

Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Abteilung Pflanzenbau

Biomasseentwicklung, Bodenstickstoffgehalt und Ertragsstruktur von Weizen und Erbse im Mischfruchtanbau

Patrick Herz, Bakk. techn.

Zur Erlangung des akademischen Grades des Diplom-Ingenieurs (Dipl.-Ing.) der
Universität für Bodenkultur Wien

Betreuung: Univ.-Prof. Dr. Hans-Peter Kaul
Univ.-Ass. Dr. Reinhard Neugschwandtner

Wien, März 2012

Danksagung

An erster Stelle möchte ich Herrn Univ.-Prof. Dr. Hans-Peter Kaul danken, dass er die Betreuung dieser vorliegenden Diplomarbeit übernommen hat. Danke für die wertvolle Unterstützung und Hilfe.

Ganz besonderen Dank gebührt Herrn Univ.-Ass. Dr. Reinhard Neugschwandtner, der mir bei der Planung dieses Versuches, der Probennahme und jeder weiteren Forschungs-, Labor-, Auswertungsarbeit Tag und Nacht tatkräftig zur Seite gestanden ist!

Ebenso bedanken möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Ivica Simonovic, der mir bei den praktischen Arbeiten am Feld eine große Hilfe war.

Abschließend möchte ich mich bei allen unterstützenden Personen des Departments für Nutzpflanzenwissenschaften bedanken.

Meiner Familie danke ich herzlich für die Unterstützung während der gesamten Dauer meines Studiums.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
2. Literaturübersicht	6
2.1. Weizen.....	6
2.1.1. Kulturansprüche.....	6
2.1.2. Saatbettbereitung.....	7
2.1.3. Aussaat.....	7
2.1.4. Ertrag.....	7
2.2. Erbse.....	8
2.2.1. Kulturansprüche.....	9
2.2.2. Aussaat.....	10
2.2.3. Ertrag.....	10
2.3. Getreide und Erbse im Mischfruchtanbau.....	10
2.3.1. Mischungseffekte.....	11
2.3.2. Mischungsvarianten.....	11
3. Fragestellung	13
4. Material und Methoden	14
4.1. Standort.....	14
4.2. Faktoren.....	14
4.2.1. Mischungsverhältnis.....	14
4.2.2. Saattermin.....	15
4.3. Versuchsanlage und Versuchsdurchführung.....	15
4.4. Untersuchungsprogramm.....	15
4.4.1. Entwicklungsstadium.....	15
4.4.2. Auswinterungsschäden.....	15
4.4.3. Bodenbedeckungsgrad.....	16
4.4.4. Oberirdische Biomasse.....	16
4.4.5. N _{min} - Gehalt im Boden.....	16
4.4.6. Ertrag und Ertragsstruktur.....	16
4.4.7. Druschverluste.....	16
4.4.8. Statistische Auswertung.....	17
4.4.9. Land Equivalent Ratio (LER).....	17
4.4.10. Monetary Advantage Index (MAI).....	17
5. Ergebnisse	19
5.1. Wetterdaten.....	19
5.2. Überwinterung der Erbse.....	20
5.3. BBCH-Stadien.....	21

5.4. Bodenbedeckung.....	24
5.5. N _{min} -Gehalt im Boden.....	26
5.6. Oberirdische Biomasse	28
5.6.1. Oberirdische Biomasse am 1. Beprobungstermin (15. März 2011).....	28
5.6.2. Oberirdische Biomasse am 2. Beprobungstermin (5. April 2011).....	30
5.6.3. Oberirdische Biomasse am 3. Beprobungstermin (27. April 2011).....	34
5.6.4. Oberirdische Biomasse am 4. Beprobungstermin (17. Mai 2011).....	36
5.6.5. Oberirdische Biomasse am 5. Beprobungstermin (8. Juni 2011).....	40
5.6.6. Oberirdische Biomasse zu den Ernteterminen	43
5.7. Erntedaten	46
5.7.1. Kornertrag.....	46
5.7.2. Ähren/Hülsen pro Quadratmeter	49
5.7.3. Tausendkorngewicht.....	51
5.7.4. Kornanzahl pro Ähre/Hülse	54
5.7.5. Kornertrag pro Ähre/Hülse	55
5.7.6. Harvestindex	57
5.7.7. Druschverluste	59
6. Diskussion	61
6.1. Ertrag, Biomassebildung und Ertragsstruktur	61
6.2. N _{min} -Gehalt im Boden.....	63
7. Zusammenfassung.....	64
8. Abstract.....	65
Abbildungsverzeichnis.....	66
Tabellenverzeichnis.....	68
Literaturverzeichnis.....	71

