



ZWISCHENFRUCHTEFFEKTE AUF DEN SOJABOHNENANBAU IM TROCKENGEBIET

Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur

eingereicht von:

SCHMID, STEFAN

Betreuer: Kaul, Hans-Peter

Mitbetreuer: Euteneuer, Pia

Matrikelnummer 01540148

26.08.2019

Vorwort

Herzlichen Dank Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Hans-Peter Kaul und Frau DI Pia Euteneuer für die Betreuung der Masterarbeit.

Vielen Dank auch all jenen, die mir in unterschiedlicher Art und Weise behilflich waren. Danke an Christina, Julia, Stefan, Carina, Rea, Susi und Matthias. Dankeschön auch an Marion, Tamara und Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Johann Vollmann für die Unterstützung in Tulln. Danke auch an Herrn Dipl.-Ing. Dr. Bernhard Spangl vom Institut für Statistik der BOKU.

Danke auch an jene, die ich an dieser Stelle vergessen habe.

Besonders bedanken möchte ich mich auch bei meinen beiden Tanten für ihre Unterstützung.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Freundin Martina, die die Hoffnung nie aufgegeben hat und mich über die gesamte Dauer der Masterarbeit unterstützt und motiviert hat.

Vielen Dank auch an meine Familie und an alle Freundinnen und Freunde für die Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

1.	<i>Einleitung und Aufgabenstellung</i>	1
2.	<i>Literaturübersicht</i>	2
2.1	Zwischenfrüchte	2
2.1.1	Allgemeines	2
2.1.2	Amaranthacea	4
2.1.3	Asteraceae	4
2.1.4	Boraginaceae	5
2.1.5	Brassicaceae	5
2.1.6	Caryophyllaceae	6
2.1.7	Fabaceae	6
2.1.8	Poaceae	8
2.1.9	Polygonaceae	8
2.1.10	Zwischenfruchteffekte auf Stickstoff im Boden	9
2.1.11	Zwischenfruchteffekte auf Soja	9
2.2	Soja	10
2.2.1	Botanik	10
2.2.2	Herkunft und Verbreitung	10
2.2.3	Verwendung	11
2.2.4	Standortansprüche	12
2.2.5	Pflanzenbauliche Aspekte	12
2.2.6	Düngung	14
2.2.7	Pflanzenschutz	14
3.	<i>Material und Methoden</i>	16
3.1	Allgemeine Versuchsbeschreibung	16
3.1.1	Standorteigenschaften	16
3.1.2	Versuchsaufbau	16
3.1.3	Sojasorte	19
3.1.4	Wetter	20
3.1.5	Beregnung und Düngung	21
3.1.6	Pflanzenschutz	21
3.2	Probenahme und Analytik	21
3.2.1	Bodenfeuchte und Bodentemperatur	22
3.2.2	Nitrat im Boden	22
3.2.3	Zwischenfruchtentwicklung	23
3.2.4	Entwicklung des Sojabestandes	24

3.2.5	Sojaernte	25
3.3	Statistische Methoden	26
4.	Ergebnisse und Diskussion	28
4.1	Bodenfeuchte und Bodentemperatur	28
4.2	Nitrat im Boden	32
4.2.1	Konzentrationen	32
4.2.2	Frachten	35
4.3	Zwischenfrüchte	39
4.3.1	Entwicklungsstadien der Zwischenfrüchte am Ende der Vegetationsperiode	39
4.3.2	Zwischenfrucht Biomasse	40
4.3.3	C/N Verhältnis der Zwischenfrüchte	42
4.4	Entwicklung des Sojabestandes	45
4.4.1	Aufgangszählung	46
4.4.2	Blattflächenindex	47
4.4.3	Bestandeshöhe	49
4.4.4	Pflanzenlänge bei der Ernte	52
4.4.5	Biomasse Sojapflanzen	53
4.5	Erntedaten	55
4.5.1	Pflanzenanzahl	55
4.5.2	Hülsenanzahl	56
4.5.3	Körner pro Hülse	58
4.5.4	Tausendkorngewicht (TKG)	59
4.5.5	Kornertrag	60
4.5.6	Hülsen- und Stängelgewicht	62
4.5.7	Öl-, Protein- und Zuckergehalt	63
5.	Schlussfolgerung	67
6.	Literaturverzeichnis	68
7.	Abbildungsverzeichnis	79
8.	Tabellenverzeichnis	82
9.	Eidesstattliche Erklärung	83

Kurzfassung

Über die Zwischenfruchteffekte auf Sojabohnen (*Glycine max*) ist wenig bekannt. Um diese Effekte näher zu betrachten, wurde ein einjähriger Feldversuch mit drei Wiederholungen im randomisierten, vollständigen Blockdesign in Groß-Enzersdorf (Österreich) durchgeführt. Die verwendeten Zwischenfrüchte waren: Buchweizen, Senf, Hybridsorghum, Kornrade, Ölrettich, Phacelia, Platterbse, Quinoa, Ramtillkraut, Saflor, Sommerwicke, Sudangras, drei Haferarten und drei Kleearten. Zur Kontrolle erfolgte die Anlage von zwei Schwarzbrachen. Untersucht wurde dabei, ob sich die Sojaerträge nach verschiedenen Zwischenfrüchten unterscheiden. Die Bestandesentwicklung der Zwischenfrüchte fiel stark unterschiedlich aus. Ölrettich (2150 kg/ha Trockenmasse) und Senf (1665 kg/ha Trockenmasse) zeigten im Herbst die höchsten Biomasseerträge. An mehreren Terminen erfolgte die Ermittlung der Nitratgehalte im Boden, auch hier zeigten sich deutliche Unterschiede unter den Zwischenfrüchten. Ölrettich (75 kg/ha N in der Biomasse) und Senf (51 kg/ha N in der Biomasse) waren in der Lage, bedeutende Mengen an Stickstoff aufzunehmen, was zu verminderten Nitratgehalten im Boden im Herbst führte (Ölrettich: 22 kg/ha NO₃-N in 0-90 cm, Senf: 25 kg/ha NO₃-N in 0-90 cm). Nach den meisten Zwischenfrüchten (z.B. Buchweizen, Sommerwicke, Quinoa) waren im Vergleich zur Schwarzbrache höhere Sojakornerträge zu beobachten. Die Erträge befanden sich aber generell auf einem niedrigen Niveau (Gesamtmittelwert: 1057 kg/ha). Der höchste Kornertrag konnte nach Ausfallhafer (1377 kg/ha) gemessen werden. In den Sojabeständen nach Kornrade konnte ein starker Spinnmilbenbefall beobachtet werden, der in weiterer Folge zu einem deutlich reduzierten Kornertrag (516 kg/ha) führte. In den Gehalten der Inhaltsstoffe der Sojabohnen Protein (40,6 g/100 g), Öl (21,2 g/100 g) und Zucker (5,1 g/100 g) konnten über alle Zwischenfrüchte hinweg keine bedeutenden Unterschiede festgestellt werden.

Abstract

There is not much known about the effects of cover crops on soybean (*Glycine max*). To get more information about this matter, a one-year field experiment with three replicates in a randomized complete block design was conducted in Groß Enzersdorf (Austria). The used cover crops included buckwheat, chickling pea, common vetch, corn cockle, hybrid sorghum, oilseed radish, phacelia, quinoa, ramtil, safflower, sudangrass, mustard, three oat species and three clover species. Two bare fallows were installed as control. Investigations were carried out to check if there is any difference in the soybean seed yields after various cover crops. Plant development of the cover crops varied strongly and led to significant differences in the cover crop biomass production. Oilseed radish (2150 kg/ha drymatter) and mustard (1665 kg/ha drymatter) showed the highest cover crop biomass yields in autumn. On several dates the nitrate contents of the soil were determined and markable differences between the cover crops were observed. Oilseed radish (75 kg/ha N in biomass) and yellow mustard (51 kg/ha N in biomass) showed considerable N uptake, leading to lower nitrate contents in soil in autumn (oilseed radish: 22 kg/ha NO₃-N in 0-90 cm, mustard: 25 kg/ha NO₃-N in 0-90 cm). After most cover crops (e.g. buckwheat, common vetch, quinoa) higher soybean seed yields compared to the bare fallow were observed. Though the overall seed yield level was low (total mean: 1057 kg/ha). The highest seed yield was observed after volunteer oat (1377 kg/ha). In soybean stands after corn cockle a strong infestation of red spider mites occurred, which lead to a clearly reduced seed yield (516 kg/ha). The chemical compounds of the harvested soybean seeds protein (40,6 g/100 g), oil (21,2 g/100 g) and sugar (5,1 g/100 g) did not show markable differences between the used cover crops.

1. Einleitung und Aufgabenstellung

In den letzten Jahren ist die Nachfrage nach Soja stark gestiegen, daher hat auch die Sojaanbaufläche in Österreich stark zugenommen und betrug im Jahr 2017 ca. 64.500 Hektar (AgrarMarkt Austria, 2017). Um einer nachhaltigen Produktion in Europa nachzukommen, ist der Erosionsschutz beim Sojaanbau nicht zu vernachlässigen, denn im Zuge des Klimawandels steigt die Gefahr der Wassererosion, da die Niederschlagsintensität bei Gewittern ansteigt (Formayer, 2017). Auch die Winderosion stellt aufgrund der hohen Windgeschwindigkeiten in den Monaten November, Jänner und Februar für die Böden in Ost-Österreich eine große Erosionsgefahr dar. Ist in dieser Zeit der Boden nicht bedeckt, kommt es zu unwiederbringlichen Bodenverlusten (Boardman und Poesen, 2006). Aufgrund der späten Bodenbedeckung wird der Anbau von Zwischenfrüchten vor Soja empfohlen (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2019). Mit dem Anbau von Zwischenfrüchten wird auch den Zielen der europäischen Kommission zum Erosionsschutz Rechnung getragen (Europäische Kommission, 2011).

Zwischenfrüchte schützen mit ihrer Pflanzenbiomasse vor Erosion, legen Nitrat fest, mobilisieren Phosphat und leisten einen Beitrag zur Beikrautbekämpfung (Amelung et al., 2018). Zudem verbessern sie die Bodenqualität, indem sie Kohlenstoff binden und die Biodiversität im Boden fördern (Bacq-Labreuil et al., 2019). Durch die Aufnahme von Nitrat durch die Zwischenfrüchte wird auch die Nitratauswaschung verringert (OECD, 2015).

Ziel dieser Masterarbeit ist die Untersuchung der Auswirkungen von Zwischenfrüchten auf den Anbau von Sojabohnen. Dazu wurden die Biomasseerträge der Zwischenfrüchte ermittelt, um die Zufuhr an organischer Substanz im Boden zu ermitteln. Die Bodenfeuchte und die Bodentemperatur sind ebenfalls auf die Zwischenfruchteinflüsse beobachtet worden. Zur Erfassung der Auswirkungen der Zwischenfrüchte auf den Nitratgehalt im Boden wurde dieser gemessen. Die Bestandesentwicklung der Sojapflanzen und sämtliche Ertragsparameter wurden untersucht, um etwaige Unterschiede feststellen zu können. Für die vorliegende Masterarbeit lauten die Forschungsfragen daher wie folgt:

- **Unterscheiden sich die Biomasseerträge verschiedener Zwischenfrüchte?**
- **Haben Zwischenfrüchte einen Einfluss auf die Bodenfeuchte und die Bodentemperatur?**
- **Unterscheiden sich die Nitratgehalte im Boden unter verschiedenen Zwischenfrüchten?**
- **Beeinflussen Zwischenfrüchte die Bestandesentwicklung bei Soja?**
- **Haben Zwischenfrüchte einen Einfluss auf den Sojaertrag?**

2. Literaturübersicht

2.1 Zwischenfrüchte

2.1.1 Allgemeines

Die Landwirtschaft verwendet den Boden als Produktionsstandort für verschiedene Nutzpflanzen. Beispiele dafür sind Getreide, Hackfrüchte, Rüben, Hülsen- und Ölfrüchte (Amelung et al., 2018). Diese Kulturen werden als Hauptfrüchte bezeichnet. Der Anbau von Zwischenfrüchten erfolgt zwischen zwei Hauptfrüchten. Ein Beispiel dafür ist die Zeit zwischen der Ernte von Sommergerste und dem Anbau von Sojabohnen im Jahr darauf. Zwischenfrüchte dienen dazu, die Vegetationszeit besser zu nutzen, indem sie jene Lücken schließen, in denen die Vegetationsperiode ungenützt bliebe. Vor allem, wenn die Zwischenfrüchte nur kurz auf dem Feld stehen, werden sie in der Regel nicht geerntet. Die gebildete Biomasse verbleibt dann als Gründüngung auf dem Feld (Wachendorf et al., 2018). Hartwig und Ammon beschreiben Zwischenfrüchte als lebende Bodenbedeckung, die in oder nach einer Hauptfrucht gesät werden und vor der nächsten Kultur wieder bekämpft werden (Hartwig und Ammon, 2002). Die Saat von Zwischenfrüchten muss demnach nicht zwingend erst nach der Ernte der Hauptkultur erfolgen, sondern sie kann auch kurz vor bzw. bei der Ernte erfolgen. Entsprechende Methoden werden dabei als Vordruschsaat bzw. Mähdruschsaat bezeichnet.

Im Englischen werden Zwischenfrüchte unterschiedlich bezeichnet. Dabei wird die Bezeichnung dazu verwendet, sie näher zu beschreiben, abhängig vom jeweilig verfolgten Hauptnutzen. Verwendete Begriffe dafür sind

- „cover crops“ (zur Bodenbedeckung und zum Schutz vor Erosion)
- „green manures“ (zur Verwendung als Gründüngung)
- „catch crops“ (zur Aufnahme von Nährstoffen, um deren Auswaschung zu verhindern) (Chatterjee, 2013).

Schnepf und Cox beschreiben Zwischenfrüchte sogar als Kulturen, die zwischen zwei Hauptkulturen wachsen, aber in erster Linie dem Schutz und der Verbesserung des Bodens dienen (Schnepf und Cox, 2007). Teilweise wird sogar eine Fruchtfolge erst dann als vollständig erachtet, wenn vor den Sommerungen eine Zwischenfrucht angebaut wird und so ein unbedeckter Boden über die Herbst- und Wintermonate verhindert wird (Wachendorf et al., 2018).

Der Zwischenfruchtanbau kann zahlreiche Vorteile mit sich bringen. Durch die Produktion von Biomasse kommt es zu einem Eintrag von organischer Substanz, vorausgesetzt die Zwischenfrüchte werden nicht geerntet. Durch die Durchwurzelung und die Bedeckung des Bodens leisten sie einen Beitrag zum Erosionsschutz (Amelung et al., 2018). Im Hinblick auf die

Beikrautregulierung haben Zwischenfrüchte ebenfalls einen positiven Einfluss. Die entstehende Beschattung unterdrückt die Keimung von Beikräutern, die Licht zur Keimung benötigen. Außerdem leisten sie physischen Widerstand gegenüber auflaufenden Konkurrenzpflanzen. Diese Funktion bleibt aufrecht, wenn die Zwischenfrüchte bereits abgestorben sind und nur mehr als Mulchschicht aufliegen (Chatterjee, 2013). Für die Konkurrenzfähigkeit der Zwischenfrüchte ist auch das Wurzelwachstum von entscheidender Bedeutung. Neben dem Wachstum der oberirdischen Biomasse hat auch das Wachstum des Wurzelsystems Auswirkungen auf die Konkurrenzfähigkeit und dadurch auf die Beikrautunterdrückung der jeweiligen Zwischenfrucht (Brust et al., 2011). Besonders im ökologischen Landbau wird der Konkurrenzeffekt von Zwischenfrüchten gegenüber Beikräutern genutzt (Freyer und Axmann, 2016).

Durch die entstehenden Wurzelkanäle erhöht sich die Infiltration bei Niederschlägen. Dadurch verringert sich die Menge an Wasser, die abfließt, was einen zusätzlichen Schutz vor Wassererosion zur Folge hat (Kaspar et al., 2011). Außerdem führen Zwischenfrüchte zu einer Vermehrung von Mykorrhiza Pilzen. Ein weiterer positiver Effekt von Zwischenfrüchten kann die Anziehung von Nützlingen sein (Chatterjee, 2013). Ein weiterer Vorteil kann die Mobilisierung von Nährstoffen im Boden sein. Durch den Anbau von Zwischenfrüchten kann die pflanzliche Diversität verbessert werden. Dies hat einen Einfluss auf die Nettoprimärproduktion, das Vorkommen von Schaderregern, die Nährstoffdynamik und die organische Substanz im Boden. Es ergibt sich daraus eine positive Wirkung auf die Mikroorganismen und die Kohlenstoffspeicherung im Boden (Amelung et al., 2018). Durch die verlängerte Zeit, in der Pflanzen auf dem Feld wachsen, ergibt sich eine Steigerung des Potentials an Aktivitäten von Makro- und Mikrofauna (Kaspar et al., 2011).

Der Wasserhaushalt der Zwischenfrüchte stellt sich wie folgt dar. Während der Vegetation nehmen die Zwischenfrüchte Wasser auf. Nach dem Absterben der Zwischenfrüchte erhöhen sie den Wassergehalt im Boden, da die erhöhte Infiltration aufrecht bleibt und durch die entstehende Mulchschicht der Boden beschattet wird. Dies führt zu einer verminderten Bodentemperatur und verminderter Evaporation. Die Menge an Wasser, die für die Folgekultur zur Verfügung steht, hängt in diesem Zusammenhang jedoch vom richtigen Timing, der Niederschlagsmenge und der Wasserhaltekapazität der durchwurzeltbaren Tiefe des Bodens ab (Kaspar et al., 2011; Qi und Helmers, 2010). Im Hinblick auf den Wasserhaushalt ist der Zeitpunkt der Aussaat der Zwischenfrüchte für eine erfolgreiche Etablierung des Bestandes wichtig. Der Anbau direkt nach der Ernte der Hauptfrucht ermöglicht die volle Ausnutzung der Vegetationsperiode und gleichzeitig die Nutzung der Bodenfeuchte für den Feldaufgang (Wachendorf et al., 2018).

Der Zwischenfruchtanbau ist mit gewissen Aufwendungen verbunden. Landwirte/Landwirtinnen müssen Zeit, Geld und Arbeit investieren, deren Rentabilität nur schwer quantifizierbar ist. Es kann Jahre dauern, bis der Nutzen von Zwischenfrüchten in einer erhöhten Bodenproduktivität

finanziell sichtbar wird. Monetäre Anreize können jedoch dazu führen, dass sich der Anbau von Zwischenfrüchten in der Landwirtschaft verbreitet (Kaspar et al., 2011).

In Österreich ist der Anbau von Zwischenfrüchten unter gewissen Voraussetzungen förderfähig. Die Voraussetzungen sind unter anderem der Verzicht auf eine mineralische Stickstoffdüngung sowie der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel von der Zwischenfruchtanlage bis zum vorgegebenen Ende des Zwischenfruchtzeitraumes. Außerdem dürfen die Zwischenfrüchte nur mechanisch beseitigt werden. Fünf der sechs zur Verfügung stehenden Varianten setzen eine Mischung aus mindestens zwei Kulturen voraus. In Variante sechs ist die Reinsaat von Grünschnittroggen, Pannonischer Wicke, Zottelwicke, Wintererbse, Winterrüben und Perko förderfähig (AgrarMarkt Austria, 2016; Landwirtschaftskammer Österreich, 2017).

Eine Vielzahl an Pflanzenarten aus unterschiedlichen Pflanzenfamilien steht als Zwischenfrucht zur Verfügung. Die diversen Arten bringen verschiedene Vorteile mit sich, welche in einer Mischung mehrerer Arten gleichzeitig genutzt werden können. Meistens werden Mischungen mit drei bis acht Pflanzenarten verwendet. Werden mehr Arten verwendet, wirken sich die zusätzlichen Vorteile nur sehr gering aus (Wachendorf et al., 2018).

In weiterer Folge werden die im Versuch verwendeten Zwischenfrüchte näher beschrieben.

2.1.2 **Amaranthaceae**

Quinoa (*Chenopodium quinoa*) wurde bereits vor 7.000 Jahren in den Anden in Südamerika kultiviert. Die Pflanzen haben ein stark verzweigtes Wurzelsystem, das sie sehr resistent gegenüber Trockenheit macht. Der Stängel kann grün, gelb, violett oder dunkelrot sein (Bhargava und Srivastava, 2013). Die richtige Saat ist beim Anbau von Quinoa von essentieller Bedeutung. Saattiefen unter zwei Zentimeter führen zu einem deutlichen Abfall der Keimrate. Zudem verschlechtern Bodenverkrustungen den Feldaufgang deutlich (Murphy und Matanguihan, 2015).

2.1.3 **Asteraceae**

Ramtillkraut (*Guizotia abyssinica*), auch Nigerpflanze genannt, stellt kaum Ansprüche an den Standort, wächst schnell und friert verlässlich ab (Wachendorf et al., 2018). Es ist trockenresistent und eignet sich besonders gut zum Bodenschutz, zur Bodensanierung und als Gründüngung. Ramtillkraut kann auf kargen Standorten kultiviert werden, wo andere Kulturen kaum noch wachsen (Duhoon, 2015). In Afrika und Indien wird es aufgrund des hohen Ölgehaltes der Samen schon seit langer Zeit genutzt (Getinet und Sharma, 1996).

Saflor (*Carthamus tinctorius*) erweist sich als sehr trockenresistent. Am besten gedeihen die Pflanzen in Klimaten mit warmen Sommern. Eine gewisse Trockenheit ist sogar Voraussetzung für ein gutes Wachstum, da sonst die Gefahr der Blütenfäule droht. Saflor bevorzugt einen

durchlässigen Boden und bildet eine kräftige Pfahlwurzel aus (Krist und Biladt, 2013). In den ariden Gebieten des Mittelmeeres, Nordafrikas und Vorderasiens wachsen die Pflanzen wild. Die ursprüngliche Domestizierung erfolgte aufgrund des gelben Farbstoffs in den Blüten. Heute wird Saflor vor allem wegen des Öls in den Samen angebaut. Früher verwendete man es zur Firnis- und Lackherstellung. Seit der Erkenntnis, dass dieses Öl bis zu 70 % Linolsäure enthält, also hauptsächlich ungesättigte Fettsäuren, hat es für die menschliche Ernährung an Bedeutung gewonnen (Brücher, 1977).

2.1.4 Boraginaceae

Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) ist eine typische Zwischenfrucht und wird oft als Bienenweide bezeichnet. Sie wurzelt mitteltief und entwickelt eine große Menge an Biomasse. Im Vergleich zu anderen Zwischenfrüchten hat sie einen geringeren Wasserverbrauch. Die Vegetationsdauer beträgt ca. 4-6 Monate (Wachendorf et al., 2018). Phacelia ist in der Lage Phosphor zu mobilisieren, sie hinterlässt leicht lösliches Phosphat, was die P-Aufnahme von Folgekulturen steigert (Freyer und Axmann, 2016). Phacelia erhöht zudem die Zahl an saprophytischen Pilzen im Boden. Die Wurzeln haben auch einen Einfluss auf die Bodenstruktur. Sie verringern die Porosität und die Porenkonnektivität und erhöhen den Anteil an Feinporen (<0,31 mm) (Bacq-Labreuil et al., 2019).

2.1.5 Brassicaceae

Senf (*Sinapis alba*) wächst äußerst schnell und kann dadurch in kurzer Zeit viel Biomasse produzieren. Dabei nimmt er bedeutende Mengen an mineralisiertem Stickstoff auf und schützt diesen davor ausgewaschen zu werden (Wachendorf et al., 2018). Er bildet ein tiefreichendes Wurzelsystem aus, das Nährstoffe aktiviert. In Rapsanbaugebieten sollte Senf als Zwischenfrucht nur begrenzt eingesetzt werden, da Rapsschädlinge wie der Kohlerdfloh auf Senf überwintern können (Rosner und Klik, 2005). Er besitzt als Zwischenfrucht die Fähigkeit Nematoden zu bekämpfen (Fellenberg, 1997).

Ölrettich (*Raphanus sativus* var. *oleiformis*) bildet starke Pfahlwurzeln in moderater Tiefe aus. Er bildet schnell Biomasse und kann so Beikräuter gut unterdrücken. Auf Schadnematoden hat er zudem eine unterdrückende Wirkung (Wachendorf et al., 2018). Daher wird er besonders in Zuckerrübenfruchtfolgen zur Nematodenbekämpfung eingesetzt. Es ist möglich, dass die Farbe der Blüte zwischen weiß, blau und violett variiert, wobei unterschiedliche Farben an der gleichen Pflanze vorkommen können. In Asien, Ägypten und Südeuropa erfolgt der Anbau immer noch zur Ölgewinnung. In Mitteleuropa und Nordamerika findet er vorwiegend als Zwischenfrucht Anwendung (Krist und Biladt, 2013).

2.1.6 Caryophyllaceae

Die **Kornrade** (*Agrostemma githago*) war früher ein weit verbreitetes Unkraut in Getreidefeldern. Probleme hat sie vor allem verursacht, weil sowohl die Pflanze als auch ihre Samen ein Saponin und andere Zuckerverbindungen enthalten, die für Mensch und Tier giftig sind. Moderne Anbau- und Dreschmethoden haben sie jedoch aus den Äckern verbannt (Schade und Jockusch, 2016). Heute ist sie fast ausgerottet und steht auf der roten Liste (BMFLF, 1988). Verwendung findet sie nun wieder in Samengemischen für Gärten, Feldränder und Verkehrsinseln. Die Menschen, aber auch viele Insekten, erfreuen sich dann im Hochsommer ihrer Blüte (Schade und Jockusch, 2016). Als Zwischenfrucht konnten in Versuchen Wirkungen der Kornrade gegenüber dem Rübennematoden *Heterodera schachtii* beobachtet werden (BMFLF, 1988).

2.1.7 Fabaceae

Für die ökologische Landwirtschaft ist diese Pflanzenfamilie von besonderer Bedeutung. Pflanzen dieser Familie, auch Leguminosen genannt, haben die Fähigkeit Stickstoff aus der Luft (N₂) in der Symbiose mit Knöllchenbakterien zu fixieren. Sie stellen daher die einzige Möglichkeit einer bedeutenden Stickstoffzufuhr dar, die keine direkten oder indirekten Inputs voraussetzt. Die N-Deposition aus der Atmosphäre ist nämlich vergleichsweise gering. Aus diesem Grund werden Leguminosen vor allem im ökologischen Landbau häufig als Zwischenfrüchte eingesetzt (Wachendorf et al., 2018).

Alexandrinerklee (*Trifolium alexandrinum*), auch als Ägyptischer Klee bezeichnet, stellt im Mittelmeerraum eine der bedeutendsten Futterleguminosen dar. Er ist wärmeliebend und stammt ursprünglich aus dem ägyptischen Raum (Oehmichen et al., 1986). Seit den 50er Jahren findet er auch in Europa Verwendung (Keller et al., 1999). Er wächst besonders schnell und produziert sehr viel Biomasse, vorausgesetzt es mangelt nicht an Feuchtigkeit. Aufgrund seiner Frostempfindlichkeit ist seine Abfrostung auch in milden Wintern gewährleistet. Für eine Besiedelung der Wurzeln mit Knöllchenbakterien ist ein ausreichender Kalkgehalt im Boden erforderlich (Gisiger, 1965).

Wundklee (*Anthyllis vulneraria*) kann eine beträchtliche Menge an Wurzelmasse ausbilden. Die Wurzeln entwickeln sich jedoch langsam, eine Vegetationszeit von mindestens vier Monaten ist Voraussetzung, um dieses Potential zumindest teilweise nutzen zu können (Preuschen und Bernath, 1983). Er benötigt ein feines, krümeliges Saatbett und stellt geringe Ansprüche an den Standort. Ein pH-Wert unter 6 und ein durchlässiger Boden werden jedoch bevorzugt. Wundklee ist für die Bodensanierung geeignet und stellt dem Boden einen guten Erosionsschutz zur Verfügung. Gründe dafür sind das Blattwachstum in Bodennähe und das ausgeprägte Wurzelsystem. Gute Fähigkeiten zur Stickstoff-Akkumulation sind eine weitere Eigenschaft von Wundklee. Für Getreide, Zuckermais und Raps stellt er eine gute Vorfrucht dar (Krautzer et al.,

2004). Wundklee ist besonders tolerant gegenüber Schwermetallen, er ist bekannt für seine Hyperakkumulation von Zink (Grisson et al., 2015). Pflanzen dieser Art sind daher in der Lage, Müllhalden und ehemalige Bergbaugebiete zu besiedeln (Mahieu et al., 2013).

Sommerwicke (*Vicia sativa*) zeichnet sich durch ihre vielseitige Verwendbarkeit aus (Jäpel, 1966). Verwendung findet sie zur Korn- und Heuproduktion, als Zwischenfrucht bzw. Gründüngung, zur Silage und als Weide (Henson und Schoth, 1959). Aufgrund dieser vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten wird die Sommerwicke in weiten Teilen der Welt genutzt (Dong et al., 2019). Sie bringt hohe Grünmasseerträge, neigt aber stark zur Lagerung. Daher sollte sie mit einem Mischungspartner angebaut werden, um die Standfestigkeit zu erhöhen (Jäpel, 1966). In der Mischung mit Getreidearten weist sie ein gutes Wachstum auf (Dong et al., 2019). Eine Überwinterung der Sommerwicke ist in Klimaten mit milden Wintern möglich. In solchen Regionen ist daher ein verlässliches Abfrieren nicht gewährleistet (Henson und Schoth, 1959).

Platterbse (*Lathyrus sativus*) ist nicht winterhart und bevorzugt aride und semi-aride Bedingungen. Unter den hohen Temperaturen der Subtropen wächst sie besonders gut. Sie ist eine attraktive Kultur für dürrgefährdete Gebiete mit schlechter Bodenqualität, in denen extreme Umweltbedingungen vorherrschen (Campbell, 1997). Die Pflanzen wachsen auf sehr unfruchtbaren Böden, vorausgesetzt sie sind nicht zu sauer (Winch, 2007). Sie ist sehr robust und gilt als eine der unempfindlichsten Leguminosen gegenüber dem Klimawandel. Vor allem weil sie Trockenperioden gut überstehen kann (Lambein et al., 2019). Sie findet Verwendung zur Samenproduktion, als Gründüngung, als Grünfutter und teilweise auch zur Beweidung. In Südostasien spielt sie auch in der menschlichen Ernährung eine Rolle, besonders während Hungersnöten, dabei sind die Verarbeitungsmethoden vielfältig. Die Samen der Platterbse enthalten jedoch eine neurotoxische Aminosäure (beta-oxalyl-diamino-propionic acid – beta ODAP). Werden die Samen über einen längeren Zeitraum gegessen, kann dies zu Lähmungen der unteren Gliedmaßen führen (Winch, 2007). Die Platterbse ist konkurrenzwach gegenüber Beikräutern, besonders, wenn zu Beginn nicht ausreichend Feuchtigkeit vorhanden ist (Campbell, 1997).

Krumenklee (*Trifolium squarrosum*) stammt ursprünglich aus Südeuropa und wird oft als Zwischenfrucht oder Untersaat verwendet (Perrino et al., 2014). Er ähnelt stark dem Alexandrinerklee, ist jedoch aufrechter und der stachelige Blütenkopf unterscheidet sich stark. Die Biomasseerträge sind gut und vergleichbar mit jenen von Alexandrinerklee. Krumenklee ist jedoch anfälliger gegenüber Mehltau. Es ist nur ein Schnitt möglich, die Pflanzen beginnen danach nicht mehr zu wachsen (Nuttonson, 1961).

2.1.8 Poaceae

Sandhafer (*Avena strigosa*) stammt ursprünglich aus Spanien und Portugal. In Großbritannien wurde er bis Ende des 19. Jahrhunderts auf Böden mit minderer Qualität angebaut, auf denen andere Haferarten nicht mehr wuchsen (Miedaner, 2014). In Südamerika wird er heute als Zwischenfrucht verwendet und im Süden der USA zur Heuproduktion und als Weide (Podyma et al., 2019). Er bildet im Vergleich zu anderen Zwischenfrüchten wie Senf und Phacelia weniger oberirdische Biomasse. Trotzdem ist er in der Beikrautunterdrückung gleich stark wie die beiden Vergleichskulturen. Grund dafür ist sein gut ausgebildetes Wurzelsystem, welches ihn in der Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe mit Unkräutern stark macht (Brust et al., 2011).

Schwarzhafer (*Avena sativa*) hat dunkle Spelzen. Die schwarze Farbe ist auf die Einlagerung von Anthocyanen zurückzuführen. Bei Hafer gibt es eine große Diversität. Grund dafür ist die große Anzahl an Verwandten und Vorfahren (Miedaner, 2014).

Sudangras (*Sorghum sudanese*) stellt im Sudan die Lebensgrundlage von Millionen von Menschen dar. Die Körner dienen der menschlichen Ernährung, es werden sowohl Lebensmittel als auch Getränke daraus hergestellt. Das Stroh findet als Tierfutter oder als Energiequelle Verwendung (Grenier et al., 2004). Sudangras ist sehr robust, hat einen geringen Wasserbedarf, kann sehr gut als Zwischenfrucht eingesetzt werden und wächst auch auf schlechten Böden (Speck, 2008).

Hybridsorghum (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanese*), auch Sorghum-Sudangras genannt, verträgt aufgrund der besseren Bestockung mehr Schnitte als die Liniensorten. Außerdem haben die Hybridarten größere und dafür weniger Blätter (USDA, 1969). Hybridsorghum hat einen besonders hohen Biomasseertrag und kann einige Nematodenarten unterdrücken. Es wächst auch auf kargen Böden und verträgt hohe Kalkgehalte, bevorzugt aber einen neutralen pH-Wert. Hybridsorghum ist auch in der Lage, Beikräuter zu unterdrücken (Clark, 2007).

2.1.9 Polygonaceae

Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) wächst besonders schnell und ist anspruchslos. Das ist auch der Grund für seine gute Wirkung im Hinblick auf die Beikrautunterdrückung (Wachendorf et al., 2018). Er verträgt keinen Frost und ist auch nicht trockentolerant. Buchweizen kann Phosphat mobilisieren, welches dann der Folgekultur in leicht löslicher Form zur Verfügung steht (Clark, 2007). Verwendung finden hauptsächlich die Körner für die menschliche Ernährung aber auch als Futtermittel. Als Zwischenfrucht und Gründüngung wird er ebenfalls eingesetzt (Senthilkumaran et al., 2008).

2.1.10 Zwischenfruchteffekte auf Stickstoff im Boden

Werden Leguminosen als Zwischenfrucht angebaut, kann es zur Stickstoffakkumulation im Boden kommen (Chatterjee, 2013). Stark zehrende Pflanzen wiederum können beachtliche Mengen an Nitrat aus dem Boden aufnehmen (OECD, 2015). Im Hinblick auf den Einfluss der Landwirtschaft auf die Wasserqualität können Zwischenfrüchte helfen, diese zu verbessern (Çerçioğlu et al., 2019). Um die Nitratauswaschung ins Grundwasser zu verringern, ist es wesentlich effektiver Zwischenfrüchte anzubauen, als die Stickstoffdüngung zu reduzieren (Hayer et al., 2010). Die Eutrophierung von Grundwasser passiert nämlich hauptsächlich im Spätsommer und Herbst. Zu dieser Zeit nehmen die meisten Kulturen nur mehr wenig Stickstoff auf und die Mineralisierung übersteigt den Stickstoffbedarf. Eine verringerte Stickstoffdüngung vermindert den Nitratreintrag ins Grundwasser deshalb nur leicht (Hayer et al., 2010). Zwischenfrüchte können zudem auch den Nitratreintrag in Oberflächengewässer verringern (Çerçioğlu et al., 2019).

2.1.11 Zwischenfruchteffekte auf Soja

In einem Versuch in Argentinien verbesserten Zwischenfrüchte vor Soja die Bodenqualität und verringerten das Risiko der Nitratauswaschung. Der Sojaertrag ist durch die Zwischenfrüchte jedoch nur minimal betroffen gewesen. Die verringerten Nitratgehalte nach Nicht-Leguminosen wirkten sich nur leicht auf den Sojaertrag aus. Der von den Leguminosen aus der Luft gebundene Stickstoff führte ebenfalls zu keinen großen Ertragsunterschieden. Auch der verminderte Gehalt (-15 bis -30 %) an verfügbarem Wasser nach den Zwischenfrüchten hatte keinen bedeutenden Einfluss auf den Sojaertrag (Alvarez et al., 2017).

Versuche in den USA brachten leichte Ertragssteigerungen bei Soja hervor, wenn Winterweizen zuvor als Zwischenfrucht angebaut wurde. Nach Wintergerste waren die Erträge wiederum niedriger und Hafer führte zu Erträgen, die ca. gleichauf mit jenen nach der Schwarzbrache lagen (Maloney und Grau, 2001).

Zwischenfrüchte können helfen, den Unkrautdruck in Sojabohnen zu verringern. Das Ziel dabei ist ein schwer zu beherrschendes Unkraut durch eine beherrschbare Zwischenfrucht zu unterdrücken (da Silva et al., 2013). Je höher das C/N-Verhältnis der Zwischenfrucht, desto stärker werden Unkräuter reduziert. Roggen-Zwischenfruchtreste zum Beispiel führen zu einer verminderten Stickstoffverfügbarkeit im Boden, da Stickstoff für den Abbau benötigt wird. Dies führt in weiterer Folge zu einem verminderten Auftreten von Unkräutern (Hill et al., 2016).

Eine große Menge an Biomasseresten, verursacht durch Zwischenfrüchte, dichte Grasbestände oder durch Direktsaat kann die Standfestigkeit der Sojabohne verringern. Allgemeine Wurzelschädlinge wie Larven (*Scarabaeidae*), Drahtwürmer (*Elateridae*) und Maden der

Saatenfliege (*Delia platura*) fressen dann an den Wurzeln der Sojapflanzen (Hammond, 1995; Turnipseed und Kogan, 1976).

