121,60	n.s.	89,63	a	50,88	b	140,52	a
Saatkichte	SD1	133,33	b	76,04	a	62,85	c	138,89	a
	SD2	121,48	ab	85,67	a	51,82	b	137,48	a
	SD3	112,43	a	141,15	b	38,63	a	179,78	b
	SD4	116,09	a	149,48	b	29,36	a	178,83	b

Der Hauptfaktor Partner hatte beim ersten Beprobungstermin keinen Einfluss, während zum zweiten Beprobungstermin Hafer eine signifikant höhere Biomasse aufwies als Leindotter. Die Unkrautbiomasse zeigte zu beiden Terminen die signifikant geringsten Werte in den Leindottervarianten, zum zweiten Termin war die Biomasse der künstlichen Unkräuter signifikant am höchsten. Von den Biomasseaufwüchsen der vier Partner zeigten zu beiden

Terminen die Leindottervarianten, gefolgt von Sommerweizen, die höchsten Werte, während die künstlichen Unkräuter die geringsten Biomasseaufwüchse aufwiesen. Die zum ersten Termin ausgewiesene Wechselwirkung Lupine x Partner (Abbildung 3) zeigte, dass die Leindottervarianten bei BL-E die signifikant geringsten Biomasseaufwüchse aufwiesen, nicht aber bei BL-V, wo keine signifikanten Unterschiede auftraten. Die Biomasseaufwüchse von Sommerweizen und Hafer waren zudem bei BL-E signifikant höher als bei BL-V.

Tabelle 6 Oberirdische Biomasse [g m^{-2} TS] von Blauen Süßlupinen, Partnern und Unkraut zum zweiten Beprobungstermin zur ‚Blüte der Lupine‘ in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupine, Partner und Saatkichten.
(BL-E: Boruta, BL-V: Boregine, _oUN: ohne Unkraut, SW: Sommerweizen, HA: Hafer, LD: Leindotter, KU: künstliche Unkräuter, SD1 - SD4: Saatkichte 1 bis 4).

		Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS] von							
		Lupine		Partner		Unkraut		Partner+Unkraut	
Lupine	BL-E_oUN	283,07		-		-		-	
	BL-V_oUN	352,67		-		-		-	
	BL-E	283,61	b	165,03	n.s.	44,54	a	209,57	n.s.
	BL-V	248,18	a	166,39	n.s.	56,83	b	223,08	n.s.
Partner	SW	263,24	ab	188,10	c	50,18	b	238,27	b
	HA	285,38	b	157,17	b	52,67	b	209,83	ab
	LD	244,31	a	199,16	c	35,41	a	234,57	b
	KU	270,65	ab	118,42	a	64,19	c	182,61	a
Saatkichte	SD1	291,52	c	99,27	a	75,61	c	174,88	a
	SD2	274,51	bc	155,93	b	52,73	b	208,66	b
	SD3	241,40	a	199,51	c	39,78	a	238,88	c
	SD4	256,16	ab	208,14	c	34,73	a	242,87	c

Der Faktor Saatkichte zeigte für alle untersuchten Parameter signifikante Effekte, wobei die von den Lupinen gebildete Biomasse mit zunehmender Saatkichte der Partner abnahm, während die oberirdische Biomasse der Partner zunahm und die Biomasse der Unkräuter wiederum abnahm. Diese Ergebnisse wurden bei der zweiten Beprobung weitestgehend bestätigt.

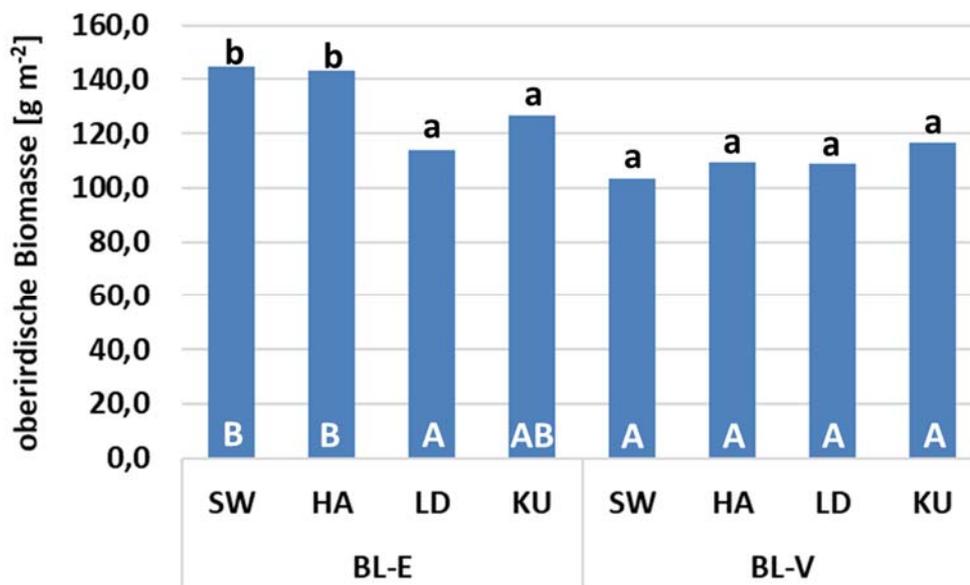


Abbildung 3 Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m⁻² TS] der Blauen Süßlupinensorten Boruta (BL-E) und Boregine (BL-V) in Abhängigkeit der Partner Sommerweizen (SW), Hafer (HA), Leindotter (LD) sowie des Gemenges aus künstlichen Unkräutern (KU) zum ersten Beprobungstermin ‚Spossentwicklung der Lupinen‘. Verschiedene große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Lupinensorte, verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Lupinensorten innerhalb des jeweiligen Partners.

In Tabelle 7 sind die Kornerträge aus dem Versuchsjahr 2015 zusammenfassend dargestellt. Die statistische Verrechnung zeigte, wie bereits für den oberirdischen Biomasseaufwuchs des 1. Beprobungstermins, eine Wechselwirkung von Sorte x Partner, die in Abbildung 4 dargestellt ist.

Die Kornerträge der endständigen Lupine waren im Mittel der geprüften Varianten mit 226,92 g m⁻² signifikant höher als die Kornerträge der verzweigter Lupinensorte mit 193,12 g m⁻². Allerdings lagen die Erträge in den unkrautfreien Vergleichsvarianten auf vergleichbarem Niveau. Ebenfalls lagen die Erträge der Partnerkulturen in BL-E höher als bei BL-V, sodass ebenso die Gesamterträge von BL-E signifikant höher waren als von BL-V. Die Lupinerträge in Abhängigkeit der Saatkulturen waren bei SD1 und SD2 auf vergleichbarem Niveau, aber signifikant höher als bei SD3 und SD4. Für die Partnerkulturen war der Ertrag in SD1 auf geringstem Niveau, gefolgt von den weiteren Saatkulturen, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen SD3 und SD4 gegeben war.

Tabelle 7 Körnerträge [g m⁻²TS] von Blauen Süßlupinen, Partnern sowie Gesamterträge in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupine, Partner und Saaddichte zum Zeitpunkt der Garbenernte (BL-E: Boruta, BL-V: Boregine, _oUN: ohne Unkraut, _mUN: mit Unkraut, SW: Sommerweizen, HA: Hafer, LD: Leindotter, KU: künstliche Unkräuter, SD1 - SD4: Saaddichte 1 bis 4).

		Körnertrag [g m ⁻²] von					
		Lupine		Partner		Gesamt	
Lupine	BL-E_oUN	298,49		-		-	
	BL-V_oUN	309,57		-		-	
	BL-E_mUN	250,17		-		-	
	BL-V_mUN	264,32		-		-	
	BL-E	226,92	b	89,02	b	318,61	b
	BL-V	193,12	a	72,05	a	264,45	a
Partner	SW	217,97	b	91,24	b	309,21	b
	HA	223,51	b	78,87	ab	302,38	b
	LD	191,52	a	71,48	a	263,00	a
	KU	207,09	ab				
Saaddichte	SD1	228,07	b	52,89	a	274,20	a
	SD2	217,80	b	74,21	b	288,30	ab
	SD3	196,47	a	102,02	c	304,86	b
	SD4	197,75	a	93,00	c	298,76	ab

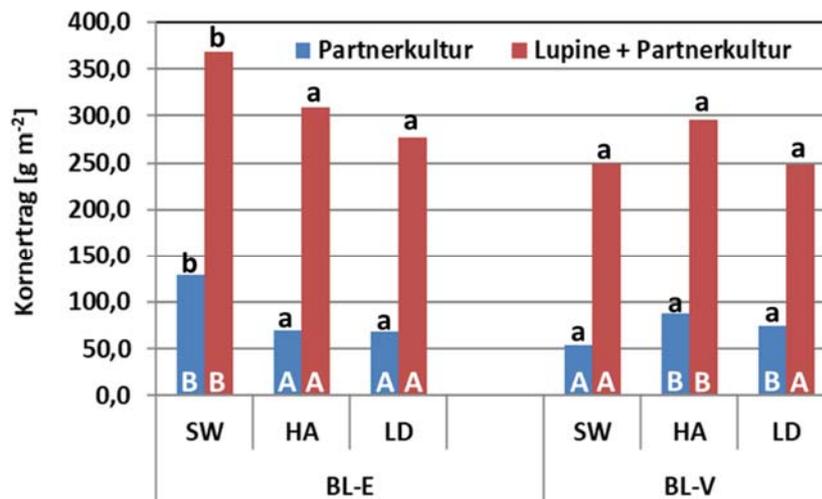


Abbildung 4 Körnertrag [g m⁻²TS] der Partnerkulturen sowie der Gesamtertrag der Blauen Lupinensorten Boruta (BL-E) und Boregine (BL-V) und der Partnerkulturen in Abhängigkeit der Partner Sommerweizen (SW), Hafer (HA) und Leindotter (LD). Verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Lupinensorte, verschiedene große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Lupinensorten innerhalb des jeweiligen Partners.

Die Wechselwirkung von Lupinensorte x Partnerkultur (Abbildung 4) zeigt vor allem, dass die Erträge bei der Partnerkultur als auch die Summe von Lupine und Partnerkultur in den Gemengen mit BL-E bei SW signifikant höher war als bei HA und LD, während diese in den Gemengen mit BL-V alle auf einem vergleichbaren Niveau lagen.

Tabelle 8 Rohproteinерträge [g m⁻² TS] von Blauen Süßlupinen, Partnern sowie Gesamt-RP-Erträge in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupine, Partner und Saaddichte zum Zeitpunkt der Garbenernte.
(BL-E: Boruta, BL-V: Boregine, _oUN: ohne Unkraut, _mUN: mit Unkraut, SW: Sommerweizen, HA: Hafer, LD: Leindotter, KU: künstliche Unkräuter, SD1 – SD4: Saaddichte 1 bis 4).

		Rohproteinерtrag [g m ⁻²] von				
		Lupine	Partner	Gesamt		
Lupine	BL-E_oUN	102,18	-	-		
	BL-V_oUN	97,84	-	-		
	BL-E_mUN	83,70	-	-		
	BL-V_mUN	86,29	-	-		
	BL-E	71,30	b	13,87	81,70	b
	BL-V	63,51	a	11,71	72,30	a
Partner	SW	70,09	b	12,61	82,70	b
	HA	71,95	b	8,77	80,70	b
	LD	59,91	a	16,98	76,79	b
	KU	67,71	b	-	67,71	a
Saaddichte	SD1	73,92	c	9,11	80,75	a
	SD2	70,25	bc	12,24	79,43	b
	SD3	61,83	a	15,68	73,58	c
	SD4	63,65	ab	14,13	74,24	bc

Die Rohproteinерträge der endständigen Sorte Boruta waren im Mittel der geprüften Varianten signifikant höher als die der verzweigten Sorte Boregine (Tabelle 8). Im Vergleich der unkrautfrei gehaltenen Varianten zeigte ebenfalls Boruta einen höheren Rohproteinерtrag als Boregine; in den Varianten mit dem am Standort vorkommenden Unkraut (mUN) kehrte sich dies jedoch um. Den signifikant geringsten Rohproteinерtrag (RP-Ertrag) zeigten die Lupinen in den Gemengen mit Leindotter gefolgt von den KU-Varianten. Der Einfluss der Saaddichten der Partner zeigte mit zunehmender Saaddichte mit Ausnahme von SD4 abnehmende Rohproteinерträge für die Lupine. Dies hatte jedoch keine Auswirkungen auf den Gesamtrohproteinерtrag. Auch zeigten die RP-Gesamterträge keine Abhängigkeit von der Wahl der Partner. Lediglich bei den KU-Varianten war der RP-Ertrag signifikant niedriger, was auf den fehlenden Partnerertrag der KU-Varianten zurückzuführen ist.

Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR)

Die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) wurde 2015 zu insgesamt 6 Terminen durchgeführt. Die erste Messung erfolgte zum EC-Stadium EC 77 der Lupine und wurden bis EC 86 weitergeführt. Hierbei zeigte sich, dass der Lupinen-Sorteneffekt erst mit zunehmender Entwicklung der Lupinen eingetreten ist, sodass ab EC 81 die PAR-Werte für Boruta höher lagen als bei Boregine, d.h. mehr Licht durch den Bestand auf den Boden drang. Dies verstärkte sich mit zunehmender Abreife der Bestände. Bezogen auf die Partner zeigte sich, dass mit zunehmender Abreife der Bestände am wenigsten Licht durch die KU-Varianten drang, während die anderen Partner nur wenig differenzierten und die Unterschiede nicht gleichgerichtet ausfielen. Ebenfalls zeigten sich keine deutlichen Unterschiede bei den verschiedenen Saatlängen.

N_{min}-Gehalte nach Ernte

Die Untersuchung des Bodens nach der Ernte auf die N_{min}-Gehalte zeigte bei der statistischen Verrechnung unter Einbeziehung der Faktoren Sorte, Saatlänge und Partner lediglich einen signifikanten Effekt für den Hauptfaktor Partner. Die N_{min}-Gehalte waren in den Gemengen mit den Partnern Weizen und Hafer mit 5,54 bzw. 5,24 mg kg⁻¹ N_{min} am höchsten. Signifikant am niedrigsten waren die Gehalte in den KU-Gemengen (3,79 mg kg⁻¹ N_{min}), während die LD-Varianten eine Mittelstellung einnahmen (4,70 mg kg⁻¹ N_{min}) und signifikant geringer waren als die der SW-Gemenge. Die N_{min}-Gehalte in den Reinsaat mit Unkraut und den Reinsaat ohne Unkraut lagen gegenüber den Gemengevarianten mit durchschnittlich 6,17 mg kg⁻¹ N_{min} etwas höher.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse aus dem ersten Projektjahr zeigen, dass die Partner, die als künstliche Unkräuter bzw. als Gemengepartner fungieren, alle erfolgreich etabliert werden konnten. Leindotter führte dabei zu der stärksten Beeinträchtigung der Entwicklung der Lupinen, die in diesen Varianten die geringsten Biomasseaufwüchse aufwies. Im Vergleich der Partner zeigten die Leindottervarianten zudem die höchsten Biomasseaufwüchse und gleichzeitig die geringsten Biomasseaufwüchse der natürlich am Standort vorkommenden Unkräuter. Das Artengemisch aus Raps, Phacelia und Buchweizen führte dagegen zu den geringsten Biomasseaufwüchsen, gleichzeitig wurde der Biomasseaufwuchs der Lupinen in diesen Varianten nur wenig beeinflusst. Im Vergleich der beiden angebauten Lupinensorten zeigte sich eine bessere unkräuterunterdrückende Wirkung bei der Sorte Boruta.

Höhere Saatlängen der Partner führten zu beiden Terminen zu geringeren Biomasseaufwüchsen bzw. Erträgen bei der Lupine und damit zu einer zunehmenden Konkurrenzsituation. Deutlich abnehmende Lupinen-Biomasseaufwüchse konnten jedoch vor allem für die beiden höheren Saatlängen festgestellt werden. Entsprechend fielen die Korn- und die RP-erträge in diesen Varianten am geringsten aus. Andererseits führten die höheren Saatlängen der Partner zu deutlich höheren Biomasseaufwüchsen bei den Partnern bzw. zu deutlich geringeren Biomasseaufwüchsen der natürlich am Standort vorkommenden Unkräuter und gleichzeitig zu den höchsten Korn- und RP-erträgen der Partnerkulturen.

Sollen unterschiedliche Konkurrenzsituationen für die Kulturpflanze Blaue Süßlupine geschaffen werden, kann aus den Ergebnissen abgeleitet werden, dass die Saatlänge SD2

geeignet ist, eine Situation mit geringerer und SD4 eine entsprechende mit höherer Konkurrenz abzubilden. Aus diesem Grund wurden die Versuche in den nächsten beiden Versuchsjahren, in denen die Prebreeding-Linien geprüft wurden, mit diesen Saatkulturen weitergeführt.

4.2 Prüfung neuer Prebreeding-Linien (Versuchsjahre 2016 und 2017)

In den Versuchsjahren 2016 und 2017 wurde auf Basis der Ergebnisse aus dem Versuchsjahr acht neue Prebreeding-Linien geprüft, wobei in den Versuchen die gleichen Partner (SW, HA, LD und KU) eingesetzt wurden, jedoch nur noch mit den beiden Saatkulturen SD2 und SD4 (vgl. Tabelle 2).

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Witterung (vgl. Abbildung 1) in den beiden Versuchsjahren war eine gemeinsame Auswertung der Daten nicht möglich, da zumeist Wechselwirkungen zwischen den Versuchsfaktoren und dem Jahr auftraten. Daher wurden die beiden Versuchsjahre 2016 und 2017 statistisch getrennt verrechnet.

4.2.1 Zuordnung der Wuchstypen

Die Ergebnisse der Bonituren der Sorten und Prebreeding-Linien in Bezug auf ihren Wuchstyp sind in Tabelle 4 zusammengefasst, in der zusätzlich Angaben zum Donor gemacht wurden. Bis auf PBL 2 konnten durch die Wuchstypen-Bonitur alle Sorten und Prebreeding-Linien eindeutig einem endständigen (E) bzw. verzweigtem (V) Wuchs zugeordnet werden. Lediglich die PBL 2 zeigte in den Parzellen und Jahren unterschiedliche Ausprägungen, sodass diese Linie als intermediärer Typ (E/V) eingestuft wurde. Zusammenfassend ergaben sich aus der Zuordnung zwei Prebreeding-Linien mit definiert endständigem Wuchstyp, fünf verzweigte und eine intermediäre Prebreeding-Linie. PBL 7 und B15, welche aus Boregine hervorgegangen sind, konnten entsprechend ihrem Donor dem verzweigten Wuchstyp zugeordnet werden. Die übrigen Prebreeding-Linien mit der endständigen Sorte Boruta als Donor zeigten unterschiedliche Wuchstypen (siehe Tabelle 4).

In den nachfolgenden Ergebnissen werden die Prebreedinglinien 1 bis 6 im Vergleich zu ihrer Referenzsorte Boruta (BL-E) betrachtet und Prebreeding-Linie 7 und 8 entsprechend in Bezug zu Boregine (BL-V) gesetzt, um einen Mehr- bzw. Minderertrag gegenüber dem Donor darstellen zu können. Im Vergleich der Wuchstypen werden die endständigen Prebreeding-Linien 1 und 3 (PBL 1 und PBL A2) den verzweigten Prebreeding-Linien 4 bis 8 (PBL A3, PBL 5, PBL B5, PBL 7, PBL B15) gegenübergestellt.

4.2.2 Sortenspezifische Konkurrenzkraft

Da die Konkurrenzkraft der Sorten bzw. Prebreeding-Linien der Blauen Süßlupine zum einen als Unkrautunterdrückungspotenzial und zum anderen als Unkrauttoleranz definiert werden kann (siehe Kap. 2.1), erfolgte die Datenanalyse ebenfalls differenziert. Entsprechend stand bei der Quantifizierung der Unkrauttoleranz der Ertrag der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien im Vordergrund, während die sortenspezifische Unkrautunterdrückung anhand der Unkrautbiomasse erfasst wurde.

4.2.3 Unkrauttoleranz

In Tabelle 9 sind die signifikanten Hauptwirkungen auf den oberirdischen Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS] der Lupinen zur ersten und zweiten Zeiternte sowie den Lupinenkornenertrag [g m^{-2} TS] zur Garbenernte für das Jahr 2016 dargestellt. Dabei stehen die Ertragswerte in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupinensorte bzw. Prebreeding-Linien sowie den Unkrautvarianten (ohne natürliches Unkraut (ohne UN), mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatkichte (KU_SD1) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatkichte (KU_SD2)). Zur Garbenernte gab es darüber hinaus eine signifikante Wechselwirkung von Lupine x Unkraut, welche in Abbildung 5 dargestellt ist.

Zur ersten Zeiternte unterschied sich die Lupinenbiomasse zwischen den Sorten bzw. Prebreeding-Linien, wobei Boruta und PBL B15 sowie PBL B5 die höchsten Lupinenbiomasseerträge zeigten (letztere jedoch nicht signifikant unterschiedlich zu PBL A2). Im Vergleich zu den Referenzsorten übertraf PBL B15 den Lupinenbiomasseertrag von Boregine signifikant, während PBL 7 mit der Referenzsorte gleichauf lag. Im Vergleich zu Boruta wurden für die entsprechenden Prebreeding-Linien signifikant geringere Lupinenbiomasseerträge ermittelt, wobei der Unterschied zu PBL B5 nicht signifikant war. Bei der Gegenüberstellung der verzweigten und endständigen Wuchstypen zeigte die endständige Referenzsorte Boruta zwar einen signifikant höheren Lupinenbiomasseertrag als die verzweigte Sorte Boregine, was jedoch im Vergleich der Prebreeding-Linien untereinander nicht bestätigt wurde. Hier zeichnete sich durch die höheren Ertragswerte von PBL B15 und PBL B5 eher eine Überlegenheit der verzweigten Prebreeding-Linien ab, wobei sich PBL A3, PBL 5 und PBL 7 nicht von den endständigen Prebreeding-Linien im Lupinenbiomasseertrag unterschieden.