1. Einleitung

Der Anbau einer Getreide-Leguminosen-Mischkultur weist im Vergleich zu einer Reinsaat einige Vorteile auf: Die Leguminose schont den Stickstoffgehalt in der Bodenlösung aufgrund ihrer symbiotischen Fixierung von atmosphärischem N_2 und ihres geringen Bedarfs an anorganischer Stickstoffdüngung (Chalk et al., 1993). Das Getreide reduziert den Stickstoffgehalt in der Bodenlösung, was zu einer höheren N-Fixierleistung der Erbse führt. Somit wird der Vorrat an Boden- und Luftstickstoff in der Mischkultur effizienter genutzt (Musa et al., 2010, Neumann und Rauber, 2004). Außerdem können positive Effekte auf die Ertragsbildung aufgrund der höheren Nutzung der photosynthetisch wirksamen Lichteinstrahlung erwartet werden (Diepenbrock et al., 1999). Ebenso weisen Mischkulturen eine langfristig höhere Ertragsstabilität, eine effizientere Nutzung der begrenzten Produktionsfaktoren Licht, Wasser und Nährstoffe und einen geringeren Unkraut- und Krankheitsdruck auf (Musa et al., 2010). Ein weiterer Vorteil des Getreide-Leguminosengemenges ist der Ausgleich der schwankenden Leguminosenerträge durch das ertragsstabilere Getreide. Außerdem werden Mischungen mit geringen Getreidemengen als Stützfrucht bei Leguminosen angebaut, um die Druschverluste zu reduzieren (Kämpf et al., 1971).

2. Literaturübersicht

2.1. Weizen

Weizen (*Triticum aestivum* L.) ist die bedeutendste Kulturpflanze weltweit mit einer Anbaufläche von 214.208.000 ha. In der Europäischen Union sowie in Österreich nimmt Weizen ebenfalls den ersten Platz mit einer Anbaufläche von 24.795.000 ha bzw. 293.000 ha ein (FAO, 2009). Weizen zählt zur Familie der Gramineen, der ebenfalls die drei anderen Hauptgetreidearten Europas Roggen (*Secale cereale* L.), Gerste (*Hordeum vulgare* L.) und Hafer (*Avena sativa* L.) angehören. Der Gattung *Triticum* gehören tetraploide Formen wie z. B. der Hartweizen (*Triticum durum* L.) und hexaploide Formen wie der Weichweizen (*Triticum aestivum* L.) und der Dinkel (*Triticum spelta* L.) an. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf den mit Abstand am bedeutendsten Weichweizen.

Laut Diepenbrock et al. (1999) gibt es bei allen Getreidearten ein- bzw. überjährige Nutzung, wobei in Gebieten mit regelmäßigen Winterperioden (wie Österreich) für die überjährige Nutzung echte Winterformen vorherrschen. Winter- und Sommerformen benötigen in der Jugendphase vernalisierende, niedrige Temperaturen (+2 bis +6°C) und eine Verlängerung der Photoperiode, um in die generative Phase zu wechseln. Allerdings sind die Vernalisationsansprüche der Sommerformen und der Weichformen geringer. Außerdem sind Weichformen gut gegen Frosteinwirkungen abgehärtet, aufgrund dessen sie für den Herbst- und Frühjahrsanbau geeignet sind (Diepenbrock et al., 1999). Weizen beginnt laut Kämpf et al. (1971) knapp über 3 bis 4°C und bei einem Wassergehalt von 50% des Samengewichtes mit der Keimung. Temperaturen von 2 bis 4°C und ein Wassergehalt von 30 bis 35% sind laut Diepenbrock et al. (1999) die minimalen Voraussetzungen. Die Wurzelentwicklung beginnt mit der Bildung von drei Keimwurzeln, die ihre Lebensfähigkeit bis zum Ende der Vegetationszeit behalten können (Diepenbrock et al. 1999). Weizen ist wie alle Getreidearten ein flachwurzelnder Büschelwurzler, das heißt ohne Hauptwurzel und neigt als Winterung zu einer Bestockung von drei und als Sommerung von zwei ährentragenden Halmen (Kämpf et al., 1971).