Die Top 3 Sojaproduzenten der Welt USA, Brasilien und Argentinien sind gleichzeitig jene Länder, in denen die Methode der Direktsaat größte Verbreitung findet (Food und Agriculture Organization of the United Nations, 2019; Guinness und Walpole, 2012). Soja wird daher in Nord- und Südamerika vor allem mithilfe der Direktsaat kultiviert. Sofern eine Zwischenfrucht angebaut wird, findet Roggen dafür Verwendung (Hartman et al., 2011). Vor allem wenn Soja im Direktsaat-Verfahren angebaut wird, erfolgt vor der Saat die Bekämpfung der Zwischenfrüchte mithilfe von nicht-selektiven Herbiziden (Davis, 2010). Der Roggenbestand wird zur Bekämpfung teilweise auch gewalzt (Hartman et al., 2011).

2.2 Soja

2.2.1 Botanik

Die Sojabohne zählt zu den Schmetterlingsblütlern (*Fabaceae*). In der kultivierten kurzen Buschform wird sie 30 bis 90 cm groß (stark schwankend je nach Sorte und Standort), rankende und halbrankende Typen können aber auch eine Höhe von bis zu zwei Metern erreichen (Lembacher et al., 2009; Zeller, 1999). Der Stängel ist dünn und stark behaart. Die Blätter der Sojapflanzen sind langstielig und dreiteilig (Lembacher et al., 2009). Die kleinen Blüten sind in den Blattachseln zu finden, wo sie in Büscheln angeordnet sind. Die Blüten der Sojabohnen sind selbstfertil und die Fremdbestäubung liegt unter einem Prozent (George, 2011). Die Blütenfarbe ist weiß oder lila. Nach der Bestäubung wachsen in den borstig behaarten Hülsen mit drei bis vier Zentimetern Länge ein bis drei rundlich-ovale Samen heran (Lembacher et al., 2009; Schuster und Marquard, 1992). Die Sojabohne ist eine Kurztagpflanze und dabei äußerst empfindlich gegenüber der Tageslänge. Langtagbedingungen führen daher zu einer stark verzögerten Blühphase (Lembacher et al., 2009).

Die physiologische Reife der Sojakörner kann anhand einer Gelbfärbung der Samen festgestellt werden. Bei vielen Sorten wird dieses Stadium bereits vor dem Absterben der Blätter erreicht (George, 2011).

2.2.2 Herkunft und Verbreitung

Die Sojabohne (*Glycine max*) stammt von der wilden, einjährigen *Glycine soja* ab, die in Asien beheimatet ist (Zeller, 1999). Soja wurde ursprünglich im Nordosten Chinas domestiziert. Von dort aus verbreiteten sich die kultivierten Typen nach Korea, in den Süden Chinas, Japan und Südasien. In den USA, Brasilien, China und einigen südamerikanischen und asiatischen Ländern hat sie als Nutzpflanze eine große Bedeutung (George, 2011). In der ersten Hälfte des 20.

Jahrhunderts war China noch der größte Sojaproduzent und gleichzeitig der größte Sojaexporteur weltweit. Aufgrund der wirtschaftlichen Entwicklungen und des zunehmenden Wohlstands begann China 1996 Soja zu importieren und entwickelte sich zum größten Sojaimporteure der Welt (Qiu und Chang, 2010). Europa zählt weltweit ebenfalls zu den großen Sojaimporteuren (Verein Donau Soja, 2016). In den 1950er hat sich die Sojaproduktion in den USA stark entwickelt und die USA liegen heute auf Platz eins der Soja produzierenden Länder. In den 1970er Jahren hat sich die Sojaproduktion in Brasilien etabliert. Seitdem nahm auch in Argentinien der Sojaanbau stark zu. Heute liegt Brasilien an zweiter und Argentinien an dritter Stelle der weltweiten Sojaproduzenten. Die Sojaproduktion in Südamerika übersteigt bereits seit mehreren Jahren jene von Nordamerika (Food und Agriculture Organization of the United Nations, 2019; Qiu und Chang, 2010). Die Sojaproduktion in Europa hat dagegen nur einen sehr kleinen Anteil an der weltweiten Sojaproduktion (Verein Donau Soja, 2016).

2.2.3 Verwendung

Soja ist heute weltweit die wichtigste Körnerleguminose. In der menschlichen Ernährung werden Sojaprodukte in großer Vielfalt genutzt (George, 2011). Zur Herstellung von Sojasauce, Sojapaste, Natto, Miso und Tempeh werden die Sojabohnen fermentiert (Hymowitz und Newell, 1981). Sojamilch stellt die Grundlage für Tofu dar. Für Backwaren, Milchinstantgetränke, Konfekt, Suppen, Saucen, Fleisch- und Fischprodukte wird vollfettes Sojamehl, gemahlen aus ganzen Sojakörnern, verwendet (Riaz, 1999). Sojaöl, das durch Kaltpressung oder Extraktion gewonnen wird, findet als Margarine, Brat- und Frittierfett Verwendung. Es ist geruchs- und geschmacksneutral. Sojaöl dient auch zur Gewinnung des Emulgators Lecithin. Er ist Grundstoff für Vitaminpräparate und Süßigkeiten wie Schokolade, Kakao- und Milchmischgetränke, Eiscreme und Backwaren. Der nach der Extraktion des Sojaöls entstehende Sojaschrot wird beispielsweise zur Herstellung von Fertiggerichten sowie Fleisch- und Wurstwaren verwendet. Der überwiegende Teil des Sojaschrots wird aber als Tierfutter verwendet (Zeller, 1999). Geschätzt werden nur zwei Prozent des Sojaproteins direkt vom Menschen in Form der diversen Sojaprodukte aufgenommen. Die übrigen 98 Prozent werden abgesehen von einem kleinen Prozentanteil an Nutztiere verfüttert. Der steigende Sojabedarf ist demnach abgeleitet von einem steigenden Fleischbedarf (Goldsmith, 2008). Sojaschrot stellt in der Nutztierhaltung nämlich eine wichtige Proteinquelle dar. Besonders in der Schweine- und Geflügelmast findet Sojaschrot Verwendung (George, 2011). Vor der Verfütterung ist jedoch eine Wärmebehandlung erforderlich, um die enthaltenen Trypsininhibitoren zu deaktivieren. Dies verbessert die Verdaulichkeit und die Verwertung des Proteins. Die Erwärmung erfolgt in Ölmühlen mithilfe von Extruderanlagen oder durch Toasten (Lembacher et al., 2009).

Neben der Verwendung als Lebens- und Futtermittel wird Soja auch industriell genutzt. Lösungsmittel, biologisch abbaubare Waschmittel und umweltverträgliche Schmiermittel stellen Beispiele für die industrielle Verwendung dar (Zeller, 1999).

Je nach Sorte enthalten die reifen Samen 20 – 23 Prozent Öl (George, 2011). Der Proteingehalt der Sojakörner liegt bei ca. 40 % (Qiu und Chang, 2010). Entfettetes Sojamehl hat sogar einen Proteingehalt von ca. 70 % (Zeller, 1999). Dadurch stellt Soja weltweit die Kultur mit dem höchsten Proteingehalt und dem höchsten Brutto-Output an pflanzlichem Öl dar (Qiu und Chang, 2010).

2.2.4 Standortansprüche

Feucht-warme Klimaverhältnisse sind die optimalen Voraussetzungen für den Sojaanbau. In Österreich sind daher die feucht-warmen Gebiete im Süden und die warmen Lagen im Osten geeignet. In Ostösterreich kann durch die niedrigen Niederschlagsmengen (500-600 mm Jahresniederschlag) die Wasserverfügbarkeit einen begrenzenden Faktor für den Ertrag darstellen. In den Gunstlagen im Westen Niederösterreichs und im oberösterreichischen Zentralraum ist der Anbau durch frühreife Sorten möglich geworden (Lembacher et al., 2009).

Sojapflanzen bevorzugen einen gut durchlüfteten Boden. Leichte Böden mit einer niedrigen Wasserhaltekapazität werden für den Sojaanbau aber nicht empfohlen (Verein Donau Soja, 2016). In lehmigen und tonigen Böden liegt eine bessere Stickstofffixierung vor (Singh und Shivakumar, 2010), für staunasse Böden ist Soja jedoch nicht geeignet (George, 2011). Niedrige Humusgehalte führen zu verminderter bis fehlender mikrobieller Aktivität, was die Effektivität der stickstofffixierenden Bakterien verringert. Hohe Gehalte an verfügbarem Stickstoff neigen dazu, die Stickstofffixierung der Sojabohne zu unterdrücken (Singh und Shivakumar, 2010). George (2011) beschreibt Böden mit einem pH-Wert von 5,7 bis 6,2 als geeignet. Liegt der pH-Wert darunter ist eine Kalkdüngung erforderlich (George, 2011). Der Verein Donau Soja (2016) beschreibt den idealen pH-Wert für Soja mit 6 – 8. Die Pflanzen sind in der Lage, auch mit niedrigeren bzw. höheren pH-Werten zurechtzukommen. Unter solchen Bedingungen ist aber mit Ertragseinbußen zu rechnen (Verein Donau Soja, 2016). Extreme pH-Werte beeinflussen nämlich die Stickstofffixierung (Singh und Shivakumar, 2010). Liegt der pH-Wert unter 3,9 bzw. über 9,6 ist das Wachstum und die Entwicklung von Sojapflanzen nicht möglich (Verein Donau Soja, 2016).

2.2.5 Pflanzenbauliche Aspekte

Soja ist grundsätzlich selbstverträglich. Anbaupausen von 4 bis 5 Jahren werden jedoch von Lembacher et al. (2009) empfohlen, um das Auftreten von Sklerotinia (*Sclerotinia sclerotiorum*) zu minimieren. Der Verein Donau Soja (2016) gibt als Mindestanbaupause drei Jahre an, wobei

der Anbau in zwei aufeinanderfolgenden Jahren positive Auswirkungen haben kann. Danach ist aber jedenfalls der dreijährige Abstand einzuhalten. Zu anderen Sklerotinia-anfälligen Kulturen (z.B. Sonnenblume und Raps) sollte ebenfalls ein entsprechender Abstand in der Fruchtfolge gewählt werden (Lembacher et al., 2009; Verein Donau Soja, 2016). Durch ihre strukturverbessernde Wirkung auf den Boden ist die Sojapflanze ein besonders gutes Glied in der Fruchtfolge. Besonders geeignet ist sie zur Auflockerung von Getreidefruchtfolgen, da keine zusätzlichen Maschineninvestitionen erforderlich sind (Lembacher et al., 2009). Getreidekulturen nach Soja werden aufgrund der Stickstoffakkumulation positiv beeinflusst (Verein Donau Soja, 2016).

Eine gute Saatbettbereitung vor Soja wird empfohlen. Die Intensität ist aber abhängig vom Bodentyp, von der Vorfrucht und auch vom Unkrautdruck (Singh et al., 2010). Ein ebenes Saatbett gewährleistet eine gleichmäßige Ablage der Samen und dadurch einen homogenen Feldaufgang (Verein Donau Soja, 2016). Die empfohlene Saattiefe liegt in Österreich und Deutschland bei zwei bis fünf Zentimeter. Auf kalten und schweren Böden wird eine seichte Saat empfohlen. Tiefe Saaten sind auf leichten, schnell austrocknenden Böden zu bevorzugen. Eine Saat auf mehr als fünf Zentimeter ist aufgrund der epigäischen Keimung jedenfalls zu vermeiden (Imgraben und Recknagel, 2015; Lembacher et al., 2009).

Für die Saat sollten die Samen mit *Rhizobium japonicum* beimpft werden, sofern auf dem Standort noch keine Sojabohnen angebaut wurden. Diese Mikroorganismen sind sojaspezifisch und für eine akzeptable Stickstofffixierung durch Knöllchenbakterien erforderlich, welche für ein optimales Wachstum benötigt wird (George, 2011). Dabei ist es von essentieller Bedeutung, die Qualität der Rhizobien sicherzustellen. Qualitätsminderungen können während der Lagerung und während des Transports auftreten (Singh et al., 2010). Die Saat ist sowohl per Drillsaat als auch per Einzelkornsaat möglich (George, 2011).

Weltweit variieren die Saatstärken sehr stark. Sie sind abhängig vom Pflanzentyp und von der jeweiligen Reifezeit des verwendeten Genotyps (Singh et al., 2010). Im mittleren Süden der USA liegen die optimalen Pflanzendichten bei 10 bis 28 Pflanzen/m² (Lee et al., 2008). In Indien wiederum werden Pflanzendichten je nach Region von 40 bis 60 Pflanzen/m² empfohlen (Chauhan und Joshi, 2005). In Deutschland empfehlen Imgraben und Recknagel (2015) je nach Reifegruppe 55 bis 60 keimfähige Körner (00-Sorten) und 65 bis 70 keimfähige Körner (000-Sorten). Die Bestandesdichten sollten nicht unter 30 (00) bzw. 40 (000) Pflanzen/m² liegen (Imgraben und Recknagel, 2015). Lembacher et al. (2009) empfehlen für Österreich eine Bestandesdichte von 40 bis 70 Pflanzen/m². Sorten mit einer späten Reife (00-Sorten) sollten am unteren Rand der angegebenen Werte liegen. Für Sorten in der Reifegruppe 000 werden 50 bis 70 Pflanzen/m² empfohlen. Aufgrund der stark unterschiedlichen Korngrößen ergeben sich dabei Saatmengen von 70 bis 130 kg/ha (Lembacher et al., 2009).

Soja eignet sich sehr gut für den Mähdrusch (George, 2011). Da die untersten Hülsen sehr tief liegen ist eine entsprechend tiefe Schneidwerkseinstellung erforderlich, um Ernteverluste zu vermeiden. Hierfür sollte schon vor dem Anbau eine ebene Ackeroberfläche geschaffen werden (Lembacher et al., 2009). Der optimale Feuchtigkeitsgehalt für die Ernte liegt bei 14 Prozent. Bei Feuchtigkeitsgehalten darüber und darunter sind entsprechende Anpassungen zu treffen. Trockenere Körner neigen zum Brechen und feuchtere sind anfälliger für mechanische Beschädigungen (George, 2011). Erfolgt die Ernte verspätet ist mit Ertragsverlusten von bis zu 15 % zu rechnen (Lembacher et al., 2009).

Weltweit liegt der durchschnittliche Kornertrag von Soja bei 1.973 kg/ha. Die Erträge schwanken je nach Region aber sehr stark. In Georgien und Tansania liegen die Erträge im Durchschnitt bei 200 bis 400 kg/ha und in der Schweiz wird von durchschnittlichen Erträgen über 3500 kg/ha berichtet. In den USA, dem wichtigsten Sojaproduzenten weltweit, ist der Durchschnittsertrag ca. 2400 kg/ha (Oerke, 2006). In Österreich ist im langjährigen Mittel mit Durchschnittserträgen von 1800 bis 3000 kg/ha zu rechnen. Bei guter Wasserversorgung sind aber auch Erträge von deutlich über 3000 kg/ha möglich (Lembacher et al., 2009).

2.2.6 Düngung

Der Großteil des benötigten Stickstoffs wird bei erfolgreicher Inokulation durch die Knöllchenbakterien aus der Luft gewonnen. Eine Düngung von Sojabeständen ist daher grundsätzlich nicht erforderlich (Imgraben und Recknagel, 2015). Da die Aktivität der Knöllchenbakterien jedoch erst nach einiger Zeit einsetzt, kann auf schlechten Böden eine Startdüngung von 30 kg/ha Reinstickstoff Sinn machen (Lembacher et al., 2009). Dies kann jedoch die Bildung der Knöllchen beeinflussen. N-Düngungen sind nur zu vertreten, wenn die Knöllchenbildung bis zum Beginn der Blüte nicht erfolgreich war. Die Nährstoffabfuhr bei einem Kornertrag von 3000 kg/ha liegt bei 45 kg/ha P_2O_5 , 51 kg/ha K_2O und 15 kg/ha MgO . Bei geringer Borversorgung des Standortes kann eine Blattdüngungsmaßnahme sinnvoll sein. Üblicherweise sind Spurenelemente aber kein ertragsbegrenzender Faktor (Imgraben und Recknagel, 2015). Je nach Ertragslage werden in Österreich Düngungsempfehlungen von 60 bis 75 kg/ha P_2O_5 und 80 bis 100 kg/ha K_2O abgegeben (Lembacher et al., 2009).

2.2.7 Pflanzenschutz

Unkraut stellt weltweit gesehen bei Soja die größte Gefahr für Ertragseinbußen dar. Es kann ohne Regulierung je nach Region zu geschätzten Verlusten bei den Erträgen von 35 bis 40 Prozent führen. Die potentiellen geschätzten Ertragsverluste durch Krankheiten (7 bis 18 Prozent) und Schädlinge (4 bis 16 Prozent) liegen deutlich darunter (Oerke, 2006).

Soja hat in den frühen Entwicklungsphasen eine geringe Unkrautunterdrückung. Besonders Wildgräser erweisen sich dabei als starke Konkurrenz. Daher ist die Unkrautfreiheit des Standortes von großer Bedeutung und die Unkrautbekämpfung am Beginn der Kultur besonders empfohlen (George, 2011; Lembacher et al., 2009). In Nord- und Südamerika werden fast ausschließlich gentechnisch veränderte Sojabohnen angebaut. In Argentinien und Bolivien liegt der Anteil sogar bei 100 %. In den letzten Jahren lag daher der Anteil gentechnisch veränderter Sojabohnen an der Weltproduktion bei ca. 80 % (Forum Bio- und Gentechnologie e.V., 2018). Ihnen wurde ein Gen aus *Agrobacterium* sp. CP4 eingeführt, was sie tolerant gegenüber dem Totalherbizid Glyphosat (Handelsname: Roundup) macht (Zeller, 1999). Die mechanische Unkrautregulierung in Sojabeständen lässt sich erfolgreich durchführen. Besonders wichtig ist dabei das Blindstriegeln drei bis vier Tage nach der Saat, bevor die Pflanzen überhaupt aufgelaufen sind. Bis zur Entfaltung der Keimblätter ist der Striegeleinsatz zu vermeiden und bis zur Erreichung des ersten Laubblattpaares ist besondere Vorsicht geboten. Ab diesem Zeitpunkt ist dann nur mehr mit geringen Striegelverlusten zu rechnen. Für die Unkrautbekämpfung in der Reihe ist ein Reihenabstand zwischen 25 und 50 Zentimeter zu wählen (Mücke, 2016). Der Verein Donau Soja (2016) empfiehlt einen Reihenabstand von 45-50 Zentimeter für eine optimale Pflanzenentwicklung und einen schnellen Reihenschluss. Zahlreiche Versuche in den USA brachten jedoch höhere Erträge bei engeren Reihenabständen hervor. Besonders bei einer späten Saat zeigten sich Vorteile (Singh et al., 2010).

Sojapflanzen können grundsätzlich von verschiedenen Organismen befallen werden, dazu zählen sowohl Nematoden, Bakterien, Viren, Pilze als auch Insekten (Grossi-de-Sa et al., 2011). In Österreich ist auf Bodenschädlinge wie Drahtwürmer und Engerlinge achtzugeben. Blattrandkäfer, Blattläuse, Spinnmilben und Distelfalter können ebenfalls auftreten. Dabei können speziell die Raupen des Distelfalters in kurzer Zeit beträchtliche Schäden anrichten. Bei den Krankheiten ist hauptsächlich die Sklerotinia-Fäule von Bedeutung. Die wichtigste Maßnahme dabei ist eine weite Fruchtfolge mit Abständen von vier bis fünf Jahren zu anderen Sklerotinia-anfälligen Kulturen. Falscher Mehltau kommt vor, liegt im Normalfall jedoch unter der Schadschwelle. Weitere Pilz- und Bakterienkrankheiten treten zwar auf, sind aber ebenfalls nicht bekämpfungswürdig. Feldhasen können an den auflaufenden Sojapflanzen Fraßschäden verursachen. Die Errichtung eines Schutzzaunes ist aber nur bei einzelnen kleinen Flächen in Betracht zu ziehen (Lembacher et al., 2009).

3. Material und Methoden

3.1 Allgemeine Versuchsbeschreibung

3.1.1 Standorteigenschaften

Der Standort des Feldversuchs war die Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf der BOKU Wien. Dieser befindet sich in Ost-Österreich (48°11'51.4"N 16°33'47.2"E). Groß-Enzersdorf liegt im Marchfeld, das in Österreich eine der größten Ebenen darstellt. Der Versuchsstandort liegt demnach im pannonischen Klimagebiet und befindet sich auf 156 Meter Seehöhe. Typisch für diesen Standort sind die heißen, trockenen Sommer und häufiger Wind. Im langjährigen Durchschnitt beträgt die Temperatur 9,8 °C und der Niederschlag 546 mm. Beim Boden handelt es sich um einen Tschernosem. Er besteht aus schluffigem Lehm, ist mittelschwer und tiefgründig (pH 7,6, 2,3 % Humus) (BOKU, 2016).

Vor dem Versuch war auf dem Standort Gelbhafer angebaut. Nach der Ernte des Gelbhafers im Sommer 2016 erfolgte der Stoppelsturz mit dem Grubber (Galaxis G 300, Kerner Maschinenbau GmbH, Deutschland) sieben bis zehn Zentimeter tief.

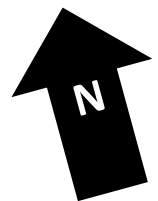
3.1.2 Versuchsaufbau

Der Versuch wurde im vollrandomisierten Blockdesign als Feldversuch angelegt. Abb. 1 zeigt den Versuchsaufbau grafisch dargestellt. Die Parzellengröße betrug 30 m² netto (3 x 10 Meter) und es gab drei Wiederholungen. In Summe ergibt sich dadurch eine netto Versuchsfläche von 1.800 m². An den Längsseiten der Versuchsfläche wurde ein mindestens drei Meter breiter Streifen über die gesamte Versuchsdauer als Brache geführt. An den kurzen Seiten befand sich ein drei Meter breiter Mantel, auf dem ebenfalls im Sommer 2016 Zwischenfrüchte gesät wurden. Beim Sojaanbau erfolgte im Bereich des Mantels ebenfalls die Sojasaat. Dadurch wurden auch für die Randparzellen die gleichen Bedingungen geschaffen. Innerhalb einer Wiederholung befanden sich die Parzellen ohne Abstand direkt nebeneinander. An den Längsseiten zwischen den Wiederholungen befand sich ein zwei Meter breiter Streifen, der über die gesamte Versuchsdauer hinweg als Schwarzbrache geführt wurde. Dieser Bereich ist als Weg für die diversen Messungen und Proben genützt worden. Für jede einzelne Parzelle wurde eine eindeutige EDV-Nummer vergeben. Diese Nummern waren vor Ort bei den Parzellen angebracht, um Verwechslungen zu vermeiden. Außerdem erhielt jede Zwischenfrucht einen Zahlencode zugeordnet. Die vergebenen Zahlen können mithilfe von Tab. 1 umgeschlüsselt werden. Da die Zwischenfrüchte Alexandrinerklee, Saflor und Krumenklee kaum einen Feldaufgang aufwiesen, sind in weiterer Folge für diese Parzellen keine Proben bzw. Messungen mehr durchgeführt worden.

Wdh3	M																					M	36m
EDV		1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155		
ZWFR		15	20	13	10	7	8	23	11	21	24	16	1	12	9	14	5	26	22	17	25		
Wdh2	M																					M	24m
EDV		1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135		
ZWFR		1	5	22	26	25	13	20	8	23	7	12	11	9	15	14	16	21	10	24	17		
Wdh1	M																					M	12m
EDV		1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115		
ZWFR		9	17	11	10	16	1	20	7	24	26	22	21	8	23	15	14	25	13	12	5		
		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66 m

Abb. 1: Versuchsplan der randomisierten, vollständigen Blockanlage mit drei Blöcken (Wiederholungen)

Wdh = Wiederholung, EDV = Parzellennummer, ZWFR = Zwischenfruchtcode (Umschlüsselung in Tab. 1), M = Mantel



17 verschiedene Zwischenfrüchte wurden am 26.07.2016 per Drillsaat mit einer Parzellensämaschine (Plot seeder S, Wintersteiger AG, Ried, Österreich) in Reinsaat angebaut. Alle Zwischenfrüchte wurden mit einem Reihenabstand von 12 Zentimetern in zwei Zentimetern Tiefe maschinell gesät. Auf einer Parzelle pro Wiederholung befand sich der Ausfallhafer der Vorrucht. Zur Kontrolle erfolgte die Anlage von zwei Schwarzbrachen, wobei eine davon über den ganzen Versuch hinweg nicht bepflanzt wurde. Die zweite war nur bis zum Sojaanbau eine Schwarzbrache, auf ihr erfolgte dann wie bei den Zwischenfrüchten im Mai 2017 die Aussaat von Soja. Die Schwarzbrache stellt die Kontrolle für die Zwischenfrüchte dar. Der Begriff „Zwischenfrüchte“ beinhaltet zur Vereinfachung daher in weiterer Folge auch immer die Schwarzbrache mit Soja. Pro Wiederholung sind demnach 20 Varianten angelegt worden, was bei drei Wiederholungen 60 Parzellen entspricht. Die Zahlencodes der verwendeten Zwischenfrüchte, die Zwischenfrüchte selbst, deren lateinischer Name, die Pflanzenfamilie und die Saatstärken sind Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1: verwendete Zwischenfrüchte

ZWFR-Code in Abb. 1	Zwischenfrucht	verwendete Sorte	Pflanzenfamilie	Saatstärke in Körner/m²
1	Kornrade (<i>Agrostemma githago</i>)	-	Caryophyllaceae	300
5	Schwarzhafer (<i>Avena sativa</i>)	Raven	Poaceae	400
7	Phacelia (<i>Phacelia tanacetifolia</i>)	Lisette	Boraginaceae	400
8	Senf (<i>Sinapis alba</i>)	Bea	Brassicaceae	400
9	Wundklee (<i>Anthyllis vulneria</i>)	Pamir	Fabaceae	600
10	Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>)	Zeno	Amaranthacea	200
11	Hybridsorghum (<i>Sorghum bicolor x Sorghum sudanese</i>)	King61	Poaceae	160
12	Buchweizen (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	Lileja	Polygonaceae	300
13	Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i>)	Hanka	Fabaceae	170
14	Platterbse (<i>Lathyrus sativus</i>)	Merkur	Fabaceae	100
15	Schwarzbrache mit Soja	-	-	-

16	Sudangras (<i>Sorghum sudanese</i>)	Piper	Poaceae	180
17	Ölrettich (<i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiformis</i>)	Radical	Brassicaceae	250
20	Sandhafer (<i>Avena strigosa</i>)	Luxurial	Poaceae	500
21	Ramtillkraut (<i>Guizotia abyssinica</i>)	-	Asteraceae	350
22	Alexandrinerklee (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	-	Fabaceae	600
23	Saflor (<i>Carthamus tinctorius</i>)	-	Asteraceae	100
24	Krumenklee (<i>Trifolium squarrosum</i>)	-	Fabaceae	600
25	Ausfallhafer	-	Poaceae	-
26	Schwarzbrache ohne Soja	-	-	-

Nach der Zwischenfruchtsaat wurden die Parzellen per GPS eingemessen und die Daten davon gespeichert.

Am 02.05.2017 erfolgte der Umbruch der Zwischenfrüchte maschinell mit dem Grubber (Galaxis G 300, Kerner Maschinenbau GmbH, Deutschland) sieben bis zehn Zentimeter tief quer zu den Parzellen. Eine langsame Fahrgeschwindigkeit und eine zweite Überfahrt in Gegenrichtung stellten sicher, dass die Zwischenfruchtreste nicht verschoben wurden.

Der Sojaanbau erfolgte am 03.05.2017 großflächig mit einer pneumatischen Einzelkornsämaschine mit sechs Reihen (MS 8200, MatterMacc S.p.A., Italien). Dabei erfolgte die Aussaat mit einer Saatstärke von 65 Körnern/m², in einer Tiefe von drei bis vier Zentimeter und einem Reihenabstand von 50 cm. Auf allen Parzellen wurde dabei die selbe Sorte (Solena 000) angebaut. Mithilfe der GPS-Daten konnten nach der Sojasaat die Parzellen der Zwischenfrüchte wieder eingemessen werden. Nach der Sojaaussaat kam es zur Einzäunung der Versuchsfläche, um die Sojapflanzen vor Wildfraßschäden zu schützen. Vor allem durch Feldhasen war hier die Gefahr gegeben.

Am 30. August 2017 erfolgte dann die händische Ganzpflanzenernte. Die Dauer des Feldversuchs betrug demnach 400 Tage, also etwas mehr als 13 Monate.

3.1.3 Sojasorte

Für den Anbau wurde die Sojasorte Solena gewählt. Sie befindet sich in der Reifegruppe 000 (sehr früh). Laut der Probstdorfer Saatzucht (2017) zeichnet sich die Sorte durch eine besonders schnelle Jugendentwicklung und dadurch auch durch einen schnellen Bestandesschluss aus.

Innerhalb der 000-Sorten ist die Abreife mittelspät, was die Dauer der Kornfüllung verlängert und so zu einem hohen Tausendkorngewicht führt. Der mittlere Rohfettgehalt beträgt 21,1 % und der mittlere Proteingehalt 43,0 %. Als Aussaatmenge werden 600.000 Körner pro Hektar empfohlen (Probstdorfer Saatzucht, 2017).

Zur Inokulation des Saatguts mit *Bradyrhizobium japonicum* ist das Produkt „FixFertig“ bezogen worden. Das Saatgut war demnach bereits beim Bezug aus dem Handel geimpft und es wurde keine weitere Impfung vorgenommen.

3.1.4 Wetter

In Abb. 2 sind die Niederschlagssummen und die mittleren Temperaturen pro Monat im Versuchszeitraum im Vergleich zum langjährigen Mittel dargestellt.

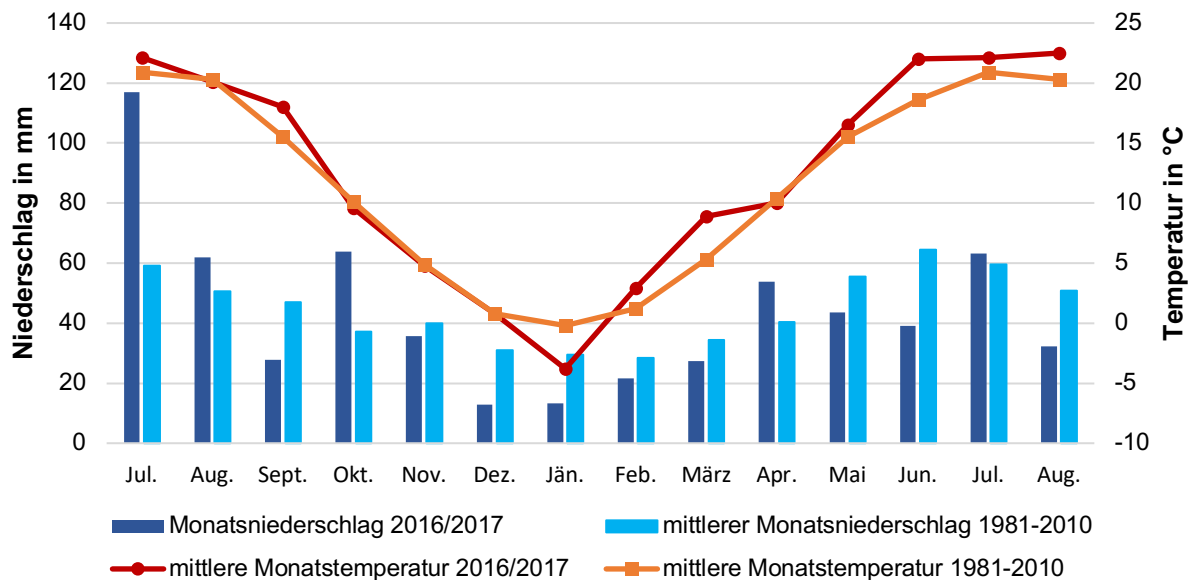


Abb. 2: Monatsniederschläge und mittlere Monatstemperatur in Groß Enzersdorf von Juli 2016 bis August 2017 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1981-2010). Datengrundlage: (Österreichische Hagelversicherung VVaG, 2019)

Im Juli 2016 fiel nach der Zwischenfruchtsaat überdurchschnittlich viel Regen bei gleichzeitig leicht höheren Temperaturen. Abgesehen von einem überdurchschnittlich warmen September mit geringen Niederschlägen entsprach das übrige Jahr 2016 ziemlich dem langjährigen Mittel. Nach einem kalten Jänner folgte bis zum August ein überdurchschnittlich warmes Jahr 2017. Der April war dabei der einzige Monat der knapp unter dem langjährigen Mittel lag. Gleichzeitig waren stark unterdurchschnittliche Niederschläge zu verzeichnen. Im Wachstumszeitraum der Sojapflanzen von Mai bis August 2017 war die Niederschlagssumme im Vergleich zum langjährigen Mittel um mehr als 50 mm niedriger. Zu erwähnen ist ein lokales Starkregenereignis vom Juli 2017. Dabei sind an die 50 Liter/m² mit großen Hagelkörnern in kürzester Zeit niedergegangen, was zu einem leicht überdurchschnittlichen Niederschlag im Juli 2017 führte.

Die bereits erwähnte Gefahr der Winderosion im Marchfeld wird durch Abb. 3 verdeutlicht. Windstille Tage kommen kaum vor. Die mittlere Windgeschwindigkeit ergibt sich aus dem Durchschnitt der Windgeschwindigkeit von 7, 14 und 19 Uhr. Die maximale Windgeschwindigkeit wird ermittelt als Höchstwert bei Winterzeit zwischen 7 Uhr des angezeigten Tages und 7 Uhr des Folgetages und bei Sommerzeit zwischen 8 und 8 Uhr.

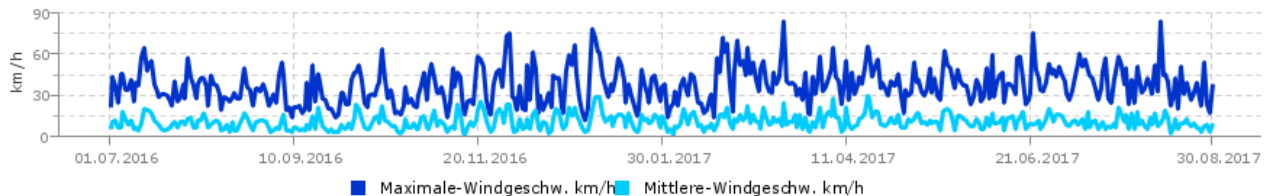


Abb. 3: Windgeschwindigkeiten nach Österreichische Hagelversicherung VVaG (2019)

3.1.5 Beregnung und Düngung

Die Versuchsparzellen wurden während der gesamten Versuchsdauer nicht beregnet und es erfolgte keine Düngung.

3.1.6 Pflanzenschutz

Während die Zwischenfrüchte auf dem Feld standen, sind die Beikräuter nicht reguliert worden. Die Beikrautregulierung begann erst mit der Sojasaat. Über die gesamte Versuchsdauer hinweg wurden keine Herbizide angewendet, die Bekämpfung der Beikräuter erfolgte rein mechanisch. Im Sojabestand wurde am 06.06.2017 und am 25.07.2017 maschinell gehackt. Hierfür war jeweils der Ab- und Aufbau der Einzäunung erforderlich. Die Fingerhacke des Geräts wurde dabei nicht eingesetzt und es wurde eine langsame Fahrgeschwindigkeit gewählt, um die Sojapflanzen nicht zu beschädigen. Die restliche Zeit und vor allem in der Reihe erfolgte die Entfernung der Beikräuter händisch.

Im Juni 2017 ist der Befall von Spinnmilben aufgetreten. Es war deutlich zu erkennen, dass die Parzellen 1101, 1116 und 1147 mit Abstand am stärksten betroffen waren. Auf diesen drei Parzellen war Kornrade als Zwischenfrucht angebaut.

3.2 Probenahme und Analytik

Alle Ergebnisse der durchgeführten Proben sind immer mit der entsprechenden EDV-Nummer notiert worden. Die Probennahme auf dem Feld erfolgte je nach Bedarf mit Papiertüten oder Tiefkühlbeuteln, die mit den EDV-Nummern beschriftet wurden.

3.2.1 Bodenfeuchte und Bodentemperatur

Im Herbst 2016 erfolgten von 08.10. bis 05.11. wöchentlich Messungen zur Ermittlung der Bodenfeuchte in Prozent und Bodentemperatur in °C in 0-5 cm Tiefe. Im Frühjahr 2017 wurden diese Messungen von 02.03. bis 01.06 durchgeführt. Aufgrund der trockenen Witterung konnten die Messungen nicht länger durchgeführt werden. Der Boden wurde so hart, dass die Messspitzen nur noch mit hoher Kraftanwendung in den Boden zu bringen waren. Die Gefahr, das Messgerät zu beschädigen, war deshalb zu hoch. Für die Messung der Bodenfeuchte- und Bodentemperatur wurde ein Handmessgerät (HH2 Moisturemeter, Delta-T Devices, England) verwendet. Auf dem Gerät befindet sich ein Sensor (WET Sensor type WET-2, Delta-T Devices, England). Dieser Sensor wird bei der Messung in den Boden gesteckt. Nach Betätigung der Taste „Read“ wird sowohl die Bodenfeuchte als auch die Bodentemperatur gemessen. Pro Parzelle wurden drei zufällig verteilte Messungen je Messdurchgang durchgeführt.

3.2.2 Nitrat im Boden

Untersucht wurden die Nitratgehalte im Boden in unterschiedlichen Tiefen und zu verschiedenen Zeitpunkten.