Zur zweiten Zeiternte erbrachte nicht Boruta, sondern Boregine die signifikant höchsten Biomasseerträge genauso wie PBL B5 und PBL B15, die sich schon zur ersten Zeiternte am ertragsstärksten gezeigt hatten. Im Vergleich zur Referenzsorte zeigte PBL B15 somit keine Unterschiede zu Boregine; der Lupinenbiomasseertrag von PBL 7 war jedoch signifikant geringer. Boruta wurde von PBL B5 im Lupinenbiomasseertrag signifikant übertroffen, zeigte höhere Erträge als PBL A2, doch unterschied sich nicht von den anderen Prebreeding-Linien (PBL 1, PBL 2, PBL A3, PBL 5). Im Vergleich der verzweigten und endständigen Wuchstypen zeichnete sich im Vergleich der Prebreeding-Linien sowie zwischen den Referenzsorten zur zweiten Zeiternte ein höheres Lupinenertragspotenzial der verzweigten Wuchstypen ab, wobei die Unterschiede zwischen den Prebreeding-Linien nicht in allen Fällen signifikant waren.

Tabelle 9: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m⁻² TS] der Lupinen zur ersten und zweiten Zeiternte sowie deren Kornertrag [g m⁻² TS] zur Garbenernte des Jahres 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boruta, Boregine, PBL: Prebreeding-Linien) und Unkraut (ohne natürliches Unkraut (ohne UN), mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatedichte (KU_SD2) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatedichte (KU_SD4)).

		Lupinen				Kornertrag [g m⁻² TS]
		Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS]				
		1. Zeiternte		2. Zeiternte		
Lupine						Garbenernte
	Boruta	343,53	c	838,38	bc	354,80
	Boregine	303,73	a	976,55	d	428,17
	PBL 1	298,98	a	830,78	bc	390,55
	PBL 2	286,15	a	779,00	ab	379,97
	PBL A2	311,38	ab	721,68	a	348,42
	PBL A3	307,47	a	873,81	c	391,33
	PBL 5	306,55	a	789,48	abc	404,49
	PBL B5	341,27	bc	976,10	d	382,72
	PBL 7	308,57	a	818,70	bc	277,53
	PBL B15	350,93	c	1046,28	d	282,55
Unkraut	ohne UN	381,73	d	1011,98	d	453,76
	mit UN	357,46	c	951,61	c	411,92
	KU_SD2	278,75	b	785,82	b	311,41
	KU_SD4	245,49	a	710,91	a	279,13

Zweifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Die Unkrautvarianten zeigten zur ersten und zweiten Zeiternte eine gleichgerichtete Reaktion auf die Lupinenbiomasse, welche in der Reihenfolge ohne natürliches Unkraut > mit natürlichem Unkraut > mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatedichte > mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatedichte abnahm.

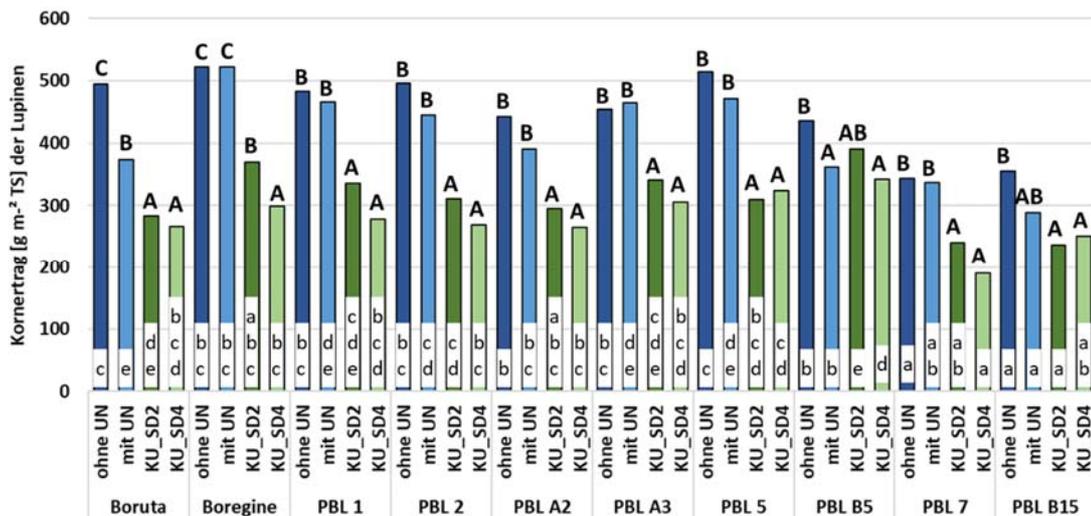


Abbildung 5: Kornertrag [g m⁻² TS] der Lupinensorten bzw. -Prebreedinglinien zur Garbenernte „Vollreife“ in Abhängigkeit der Unkrautvarianten ohne natürliches Unkraut (ohne UN), mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saattiefe (KU_SD2) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saattiefe (KU_SD4) für das Jahr 2016.

Verschieden große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Unkrautvarianten innerhalb der jeweiligen Lupinensorte bzw. -Prebreeding-Linie, verschieden kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der Lupinensorte bzw. Prebreeding-Linie innerhalb einer Unkrautvariante (Tukey-Test, $p < 0,05$).

Diese Abstufung zeichnete sich im Trend auch zur Garbenernte ab, wobei die signifikante Wechselwirkung von Lupine x Unkraut (Abbildung 5) eine differenzierte Betrachtung zuließ. Im Vergleich der Unkrautvarianten innerhalb einer Sorte bzw. Prebreeding-Linie war die Ertragsminderung durch die Zunahme der Saattiefe des „künstlichen Unkraut“ nur bei Boregine signifikant. Der Unterschied zwischen dem Lupinenkornertrag in Beständen mit und ohne natürlichem Unkraut war nur für Boruta und Prebreeding-Linie A3 signifikant. Des Weiteren war bei den Prebreeding-Linien PBL 1, PBL 2, PBL A2, PBL A3, PBL 5 und PBL 7 der Lupinenkornertrag zwischen den Varianten mit und ohne natürlichem Unkraut unabhängig von der Saattiefe signifikant höher als in Varianten mit „künstlichem Unkraut“. In der Betrachtung der Lupinensorten bzw. -Prebreeding-Linien innerhalb der Unkrautvarianten zeigten PBL 7 und PBL B15 die geringsten Lupinenkornerträge über alle Konkurrenzsituationen, wobei Unterschiede zu den anderen Sorten bzw. Prebreeding-Linien in der unkrautfreien Variante signifikant waren und mit steigender Konkurrenz (KU_SD1, KU_SD2) eine Angleichung zwischen Sorten bzw. Prebreeding-Linien innerhalb der Unkrautvarianten festzustellen war. Im Vergleich zu den Referenzsorten wurde der Lupinenkornertrag von Boregine entsprechend durch PBL 7 und PBL B15 signifikant unterschritten. Im Vergleich der Prebreeding-Linien mit Donor Boruta zu den Kornerträgen der Sorte Boruta gab es keine Unterschiede in der unkrautfreien Variante. In Lupinenbeständen mit natürlichem Unkraut zeigten PBL 1 und PBL A3 signifikante Mehrerträge im Vergleich zur Referenzsorte, während sich die anderen Prebreeding-Linien nicht unterschieden. In den Varianten mit „künstlichem Unkraut“ wurde Boruta in beiden Saattiefen von PBL B5 signifikant im Lupinenkornertrag übertroffen; die übrigen Prebreeding-Linien lagen gleich auf. Im Vergleich verzweigter und endständiger Wuchstypen zeigte PBL 1 ein ähnliches Ertragsniveau in den verschiedenen Unkrautvarianten wie die verzweigten Prebreeding-Linien PBL A3, PBL 5 und PBL 2. Die endständige Prebreeding-Linie A2 war in den Varianten mit und ohne natürlichem Unkraut eher ertragsschwächer, wobei der Unterschied in den Varianten mit „künstlichem Unkraut“

weniger deutlich war. Die verzweigten Prebreeding-Linien PBL 7 und PBL B15 fielen hingegen durch ihr geringeres Ertragsniveau im Vergleich zu den endständigen Prebreeding-Linien auf. PBL B5 zeigte wiederum in den Varianten mit und ohne natürlichem Unkraut geringere Erträge als die endständigen Prebreeding-Linien, war in den Varianten mit „künstlichem Unkraut“ jedoch ertragsstärker. Im Vergleich der Referenzsorten wurde zur Garbenernte die Überlegenheit der verzweigten Sorte Boregine gegenüber der endständigen Sorte Boruta deutlich, wobei der Unterschied in der Variante mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatedichte nicht signifikant war.

Tabelle 10: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m⁻² TS] der Lupinen zur ersten und zweiten Zeiternte sowie deren Kornertrag [g m⁻² TS] zur Garbenernte des Jahres 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boruta, Boregine, PBL: Prebreeding-Linien) und Unkraut (ohne natürliches Unkraut (ohne UN), mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatedichte (KU_SD2) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatedichte (KU_SD4)).

		Lupinen					
		Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS]				Kornertrag [g m ⁻² TS]	
		1. Zeiternte		2. Zeiternte		Garbenernte	
Lupine	Boruta	326,22	n.s.	779,13	n.s.	334,98	bc
	Boregine	299,70	n.s.	811,07	n.s.	394,14	e
	PBL 1	319,31	n.s.	767,61	n.s.	364,27	cde
	PBL 2	308,60	n.s.	756,19	n.s.	359,14	be
	PBL A2	331,24	n.s.	731,71	n.s.	320,65	b
	PBL A3	308,90	n.s.	768,83	n.s.	398,59	e
	PBL 5	327,46	n.s.	807,50	n.s.	379,27	de
	PBL B5	329,18	n.s.	825,35	n.s.	340,69	bd
	PBL 7	297,60	n.s.	815,22	n.s.	238,74	a
	PBL B15	291,47	n.s.	776,78	n.s.	275,79	a
Unkraut	ohne UN	372,94	c	901,32	b	421,35	d
	mit UN	338,48	b	881,42	b	353,99	c
	KU_SD2	278,27	a	680,67	a	309,85	b
	KU_SD4	266,18	a	672,36	a	277,31	a

Zweifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus dem Jahr 2016 zeigten sich im Jahr 2017 bei den Ergebnissen der ersten und zweiten Zeiternte (Tabelle 10) keine signifikanten Unterschiede bei den Biomasseaufwüchsen der Lupinen für die geprüften Sorten bzw. Prebreeding-Linien. Dagegen wiesen die unterschiedlichen Konkurrenzsituationen für den Faktor ‚Unkraut‘ signifikant unterschiedliche Biomasseaufwüchse für beide Zeiternten, die gleichgerichtet ausfielen. Die signifikant geringsten Lupinen-Biomasseaufwüchse wurden bei den Varianten

KU_SD2 und KU_SD4 festgestellt, während die unkrautfrei gehaltenen Varianten die höchsten Lupinen-Biomasseaufwüchse aufwiesen.

Zur Garbenernte differenzierte sich das Ergebnis weiter aus. Beim Faktor ‚Unkraut‘ zeigte sich die Reihenfolge ‚ohne Unkraut‘ < ‚mit Unkraut‘ < KU_SD2 < KU_SD4. Ebenfalls lagen signifikante Unterschiede bei den Lupinen-Kornerträgen für die geprüften Sorten bzw. Prebreeding-Linien vor, jedoch keine Wechselwirkung wie sie in 2016 ausgewiesen wurde. Die signifikant geringsten Lupinen-Kornerträge zeigten PBL 7 und PBL B15, die höchsten PBL A3 und Boregine, gefolgt von PBL 5, PBL 1 sowie PBL 2.

4.2.4 Unkrautunterdrückung

In Tabelle 11 sind die signifikanten Hauptwirkungen auf den oberirdischen Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS] des Unkraut zur ersten und zweiten Zeiternte sowie zur Garbenernte für das Jahr 2016 dargestellt. Dabei steht die Unkrautbiomasse in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupinensorte bzw. Prebreeding-Linie sowie den Unkrautvarianten (mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatkichte (KU_SD1) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatkichte (KU_SD2)). Es wurden keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen Lupine und Unkraut ermittelt.

Zu allen Beprobungsterminen war eine signifikante Steigerung der Unkrautbiomasse in der Reihenfolge mit natürlichem Unkraut (mit UN) < mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatkichte (KU_SD1) < mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatkichte (KU_SD2) zu erkennen. An den Mittelwerten der Unkrautvarianten über die verschiedenen Probenahmen ist abzulesen, dass die Unkrautbiomasse zur Sprossentwicklung geringer war, sich jedoch kaum zwischen den Beprobungsterminen zur Blüte und zur Garbenernte unterschied. Die Sorten bzw. Prebreeding-Linien der Blauen Süßlupine hatten erst zur Garbenernte einen signifikanten Einfluss auf die Unkrautbiomasse. Prebreeding-Linie PBL B5, PBL 7 und PBL B15 bedingten die geringste Unkrautbiomasse, während diese in den Beständen von Boruta sowie PBL 1, PBL 2 und PBL A2 am höchsten war. Boregine, PBL A3 und PBL 5 nahmen eine Mittelstellung ein. Im Vergleich zu den Referenzsorten unterschied sich die Unkrautbiomasse von PBL 7 und PBL B15 nicht signifikant gegenüber Boregine. Hingegen zeigte PBL B5 eine signifikant geringere Unkrautbiomasse als Boruta, während im Vergleich zu den anderen Prebreeding-Linien keine Unterschiede bestanden. Bei der Gegenüberstellung der Wuchstypen zeigten die endständigen Prebreeding-Linien eine höhere Unkrautbiomasse als die verzweigten Prebreeding-Linien, wobei dieser Unterschied im Vergleich zu PBL A3 und PBL 5 nicht signifikant war. Auch die endständige Referenzsorte Boruta bedingte eine signifikant höhere Unkrautbiomasse als Boregine.

Tabelle 11: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS] des Unkrautes zur ersten und zweiten Zeiternte sowie zur Garbenernte im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Pre-Breeding-Linien (PBL)) und Unkraut (mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatedichte (KU_SD2) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatedichte (KU_SD4)).

		Unkraut					
		Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS]					
		1. Zeiternte		2. Zeiternte		Garbenernte	
Lupine	Boruta	110,91	n.s.	139,76	n.s.	176,70	c
	Boregine	116,27	n.s.	130,67	n.s.	138,86	ab
	PBL 1	132,38	n.s.	137,09	n.s.	169,59	c
	PBL 2	121,38	n.s.	148,78	n.s.	184,98	c
	PBL A2	129,60	n.s.	163,31	n.s.	182,62	c
	PBL A3	111,29	n.s.	157,61	n.s.	165,61	bc
	PBL 5	119,27	n.s.	152,07	n.s.	160,49	bc
	PBL B5	126,96	n.s.	130,67	n.s.	116,09	a
	PBL 7	109,64	n.s.	129,33	n.s.	116,68	a
	PBL B15	120,11	n.s.	128,93	n.s.	122,73	a
Unkraut	mit UN	38,80	a	50,49	a	53,85	a
	KU_SD2	144,36	b	170,83	b	188,33	b
	KU_SD4	176,18	c	204,14	c	218,13	c

Zweifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Im Versuchsjahr 2017 (Tabelle 12) war wie in 2016 zu allen Beprobungsterminen eine signifikante Steigerung der Unkrautbiomasse in der Reihenfolge mit natürlichem Unkraut (mit UN) < mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatedichte (KU_SD1) < mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatedichte (KU_SD2) zu erkennen.

Auch zeigten die Sorten bzw. Prebreeding-Linien der Blauen Süßlupine erst zur Garbenernte einen signifikanten Einfluss auf die Unkrautbiomasse (Tabelle 12). Die geringste Unkraut-Biomasse zeigte zum Zeitpunkt der Garbenernte die Sorte Boregine gefolgt von PBL B5, PBL B15 und PBL 7 auf. Die höchste Unkrautbiomasse wiesen die Prebreeding-Linien PBL 2 und PBL A2 auf. Die übrigen Prebreeding-Linien nahmen eine Zwischenstellung ein. Im Vergleich der Prebreeding-Linien, die auf den Donor ‚Boregine‘ basieren, zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede in der Unkrautunterdrückung zu Boregine. Von den Prebreeding-Linien, die auf den Donor ‚Boruta‘ zurückgehen, wies nur PBL 5 eine signifikant geringere Unkrautbiomasse und damit eine bessere Unkrautunterdrückung im Vergleich zu Boruta auf. Bei der Gegenüberstellung der Wuchstypen zeigten die endständigen Prebreeding-Linien und Boruta eine höhere Unkrautbiomasse als die verzweigten Prebreeding-Linien und Boregine, wobei dieser Unterschied im Vergleich zu PBL A3, PBL 5 und Boregine nicht signifikant war.

Tabelle 12: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS] des Unkrautes zur ersten und zweiten Zeiternte sowie zur Garbenernte im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Pre-Breeding-Linien (PBL)) und Unkraut (mit natürlichem Unkraut (mit UN) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saaddichte (KU_SD2) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saaddichte (KU_SD4)).

		Unkraut					
		Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS]					
		1. Zeiternte		2. Zeiternte		Garbenernte	
Lupine	Boruta	103,62	n.s.	181,08	n.s.	229,83	bc
	Boregine	114,92	n.s.	139,58	n.s.	126,22	a
	PBL 1	114,55	n.s.	194,05	n.s.	222,76	bc
	PBL 2	132,13	n.s.	169,81	n.s.	270,34	c
	PBL A2	102,50	n.s.	187,36	n.s.	270,41	c
	PBL A3	113,61	n.s.	162,88	n.s.	218,53	bc
	PBL 5	109,35	n.s.	158,06	n.s.	210,91	bc
	PBL B5	118,20	n.s.	137,92	n.s.	131,53	a
	PBL 7	93,00	n.s.	154,45	n.s.	187,51	ab
	PBL B15	127,65	n.s.	199,88	n.s.	144,83	a
Unkraut	mit UN	45,27	a	46,45	a	71,38	a
	KU_SD2	128,81	b	204,19	b	252,60	b
	KU_SD4	164,78	c	254,89	c	279,88	b

Zweifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

4.3 Gemengeeignung

Die Ergebnisse zur Gemengeeignung werden ebenfalls getrennt nach den beiden Versuchsjahren 2016 und 2017 betrachtet, da die Witterung in beiden Anbaujahren sehr unterschiedlich war.

4.3.1 Erste Zeiternte: Sprossentwicklung

In Tabelle 13 sind die signifikanten Hauptwirkungen des oberirdischen Biomasseaufwuchses [g m^{-2} TS] von Lupinen, Partnern, Unkraut sowie der Summe aus Partnern und Unkraut zur ersten Zeiternte „Sprossentwicklung der Lupine“ für das Jahr 2016 dargestellt. Diese stehen in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupine (Boregine, Boruta, Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saaddichte (SD2: niedrige Saaddichte, SD4: hohe Saaddichte). Zudem wurden signifikante Wechselwirkungen zwischen Partner und Saaddichte aufgeführt, welche die Betrachtung der entsprechenden Hauptfaktoren ausschließen. Zur ersten Zeiternte gab es keine Wechselwirkung von Sorte x Saaddichte oder Sorte x Partner.

Tabelle 13: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS] von Lupinen, Partnern, Unkraut sowie der Summe aus Partnern und Unkraut zur ersten Zeiternte „Sprossentwicklung der Lupine“ im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Pre-Breeding-Linien (PBL)), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatkichte (SD2: niedrige Saatkichte, SD4: hohe Saatkichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatkichte.

		Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2}] von							
		Lupine		Partner		Unkraut		Partner + Unkraut	
Lupine	Boruta	273,88	d	167,02	ab	12,88	n.s.	179,89	ab
	Boregine	229,07	a	168,86	ab	14,81	n.s.	183,67	ab
	PBL 1	242,29	abc	175,32	ab	16,36	n.s.	191,68	b
	PBL 2	237,80	ab	182,57	b	13,87	n.s.	196,43	b
	PBL A2	252,13	bc	184,50	b	12,98	n.s.	197,48	b
	PBL A3	225,43	a	168,05	ab	15,03	n.s.	183,08	ab
	PBL 5	239,13	ab	183,76	b	12,49	n.s.	196,25	b
	PBL B5	256,23	bcd	168,22	ab	13,93	n.s.	182,15	ab
	PBL 7	249,93	bc	157,87	a	11,90	n.s.	169,77	a
	PBL B15	259,50	cd	179,20	b	14,41	n.s.	193,61	b
Partner	SW	240,76	b	178,98		13,78	b	192,76	
	HA	262,29	c	153,53		19,02	c	172,55	
	LD	220,99	a	214,68		9,33	a	224,01	
	KU	262,12	c	146,95		13,32	b	160,27	
Saatdichte	SD2	263,99	b	144,62		16,70	b	161,32	
	SD4	229,10	a	202,45		11,03	a	213,48	
Partner x Saatkichte									
SD2	SW	-		140,99	b A	-		157,41	b A
	HA	-		118,53	a A	-		140,46	a A
	LD	-		191,51	c A	-		203,03	c A
	KU	-		127,44	ab A	-		144,36	ab A
SD4	SW	-		216,97	c B	-		228,12	c B
	HA	-		188,53	b B	-		204,65	b B
	LD	-		237,84	d B	-		244,99	d B
	KU	-		166,46	a B	-		176,18	a B

Dreifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Wechselwirkung: Verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Saatkichte, verschiedene große Buchstaben entsprechend zwischen den Saatkichten des jeweiligen Partners.

Die Lupinenbiomasse wurde zum ersten Beprobungstermin signifikant durch die Lupinensorte bzw. Prebreeding-Linie, den Partner und die Saaddichte beeinflusst. Unter den Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien hatte Boruta den höchsten Lupinenbiomasseertrag gefolgt von PBL B15, während Boregine und PBL A3 die geringsten Biomasseerträge zeigten. Im Vergleich zu den entsprechenden Prebreeding-Linien (1-6) war der Biomasseertrag von Boruta signifikant höher (mit Ausnahme von PBL B5). Boregine zeigte hingegen signifikant geringere Lupinenbiomasse im Vergleich zu den Prebreeding-Linien PBL 7 und PBL B15. Zwischen verzweigten und endständigen Sorten bzw. Prebreeding-Linien war zu diesem Erntezeitpunkt keine Abstufung im Lupinenbiomasseertrag erkennbar. In Bezug auf die Partner wurde der signifikant höchste Lupinenbiomasseertrag im Gemenge mit Hafer ermittelt, gefolgt Sommerweizen und Leindotter. Das „künstliche Unkraut“ simulierte zum ersten Erntetermin eine ähnliche Konkurrenz wie Hafer. Der Lupinenbiomasseertrag wurde zudem mit höherer Saaddichte der Partner signifikant verringert.