Die Nitrat-Bodenproben wurden am 10.11.2016, 11.05.2017 und 26.09.2017 bis zu einer Tiefe von 90 cm durchgeführt. Die Unterteilung sah folgendermaßen aus:

- 0 – 10 cm
- 10 – 20 cm
- 20 – 60 cm
- 60 – 90 cm

Pro Parzelle sind sechs zufällig verteilte Bodenproben in einer Tiefe von 0 – 90 cm gezogen worden. Daraus ist pro oben genannter Tiefe jeweils eine Mischprobe pro Parzelle entstanden. Zur Durchführung der Bodenproben wurden mehrere Bohrstöcke (Pürckhauer 90 cm, Durchmesser 30 mm) verwendet. Mithilfe einer Schlagbohrmaschine mit SDS-Max Aufnahme sind die Bohrstöcke in den Boden geschlagen worden. Anschließend erfolgte die Drehung der Bohrstöcke mit einer entsprechend geformten Eisenstange. Unter Zuhilfenahme eines Ziehgeräts wurden die Bohrstöcke wieder aus dem Boden gezogen. Der sich in den Bohrstöcken befindene Boden wurde anschließend aus den Bohrstöcken entsprechend der oben genannten Tiefen herausgekratzt und als Probe in Tiefkühlbeutel verpackt. Zur Zwischenlagerung auf dem Feld sind Kühlboxen zum Einsatz gekommen. Bis zur Analyse der Proben lagerten diese bei -20 °C.

Eine Ausnahme stellen die Nitrat Proben vom 03.07.2017 dar. Die Proben wurden dabei nur bis zu einer Tiefe von 20 cm gezogen und die Beprobung erfolgte händisch ohne Schlagbohrmaschine.

Die Analyse der Proben erfolgte nach der ÖNORM L 1091 (2012). Dabei werden die Proben eine Stunde lang mit einer 0.0125 M CaCl_2 Lösung extrahiert. Im Anschluss daran erfolgte die Ermittlung des NO_3 -Gehaltes mithilfe eines Photometers (FIAstar 5000 Analyzer, Foss GmbH, Hamburg, Deutschland).

Für die Bestimmungen der Nitratgehalte sind Konzentrationen gemessen worden, welche dann in Frachten umgerechnet wurden. Für die Berechnung der Frachten ist die Masse des Bodens in der jeweils untersuchten Tiefe berechnet worden. Dafür wurde die Bodendichte mit einem Wert von 1500 kg/m^3 Boden angenommen. Die Frachten sind dabei je beprobter Tiefe mit den mittleren Konzentrationen berechnet worden.

3.2.3 Zwischenfruchtentwicklung

Die Entwicklungsstadien der Zwischenfrüchte am Ende der Vegetationsperiode wurden mithilfe der BBCH-Stadien erfasst.

Zwischenfrucht-Biomasse und C/N-Verhältnis der Zwischenfrüchte

Zur Ermittlung der Biomasse der Zwischenfrüchte sind am 17.10.2016 zweimal je $0,25 \text{ m}^2$ pro Parzelle knapp über dem Boden geschnitten worden. Für den Schnitt wurde eine für die Parzelle repräsentative Fläche gewählt. Danach ist bei jeder Probe der Durchwuchshafer von der jeweiligen Zwischenfrucht separiert worden. Dabei wurden etwaige Beikräuter aussortiert. Bei den Parzellen mit Ausfallhafer ist die Zwischenfrucht Durchwuchshafer gewesen. Für die Parzellen mit den Zwischenfrüchten Sandhafer und Schwarzhafer ist eine Trennung vom Durchwuchshafer nicht möglich gewesen, da eine Unterscheidung nicht möglich war. Sowohl für die Zwischenfrüchte als auch für den Durchwuchshafer je Parzelle erfolgte die Trocknung anschließend im Trockenschrank bei 105°C 24 Stunden lang.

Von ausgewählten Zwischenfrüchten (Schwarzhafer, Senf, Platterbse, Ölrettich) wurden die Proben zur Bestimmung des C/N-Verhältnisses gemahlen und im Anschluss gesiebt ($<1,00 \text{ mm}$). Ermittelt wurde der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffgehalt der Proben schließlich durch die Dumas-Verbrennungs-Methode mithilfe eines Elementaranalysegerätes (vario MACRO cube CNS; Elementar Analysesysteme GmbH, Deutschland).

Mithilfe der Stickstoffgehalte der untersuchten Zwischenfrüchte und des Gewichts der Biomasse lässt sich die Stickstoffmenge in der oberirdischen Biomasse ermitteln. Zur Ermittlung des Stickstoffgehalts des Durchwuchshafers ist der Stickstoffgehalt des Schwarzhafers verwendet worden. Die oberirdische Biomasse in kg/ha multipliziert mit dem jeweiligen Stickstoffanteil ergibt die Stickstoffmenge in der oberirdischen Biomasse.

3.2.4 Entwicklung des Sojabestandes

Die Entwicklungsstadien (BBCH) der Sojapflanzen über den Versuchszeitraum wurden wöchentlich durch Beobachtung festgestellt. Abb. 4 zeigt ausgewählte Entwicklungsstadien der Sojabohne.

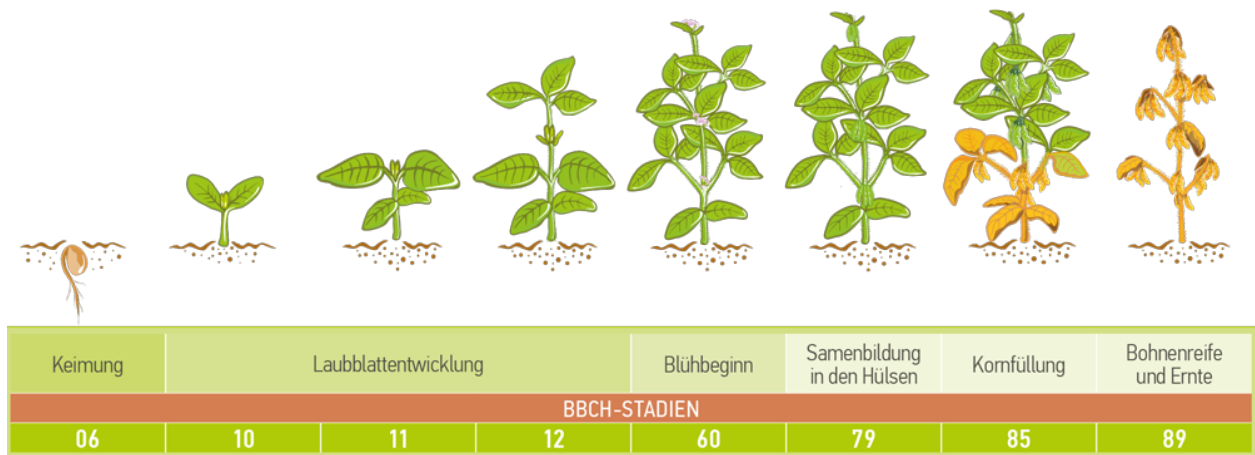


Abb. 4: ausgewählte BBCH-Stadien der Sojabohne (EURALIS Saaten GmbH, 2019)

Aufgangszählung

Am 26.05.2017 erfolgte die Aufgangszählung. Dabei wurde pro Parzelle auf zwei Laufmetern, also ein Quadratmeter, die Anzahl der aufgegangenen Sojapflanzen in einer Reihe gezählt. Die Pflanzen befanden sich zu diesem Zeitpunkt im BBCH Stadium 11.

Blattflächenindex (BFI)

Der Blattflächenindex (engl. Leaf Area Index – LAI) beschreibt die Fläche der Blätter pro Quadratmeter Boden. Er dient zur Beschreibung der Assimilationsfläche eines Pflanzenbestandes. Der BFI wurde zweimal ermittelt, am 20.06.2017 und am 13.07.2017. Die Messung wurde mithilfe eines LAI-CEPTOMETERS (LP-80 AccuPar, Decagon Devices, USA) durchgeführt. Der Messstab des Geräts wurde dabei waagrecht und 45 Grad zur Saattrichtung unter den Bestand gehalten. Pro Parzelle wurden auf diese Weise drei Messungen je Messtag durchgeführt, woraus das LAI-CEPTOMETER selbstständig einen Mittelwert berechnet. An den Messtagen war der Himmel wie vorausgesetzt wolkenlos und gemessen wurde in der Mittagszeit.

Bestandeshöhe

Die Ermittlung der Bestandeshöhe der Sojapflanzen wurde an vier Terminen durchgeführt, und zwar am 20.06.2017 (BBCH 59), 04.07.2017 (BBCH 65), 25.07.2017 (BBCH 77) und am 17.08.2017 (BBCH 85). Die Höhe der Sojabohnen wurde mit einem handelsüblichen Zollstock dreimal pro Parzelle gemessen, wobei die gemessenen Werte jeweils der Höhe vom Boden bis zum obersten Teil der Sojapflanze entsprechen.

Biomasse Sojapflanzen

Am 03.07.2017 (BBCH 65) und am 22.08.2017 (BBCH 85) wurde händisch jeweils pro Parzelle ein Laufmeter Sojapflanzen einer Reihe knapp über dem Boden geschnitten und in Papiertüten gelegt. Danach wurden sie zwei Wochen in einem leerstehenden Glashaus vorgetrocknet. Im Anschluss daran erfolgte die Trocknung bei 105 °C in einem Trockenschrank 24 Stunden lang. Sofort nach Entnahme aus dem Trockenschrank wurde die Trockenmasse gewogen.

3.2.5 Sojaernte

Die Ernte der Sojabohnen erfolgte in Form einer händischen Ganzpflanzenernte am 30. August 2017. Dabei wurden zweimal jeweils 3 Laufmeter Soja, entspricht 1,5 m², pro Parzelle geerntet. In Summe wurden pro Parzelle also 3 m² geerntet. Der Schnitt der Sojapflanzen erfolgte knapp über dem Boden. Aufgrund der hohen Temperaturen und des trockenen Sommers war die Sojaernte deutlich früher als erwartet. Bevor das Erntegut weiterverarbeitet wurde, ist es in einem Glashaus luftgetrocknet worden. Sämtliche Erntedaten basieren auf der händischen Ganzpflanzen-Ernte.

Pflanzenlänge bei der Ernte

Nach der Ernte wurde die Länge aller geernteten Pflanzen einzeln gemessen.

Hülsenzählung

Anschließend sind alle Hülsen von der jeweiligen Pflanze händisch getrennt worden. Dies war der erste Schritt zur Trennung der Biomasse von den Körnern. In weiterer Folge wurde die Sortierung in volle und leere Hülsen durchgeführt. Schließlich erfolgte die Zählung sowohl der leeren als auch der vollen Hülsen pro Pflanze. Hier ist anzumerken, dass bei den Ergebnissen auch Hülsen gibt, die keiner Pflanze zugeordnet werden konnten. Dies kam aufgrund des Transports vom Feld, der Zwischenlagerung und aufgrund des notwendigen Handlings der Papiertüten zustande. Bei diesen Vorgängen lösten sich Hülsen von den Pflanzen und waren somit bei der Hülsenzählung nicht mehr zuzuordnen. In den Ergebnissen werden diese Hülsen unter „Rest“ bei der Pflanzenlänge geführt.

Körner pro Hülse

Die mittlere Anzahl an Körner pro Hülse ist mithilfe der anderen Erntedaten berechnet worden. Aus dem TKG wurde das Gewicht je Korn ermittelt. Mit dem geernteten Korngewicht je Parzelle wurde dann die Anzahl der Körner berechnet. Die Anzahl der Körner dividiert durch die Summe der vollen Hülsen ergibt den Mittelwert je Parzelle an Körnern pro Hülse.

Hülsen- und Stängelgewicht

Nach der Hülsenzählung erfolgte die Trennung von Hülsen und Körnern. Dafür ist eine Labordreschmaschine (LD 180, Wintersteiger AG, Österreich) verwendet worden. Nach der Trennung in Hülsen und Körner sind die leeren Hülsen den ausgedroschenen Hülsen wieder hinzugefügt worden. Anschließend erfolgte bei den Hülsen und bei den Stängeln eine Trocknung im Trockenschrank bei 105 °C für 24 Stunden. Unmittelbar danach hat die Wiegung stattgefunden.

Korngewicht und Tausendkorngewicht (TKG)

Die Trocknung der Körner erfolgte im Trockenschrank bei 60 °C für 24 Stunden. Hier wurde eine niedrigere Temperatur gewählt, um den Ölgehalt in weiterer Folge noch messen zu können. Sofort nach der Trocknung sind die Proben gewogen worden und zur Ermittlung des Tausendkorngewichts erfolgte die Zählung von 1000 Körnern. Hierfür ist eine Zählmaschine (Contactor, Pfeuffer GmbH, Deutschland) zur Anwendung gekommen. Anschließend sind die 1000 Körner gewogen worden. Bei einigen Proben waren die Erntemengen so gering, dass die Erreichung von 1000 Körnern nicht möglich war. In diesen Fällen wurden die vorhandenen Körner gezählt und gewogen. Das Tausendkorngewicht ist mit diesen Daten dann berechnet worden.

Öl-, Protein- und Zuckergehalt

Zur Ermittlung von Öl-, Protein- und Zuckergehalt der Sojakörner war es notwendig, die getrockneten Körner zu mahlen. Hierfür wurden die Körner zuerst mit einer groben (Grindomix GM 300, Retsch GmbH, Deutschland) und anschließend mit einer feinen Mühle (Grindomix GM 200, Retsch GmbH, Deutschland) gemahlen. Nach jedem Mahlvorgang einer Probe sind die Mühlen einer Reinigung mit Druckluft unterzogen worden. Bis zur Messung der Werte am nächsten Tag sind die Proben im Kühlschrank bei drei bis fünf Grad gelagert worden. Zur Messung sind zehn Gramm des Sojamehls in Bechergläser gefüllt worden. Die Messung erfolgte durch Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) durch das Matrix-I FT-NIR-Spektrometer (Bruker, Ettlingen, Deutschland), das die Fourier-Transformations-Technologie verwendet. Die Ergebnisse werden in g kg^{-1} basierend auf der Trockensubstanz ausgedrückt. Berechnet wurden sie mithilfe von PLSR (Partial Least Square Regression) Kalibrierungs-Modellen (Sato et al., 2012; Vollmann et al., 2011).

3.3 Statistische Methoden

Die Aufbereitung der Daten erfolgte mit Microsoft Excel für Mac. Für die statistische Analyse sind Mittelwerte berechnet worden. Die Standardabweichung bezieht sich auf die Standardabweichung dieser Mittelwerte. Zur statistischen Auswertung der Daten hat das

Programm SPSS (SPSS® Statistics, Version 24, IBM® Corporation, Armonk, USA) Anwendung gefunden.

Alle Analysen wurden zu einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ durchgeführt. Für Messungen, die nur an einem Datum durchgeführt wurden, ist eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) ohne Wechselwirkungen durchgeführt worden, mit einem festen Faktor (Zwischenfrucht) und einem zufälligen Faktor (Wiederholung). Für alle Messungen, die an mehreren Zeitpunkten durchgeführt wurden, ist eine mehrfaktorielle gemischte Varianzanalyse (Zwischenfrucht und Datum als feste Faktoren und die Wiederholung als zufälligen Faktor) mit allen möglichen Zweifach-Wechselwirkungen durchgeführt worden. Bei der Untersuchung der Nitratgehalte ist neben dem Einfluss des Datums auch der Einfluss der Tiefe und aller möglichen Zweifach-Wechselwirkungen berücksichtigt worden. Tab. 2 zeigt die festen und zufälligen Faktoren, die je nach untersuchter Variable verwendet wurden.

Tab. 2: Feste und zufällige Faktoren der durchgeführten Varianzanalysen

untersuchte Variablen	feste Faktoren	zufälliger Faktor
Zwischenfrucht Biomasse C/N Verhältnis Aufgangszählung Pflanzenlänge bei der Ernte Erntedaten	Zwischenfrucht	Wiederholung
Bodenfeuchte und Bodentemperatur Blattflächenindex Bestandeshöhe Biomasse Sojapflanzen	Zwischenfrucht Datum	Wiederholung
Nitrat im Boden	Zwischenfrucht Datum Tiefe	Wiederholung

Die Nullhypothese für den festen Faktor lautet: Der Faktor hat keinen Einfluss auf die gemessene Variable. Bei mehreren festen Faktoren ergeben sich weitere Nullhypothesen, die jeweils lauten: Die jeweilige Zweifach-Wechselwirkung hat keinen Einfluss auf die gemessene Variable. Zur weiteren Analyse wurde zu jeder ANOVA ein Tukey-B Post-hoc Test durchgeführt. Liefert der Tukey-B Test verschiedene homogene Untergruppen, so werden diese in den Grafiken mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Bodenfeuchte und Bodentemperatur

Abb. 5 zeigt die Mittelwerte der Bodenfeuchtemessungen im Herbst 2016 von 08.10. bis 05.11. in 0–5 cm Tiefe. Die Zwischenfrucht hatte dabei einen signifikanten Einfluss auf die Bodenfeuchte ($p < 0,001$).

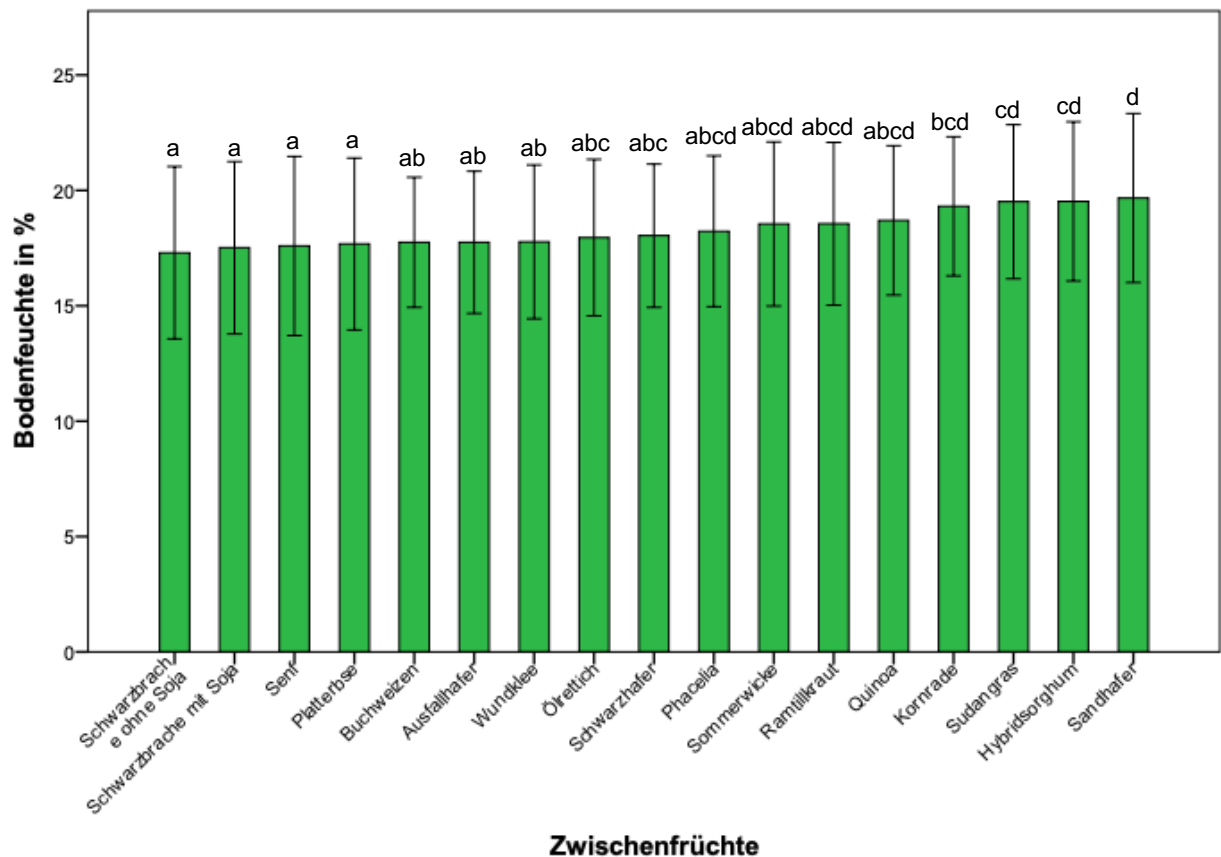


Abb. 5: Mittelwerte der Bodenfeuchtemessungen im Herbst 2016 (08.10.– 05.11.) in 0-5 cm Tiefe in Prozent geordnet nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Platterbse, Senf und die beiden Schwarzbrachen waren dabei signifikant trockener als Kornrade, Sudangras, Hybridsorghum und Sandhafer. Die Parzellen, die als Schwarzbrache (17,3 und 17,5 %) geführt wurden, zeigten im Herbst die niedrigsten Gehalte an Bodenfeuchtigkeit.

In der gemessenen Tiefe von 0 bis 5 cm scheint die erhöhte Infiltration und die Beschattung der Zwischenfrüchte (Kaspar et al., 2011) auch während ihrer Vegetationsperiode zu höheren Feuchtigkeitsgehalten zu führen. In der gemessenen Tiefe konnte nicht festgestellt werden, dass Zwischenfrüchte, wie von Qi und Helmers (2016) beschrieben, zu trockeneren Böden führen. Die Messungen der Bodenfeuchte bezogen sich bei Qi und Helmers (2016) jedoch auf tiefere Bodenschichten.

Abb. 6 zeigt die Mittelwerte der Bodenfeuchtemessungen im Frühjahr 2017 von 02.03. bis 01.06. in 0–5 cm Tiefe. Die Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf die Bodenfeuchte.) kann hier nicht abgelehnt werden.

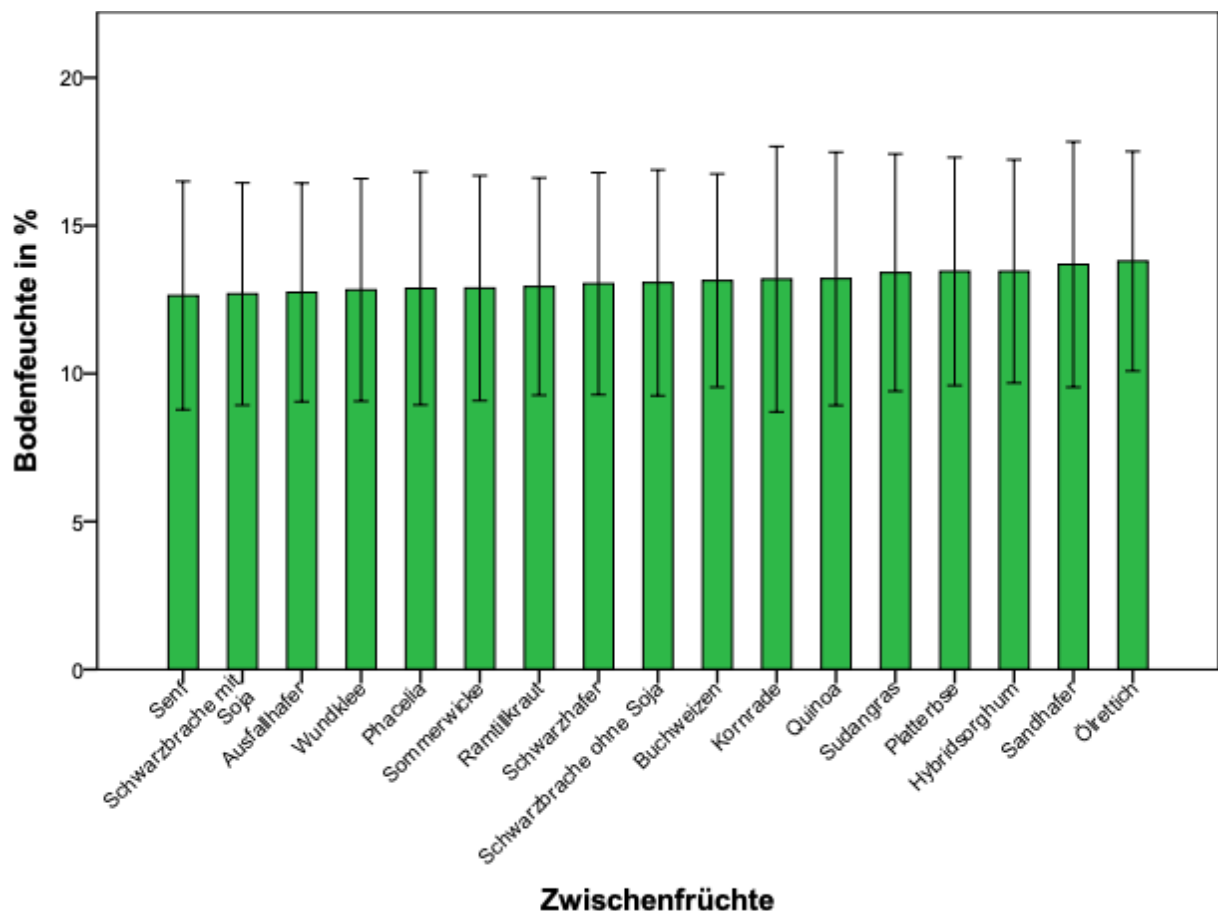


Abb. 6: Mittelwerte der Bodenfeuchtemessungen im Frühjahr 2017 (02.03. – 01.06.) in 0–5 cm Tiefe in Prozent geordnet nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt $\pm$ einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Die unterschiedlichen Zwischenfrüchte zeigten in den Sojapartzen keine Auswirkungen mehr auf die Bodenfeuchte. Die Sojapartzen, auf denen zuvor Senf (12,6 %) stand, wiesen die niedrigste Bodenfeuchte auf, jene Partzen mit der Zwischenfrucht Ölrettich (13,8 %) zeigten die höchste Bodenfeuchte.

Höhere Feuchtigkeitsgehalte im Boden nach dem Absterben der Zwischenfrüchte aufgrund von aufrecht bleibender Beschattung und erhöhter Infiltration (Kaspar et al., 2011) konnten im Frühjahr nicht beobachtet werden. Da im Frühjahr keine Zwischenfrucht mehr ein erkennbares Wachstum aufwies, ist eine Wasseraufnahme und dadurch eine Austrocknung des Bodens durch die Zwischenfrüchte (Smith et al., 2011) auszuschließen.

Die Bodentemperatur in 0–5 cm Tiefe im Herbst 2016 von 08.10. bis 05.11. ist in Abb. 7 dargestellt. Auf die Bodentemperaturen im Herbst hatte die Zwischenfrucht einen signifikanten Einfluss ($p < 0,001$).

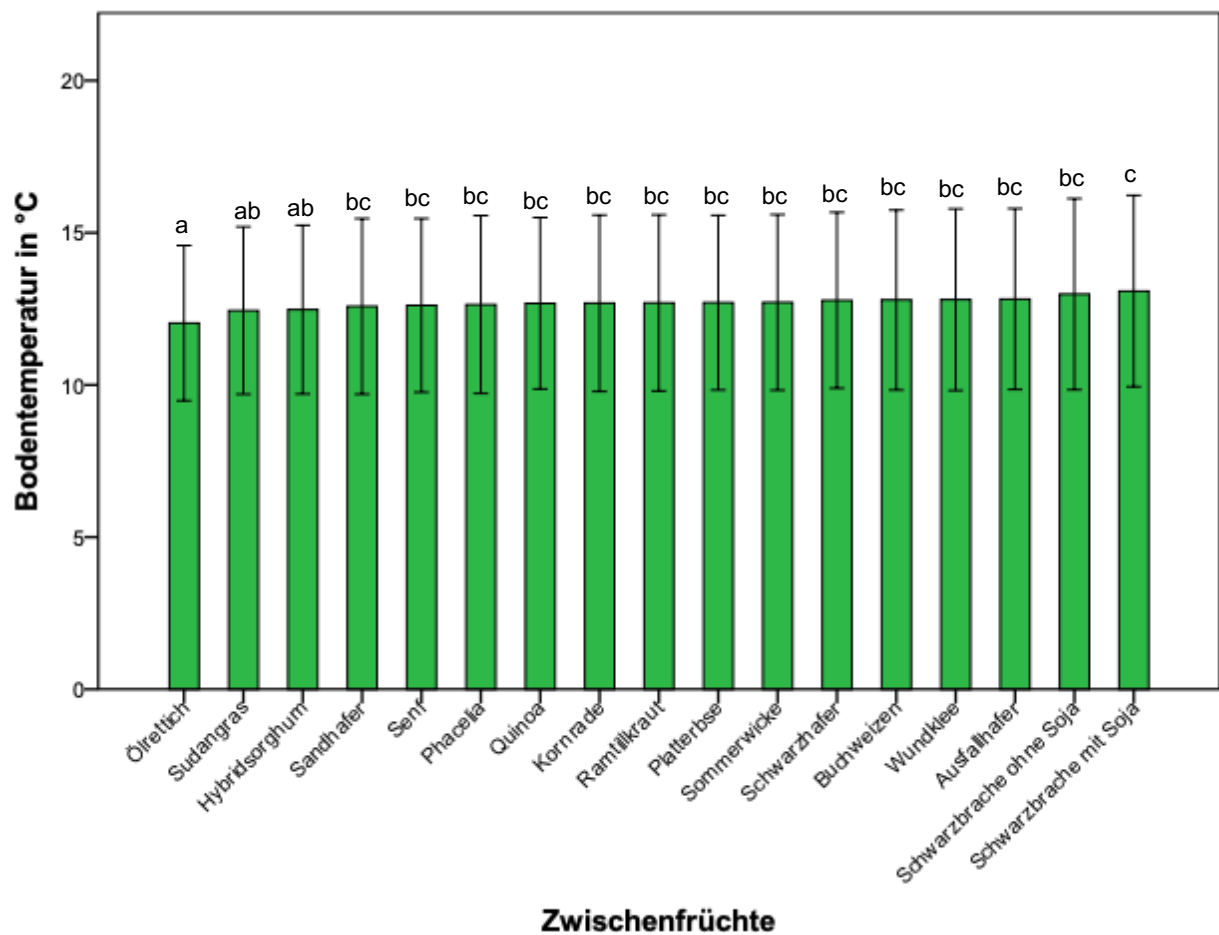


Abb. 7: Mittelwerte der Bodentemperaturmessungen im Herbst 2016 (08.10. – 05.11.) in 0-5 cm Tiefe in °C geordnet nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Die Schwarzbrache mit Soja wies signifikant höhere Bodentemperaturen im Vergleich zu Ölrettich, Sudangras und Hybridsorghum auf. Die Ölrettich-Parzellen waren abgesehen von Sudangras und Hybridsorghum zudem signifikant kühler als die der übrigen Zwischenfrüchte. Zu erkennen ist, dass die beiden Schwarzbrachen (13,1 und 13 °C) die höchsten Bodentemperaturen im Herbst hatten.

Aufgrund der Beschattung des Bodens durch die Zwischenfrüchte (Kaspar et al., 2011) konnten bei den Zwischenfrüchten niedrigere Bodentemperaturen im Vergleich zu den beiden Schwarzbrachen festgestellt werden. Laut Smith et al. (2011) kommt es ebenfalls zu niedrigeren Bodentemperaturen unter Zwischenfrüchten im Vergleich zur Schwarzbrache.

Im Frühjahr konnten hinsichtlich der Bodentemperatur kaum mehr Unterschiede festgestellt werden. Abb. 8 zeigt die Mittelwerte der Bodentemperaturmessungen im Frühjahr 2017 (02.03. – 01.06.) in 0-5 cm Tiefe. Eine Ablehnung der Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf die Bodentemperatur.) ist nicht möglich.

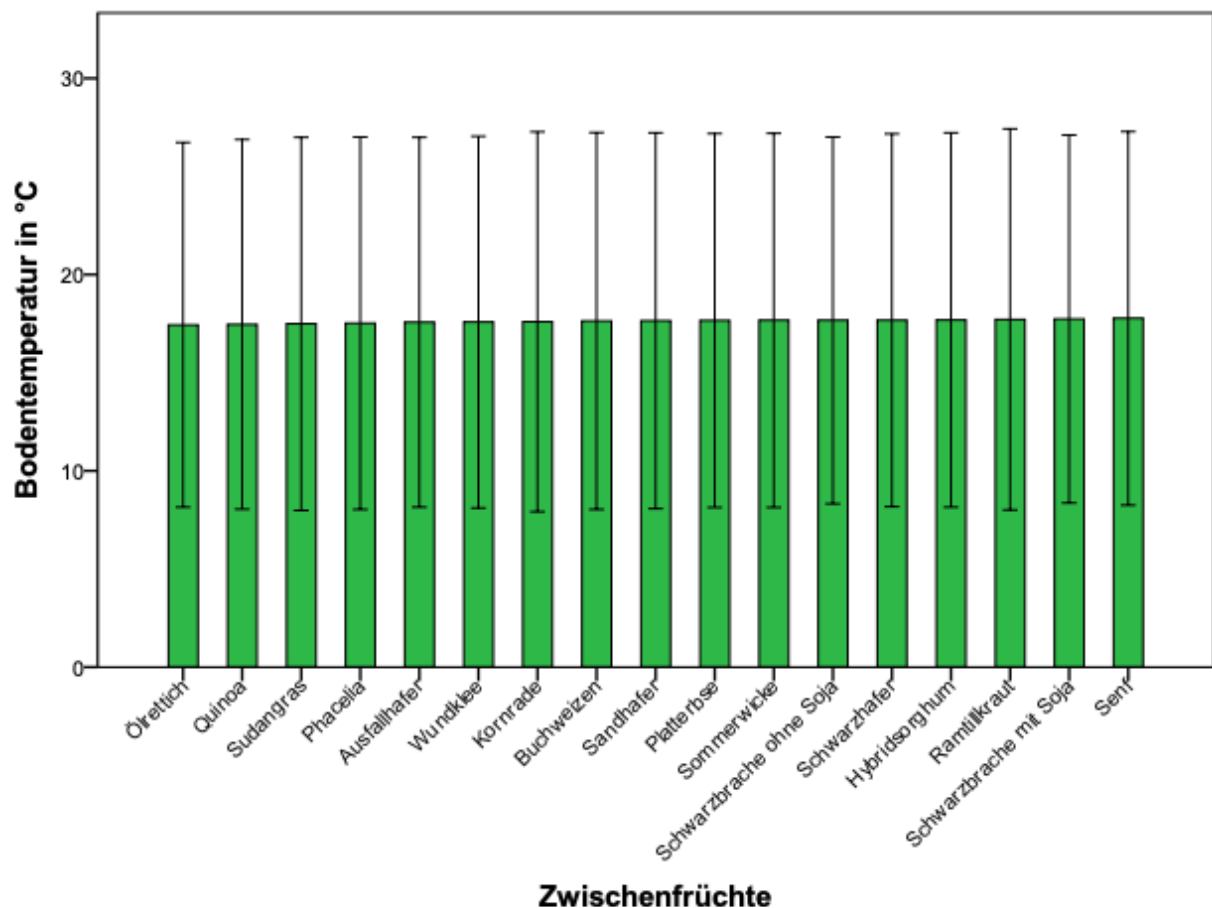


Abb. 8: Mittelwerte der Bodentemperaturmessungen im Frühjahr 2017 (02.03. – 01.06.) in 0-5 cm Tiefe in °C geordnet nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Es ist deutlich sichtbar, dass sich die Werte kaum voneinander unterscheiden. Der niedrigste (Ölrettich 17,4 °C) und der höchste Wert (Senf 17,8 °C) liegen eng beieinander.

Die Zwischenfruchtreste von Zottiger Wicke und Roggen führten in Versuchen zu verminderten Bodentemperaturen (Teasdale und Mohler, 1993). Der vorliegende Versuch zeigte bei keiner Zwischenfrucht merkliche Unterschiede. Im Frühjahr nach Zwischenfrüchten wird aber auch in der Literatur von nur geringfügigen Unterschieden bei der Bodentemperatur berichtet (Neumayr et al., 2006). Die Schwarzbrache ohne Soja zeigte im Frühjahr ebenfalls kaum Unterschiede zu den übrigen Parzellen, auf denen Soja angebaut wurde. Zu beachten ist aber, dass die Bodentemperaturmessungen nur bis zum 01.06.2017 möglich waren. Selbst zu diesem Zeitpunkt befanden sich die Sojapflanzen noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium und boten dem Boden daher fast keine Beschattung. Dies war wohl ein Grund dafür, dass bei der Schwarzbrache ohne Soja keine höheren Bodentemperaturen zu beobachten waren.

4.2 Nitrat im Boden

4.2.1 Konzentrationen

Die Faktoren Zwischenfrucht ($p=0,001$), Datum ($p<0,001$) und Tiefe ($p<0,001$) haben jeweils einen signifikanten Einfluss auf die $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentration im Boden. Für die Wechselwirkung zwischen Tiefe und Zwischenfrucht kann die Nullhypothese nicht abgelehnt werden. In weiterer Folge werden die Wechselwirkungen zwischen Datum und Zwischenfrucht (Abb. 9) sowie Datum und Tiefe (Abb. 10) näher betrachtet. Da im Juli 2017 die Nitratmessungen nur in einer Tiefe von 0-20 cm erfolgten, sind sie in Abb. 9 und Abb. 10 nicht enthalten. Im Anschluss daran sind die Ergebnisse der einzelnen Messungen in den verschiedenen Tiefen zu finden. Abb. 9 zeigt die geschätzten Randmittel der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentration in mg/100g Boden der drei Messtermine je Zwischenfrucht, an denen eine Tiefe von 0-90 cm beprobt wurde. Es besteht ein signifikanter gemeinsamer Einfluss zwischen dem Datum und der Zwischenfrucht auf die Nitratkonzentration im Boden ($p=0,001$).

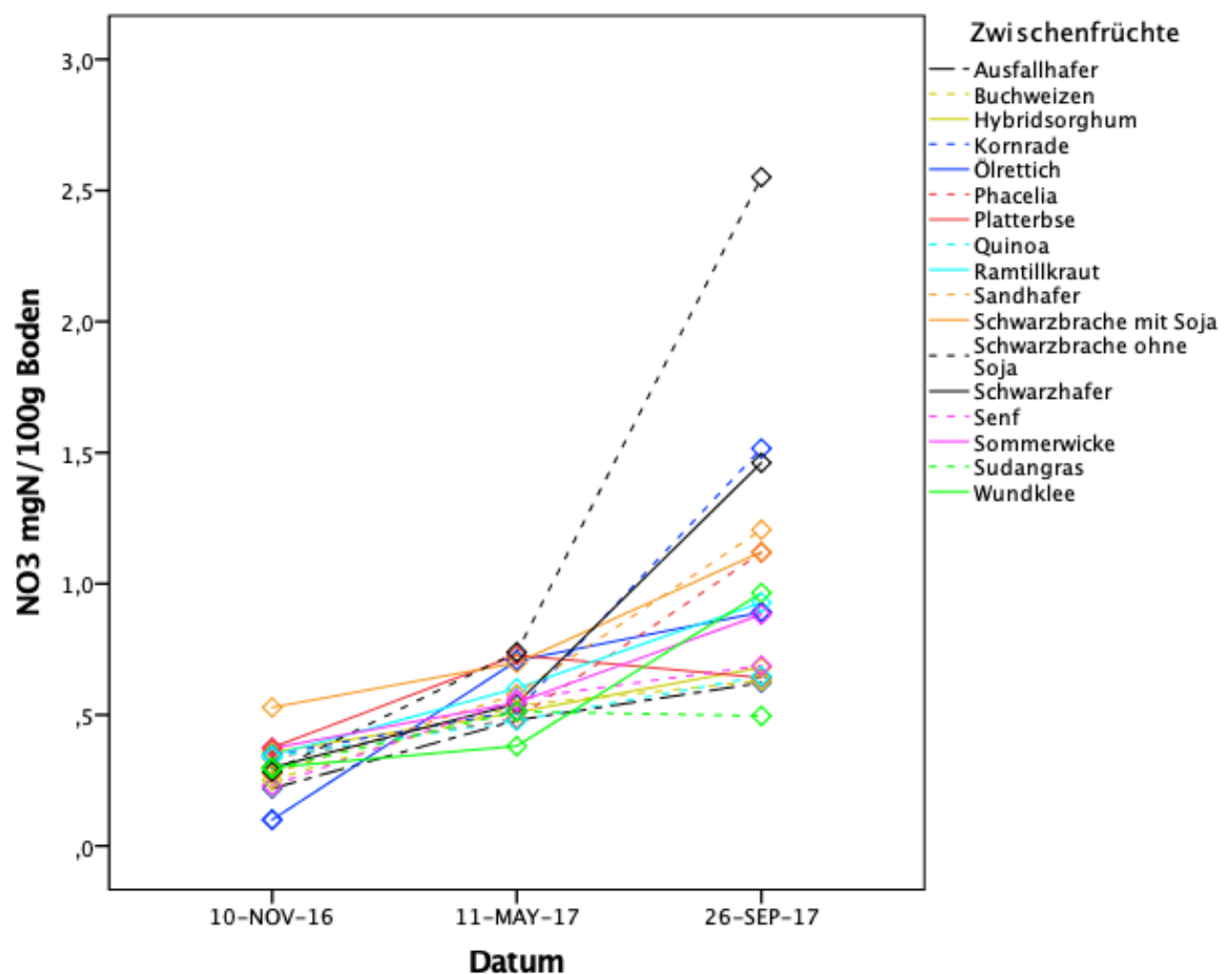


Abb. 9: Geschätzte Randmittel der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentration in mg/100g Boden in 0 – 90 cm Tiefe an den drei Messterminen (10.11.2016, 11.05.2017, 26.09.2017) je Zwischenfrucht.

In Abb. 9 ist zu sehen, dass auf den Ölrettich-Parzellen am 10.11.2016 die geringsten $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen gemessen wurden. Die Schwarzbrache mit Soja weist hingegen die höchsten $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen im November auf und im September 2017 nach der Sojaernte weist die Schwarzbrache ohne Soja eine $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentration auf, die deutlich über den anderen Werten liegt. Es ist davon auszugehen, dass kaum Nitratverlagerungen in tiefere Bodenschichten stattgefunden haben, da die Feldkapazität eines schluffigen Lehms, wie er im vorliegenden Versuch anzutreffen war, für einen Meter Tiefe bei 360 mm liegt (Renger, 2003). Im Winter 2016/2017 lagen die Niederschlagsmengen deutlich darunter und es waren auch keine hohen Einzelniederschläge zu verzeichnen. Dies kann auch für den Anstieg der Nitratkonzentrationen bis zum Mai mitverantwortlich sein. Voraussichtlich sind diese aber auch auf die Mineralisierung von vorhandenem organischem Stickstoff zurückzuführen. Die Zwischenfruchtbiomasse und die Biomasse der Vorfrucht stellen hier Quellen für organischen Stickstoff dar. Es ist nämlich in Abb. 12 auch zu sehen, dass auf den Parzellen mit Ölrettich als Zwischenfrucht im Mai die höchste Konzentration an $\text{NO}_3\text{-N}$ vorhanden war. Haas (2001) berichtet auch von starken Anstiegen der Nitratgehalte im Frühjahr nach dem Absterben von Zwischenfrüchten. Grund hierfür kann die hohe N-Aufnahme des Ölrettichs sein (71 kg/ha N in der Biomasse). Dadurch stünde nämlich viel organischer Stickstoff für die Mineralisierung zur Verfügung.

Die Veränderungen der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen über die Zeit in den untersuchten Tiefen ist in Abb. 10 dargestellt. Sie zeigt die geschätzten Randmittel der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen in mg/100g Boden an den drei Messterminen je Messtiefe. Zwischen dem Datum und der Messtiefe besteht ein signifikanter gemeinsamer Einfluss auf die Nitratkonzentration im Boden ($p=0,001$).

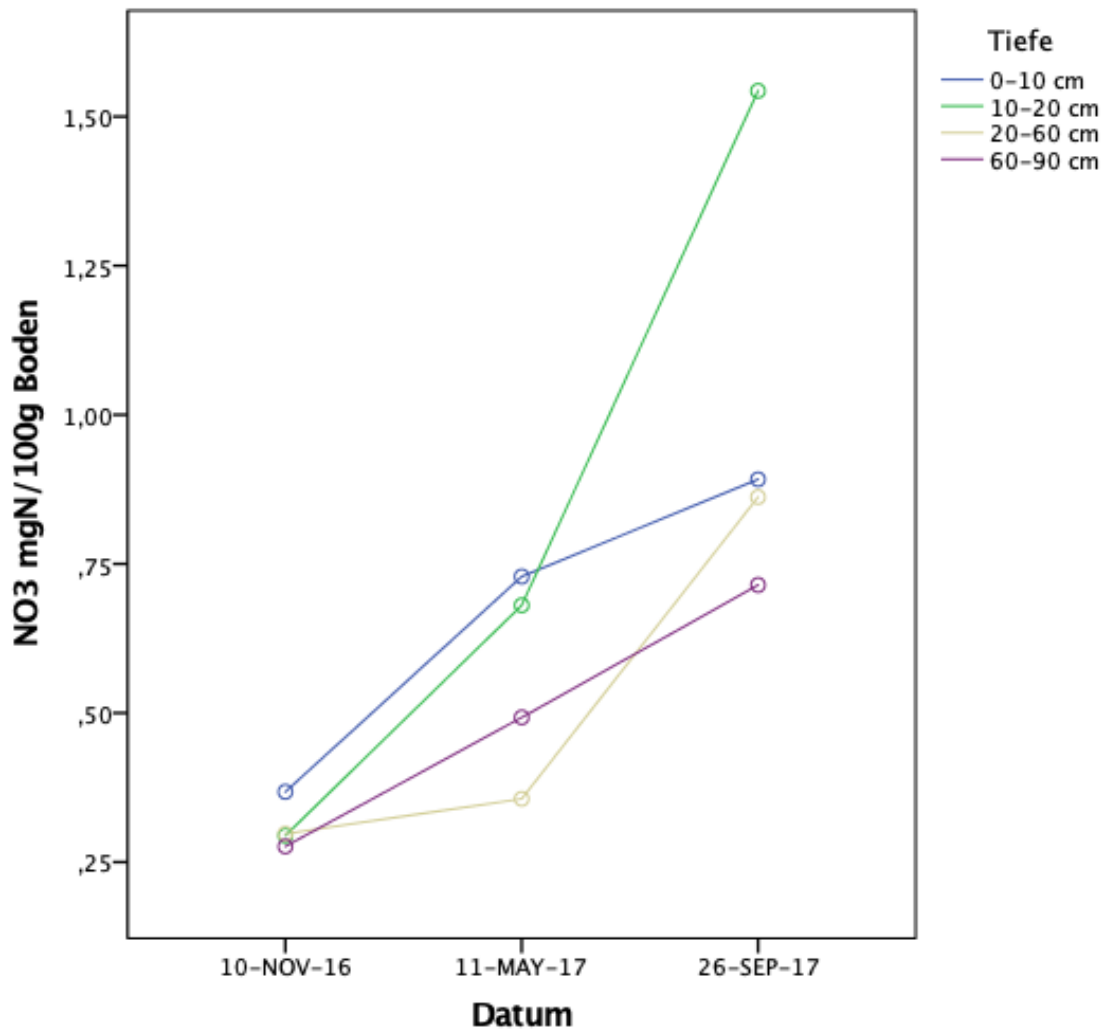


Abb. 10: Geschätzte Randmittel der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen in mg/100g Boden an den drei Messterminen (10.11.2016, 11.05.2017, 26.09.2017) je Messtiefe.

Wie bereits in Abb. 9 ist ein stetiger Anstieg der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen sichtbar. Eine Nitrataufnahme der Zwischenfrüchte im Frühjahr (Begon et al., 2017) kann ausgeschlossen werden, da keine der verwendeten Zwischenfrüchte im Frühjahr noch ein erkennbares Wachstum aufwies. Es ist zu erkennen, dass der Anstieg in der Tiefe 20-60 cm von November 2016 bis zum Mai 2017 geringer ausfällt als in den anderen Tiefen. Nach abfrierenden Zwischenfrüchten kann es im Frühjahr wieder zu Steigerungen im Nitratgehalt kommen. Überdauernde Zwischenfrüchte zeigten in Versuchen dagegen keine Verlagerungen bzw. Auswaschungen bis ins Frühjahr (Schliephake, 2002). Vom Mai bis zum September 2017 wiederum steigt die $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentration in der Tiefe 20-60 cm stärker an als bei den übrigen Tiefen. Auffällig ist auch, dass in der obersten Bodenschicht von 0-10 cm der Anstieg vom Mai zum September 2017 flacher verläuft als bei den tieferliegenden Bodenschichten. Diese Abflachung deutet auf eine Nitratverlagerung in tiefere Bodenschichten hin. Das Starkregenereignis vom Juli 2017 kann ein Grund dafür sein, da starke Regenfälle zu Nitratverlagerung nach unten führen können (Strong und Mason, 1999).

4.2.2 Frachten

Für die Frachten gilt wie bei den Konzentrationen: Die Faktoren Zwischenfrucht ($p=0,001$), Datum ($p<0,001$) und Tiefe ($p<0,001$) haben jeweils einen signifikanten Einfluss auf die $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalt im Boden. Für die Wechselwirkung zwischen Tiefe und Zwischenfrucht kann die Nullhypothese nicht abgelehnt werden.

Abb. 11 zeigt die Mittelwerte der $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalte vom November 2016 je Messtiefe nach Zwischenfrüchten. Dabei hat sowohl die Zwischenfrucht ($p=0,016$) als auch die Tiefe ($p<0,001$) einen signifikanten Einfluss auf den Nitratgehalt im Boden. Jedoch liefern alle betrachteten Post-hoc-Tests nur eine homogene Untergruppe.

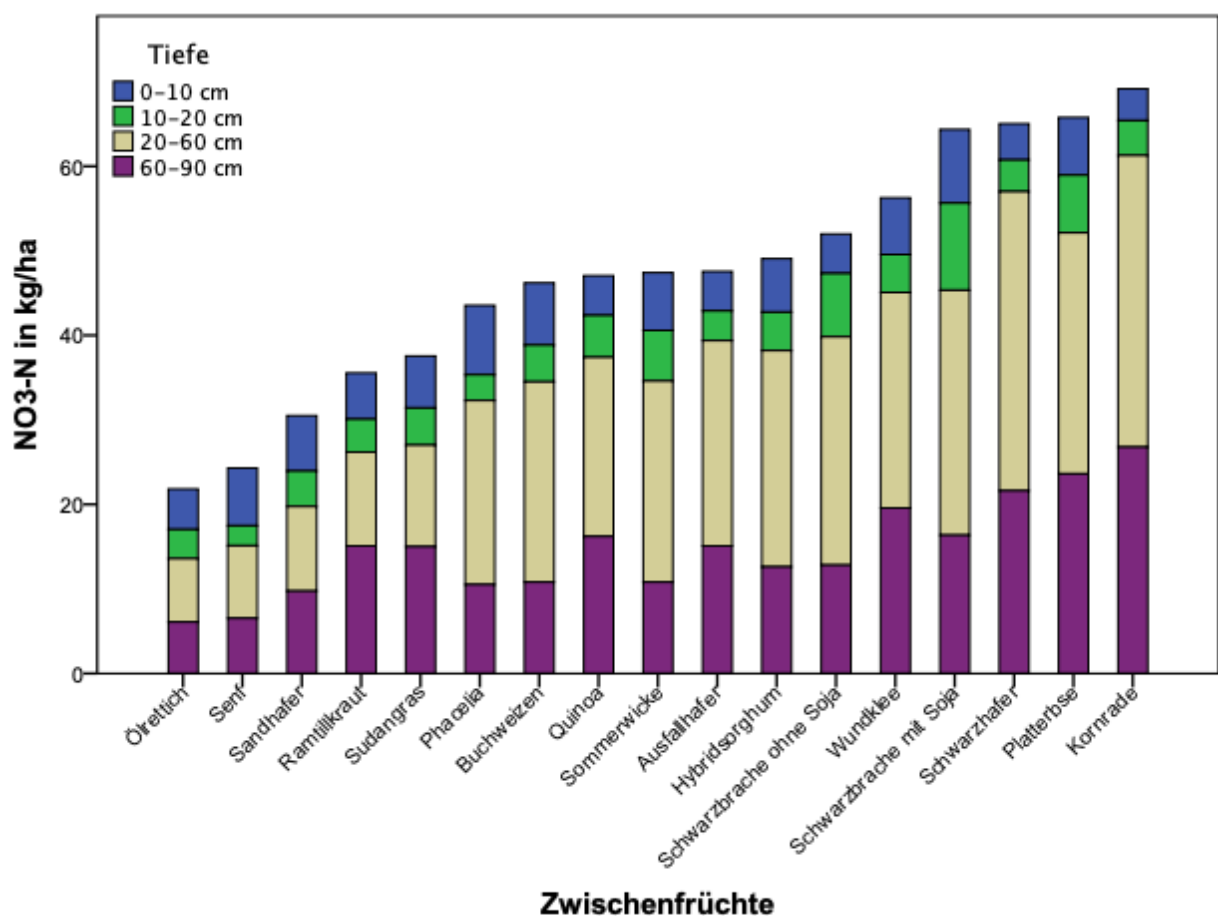


Abb. 11: Mittelwerte der $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalte in kg/ha im Boden am 10.11.2016 je Messtiefe geordnet nach Zwischenfrüchten.

Man kann erkennen, dass Ölrettich und Senf die beiden niedrigsten Nitratgehalte in der untersuchten Bodentiefe von 0-90 cm aufweisen. In Deutschland zeigte ein Versuch nach der Zwischenfrucht Senf ebenfalls niedrige Nitrat-Gehalte nach dem Herbst (Haas, 2019). Dies geht mit den Ergebnissen von zahlreichen anderen Versuchen einher, dass Nicht-Leguminosen zu verminderten $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalten während bzw. am Ende ihrer Vegetation führen (Thorup-Kristensen et al., 2003; Valkama et al., 2015). Die Schwarzbrache mit Soja, Schwarzhäfer,

Platterbse und Kornrade hingegen weisen die höchsten Werte auf, sie liegen in Summe jeweils über 60 kg/ha NO₃-N. Zu beachten sind hier die niedrigen Biomasse-Erträge der meisten Zwischenfrüchte (Abb. 15). Das Wachstum führt zur N-Aufnahme durch die Pflanzen und ist dadurch für die Nitratreduzierung im Boden von Bedeutung (Kaspar et al., 2012). Aufgrund der niedrigen Biomasse-Erträge sind daher auch nur begrenzte N-Aufnahmen aus dem Boden anzunehmen. Ölrettich und Senf wiesen mit Abstand die höchsten Biomasse-Erträge auf, was auch zu den entsprechend hohen N-Aufnahmen führte (Abb. 17).

In Abb. 12 sind die Mittelwerte der NO₃-N Gehalte in kg/ha vom Mai 2017 nach dem Sojaanbau je Messtiefe nach Zwischenfrüchten dargestellt. Hier hat sowohl die Zwischenfrucht ($p=0,004$) als auch die Tiefe ($p<0,001$) einen signifikanten Einfluss auf den Nitratgehalt im Boden. Jedoch liefern alle betrachteten Post-hoc-Tests nur eine homogene Untergruppe.

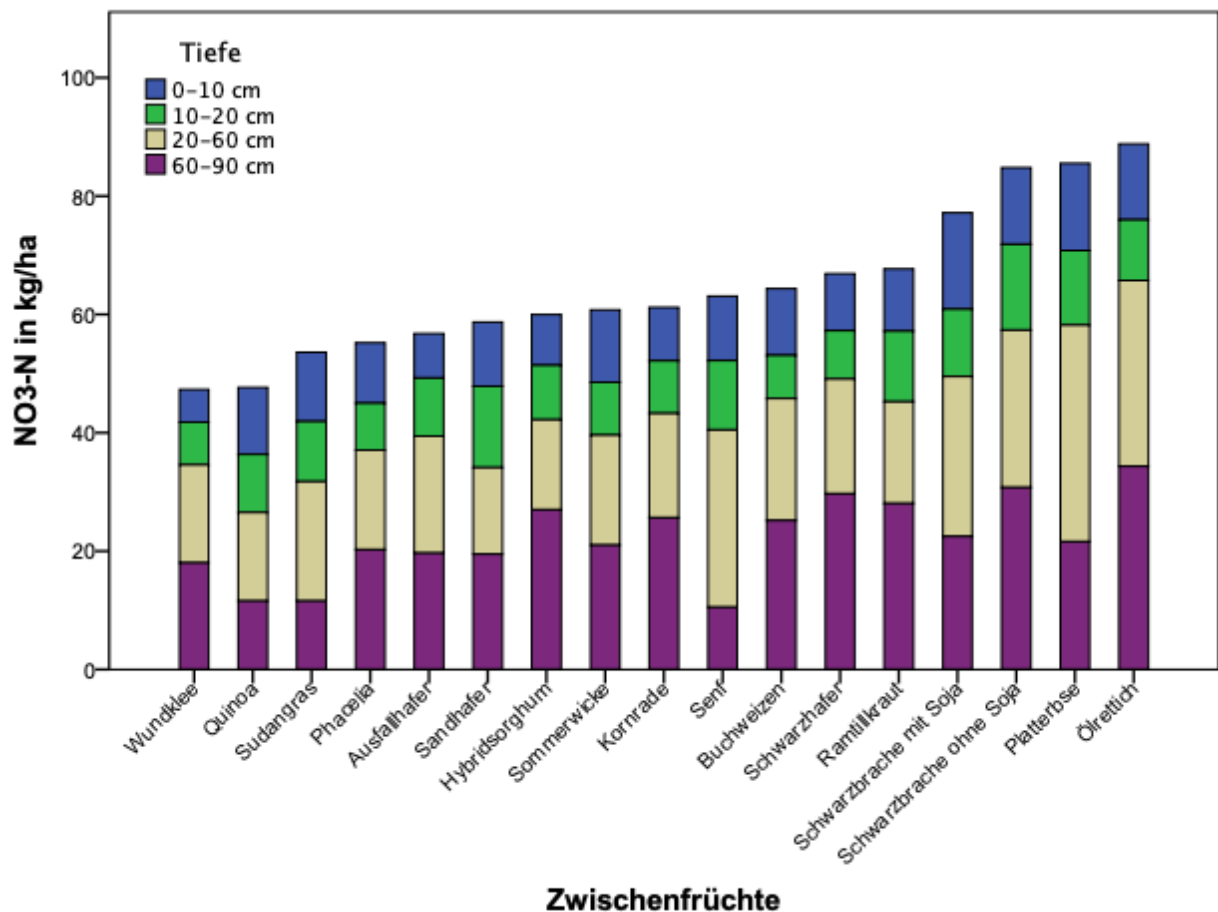


Abb. 12: Mittelwerte der NO₃-N Gehalte in kg/ha im Boden am 11.05.2017 je Messtiefe geordnet nach Zwischenfrüchten.

Die beiden Schwarzbrachen, Platterbse und Ölrettich zeigten im Mai 2017 die höchsten Nitratgehalte. Wundklee und Quinoa wiederum die niedrigsten.

Schliephake (2002) berichtet davon, dass bei einem Versuch in Deutschland bei Ölrettich in 0-90 cm Tiefe die Nitratgehalte von 30 kg/ha Ende November bis zum Frühjahr wieder auf über 100

kg/ha anstiegen. Bei Senf waren Anstiege auf ca. 60 kg/ha zu beobachten (Schliephake, 2002). In einem anderen Versuch wurden nach dem Winter bei Ölrettich und Senf stark erhöhte C/N-Verhältnisse gemessen. Die Nitratgehalte im Frühjahr nach Ölrettich und Senf lagen zwischen 80 und 90 kg/ha (Schliephake und Albert, 2003). Dies deutet ebenfalls auf eine bereits eintretende Mineralisierung des aufgenommenen N im zeitigen Frühjahr hin. Schliephake und Albert (2003) beschreiben auch eine sehr schnelle Auswaschung von löslichen N-Verbindungen (überwiegend Nitrat) aus den Resten von abgefrorenen Zwischenfrüchten.

In Abb. 13 sind die Mittelwerte der $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalte in kg/ha vom Juli 2017 während der Sojavegetation in einer Tiefe von 0-20 cm dargestellt. In der Varianzanalyse ohne die anderen Nitratmesstermine hat die Zwischenfrucht einen signifikanten Einfluss auf den $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalt im Boden in 0-20 cm Tiefe ($p=0,021$).

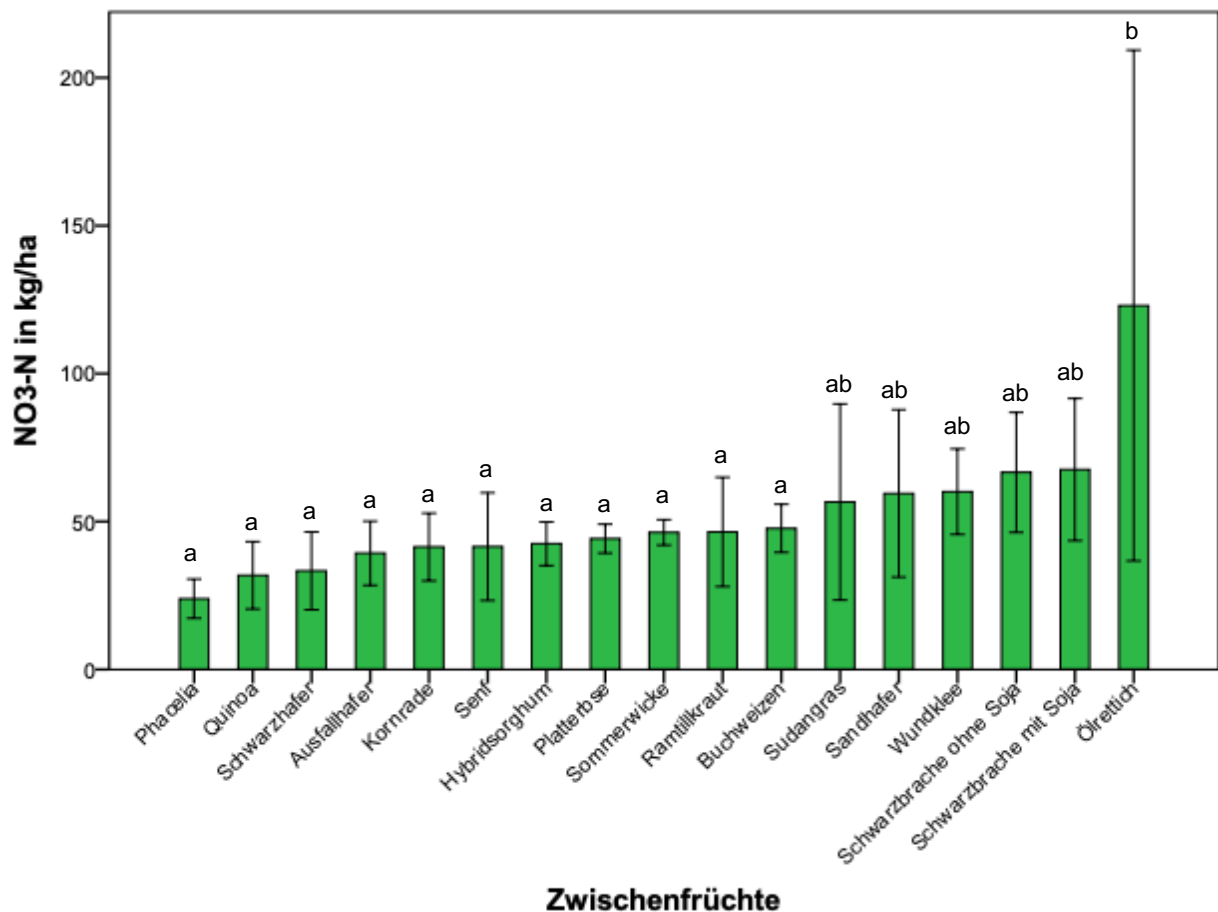


Abb. 13: Mittelwerte der $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalte in kg/ha im Boden am 03.07.2017 während der Sojavegetation in einer Tiefe von 0-20 cm geordnet nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Nach Ölrettich war der Nitratgehalt im Juli signifikant höher als nach den Zwischenfrüchten in Gruppe a. Er wies im Mittel den höchsten Nitratgehalt auf, die beiden Schwarzbrachen den zweit- und dritthöchsten. Nach Phacelia war der Nitratgehalt am niedrigsten.

Bei gutem Inokulationserfolg kann Soja 70 – 80 % des Gesamtstickstoffes mithilfe der Knöllchenbakterien aus der Luft aufgenommen werden. Die Aufnahme des übrigen N-Bedarfs erfolgt aus dem Boden (Imgraben und Recknagel, 2015). N-Düngeversuche in Serbien zeigten, dass die Sojaerträge bei ausbleibender N-Düngung die höchsten Werte erreichten (Mrkovacki et al., 2008). Im vorliegenden Versuch war bei Stichproben nur eine geringe Knöllchenbildung zu beobachten. Da aber die Entwicklung der Knöllchenbakterien nicht systematisch beobachtet wurde, ist eine Aussage über den Inokulationserfolg nicht möglich. Daher ist es auch nur schwer möglich, die Nitratmengen im Boden zu interpretieren. Die hohen Nitratgehalte im Juli nach Ölrettich könnten einerseits auf die hohe N-Aufnahme im Herbst zurückzuführen sein, welche aufgrund der Mineralisierung dann wieder in den oberen Schichten zur Verfügung steht. Andererseits wurden auch bei Senf im Herbst hohe N-Aufnahmen beobachtet und die Nitratgehalte im Juli liegen deutlich unter jenen von Ölrettich.

Abb. 14 zeigt die Mittelwerte der $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalte in kg/ha vom September 2017 nach der Sojaernte je Messtiefe geordnet nach Zwischenfrüchten.

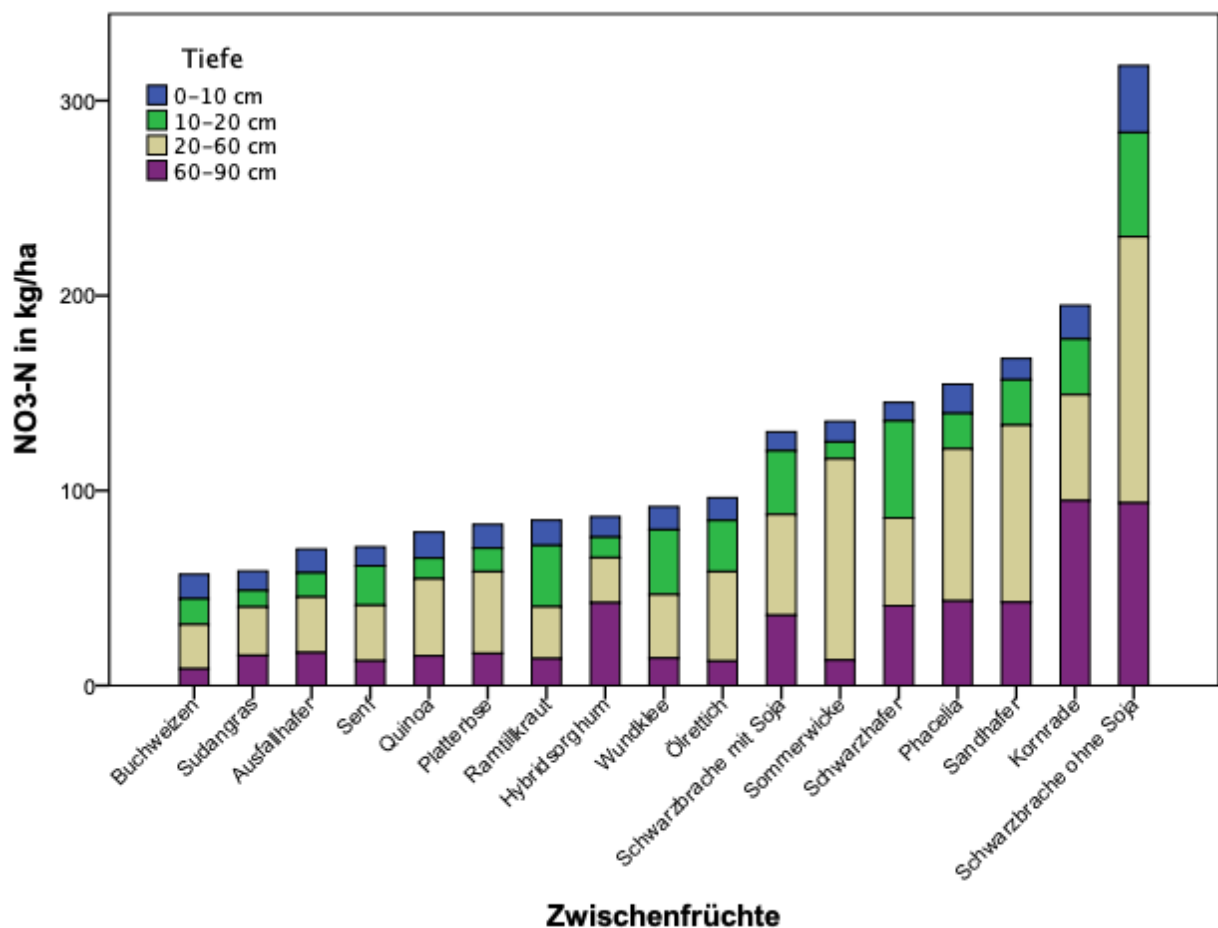


Abb. 14: Mittelwerte der $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalte in kg/ha im Boden am 26.09.2017 (nach der Sojaernte) je Messtiefe geordnet nach Zwischenfrüchten.

Nach der Ernte der Sojapflanzen wies die Schwarzbrache ohne Soja im Mittel die höchsten Nitratgehalte auf, gefolgt von Kornrade und Sandhafer. Buchweizen zeigte den niedrigsten Mittelwert.

Grundsätzlich ist für einen Kornertrag von 1000 kg/ha Sojabohnen eine Stickstoffaufnahme von 70-90 kg/ha N erforderlich (Ohyama et al., 2017). Die Ergebnisse der Nitratgehalte im September nach der Ernte deuten darauf hin, dass Soja bedeutende Mengen an Nitrat aus dem Boden aufgenommen hat, da die Sojaparzellen im Vergleich zur Schwarzbrache deutlich niedrigere Nitratgehalte aufweisen. Der Boden nach Kornrade weist die zweithöchsten Nitratgehalte nach der Sojaernte auf. Durch die schlechte Sojaentwicklung nach Kornrade ist auch von einer verringerten N-Aufnahme durch die Sojapflanzen nach Kornrade auszugehen. Dies spricht ebenfalls für bedeutende Nitrat-Aufnahmen von Soja aus dem Boden. Auch der große Unterschied zwischen der Schwarzbrache ohne Soja (318 kg/ha NO₃-N) und der Schwarzbrache mit Soja (131 kg/ha NO₃-N) deutet auf eine entsprechende Nitrat-Aufnahme der Soja-Pflanzen hin.

4.3 Zwischenfrüchte

4.3.1 Entwicklungsstadien der Zwischenfrüchte am Ende der Vegetationsperiode

Am Ende der Vegetationsperiode wiesen die Zwischenfrüchte deutliche Unterschiede im Entwicklungsstadium auf. In Tab. 3 sind diese angeführt. Ölrettich, Platterbse, Ramtillkraut, Wicke und Wundklee sind in ihrer Entwicklung nicht über das Rosetten- bzw. Längenwachstum hinausgekommen. Hybridsorghum und Sudangras erreichten das Stadium des Rispenschwellens. Kornrade und Phacelia blühten zum Ende der Vegetationsperiode. Buchweizen, Quinoa, Sandhafer, Schwarzhafer und Senf hingegen erreichten das BBCH-Stadium der Samenreife. Zu Buchweizen und Ramtillkraut ist noch anzumerken, dass diese bereits Ende Oktober abgefroren waren.

Tab. 3: BBCH-Stadien der Zwischenfrüchte am Ende der Vegetationsperiode, sortiert nach BBCH-Stadium

ZWFR-Code	Zwischenfrucht	BBCH-Code	BBCH-Stadium
17	Ölrettich	30	Rosettenwachstum
14	Platterbse	30	Längenwachstum
21	Ramtillkraut	30	Längenwachstum
13	Sommerwicke	30	Längenwachstum
9	Wundklee	30	Längenwachstum

11	Sorghum*Sudangras (Hybridsorghum)	40	Rispenschwellen
16	Sudangras	40	Rispenschwellen
1	Kornrade	60	Blüte
7	Phacelia	60	Blüte
12	Buchweizen	80	Samenreife
10	Quinoa	80	Samenreife
20	Sandhafer	80	Samenreife
5	Schwarzhafer	80	Samenreife
8	Senf	80	Samenreife

Über alle Zwischenfruchtbestände hinweg war der Durchwuchs der Vorfrucht Gelbhafer deutlich sichtbar. Viele Zwischenfrüchte waren nicht in der Lage, sich gegenüber dem Durchwuchshafer zu behaupten. Dies ist anhand der Biomasseerträge der Zwischenfrüchte in Abb. 15 auch gut erkennbar. Grund dafür ist unter anderem die hohe Konkurrenzkraft des Hafers vor allem im Hinblick auf die Wurzeln (Brust et al., 2011). Neben den Vorteilen für den Ausfallhafer ist wohl auch ein schlechter Feldaufgang der Zwischenfrüchte mitverantwortlich für die meist hohen Durchwuchshaferanteile bei den Biomasseerträgen.

4.3.2 Zwischenfrucht Biomasse

In Abb. 15 sind die Mittelwerte der Biomasse der Zwischenfrüchte und des Ausfallhafers in kg/ha getrocknet je Zwischenfrucht dargestellt. Die Art der Zwischenfrucht hat dabei einen signifikanten Einfluss auf die Zwischenfrucht-Biomasse ($p < 0,001$).

Zu beachten ist, dass es bei den Zwischenfruchtvarianten Ausfallhafer, Sandhafer und Schwarzhafer jeweils nur einen Wert für die Biomasse gibt. Grund dafür ist beim Ausfallhafer, dass die Zwischenfrucht in dem Fall nur der Durchwuchshafer der Vorfrucht war. Für die Zwischenfrüchte Sandhafer und Schwarzhafer ist eine Trennung von Durchwuchshafer und Zwischenfrucht nicht möglich gewesen, da man die verschiedenen Haferarten nicht voneinander unterscheiden konnte.