In Bezug auf die Partnerbiomasse waren sorten- bzw. prebreedinglinienspezifische Unterschiede zum Teil signifikant aber nur schwach ausgeprägt, wobei im Gemenge mit PBL 7 die Partnerbiomasse am geringsten war. Zudem wurde für die Partnerbiomasse eine Wechselwirkung Partner x Saaddichte ermittelt. Leindotter zeigte in beiden Saaddichten die signifikant höchste Biomasse gefolgt von Sommerweizen. Hafer zeigte bei niedriger Saaddichte die geringste Biomasse, während die Haferbiomasse bei hoher Saaddichte signifikant über der des „künstlichen Unkraut“ lag. Bei jedem Partner wurde durch eine höhere Saaddichte eine signifikant höhere Partnerbiomasse erzielt.

Die Unkrautbiomasse wurde zur ersten Zeiternte nicht durch die Sorten- bzw. Prebreeding-Linien der Blauen Süßlupinen bestimmt. Verschiedene Partner und Saaddichten beeinflussten die Unkrautbiomasse genauso wie die Lupinenbiomasse, wobei das „künstliche Unkraut“ eine ähnliche Konkurrenz wie Sommerweizen simulierte.

Durch die Addition der Biomasse der Partner und des Unkrauts zur Darstellung der Konkurrenz wurden ähnliche Ergebnisse wie bei der alleinigen Betrachtung der Partnerbiomasse generiert. Dies gilt auch für die signifikanten Wechselwirkungen von Partner x Saaddichte, welche für den oberirdischen Biomasseaufwuchs der Partner und der Summe von Partnern und Unkraut übereinstimmen.

In Tabelle 14 sind die Ergebnisse des oberirdischen Biomasseaufwuchses zur ersten Zeiternte im Jahr 2017 dargestellt. Mit Ausnahme der Unkrautbiomasse wies die statistische Verrechnung Wechselwirkungen von Partner x Saaddichte auf, jedoch in keinem Fall Wechselwirkungen von Lupine x Partner.

Die höchste Lupinenbiomasse wurde von der Prebreeding-Linie PBL B5 gebildet, die geringste wies die PBL 7 auf. Die Biomasse der Partner zeigte wie die Unkrautbiomasse keine signifikanten Unterschiede, obwohl bei letzterer die Unkrautbiomasse bei PBL 1 deutlich höher war als bei den anderen Sorten bzw. Prebreeding-Linien.

Die Wechselwirkung Partner x Saaddichte zeigte für die niedrigere Saaddichte höhere Lupinenbiomassen für Sommerweizen und Hafer im Vergleich zu Leindotter, der zu der geringsten Lupinenbiomasse führte. Dies war auch bei der höheren Saaddichte der Fall. Hier wies zudem die Lupinenbiomasse bei KU die höchsten Werte auf, die auf gleichem Niveau der Lupinenbiomasse von KU-SD2 lagen, während die Lupinenbiomassen der übrigen Partner bei SD2 signifikant höher ausfielen als bei SD4.

Tabelle 14: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS] von Lupinen, Partnern, Unkraut sowie der Summe aus Partnern und Unkraut zur ersten Zeiternte „Sprossentwicklung der Lupine“ im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Pre-Breeding-Linien (PBL)), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatkichte (SD2: niedrige Saatkichte, SD4: hohe Saatkichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatkichte.

Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2}] von									
		Lupine		Partner		Unkraut		Partner + Unkraut	
Lupine	Boruta	260,22	ac	148,88	n.s.	15,73	n.s.	164,60	n.s.
	Boregine	264,03	ad	147,19	n.s.	18,84	n.s.	166,06	n.s.
	PBL 1	266,98	bcd	149,47	n.s.	27,32	n.s.	176,82	n.s.
	PBL 2	266,79	ad	146,17	n.s.	18,48	n.s.	164,64	n.s.
	PBL A2	271,86	cbd	142,38	n.s.	16,09	n.s.	158,47	n.s.
	PBL A3	263,10	ad	153,24	n.s.	19,01	n.s.	172,25	n.s.
	PBL 5	286,24	d	156,67	n.s.	18,88	n.s.	175,57	n.s.
	PBL B5	282,73	cd	152,00	n.s.	15,60	n.s.	167,60	n.s.
	PBL 7	240,47	a	143,38	n.s.	14,27	n.s.	157,64	n.s.
	PBL B15	250,59	ab	151,74	n.s.	19,64	n.s.	170,60	n.s.
Partner	SW	273,22		129,87		20,85	b	150,40	
	HA	267,95		170,59		18,70	b	189,29	
	LD	247,83		171,82		11,78	a	183,59	
	KU	272,21		124,22		22,24	b	146,46	
Saatdichte	SD2	280,37		124,81		22,95	b	147,60	
	SD4	250,23		173,43		13,84	a	187,26	
Partner x Saatkichte									
SD2	SW	286,13	b B	100,73	a A			125,57	a A
	HA	297,77	b B	139,27	b A			161,74	b A
	LD	259,93	a B	158,48	c A			174,14	b A
	KU	277,65	ab A	100,73	a A			128,92	a A
SD4	SW	260,30	bc A	158,95	a B			175,18	a B
	HA	238,11	ab A	201,88	c B			216,81	b B
	LD	235,72	a A	185,13	b B			193,02	b B
	KU	266,77	c A	147,73	a B			164,03	a B

Dreifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Wechselwirkung: Verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Saatkichte, verschiedene große Buchstaben entsprechend zwischen den Saatkichten des jeweiligen Partners.

Die Biomasse der Partner war bei SD2 in den LD-Varianten am höchsten, die von SW und KU am niedrigsten. Bei der höheren Saatkichte SD4 zeigte sich dagegen die höchste Partnerbiomasse bei den Hafervarianten, die niedrigsten wiederum bei SW und KU. In allen Varianten war die Partnerbiomasse in SD2 niedriger als bei SD4. Die Ergebnisse für die aufsummierten Biomasseaufwüchse von Partner- und Unkrautbiomasse zeigten ebenfalls höhere Biomasseaufwüchse für die Varianten mit der höheren Saatkichte SD4, wobei die HA- und LD-Varianten bei beiden Saatkichten signifikant höhere Biomasseaufwüchse zeigten als die SW- und KU-Varianten.

4.3.2 Zweite Zeiternte: Blüte

In Tabelle 15 sind signifikante Hauptwirkungen des oberirdischen Biomasseaufwuchses [g m^{-2} TS] von Lupinen, Partnern, Unkraut sowie der Summe aus Partnern und Unkraut zur zweiten Zeiternte „Blüte der Lupine“ für das Jahr 2016 dargestellt. Diese stehen in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupine, Partner und Saatkichte. Zudem wurden signifikante Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatkichte aufgeführt, welche die Betrachtung der entsprechenden Hauptfaktoren ausschließen. Zur zweiten Zeiternte gab es darüber hinaus signifikante Wechselwirkungen zwischen Lupinen und Partnern für den Biomasseertrag der Partner, welche in Abbildung 6 dargestellt sind. Wechselwirkungen zwischen Lupine und Saatkichte waren nicht signifikant. Bei der Berechnung wurde ein Ausreißer (nach Prozedur ROBUST-REG) im oberirdischen Biomasseaufwuchs der Lupine, Partner sowie Partner + Unkraut entfernt (PBL A3, KU, SD2, Wiederholung 1). Der Biomasseertrag des „künstlichen Unkraut“ war in diesem Fall durch dominierende Buchweizeneinzelpflanzen etwa doppelt bis dreifach so hoch wie in den anderen Varianten und der Lupinenertrag entsprechend geringer.

Die Lupinenbiomasse wurde zum zweiten Beprobungstermin signifikant durch die Lupinensorte bzw. Prebreeding-Linie und der Wechselwirkung von Partner x Saatkichte beeinflusst.

Insgesamt zeigten PBL B5 und PBL B15 die signifikant höchsten Lupinenbiomasseerträge von allen Sorten bzw. Prebreeding-Linien und PBL A2 die signifikant geringsten, was sich auch im Vergleich zu den entsprechenden Referenzsorten widerspiegelte. Verzweigte Prebreeding-Linien waren somit etwas höher im Biomasseertrag als endständige, wobei Unterschiede nicht immer signifikant waren.

Bei niedriger Saatkichte war der Lupinenbiomasseertrag im Gemenge mit Leindotter am geringsten, im Hafergemenge am höchsten, während Sommerweizen eine mittlere Stellung einnahm. Bei hoher Saatkichte waren die Unterschiede zwischen den Gemengepartnern weniger ausgeprägt, wobei Sommerweizen signifikant geringere Lupinenbiomasseerträge bedingte als Hafer und hier auf einem Niveau mit Leindotter lag. Bei niedriger Saatkichte simulierte das „künstliche Unkraut“ eine ähnliche Konkurrenzsituation wie Sommerweizen und Hafer und bedingte bei höherer Saatkichte als schwächster Konkurrent die höchste Lupinenbiomasse im Vergleich der Partner. Eine Erhöhung der Partner-Saatkichte verminderte die Lupinenbiomasse signifikant, wobei dieser Effekt nicht in den Leindottergemengen auftrat.

Auch bei der zweiten Zeiternte wurde die Unkrautbiomasse nicht von den Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien beeinflusst. In den Leindottergemengen war die Unkrautbiomasse signifikant geringer als in Gemengen mit Hafer und Sommerweizen. Gemenge mit „künstlichem Unkraut“ nahmen eine Mittelstellung ein. Eine höhere Saatkichte der Gemengepartner verringerte zudem die Unkrautbiomasse signifikant.

Tabelle 15: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS] von Lupinen, Partnern, Unkraut sowie der Summe aus Partnern und Unkraut zur zweiten Zeiternte „Blüte der Lupine“ im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und den Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatkichte (SD2: niedrige Saatkichte, SD4: hohe Saatkichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatkichte. Bei der Berechnung wurde ein Ausreißer im oberirdischen Biomasseaufwuchs [g m^{-2} TS] der Lupine, Partner sowie Partner + Unkraut entfernt (PBL A3, KU, SD1, Wiederholung 1).

Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2}] von								
		Lupine		Partner		Unkraut		Partner + Unkraut
Lupine	Boruta	694,63	bc	276,19		16,87	n.s.	293,06 bc
	Boregine	725,26	c	247,77		14,11	n.s.	261,87 a
	PBL 1	686,17	bc	287,20		15,92	n.s.	303,12 cd
	PBL 2	657,11	b	303,27		17,03	n.s.	320,30 cd
	PBL A2	585,50	a	313,16		17,15	n.s.	330,33 d
	PBL A3	695,43	bc	289,92		16,48	n.s.	306,94 cd
	PBL 5	689,56	bc	299,58		17,44	n.s.	317,03 cd
	PBL B5	865,37	d	241,64		15,38	n.s.	257,03 a
	PBL 7	721,13	c	254,55		12,48	n.s.	267,03 ab
	PBL B15	825,99	d	242,06		15,83	n.s.	257,89 a
Partner	SW	697,17		358,39		18,73	c	377,13
	HA	751,42		292,18		18,03	c	310,21
	LD	660,94		279,45		11,86	a	291,31
	KU	748,93		172,11		14,85	b	187,18
Saatdichte	SD2	761,12		230,73		18,38	b	249,22
	SD4	668,11		320,34		13,36	a	333,70
Partner x Saatkichte								
SD2	SW	761,38	b B	278,59	c A			299,71 c A
	HA	820,61	c B	234,58	b A			256,21 b A
	LD	675,55	a A	257,37	bc A			270,74 b A
	KU	786,95	bc B	152,37	a A			170,21 a A
SD4	SW	632,96	a A	438,19	d B			454,55 d B
	HA	682,23	bc A	349,78	c B			364,21 c B
	LD	646,34	ab A	301,53	b B			311,89 b B
	KU	710,91	c A	191,86	a B			204,14 a B

Dreifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Wechselwirkung: Verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Saatkichte, verschiedene große Buchstaben entsprechend zwischen den Saatkichten des jeweiligen Partners.

Die Addition der Biomasseerträge von Partnern und Unkraut führte zu vergleichbaren Ergebnissen wie die Verrechnung der reinen Partnerbiomasse. Jedoch gab es in diesem Datensatz keine signifikante Wechselwirkung Lupine x Partner. Sowohl die Partnerbiomasse als auch die Partner + Unkrautbiomasse verhielten sich komplementär zur Lupinenbiomasse. Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien mit hohem Lupinenbiomasseertrag (Boregine, PBL B5, PBL 7 und PBL B15) bedingten signifikant geringere Partner + Unkrautbiomasseaufwüchse. Umgekehrt zeigte PBL A2 bei geringerer Lupinenbiomasse eine signifikant höhere Partner + Unkrautbiomasse gegenüber der Referenzsorte Boruta.

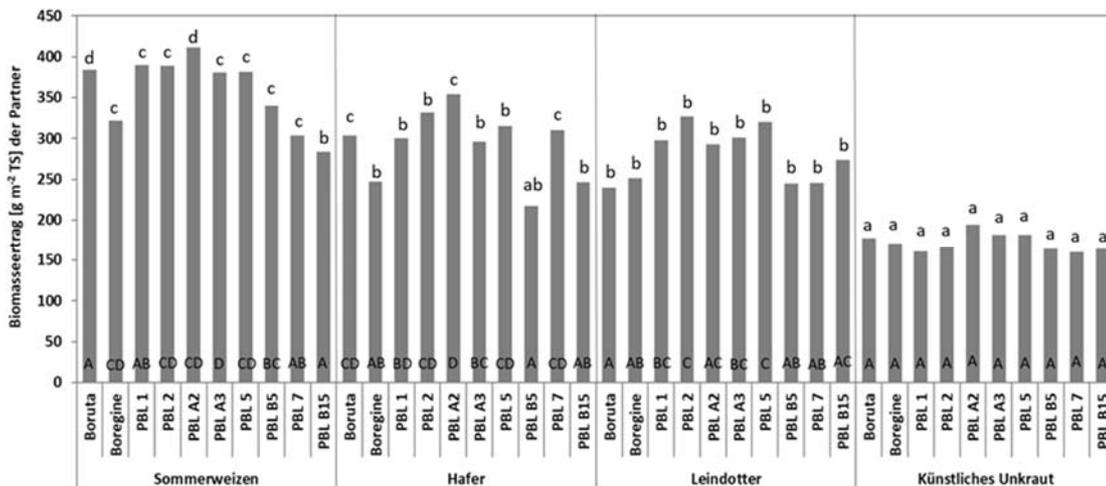


Abbildung 6: Oberirdische Biomasse [g m⁻² TS] der Partner Hafer (HA), Leindotter (LD), Sommerweizen (SW) und „künstliches Unkraut“ (KU) zur zweiten Zeiternte „Blüte der Lupinen“ im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien. Verschieden große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien innerhalb des jeweiligen Partners, verschieden kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der jeweiligen Partner innerhalb einer Lupinensorte bzw. Prebreeding-Linien (Tukey-Test, p < 0,05).

Die ausgewiesene Wechselwirkung von Lupine x Partner für die Partnerbiomasse ermöglichte eine differenziertere Betrachtung (siehe Abbildung 6). Im Vergleich der Sorten bzw. Prebreeding-Linien nahm die Partnerbiomasse in den meisten Fällen wie folgt zu: KU > LD ≥ HA ≥ SW. Dabei war der Partnerbiomasseertrag in Gemengen mit PBL A2 jedoch nur für Hafer und Sommerweizen am höchsten (zum Teil auch signifikant). Lässt man das „künstliche Unkraut“ außer Acht, war in Gemengen mit PBL B15 der Partnerbiomasseertrag unabhängig vom Partner.

Im Vergleich der Sorten bzw. Prebreeding-Linien innerhalb der Partner wurde deutlich, dass das Gemenge aus „künstlichen Unkräutern“ unabhängig von der Sorte bzw. Prebreeding-Linie gleiche Biomasseerträge auf geringem Niveau erbrachte. In Hafergemengen mit PBL A2 wurden die höchsten Hafererträge, in Gemengen mit PBL B5 die geringsten erzielt. Leindotter zeigte in Gemengen mit Boruta signifikant geringere Erträge als in Kombination mit PBL 2 und PBL 5. Sommerweizenerträge waren in Gemengen mit PBL A2 am höchsten, während PBL B15 Sommerweizen am stärksten unterdrückte.

Tabelle 16: Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m⁻² TS] von Lupinen, Partnern, Unkraut sowie der Summe aus Partnern und Unkraut zur zweiten Zeiternte „Blüte der Lupine“ im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und den Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatdichte (SD2: niedrige Saatdichte, SD4: hohe Saatdichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatdichte.

Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻²] von									
		Lupine		Partner		Unkraut		Partner + Unkraut	
Lupine	Boruta	658,78	ab	286.81	bc	24,86	n.s.	302,60	cd
	Boregine	723,07	ce	247.99	a	25,42	n.s.	264,33	ab
	PBL 1	640,10	ab	281.83	bc	36,72	n.s.	309,47	d
	PBL 2	689,39	acd	263.98	ac	22,88	n.s.	281,19	ad
	PBL A2	669,99	ac	290.47	c	26,01	n.s.	307,39	d
	PBL A3	731,14	de	253.91	ab	27,78	n.s.	272,60	abc
	PBL 5	704,02	bcd	260.41	ac	28,34	n.s.	279,68	ad
	PBL B5	766,75	e	239.85	a	21,58	n.s.	252,35	a
	PBL 7	654,09	ab	271.10	ac	22,13	n.s.	284,17	ad
	PBL B15	685,88	acd	270.46	ac	24,27	n.s.	287,35	bd
Partner	SW	694,82		270.58	b	26,57	ab	289,43	b
	HA	690,44		332.41	c	23,24	a	346,57	c
	LD	686,89		234.29	a	22,69	a	247,89	a
	KU	697,14		229.45	a	31,51	b	252,56	a
Saadichte	SD2	729,92		226.72	a	30,84	b	249,16	a
	SD4	654,72		306.64	b	21,16	a	319,07	b
Partner x Saatdichte									
SD2	SW	768,39	b B						
	HA	725,16	ab B						
	LD	694,23	a A						
	KU	690,24	a A						
SD4	SW	602,11	a A						
	HA	633,20	ab A						
	LD	657,03	b A						
	KU	683,21	b A						

Dreifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Wechselwirkung: Verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Saatdichte, verschiedene große Buchstaben entsprechend zwischen den Saatdichten des jeweiligen Partners.

Die Ergebnisse der zweiten Zeiternte zum Zeitpunkt der Blüte für das Jahr 2017 sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Die Hauptfaktoren zeigten signifikante Effekte, die nur für die oberirdische Lupinenbiomasse durch eine Wechselwirkung von Partner x Saatlücke überlagert waren.

Die Prebreeding-Linie PBL B5 zeigte wie 2016 die signifikant höchste Lupinenbiomasse. Die zweithöchste Lupinenbiomasse zeigte jedoch nicht mehr PBL B15, sondern PBL A3 gefolgt von der Sorte Boregine. Die geringste Lupinenbiomasse zeigte bei der zweiten Zeiternte PBL 1. Die Wechselwirkung Partner x Saatlücke zeigte bei der niedrigeren Saatlücke SD2 für LD und KU niedrigere Werte als für SW und HA, was sich bei der höheren Saatlücke SD4 umkehrte. Zudem waren die Lupinenbiomassen für die SW- und HA-Varianten bei SD2 signifikant höher als bei SD4, während keine signifikanten Unterschiede zwischen SD2 und SD4 für die LD- und KU-Varianten vorlagen.

Der oberirdische Biomasseaufwuchs der Partner war in den Varianten mit der Sorte Boregine und Prebreeding-Linie PBL 5 am geringsten, während diese in den Varianten mit der endständigen Prebreeding-Linie PBL A2 am höchsten ausfielen. In Abhängigkeit der verschiedenen Partner wiesen die LD- und KU-Varianten die geringsten und die HA-Varianten die höchsten Biomasseaufwüchse der Partner auf. Zudem war die Partnerbiomasse in den SD4-Varianten höher als in den SD2-Varianten.

Die Unkrautbiomasse zeigte keine signifikanten Unterschiede für die Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien. Die natürlich am Standort vorkommende Unkrautbiomasse war in den HA- und LD-Varianten am geringsten und in den KU-Varianten am höchsten.

Die aufsummierten Biomasseaufwüchse von Partnern und Unkraut wies vergleichbare Ergebnisse zu den Partnerbiomasseaufwüchsen auf, wobei außer der endständigen PBL A2 nun auch die endständige PBL 1 und die endständige Sorte Boruta die höchsten Werte zeigten.

4.3.3 Garbenernte: Vollreife

In Tabelle 17 sind die signifikante Hauptwirkungen der Kornerträge [g m^{-2} TS] von Lupinen, Partnern (HA, LD, SW) und Gesamtkornerträge [g m^{-2} TS] der Lupinen und Partner sowie des oberirdischen Biomasseaufwuchses [g m^{-2} TS] des natürlichen Unkrautes zur Garbenernte für das Versuchsjahr 2016 dargestellt. Diese stehen in Abhängigkeit der Hauptfaktoren Lupine, Partner und Saatlücke. Zudem wurden signifikante Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatlücke aufgeführt, welche die Betrachtung der entsprechenden Hauptfaktoren ausschließen. Zur Garbenernte gab es darüber hinaus signifikante Wechselwirkungen zwischen Lupinen und Partnern für den Kornertrag der Partner, welche in Abbildung 7 dargestellt sind. Wechselwirkungen zwischen Lupine und Saatlücke waren nicht signifikant.

Der Kornertrag der Lupinen hing von den entsprechenden Sorten bzw. Prebreeding-Linien ab, wobei PBL B5 mit rund 352 g m^{-2} TS den höchsten Ertrag brachte und somit auf gleichem Niveau wie Boregine (344 g m^{-2} TS) lag. Für PBL 7 (262 g m^{-2} TS) und PBL A2 (265 g m^{-2} TS) wurden die geringsten Kornerträge ermittelt. Im Vergleich zur entsprechenden Referenzsorte zeigte PBL 7 und PBL B15 signifikant geringere Kornerträge als Boregine. Boruta wurde hingegen im Kornertrag von zwei Prebreeding-Linien (PBL B5 und PBL A3) signifikant übertroffen. Im Vergleich der endständigen und verzweigten Prebreeding-Linien konnte kein einheitliches Ergebnis ermittelt werden, da beide Wuchstypen sowohl durch Prebreeding-Linien mit höheren Erträgen (PBL 1, PBL A3, PBL 5, PBL B5), also auch durch Prebreeding-Linien mit geringerem Ertragsniveau (PBL 2, PBL A2, PBL B15) vertreten wurden.

Tabelle 17: Kornerträge [g m⁻² TS] von Lupinen, Partnern (HA, LD, SW) und Gesamtkornerträge [g m⁻² TS] der Lupinen und Partner (HA, LD, SW) sowie oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m⁻² TS] von natürlichem Unkraut zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatkichte (SD2: niedrige Saatkichte, SD4: hohe Saatkichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saatkichte.

		Kornerträge [g m ⁻² TS] von					Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS]		
		Lupine		Partner		Lupine + Partner		Unkraut	
Lupine	Boruta	292,93	bc	147,96		446,82	cde	14,11	a
	Boregine	344,01	ef	123,05		470,21	e	17,18	a
	PBL 1	305,18	cd	152,44		457,05	de	17,45	a
	PBL 2	282,62	ab	152,41		432,45	bcd	18,28	ab
	PBL A2	265,09	a	167,96		427,96	bc	18,54	ab
	PBL A3	323,39	de	145,23		468,52	e	34,39	d
	PBL 5	308,95	cd	146,41		452,76	cde	27,46	cd
	PBL B5	352,49	f	89,44		437,29	cd	26,00	bc
	PBL 7	262,20	a	128,56		406,52	ab	22,06	ac
	PBL B15	274,31	ab	106,36		390,92	a	15,38	a
Partner	SW	303,23		177,10		480,33	b	27,72	b
	HA	322,30		153,65		475,95	b	24,63	b
	LD	283,68		77,19		360,88	a	15,81	a
	KU	295,27		/		/	/	16,18	a
Saatdichte	SD2	322,09		115,34		440,99	n.s.	25,36	b
	SD4	280,15		156,62		437,11	n.s.	16,82	a
Partner x Saatkichte									
SD2	SW	353,28	c B	125,43	b A	-			
	HA	295,79	a B	73,38	a A	-			
	LD	327,88	b B	147,20	c A	-			
	KU	311,41	ab B	/	/	-			
SD4	SW	291,31	b A	181,87	b B	-			
	HA	271,57	a A	81,01	a A	-			
	LD	278,58	ab A	207,00	c B	-			
	KU	279,13	ab A	/	/	-			

Dreifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Wechselwirkung: Verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Saatkichte, verschiedene große Buchstaben entsprechend zwischen den Saatkichten des jeweiligen Partners.

Im Vergleich der Referenzsorten zeigte Boregine einen signifikant höheren Kornertrag als Boruta.

Des Weiteren wurde der Lupinenkornertrag durch eine Wechselwirkung Partner x Saatdichte bestimmt, wobei eine Steigerung der Saatdichte bei jedem Partner einen signifikant geringeren Lupinenkornertrag bedingte. Bei niedriger Saatdichte der Partner nahm der Lupinenkornertrag in der Reihenfolge HA > SW > LD ab und das „künstliche Unkraut“ simulierte eine ähnliche Konkurrenzsituation wie in Sommerweizen- und Leindottergemengen. Bei höherer Saatdichte waren die Unterschiede geringer, wobei im Hafergemenge weiterhin ein signifikant höherer Lupinenkornertrag ermittelt wurde als im Gemenge mit Leindotter. Zusätzlich ist hervorzuheben, dass der Partnerkornertrag nicht komplementär zum Lupinenkornertrag durch die Wechselwirkung von Partner x Saatdichte beeinflusst wurde. Für beide Saatdichten nahm der Kornertrag in der Reihenfolge LD > HA > SW ab. Die Steigerung des Kornertrags bei höherer Saatdichte war jedoch nur für Hafer und Sommerweizen signifikant.

Der Partnerkornertrag wurde darüber hinaus durch eine signifikante Wechselwirkung von Lupine x Partner beeinflusst (Abbildung 7) und an die Ergebnisse der Wechselwirkung Partner x Saatdichte anschließt. Im Vergleich der Partner innerhalb der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien war der Kornertrag von Leindotter in allen Fällen signifikant am geringsten, wobei jedoch für PBL B5 keine signifikanten Ertragsunterschiede zum Haferkornertrag festgestellt wurden. Der Kornertrag von Sommerweizen war zudem in den Gemengen mit Boregine, PBL 5, PBL B5 und PBL 7 signifikant höher als der Haferkornertrag.

Im Vergleich der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien innerhalb der Partner hatten diese keinen Einfluss auf den Leindotterkornertrag. Der Haferkornertrag war im Gemenge mit PBL A2 signifikant höher im Vergleich zu den anderen Sorten bzw. Prebreeding-Linien (inklusive der Referenzsorte Boruta) und PBL B5 bedingte den signifikant geringsten Haferkornertrag. Im Vergleich zu den Referenzsorten unterschieden sich PBL 7 und PBL B15 nicht zu Boregine im Haferkornertrag. Im Gemenge mit endständigen Prebreeding-Linien wurden zudem signifikant höhere Haferkornerträge ermittelt, als mit verzweigten Prebreeding-Linien (mit Ausnahme von PBL A3). Sommerweizen zeigte ebenfalls signifikante Unterschiede im Kornertrag in Abhängigkeit der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien, wobei Gemenge mit PBL B5 und PBL B15 die signifikant geringsten Sommerweizenenerträge erbrachten, während PBL A2 den höchsten Kornertrag des Sommerweizens aufwies, der jedoch nicht signifikant unterschiedlich zu den anderen Lupinensorten und Prebreeding-Linien war. Die Referenzsorte Boregine unterschied sich im Sommerweizenkornertrag nicht von PBL 7, während dieser im Gemenge mit PBL B15 signifikant geringer war. Im Vergleich zu Boruta wurden nur für PBL B5 ein signifikanter Unterschied im Kornertrag des Sommerweizens festgestellt, der unter dem Wert der Referenzsorte lag. Im Vergleich zwischen verzweigten und endständigen Prebreeding-Linien gab es vereinzelt signifikante Unterschiede im Sommerweizenenertrag, welcher jedoch nicht so deutlich dem Wuchstyp zuzuordnen waren, wie beim entsprechenden Haferkornertrag.

Durch die Addition der Kornerträge von Lupine + Partner wurde ein signifikanter Einfluss der Lupinensorte bzw. Prebreeding-Linien und des Partners ermittelt, nicht aber für die Saatdichte (Tabelle 17). Im Vergleich der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien war der Gesamtkornertrag in Gemengen mit Boregine und PBL A3 am höchsten, während Gemenge mit PBL 7 und PBL B15 die geringsten Gesamtkornerträge zeigten. Insofern lag der Gesamtkornertrag in Gemengen mit der Referenzsorte Boregine signifikant über den entsprechenden Kornerträgen mit PBL 7 und PBL B15. Der Gesamtkornertrag von den Gemengen mit Boruta unterschied sich nicht signifikant von den entsprechenden Prebreeding-Linien. Im Vergleich von

verzweigten und endständigen Wuchstypen konnten ebenfalls keine eindeutigen Unterschiede ermittelt werden, da verzweigte Prebreeding-Linien zum Teil signifikant geringere (PBL 7 und PBL B15) aber auch höhere Gesamtkornerträge (PBL A3) bedingten. Im Vergleich der Partner ergaben Gemenge mit Sommerweizen und Hafer signifikant höhere Gesamtkornerträge als Gemenge mit Leindotter. Die Saattiefe hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Gesamtkornertrag.

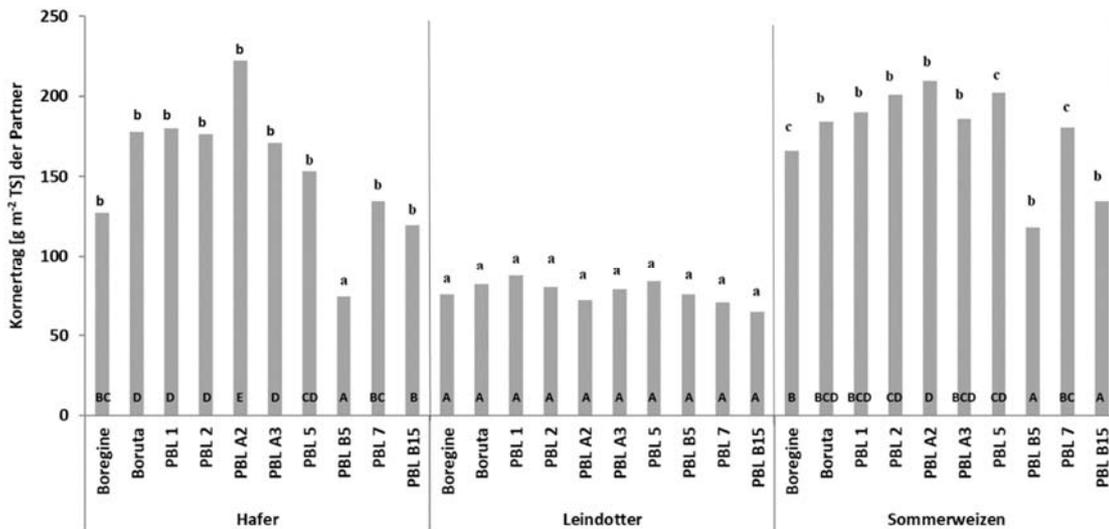


Abbildung 7: Kornertrag [g m⁻² TS] der Partner Hafer (HA), Leindotter (LD) und Sommerweizen (SW) zur Garbenernte „Vollreife“ in Abhängigkeit der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien für das Jahr 2016.

Verschieden große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Lupinensorten bzw. PBLs innerhalb des jeweiligen Partners, verschieden kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der jeweiligen Partner innerhalb einer Lupinensorte bzw. PBLs (Tukey-Test, $p < 0,05$).

Weiterhin stand die Unkrautbiomasse zur Garbenernte in Abhängigkeit zu den Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien, den Partnern und der Saattiefe. Die höchste Unkrautbiomasse wurde in Gemengen mit PBL A3 und PBL 5 ermittelt, die signifikant über dem oberirdischen Biomasseaufwuchs von Unkraut in Gemengen mit Boregine, Boruta sowie PBL 1, PBL 2 und PBL B15 lagen und entsprechend die Referenzsorte übertrafen. Hingegen unterschied sich die Unkrautbiomasse in Gemengen mit PBL 7 und PBL B15 nicht von der entsprechenden Referenzsorte Boregine. Im Vergleich verzweigter und endständiger Wuchstypen zeigten endständige Prebreeding-Linien eine geringere Unkrautbiomasse als verzweigte Prebreeding-Linien, wobei der Unterschied nur zu PBL A3 und PBL 5 signifikant war und gegenüber PBL B15 nicht bestand. Darüber hinaus war die Unkrautbiomasse in den Gemengen mit Leindotter und künstlichen Unkräutern signifikant geringer als in Gemengen mit Hafer und Sommerweizen und nahmen bei höherer Saattiefe der Partner signifikant ab.

Tabelle 18: Kornerträge [g m⁻² TS] von Lupinen, Partnern (HA, LD, SW) und Gesamtkornerträge [g m⁻² TS] der Lupinen und Partner (HA, LD, SW) sowie oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m⁻² TS] von natürlichem Unkraut zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saaddichte (SD2: niedrige Saaddichte, SD4: hohe Saaddichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saaddichte.

		Kornerträge [g m ⁻² TS] von				Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS]		
		Lupine	Partner	Lupine + Partner		Unkraut		
Lupine	Boruta	297,01	bcd	117,91	412.44	32,54	cde	
	Boregine	337,46	e	73,70	404.72	23,49	abc	
	PBL 1	309,45	cd	123,87	430.14	37,13	de	
	PBL 2	294,21	bcd	100,10	395.42	31,78	cde	
	PBL A2	276,04	b	125,65	409.23	28,51	bd	
	PBL A3	320,98	de	99,04	416.14	37,67	e	
	PBL 5	320,14	ce	91,39	406.25	39,65	e	
	PBL B5	338,33	e	37,21	386.19	15,34	a	
	PBL 7	219,68	a	88,46	315.92	17,22	a	
	PBL B15	275,26	b	48,57	336.39	20,84	ab	
Partner	SW	297,11	a	79,28	376.38	30,90	n.s.	
	HA	283,54	a	136,44	419.97	28,02	n.s.	
	LD	321,45	b	56,06	377.50	26,86	n.s.	
	KU	293,33	a	/	/	27,88	n.s.	
Saaddichte	SD2	314,75	b	77,13	393.73	n.s.	34,25	b
	SD4	282,96	a	104,05	388.84	n.s.	22,59	a
Partner x Saaddichte								
SD2	SW			62,11	a	A		
	HA			116,15	b	A		
	LD			53,12	a	A		
	KU			-				
SD4	SW			96,44	b	B		
	HA			156,72	c	B		
	LD			59,00	a	A		
	KU			-				

Dreifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Wechselwirkung: Verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Saaddichte, verschiedene große Buchstaben entsprechend zwischen den Saaddichten des jeweiligen Partners.

Die Kornerträge für das Jahr 2017 (Tabelle 18) zeigen für die Lupinen signifikante Wirkungen der Faktoren Lupinensorte bzw. Prebreeding-Linie, Partner und Saaddichte. Die Prebreeding-Linie PBL B5 wies die höchsten Lupinenkornerträge auf, gefolgt von der Sorte Boregine und den Prebreeding-Linien PBL A3 und PBL 5. Die geringsten Lupinenkornerträge wiesen PBL A, PBL 7 und PBL B15 auf. Die LD-Varianten zeigten die signifikant höchsten Lupinenkornerträge. Die niedrigeren Saaddichten führten zu höheren Lupinenkornerträge als die höheren Saaddichten SD4. Bei den Kornerträgen der Partner wies die statistische Verrechnung signifikante Wechselwirkungen sowohl für Partner x Saaddichte (Tabelle 18) als auch für Lupine x Partner (Abbildung 8) aus. Die Wechselwirkung Partner x Saaddichte zeigte in beiden Saaddichten die höchsten Kornerträge für die HA-Varianten und die niedrigsten für die LD-Varianten auf, die in SD2 jedoch auf gleichem Niveau mit den Kornerträgen der SW-Varianten lagen.

Die Kornerträge der Partner in Abhängigkeit der Sorten bzw. Prebreeding-Linien und der Partner (Abbildung 8) zeigte für alle Sorten bzw. Prebreeding-Linien für die D-Varianten gleich hohe Erträge, während diese bei SW und HA stärker differenzierten. Die geringsten Partnererträge wiesen sowohl bei SW als auch bei HA die PBL B5 und PBL B15 auf. Die höchsten Partnererträge lagen hier für die Sorte Boruta und die endständigen Prebreeding-Linien PBL 1 und PBL A2 vor.

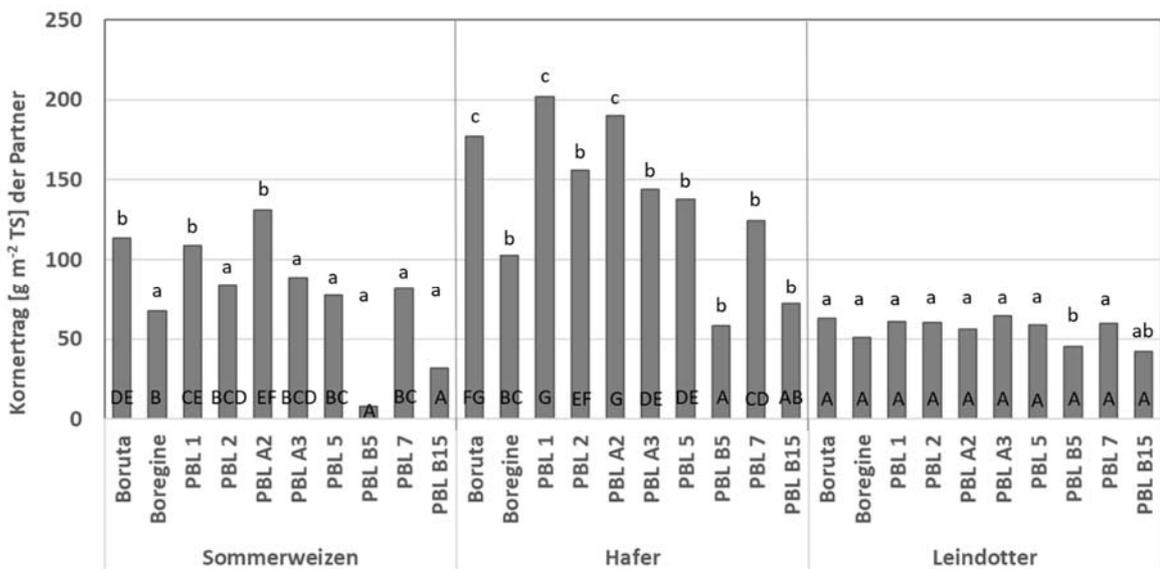


Abbildung 8: Kornertrag [g m⁻² TS] der Partner Hafer (HA), Leindotter (LD) und Sommerweizen (SW) zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien.

Verschieden große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Lupinensorten bzw. PBLs innerhalb des jeweiligen Partners, verschieden kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der jeweiligen Partner innerhalb einer Lupinensorte bzw. PBLs (Tukey-Test, p < 0,05).

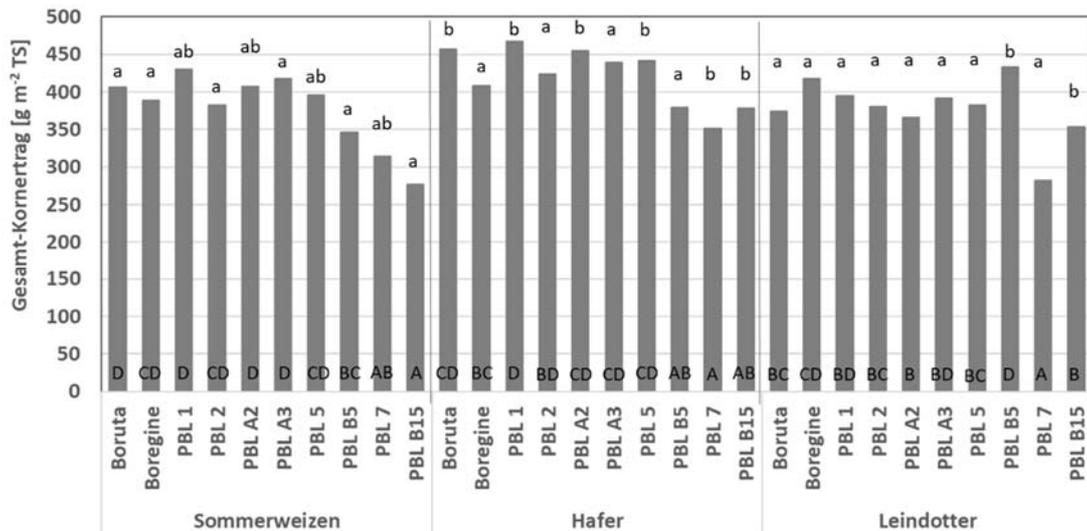


Abbildung 9: Gesamt-Kornertrag [g m⁻² TS] in Abhängigkeit der Partner Hafer (HA), Leindotter (LD) und Sommerweizen (SW) und der Lupinensorten bzw. Prebreeding-Linien zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2017.

Verschieden große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Lupinensorten bzw. PBLs innerhalb des jeweiligen Partners, verschieden kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der jeweiligen Partner innerhalb einer Lupinensorte bzw. PBLs (Tukey-Test, $p < 0,05$).

Die Gesamtkornerträge für das Jahr 2017 (Abbildung 9) zeigen unterschiedlich hohe Korn-erträge in Abhängigkeit von Sorte bzw. Prebreeding-Linie und Partnerkulturen. So zeigte PBL 7 mit den Partnern HA und LD die geringsten Erträge, während diese in Kombination mit SW nur den zweitniedrigsten Ertrag hinter PBL B15 aufwies. In Kombination mit SW wiesen die höchsten Erträge die Sorte Boruta und die Prebreeding-Linien PBL 1, PBL A2 und PBL A3 auf, gefolgt von der Sorte Boregine sowie PBL 2 und PBL 5. In Kombination mit HA zeigte PBL 1 den höchsten Gesamtertrag gefolgt von der Sorte Boruta sowie PBL A2, PBL A3 und PBL 5. In den Varianten mit LD als Partner konnte PBL B5 den höchsten Gesamtertrag erzielen, gefolgt von der Sorte Boregine.

Die Unkrautbiomasse zur Ernte war wie im Jahr 2016 in den Gemengen mit PBL A3 und PBL 5 wiederum am höchsten. Auch wies PBL B15 zusammen mit PBL B5 und PBL 7 die geringste Unkrautbiomasse auf, allerdings war die Unkrautbiomasse von Boruta, Boregine sowie PBL 1 und PBL 2 zu diesen signifikant höher. Von den Partnern ging in 2017 kein signifikanter Effekt auf die Unkrautbiomasse aus, während die niedrigere Saatkichte wiederum signifikant höhere Unkrautbiomassen zur Folge hatte.

4.3.4 Rohproteinträge

In Tabelle 19 und Tabelle 20 sind die Rohproteinträge für die Anbaujahre 2016 und 2017 getrennt für die Lupine, die Partner sowie den RP-Gesamtertrag zusammengestellt.