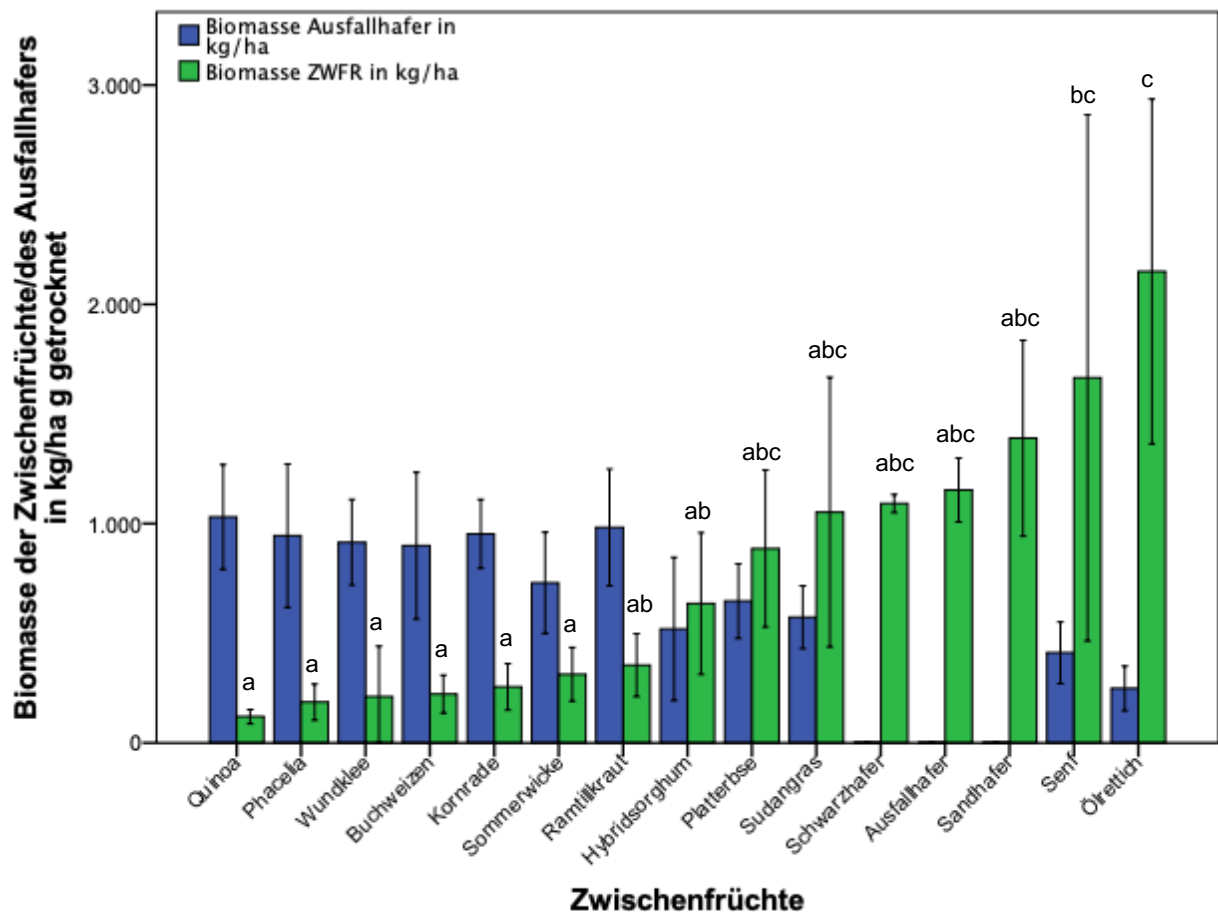


Abb. 15: Mittelwerte der Biomasse der Zwischenfrüchte/des Ausfallhafers in kg/ha getrocknet je Zwischenfrucht vom 17.10.2016. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Die Einteilung der homogenen Untergruppen bezieht sich auf die Variable Biomasse ZWFR. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Ölrettich unterscheidet sich von den beiden anderen Gruppen signifikant, Senf von der ersten Gruppe signifikant. Zudem weisen Quinoa, Phacelia, Wundklee, Buchweizen, Kornrade und Sommerwicke signifikant niedrigere Erträge an Zwischenfruchtbiomasse auf als die Zwischenfrüchte der Gruppen b und c.

Es ist zu erkennen, dass Ölrettich den höchsten Zwischenfrucht-Biomasseertrag aufweist. Ölrettich (2150 kg/ha), Senf (1665 kg/ha), Sandhafer (1389 kg/ha), Ausfallhafer (1153 kg/ha), Schwarzhafer (1091 kg/ha), Sudangras (1052 kg/ha), Platterbse (886 kg/ha) und Hybridsorghum (635 kg/ha) sind jene Zwischenfrüchte, bei denen die Biomasse der Zwischenfrucht höher war als jene des Durchwuchshafers. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die anderen Zwischenfrüchte gegenüber dem Durchwuchshafer nicht durchsetzen konnten. Bei den Zwischenfrüchten Ramtilkraut, Sommerwicke, Kornrade, Buchweizen, Wundklee, Phacelia und Quinoa sind die Mittelwerte der Biomasse des Durchwuchshafers im Vergleich mit der Zwischenfrucht-Biomasse sogar mehr als doppelt so groß. Die hohe Biomasse bei Ölrettich führte

zu einer guten Beschattung des Bodens und ist wohl ein Grund für die niedrigen Bodentemperaturen im Herbst auf den Ölrettich-Parzellen (Abb. 7).

Unter trockenen Bedingungen im Marchfeld wird von Trockenmasseerträgen bei Saatwicke von 128 kg/ha und bei Phacelia von 1132 kg/ha berichtet. Dabei wurde bei Saatwicke ein Beikrautbesatz von 48 % und bei Phacelia von lediglich 4 % beobachtet (Pietsch et al., 2006). In weiteren Versuchen im Marchfeld erreichte Phacelia als Zwischenfrucht sogar Trockenmasseerträge von 2500 bis 3500 kg/ha (Freyer, 2003). Die aus der Literatur angeführten Biomasseerträge konnten bei Phacelia (185 kg/ha) nicht erreicht werden. Die fehlende Bekämpfung des Ausfallhafers war demnach wohl ein Hauptgrund für die teilweise vergleichsweise niedrigen Biomasseerträge im vorliegenden Versuch. Senf hingegen konnte sich gegenüber dem Ausfallhafer sehr gut durchsetzen und kam daher auch knapp an den Vergleichswert von 1811 kg/ha aus einem anderen Versuch (Pietsch et al., 2006) heran. Der hohe Ertrag bei Senf aber auch bei Ölrettich stimmt auch mit der in der Literatur berichteten hohen Konkurrenzkraft von Brassicaceen überein (Haramoto und Gallandt, 2004).

Grundsätzlich kann auch die Reinsaat von Zwischenfrüchten ein Nachteil gewesen sein. In der Praxis kommen im Normalfall Mischungen aus mehreren Arten zum Einsatz. Dies dient einerseits dazu, die Vorteile verschiedener Arten miteinander zu kombinieren, andererseits kann dadurch das Risiko eines schlechten Aufganges vermindert werden. Ist der Feldaufgang oder die Entwicklung einer Art schlecht, so kann dies von den anderen Arten kompensiert werden (Wachendorf et al., 2018). Zur Ermittlung der Zwischenfruchteffekte von einzelnen Arten ist die Reinsaat der Zwischenfrüchte jedoch unabdingbar.

4.3.3 C/N Verhältnis der Zwischenfrüchte

In Abb. 16 sind die Mittelwerte der C/N-Verhältnisse von ausgewählten Zwischenfrüchten zu sehen. Die dargestellten Werte stellen den Kohlenstoffanteil in Prozent im Verhältnis zum Stickstoffanteil in Prozent dar. Die Zwischenfrucht hat dabei einen signifikanten Einfluss auf das C/N-Verhältnis ($p = 0,001$).

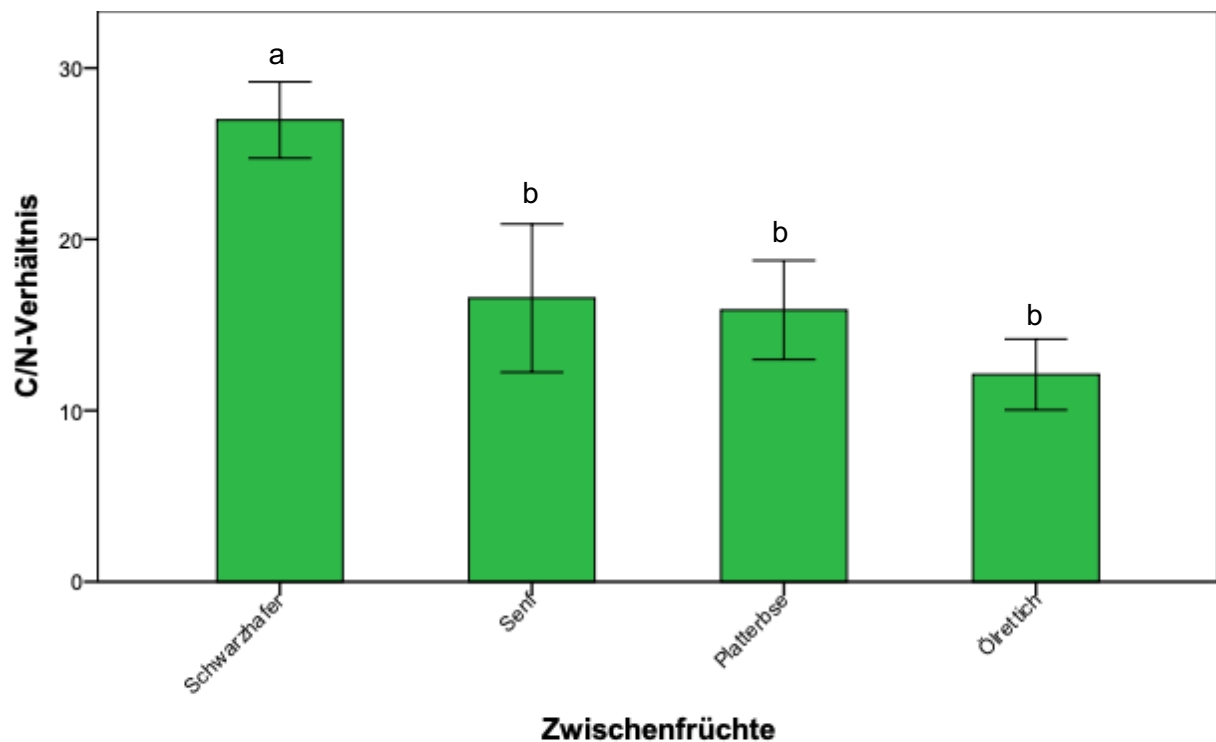


Abb. 16: Mittelwerte der C/N-Verhältnisse von ausgewählten Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Schwarzafer (C/N 27) hat im Vergleich zu Senf (C/N 16,5), Platterbse (C/N 15,9) und Ölrettich (C/N 12,1) ein signifikant höheres C/N-Verhältnis. Es ist zu sehen, dass Ölrettich das engste C/N-Verhältnis der untersuchten Zwischenfrüchte aufweist.

In Deutschland wurde bei einem Zwischenfrucht-Versuch bei Ölrettich ein C/N-Verhältnis von ca. 14 und bei Senf von ca. 15 beobachtet (Schliephake und Albert, 2003). Diese C/N-Verhältnisse sind ähnlich jenen im vorliegenden Versuch. Schliephake und Albert (2003) stellten auch fest, dass die C/N-Verhältnisse nach dem Winter wieder deutlich weiter waren. Bei Ölrettich war im Frühjahr ein C/N-Verhältnis von knapp 30 und bei Senf von über 40 beobachtet worden (Schliephake und Albert, 2003). Da die C/N-Verhältnisse im Frühjahr nicht ermittelt wurden, liegen hier keine Vergleichswerte vor.

Mithilfe der C/N-Verhältnisse und der Biomasseerträge konnten die aufgenommenen Mengen an Kohlenstoff und Stickstoff ermittelt werden. Abb. 17 zeigt diese Mittelwerte sowohl vom Kohlenstoff als auch vom Stickstoff in kg/ha, den die oberirdische Biomasse der Zwischenfrüchte enthielten.

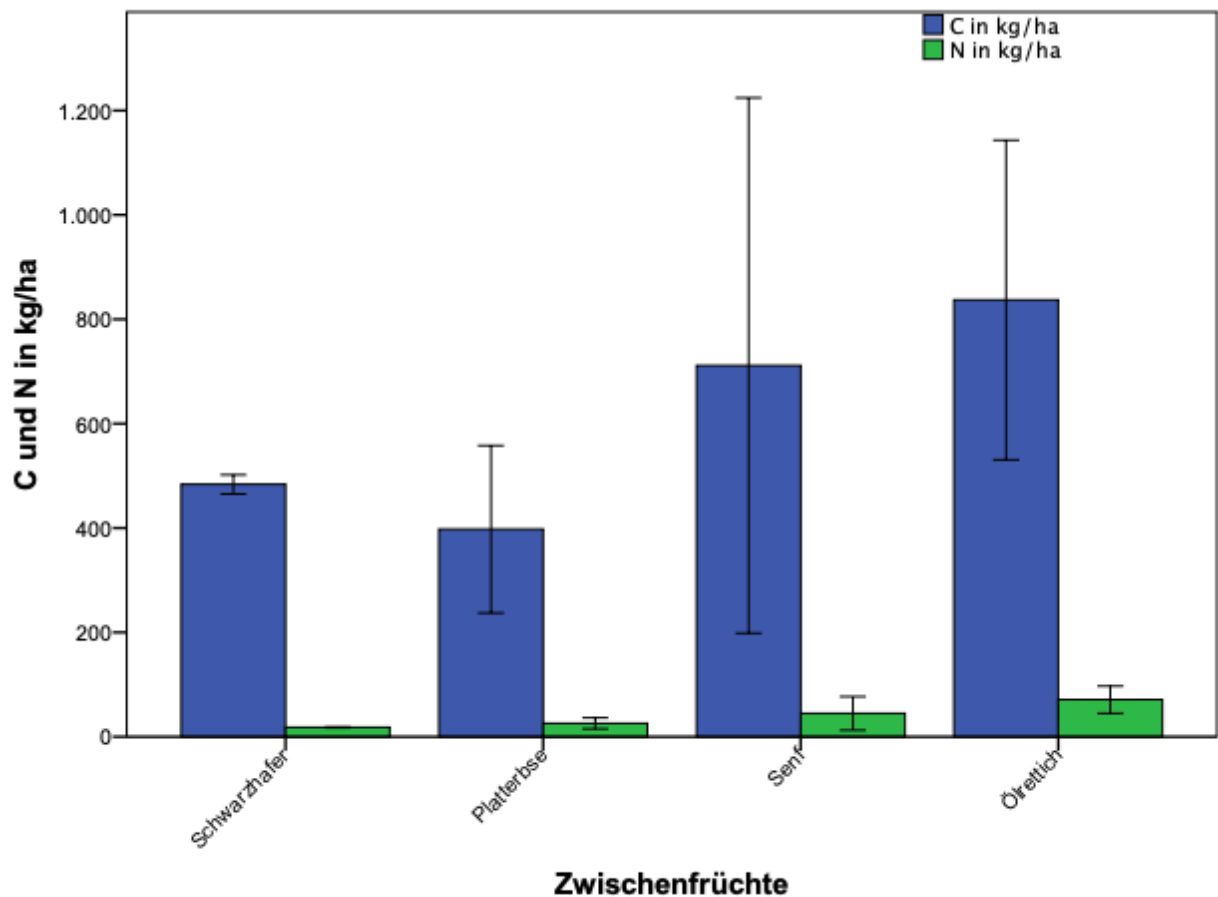


Abb. 17: Mittelwerte von C und N in der Zwischenfruchtbiomasse in kg/ha. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Ölrettich weist im Mittel einen Kohlenstoffgehalt von 837 kg/ha und einen Stickstoffgehalt von 71 kg/ha auf. Auch Senf nimmt mit 44 kg/ha eine bedeutende Menge Stickstoff aus dem Boden auf und kann so zu einer Verringerung der Nitrat-Auswaschung beitragen. Aufgrund der fehlenden Unterscheidung zwischen Ausfallhafer und Schwarzhäfer ist der dargestellte Wert von Schwarzhäfer demnach die Summe der beiden.

Summiert man die Kohlenstoff- bzw. Stickstoffgehalte der Zwischenfrüchte mit jenen des Ausfallhafers, erhält man den Gesamtgehalt an Kohlenstoff und Stickstoff für die oberirdische Biomasse. In Tab. 4 sind diese Gesamtgehalte angeführt. Für die Ermittlung von C und N des Ausfallhafers sind die Werte des Schwarzhafers herangezogen worden.

Tab. 4: Kohlenstoff- und Stickstoff-Gesamtgehalt von Zwischenfrucht und Ausfallhafer in kg/ha

Zwischenfrucht	Mittelwert von kg/ha C von ZWFR und Ausfallhafer	Mittelwert von kg/ha N von ZWFR und Ausfallhafer
Platterbse	685	37
Senf	894	51

Ölrettich	947	75
Schwarzhäfer	484	18

Vergleicht man die Bodenkonzentrationen mit den Stickstoffkonzentrationen in den Zwischenfrüchten, zeigt sich, dass die hohen N-Aufnahmen von Senf und Ölrettich zu verringerten Nitratgehalten im Boden im November 2016 (Abb. 11) führten.

4.4 Entwicklung des Sojabestandes

Die Dokumentation der Entwicklungsstadien ist in Tab. 5 zu finden.

Tab. 5: Entwicklungsstadien (BBCH) des Sojabestandes. BBCH-Stadien und Beschreibung nach (Munger et al., 1997)

Datum	BBCH	Beschreibung
13.05.	8	Hypokotyl erreicht die Bodenoberfläche. Keimblätter noch im Boden
18.05.	9	Auflaufen: Hypokotyl mit Keimblättern durchbricht Bodenoberfläche
21.05.	10	Keimblätter voll entfaltet
30.05.	12	Laubblatt am zweiten Nodium entfaltet
07.06.	13	Laubblatt am dritten Nodium entfaltet
15.06.	51	Erste Blütenknospen sichtbar
21.06.	59	Erste Blütenblätter sichtbar, Blüten noch geschlossen
28.06.	61	Beginn der Blüte, 10 % der Blüten offen
04.07.	65	Vollblüte: 50 % der Blüten offen
07.07.	67	Abgehende Blüte
11.07.	69	Ende der Blüte, erste Hülsen sichtbar
18.07.	75	50 % der Hülsen haben endgültige Länge erreicht
30.07.	79	Fast alle Hülsen haben endgültige Größe erreicht
10.08.	81	Beginn der Reife, 10 % der Hülsen reif
29.08.	89	Vollreife

Auf den Parzellen nach Kornrade war ab Mitte Juni ein Spinnmilbenbefall erkennbar. Die Sojaparzellen nach Kornrade blieben die einzigen betroffenen Parzellen. Dieser Schädlingsbefall

fürte bis Ende Juli zu vollkommen vertrockneten Blättern. Bei einem Großteil der befallenen Pflanzen führte dies zu einem frühzeitigen Absterben bereits Ende Juli.

4.4.1 Aufgangszählung

Die Ergebnisse der Zählung der aufgegangenen Sojapflanzen pro Quadratmeter sind in Abb. 18 dargestellt. Es gibt dabei keinen signifikanten Einwand gegen die Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf die Anzahl der aufgegangenen Sojapflanzen.).

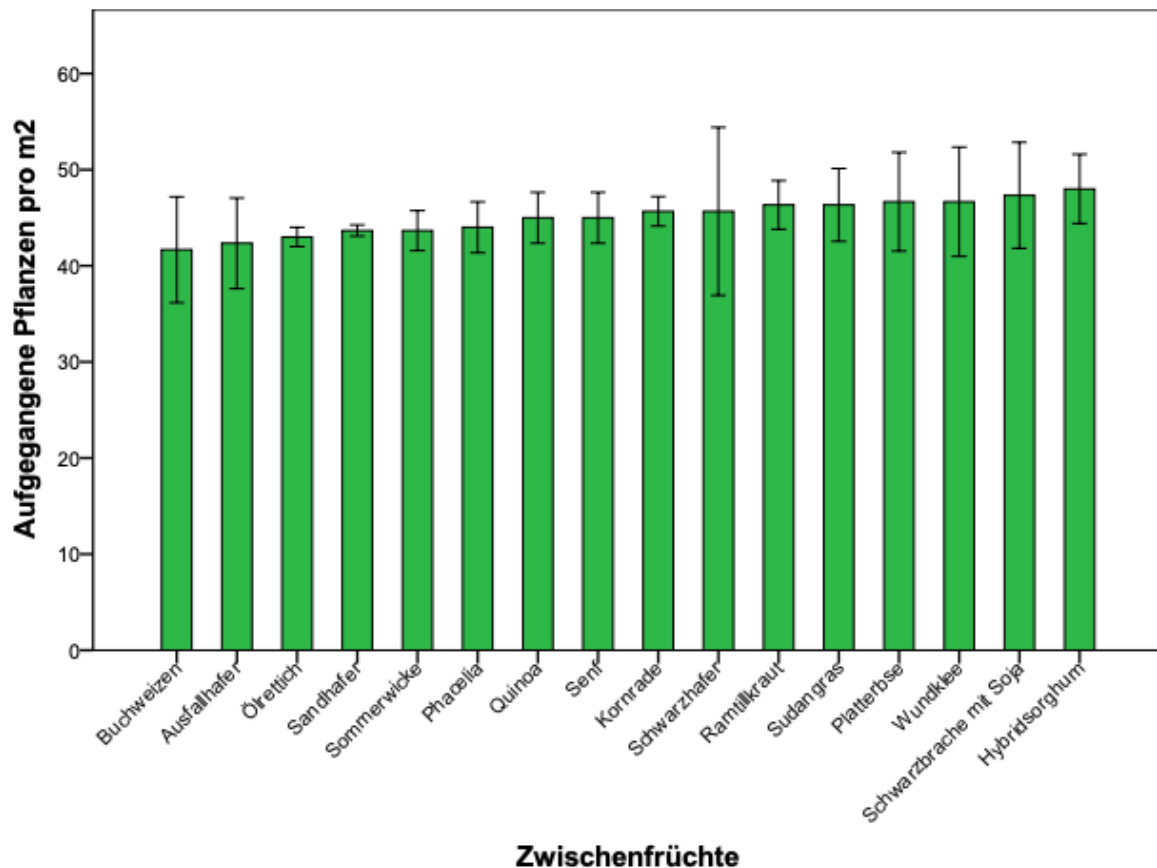


Abb. 18: Aufgegangene Sojapflanzen pro Quadratmeter am 26.05.2017 nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Im Durchschnitt sind 45 Pflanzen/m² aufgegangen, was bei der verwendeten Saatstärke von 65 Körnern/m² einem Feldaufgang von 69 % entspricht. Der niedrigste Wert dabei war 41,7 Pflanzen/m² nach Buchweizen. Nach Hybridsorghum konnte die höchste Anzahl an aufgegangenen Sojapflanzen festgestellt werden (48 Pflanzen/m²).

Da die Mindestfähigkeit des Saatgutes 80 % beträgt (Lembacher et al., 2009), ist davon auszugehen, dass andere Faktoren für den schlechten Feldaufgang verantwortlich waren. Beim vorliegenden Versuch war der niedrigste mittlere Feldaufgang einer Zwischenfrucht (Buchweizen) im Vergleich zur Schwarzbrache um 10 % geringer. Nach Hybridsorghum war sogar ein höherer Feldaufgang als nach der Schwarzbrache zu beobachten. Einfluss auf den Feldaufgang nach Zwischenfrüchten hat auch die Saatbettbereitung. Bleibt diese aus, kann es zu verminderten

Sojabeständen und dadurch verminderten Erträgen kommen (Liebl et al., 1992). Die zweimalige Überfahrt mit dem Grubber beim vorliegenden Versuch hat zwar nicht zu einem optimalen Saatbett geführt, jedoch wurden die Zwischenfruchtreste gut eingearbeitet, daher sind zumindest durch die Zwischenfruchtreste keine Probleme beim Feldaufgang entstanden.

4.4.2 Blattflächenindex

Abb. 19 zeigt die Mittelwerte des Blattflächenindex des Sojabestandes der beiden Messtermine (20.06.2017 und 13.07.2017). Die Zwischenfrucht ($p < 0,001$) hat einen signifikanten Einfluss auf den Blattflächenindex.

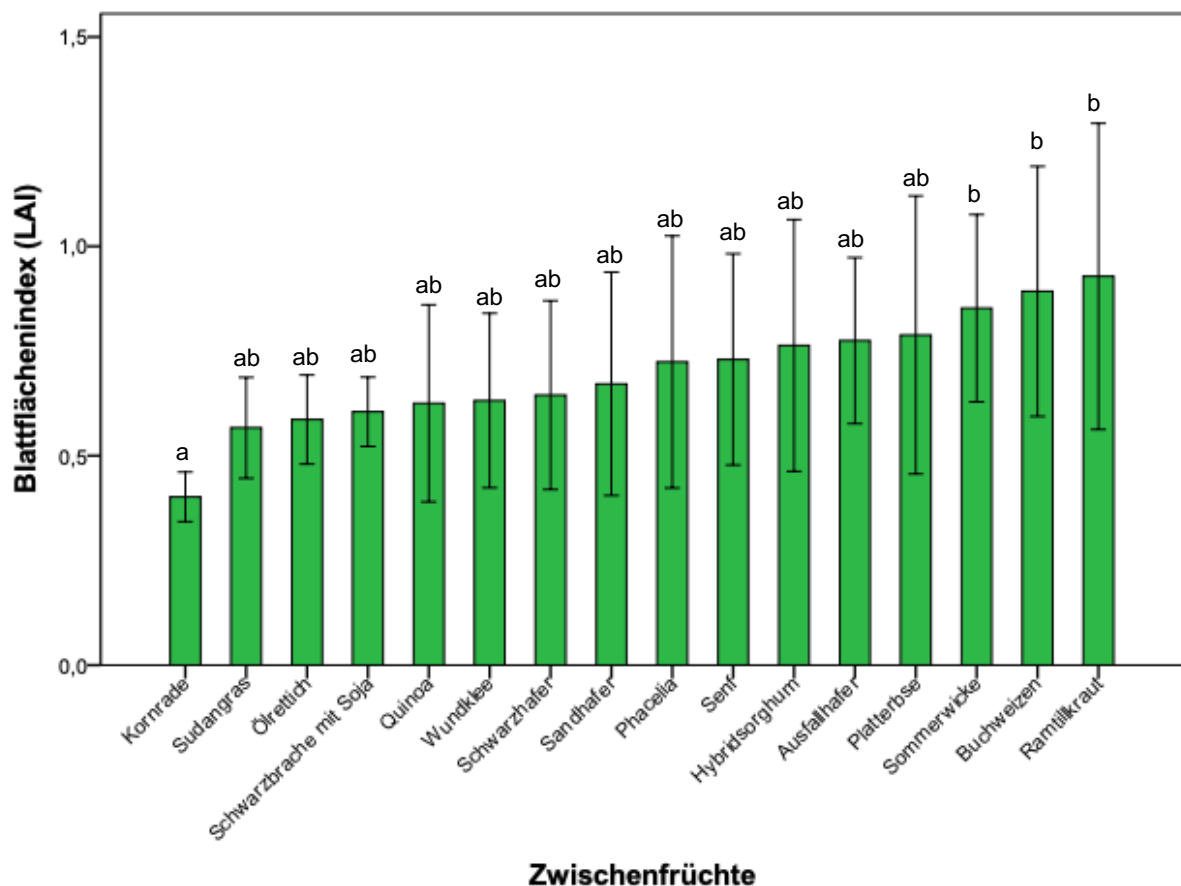


Abb. 19: Mittelwerte des Blattflächenindex des Sojabestandes der beiden Messtermine (20.06.2017 und 13.07.2017) nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Die Sojabestände nach Kornrade weisen einen signifikant niedrigeren Blattflächenindex auf als jene nach Sommerwicke, Buchweizen und Ramtilkraut.

Abb. 20 zeigt die mittleren Blattflächenindexe der Sojapflanzen jeweils vom Juni und vom Juli 2017.

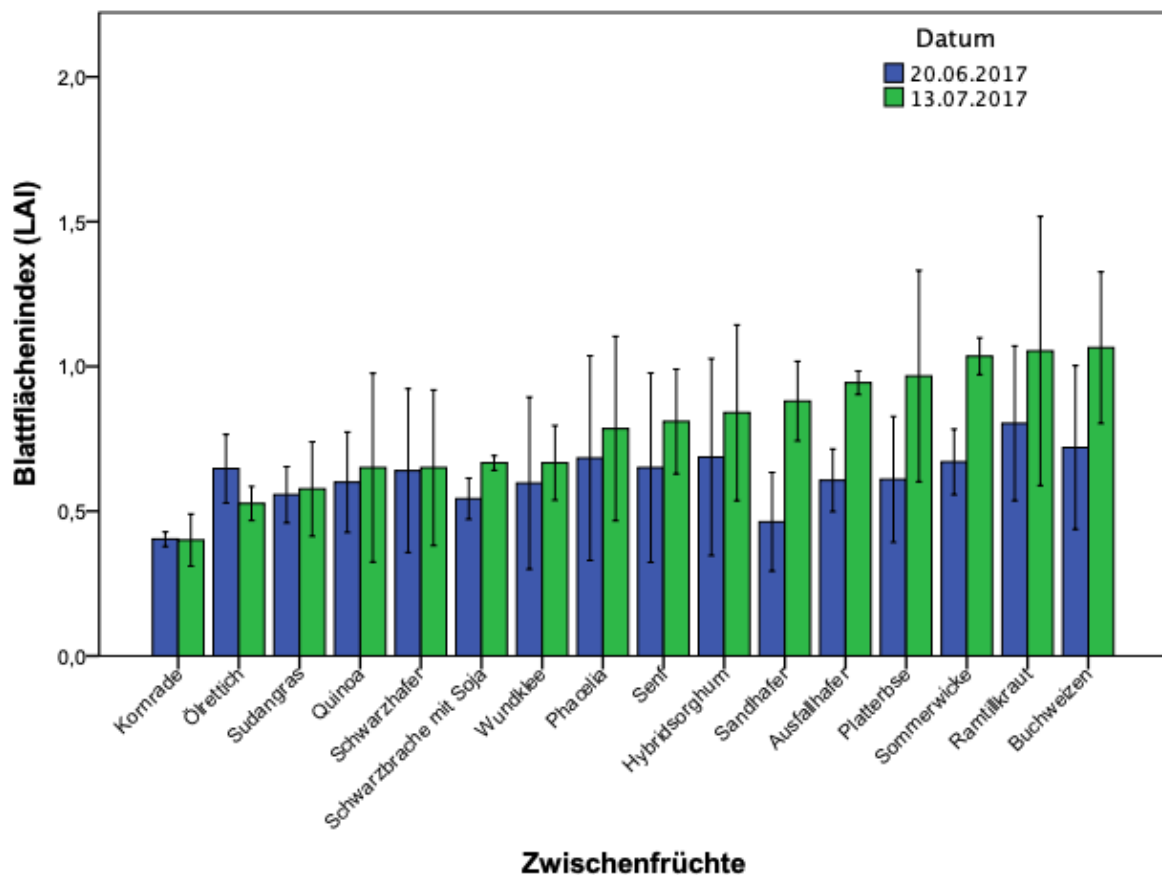


Abb. 20: Mittelwerte des Blattflächenindex des Sojabestandes nach Zwischenfrüchten je Messtermin (20.06.2017 und 13.07.2017). Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Bei der Betrachtung von Abb. 20 ist zu beachten, dass zwischen den beiden Messterminen das bereits erwähnte Starkregenereignis mit Hagel liegt und es zu erkennbaren Hagelschäden an den Sojapflanzen kam. Das ist mit Sicherheit ein Grund dafür, dass die Zunahmen am Blattflächenindex nur gering ausfallen.

Es ist zu erkennen, dass im Mittel lediglich Sommerwicke (1,04), Ramtilkraut (1,05) und Buchweizen (1,07) einen Blattflächenindex größer eins erreichen konnten. Auch in dieser Abbildung ist der Einfluss des Spinnmilbenbefalls bei den Kornrade-Parzellen (0,4) deutlich zu sehen. Auffällig ist, dass die Ökrettich-Parzellen als einzige im Juli (0,5) einen niedrigeren LAI aufweisen als im Juni (0,6). Im Durchschnitt betrug der LAI im Juni 0,61 und im Juli 0,77. Bei der Beobachtung des Sojabestandes konnte man sehen, dass zu keinem Zeitpunkt ein vollständiger Reihenschluss vorhanden war. Die Messwerte des Blattflächenindex spiegeln diese Beobachtung wider.

Der Blattflächenindex hat unter anderem einen starken Einfluss auf die Ertragskomponenten und somit auf den endgültigen Kornertrag (Liu et al., 2005). Zur maximalen Ausnützung der Sonnenstrahlung ist je nach Reihenweite ein LAI von 3 bei Reihenabständen von 25 cm und ein LAI von 4,5 bei Reihenabständen von einem Meter erforderlich (Taylor et al., 1982). Für die

verwendete Reihenweite von 50 cm wäre also ein LAI zwischen 3 und 4,5 erforderlich gewesen, um die Sonnenstrahlung optimal auszunützen. Die gemessen Werte liegen jedoch weit darunter.

4.4.3 Bestandeshöhe

In Abb. 21 sind die Mittelwerte der Bestandeshöhe in cm der Sojapflanzen aller vier Messzeitpunkte vom 20.06.2017 bis 17.08.2017 grafisch dargestellt. Die Zwischenfrucht hat einen signifikanten Einfluss auf die Bestandeshöhe ($p < 0,001$).

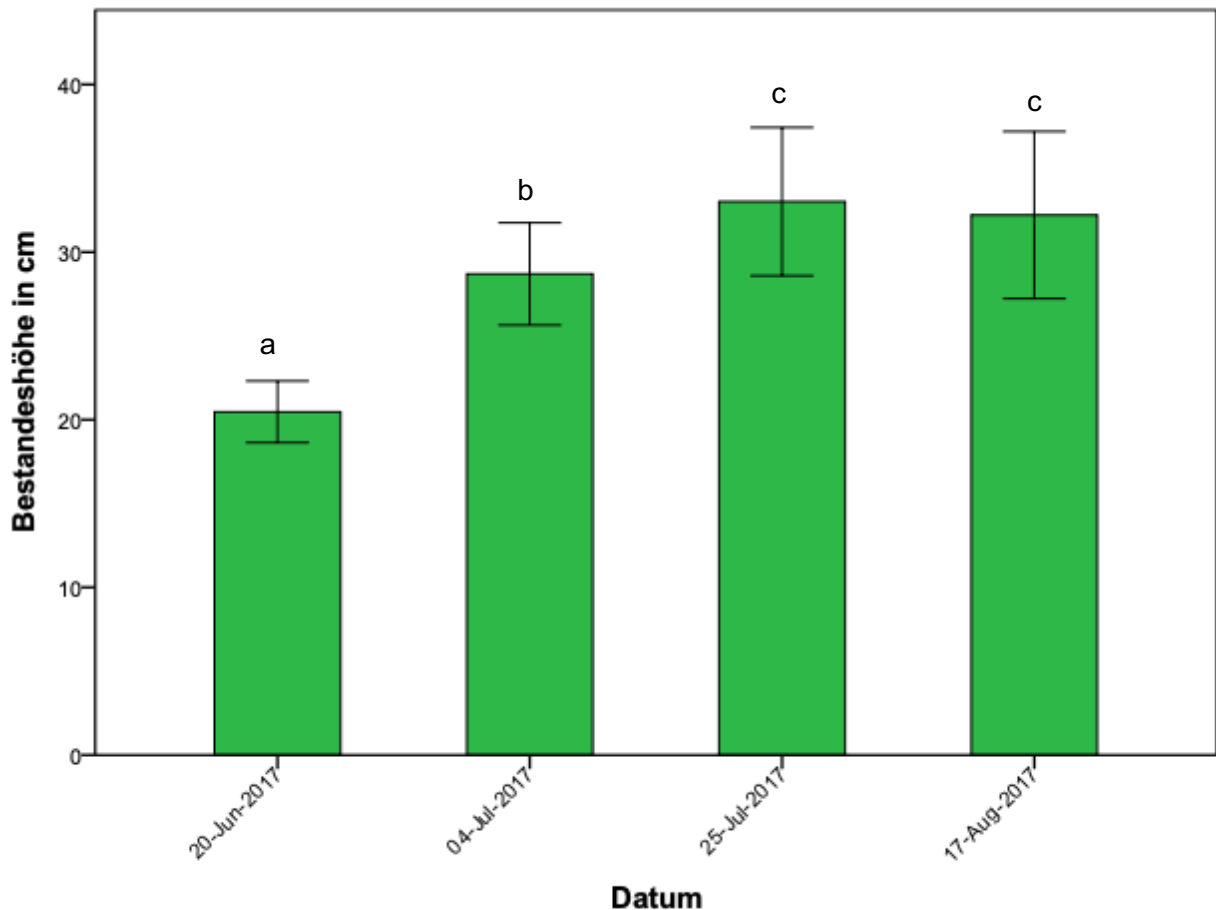


Abb. 21: Mittelwerte der Sojabestandeshöhe in cm nach Messzeitpunkten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Der Messzeitpunkt hat einen signifikanten Einfluss auf die Bestandeshöhe ($p < 0,001$). Sowohl der 20.06. als auch der 04.07. unterscheiden sich signifikant von allen anderen Messzeitpunkten. Zwischen den Messzeitpunkten am 25.07. und 17.08. gibt es keinen signifikanten Unterschied. Man kann sehen, dass der Mittelwert vom 17.08. niedriger war. Dies ist auf die bereits beginnende Reife zu diesem Zeitpunkt zurückzuführen. Die Pflanzen beginnen dürr zu werden und verlieren daher wieder ein wenig an Bestandeshöhe. In Abb. 4 ist dieser Vegetationsverlauf dargestellt und die beschriebene Entwicklung erkennbar.

Abb. 22 zeigt die Mittelwerte der Sojabestandeshöhe aller Messzeitpunkte in cm. Die Bestandeshöhe wird signifikant von der Zwischenfrucht beeinflusst ($p < 0,001$).

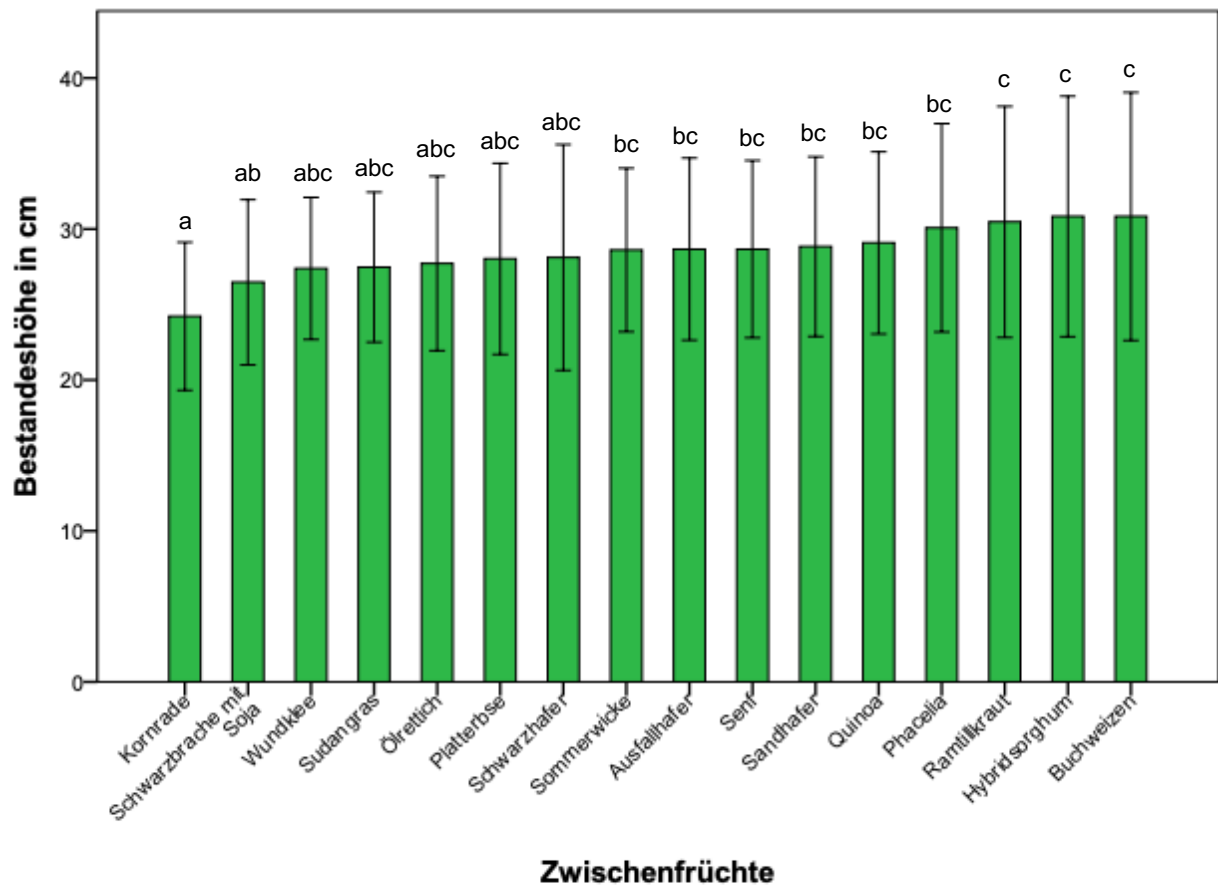


Abb. 22: Mittelwerte der Sojabestandeshöhe aller Messzeitpunkte in cm nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Die Sojapflanzen nach Ramtilkraut, Hybridsorghum und Buchweizen sind signifikant höher als jene nach der Schwarzbrache und nach Kornrade. Nach Kornrade war der Sojabestand zudem signifikant niedriger als nach den Zwischenfrüchten der Gruppen b und c.

In Abb. 23 sind die geschätzten Randmittel der Sojabestandeshöhe aller vier Messtermine abgebildet. Die Nullhypothese kann für die Wechselwirkung von Zwischenfrucht und Datum nicht abgelehnt werden.

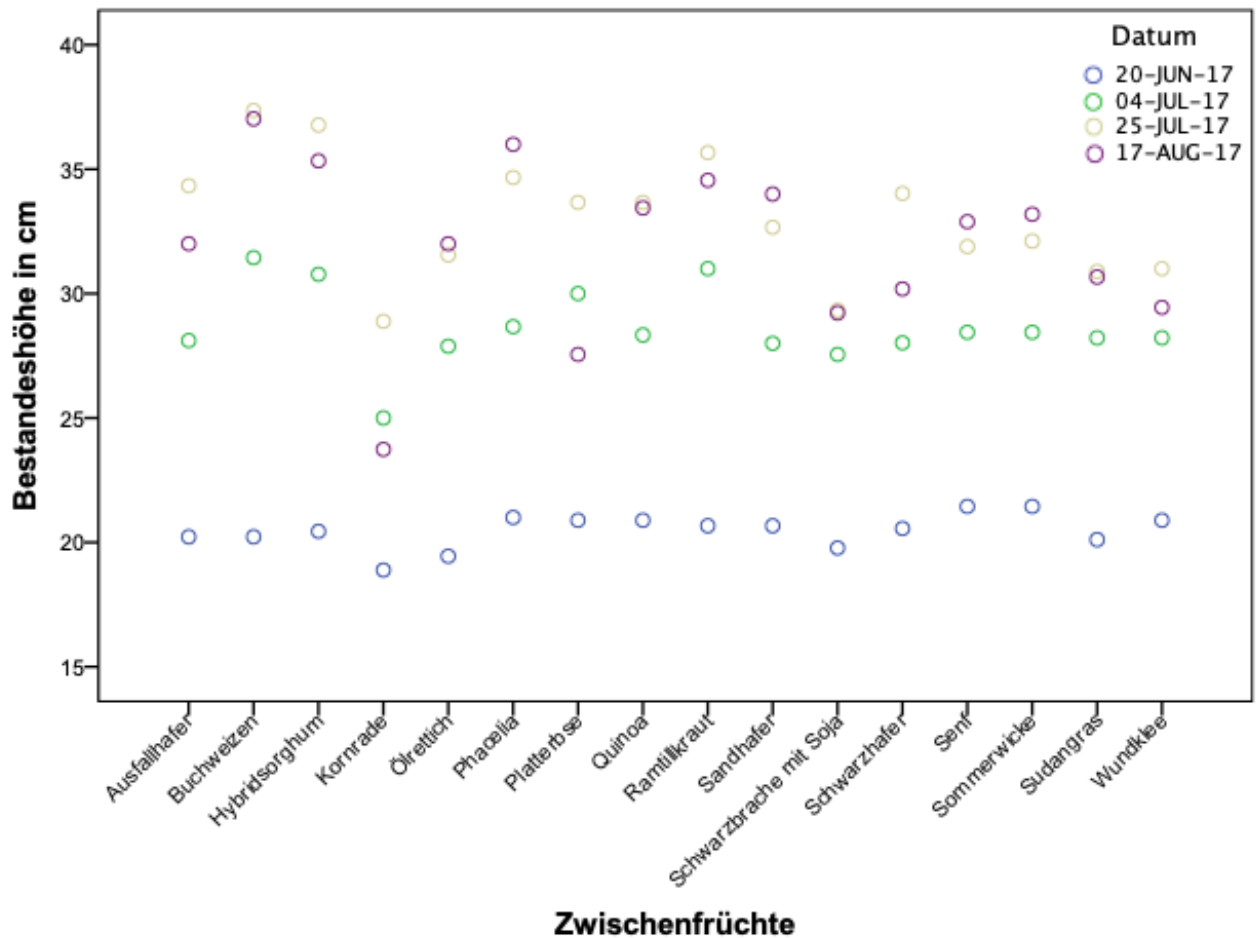


Abb. 23: Geschätzte Randmittel der Sojabestandeshöhen aller vier Messtermine in cm nach Zwischenfrüchten.

Zu erkennen ist, wie bereits erwähnt, dass bei den meisten Zwischenfrüchten die Bestandeshöhe am 17.08. geringer war als am 25.07. Die Bestandeshöhe nach Kornrade zeigt deutlich den fortschreitenden Schaden, der durch den Spinnmilbenbefall entstanden ist. Die Bestandeshöhe fiel bei der letzten Messung sogar unter die vom 04.07.

Ein mehrjähriger Versuch in Brasilien zeigte nach verschiedenen Zwischenfrüchten in zwei von drei Jahren signifikante Unterschiede der Bestandeshöhe sowohl während der Wachstumsphase als auch bei der Ernte. Wicke hatte dabei den größten negativen Einfluss auf die Pflanzenhöhe. Schwarzhafer sowie eine Mischung aus Schwarzhafer und Futterrettich führten zu gesteigerten Pflanzenhöhen im Vergleich zu Wicke, Weizen und Raygras. In dem Jahr ohne signifikante Unterschiede war jedoch die Niederschlagsverteilung für Soja deutlich günstiger, was als Ursache für die gleichmäßigen Bestandeshöhen vermutet wird (Krenchinski et al., 2018). Diese Ergebnisse von Wicke und Schwarzhafer können nicht bestätigt werden, jedoch sind wie in Abb. 22 zu sehen, ebenfalls signifikante Unterschiede bei anderen Zwischenfrüchten erkennbar.

4.4.4 Pflanzenlänge bei der Ernte

In Abb. 24 sind die Sojapflanzenlängen in cm bei der Ernte dargestellt. Die Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf die Sojapflanzenlänge bei der Ernte.) kann nicht abgelehnt werden.

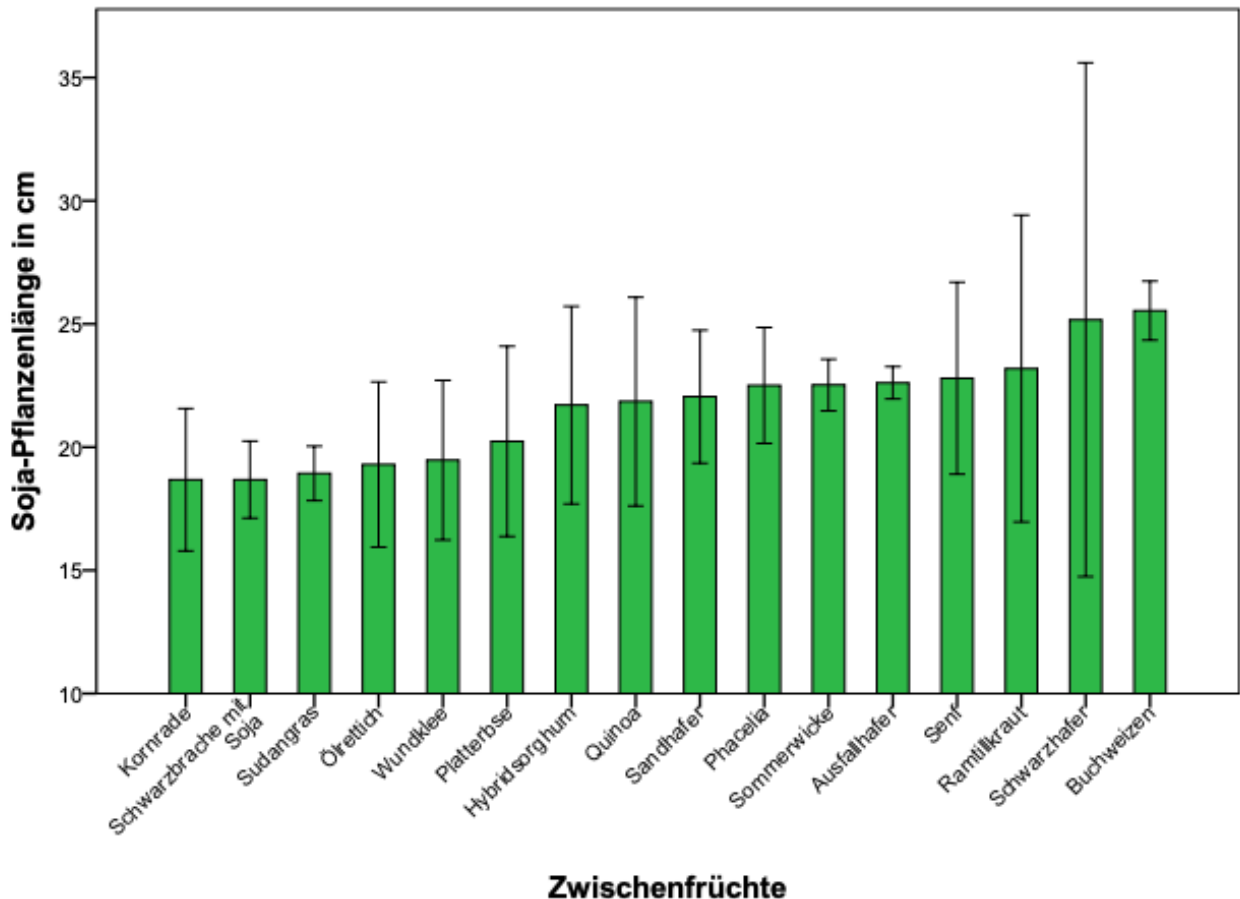


Abb. 24: Sojapflanzenlängen in cm bei der Ernte nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Im Durchschnitt lag die Sojapflanzenlänge bei der Ernte bei 21,4 cm. Die Mittelwerte schwankten zwischen 18,7 cm nach Kornrade und 25,5 cm nach Buchweizen. Dadurch sind die in der Literatur beschriebenen Pflanzenlängen von 30 bis 100 cm (Lembacher et al., 2009; Zeller, 1999) deutlich unterschritten worden. Dies deutet wieder auf die schlechte Bestandesentwicklung der Sojapflanzen aufgrund der Trockenheit hin. Bei der Ernte war zu beobachten, dass die niedrigen Pflanzenhöhen auch zu einem sehr niedrigen Hülsenansatz führten. Es können erhebliche Unterschiede zwischen der Handernte und der maschinellen Ernte entstehen. Die Mähdruschverluste sind dabei vorwiegend abhängig von der Ansatzhöhe der untersten Hülsen. Die Höhe der Pflanze hat einen geringeren Einfluss auf die Verluste bei der maschinellen Ernte. In einem Versuch in Deutschland wurde für den dort verwendeten Mähdrescher eine minimale Ansatzhöhe der untersten Hülsen von 22 cm ermittelt, um die Ernteverluste auf unter 500 kg/ha zu minimieren (Stock et al., 1996). Durch visuelle Beobachtungen bei der Ernte war erkennbar,

dass der Ansatz der ersten Hülse sich im durchgeführten Versuch so knapp über dem Boden befand, dass die Hülse teilweise den Boden berührten. Bei einer maschinellen Ernte ist davon auszugehen, dass dies zu erheblichen Ernteverlusten geführt hätte. Die untersten Hülse wären je nach eingesetzter Technik wohlmöglich gar nicht erfasst worden, ein Teil der Hülse wäre aufgeschnitten worden und die Sojabohnen aus diesen Hülse wären zu Boden gefallen. Pflanzenbaulich kann die Ansatzhöhe bis zu einem gewissen Maß über eine höhere Pflanzendichte gesteigert werden. Die maximale Pflanzendichte, die zu Verbesserungen in der Ansatzhöhe der untersten Hülse führte, variiert jedoch in der Literatur je nach verwendeter Sorte (Luftensteiner, 1980; Schuster und Spennemann, 1964; Stock et al., 1996).

4.4.5 Biomasse Sojapflanzen

Die Ergebnisse der Gesamtbiomasseerträge der Sojapflanzen geben weitere Informationen über die Bestandesentwicklung der Sojapflanzen. In Abb. 25 sind die Mittelwerte der beiden Messtermine der Sojabiomasse in kg/ha dargestellt. Dabei beeinflusst das Datum die Biomasseerträge signifikant ($P < 0,001$) und die Zwischenfrucht hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Biomasse der Sojapflanzen ($p = 0,004$).

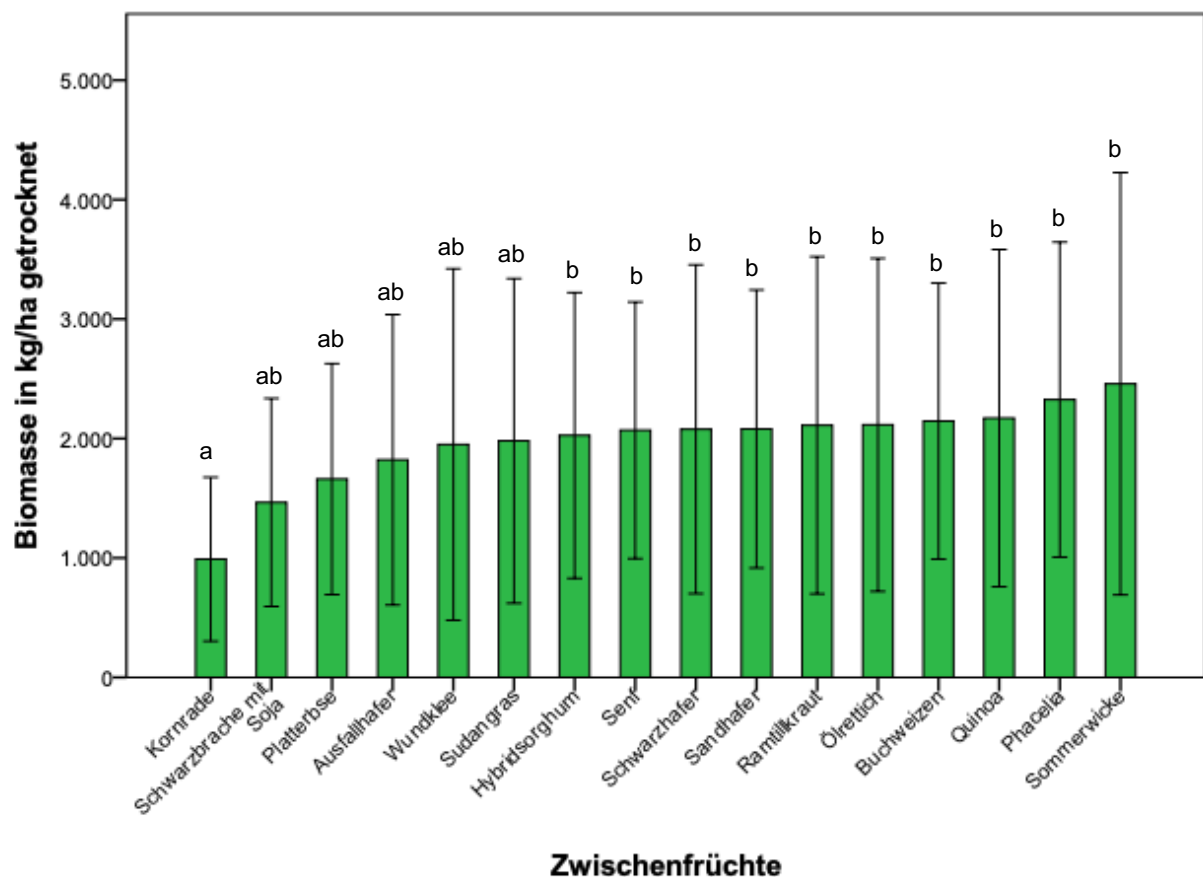


Abb. 25: Mittelwerte der Sojabiomasse der beiden Messzeitpunkte (03.07.2017 und 22.08.2017) in kg/ha nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Nach Kornrade wurden im Vergleich zu den Zwischenfrüchten der Gruppe b signifikant niedrigere Biomasseerträge erzielt. Sommerwicke weist bei der Betrachtung den höchsten Wert auf.

Auch in der Einzelbetrachtung des Termins im August (Abb. 26) zeigt die Varianzanalyse einen signifikanten Einfluss der Zwischenfrucht auf die Biomasse ($p=0,026$).

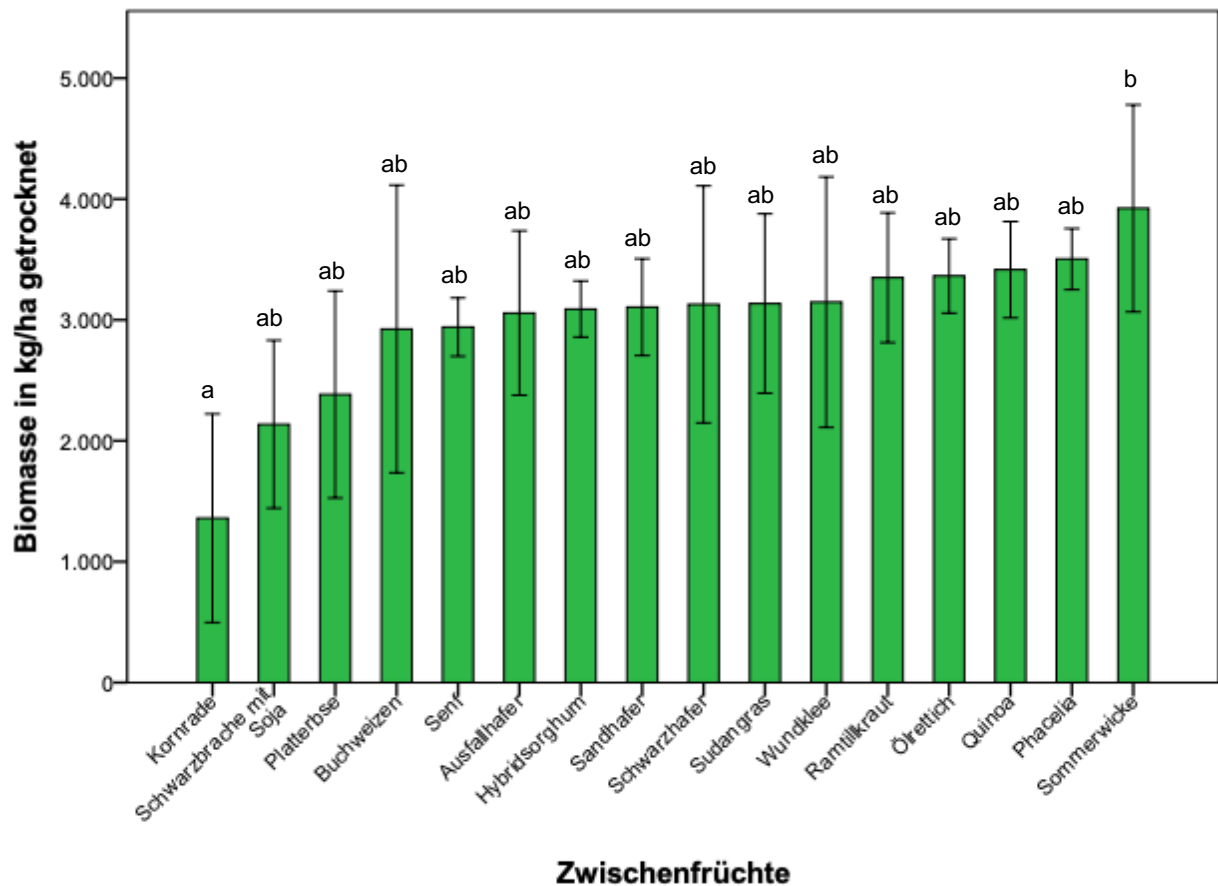


Abb. 26: Mittelwerte der Sojabiomasse in kg/ha vom 22.08.2017 nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Der Ertrag an Sojabiomasse nach Sommerwicke (3923 kg/ha) ist signifikant höher als bei Kornrade (1360 kg/ha). Im Mittel betrug der Biomasseertrag am 22.08. 2974 kg/ha. Nach Kornrade wies die Schwarzbrache mit Soja (2137 kg) den zweitniedrigsten Ertrag an Biomasse auf.

In der Literatur wird von einem Harvest Index bei Soja berichtet, der zwischen 0,35 und 0,65 liegt. Die Formel für den Harvest Index lautet: Kornenertrag/Gesamtbiomasseertrag. Verwendet wird er zur Ermittlung der Aufteilung des Gesamtertrages einer Kultur. Der ermittelte Wert stellt den ökonomisch nutzbaren Anteil des Ertrages dar (Egli, 2010). Der Harvest Index lag beim vorliegenden Versuch bei 0,36 und daher am unteren Rand der in der Literatur angegebenen Werte. Das bedeutet, dass der Kornenertrag im Verhältnis zum Gesamtbiomasseertrag eher gering ausfiel. Zur Ermittlung des mittleren Harvest Index wurde der mittlere Kornenertrag und der mittlere

Biomasseertrag vom 22.08. verwendet, da die Probennahme lediglich eine Woche vor der Vollreife genommen wurde. Die Ermittlung des Harvest Index bei Soja gestaltet sich oft schwierig, da zur Vollreife die Blätter zum Großteil abgeworfen sind und so die Biomasse der Blätter im Biomasseertrag fehlen. Dies wurde verhindert, da bei der Probennahme noch die meisten Blätter an den Pflanzen waren.

4.5 Erntedaten

Der Kornertrag pro Fläche setzt sich aus den folgenden vier Komponenten zusammen:

- Anzahl der Pflanzen pro Fläche
- Anzahl der vollen Hülsen pro Pflanze
- Anzahl der Körner pro Hülse
- Tausendkorngewicht

Die Anzahl der Hülsen und der Körner pro Fläche stellen dabei die wichtigsten Ertragskomponenten dar (Liu et al., 2005). Demnach sind die drei obersten genannten Faktoren von besonderer Bedeutung, da die Anzahl der Pflanzen pro Fläche Einfluss auf die Anzahl der Körner und Hülsen je Fläche hat. Die Anzahl der Pflanzen pro Fläche stellt auch die einzige der genannten Ertragskomponenten dar, auf die pflanzenbaulich mithilfe der Saatstärke direkt Einfluss genommen werden kann.

Die Ergebnisse der einzelnen Komponenten werden in der genannten Reihenfolge näher betrachtet.

4.5.1 Pflanzenanzahl

Abb. 27 zeigt dabei die Pflanzenanzahl pro Quadratmeter zum Zeitpunkt der Ernte als ersten Ertragsbestandteil. Die Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf die Pflanzenanzahl bei Soja.) kann dabei nicht abgelehnt werden.

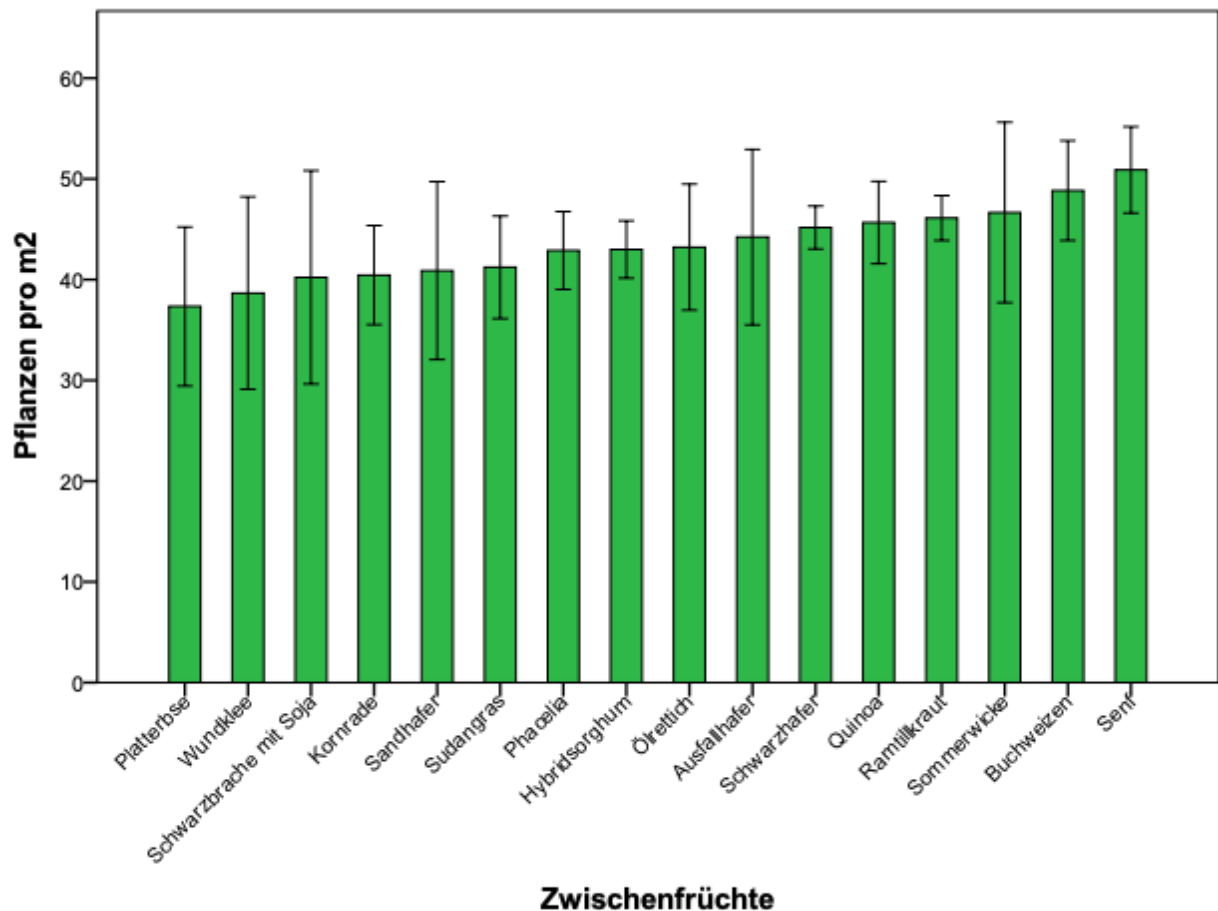


Abb. 27: Mittelwerte der Sojapflanzen pro Quadratmeter bei der Ernte. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Im Mittel schwankten die Werte von 37 Sojapflanzen/m² nach Platterbse bis 51 Sojapflanzen/m² nach Senf. Der Gesamtmittelwert lag im durchgeführten Versuch bei 43 Sojapflanzen/m². Bei der Aufgangszählung lag dieser Wert noch bei 45. Im Vegetationsverlauf verringerte sich demnach die Pflanzenanzahl/m² nochmals um 4,4 %. Vergleicht man die Saatstärke von 65 Körnern/m² mit den 43 schlussendlich zur Vollreife gelangten Pflanzen/m², sind das 66 %.

Da der Großteil der Differenz zwischen Saatstärke und endgültiger Bestandesdichte bei der Ernte schon bei der Aufgangszählung (Abb. 27) beobachtet wurde, sind die möglichen Ursachen dafür bereits in der Diskussion der Aufgangszählung (4.4.1) beschrieben worden.

4.5.2 Hülsenanzahl

Abb. 28 zeigt die Mittelwerte sowohl der leeren als auch der vollen Hülsen je Pflanze nach Zwischenfrüchten. Die Zwischenfrucht hat die Anzahl der vollen Hülsen je Pflanze signifikant beeinflusst ($p=0,013$). Für die Anzahl der leeren Hülsen pro Pflanze gibt es keinen signifikanten Einwand gegen die Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf die Hülsenanzahl.).

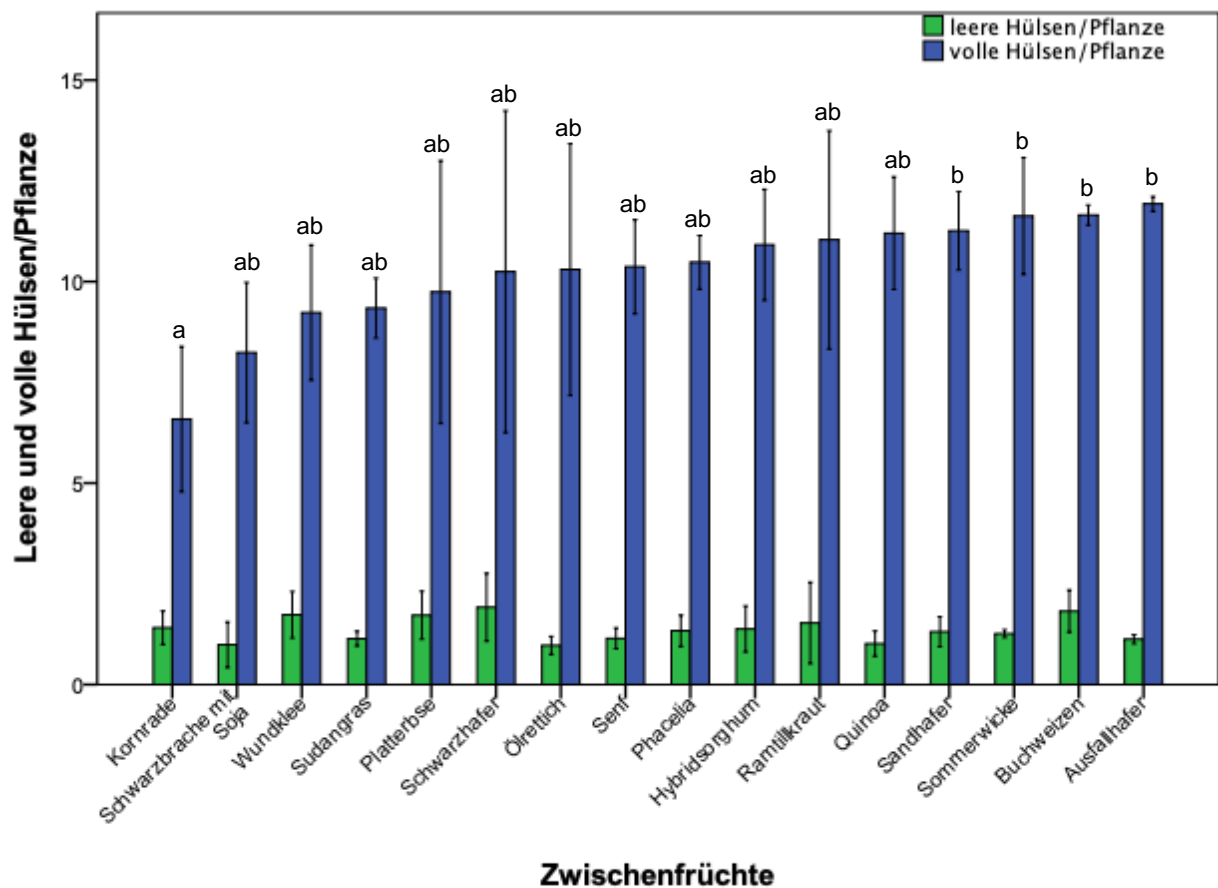


Abb. 28: Mittelwerte der Anzahl der vollen und leeren Hülsen je Sojapflanze nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Die Einteilung der homogenen Untergruppen bezieht sich auf die Variable volle Hülsen/Pflanze. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Die Sojapflanzen nach Sandhafer (11,3 Stk.), Sommerwicke (11,6 Stk.), Buchweizen (11,7 Stk.) und Ausfallhafer (11,9 Stk.) hatten signifikant mehr volle Hülsen als die Sojapflanzen nach Kornrade (6,7 Stk.). Die Sojapflanzen nach Ausfallhafer weisen bei den vollen Hülsen den höchsten Wert auf, gleichzeitig haben sie im Verhältnis zu den vollen Hülsen auch die zweitwenigsten leeren Hülsen. Nur nach Quinoa waren im Verhältnis zu den vollen Hülsen weniger leere Hülsen an den Sojapflanzen. Auch hier spiegelt sich der Spinnmilbenbefall nach Kornrade in den Ergebnissen wider. Nach Kornrade hatten die Sojapflanzen sowohl die niedrigste Anzahl an vollen Hülsen als auch die meisten leeren Hülsen im Verhältnis zu den vollen. Der Gesamtmittelwert aller geernteten Pflanzen liegt bei 10,3 vollen Hülsen je Pflanze und 1,4 leeren Hülsen je Pflanze.

Futterrettich als Zwischenfrucht zeigte in Brasilien in einem mehrjährigen Versuch einmalig eine signifikant höhere Anzahl an Hülsen im Vergleich zu Raygras. In den anderen Jahren konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den verwendeten Zwischenfrüchten (Schwarzhafer, Weißhafer, Weizen, Wicke, Futterrettich, Raygras, Schwarzhafer/Futterrettich) beobachtet werden (Krenchinski et al., 2018). Betrachtet man die vorliegenden Ergebnisse ohne

die durch Spinnmilben befallene Kornrade, so kann die Beobachtung, dass keine signifikanten Unterschiede vorliegen, bestätigt werden. Die Hülsenanzahl je Pflanze wird allgemein als stark schwankende Komponente beschrieben. Ein vergleichbarer Versuch in einem Trockengebiet in Deutschland brachte Einzelwerte von über 100 Hülsen/Pflanze hervor. Der Median lag dabei bei 20,6 Hülsen/Pflanze (Stock et al., 1996). Im vorliegenden Versuch schwankte die Hülsenanzahl je Pflanze ebenfalls stark von 0 bis 68. Bei ähnlicher Pflanzenanzahl/m² wird in Indien zum Beispiel im Durchschnitt von 36,6 Hülsen/Pflanze berichtet (Singh et al., 2010), was mehr als dem dreifachen des durchgeführten Versuches entspricht. Der beobachtete Mittelwert ist daher im Vergleich eher niedrig einzustufen. Wassermangel führte bei Beregnungsversuchen in den USA vor allem zu verminderten Hülsenanzahlen je Pflanze (Ceccon et al., 1994). Die Trockenheit im Versuchsjahr (die Niederschläge lagen unter dem ohnehin schon niedrigen langjährigen Mittel) hatte demnach wohl großen Einfluss auf die geringen Anzahlen an Hülsen/Pflanze.

4.5.3 Körner pro Hülse

Zur Ermittlung der Körner/Hülse wurde immer die jeweilige Anzahl an vollen Hülsen herangezogen. Abb. 29 zeigt die Mittelwerte der Körner pro Hülse. Wie erwähnt handelt es sich hierbei um berechnete Werte. Es gibt keinen signifikanten Einwand gegen die Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf die Anzahl der Körner pro Hülse.).