In beiden Jahren zeigten sich signifikante Effekte der Faktoren Lupinensorte bzw. Prebreeding-Linie, Partner und Saatkichte, wobei für die RP-Erträge der Partner ebenfalls in beiden Jahren eine Wechselwirkung Partner x Saatkichte vorlag, die die Betrachtung der damit verbundenen Einzelfaktoren ausschließt.

Die Auswirkungen der Sorten bzw. Prebreeding-Linien auf die RP-Erträge der Lupinen und der RP-Gesamterträge im Jahr 2016 korrespondierten trotz der Wechselwirkung Partner x Saatedichte weitestgehend miteinander. So wies die Prebreeding-Linie PBL 7 bei beiden Parametern die geringsten Werte auf, gefolgt von PBL A2, PBL B15 und Sorte Boruta. Die höchsten RP-Erträge lagen für beide Parameter bei PBL B5, gefolgt von PBL A3, PBL 5, PBL 1 und Sorte Boregine vor (Tabelle 19).

In der Tendenz wurden diese Ergebnisse im Jahr 2017 bestätigt (Tabelle 20), d.h. die niedrigsten RP-Erträge lagen hier bei PBL 7, PBL A2 und der Sorte Boruta vor. Die höchsten Werte zeigten wiederum PBL B5 sowie PBL 5, PBL A3 und Boregine.

In Abhängigkeit der Partner wiesen in 2016 die LD-Varianten die niedrigsten Lupinen- bzw. Gesamt-RP-Erträge auf (Tabelle 19), während diese im Jahr 2017 die höchsten Werte zeigten. Entsprechend konträr zeigten sich die Ergebnisse für die übrigen Partner SW, HA und KU.

Signifikant höhere RP-Lupinen und RP-Gesamterträge wurden in beiden Jahren in den Varianten mit der niedrigeren Saatedichte (SD2) realisiert.

Die RP-Erträge wiesen in Abhängigkeit der Sorten bzw. Prebreeding-Linien im Jahr 2016 (Tabelle 19) die geringsten Werte für die Prebreeding-Linie PBL B5 und PBL B15 auf, während die PBL A2 den höchsten Werte zeigte, gefolgt von der Sorte Boruta sowie PBL 1, PBL 2, PBL A2 und PBL 5. Auch im Jahr 2017 zeigte PBL B5 wiederum den geringsten und PBL A2 den höchsten RP-Ertrag für den Partner aus (Tabelle 20). Ebenfalls wiesen Boruta und PBL 1 hohe Partner-RP-Erträge auf.

Die Wechselwirkung Partner x Saatedichte führte im Jahr 2016 (Tabelle 19) bei niedriger Saatedichte zu den niedrigsten RP-Ertrag in den HA-Varianten, die signifikant niedriger waren als die der SW- und LD-Varianten. Bei der höheren Saatedichte lagen die RP-Erträge der SW-Varianten signifikant höher als die der HA- und LD-Varianten, wobei die LD-Varianten signifikant niedrigere Werte aufwiesen als die HA-Varianten.

Im Jahr 2017 zeigte die Wechselwirkung bei der Saatedichte SD2 signifikant niedrigere RP-Erträge für die SW-Varianten im Vergleich zu den LD- und HA-Varianten. Bei der hohen Saatedichte SD4 dagegen wiesen die HA-Varianten signifikant höhere RP-Erträge auf als die SW- und LD-Varianten (Tabelle 20).

Tabelle 19 Rohprotein-Erträge [g m⁻² TS] von Lupinen, Partnern sowie Gesamt-RP-Erträge zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2016 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saaddichte (SD2: niedrige Saaddichte, SD4: hohe Saaddichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saaddichte.

		Rohproteinерtrag [g m ⁻²] von					
		Lupine		Partner		Gesamt	
Lupine	Boruta	101,00	ab	22,24	ef	124,35	a
	Boregine	119,77	c	17,99	bc	138,57	c
	PBL 1	118,66	c	22,03	ef	135,59	bc
	PBL 2	104,82	b	21,77	ef	125,07	ab
	PBL A2	97,44	ab	23,63	f	119,36	a
	PBL A3	126,25	c	20,91	de	146,12	c
	PBL 5	120,29	c	21,64	ef	140,38	c
	PBL B5	144,87	d	15,51	a	157,23	d
	PBL 7	92,34	a	19,02	cd	117,03	a
	PBL B15	98,94	ab	16,48	ab	118,92	a
	Partner	SW	111,19	ab	22,81		134,00
HA		118,73	c	18,64		137,37	b
LD		106,51	a	18,92		125,43	a
KU		113,33	bc	/		/	
Saaddichte	SD2	120,88	b	17,55		138,71	b
	SD4	104,00	a	22,69		125,82	a
Partner x Saaddichte							
SD2	SW			19,31	b A		
	HA			15,43	a A		
	LD			17,92	b A		
	KU			/			
SD4	SW			26,31	c B		
	HA			21,85	b B		
	LD			19,92	a B		
	KU			/			

Dreifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Wechselwirkung: Verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Saaddichte, verschiedene große Buchstaben entsprechend zwischen den Saaddichten des jeweiligen Partners.

Tabelle 20 Rohprotein-Erträge [g m⁻² TS] von Lupinen, Partnern sowie Gesamt-RP-Erträge zur Garbenernte „Vollreife“ im Jahr 2017 in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saaddichte (SD2: niedrige Saaddichte, SD4: hohe Saaddichte) sowie Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Partner und Saaddichte.

		Rohproteinерtrag [g m ⁻²] von					
		Lupine		Partner		Gesamt	
Lupine	Boruta	98,49	bc	19,50	de	117,06	b
	Boregine	117,51	f	13,85	b	128,52	c
	PBL 1	107,14	ce	19,92	e	126,43	bc
	PBL 2	100,05	cb	16,67	bcd	116,72	b
	PBL A2	94,53	b	20,14	e	116,74	b
	PBL A3	112,62	def	17,38	ce	127,42	c
	PBL 5	115,68	ef	16,58	bcd	130,35	c
	PBL B5	134,85	g	8,96	a	147,24	d
	PBL 7	81,88	a	16,37	bc	100,90	a
	PBL B15	106,46	cd	10,64	a	121,23	bc
	Partner	SW	104,96	a	13,74		118,71
HA		102,14	a	19,13		121,29	a
LD		114,64	b	15,13		129,79	b
KU		105,94	a	/		/	
Saaddichte	SD2	112,58	b	13,97		126,78	b
	SD4	101,26	a	18,03		119,74	a
Partner x Saaddichte							
SD2	SW			10,97	a A		
	HA			16,51	b A		
	LD			14,42	b A		
	KU			/			
SD4	SW			16,50	a B		
	HA			21,75	b B		
	LD			15,84	a A		
	KU			/			

Dreifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Wechselwirkung: Verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Saaddichte, verschiedene große Buchstaben entsprechend zwischen den Saaddichten des jeweiligen Partners.

4.3.5 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR)

Die photosynthetisch aktive Strahlung wurde in den Jahren 2016 und 2017 zu drei zwischen den Jahren vergleichbaren Terminen bzw. EC-Stadien der Lupinen gemessen. Die Ergebnisse sind für das Jahr 2016 in Tabelle 21 und für das Jahr 2017 in Tabelle 22 für die Faktoren Sorte bzw. Prebreeding-Linie, Partner und Saatkichte dargestellt. Während im Jahr 2016 für alle Messtermine signifikante Unterschiede für die Faktoren ausgewiesen wurden, lagen in 2017 zum Termin EC 67 keine signifikanten Unterschiede für den Faktor Sorte bzw. Prebreeding-Linie vor und zu keinem Termin signifikante Unterschiede für den Faktor Saatkichte.

Tabelle 21 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) im Jahr 2016 zu ausgewählten Terminen in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatkichte (SD2: niedrige Saatkichte, SD4: hohe Saatkichte).

		Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) [in %]					
		EC 67		EC 77		EC 82	
Lupine	Boruta	2,76	ac	2,45	bc	3,05	bc
	Boregine	2,62	ac	2,09	ab	2,89	ac
	PBL 1	3,83	ef	3,22	d	3,46	cd
	PBL 2	4,20	f	2,74	cd	3,88	d
	PBL A2	3,73	ef	2,91	cd	3,03	bc
	PBL A3	3,51	df	2,54	bc	3,56	cd
	PBL 5	3,26	cde	2,83	cd	3,34	cd
	PBL B5	2,27	a	1,62	a	2,19	a
	PBL 7	2,97	bcd	2,42	bc	3,04	bc
	PBL B15	2,45	ab	1,69	a	2,38	ab
Partner	SW	3,23	bc	2,19	b	2,81	a
	HA	2,74	a	1,87	a	2,73	a
	LD	3,59	c	3,32	c	4,15	b
	KU	3,08	ab	2,43	b	2,63	a
Saatkichte	SD2	2,84	a	2,16	a	2,90	a
	SD4	3,47	b	2,74	b	3,26	b

Dreifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Im Jahr 2016 wiesen die Prebreeding-Linien PBL B5 und PBL B15 zu allen 3 Messterminen die niedrigsten PAR-Werte auf. Dagegen zeigten die Prebreeding-Linien PBL 1, PBL 2 und PBL A2 zumeist mit die höchsten Werte, teilweise auch PBL A3. Die Referenzsorten Boruta und Boregine unterschieden sich zu allen Messterminen nicht und lagen auf einem mittleren Niveau (Tabelle 21). Die Ergebnisse für das Jahr 2017 zeigten keine einheitliche Richtung. Dennoch waren auch hier die PAR-Werte von PBL B5, PBL 7 und PBL B15 oftmals recht gering und waren signifikant verschieden von den höheren Werten der Prebreeding-Linien PBL 1

und PBL 2. Zum Teil höhere Werte wurden bei den Terminen EC 77 und EC 82 auch bei PBL 5 gemessen. Die beiden Referenzsorten waren zu diesen zwei Terminen ebenfalls signifikant verschieden, wobei Boruta die höheren PAR-Werte aufwies und auf dem Niveau von PBL 1 und PBL 2 lag.

Tabelle 22 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) im Jahr 2017 zu ausgewählten Terminen in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saattiechten (SD2: niedrige Saattiechten, SD4: hohe Saattiechten).

		Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) [in %]					
		EC 67		EC 77		EC 82	
Lupine	Boruta	1,91	n.s.	4,43	f	13,52	c
	Boregine	1,58	n.s.	2,28	ab	6,87	a
	PBL 1	1,71	n.s.	3,89	df	12,17	bc
	PBL 2	2,07	n.s.	4,07	df	11,99	bc
	PBL A2	1,61	n.s.	3,16	bcd	12,86	bc
	PBL A3	1,72	n.s.	3,57	cf	10,99	b
	PBL 5	1,74	n.s.	4,11	ef	12,41	bc
	PBL B5	1,58	n.s.	2,83	ac	7,10	a
	PBL 7	2,53	n.s.	2,26	a	5,59	a
	PBL B15	1,64	n.s.	3,21	cde	7,54	a
Partner	SW	1,60	a	2,87	a	10,79	b
	HA	2,04	b	3,26	a	10,23	b
	LD	2,20	b	4,23	b	12,44	c
	KU	1,39	a	3,16	a	6,95	a
Saattiechten	SD2	1,72	n.s.	3,33	n.s.	9,62	n.s.
	SD4	1,90	n.s.	3,43	n.s.	10,59	n.s.

Dreifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Der Einfluss der unterschiedlichen Partner führte in den LD-Varianten im Jahr 2016 zu allen 3 Terminen zu den höchsten PAR-Werten und in den HA-Varianten zu den niedrigsten Werten, wobei sich diese am letzten Termin (EC 82) nicht mehr signifikant von den SW- und KU-Varianten unterschieden (Tabelle 21). Auch im Jahr 2017 wiesen die LD-Varianten wiederum zu allen 3 Messterminen die höchsten PAR-Werte auf (Tabelle 22). Allerdings zeigten in 2017 die KU-Varianten die niedrigsten Werte; die PAR-Werte der SW- und HA-Varianten zeigten wechselnde Werte und lagen auf mittlerem Niveau bzw. auf dem Niveau der KU-Varianten.

Die höhere Saatedichte hatte zu allen Messterminen im Jahr 2016 signifikant höhere PAR-Werte als die niedrige Saatedichte (Tabelle 21). Dies konnte im Jahr 2017 nur in der Tendenz bestätigt werden (Tabelle 22).

4.3.6 N_{min}-Gehalte nach Ernte

Nach Abschluss der Parzellenbearbeitung wurden in beiden Jahren N_{min}-Beprobungen auf 0-60 cm Bodentiefe durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 23 für beide Jahre zusammengestellt. Die dreifaktorielle statistische Verrechnung zeigte nur für die Faktor Partner signifikante Unterschiede.

In beiden Jahren waren die N_{min}-Gehalte in den KU-Varianten am niedrigsten und im Jahr 2016 signifikant verschieden zu den Varianten mit den anderen Partnern. Im Jahr 2017 waren die KU-Varianten nur noch gegenüber den SW- und HA-Varianten signifikant geringer, während die LD-Varianten eine Mittelstellung einnahmen.

Tabelle 23 N_{min}-Gehalte [mg kg⁻¹ TS] nach der Ernte in den Jahren 2016 und in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine, Boruta und Prebreeding-Linien), Partner (HA: Hafer, LD: Leindotter, SW: Sommerweizen, KU: „künstliches Unkraut“) und Saatedichte (SD2: niedrige Saatedichte, SD4: hohe Saatedichte).

		N _{min} -Gehalte [mg g ⁻¹ TS] nach der Ernte			
		2016		2017	
Lupine	Boruta	4,96	n.s.	5,90	n.s.
	Boregine	5,09	n.s.	5,30	n.s.
	PBL 1	4,52	n.s.	5,71	n.s.
	PBL 2	4,91	n.s.	5,24	n.s.
	PBL A2	4,93	n.s.	5,08	n.s.
	PBL A3	4,57	n.s.	5,08	n.s.
	PBL 5	4,81	n.s.	5,00	n.s.
	PBL B5	4,67	n.s.	5,00	n.s.
	PBL 7	5,20	n.s.	4,86	n.s.
	PBL B15	4,45	n.s.	5,86	n.s.
Partner	SW	5,16	b	6,01	b
	HA	5,08	b	5,54	b
	LD	4,91	b	5,23	ab
	KU	4,09	a	4,44	a
Saatedichte	SD2	4,78	n.s.	5,35	n.s.
	SD4	4,84	n.s.	5,25	n.s.

Dreifaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für das jeweilige Jahr (p < 0,05).

5 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse anhand der in Kapitel 1.2 formulierten Zielsetzungen für die sortenspezifische Unkrautunterdrückung und die Gemengeeignung getrennt diskutiert. Wie bereits in den Ergebnissen beschrieben, werden die Prebreeding-Linien 1 bis 6 (PBL 1, PBL 2, PBL A2, PBL A3, PBL 5 und PBL B5) im Vergleich zu ihrer Referenzsorte Boruta betrachtet und PBL 7 und PBL B15 entsprechend in Bezug zu Boregine gesetzt, um einen Mehr- bzw. Minderertrag gegenüber dem Donor darstellen zu können. Im Vergleich der Wuchstypen werden die endständigen Prebreeding-Linien PBL 1 und PBL A2 den verzweigten Prebreeding-Linien PBL A3, PBL 5, PBL B5, PBL 7 und PBL B15 gegenübergestellt. Zusätzlich werden alle Sorten bzw. Prebreeding-Linien und Gemengevarianten gegenübergestellt und diejenigen mit den höchsten Ertragswerten benannt.

5.1 Sortenspezifische Konkurrenzkraft

In den beiden Untersuchungsjahren 2016 und 2017 war zu allen Beprobungsterminen eine zumeist signifikante Steigerung der Unkrautbiomasse in der Reihenfolge mit natürlichem Unkraut (mit UN) < mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatedichte (KU_SD2) < mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatedichte (KU_SD4) zu erkennen. An den Mittelwerten der Unkrautvarianten ist abzulesen, dass die Unkrautbiomasse zur Sprossentwicklung geringer war, sich jedoch kaum zwischen den Beprobungsterminen zur Blüte und zur Garbenernte unterschied. Die sortenspezifische Unkrautunterdrückung sowie sortenspezifische Unkrauttoleranz in Abhängigkeit vom Verunkrautungsgrad waren erst zur Garbenernte signifikant, wobei generell die Konkurrenzkraft der Lupinen in der Reihenfolge ohne natürliches Unkraut (ohne UN) \geq mit natürlichem Unkraut (mit UN) $>$ mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatedichte (KU_SD2) \geq mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatedichte zunahm (KU_SD4). Die Abstufung im Biomasseaufwuchs und im Kornertrag der Lupinen war zwischen der Variante mit natürlichem Unkraut und „künstlichem Unkraut“ oftmals am größten, während sich die Varianten mit geringem Unkrautdruck (ohne UN und mit UN) sowie höherem Unkrautdruck (KU_SD1 und KU_SD2) kaum signifikant unterschieden. Dies weist allgemein auf eine gute Unkrauttoleranz der Sorten bzw. Prebreeding-Linien bei geringem Unkrautdruck im Vergleich zu unkrautfreien Beständen sowie bei einer weiteren Steigerung der Unkrautbiomasse im Vergleich zu ohnehin hohem Unkrautdruck hin. Die folgenden Ausführungen sind daher vor dem Hintergrund dieser Bedingungen zu betrachten.

A. Identifikation neuer Prebreeding-Linien mit einer höheren Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut im Vergleich zu bestehenden Sorten.

Als erste Komponente der Konkurrenzkraft soll zunächst die sortenspezifische Unkrauttoleranz anhand der Ertragswerte der Blauen Süßlupinen untersucht werden. Zur 1. Zeiternte der Sprossentwicklung unterschied sich die Lupinenbiomasse im Jahr 2016 in Abhängigkeit von den Sorten bzw. Prebreeding-Linien, wobei Boruta und PBL B15 sowie PBL B5 die höchsten Lupinenbiomasseerträge zeigten und demnach die schnellste Jugendentwicklung aufwiesen. Im Jahr 2017 waren die Unterschiede nicht signifikant, dennoch zeigten Boruta und PBL B5 ebenfalls eine hohe Biomassebildung. Im Vergleich zu den Referenzsorten übertraf zur Sprossentwicklung im Jahr 2016 nur PBL B15 den Lupinenbiomasseertrag von Boregine signifikant, während in 2017 PBL B5 im Vergleich zur Referenzsorte Boregine eine vergleichbare Biomassebildung zeigte. Im Vergleich zur Referenzsorte Boruta wurden in beiden Jahren keine Unterschiede (PBL B5) oder geringere Lupinenbiomasseerträge (PBL 1, PBL 2, PBL A2, PBL A3, PBL 5) ermittelt.

Zur Blüte (2. Zeiternte) erbrachte in beiden Jahren hingegen nicht Boruta, sondern Boregine die signifikant höchsten Lupinenbiomasseerträge genauso wie PBL B5 sowie PBL B15 in 2016 sowie PBL 7 im Jahr 2017. Im Vergleich zur Referenzsorte zeigte im Jahr 2016 PBL B15 zur Blüte keinen Unterschied zu Boregine, wohingegen Boruta von PBL B5 im Lupinenbiomasseertrag übertroffen wurde. Zur Blüte zeigte in beiden Jahren Boregine eine höhere Biomassebildung als Boruta. Anders fielen die Ergebnisse für die beiden Referenzsorten im ersten Versuchsjahr 2015 aus, wo Boruta sowohl zur Sprossentwicklung als auch zur Blüte gegenüber Boregine überlegen war (Böhm 2016), sodass ein Einfluss von Jahreseffekten nicht ausgeschlossen werden kann. Dies wird zudem an den geringeren Biomasseaufwüchsen in dem Versuchsjahr 2015 (Böhm 2016) im Vergleich zu den hier vorgestellten Ergebnissen der beiden Versuchsjahre 2016 und 2017 deutlich.

Zur Garbenernte wurden im Jahr 2016 Unterschiede für die Kornerträge der Sorten bzw. Prebreeding-Linien in Abhängigkeit vom Unkrautdruck deutlich, wobei mit steigender Konkurrenz (ohne UN < mit UN < KU_SD2 < KU_SD4) eine Angleichung zwischen den Sorten bzw. Prebreeding-Linien festzustellen war. 2016 zeigte Boregine und PBL 5 in der Variante ohne Unkraut die höchsten Lupinenkornerträge, mit natürlichem Unkraut war wiederum Boregine sowie die PBL 1, PBL A3 und PBL 5 am ertragsstärksten und in beiden Varianten mit „künstlichem Unkraut“ hatte PBL B5 die höchsten Erträge, wobei die Unterschiede zu den anderen Sorten bzw. Prebreeding-Linien gering waren. In Bezug auf die Ertragsleistung von Boregine ist hervorzuheben, dass diese die geringste Unkrauttoleranz bei steigendem Unkrautdruck aufzeigte, da sich der Lupinenertrag auch zwischen den Varianten mit „künstlichem Unkraut“ signifikant unterschied. In 2017 lag keine Wechselwirkung vor, sodass Boregine, PBL A3 und PBL 5 die höchsten Kornerträge aufwiesen. Auffallend waren zudem PBL 7 und PBL B15, die in beiden Jahren über alle Konkurrenzsituationen hinweg geringere Kornerträge im Vergleich aller Sorten bzw. Prebreeding-Linien zeigten.

Im Vergleich der Prebreeding-Linien (1 bis 6) zu Boruta gab es 2016 keine Unterschiede im Lupinenkornertrag in der unkrautfreien Variante. In Lupinenbeständen mit natürlichem Unkraut zeigten PBL 1 und PBL A3 signifikante Mehrerträge im Vergleich zur Referenzsorte, die demnach unter Bedingungen mit geringem Unkrautdruck eine bessere Unkrauttoleranz aufweisen können. Bei höherem Unkrautdruck wurden jedoch bei diesen beiden Prebreeding-Linien signifikant geringere Kornerträge im Vergleich zu der Variante mit natürlichem Unkraut festgestellt, was auf eine geringe Unkrauttoleranz bei steigender Konkurrenz hinweist. In den Varianten mit „künstlichem Unkraut“ wurde Boruta in beiden Saaddichten von PBL B5 signifikant im Lupinenkornertrag übertroffen, was diese Prebreeding-Linie als toleranter gegenüber hohem Unkrautdruck erscheinen lässt. In 2017 zeigte sich dagegen generell, dass PBL A3 und PBL 5 in allen Konkurrenzsituationen signifikant höhere und PBL 1 höhere Erträge aufwiesen als die Referenzsorte. In 2016 zeigte PBL B5 zudem keine signifikanten Unterschiede im Kornertrag zwischen den unterschiedlichen Konkurrenzsituationen (wohl aber zur konkurrenzfreien Variante), was die Unkrauttoleranz dieser Prebreeding-Linie unterstreicht.

Aus den Ergebnissen der Leistungsprüfung ausgewählter Prebreeding-Linien gehen bisher ebenfalls PBL A3 mit 114 % Mehrertrag gegenüber Boruta und PBL B5 (106 %) hervor (Roux 2017), wobei die vorliegenden Ergebnisse eine differenziertere Betrachtung zulassen, unter welchen Bedingungen ein Mehrertrag zu verzeichnen ist.

Als zweite Komponente der Konkurrenzskraft lässt sich die sortenspezifische Unkrautunterdrückung anhand der Unkrautbiomasse quantifizieren. Ein Einfluss der Sorten bzw. Prebreeding-Linien auf die Unkrautbiomasse trat in beiden Versuchsjahren erst zur Garbenernte

auf, was darauf hinweist, dass das Unkrautunterdrückungsvermögen in der Jugendentwicklung ähnlich zwischen den Sorten bzw. Prebreeding-Linien ist und sich erst zur Abreife bzw. Spätverunkrautung unterscheidet. So wurde in einem Versuch mit Wintererbsen ebenfalls eine sortenspezifische Unkrautunterdrückung erst zur Blüte festgestellt (Gronle und Böhm 2014). Auch Niemann (2000) stellte fest, dass sortenspezifische Konkurrenzkräft erst ab dem Bestandsschluss vollständig zum Tragen kommen kann.

In den vorliegenden Ergebnissen bedingten in beiden Jahren PBL B5 und PBL B15 sowie PBL 7 in 2016 und Boregine in 2017 die geringste Unkrautbiomasse, während diese in den Beständen von PBL 2 und PBL A2 sowie PBL 1 und Boruta in 2016 am höchsten war.

Im Vergleich zu den Referenzsorten zeigten PBL B15 und PBL 7 (letztere nur 2016) ein ähnliches Unkrautunterdrückungsvermögen wie Boregine. Hingegen zeigte PBL B5 eine signifikant geringere Unkrautbiomasse als Boruta, was auf ein höheres Unkrautunterdrückungsvermögen dieser PBL im Vergleich zur Referenzsorte schließen lässt.

Zusammenfassend konnte keine generelle Überlegenheit der Prebreeding-Linien in ihrer Konkurrenzkräft gegenüber den bestehenden Sorten festgestellt werden. Hervorzuheben ist jedoch PBL B5, die in beiden Jahren ein höheres Unkrautunterdrückungsvermögen im Vergleich zur Referenzsorte Boruta aufwies und hohe Lupinenerträge realisierte, die über denen der Referenzsorte Boruta lagen. Zudem konnten für die Prebreeding-Linien PBL A3 und PBL 5 in 2016 bei geringem Unkrautdruck und in 2017 in allen Konkurrenzsituationen hohe Lupinenerträge ermittelt werden, die auf dem Niveau von Boregine lagen.

B. Bewertung der Wuchstypen (endständig vs verzweigt) der Sorten bzw. Prebreeding-Linien im Hinblick auf ihre Konkurrenzkräft gegenüber Unkraut.

Als erste Komponente der Konkurrenzkräft soll wiederum zunächst die sortenspezifische Unkrauttoleranz anhand der Ertragswerte der Blauen Süßlupinen untersucht werden. Zur Sprossentwicklung zeigte im Vergleich der Referenzsorten in beiden Jahren die endständige Sorte Boruta eine bessere Unkrauttoleranz durch einen höheren Lupinenbiomasseertrag gegenüber Boregine, wohingegen sich dieser Unterschied zur Blüte umkehrte, zu der die verzweigte Referenzsorte entsprechend Boruta übertraf.

Bei der Gegenüberstellung der Prebreeding-Linien waren verzweigte Wuchstypen tendenziell den endständigen zu beiden Beprobungsterminen im Lupinenbiomasseertrag überlegen, wobei die Unterschiede nicht in allen Fällen signifikant waren und sich etwas deutlicher zur Blüte darstellten. Dieses steht in Übereinstimmung mit dem Ergebnis von Böhm und Aulrich (2011), die höhere Erträge des verzweigten Wuchstyps der Blauen Süßlupine beschreiben. Auch die Auswertung über alle drei Versuchsjahre für den Vergleich von Boruta und Boregine (Abbildung 10) unterstützen dieses Ergebnis.

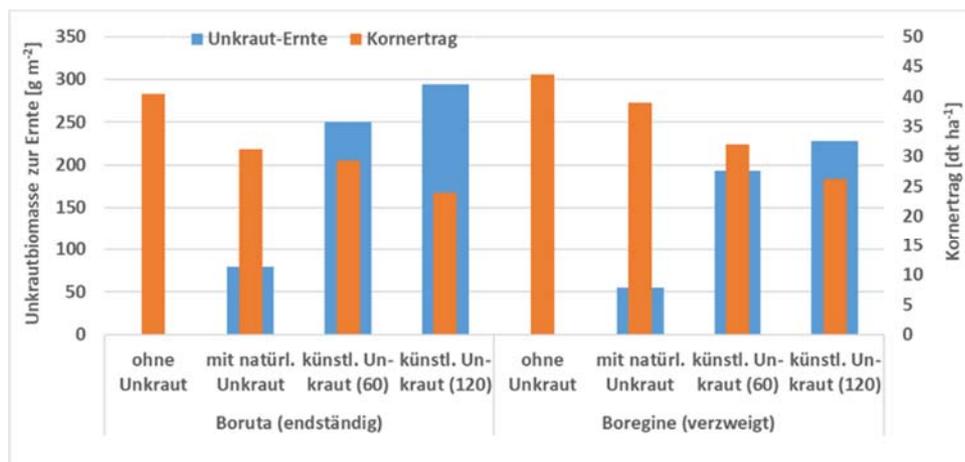


Abbildung 10: Unkrautbiomasse zum Zeitpunkt der Ernte [g m⁻² TS] und Kornertrag [dt ha⁻¹ TS] in Abhängigkeit der Lupinensorten Boruta und Boregine sowie unterschiedlichen Konkurrenzsituationen (ohne natürliches Unkraut (ohne Unkraut), mit natürlichem Unkraut (mit Unkraut) sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saaddichte (60 Körner m⁻²) und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saaddichte (120 Körner m⁻²)) im Mittel der Jahre 2015 bis 2017.

Als zweite Komponente der Konkurrenzkraft lässt sich die sortenspezifische Unkrautunterdrückung anhand der Unkrautbiomasse quantifizieren. Wie bereits beschrieben, war erst zur Garbenernte ein Einfluss der Sorten bzw. Prebreeding-Linien auf die Unkrautbiomasse festzustellen, wobei in beiden Versuchsjahren in Beständen von PBL B5 und PBL B15 sowie PBL 7 in 2016 die geringste Unkrautbiomasse ermittelt wurde, während diese in den Beständen von Boruta, PBL 2 und PBL A2 sowie PBL 1 in 2016 am höchsten war. Bei der Gegenüberstellung der Wuchstypen zeigten somit die endständigen Prebreeding-Linien ein eher geringeres Unkrautunterdrückungsvermögen als die verzweigten Prebreeding-Linien, wobei dieser Unterschied im Vergleich zu PBL A3 und PBL 5 nicht signifikant war. Auch die endständige Referenzsorte Boruta bedingte eine signifikant höhere Unkrautbiomasse als Boregine.

Zusammenfassend konnten nicht generell Unterschiede in der Unkrauttoleranz zwischen endständigen und verzweigten Wuchstypen festgestellt werden, während die Unkrautunterdrückung als Komponente der Konkurrenzkraft für verzweigte Prebreeding-Linien zumeist höher war. Es konnte nachgewiesen werden, dass verzweigte Wuchstypen über ein höheres Unkrautunterdrückungsvermögen verfügen. Dies entspricht den Literaturangaben, die davon ausgehen, dass der verzweigte Wuchstyp der Lupine durch seine bessere Lichtausnutzung eine höhere interspezifische Konkurrenzkraft zeigen kann (Hauggaard-Nielsen et al. 2008, Knudsen et al. 2004) und durch schnellere Jugendentwicklung sowie die verzweigte Blattarchitektur eine bessere Unkrautunterdrückung erzielt (Azo et al. 2012, Böhm und Aulrich 2011). Die Ergebnisse der Messungen zur photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) zeigten ebenfalls für die endständigen Prebreeding-Linien PBL 1 und PBL A2 höhere Werte im Vergleich zu den verzweigten Prebreeding-Linien PBL B5, PBL 7 und PBL B15.

C. *Entwicklung eines Prüfsystems unter Einbeziehung von sogenannten „künstlichen Unkräutern“ als Indikator für die Charakterisierung der Konkurrenzkraft von Blauen Süßlupinen.*

Mit der Beisat der „künstlichen Unkräuter“ ist es gelungen, die Konkurrenzsituation im Vergleich zu den natürlich am Standort vorkommenden Unkräutern gegenüber den Blauen Süßlupinen deutlich zu erhöhen. Dies führte im Jahr 2016 auch zu einer Wechselwirkung von Lupine x Partner, aus der unterschiedliche Reaktionen der geprüften Sorten und Prebreeding-Linien abgeleitet werden konnten. Im Gegensatz zu den monokotylen Getreidearten handelte es sich bei den künstlichen Unkräutern um eine Mischung aus unterschiedlichen dikotylen Pflanzenarten (Buchweizen, Phacelia und Winterraps). Damit sollten Konkurrenzsituationen von dikotylen Unkrautarten wie Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*) oder Spreizender Melde (*Atriplex patula*) nachgestellt werden, die oftmals in Körnerleguminosenbeständen zu den Leitunkrautarten zählen. Im Gegensatz zum ebenfalls dikotylen Leindotter ist die Pflanzenentwicklung der hier gewählten „künstlichen Unkräuter“ deutlich verschieden.

Die Blauen Süßlupinen zeigten in ihrem Biomasseaufwuchs zur Sprossentwicklung und zur Blüte gegenüber dem „künstlichen Unkraut“ im Vergleich der Partner eine hohe Unkrauttoleranz, die oftmals auf dem gleichen Niveau wie Hafer oder Sommerweizen als Gemengepartner lag.

Zur Sprossentwicklung unterschied sich das simulierte Unterdrückungsvermögen zwischen den Saaddichten, wobei bei niedriger Partnersaadtdichte die Biomasse des „künstlichen Unkraut“ der von Sommerweizen oder/und Hafer entsprach und bei hoher Saaddichte im Vergleich der Partner am geringsten war.

Zur Blüte war das Unkrautunterdrückungsvermögen der Lupinen in beiden Jahren unabhängig von der Saaddichte bei „künstlichem Unkraut“ am höchsten. Im Jahr 2016 bestand zu diesem Vegetationszeitpunkt zudem eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Sorten bzw. Prebreeding-Linien und Partnern. Auffällig war dabei, dass im Gegensatz zu den anderen Partnern beim „künstlichen Unkraut“ keine signifikanten Unterschiede in der Partnerbiomasse zwischen den Sorten bzw. Prebreeding-Linien bestanden. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass das Wachstum des „künstlichen Unkrautes“ unabhängig von der Lupinenbiomasse war, die sich zwischen den Sorten und Prebreeding-Linien unterschied.

Insgesamt ließ sich somit mit den „künstlichen Unkräutern“ ein gleichmäßiger Unkrautdruck abbilden, der bei höheren Saaddichten zusätzlich Abstufungen in der Konkurrenz ermöglichte. Sortenspezifische Unterschiede in der Unkrautunterdrückung waren jedoch nicht erkennbar, und ließen sich besser mit Sommerweizen und Hafer als Partner darstellen. Bei signifikanten Wechselwirkungen von Lupine x Partner wäre ein gleichmäßiger Unkrautdruck jedoch vorteilhaft, um Unterschiede in der Unkrauttoleranz anhand der Lupinenbiomasse zu ermitteln.

5.2 Gemengeeignung

Übergeordnet ist zunächst festzustellen, dass in allen Varianten positive Gemengewirkungen auftraten, was die Vorzüge des Gemengeanbau von Blauen Süßlupinen unterstreicht (Böhm et al. 2008a). Das Unkrautauftreten in den Gemengen während der Vegetationsperiode war generell als gering einzuordnen, da sowohl zur Sprossentwicklung als auch zur Blüte lediglich etwa 10 - 20 g m⁻² TS in 2016 und 10 – 30 g m⁻² TS in 2017 Unkrautbiomasse ermittelt wurde. Die geringe Verunkrautung war in 2016 zum Teil durch trockene Bedingungen in den

Monaten März bis Mai 2016 bedingt und in 2017 durch die schnelle Jugendentwicklung der Pflanzenbestände nach der witterungsbedingt späten Aussaat.

A. Identifikation von neuen Prebreeding-Linien mit hoher Eignung für den Gemengeanbau in Bezug auf Ertrags- und Rohproteinertragsleistung und Unkrautunterdrückungsvermögen.

Da positive Effekte des Gemengeanbaus von Blauen Süßlupinen wesentlich von deren Konkurrenzkraft gegenüber dem Gemengepartner abhängig ist (Boström 2008, Strydhorst et al. 2008), stellt der Lupinenertrag der Prebreeding-Linien im Gemenge eine wichtige Kenngröße zur Feststellung der Gemengeeignung dar. Daher werden zunächst die Ergebnisse der Lupinen-Kornerträge und anschließend Gesamtgemenge-Kornerträge (Lupine + Partner) betrachtet.

Zur Garbenernte war der Lupinenkornertrag in den Gemengen mit PBL B5 in beiden Jahren am höchsten und auf gleichem Niveau wie Boregine. Für Gemenge mit PBL 7 wurden ebenfalls in beiden Jahren die niedrigsten Lupinenkornerträge ermittelt, wobei auch für die Gemenge mit PBL A2 und PBL B15 sowie PBL 2 in 2016 niedrige Lupinenerträge ermittelt wurden. Die Ertragsleistung der Referenzsorten wiesen in beiden Jahren höhere Lupinen-erträge für Boregine im Vergleich zu Boruta aus.

Im Vergleich der Prebreeding-Linien gegenüber den Referenzsorten wurde keine generelle Überlegenheit der Prebreeding-Linien festgestellt, aber einzelne Prebreeding-Linien mit einer besseren Ertragsleistung ermittelt.

Im Vergleich zu Boruta zeigten in beiden Jahren die Gemenge mit PBL B5 einen signifikant höheren Kornertrag als Boruta, der auf dem Ertragsniveau von Boregine lag. Zusätzlich wurde der Kornertrag von Boruta zur Garbenernte auch von Gemengen mit PBL A3 übertroffen, der 2016 auch signifikant höher lag. Somit werden die Ergebnisse der Leistungsprüfung bestätigt, welche einen Mehrkornertrag von PBL B5 (114 %) sowie PBL A3 (106 %) gegenüber Boruta ergab (Roux 2017).

Im Vergleich zur Referenzsorte Boregine lagen die Lupinen-Kornerträge der Gemenge mit PBL 7 und PBL B15 jedoch signifikant geringer. Dies ist zum einen auf die Lagerneigung der beiden Prebreeding-Linien zurückzuführen und zum anderen auf ihren, insbesondere im niederschlagsreichen Jahr 2017 beobachtete starke vegetative Entwicklung. Für PBL B15 wurde auch in den Ergebnissen der Leistungsprüfung Mindererträge (75 %) gegenüber Boregine ermittelt (Roux 2017).

In beiden Jahren war der Gesamtkornertrag in Gemengen mit PBL A3 mit am höchsten und wurde in 2016 nur von dem Gemenge mit Boregine und in 2017 von dem Gemenge mit PBL 1 übertroffen. Die niedrigsten Gesamtkornerträge wiesen in beiden Jahren die Gemenge mit PBL 7 und PBL B15 auf. Insofern lag der Gesamtkornertrag in Gemengen mit der Referenzsorte Boregine signifikant über den entsprechenden Kornerträgen mit PBL 7 und PBL B15. Auch der Gesamtkornertrag von Gemengen mit Boruta unterschied sich nicht signifikant von den entsprechenden Prebreeding-Linien.

Hervorgehoben werden kann PBL A3, da diese Prebreeding-Linie in entsprechenden Gemengen höhere Erträge an Lupinen im Vergleich zu Boruta erbrachte bei vergleichbaren bzw. tendenziell höheren Gesamtkornerträgen. Der hohe Lupinenertrag von PBL B5 konnte hingegen im Gesamtkornertrag der Gemenge nicht bestätigt werden, während Boregine sowohl hohe Lupinenerträge als auch hohe Gesamtgemengeerträge bedingte.

Als weitere Messgröße wurde die Unkrautunterdrückung im Gemenge betrachtet. Zur Garbenernte zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Sorten bzw. Prebreeding-Linien auf die Verunkrautung. Eine geringe Unkrautbiomasse wurde in beiden Jahren in den Gemengen mit PBL B15 ermittelt und in den Gemengen mit PBL A3 und PBL 5 hohe Unkrautbiomassen, was in 2016 ein geringeres und in 2017 ein vergleichbares Unkrautunterdrückungsvermögen im Vergleich zur Referenzsorte Boruta bedeutete. Die Unkrautbiomasse in Gemengen mit PBL 7 und PBL B15 unterschied sich in beiden Jahren nicht von der entsprechenden Referenzsorte Boregine. Setzt man diese Ergebnisse mit Ertragswerten im Gemenge in Bezug zeigten PBL A3 und PBL B5 trotz geringerer Unkrautunterdrückung hohe Erträge und PBL 7 und PBL B15 trotz guter Unkrautunterdrückung geringe Erträge. Insofern ließ sich kein direkter Zusammenhang zwischen dem Unkrautunterdrückungsvermögen im Gemenge und dem Kornertrag feststellen. Einzig Gemenge mit Boregine bestätigten den vermuteten Zusammenhang von einem hohen Ertrag, der durch eine gute Unkrautunterdrückung bedingt sein kann.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die Konkurrenzkraft der Sorten bzw. Prebreeding-Linien der Blauen Süßlupine gegenüber dem Gemengepartner ertragswirksamer sein kann, als gegenüber der Unkrautbiomasse. Es bleibt hervorzuheben, dass trotz geringem Unkrautdruck deutlich positive Gemengeeffekte in allen Varianten ermittelt werden konnten, was im Gegensatz zu Ergebnissen aus der Literatur steht (Anil et al. 1998, Hänsel 2007, Urbatzka et al. 2012).

B. Bewertung der Wuchstypen (endständig vs verzweigt) der geprüften Sorten bzw. der Prebreedinglinien im Hinblick auf die Ertragsleistungen der Blauen Süßlupine und des Gesamtertrages sowie ihr Unkrautunterdrückungsvermögen im Gemengeanbau.

Zur Sprossentwicklung als auch zur Blüte konnten in beiden Jahren keine eindeutigen Unterschiede in der Unkrauttoleranz zwischen verzweigten und endständigen Prebreeding-Linien in den Gemengen festgestellt werden. Nur vereinzelt wiesen verzweigte Prebreeding-Linien höhere Biomassen auf als endständige PBLs.

Zur Garbenernte konnte anhand des Lupinenkornertrags ebenfalls kein einheitliches Ergebnis ermittelt werden, da beide Wuchstypen sowohl durch Prebreeding-Linien mit höheren Erträgen (PBL 1, PBL A3, PBL 5 und PBL B5), also auch durch Prebreeding-Linien mit geringerem Ertragsniveau (PBL A2, PBL 7 und PBL B15) vertreten waren. Die Ergebnisse der Gesamtkornerträge sind ähnlich unbestimmt. Insofern stellt sich nicht die Frage nach dem ertragsstärksten Wuchstyp mit entsprechend hoher Unkrauttoleranz, sondern den ertragsstärksten Prebreeding-Linien innerhalb eines Wuchstyps. Aus den Ergebnissen sind diesbezüglich PBL 1 als endständiger Wuchstyp mit vergleichbaren Kornertragswerten wie Boruta hervorzuheben sowie PBL A3 und PBL B5, die auf dem Ertragsniveau von Boregine liegen. In Bezug auf die Unkrautunterdrückung gab es zur Sprossentwicklung und zur Blüte keine Unterschiede zwischen den Wuchstypen, was durch den geringen Unkrautdruck über die Vegetationszeit bedingt sein kann.

Zur Garbenernte zeigten sich in den beiden Jahren unterschiedliche Ergebnisse im Hinblick auf die Unkrautbiomasse bzw. das Unkrautunterdrückungsvermögen, insbesondere bei den endständigen Prebreeding-Linien. Insofern kann hier keine eindeutige Aussage abgeleitet werden. Auffallend waren jedoch die verzweigten Prebreeding-Linien PBL A3 und PBL 5, die sich in beiden Jahren durch ein geringes Unkrautunterdrückungsvermögen auszeichneten.

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen nicht abgeleitet werden, dass verzweigte Wuchstypen generell höhere Erträge und ein besseres Unkrautunterdrückungsvermögen im

Gemengeanbau realisieren als endständige Wuchstypen, was Annahmen aus der Literatur (Azo et al. 2012, Böhm und Aulrich 2011, Hauggaard-Nielsen et al. 2008, Knudsen et al. 2004) widerspricht.

C. Identifikation von Gemengepartnern, die keine zu hohe Konkurrenzskraft gegenüber der Blauen Süßlupine aufweisen, um möglichst hohe Lupinenerträge im Gemengeanbau zu realisieren.

Im Vergleich der Gemengepartner und deren Saaddichten wurden unterschiedliche Auswirkungen auf den Lupinenertrag und die Unkrautbiomasse festgestellt. Da die Ergebnisse der beiden Versuchsjahre zum Teil unterschiedlich ausgefallen sind, wird für die Diskussion auf eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse für die Unkrautbiomasse und die Kornerträge zurückgegriffen (Abbildung 11).