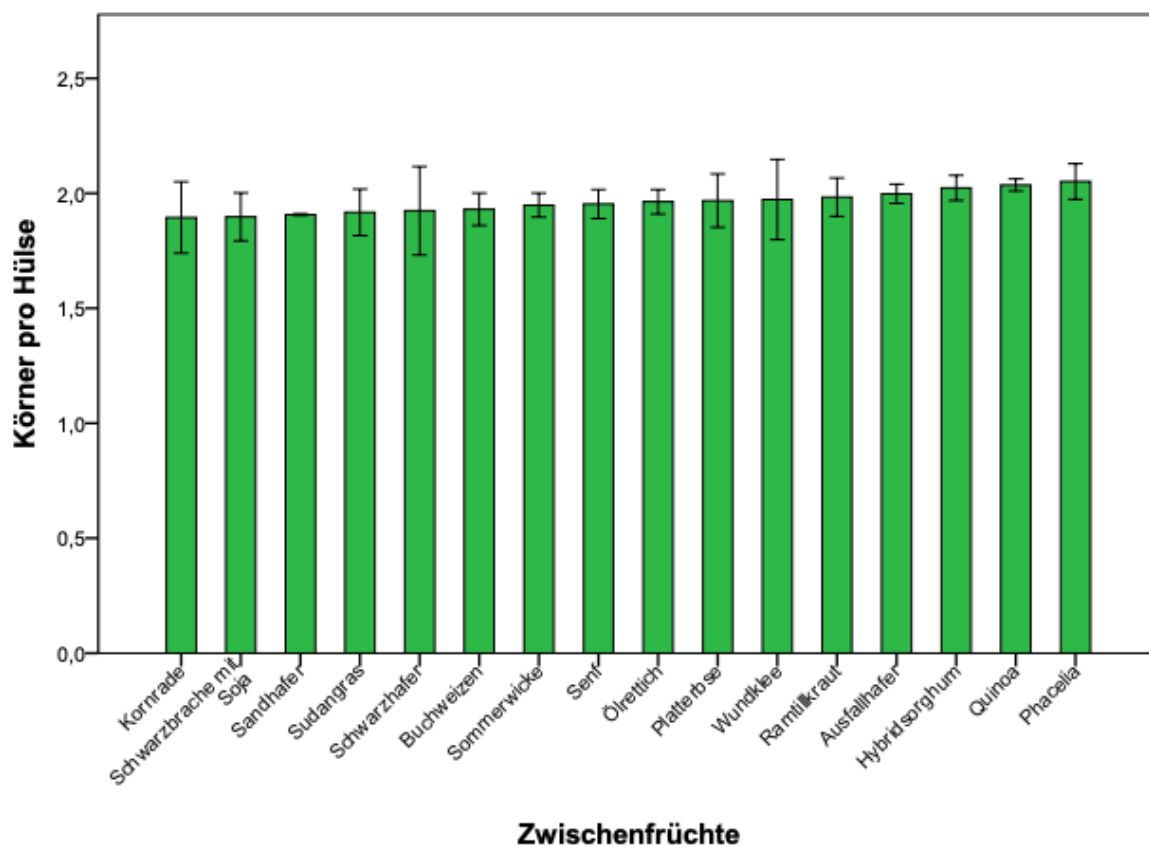


Abb. 29: Mittelwerte der Sojakörner pro Hülse nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Es ist zu erkennen, dass es kaum Unterschiede bei der Anzahl der Körner pro Hülse gibt. Die Mittelwerte schwanken zwischen 1,89 nach Kornrade und 2,05 nach Phacelia. Der Gesamtdurchschnitt der Körner je Hülse beträgt 1,96.

Die Anzahl der Körner pro Hülse wird als besonders stabiles Merkmal bei Soja beschrieben (Stock et al., 1996). Selbst wilde Genotypen weisen im Durchschnitt im Vergleich zu kultivierten Genotypen sehr ähnliche Körner-Anzahlen pro Hülse auf. Bei mehreren Versuchen lagen die Mittelwerte im Schnitt bei 1,8-1,9 Körner pro Hülse (Qiu und Chang, 2010). Größere Unterschiede kommen nur zwischen verschiedenen Genotypen vor, bekannt sind dabei Werte von 1,3 bis 3,9 Körner pro Hülse (Mishra und Verma, 2010). Zudem steht diese Messgröße nur in einem sehr geringen Maß in Beziehung zu den anderen Ertragskomponenten (Stock et al., 1996).

4.5.4 Tausendkorngewicht (TKG)

Als letzte Komponente für den Ertrag ist das Gewicht der einzelnen Körner relevant. Dafür wird das TKG herangezogen. In Abb. 30 sind die Ergebnisse grafisch dargestellt. Die Varianzanalyse ergab einen signifikanten Einfluss der Zwischenfrucht auf das TKG ($p=0,014$).

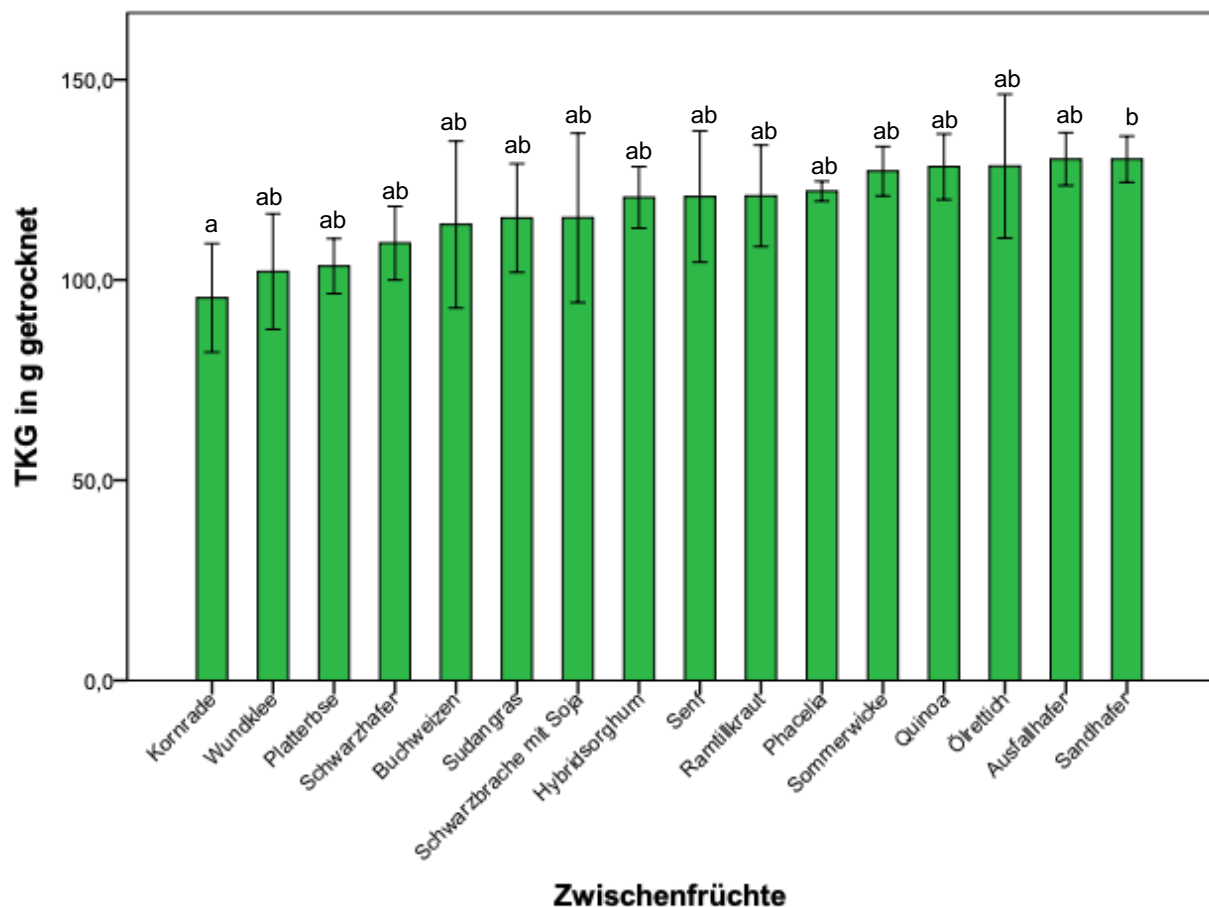


Abb. 30: TKG in g getrocknet nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an.

Im Hinblick auf das TKG weisen die Sojabohnen nach Kornrade im Vergleich zu Sandhafer einen signifikant niedrigeren Wert auf. Kornrade (96 g) ist dabei die einzige Zwischenfrucht, nach der ein TKG von unter 100 g zu beobachten war. Der Mittelwert über alle Zwischenfrüchte hinweg beträgt 118 g. Nach der Schwarzbrache betrug das TKG im Mittel 116 g, was sehr nahe am Gesamtmittelwert liegt.

Nach verschiedenen Zwischenfrüchten schwankten die TKG zwar zwischen den Jahren eines mehrjährigen Versuchs in Brasilien, jedoch konnten Krenchinski et al. (2018) keine bemerkenswerten Unterschiede im TKG zwischen den verwendeten Zwischenfrüchten feststellen. Mittelwerte zwischen 98 und 169 g wurden dabei beobachtet (Krenchinski et al., 2018). Wie bei der Hülsenanzahl ergeben sich im vorliegenden Versuch auch fürs TKG keine signifikanten Unterschiede, abgesehen von den Sojabeständen nach Kornrade. In Indien zeigten Versuche mit unterschiedlichen Pflanzendichten und Standraumverteilungen kaum Unterschiede im TKG. Die mittleren TKG lagen dabei zwischen 120 g und 130 g (Singh et al., 2010). In Deutschland beobachtete man bei einem mehrjährigen Versuch TKG zwischen 108 g und 172 g, bei einem Median von 143 g (Stock et al., 1996). Im Vergleich dazu stellt das im vorliegenden Versuch beobachtete Mittel ein niedrigeres TKG dar. Versuche in den USA zeigten bei Wassermangel neben verminderten Hülsenanzahlen auch ein vermindertes TKG (Ceccon et al., 1994). Andere Versuche zeigten ein signifikant höheres TKG nach zusätzlichen Wassergaben (Luftensteiner, 1980). Besonders stark wirkt sich dabei ein Wassermangel in der Kornfüllungsphase aus (Unsleber et al., 2018). Dies lässt darauf schließen, dass wahrscheinlich auch die Trockenheit im Versuchsjahr für die vergleichsweise niedrigen Tausendkorngewichte eine bedeutende Rolle gespielt hat.

4.5.5 Kornertrag

Die vier genannten Komponenten (Pflanzenanzahl, Hülsenanzahl, Kornanzahl pro Hülse und Tausendkorngewicht) führen schließlich zum Kornertrag in kg/ha, dargestellt nach Zwischenfrüchten in Abb. 31. Beim Kornertrag gibt es keinen signifikanten Einwand gegen die Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf den Kornertrag.).

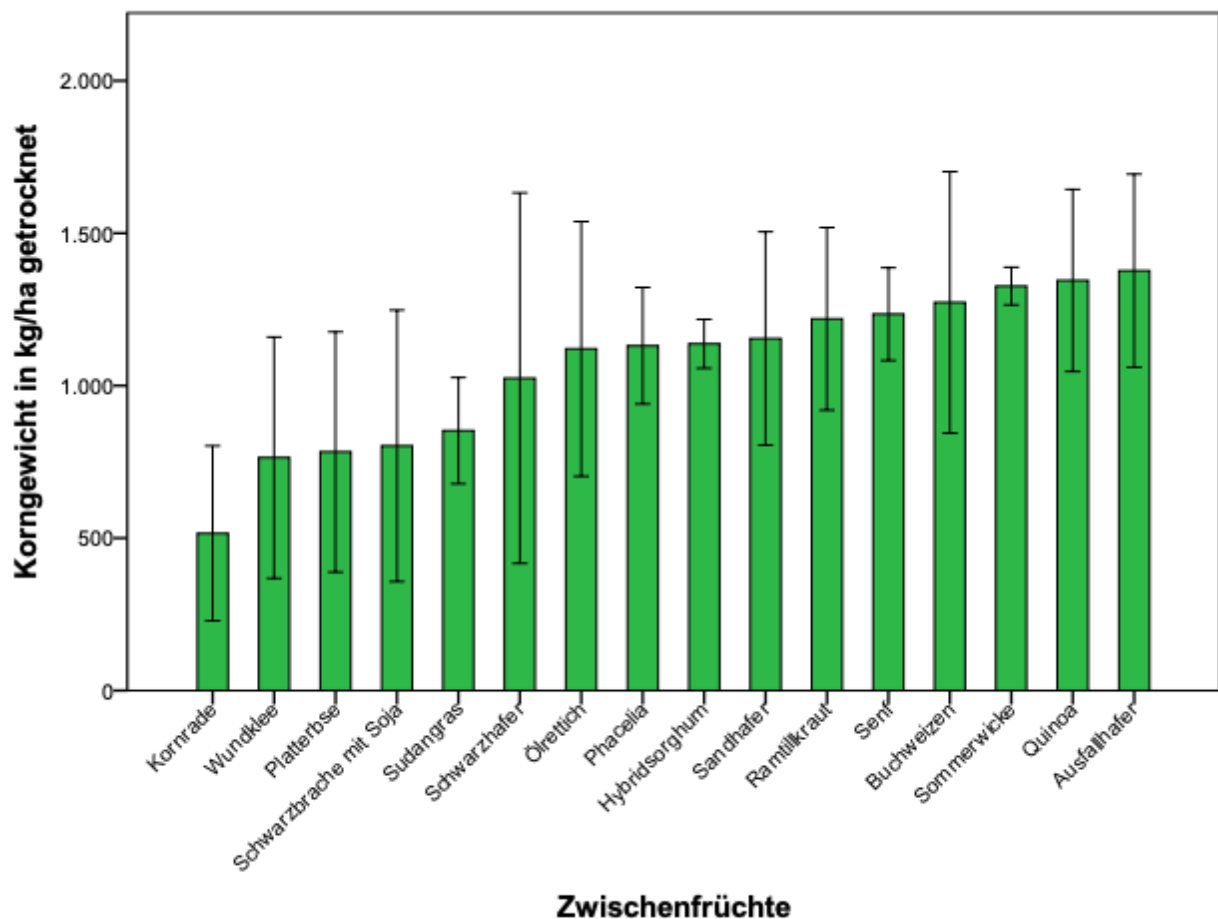


Abb. 31: Mittelwerte der Sojakornerträge nach Zwischenfrüchten in kg/ha getrocknet nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Bei Betrachtung der Kornerträge (Abb. 31) unterscheiden sich die Erträge nach Kornrade (516 kg/ha) zu jenen nach Buchweizen (1273 kg/ha), Sommerwicke (1327 kg/ha), Quinoa (1345) und nach Ausfallhafer (1377 kg/ha) um ca. 800 kg/ha. Der Sojaertrag nach Kornrade wurde jedoch wie bereits mehrmals erwähnt durch einen starken Spinnmilbenbefall reduziert. Auffällig ist auch, dass nach der Schwarzbrache (803 kg/ha) im Vergleich zu den meisten anderen Zwischenfrüchten geringere Erträge erzielt wurden. Lediglich nach Kornrade (516 kg/ha), Wundklee (764 kg/ha) und Platterbse (783 kg/ha) waren die Kornerträge niedriger als nach der Schwarzbrache. Der Gesamtmittelwert für den durchgeführten Versuch liegt bei 1057 kg/ha.

Für Sojabohnen ergab sich im Jahr 2017 für Österreich ein Durchschnittskornertrag von 3000 kg/ha, bei einem Erzeugerpreis von 344,80 € je Tonne (AgrarMarkt Austria, 2019, 2018). Für den vorliegenden Versuch ergibt sich daraus ein Rohertrag von 364,45 €/ha. Bei variablen Kosten von ca. 600 €/ha (Gahleitner et al., 2019) ergibt sich ein stark negativer Deckungsbeitrag für die Versuchsbedingungen. Das beobachtete Ertragsniveau ist demnach als äußerst niedrig einzustufen.

Ein mehrjähriger Versuch in den USA zeigte in einigen Jahren signifikant niedrigere Erträge nach Hafer als Zwischenfrucht. In keinem der Versuchsjahre überstieg jedoch der Ertrag nach Roggen

oder Hafer jenen nach der Schwarzbrache (Kaspar et al., 2012). Die durchgeführten Beobachtungen können diese Ergebnisse jedoch nicht bestätigen. Tendenziell sind sogar Mehrerträge nach den meisten angebauten Zwischenfrüchten zu verzeichnen gewesen. Ein mehrjähriger Versuch in Deutschland zeigte bei den Sojaerträgen nach Hafer, Alexandrinerklee/Hafer, Ölrettich, Sommerwicke, Sommertriticale, Sommerwicke/Hafer und Schwarzbrache keine signifikanten Unterschiede. Auch dort war der Sojaertrag nach der Schwarzbrache im Mittel unter den niedrigsten Erträgen zu finden. Im Mittel wird ebenfalls von niedrigen Erträgen von 1070 kg/ha berichtet (Urbatzka et al., 2016). Diese Ergebnisse aus Deutschland mit teilweise gleichen Zwischenfrüchten zeigten demnach ähnliche Ergebnisse.

Gerade für frühreife Sorten stellen eine schnelle Blattbildung und -entwicklung sowie eine verspätete Seneszenz Charakteristiken für besonders ertragreiche Sorten dar. Der LAI und die gebildete Biomasse bis zur Kornfüllungsphase korrelieren stark mit den Kornerträgen (Liu et al., 2005). Da die beschriebenen Werte des Blattflächenindex (4.4.2) zum Zeitpunkt der beginnenden Kornfüllung (BBCH 70) Mitte Juli deutlich niedriger waren als Vergleichswerte aus der Literatur, sind die niedrigen beobachteten Erträge als eine Folge der schlechten Pflanzenentwicklung zu sehen. Die Gründe dafür sind wie bereits erwähnt wohlmöglich eine schlechte Saatbettbereitung, das Hagelereignis vom Juli und vor allem aber die Trockenheit im Versuchsjahr 2017.

4.5.6 Hülsen- und Stängelgewicht

Abb. 32 zeigt die Hülsen- und Stängelgewichte der geernteten Sojapflanzen nach Zwischenfrüchten. Es gibt sowohl bei den Stängelgewichten als auch bei den Hülsengewichten keinen signifikanten Einwand gegen die Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf das Stängel- bzw. Hülsengewicht.).

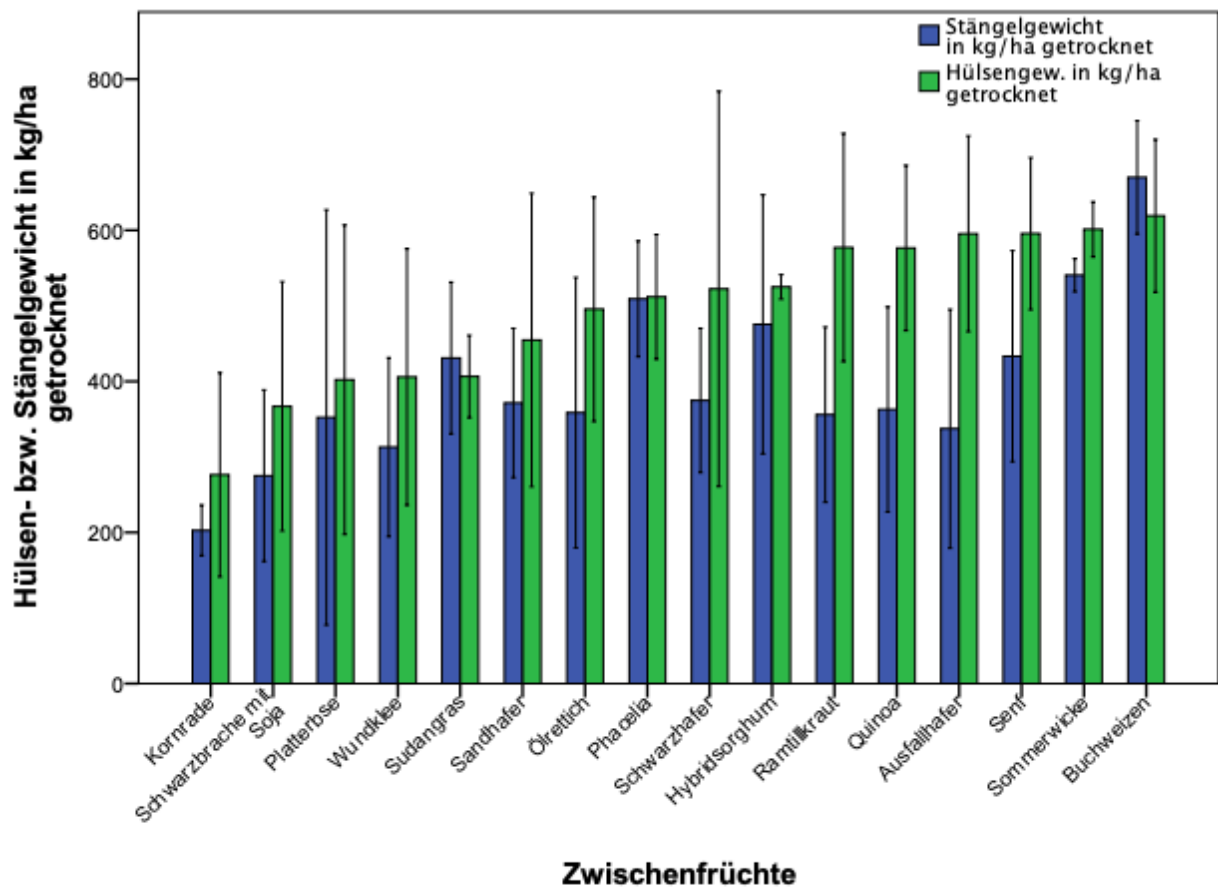


Abb. 32: Mittelwerte der ausgedroschenen Sojähülsen und Sojastängel in kg/ha getrocknet nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Buchweizen weist dabei sowohl das höchste Gewicht an leeren Hülsen als auch das höchste Stängelgewicht auf, wobei die Masse der Stängel jene der leeren Hülsen sogar übersteigt. Neben Buchweizen ist lediglich bei Sudangras das Gewicht der Stängel größer als jenes der leeren Hülsen.

In der Literatur konnten keine passenden Vergleichswerte gefunden werden, da im Normalfall nur die gesamte vegetative Biomasse untersucht wird. Erläuterungen dazu sind bereits unter 4.4.5 zu finden.

4.5.7 Öl-, Protein- und Zuckergehalt

Abb. 33 zeigt den Ölgehalt der Sojabohnen. Im Rahmen der durchgeführten Varianzanalyse kann die Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf den Ölgehalt der Sojakörner.) abgelehnt werden ($p=0,041$). Jedoch liefern alle betrachteten Post-hoc-Tests nur eine homogene Untergruppe.

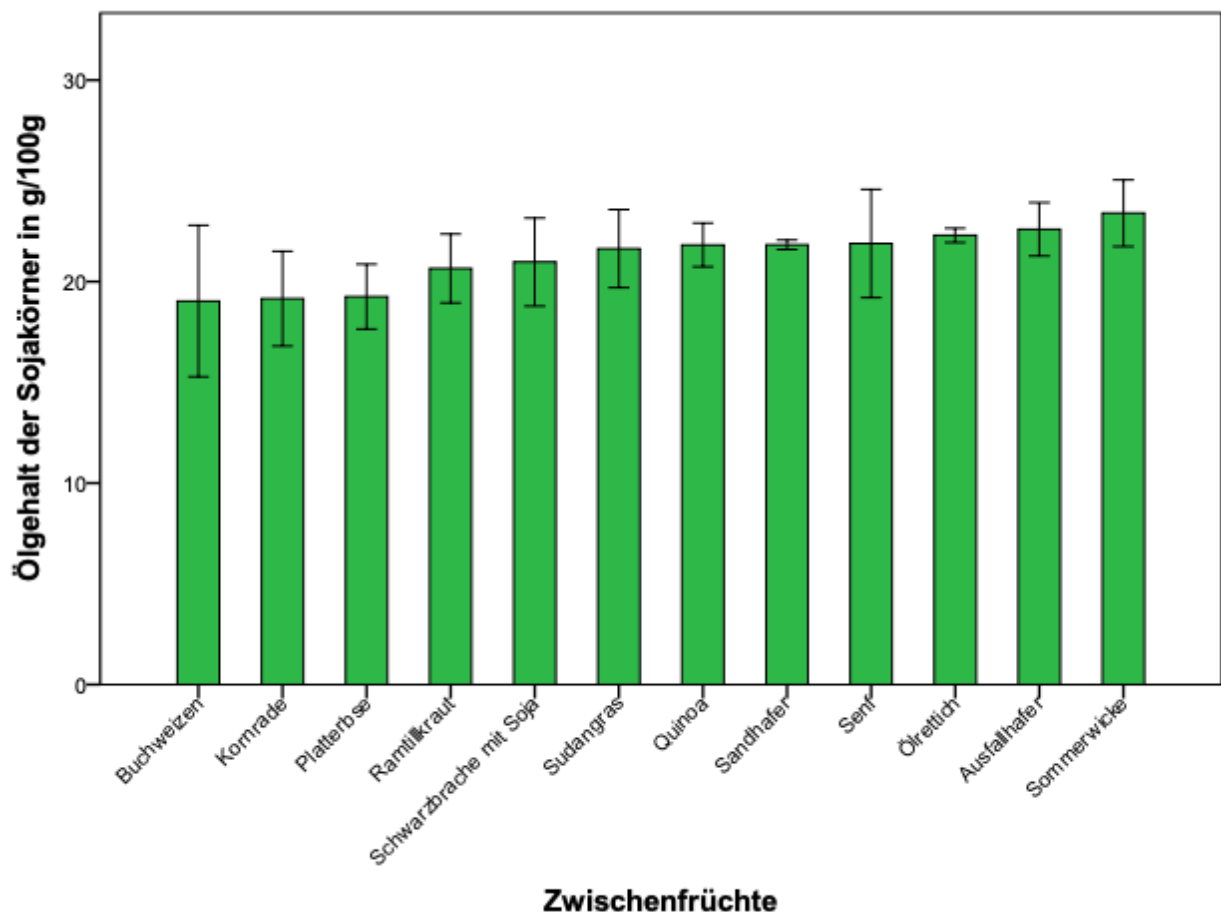


Abb. 33: Mittelwerte der Ölgehalte der Sojabohnen in g/100g nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Der mittlere Ölgehalt der geernteten Sojabohnen lag bei 21,2 g/100g. Nach Buchweizen (19 g/100g) war der niedrigste Mittelwert zu beobachten, nach Sommerwicke (23,4 g/100g) der höchste.

Ein mehrjähriger Versuch im Marchfeld zeigte bei Soja je nach Versuchsjahr mittlere Ölgehalte von 17 bis 25 g/100 g. Hohe Niederschläge in der Zeit der Kornfüllungsphase führten dabei zu den höchsten Ölgehalten. Die Proteingehalte hingegen zeigten unter diesen Bedingungen verringerte Werte (Vollmann et al., 2000). Der mittlere beobachtete Ölgehalt im vorliegenden Versuch liegt demnach im Vergleich zu den Ergebnissen von Vollmann et al. (2000) ziemlich mittig. Hohe Temperaturen und Trockenheit während der Kornfüllungsphase führten in Versuchen zu erhöhten Ölgehalten. Der Ölgehalt war mit der Temperatur positiv korreliert (Dornbos und Mullen, 1992; Wolf et al., 1982).

Die grafische Darstellung der Proteingehalte ist in Abb. 34 zu finden. Dabei gibt es keinen signifikanten Einwand gegen die Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf den Proteingehalt der Sojakörner.).

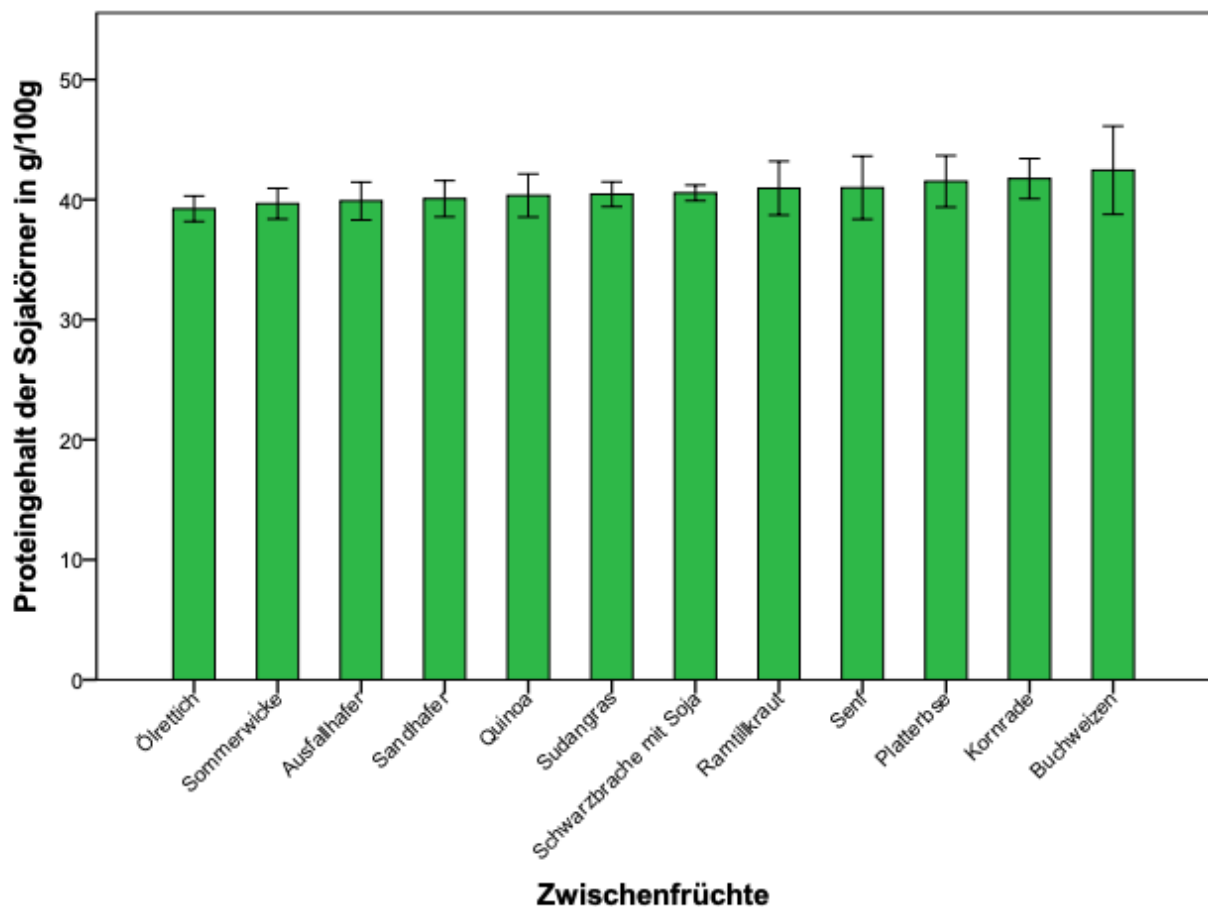


Abb. 34: Mittelwerte der Proteingehalte der Sojakörner in g/100g nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Die Sojaparzellen nach Buchweizen weisen dabei den höchsten Proteingehalt mit einem Mittelwert von 42,5 g/100g auf. Der niedrigste Wert wurde nach Ökrettich ermittelt (39,2 g/100g). Der Durchschnitt über alle Zwischenfrüchte hinweg liegt bei 40,6 g/100g.

Versuche in Deutschland zeigten sehr ähnliche Proteingehalte. Die Schwankungsbreite der Mittelwerte war dabei ebenfalls gering (40 – 42 g/100g) (Urbatzka et al., 2016). Mittlere Temperaturen in der Kornfüllungsphase haben in Versuchen zuerst zu einem kleinen Abfall der Proteingehalte bei Soja geführt. Erst besonders hohe Temperaturen (33°C Tag/28°C Nacht) führten zu einem starken Anstieg des Proteingehalts. Auch in der Proteinzusammensetzung wurden Änderungen festgestellt (Wolf et al., 1982). In einem mehrjährigen Versuch auf den Feldern der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf wurden bei verschiedenen Sojasorten Proteingehalte von 30 g/100 g bis 43 g/100 g beobachtet. Die hohen Proteingehalte wurden dabei in den Jahren mit den niedrigsten Niederschlägen während der Vegetationsperiode der Sojapflanzen gemessen (Vollmann et al., 2000). Diese Ergebnisse aus der Literatur können mit den vorliegenden Beobachtungswerten bestätigt werden.

Die Ergebnisse des Zuckergehalts der Sojakörner sind in Abb. 35 zu finden. Die Nullhypothese (H_0 = Die Zwischenfrucht hat keinen Einfluss auf den Zuckergehalt der Sojakörner.) kann dabei nicht abgelehnt werden.

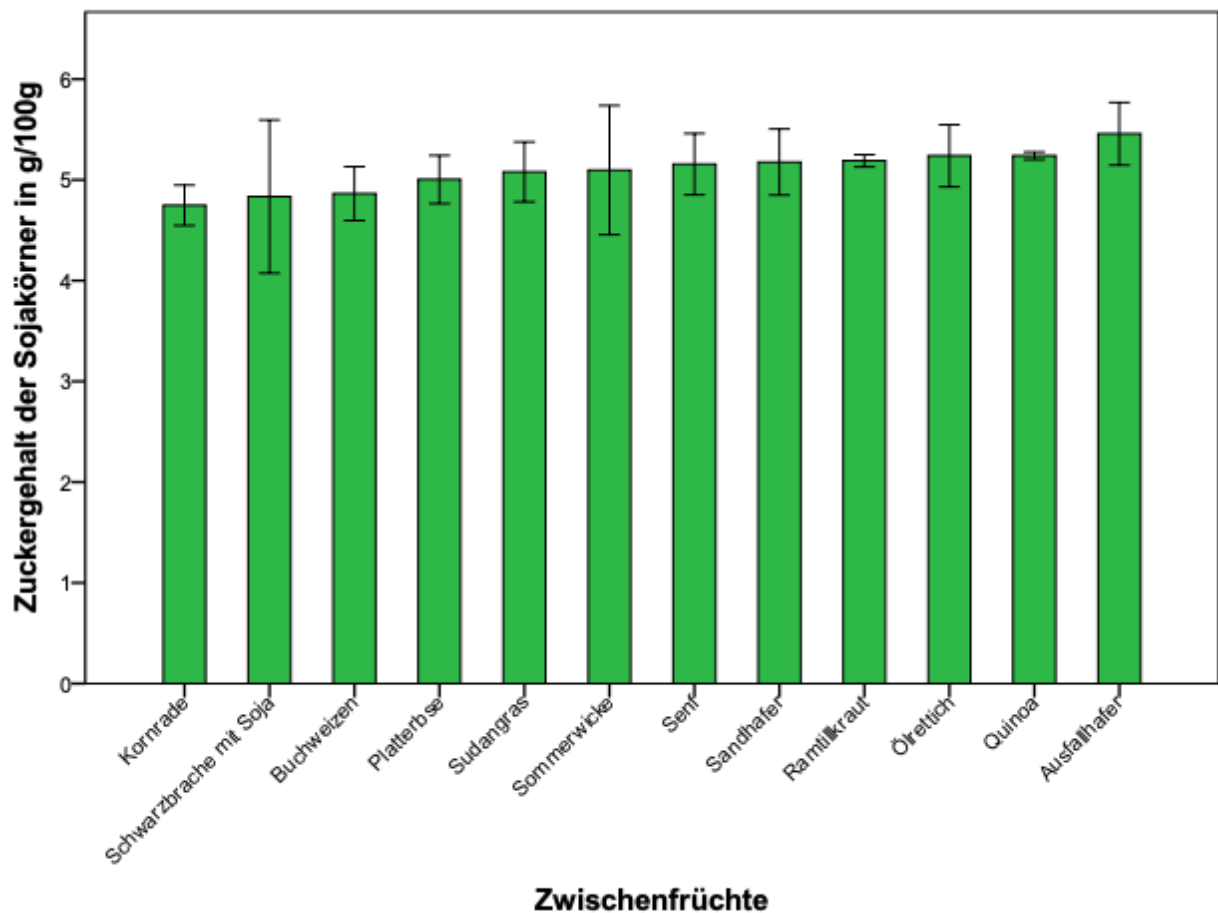


Abb. 35: Mittelwerte der Zuckergehalte der Sojakörner in g/100g nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.

Der mittlere Zuckergehalt betrug in diesem Versuch 5,1 g/100g. Die Mittelwerte reichen dabei von 4,7 g/100g nach Kornrade bis 5,5 g/100g nach Ausfallhafer.

Der Zuckergehalt war in Versuchen negativ mit der Temperatur in der Kornfüllungsphase korreliert. Bei Temperaturen von 30°C am Tag und 25°C in der Nacht lag er zwischen 4 und 5 g/100g. Niedrigere Temperaturverhältnisse führten zu höheren Zuckergehalten bis zu 8 g/100g (Wolf et al., 1982). Bei einem anderen Versuch wurden Zuckergehalte von 1,5 bis 10,5 g/100g beobachtet (Hou et al., 2009). Der beobachtete mittlere Zuckergehalt liegt daher im mittleren Bereich der in der Literatur beschriebenen Werte. Die Zuckergehalte in Sojabohnen variieren je nach Sorte stark. Proteinreiche Sorten weisen dabei generell niedrige Zuckergehalte auf (Taira, 1990). Eine signifikant negative Korrelation von Zuckergehalt und Protein wurde auch in einem anderen Versuch beobachtet (Hartwig et al., 1997). Aufgrund der vergleichsweise hohen Proteingehalte im vorliegenden Versuch ist daher auch mit keinen besonders hohen Zuckergehalten zu rechnen gewesen.

5. Schlussfolgerung

Im Herbst konnten unter allen Zwischenfrüchten sowohl höhere Bodenfeuchten als auch niedrigere Bodentemperaturen im Vergleich zu den beiden Schwarzbrachen beobachtet werden. Im Frühjahr waren weder auf die Bodenfeuchte noch auf die Bodentemperatur Auswirkungen der Zwischenfrüchte erkennbar.