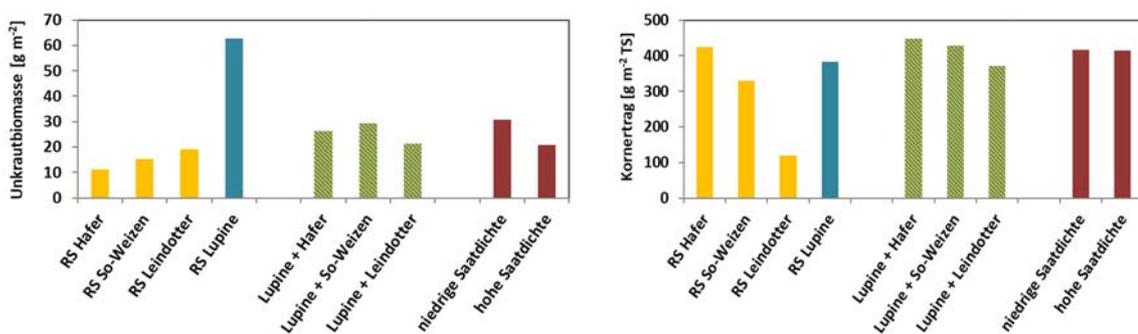


Abbildung 11: Unkrautbiomasse zum Zeitpunkt der Ernte [g m⁻² TS] und Kornertrag [g m⁻² TS] im Mittel der Jahre 2016 und 2017 für die Reinsaat (RS) sowie die Gemenge (grün) und die niedrigen (SD2) und die hohen (SD4) Saaddichten (rot) gemittelt über alle Sorten bzw. Prebreeding-Linien.

Die Unkrautbiomasse wurde in den Gemengen im Vergleich zu den Lupinen-Reinsaat deutlich, d.h. um bis über 50%, reduziert. Dabei zeigten die Leindotter-Lupinen-Gemenge eine tendenziell bessere Unkrautunterdrückende Wirkung als die Lupinengemenge mit Hafer oder Sommerweizen (Abbildung 11). Leindotter zeichnet sich während Sprossentwicklung durch eine hohe Konkurrenzskraft durch seine schnelle Jugendentwicklung aus, welche die geringste Unkrautbiomasse bedingte und somit Studien von Gollner et al. (2010) bestätigt wurden, die auch diese Eigenschaften des Leindotter beschreiben. Somit wurde in den Untersuchungen ein hohes Unkrautunterdrückungspotenzial des Leindotter deutlich und damit gleichfalls die Ergebnisse aus dem ersten Versuchsjahr, in dem nur die Referenzsorten untersucht wurden (Böhm 2016), sowie Studien von Ackermann und Saucke (2005) und Paulsen et al. (2007) bestätigt. Leindotter zeigte allerdings gleichzeitig ertragsmindernde Effekte auf den Lupinenertrag, was die Einschränkungen des Lupinenanbaus im Gemenge mit einem konkurrenzstarken Partner verdeutlicht (Böhm et al. 2008a, Boström 2008, Strydhorst et al. 2008). Daher ließen sich hohe Lupinenerträge nicht mit der Unkrautunterdrückenden Wirkung des Leindotter vereinen. Die vorliegenden Ergebnisse schließen darüber hinaus nicht aus, dass bei stärkerer Verunkrautung, wie von Urbatzka et al. (2012) beschrieben, die Unkrautunterdrückende Wirkung des Leindotter im Gemenge auch für die Lupinen ertragsrelevant werden könnte.

Die höhere Saatedichte der Gemengepartner führte zu einer besseren Unkrautunterdrückung (Abbildung 11). Die Gesamt-Kornerträge der Gemenge lag bei den Gemengen mit Hafer und Sommerweizen über denen der Reinsaat Lupine und der Getreide- bzw. Leindotter-Reinsaaten. Die Gesamtertragsleistungen der Leindotter-Gemenge war mit dem Lupinenertrag der Reinsaaten auf vergleichbarem Niveau. Die Saatedichte der Partner hatte keine Auswirkungen auf die Erträge.

Da die Unkrautbiomasse durch die jeweiligen Partner beeinflusst wurde, kann in Anlehnung an Poggio (2005) und Hauggaard-Nielsen et al. (2008) davon ausgegangen werden kann, dass über einen großen Teil des Vegetationszeitraums die Konkurrenzsituation im Gemenge vor allem durch die Partner bestimmt wurde. Durch eine höhere Saatedichte der Partner wurde eine bessere Unkrautunterdrückung erzielt, wie auch Gronle und Böhm (2014) in Gemengeversuchen mit Wintererbsen bestätigen. Gemengeeffekte im Anbau zur Körnernutzung von Blauer Süßlupine waren sowohl für Hafer als auch für Sommerweizen positiv und bestätigen dahingehend Literaturangaben für Gemengeversuche mit Sommererbse (Gronle et al. 2015b, Lauk und Lauk 2008) und Blauer Lupine (Böhm et al. 2008a).

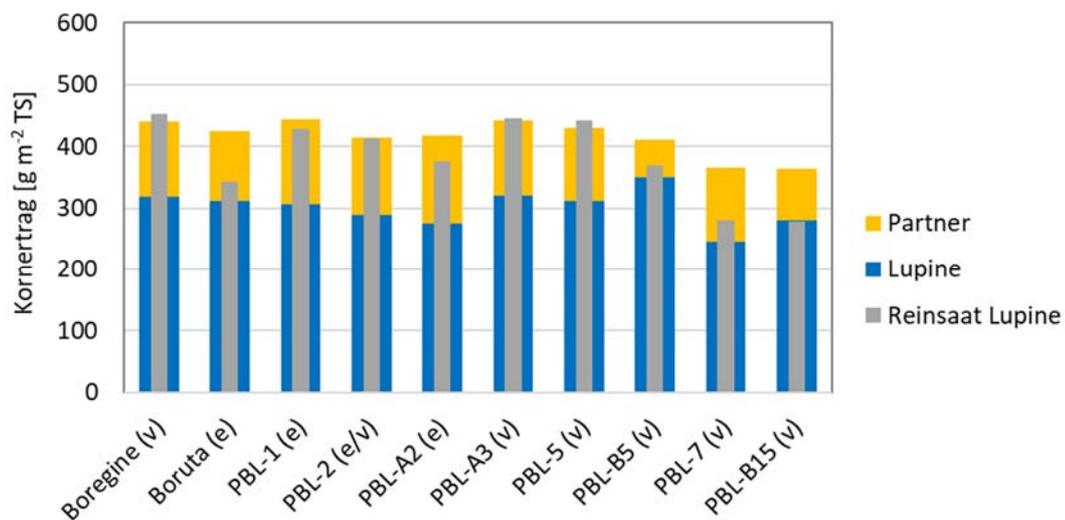


Abbildung 12: Kornertrag [g m⁻² TS] der Sorten bzw. Prebreeding-Linien im Mittel der Jahre 2016 und 2017 getrennt nach Lupinen- und Partner sowie im Vergleich zu den jeweiligen Lupinen-Reinsaaten.

Eine generelle Überlegenheit eines bestimmten Partners im Hinblick auf die Ertragsleistung der Lupinen im Gemenge konnte aus den zweijährigen Ergebnissen nicht abgeleitet werden. Dies ist unter anderem auf die sehr unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den beiden Versuchsjahren und die damit sehr verschiedene Entwicklung der Pflanzenbestände zurückzuführen. Aus Abbildung 12 ist jedoch abzuleiten, dass die Lupinensorten bzw. –Prebreeding-Linien unterschiedlich auf die Gemengepartner reagierten. So zeigte die endständige Sorte Boruta im Gemenge im Vergleich zur Reinsaat nur geringfügig niedrigere Erträge, was zu einem deutlichen Mehrertrag im Gemenge führte. Die verzweigte Sorte Boregine dagegen wies in Reinsaat einen deutlich höheren Ertrag auf als im Gemenge, sodass der Gemengeanbau hier keine deutlichen Vorteile brachte. Die ebenfalls verzweigte Prebreeding-Linie PBL B5 zeigte im Gemenge wie die Sorte Boruta einen zur Reinsaat vergleichbar hohen Lupinenertrag, sodass durch den Gemengeanbau insgesamt ein Mehrertrag realisiert wurde.

6 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Projektergebnisse können den Züchtern wertvolle Hinweise zur Züchtung neuer ertragreicher Lupinensorten mit guter unkrautunterdrückender Wirkung geben. Weiter konnte gezeigt werden, dass der Gemengeanbau mit additiven Lupinengemengen eine sehr gute unkrautunterdrückende Wirkung bei ansprechend hohen Lupinenertragsanteilen im Erntegut haben. Dies ist sowohl für ökologisch wirtschaftende Betriebe von großem Interesse, aber ebenfalls für konventionell wirtschaftende Betriebe, die Lupinen z.B. im Rahmen des Greening anbauen. Nach den Änderungen in den Greeningbestimmungen, die ab dem Anbaujahr gelten, ist der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht mehr erlaubt, dafür können jedoch Körnerleguminosengemenge angebaut werden.

7 Gegenüberstellung der geplanten zu den erreichten Zielen

Ziel des Projektes war es, die Ertragsstabilität und die Ertragsleistung der Süßlupine zu erhöhen. Im Arbeitspaket 5 „Unkrautunterdrückung und Gemengeanbau“ stand die Ertragsstabilität im Vordergrund. Diese sollte durch die Identifizierung neuer Prebreeding-Linien mit hoher Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern und durch den Gemengeanbau unter Berücksichtigung sowohl der Sortenwahl oder neuer Prebreeding-Linien als auch geeigneter Gemengepartner verbessert werden. Für die Untersuchung dieser Effekte sollte zu Projektbeginn im ersten Versuchsjahr ein geeignetes Prüfsystem etabliert werden.

Folgende Ziele wurden dabei erreicht:

- I. *Ein Prüfsystem mit der Etablierung von unterschiedlichen Konkurrenzsituationen unter Einbeziehung verschiedener Partner bzw. „künstlicher Unkräuter“ und Saatedichten der Partner wurde im ersten Jahr erfolgreich getestet.*
- II. *Es konnten Prebreeding-Linien mit einer guten Unkrautunterdrückung identifiziert.*
- III. *Im Gemengeanbau wurden die Partner Hafer, Sommerweizen und Leindotter erfolgreich geprüft. Die Partner führten zu einer guten Unkrautunterdrückung. Durch den Versuchsansatz, die Lupinen in additiven Gemengen mit den Partnern anzubauen, konnten oftmals höhere Gesamt-Korn- und Rohproteinträge im Vergleich zu den Reinsaaten erzielt werden.*
- IV. *Es konnten Prebreeding-Linien identifiziert werden, die für einen Anbau im Gemenge geeignet sind und sich durch hohe Korn- und Rohproteinträge auszeichneten.*

8 Zusammenfassung

Ziel des Projektes war Prebreeding-Linien mit einer guten Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut zu identifizieren, die gleichzeitig einen hohen Ertrag in Reinsaat und im Gemenge aufweisen sowie Varianten für ein optimiertes Gemengeanbausystem für Blaue Süßlupinen (*Lupinus angustifolius*) zu ermitteln.

Hierfür wurde zunächst im ersten Versuchsjahr auf dem Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau in Trenthorst ein Prüfsystem zur Bewertung der Unkrautunterdrückung von Blauen Süßlupinen sowie deren Eignung für den Gemengeanbau etabliert. Geprüft wurden die Partnerkulturen Sommerweizen (*Triticum aestivum*), Hafer (*Avena sativa*) und Leindotter (*Camelina sativa*) sowie sogenannte „künstliche Unkräuter“, bestehend aus einem Gemenge von Winterraps (*Brassica napus*), Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) und Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), in 4 unterschiedlichen Saaddichten als additive Gemenge mit den beiden Süßlupinensorten Boregine (verzweigter Wuchstyp) und Boruta (endständiger Wuchstyp).

Auf Basis der Ergebnisse des ersten Versuchsjahres wurden in den beiden folgenden Jahren 2016 und 2017 acht ausgewählte Prebreeding-Linien (2 endständig, 5 verzweigt, 1 intermediär) sowie die beiden Referenzsorten Boruta und Boregine mit Hilfe des Prüfsystems getestet. Die Prebreeding-Linien wurden im Rahmen eines Mutageneseprogramms am Julius Kühn-Institut entwickelt. Die Leistung der Prebreeding-Linien wurde einerseits im Vergleich zu den Referenzsorten und andererseits in Abhängigkeit der Wuchstypen der Prebreeding-Linien betrachtet. Zur Darstellung der sortenspezifischen Konkurrenzkraft der Blauen Süßlupine wurden unterschiedliche Stufen des Unkrautdrucks mit unkrautfreien Beständen, einer Variante mit dem am Standort vorkommenden Unkraut sowie zwei Saaddichten der „künstlichen Unkräuter“ simuliert. Die Gemengeeignung der in 100 % der Reinsaatdichte ausgebrachten Blauen Süßlupinen wurde anhand der Partnerkulturen Hafer, Sommerweizen und Leindotter in zwei im Vergleich zur Reinsaat reduzierten Saaddichten als Additivgemenge erfasst. Dazu wurden zu drei Beprobungsterminen (Sprossentwicklung, Blüte und Vollreife) der oberirdische Biomassertrag bzw. Kornertrag getrennt nach Lupinen, Partnern und natürlichem Unkraut untersucht. Ergänzend wurden pflanzenbauliche Parameter, die photosynthetisch aktive Strahlung und der Rohproteintrag erfasst.

Sortenspezifische Unterschiede in der Unkrauttoleranz wurden zu allen Beprobungsterminen gefunden und waren zur Garbenernte zudem abhängig vom Unkrautdruck. Hingegen zeigten die Sorten bzw. Prebreeding-Linien erst zur Garbenernte Unterschiede in der Unkrautunterdrückung, wobei diese nicht in Abhängigkeit vom Unkrautdruck standen.

Eine generelle Überlegenheit der Prebreeding-Linien in ihrer Konkurrenzkraft gegenüber den Referenzsorten konnte weder in Reinsaat, noch im Gemenge festgestellt werden. Unterschiede zwischen verzweigten und endständigen Prebreeding-Linien waren in den Reinsaat festzustellen, wobei verzweigte Wuchstypen zwar eine bessere Unkrautunterdrückung zeigten, die Lupinenerträge sich jedoch nicht zwischen den Wuchstypen unterschieden. Im Gemenge waren keine eindeutigen Unterschiede zwischen den Wuchstypen zu erkennen. Die sortenspezifische Konkurrenzkraft war bei einigen Prebreeding-Linien bzw. Sorten ausgeprägter. Weiterhin konnten für alle Sorten bzw. Prebreeding-Linien positive Ertragseffekte durch den Gemengeanbau gezeigt werden. Diese waren in Gemengen mit Leindotter am höchsten, gefolgt von Sommerweizen und Hafer. In allen Gemengevarianten wurde das komplementäre Wachstum der Lupinen und Partner deutlich, weshalb eine höhere Partnersaadtdichte zwar den Lupinenanteil im Gemenge, nicht aber den Gesamtkornertrag verringerte. Zudem war der Einfluss der Partner auf den Lupinenkornertrag für alle Sorten bzw. Prebreeding-Linien gleichgerichtet.

9 Literaturverzeichnis

- Ackermann K, Saucke H (2005) Einfluss des Gemengepartners Leindotter (*Camelina sativa* L.) auf Beikrautbesatz, Schädlingsbefall und Ertrag in Körnererbsen. In: Heß JR, G. (ed) Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel
- Agegnehu G, Ghizaw A, Sinebo W (2006) Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *Eur J Agron* 25(3):202-207
- Alpmann D, Schäfer B (2014) Der Wert von Körnerleguminosen im Betriebssystem. Berlin, UFOP-Praxisinformation
- Andrew IKS, Storkey J, Sparkes DL (2015) A review of the potential for competitive cereal cultivars as a tool in integrated weed management. *Weed Research* 55(3):239-248
- Anil L, Park J, Phipps RH, Miller FA (1998) Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass Forage Sci* 53(4):301-317
- Arnold GW, Weeldenberg J, Grassia A (1985) Competition between Wimmera Ryegrass and Narrow-leafed Lupins. *Aust J Exp Agr* 25(4):824-831
- Aufhammer W (1999) Mischanbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten: Ein Beitrag zur Nutzung von Biodiversität im Pflanzenbau. Hohenheim, Stuttgart: Ulmer
- Azo WM, Lane GPF, Davies WP, Cannon ND (2012) Bi-cropping white lupins (*Lupinus albus* L.) with cereals for wholecrop forage in organic farming: The effect of seed rate and harvest dates on crop yield and quality. *Biological Agriculture & Horticulture* 28(2):86-100
- Bajwa AA, Walsh M, Singh Chauhan B (2016) Weed management using crop competition in Australia. *Crop Prot*:1-6
- Begna SH, Fielding DJ, Tsegaye T, Van Veldhuizen R, Angadi S, Smith DL (2011) Intercropping of oat and field pea in Alaska: An alternative approach to quality forage production and weed control. *Acta Agr Scand B-S P* 61(3):235-244
- Berk A, Bramm A, Böhm H, Aulrich K, Rühl G (2008) The nutritive value of lupins in sole cropping systems and mixed intercropping with spring cereals for grain production. In: Palta JA, Berger, JD (ed) *Lupins for Health and Wealth - Proceedings of the 12th International Lupin Conference*, Fremantle, Western Australia. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand, pp 66-70
- Blackshaw RE, O'Donovan JT, Harker KN, Clayton GW, Stougaard RN (2006) Reduced herbicide doses in field crops: A review. *Weed Biology and Management* 6(1):10-17
- BMELV (2012) Eiweißpflanzenstrategie des BMELV [online]. zu finden in http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/EiweisspflanzenstrategieBMELV.pdf?__blob=publicationFile [zitiert am 01.11.2016]
- Böhm H (2008) Anbau von Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau. In: Rahmann G (ed) *Ressortforschung für den Ökologischen Landbau 2008*. Landbauforschung, Sonderheft 326. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, pp 61-72
- Böhm H (2014) Unkraut unterdrückende Wirkung von Saatwicken in Reinsaat und im Gemengeanbau mit Hafer in Abhängigkeit von Aussaatstärkenverhältnis und Wickensorte. *Julius-Kühn-Archiv* 443:493-497
- Böhm H (2016) Entwicklung eines Prüfsystems zur Erfassung und Bewertung der Unkraut unterdrückenden Wirkung für Blaue Lupinen. *Julius-Kühn-Archiv* 452:464-470
- 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 (eds) "Lupin crops: an opportunity for today, a promise for the future" *Proceedings of the 13th International Lupin Conference*, 6-10 June 2011, Poznan, Poland
- Böhm H, Bramm A, Aulrich K, Rühl G (2008a) Effect of different sowing densities in mixed cultivation of blue lupin (*Lupinus angustifolius*) with spring crops on yield and quality. In: Palta JA, Berger JD (eds) *Lupins for Health and Wealth - Proceedings of the 12th International Lupin Conference*, Fremantle, Western Australia. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand, pp 42-46
- Böhm H, Bramm A, Aulrich K, Rühl G (2008b) Yield and predicted feed quality of different German cultivars of blue lupins (*Lupinus Angustifolius*). In: Palta JA, Berger JB (eds) 'Lupins for Health

- and Wealth' Proceedings of the 12th International Lupin Conference, Fremantle, Western Australia, 14-18 Sept. 2008
- Böhm H, Gruber H (2013) Anbautelegramm Lupinen (*Lupinus angustifolius* L., *Lupinus luteus* L., *Lupinus albus* L.). In: KTBL (ed) Körnerleguminosen anbauen und verwerten, KTBL-Heft 100. Darnstadt: KTBL, pp 30-31
- Boström U (2008) Intercropping narrow-leafed lupins with cereals for whole crop harvest. In: Palta JA, Berger JB (eds) 'Lupins for Health and Wealth' Proceedings of the 12th International Lupin Conference, 14-18 Sept. 2008, Fremantle, Western Australia
- Bramm A, Böhm H, Pahlow G, Berk A (2006) Alternatives for the production of forage protein. In: van Santen E, Hill GD (eds) México, Where Old and New World Lupins Meet: proceedings of the 11th International Lupin Conference, Guadalajara, Jalisco, México, 4-9 May 2005, pp 209-213
- Carr PM, Martin GB, Caton JS, Poland WW (1998) Forage and nitrogen yield of barley-pea and oat-pea intercrops. *Agronomy Journal* 90(1):79-84
- Carruthers K, Prithiviraj B, Fe Q, Cloutier D, Martin RC, Smith DL (2000) Intercropping of corn with soybean, lupin and forages: Silage yield and quality. *J Agron Crop Sci* 185(3):177-185
- Christensen S (1994) Crop-Weed Competition and Herbicide Performance in Cereal Species and Varieties. *Weed Research* 34(1):29-36
- Christensen S (1995) Weed Suppression Ability of Spring Barley Varieties. *Weed Research* 35(4):241-247
- Colquhoun JB, Konieczka CM, Rittmeyer RA (2009) Ability of Potato Cultivars to Tolerate and Suppress Weeds. *Weed Technol* 23(2):287-291
- Corre-Hellou G, Dibet A, Hauggaard-Nielsen H, Crozat Y, Gooding M, Ambus P, Dahlmann C, von Fragstein P, Pristeri A, Monti M, Jensen ES (2011) The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Field Crops Research* 122(3):264-272
- de Lucas Bueno C, Froud-Williams RJ (1994) The role of varietal selection for enhanced crop competitiveness in winter wheat. *Aspects of Applied Biology* 40:343-350
- Dhima K, Vasilakoglou I, Gatsis T, Eleftherohorinos I (2010) Competitive interactions of fifty barley cultivars with *Avena sterilis* and *Asperugo procumbens*. *Field Crops Research* 117(1):90-100
- Döring TF (2015) Grain Legume Cropping Systems in Temperate Climates. In: De Ron AM (ed) *Grain Legumes*. New York: Springer, pp 401-434
- Drews S, Neuhoﬀ D, Juroszek P, Köpke U (2002) Einfluss von Sortenwahl, Reihenweite und Drillrichtung auf die Konkurrenzskraft von Winterweizen im Organischen Landbau. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVIII*
- Dufner J, Jensen U, Schumacher E (2004) *Statistik mit SAS*, 3. Auflage. Wiesbaden: Teubner, B.G.
- Duthion C, Ney B, Munierjolain NM (1994) Development and Growth of White Lupin - Implications for Crop Management. *Agron J* 86(6):1039-1045
- DWD (2017) Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) der Jahre 1986 bis 2016.
- Eisele J-A (1992) Sortenwahl bei Winterweizen im Organischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung der morphologisch bedingten Konkurrenzskraft gegenüber Unkräutern. Bonn, Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, Dissertation
- Fischer K, Roux S, Jansen G, Ulrich H-J, Dietrich R, Wehling P, Ruge-Wehling B (2016) LupiBreed - Valorisation of novel genetic variability in narrow-leafed lupin In: "Legumes for a sustainable world" ILS2 - Second International Legume Society Conference, p 90
- Gardner WK, Boundy KA (1983) The Acquisition of Phosphorus by *Lupinus-Album* L. 4. The Effect of Interplanting Wheat and White Lupin on the Growth and Mineral-Composition of the 2 Species. *Plant and Soil* 70(3):391-402
- Gefrom A (2016) Vorzüge der Lupine ausschöpfen. *Zeitschrift für Bildung und Beratung (B & B Agrar)* 4:13-14
- Goldberg D (1990) Components of resource competition in plant communities. In: Grace JB, Tilman D (eds) *Perspectives in Plant Competition*. San Diego, CA, USA: Academic Press, pp 27-49
- Gollner G, Gabler C, Grausgruber-Gröger S, Friedel JK, Grausgruber H, Freyer B (2010) Körnerleguminosen in Mischkulturen mit Leindotter (*Camelina sativa*) im Ökologischen Landbau unter pannonischen Standortbedingungen. *Journal für Kulturpflanzen* 62(11):402-408

- Gronle A, Böhm H (2014) Untersuchungen zur Unkrautunterdrückung in Rein- und Mischfruchtbeständen von Wintererbsen unterschiedlichen Wuchstyps. *Julius-Kühn-Archiv* 443:431-440
- Gronle A, Hess J, Bohm H (2015a) Effect of intercropping normal-leafed or semi-leafless winter peas and triticale after shallow and deep ploughing on agronomic performance, grain quality and succeeding winter wheat yield. *Field Crop Res* 180:80-89
- Gronle A, Heß J, H. B (2015b) Weed suppressive ability in sole and intercrops of pea and oat and its interaction with ploughing depth and crop interference in organic farming. *Organic Agriculture* 5:39–51
- Hänsel M (2007) Anbau von Erbsen, Sommerweizen und -gerste in Reinsaaten und in Gemengen. In: Zwischen Tradition und Globalisierung - 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Universität Hohenheim, Stuttgart
- Hansen PK, Kristensen K, Willas J (2008) A weed suppressive index for spring barley (*Hordeum vulgare*) varieties. *Weed Research* 48(3):225-236
- Harcha CL, Calderini DF (2008) Grain yield and biomass production of three cultivars of *lupinus luteus* with different crop architecture. In: Palta JA, Berger JB (eds) 'Lupins for Health and Wealth' Proceedings of the 12th International Lupin Conference, 14-18 Sept. 2008, Fremantle, Western Australia.
- Harker KN, Clayton GW, Blackshaw RE (2008) Comparison of leafy and semileafless pea for integrated weed management. *Weed Technology* 22(1):124-131
- Hauggaard-Nielsen H, Ambus P, Jensen ES (2001) Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crops Research* 70(2):101-109
- Hauggaard-Nielsen H, Jørnsgaard B, Kinane J, Jensen ES (2008) Grain legume–cereal intercropping: the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renew Agr Food Syst* 23(01):3-12
- Hauggaard-Nielsen H, Knudsen MT, Jørgensen JR, Jensen ES (2006) Intercropping wheat with pea for improved wheat baking quality. In: Proceedings of the European Joint Organic Congress, Odense, Denmark, pp 268–269
- Helenius J, Jokinen K (1994) Yield Advantage and Competition in Intercropped Oats (*Avena sativa* L.) and Faba Bean (*Vicia faba* L.) - Application of the Hyperbolic Yield-Density Model. *Field Crop Res* 37(2):85-94
- Horst WJ, Waschki C (1987) Phosphatversorgung von Sommerweizen (*Triticum aestivum* L.) in Mischkultur mit Weißer Lupine (*Lupinus albus* L.). *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 150:001-008
- Jannasch RW, Martin RC (1999) The potential for capturing the forage yield of white lupin by intercropping with cereals. *Biological Agriculture & Horticulture* 17(2):113-130
- Kahnt G (2008) Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau. Frankfurt: DLG Verlag
- Knudsen MT, Hauggaard-Nielsen H, Jørnsgaard B, Steen Jensen E (2004) Comparison of interspecific competition and N use in pea–barley, faba bean–barley and lupin–barley intercrops grown at two temperate locations. *The Journal of Agricultural Science* 142(06):617-627
- Kroschewski B (2017) Persönliche Mitteilung In:
- Kutschera L, Lichtenegger E, Sobotik M (2009) Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßigter Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 7. Band der Wurzelatlas-Reihe
- Lauk R, Lauk E (2008) Pea-oat intercrops are superior to pea-wheat and pea-barley intercrops. *Acta Agr Scand B-S P* 58(2):139-144
- Lemerle D, Gill GS, Murphy CE, Walker SR, Cousens RD, Mokhtari S, Peltzer SJ, Coleman R, Luckett DJ (2001) Genetic improvement and agronomy for enhanced wheat competitiveness with weeds. *Australian Journal of Agricultural Research* 52(5):527-548
- Lemerle D, Luckett DJ, Lockley P, Koetz E, Wu HW (2014) Competitive ability of Australian canola (*Brassica napus*) genotypes for weed management. *Crop Pasture Sci* 65(12):1300-1310
- Lemerle D, Verbeek B, Coombes N (1995) Losses in grain yield of winter crops from *Lolium rigidum* competition depend on crop species, cultivar and season. *Weed Research* 35(6):503-509
- Lemerle D, Verbeek B, Cousens RD, Coombes NE (1996) The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Research* 36(6):505-513

- Lemerle D, Verbeek B, Diffey S (2006) Influences of field pea (*Pisum sativum*) density on grain yield and competitiveness with annual ryegrass (*Lolium rigidum*) in south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46(11):1465-1472
- Liebman M, Dyck E (1993) Crop-Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. *Ecological Applications* 3(1):92-122
- Makowski N, Pscheidl M (2003) Anbau von Leindotter–Alternativen im ökologischen und konventionellen Landbau. *Raps* 2:73-77
- Mariotti M, Masoni A, Ercoli L, Arduini I (2006) Forage Potential of Winter Cereal/Legume Intercrops in Organic Farming. *Italian Journal of Agronomy/ rivista di agronomia* 3:403-412
- McDonald GK (2003) Competitiveness against grass weeds in field pea genotypes. *Weed Research* 43(1):48-58
- McKenzie DB, Spaner D (1999) White lupin: An alternative to pea in oat-legume forage mixtures grown in Newfoundland. *Canadian Journal of Plant Science* 79(1):43-47
- Meier U (2001) Growth stages of mono- and dicotyledonous plants - BBCH-Monograph. 2. Edition. Berlin, Braunschweig: Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry
- Mhlanga B, Chauhan BS, Thierfelder C (2016) Weed management in maize using crop competition: A review. *Crop Prot* 88:28-36
- Munzert M (2015) Landwirtschaftliche und gartenbauliche Versuche mit SAS. Heidelberg: Springer
- Niedersachsen L (2018) Empfehlungen zur Grunddüngung. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen
- Niemann P (2000) Sortenwahl - Ein Element zur Unkrautunterdrückung. *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 72:27-34
- O'Donovan JT, Harker KN, Clayton GW, Hall LM (2000) Wild oat (*Avena fatua*) interference in barley (*Hordeum vulgare*) is influenced by barley variety and seeding rate. *Weed Technology* 14(3):624-629
- Pakeman RJ, Karley AJ, Newton AC, Morcillo L, Brooker RW, Schob C (2015) A trait-based approach to crop-weed interactions. *Eur J Agron* 70:22-32
- Palmason F, Danso SKA, Hardarson G (1992) Nitrogen Accumulation in Sole and Mixed Stands of Sweet-Blue Lupin (*Lupinus angustifolius* L), Ryegrass and Oats. *Plant Soil* 142(1):135-142
- Paulsen HM, Schochow M, Reents H-J (2007) Unkrautvorkommen und Unkrautunterdrückung in Mischfruchtanbausystemen mit Ölpflanzen im ökologischen Landbau. *Landbauforschung Völkenrode SH* 309:81-95
- Piepho HP (2012) A SAS macro for generating letter displays of pairwise mean comparisons. *Communications in Biometry and Crop Science* 7(1):4-13
- Poggio SL (2005) Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agr Ecosyst Environ* 109(1-2):48-58
- Rademacher B (1938) Gedanken zur Fortentwicklung der Unkrautbekämpfung im Getreide. *Pflanzenbau* 14:449-465
- Rauber R, Schmidtke K, Kimpel-Freund H (2000) Competition and yield advantage in mixtures of pea (*Pisum sativum* L.) and oats (*Avena sativa* L.). *J Agron Crop Sci* 185(1):33-47
- Rauber R, Schmidtke K, Kimpel-Freund H (2001) The performance of pea (*Pisum sativum* L.) and its role in determining yield advantages in mixed stands of pea and oat (*Avena sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 187(2):137-144
- Roux S (2017) Persönliche Mitteilung Projekttreffen *LupiBreed*. In:
- Rudloff E (2011) EMS-induced mutants – a valuable genetic pool for the breeding of narrow-leaved sweet lupin (*Lupinus angustifolius* L.). In: Naganowska P, Kachlicki P, Wolko B (eds) *Lupin crops: an opportunity for today, a promise for the future. Proceedings of the 13th International Lupin Conference, 6 – 10 June 2011, Poznań, Poland*, pp 92–98
- Ruge-Wehling B, Fischer K, Roux S, Dietrich R, Winter P, Rotter B, Wehling P (2016) Erhöhung der Ertragsstabilität und Ertragsleistung der Süßlupine zur Sicherung der einheimischen Eiweißversorgung. In: BMEL, BLE (eds) *Kongress "Hülsenfrüchte - Wegweiser für eine nachhaltigere Landwirtschaft"*, 3. und 4. November 2016, Berlin, pp 33-34
- Sardana V, Mahajan G, Jabran K, Chauhan BS (2016) Role of competition in managing weeds: An introduction to the special issue. *Crop Prot*:1-7
- Šarūnaitė L, Deveikytė I, Kadžiulienė Ž (2010) Intercropping spring wheat with grain legume for increased production in an organic crop rotation. *Žemdirbystė Agriculture* 97:51-58

- Sauermann W (2007) Sichere Beurteilung von Standfestigkeit und Erntbarkeit bei Erbsen. Bauernblatt Schleswig-Holstein und Hamburg 157(10. Febr.):35-38
- Schmidtke K, Klöble U (2013) Warum Körnerleguminosen anbauen? In: KTBL (ed) Körnerleguminosen anbauen und verwerten, KTBL-Heft 100. 5-6 Darmstadt: KTBL
- Schmidtke K, Wunderlich B, Meyercordt A (2013) Lassen sich Winterweizensorten hinsichtlich ihres Beschattungsvermögens statistisch gesichert in Landessortenversuchen voneinander unterscheiden? In: Beitrag zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, pp 184-187
- Singh B, Dhaka AK, Pannu RK, Kumar S (2013) Integrated weed management-a strategy for sustainable wheat production - a review. *Agricultural Reviews* 34(4):243-255
- Smith J, Pearce BD, Wolfe MS (2013) Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? *Renew Agr Food Syst* 28(1):80-92
- Spies JM, Warkentin TD, Shirliffe SJ (2011) Variation in Field Pea (*Pisum sativum*) Cultivars for Basal Branching and Weed Competition. *Weed Sci* 59(2):218-223
- Strydhorst SM, King JR, Lopetinsky KJ, Harker KN (2008) Forage potential of intercropping barley with faba bean, lupin, or field pea. *Agronomy Journal* 100(1):182-190
- Travlos IS (2012) Reduced herbicide rates for an effective weed control in competitive wheat cultivars. *Int J Plant Prod* 6(1):1-13
- Urbatzka P, Groß R, Haase T, Schüler C, Trautz D, Heß J (2011) Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Organic Agriculture* 1(187-202)
- Urbatzka P, Rehm A, Salzeder G (2012) Prüfung verschiedener Mischungspartner zum Erzielen hoher Erträge von Sommererbsen unter bayrischen Standortbedingungen. In: Wiesinger K, Cais K (eds) *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern. Ökolandbautag 2012, Tagungsband, 4*, pp 77-81
- Vandermeer JH (1989) *The ecology of intercropping*. Cambridge (UK): Cambridge University Press
- Verschwele A (1994) Sortenspezifische Kulturkonkurrenz bei Winterweizen als begrenzender Faktor für das Unkrautwachstum. Göttingen, Georg-August-Universität Göttingen, Dissertation
- Verschwele A (2014) Unkrautunterdrückung und Unkrauttoleranz bei Weizensorten - relevante Eigenschaften für den Integrierten Pflanzenschutz. *Julius-Kuhn-Archiv* 443:465-474
- Verschwele A, Niemann P (1994) Die Konkurrenzkraft von Winterweizensorten als Beitrag zur indirekten Unkrautbekämpfung. In: Heitefuss R (ed) *DFG Forschungsbericht Integrierte Pflanzenproduktion*. Weinheim: VCH, pp 160-174
- Wiche O, Kummer NA, Heilmeier H (2016) Interspecific root interactions between white lupin and barley enhance the uptake of rare earth elements (REEs) and nutrients in shoots of barley. *Plant and Soil* 402(1-2):235-245
- Wichmann S, Loges R, Taube F (2003) Vergleich von verschiedenen Leguminosenarten in Reinsaat und Gemenge im Hinblick Ertrag, Futterqualität, Stickstofffixierungsleistung und Vorfruchtwirkung. Projektbeschreibung und erste Ergebnisse. In: Freyer B (ed) *Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökolandbau - Ökologischer Landbau der Zukunft*, Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien, pp 505-506
- Willey RW (1979) Intercropping - Its Importance and Research Needs. Part 2. *Agronomy and Research Approaches*. Commonwealth Agricultural Bureaux 32:73-85
- Wolfe M, Fradgley N, Winkler L, Döring TF (2013) Beans and wheat intercropping: a new look at an overlooked benefit. *Organic Research Centre Bulletin* 112:8-9
- Zhao DL, Atlin GN, Bastiaans L, Spiertz JHJ (2006) Comparing rice germplasm groups for growth, grain yield and weed-suppressive ability under aerobic soil conditions. *Weed Res* 46(6):444-452

10 Übersicht über alle vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen

Veröffentlichungen

- Kling C, Böhm H (2018) Unkrauttoleranz und Unkrautunterdrückungsvermögen der Blauen Lupine (*Lupinus angustifolius*) Julius-Kuhn-Archiv 458: 294-301.
[DOI:10.5073/jka.2018.458.042](https://doi.org/10.5073/jka.2018.458.042)
- Böhm H, Bojahr J (2018) Lupinen wagen. Land & Forst 13(10) (8. März 2018): 39-41.
- Böhm H, Bojahr J (2018) Lupinenanbau ein Wagnis? Die Leistungsfähigkeit wird oft unterschätzt. Bauernblatt Schleswig-Holstein und Hamburg 72./168(11): 42-44.
- Böhm H, Bojahr J (2018) Die Ertragsfähigkeit wird oft unterschätzt - Lupinen mit und ohne Pflanzenschutz anbauen. Landwirtschaftliches Wochenblatt Hessenbauer 227(10/2018): 29-32.
- Kling C, Böhm H (2017) Ertragsleistung und Unkrautunterdrückungsvermögen von Blauen Lupinen (*Lupinus angustifolius* L.) im Gemenge mit ausgewählten Partnern und Saaddichten. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 29: 26-27.
- Böhm H (2016) Entwicklung eines Prüfsystems zur Erfassung und Bewertung der Unkraut unterdrückenden Wirkung für Blaue Lupinen. Julius-Kühn-Archiv 452:464-470.
[DOI:10.5073/jka.2016.452.063](https://doi.org/10.5073/jka.2016.452.063)
- Böhm H (2015) Project "Lupi-Breed": Improving yield potential, yield stability and seed quality of lupins as protein plants: Work package: Weed suppression and intercropping. In: Capraro J (ed) Developing lupin crop into a major and sustainable food and feed source: Proceedings of the XIV International Lupin Conference, Milan, Italy 21-26 June 2015. p 133.

Masterarbeiten

- Kling, Charlotte (27.4.2017): Konkurrenzkraft neuer Zuchtlinien der Blauen Lupine (*Lupinus angustifolius* L.) gegenüber Unkräutern und Mischungspartnern im Gemengeanbau. Betreuer: Dr. Herwart Böhm (Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst) und Dr. Ralf Bloch (HNE Eberswalde)

Vorträge und Poster

- Böhm H (2018) Erfolgreicher Anbau von Lupinen im Gemenge.
Vortrag auf dem Lupinentag in Bocksee, Biopark-Markt am 12.11.2018.
- Böhm H (2018) Die Mischung macht's – mit Artenmischungen Mehrwert schaffen.
Vortrag auf dem Versuchspartnertreffen der AMAZONEN-Werke, Amazonen-Werke, Weimar am 29.05.2018.
- Kling C, Böhm H (2018) Unkrauttoleranz und Unkrautunterdrückungsvermögen der Blauen Lupine (*Lupinus angustifolius*).
Vortrag auf der 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und – bekämpfung vom 27.02. – 01.03.2018.

- Böhm H, Bojahr J (2018): Lupinenanbau nach den Greening-Änderungen.
Vortrag auf der GFL-Jahrestagung in Ruhlsdorf am 17.01.2018.
- Böhm H (2018): Gemengeanbau von Blauen Lupinen: Ertragsleistung und Unkrautunterdrückung.
Vortrag auf der GFL-Jahrestagung in Ruhlsdorf am 17.01.2018.
- Böhm H (2017) Research on grain legumes and intercropping systems at the Thünen-Institute of Organic Farming.
Vortrag an der Ecole Supérieure d'Agricultures basée à Angers (ESA), ESA-Kolloquium am 18.12.2017 in Angers.
- Kling C, Böhm H (2017) Ertragsleistung und Unkrautunterdrückungsvermögen von Blauen Lupinen (*Lupinus angustifolius* L.) im Gemenge mit ausgewählten Partnern und Saaddichten.
Vortrag auf der 60. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. vom 26.-28.09.2017 in Witzenhausen.
- Böhm H (2017): Körnerleguminosen im Gemenge sind die ideale Öko-Kultur.
Vortrag auf dem Feldtag 'Ackerbohnen im Gemenge'. Kompetenzzentrum Ökolandbau, Visselhövede in Hiddestorf am 04.07.2017.
- Böhm H (2017): Anbaustrategien für Körnerleguminosen.
Vortrag auf der Bioland-Wintertagung NRW in Villigst am 07.02.2017.
- Böhm H (2017): Legumes as mix partner makes a perfect organic crop.
Vortrag auf dem Plantekongres, Herning, Denmark am 17.01.2017.
- Böhm H (2016) Unkrautunterdrückung und Eignung des Gemengeanbaus neuer Zuchtlinien der Blauen Lupine.
Poster auf dem Feldtag des Thünen-Institut für Ökologischen Landbau am 07. Juli 2016 in Trenthorst.
- Böhm H (2016) Anbaustrategien von Hülsenfrüchten.
Vortrag auf dem Zukunftsdialo Ökolandbau – Transfer angewandter Forschung 2016 – Leguminosenanbau der HNE Eberswalde / JKI am 25.05.2016.
- Böhm H (2016) Entwicklung eines Prüfsystems zur Erfassung und Bewertung der Unkrautunterdrückenden Wirkung für Blaue Lupinen.
Posterbeitrag auf der 28. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, Braunschweig, 23.-25.02.2016.
- Böhm H (2016) Mischkulturen und Co. – Neues aus der Ökoforschung.
Vortrag auf Bioland-Praktikertage für Landwirte: „MEHR im Ackerbau“ in Blaubeuren-Asch am 11.03.2016.
- Böhm H (2015) "Lupi-Breed": Improving yield potential, yield stability and seed quality of lupins as protein plants: Work package: Weed suppression and intercropping.
Poster auf der XIV International Lupin Conference, Milan, Italy vom 21. – 26. Juni 2015.
- Böhm H (2015) Körnerleguminosen im Vergleich - Anbauempfehlungen auf Basis von Ergebnissen aus Feldversuchen.
Vortrag auf der 3. Biopark-Ackerbautagung in Bernburg-Strenzfeld: am 19. 02.2015..

Öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen

Tag der Wissenschaft des Thünen-Institut für Ökologischen Landbau am 10. Juni 2018

Workshop „Leguminosenanbau – Vom Ökolandbau lernen“.

durchgeführt im Rahmen der 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und – bekämpfung, Braunschweig am 28.02.2018.

Feldtag des Arbeitskreises Weiße Biolupine.

veranstaltet von Brotbüro GmbH, Hamburg am 30. Juni 2016: Anbaueignung unterschiedlicher Sorten der Weißen und Blauen Lupinen sowie Maßnahmen zur vorbeugenden Unkrautunterdrückung.

Feldtag in Trenthorst.

veranstaltet vom Thünen-Institut für Ökologischen Landbau am 07.07.2016: Unkrautunterdrückung und Eignung des Gemengeanbaus neuer Zuchtlinien der Blauen Lupine.

Hoffest des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau am 05. Mai 2016.

Workshop „Unkrautunterdrückung durch Sortenwahl: Potentiale und Strategien für den ökologischen und integrierten Landbau“.

durchgeführt im Rahmen der 27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und – bekämpfung, Braunschweig am 24.02.2016.