Bei den Biomasseerträgen der Zwischenfrüchte konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden. Senf und Ölrettich sind dabei hervorzuheben, da sie die höchsten Biomasseerträge lieferten und dadurch auch in der Lage waren, den Durchwuchshafer entsprechend zu unterdrücken. Die meisten der verwendeten Zwischenfrüchte konnten eine derart hohe Konkurrenzkraft nicht aufweisen. Eine bessere Saatbettbereitung hätte dies wohlmöglich verbessern können. Das bestehende Anbaurisiko von Zwischenfrüchten in Reinsaat darf dennoch nicht außer Acht gelassen werden.

Senf und Ölrettich waren zudem in der Lage, bedeutende Mengen an Nitrat im Herbst aus dem Boden aufzunehmen. Die dadurch verminderte Gefahr des Nitratreintrags ins Grundwasser stellt einen wichtigen Vorteil des Zwischenfruchtanbaus dar.

Es gibt Hinweise darauf, dass der Zwischenfruchtanbau vor Sojabohnen im Vergleich zur Schwarzbrache keine Nachteile im Kornertrag bei Soja mit sich bringt. Obwohl die Kornerträge nach den meisten Zwischenfrüchten im durchgeführten Feldversuch im Vergleich zur Schwarzbrache höher waren und obwohl bei den Biomasseerträgen der Zwischenfrüchte starke Unterschiede beobachtet wurden, konnten keine signifikanten Unterschiede bei den Sojaerträgen festgestellt werden.

Aufgrund des beobachteten Spinnmilbenbefalls nach Kornrade ist eine Verwendung dieser Art als Zwischenfrucht vor Soja kritisch zu sehen. Weitere Versuche sind aber erforderlich, um diese Beobachtungen zu bestätigen.

Besonders die niedrigen Biomasseerträge der Zwischenfrüchte, die auf die Haferkonkurrenz zurückzuführen sind, die schwache Bestandesentwicklung und auch das niedrige Ertragsniveau bei Soja aufgrund der Trockenheit stellten im Hinblick auf die Interpretation der Ergebnisse Schwierigkeiten dar. Aufgrund dieser zahlreichen Einflussfaktoren und der Wetterabhängigkeit sind mehrjährige Versuche erforderlich, um die Zwischenfruchteffekte auf den Sojaertrag verlässlicher beurteilen zu können.

Abschließend ist zu betonen, dass der Anbau von Zwischenfrüchten vor Soja zahlreiche Vorteile mit sich bringt. In einer ganzheitlichen Betrachtung ist neben dem Kornertrag unter anderem der Schutz vor Erosion und Nitratauswaschung zu berücksichtigen.

6. Literaturverzeichnis

- AgrarMarkt Austria (2019) Getreide und Ölsaaten in Österreich - Anbauflächen, Durchschnitts- und Gesamterträge, Marktleistung. https://www.ama.at/getattachment/506c4c6b-cd7f-484a-a13f-59ca8d7e60b4/250_Getreide_Olsaaten-in-Osterreich-Anbauflache_-Ertrag_-Marktleistung.pdf (29.07.2019)
- AgrarMarkt Austria (2018) Preis- und Produktionsübersicht Österreich - Soja. https://www.ama.at/getattachment/258b8d8a-7d27-467c-9a35-f921a2aef202/Kennzahlen_Oelsaaten_AT.pdf (29.07.2019)
- AgrarMarkt Austria (2017) Daten & Fakten der AgrarMarkt Austria für den Bereich Getreide und Ölsaaten. https://www.ama.at/getattachment/a5c80710-22d2-4b08-bb00-09a558a31ac0/260_An- (14.06.2019)
- AgrarMarkt Austria (2016) Begrünung von Ackerflächen - Zwischenfruchtanbau. <https://www.ama.at/Fachliche-Informationen/Oepul/Aktuelle-Informationen/2016/Begruegung-von-Ackerflachen—Zwischenfruchtanbau> (08.07.2019)
- Alvarez, R., Steinbach, H.S., De Paepe, J.L. (2017) Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research* 170, pp 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.03.005>
- Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M. (2018) Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde, 17. überarbeite und ergänzte Auflage. Springer Spektrum, Berlin. pp 103-150.
- Bacq-Labreuil, A., Crawford, J., Mooney, S.J., Neal, A.L., Ritz, K. (2019) Cover crop species have contrasting influence upon soil structural genesis and microbial community phenotype. *Scientific Reports* 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43937-6>
- Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (2019) Sojabohne - Fruchtfolge und Bodenbearbeitung. <https://www.lfl.bayern.de/ipz/oelfruechte/062705/index.php>
- Begon, M., Howarth, R.W., Townsend, C.R. (2017) Ökologie, 3. Auflage., Springer Spektrum, Berlin Heidelberg. pp 521-566.
- Bhargava, A., Srivastava, S. (2013) Quinoa: botany, production and uses. CABI, Wallingford, Oxfordshire; Boston, MA. pp 1-102.
- Boardman, J., Poesen, J. (Eds.) (2006) Soil erosion in Europe. Wiley, Chichester; Hoboken, NJ. pp 207-209.

- BOKU – Universität für Bodenkultur Wien (2017) Department für Nutzpflanzenwissenschaften (DNW), Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf, Lage, <https://boku.ac.at/dnw/vwg/archiv-vwg/kontakt/lage/> (25.03.2019)
- Brücher, H. (1977) Tropische Nutzpflanzen: Ursprung, Evolution und Domestikation. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. p 495.
- Brust, J., Gerhards, R., Karanisa, T., Ruff, L., Kipp, A. (2011) Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. Gesunde Pflanzen 63, 191–198. <https://doi.org/10.1007/s10343-011-0263-9>
- Campbell, C.G. (1997) Grass pea: *Lathyrus sativus* L, Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. IPGRI, Rome.
- Ceccon, P., Costa, L.D., Giovanardi, R., Rogger, C. (1994) The Interaction of Sowing Date and Water Availability in Determining Plant Architecture, Fruiting Pattern and Yield Components of Soybean (*Glycine max* L. Merr.). Journal of Agronomy and Crop Science 173, pp 172–183. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1994.tb00552.x>
- Çerçioğlu, M., Anderson, S.H., Udawatta, R.P., Alagele, S. (2019) Effect of cover crop management on soil hydraulic properties. Geoderma 343, pp 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.027>
- Chatterjee, A. (2013) North-Central U.S.: Introducing cover crops in the rotation. Crops & Soils 46, pp 14–15. <https://doi.org/10.2134/cs2013-46-1-4>
- Chauhan, G.S., Joshi, O. (2005) Soybean (*Glycine max*) - The 21st century crop. Indian Journal of Agricultural Sciences 75, pp 461–469.
- Clark, A. (Ed.) (2007) Managing cover crops profitably, 3rd ed. SARE, College Park, MD. pp 90–106
- da Silva, A.F., Galon, L., Aspiazu, I., Alves, E., Concenco, G., Ramos Junior, E.U., Ribeiro Roch, P.R. (2013) Weed Management in the Soybean Crop, In: El-Shemy, H. (Hrsg.), Soybean - Pest Resistance. InTech, Rijeka. pp 85–112 <https://doi.org/10.5772/54596>
- Davis, A.S. (2010) Cover-Crop Roller–Crimper Contributes to Weed Management in No-Till Soybean. Weed Science 58, pp 300–309. <https://doi.org/10.1614/WS-D-09-00040.1>
- Dong, R., Shen, S.H., Jahufer, M.Z.Z., Dong, D.K., Luo, D., Zhou, Q., Chai, X.T., Luo, K., Nan, Z.B., Wang, Y.R., Liu, Z.P. (2019) Effect of genotype and environment on agronomical characters of common vetch (*Vicia sativa* L.). Genetic Resources and Crop Evolution. pp 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00789-3>
- Dornbos, D.L., Mullen, R.E. (1992) Soybean seed protein and oil contents and fatty acid

composition adjustments by drought and temperature. *Journal of the American Oil Chemists Society* 69, pp 228–231. <https://doi.org/10.1007/BF02635891>

Egli, D.B. (2010) Soybean yield physiology: principles and processes of yield production., In: Singh, G. (Hrsg.), *The Soybean: Botany, Production and Uses*. CABI, Wallingford, pp. 113–141. <https://doi.org/10.1079/9781845936440.0113>

EURALIS Saaten GmbH (2019) Entwicklungsstadien der Sojabohne. <https://www.euralis.de/praxis-tipps/praxis-tipps-soja/duengung/> (23.07.2019)

Europäische Kommission (2011) Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa. pp 17-18. http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com%282011%290571_/com_com%282011%290571_de.pdf (08.07.2019)

Fellenberg, G. (1997) *Umweltverschmutzung - Umweltbelastung: Ein Überblick aus ökologischer Sicht*. B. G. Teubner Stuttgart, Leipzig. p 38.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019) Production quantities of Soybeans by country. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> (24.07.2019)

Formayer, H. (2017) Aktuelle klimatische Veränderungen im Marchfeld und mögliche zukünftige Entwicklungen.

https://boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H95000/H95500/1_Fromayer__klimatische_Veraenderungen_im_Marchfeld.pdf (08.07.2019)

BMFLF (1988) Monatsberichte über die österreichische Landwirtschaft. Agrarwirtschaftliches Institut des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft (Austria). Österreichischer Agrarverlag. p 195.

Forum Bio- und Gentechnologie e.V. (2018) Gentechnisch veränderte Sojabohnen: Anbauflächen weltweit. <https://www.transgen.de/anbau/460.gentechnisch-veraenderte-sojabohnen-anbauflaechen-weltweit.html> (24.07.2019)

Freyer, B. (2003) *Fruchtfolgen: [konventionell, integriert, biologisch]: 116 Tabellen*. Ulmer, Stuttgart. pp 26-45

Freyer, B., Axmann, P. (Eds.) (2016) *Ökologischer Landbau: Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen*, 1. Auflage. Haupt Verlag, Bern. pp 456-458.

Gahleitner, G., Heinschink, K., Linder, S., Maria, R., Skidmore, T. (2019) AWI - Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten - Sojabohnen. <https://idb.awi.bmlfuw.gv.at/sojabohne.html> (29.07.2019)

George, R.A.T. (2011) *Agricultural seed production*. CABI, Wallingford, Oxfordshire; Cambridge,

MA. pp 154-156.

Getinet, A., Sharma, S.M. (1996) Niger: *Guizotia abyssinica* (L. f.) Cass, Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. IPGRI, Rome. pp 1-59.

Gisiger, L. (1965) Die Düngung im Futterbau. In: Düngung der Kulturpflanzen: Erste Hälfte. Springer Wien, pp 457-503. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8121-8>

Goldsmith, P.D. (2008) Economics of Soybean Production, Marketing, and Utilization, In: Johnson L.A., White P.J., Galloway R. (Hrsg.) Soybeans: Chemistry, Production, Processing, and Utilization. AOCS Press, Urbana. pp 117–150. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-64-6.50008-1>

Grenier, C., Bramel, P.J., Dahlberg, J.A., El-Ahmadi, A., Mahmoud, M., Peterson, G.C., Rosenow, D.T., Ejeta, G. (2004) Sorghums of the Sudan: analysis of regional diversity and distribution. Genetic Resources and Crop Evolution 51, pp 489–500. <https://doi.org/10.1023/B:GRES.0000024155.43149.71>

Grisson, C.M., Mazel, M., Sellini, A., Escande, V., Biton, J., Grison, C. (2015) The leguminous species *Anthyllis vulneraria* as a Zn-hyperaccumulator and eco-Zn catalyst resources. Environmental Science and Pollution Research 22, pp 5667–5676. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3605-1>

Grossi-de-Sa, M.F., Pelegri, P.B., Frago, R.R. (2011) Genetically Modified Soybean for Insect-Pests and Disease Control, in: Sudaric, A. (Hrsg.), Soybean - Molecular Aspects of Breeding. InTech, Rijeka. pp. 429–452.

Guinness, P., Walpole, B. (2012) Environmental systems and societies for the IB Diploma. Cambridge University Press, Cambridge. pp 239-254.

Haas, G. (2019) Organischer Landbau in Grundwasserschutzgebieten: Leistungsfähigkeit und Optimierung des pflanzenbaulichen Stickstoffmanagements. Universität Bonn.

Hammond, R.B. (1995) Timing of plowing and planting: Effects on seedcorn maggot populations in soybean. Crop Protection 14, pp 471–477. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(95\)00004-6](https://doi.org/10.1016/0261-2194(95)00004-6)

Haramoto, E.R., Gallandt, E.R. (2004) Brassica cover cropping for weed management: A review. Renewable Agriculture and Food Systems 19, pp 187–198. <https://doi.org/10.1079/RAFS200490>

Hartman, G.L., West, E.D., Herman, T.K. (2011) Crops that feed the World 2. Soybean—worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. Food Security 3, pp 5–17. <https://doi.org/10.1007/s12571-010-0108-x>

Hartwig, E.E., Kuo, T.M., Kenty, M.M. (1997) Seed Protein and its Relationship to Soluble Sugars in Soybean. Crop Science 37, p 770.

<https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700030013x>

Hartwig, N.L., Ammon, H.U. (2002) Cover crops and living mulches. *Weed Science* 50, pp 688–699. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0688:AIACCA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0688:AIACCA]2.0.CO;2)

Hayer, H., Bonnin, E., Carrouée, B., Gaillard, G., Nemecek, T., Schneider, A., Vivier, C. (2010) Designing sustainable crop rotations using Life Cycle Assessment of crop combinations. In: 9th European IFSA Symposium, 4-7 July 2010, Vienna (Austria). pp 903-911

Henson, P.R., Schoth, H.A. (1959) Vetch culture and uses. *Farmers' Bulletin* 1740. pp 4–24.

Hill, E.C., Renner, K.A., Sprague, C.L., Davis, A.S. (2016) Cover Crop Impact on Weed Dynamics in an Organic Dry Bean System. *Weed Science* 64, pp 261–275. <https://doi.org/10.1614/WS-D-15-00114.1>

Hou, A., Chen, P., Alloatti, J., Li, D., Mozzoni, L., Zhang, B., Shi, A. (2009) Genetic Variability of Seed Sugar Content in Worldwide Soybean Germplasm Collections. *Crop Science* 49, p 903. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.05.0256>

Hymowitz, T., Newell, C.A. (1981) Taxonomy of the genus *Glycine*, domestication and uses of soybeans. *Economic Botany* 35, pp 272–288. <https://doi.org/10.1007/BF02859119>

Imgraben, H., Recknagel, J. (2015) Anbauanleitung für Sojabohnen 2015. <https://www.isip.de/isip/servlet/resource/blob/9438/7e822b2f989e18c5f8fde911a3d5e87e/anbauanleitung-data.pdf> (26.07.2019)

Jäpel, W. (1966) Ein Beitrag zur Anbaumethode der Sommerwicke (*Vicia sativa*) Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe 15, pp 303–309.

Kaspar, T.C., Jaynes, D.B., Parkin, T.B., Moorman, T.B., Singer, J.W. (2012) Effectiveness of oat and rye cover crops in reducing nitrate losses in drainage water. *Agricultural Water Management* 110, pp 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.03.010>

Kaspar, T.C., Singer, J.W., Hatfield, J.L., Sauer, T.J. (2011) The Use of Cover Crops to Manage Soil, In: *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture*. pp 321-337 <https://doi.org/10.2136/2011.soilmanagement.c21>

Keller, E.R., Hanus, H., Heyland, K.-U. (Eds.) (1999) Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen, *Handbuch des Pflanzenbaues* 3. Ulmer, Stuttgart. pp 778-780

Krautzer, B., Peratoner, G., Bozzo, F. (2004) Site-specific grasses and herbs: seed production and use for restoration of mountain environments, *Plant production and protection series* 32. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome. pp 13-20

Krenchinski, F.H., Cesco, V.J.S., Rodrigues, D.M., Albrecht, L.P., Wobeto, K.S., Albrecht, A.J.P. (2018) Agronomic performance of soybean grown in succession to winter cover crops. *Pesquisa*

Agropecuária Brasileira 53, pp 909–917. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000800005>

Krist, S., Biladt, S. (2013) Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle, 2. Auflage. Springer, Wien. pp 206-213

Lambein, F., Travella, S., Kuo, Y.-H., Van Montagu, M., Heijde M., (2019) Grass pea (*Lathyrus sativus* L.): orphan crop, nutraceutical or just plain food?. *Planta* 250:821. pp 1–18. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-03084-0>

Landwirtschaftskammer Österreich (2017) Begrünung von Ackerflächen - Zwischenfruchtanbau. <https://www.lko.at/6-begrünung-von-ackerflächen-zwischenfruchtanbau+2500+2709502> (08.07.2019)

Lee, C.D., Egli, D.B., TeKrony, D.M. (2008) Soybean Response to Plant Population at Early and Late Planting Dates in the Mid-South. *Agronomy Journal* 100, p 971. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0210>

Lembacher, F., Schmiedl, J., Wasner, J. (2009) Sojabohne. https://ooe.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2015.12.04%2F1449215392012114.pdf&rn=Kulturanleitung_Sojabohne.pdf (25.07.2019)

Liebl, R., William Simmons, F., Loyd M. Wax, Edward W. Stoller (1992) Effect of Rye (*Secale cereale*) Mulch on Weed Control and Soil Moisture in Soybean (*Glycine max*). *Weed Technology* 6, pp 838–846.

Liu, X., Jin, J., Herbert, S.J., Zhang, Q., Wang, G. (2005) Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China. *Field Crops Research* 93, pp 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.005>

Luftensteiner, W. (1980) Ertragsparameter der Sojabohnensorte Evans. In: Jahrbuch 1979 der Bundesanstalt für Pflanzenbau und Samenprüfung Wien. pp 163–175.

Mahieu, S., Soussou, S., Cleyet-Marel, J.-C., Brunel, B., Mauré, L., Lefèbvre, C., Escarré, J. (2013) Local Adaptation of Metallicolous and Non-Metallicolous *Anthyllis vulneraria* Populations: Their Utilization in Soil Restoration: Adaptation of a Legume to Metalliferous Soils. *Restoration Ecology* 21, pp 551–559. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00927.x>

Maloney, T.S., Grau, C.R. (2001) Unconventional Approaches to combat soybean diseases, In: Proceedings of the 2001 Fertilizer, Aglime, and Pest Management Conference. Madison, Wisconsin.

Miedaner, T. (2014) Hafer – Nahrhaftes Unkraut, In: Kulturpflanzen. Springer. Berlin, Heidelberg. pp 119–135. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55293-9_5

Mishra, S.K., Verma, V.D. (2010) Soybean genetic resources. In: Singh, G. (Hrsg.) The Soybean:

Botany, Production and Uses. CABI, Wallingford, pp 74–91.
<https://doi.org/10.1079/9781845936440.0074>

Mrkovacki, N., Marinković, J., R, A. (2008) Effect of N Fertilizer Application on Growth and Yield of Inoculated Soybean. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 36. pp 48-51
<https://doi.org/10.15835/nbha36190>

Mücke, M. (2016) Mechanische Unkrautregulierung in Sojabohnen.
https://www.sojafoerderring.de/wp-content/uploads/2015/04/Soja_Unkrautregulierung_M%C3%BCcke.pdf (25.07.2019)

Munger, P., Bleiholder, H., Hack, H., Hess, M., Stauss, R., Boom, T., Weber, E. (1997) Phenological Growth Stages of the Soybean Plant (*Glycine max* L. MERR.): Codification and Description According to the BBCH Scale. *Journal of Agronomy and Crop Science* 179, pp 209–217. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1997.tb00519.x>

Murphy, K., Matanguihan, G.J. (2015) Quinoa: improvement and sustainable production. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.

Neumayr, J., Bodner, G., Summerer, H., Ecker, F., Rosner, J., Kaul, H.-P. (2006) Einfluss von Zwischenfrüchten auf Entwicklung und Ertrag von Zuckerrübe, In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel- Veterinär- und Agrarwesen (Hrsg.), ALVA - 61. Jahrestagung 2006. "Tierische Lebensmittel im Spannungsfeld zwischen Genuss, Gesundheit und Risiko." St. Pölten. 22.05.2006-23.05.2006. pp 191-194.

Nuttonson, M.Y. (1961) A survey of North African agro-climatic counterparts of Israel: A study based on official records, material and reports of various agencies of the United Nations and several national administrations. American Institute of Crop Ecology. Washington. p 523

OECD (2015) OECD-Studie zur Agrarpolitik. Organisation for Economic Co-operation and Development, Washington. p 83

Oehmichen, J., Becker, F.A., Oehmichen, J. (1986) Produktionstechnik, Pflanzenproduktion. Parey, Berlin Hamburg. p 528

Oerke, E.-C. (2006) Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* 144, pp 31–43.
<https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>

Ohyama, T., Tewari, K., Ishikawa, S., Tanaka, K., Kamiyama, S., Ono, Y., Hatano, S., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Hasegawa, H., Sato, T., Tanabata, S., Nagumo, Y., Fujita, Y., Takahashi, Y. (2017) Role of Nitrogen on Growth and Seed Yield of Soybean and a New Fertilization Technique to Promote Nitrogen Fixation and Seed Yield, In: Kasai, M. (Hrsg.), Soybean - The Basis of Yield, Biomass and Productivity. InTech, Rijeka. pp 153-186 <https://doi.org/10.5772/66743>

ÖNORM L 1091 (2012) Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung von mineralischem Stickstoff durch Extraktion mit Calciumchloridlösung - Nmin-Methode

Österreichische Hagelversicherung VVaG (2019) Hagelversicherung: Wetterservice, <https://portal.hagel.at/site/index.cfm?objectid=B422D649-AE47-DA47-1A7AE378F38EE958> (29.03.2019)

Pekrun, C., Pflaum, S., Henne, U. (2011) Was ist über die Wirkung der Stoppelbearbeitung bekannt - wo fehlt es an Daten? Landtechnik Band 66 Nr 2.

Perrino, E.V., Ladisa, G., Calabrese, G. (2014) Flora and plant genetic resources of ancient olive groves of Apulia (Southern Italy). Genetic Resources and Crop Evolution 61, pp 23–53. <https://doi.org/10.1007/s10722-013-0013-1>

Pietsch, G., Starz, W., Wagentristsl, H., Freyer, B. (2006) Optimierung von Körner- und Futtererbsenanbau und -verwertung unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus im pannonischen Klimagebiet. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. pp 1–16. <https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:8ba9dcd2-99e8-48e2-8cd4-9d7521ce12ec/Gabriele%20Pietsch%20ua.%20-%20Optimierung%20von%20K%C3%B6rner-%20und%20Futtererbsenanbau%20und%20-verwertung.pdf>. (28.07.2019)

Podyma, W., Bolc, P., Nocen, J., Puchta, M., Włodarczyk, S., Lapinski, B., Boczkowska, M. (2019) A multilevel exploration of *Avena strigosa* diversity as a prelude to promote alternative crop. BMC Plant Biology 19. pp 1-19 <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1819-6>

Preuschen, G., Bernath, K. (1983) Die Kunst der Gründüngung: Voraussetzung für Bodenfruchtbarkeit. Stocker, Graz. pp 71-138

Probstdorfer Saatzucht GesmbH & CoKG (2017) Frühjahrsanbau, Sojabohne, <http://www.probstdorfer.at/index.php?url=fruehjahrsanbau/sojabohne/solena.htm> (26.03.2019).

Qi, Z., Helmers, M.J. (2010) Soil Water Dynamics under Winter Rye Cover Crop in Central Iowa. Vadose Zone Journal 9, pp 53-60. <https://doi.org/10.2136/vzj2008.0163>

Qiu, L., Chang, R. (2010) The origin and history of soybean., In: Singh, G. (Hrsg.), The Soybean: Botany, Production and Uses. CABI, Wallingford. pp. 1–23. <https://doi.org/10.1079/9781845936440.0001>

Renger, M. (2003) Sicker- und Fließzeiten von Nitrat aus dem Wurzelraum ins Grundwasser in Abhängigkeit von den Standortbedingungen, insbesondere Boden und Gestein. Universität Stuttgart. <https://doi.org/10.18419/opus-8500>

Riaz, M.N. (1999) Soybeans as functional foods. Cereal foods world 44, pp 88–92.

- Rosner, J., Klik, A. (2005) Konservierende Bodenbearbeitungssysteme: Boden-, Nährstoff- und Pestizidabträge in trockenen und mäßig feuchten Lagen Ostösterreichs. *Gesunde Pflanzen* 57, pp 179–186. <https://doi.org/10.1007/s10343-005-0092-9>
- Sato, T., Zahlner, V., Berghofer, E., Lošák, T., Vollmann, J. (2012) Near-infrared reflectance calibrations for determining sucrose content in soybean breeding using artificial reference samples. *Plant Breeding* 131, pp 531–534. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2012.01975.x>
- Schade, F., Jockusch, H. (2016) Kornrade, In: Betörend, berauschend, tödlich - Giftpflanzen in unserer Umgebung. Springer, Berlin Heidelberg. pp. 131–133. https://doi.org/10.1007/978-3-662-47190-6_33
- Schliephake, W. (2002) Vermeidung von Stickstoffverlusten durch effiziente Nährstoffverwertung. *Berichte aus der Pflanzenproduktion* 7, pp 57–62.
- Schliephake, W., Albert, E. (2003) Bericht zum Projekt “Verminderung von Nährstoffverlusten durch effiziente Nährstoffverwertung bei differenzierter Bewirtschaftung.” Vermeidung von Stickstoffverlusten 8, pp 1–70.
- Schnepf, M., Cox, C.A. (2007) Environmental benefits of conservation on cropland: the status of our knowledge. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.
- Schuster, W., Marquard, R.A. (1992) Ölpflanzen in Europa. DLG-Verlag, Frankfurt am Main. pp 79-84
- Schuster, W., Spennemann, F. (1964) Untersuchungen über den Einfluß der Standweite auf die Variabilität einiger Eigenschaften von verschiedenen Sojabohnensorten [*Glycine soja* (L)]. *Der Züchter* 34, pp 262–272. <https://doi.org/10.1007/BF00705829>
- Senthilkumaran, R., Bisht, I.S., Bhat, K.V., Rana, J.C. (2008) Diversity in buckwheat (*Fagopyrum spp.*) landrace populations from north-western Indian Himalayas. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55, 2pp 87–302. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9234-5>
- Duhoon, S.S. (2002) Niger. In: Singh, C.B., Khare, D. (Hrsg.) Genetic improvement of field crops. Scientific Publ, Jodhpur. pp 188-198.
- Singh, G., Ram, H., Aggarwal, N. (2010) Agro-techniques for soybean production, In: Singh, G. (Hrsg.) The Soybean: Botany, Production and Uses. pp 142–160.
- Singh, G., Shivakumar, B.G. (2010) The role of soybean in agriculture, In: Singh, G. (Hrsg.) The Soybean: Botany, Production and Uses. pp. 24–47.
- Smith, R., Bugg, R.L., Gaskell, M., Daugovish, O., Van Horn, M. (2011) Cover cropping for vegetable production: a grower’s handbook. Regents of the University of California, Agriculture and Natural Resources, Richmond, CA.

Speck, M. (2008) PROGRASS - Ein innovativer Ansatz zur stofflichen und energetischen Grasverwertung Ökologische und Ökonomische Vergleichsbetrachtung. GRIN Verlag GmbH, München. p 18

Stock, H.-G., Warnstorff, K., Kazmi, M. (1996) Analyse der Ertragsstruktur von Sojabohnen (*Glycine max* [L.] Merr.) auf einem Standort im mitteldeutschen Trockengebiet. Die Bodenkultur 47, pp 23–33.

Strong, W.M., Mason, M.G. (1999) Nitrogen, In: Peverill, K.I., Sparrow, L.A., Reuter, D.J. (Hrsg.) Soil Analysis: An Interpretation Manual. pp. 171–186.

Taira, H. (1990) Quality of soybeans for processed foods in Japan. Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ) 24, pp 224–230.

Taylor, H.M., Mason, W.K., Bennie, A.T.P., Rowse, H.R. (1982) Responses of soybeans to two row spacings and two soil water levels. I. An analysis of biomass accumulation, canopy development, solar radiation interception and components of seed yield. Field Crops Research 5, pp 1–14. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(82\)90002-8](https://doi.org/10.1016/0378-4290(82)90002-8)

Teasdale, J.R., Mohler, C.L. (1993) Light Transmittance, Soil Temperature, and Soil Moisture under Residue of Hairy Vetch and Rye. Agronomy Journal 85, p 673. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030029x>

Thorup-Kristensen, K., Magid, J., Jensen, L.S. (2003) Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. Advances in Agronomy 79. pp 227–302. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)79005-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)79005-6)

Turnipseed, S.G., Kogan, M. (1976) Soybean Entomology. Annual Review of Entomology 21, pp 247–282. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.21.010176.001335>

USDA (1969) United States Department of Agriculture. Sudangrass and Sorghum-sudangrass Hybrids for Forage. Farmers' bulletin 2241. pp 2-12

Unsleber, J., Kreikenbohm, C., Schätzl, R., Braun, S., Nadler, C., Reindl, A. (2018) Soja - Anbau und Verwertung. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/kooperationen/dateien/soja-anbau-verwendung_handreichung-unterricht_lfl-kooperation.pdf (30.07.2019)

Urbatzka, P., Jobst, F., Demmel, M. (2016) Praxiserfahrung, Beikrautregulierung und Mulchsaat bei Soja im ökologischen Landbau; Ergebnisse von Exaktversuchen und einer Praxisumfrage. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/praxiserfahrung-beikrautregulierung-mulchsaat-soja-oekologischer-landbau_lfl-schriftenreihe.pdf (30.07.2019)

Valkama, E., Lemola, R., Känkänen, H., Turtola, E. (2015) Meta-analysis of the effects of

undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 203. pp 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.023>

Verein Donau Soja (2016) Best practice manual for soya bean cultivation in the danube region. https://www.donausoja.org/fileadmin/user_upload/Activity/Projects/Best_Practice_Manuals/DS_BPM_2016_Main.pdf (25.07.2019)

Vollmann, J., Fritz, C.N., Wagentristsl, H., Ruckenbauer, P. (2000) Environmental and genetic variation of soybean seed protein content under Central European growing conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80. pp 1300–1306. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200007\)80:9<1300::AID-JSFA640>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200007)80:9<1300::AID-JSFA640>3.0.CO;2-I)

Vollmann, J., Walter, H., Sato, T., Schweiger, P. (2011) Digital image analysis and chlorophyll metering for phenotyping the effects of nodulation in soybean. *Computers and Electronics in Agriculture* 75. pp 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.11.003>

Wachendorf, M., Buerkert, A., Graß, R. (Eds.) (2018) *Ökologische Landwirtschaft*. Eugen Ulmer, Stuttgart. pp 21-51.

Winch, T., (2007) *Growing food: a guide to food production*. Springer, Dordrecht. pp 186-190.

Wolf, R.B., Cavins, J.F., Kleiman, R., Black, L.T. (1982) Effect of temperature on soybean seed constituents: Oil, protein, moisture, fatty acids, amino acids and sugars. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 59. pp 230–232. <https://doi.org/10.1007/BF02582182>

Zeller, F.J. (1999) Die Sojabohne (*Glycine max* (L.) Merr.): Nutzung, Genetik, Biotechnologie. *Die Bodenkultur* 50. pp 191–202.

7. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Versuchsplan der randomisierten, vollständigen Blockanlage mit drei Blöcken (Wiederholungen) Wdh = Wiederholung, EDV = Parzellennummer, ZWFR = Zwischenfruchtcode (Umschlüsselung in Tab. 1), M = Mantel _____ 17
- Abb. 2: Monatsniederschläge und mittlere Monatstemperatur in Groß Enzersdorf von Juli 2016 bis August 2017 im Vergleich zum langjährigen Mitteln (1981-2010). Datengrundlage: (Österreichische Hagelversicherung VVaG, 2019) _____ 20
- Abb. 3: Windgeschwindigkeiten nach Österreichische Hagelversicherung VVaG (2019) _____ 21
- Abb. 4: ausgewählte BBCH-Stadien der Sojabohne (EURALIS Saaten GmbH, 2019) _____ 24
- Abb. 5: Mittelwerte der Bodenfeuchtemessungen im Herbst 2016 (08.10.– 05.11.) in 0-5 cm Tiefe in Prozent geordnet nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 28
- Abb. 6: Mittelwerte der Bodenfeuchtemessungen im Frühjahr 2017 (02.03. – 01.06.) in 0-5 cm Tiefe in Prozent geordnet nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. _____ 29
- Abb. 7: Mittelwerte der Bodentemperaturmessungen im Herbst 2016 (08.10. – 05.11.) in 0-5 cm Tiefe in °C geordnet nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 30
- Abb. 8: Mittelwerte der Bodentemperaturmessungen im Frühjahr 2017 (02.03. – 01.06.) in 0-5 cm Tiefe in °C geordnet nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. _____ 31
- Abb. 9: Geschätzte Randmittel der NO₃-N Konzentration in mg/100g Boden in 0 – 90 cm Tiefe an den drei Messterminen (10.11.2016, 11.05.2017, 26.09.2017) je Zwischenfrucht. _____ 32
- Abb. 10: Geschätzte Randmittel der NO₃-N Konzentrationen in mg/100g Boden an den drei Messterminen (10.11.2016, 11.05.2017, 26.09.2017) je Messtiefe. _____ 34
- Abb. 11: Mittelwerte der NO₃-N Gehalte in kg/ha im Boden am 10.11.2016 je Messtiefe geordnet nach Zwischenfrüchten. _____ 35
- Abb. 12: Mittelwerte der NO₃-N Gehalte in kg/ha im Boden am 11.05.2017 je Messtiefe geordnet nach Zwischenfrüchten. _____ 36

- Abb. 13: Mittelwerte der $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalte in kg/ha im Boden am 03.07.2017 während der Sojavegetation in einer Tiefe von 0-20 cm geordnet nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 37
- Abb. 14: Mittelwerte der $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalte in kg/ha im Boden am 26.09.2017 (nach der Sojaernte) je Messtiefe geordnet nach Zwischenfrüchten. _____ 38
- Abb. 15: Mittelwerte der Biomasse der Zwischenfrüchte/des Ausfallhafers in kg/ha getrocknet je Zwischenfrucht vom 17.10.2016. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Die Einteilung der homogenen Untergruppen bezieht sich auf die Variable Biomasse ZWFR. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 41
- Abb. 16: Mittelwerte der C/N-Verhältnisse von ausgewählten Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 43
- Abb. 17: Mittelwerte von C und N in der Zwischenfruchtbiomasse in kg/ha. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. ____ 44
- Abb. 18: Aufgegangene Sojapflanzen pro Quadratmeter am 26.05.2017 nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. _____ 46
- Abb. 19: Mittelwerte des Blattflächenindex des Sojabestandes der beiden Messtermine (20.06.2017 und 13.07.2017) nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 47
- Abb. 20: Mittelwerte des Blattflächenindex des Sojabestandes nach Zwischenfrüchten je Messtermin (20.06.2017 und 13.07.2017). Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. _____ 48
- Abb. 21: Mittelwerte der Sojabestandeshöhe in cm nach Messzeitpunkten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 49
- Abb. 22: Mittelwerte der Sojabestandeshöhe aller Messzeitpunkte in cm nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 50
- Abb. 23: Geschätzte Randmittel der Sojabestandeshöhen aller vier Messtermine in cm nach Zwischenfrüchten. _____ 51

- Abb. 24: Sojapflanzenlängen in cm bei der Ernte nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. ____ 52
- Abb. 25: Mittelwerte der Sojabiomasse der beiden Messzeitpunkte (03.07.2017 und 22.08.2017) in kg/ha nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 53
- Abb. 26: Mittelwerte der Sojabiomasse in kg/ha vom 22.08.2017 nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 54
- Abb. 27: Mittelwerte der Sojapflanzen pro Quadratmeter bei der Ernte. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. _____ 56
- Abb. 28: Mittelwerte der Anzahl der vollen und leeren Hülsen je Sojapflanze nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Die Einteilung der homogenen Untergruppen bezieht sich auf die Variable volle Hülsen/Pflanze. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 57
- Abb. 29: Mittelwerte der Sojakörner pro Hülse nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. _____ 58
- Abb. 30: TKG in g getrocknet nach Zwischenfrüchten. Unterschiedliche Buchstaben geben die Zugehörigkeit zu verschiedenen homogenen Untergruppen an. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. _____ 59
- Abb. 31: Mittelwerte der Sojakornerträge nach Zwischenfrüchten in kg/ha getrocknet nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. _____ 61
- Abb. 32: Mittelwerte der ausgedroschenen Sojahülsen und Sojastängel in kg/ha getrocknet nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. _____ 63
- Abb. 33: Mittelwerte der Ölgehalte der Sojabohnen in g/100g nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. _____ 64
- Abb. 34: Mittelwerte der Proteingehalte der Sojakörner in g/100g nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden. _____ 65

Abb. 35: Mittelwerte der Zuckergehalte der Sojakörner in g/100g nach Zwischenfrüchten. Der Fehlerbalken gibt +/- einmal die Standardabweichung an. Nur eine homogene Untergruppe vorhanden.	66
---	----

8. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: verwendete Zwischenfrüchte	18
Tab. 2: Feste und zufällige Faktoren der durchgeführten Varianzanalysen	27
Tab. 3: BBCH-Stadien der Zwischenfrüchte am Ende der Vegetationsperiode, sortiert nach BBCH-Stadium	39
Tab. 4: Kohlenstoff- und Stickstoff-Gesamtgehalt von Zwischenfrucht und Ausfallhafer in kg/ha	44
Tab. 5: Entwicklungsstadien (BBCH) des Sojabestandes. BBCH-Stadien und Beschreibung nach (Munger et al., 1997)	45

9. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüferin/ keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht. Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandeln geahndet wird („Verwendung unerlaubter Hilfsmittel“) und weitere rechtliche Schritte nach sich ziehen kann.

Diese Arbeit wurde neben der gedruckten Version auch in elektronischer Form zur Prüfung der o.g. Erklärung bei der zuständigen Prüferin/dem zuständigen Prüfer hinterlegt.

Ort, Datum

Name, Unterschrift