2.1.1. Kulturansprüche

Weizen besitzt als Pflanze des wintermilden, sommerwarmen Klimas eine geringere Kälteresistenz (-22°C) als Roggen (-35°C), einen höheren Wärmebedarf, eine längere Vegetationszeit und höhere Wasseransprüche. Für eine befriedigende Kornausbildung sind ein warmes Spätfrühjahr und ausreichende Niederschläge im Juni notwendig (Kämpf et al., 1971). Ein ausreichend hoher pH-Wert und eine hohe nutzbare Feldkapazität sind Beispiele für die hohen Bodenansprüche des Weizens (Diepenbrock et al., 1999).

2.1.2. Saatbettbereitung

Ein gut abgesetztes Feld ist zur Vermeidung von Auswinterungsschäden empfehlenswert. Außerdem beugt ein etwas gröberes Saatbett Verschlammung vor, gibt der jungen Saat Windschutz und hält in schneearmen Lagen Schnee fest (Kämpf et al., 1971). Die Saatbettbereitung ändert sich auch nach der Niederschlagsersparung: Bei geringen Niederschlägen ist ein sicherer Anschluss an die Bodenfeuchtigkeit sicherzustellen, während bei höheren Niederschlägen eine ausreichende Drainagekapazität wichtig ist, um einen Wasserstau zu verhindern (Diepenbrock et al., 1999).

2.1.3. Aussaat

Die Aussaat erfolgt mittels Drillsäugerät mit 12,5 cm Reihenabstand. Die optimale Ablagetiefe beträgt zwei bis vier Zentimeter, wobei eine zu tiefe Ablage eine Schwächung der Jungpflanzen und eine zu seichte Ablage ein lückiges Auflaufen durch vorzeitiges Austrocknen und eventuell durch schädliche Einflüsse bei Anwendung eines Bodenherbizides zur Folge hat (Diepenbrock et al., 1999). Weizen ist im Vergleich zu Roggen nicht so empfindlich gegenüber tieferer Saat und feuchteren Böden beim Anbau (Kämpf et al., 1971). Die Saatstärke orientiert sich an örtlichen Erfahrungen, Beschaffenheit des Saatbettes, Krankheits- und Schädlingspotential sowie Verunkrautung. Sie bewegt sich jedoch meist zwischen 300-400 Pflanzen/m². Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2003) empfiehlt eine Aussaat von Winterweizen in der 2. und 3. Oktoberdekade mit 240-300 Körnern/m² bei optimalem Saatbett mit guter Wasserversorgung, 300-350 Körnern/m² unter mittleren und 330-370 Körnern/m² unter schlechten Bedingungen (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2003). Der Saattermin ist laut Diepenbrock et al. (1999) so zu wählen, dass Winterweizen das Drei- bis Vierblattstadium bei Eintritt der Vegetationsruhe erreicht, ab dem bereits die maximale Frostabhärtung stattfindet. Eine kräftige Vorwinterentwicklung vermindert den Getreidezystenälchenbefall, Spätsaaten hingegen reduzieren das frühzeitige Auftreten von Blatt- und Fußkrankheiten. Sommerweizen wird möglichst früh (Ende Februar-Anfang März) gesät. Seine Saatstärke ist meist höher als die Saatstärke von Winterweizen (Diepenbrock et al., 1999).

2.1.4. Ertrag

Der Durchschnittsertrag von Weizen lag im Jahr 2010 in Österreich bei 5,01 t/ha (AMA, 2011). Die Durchschnittserträge von Winterweizen lagen in den Jahren 1993-1995 in Deutschland bei 6,79 t/ha und jene von Sommerweizen bei 5,26 t/ha. Der Strohertrag spielt in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft eine untergeordnete Rolle. Der mittlere Ernteindex für Winterweizen beträgt 0,53. Der große Abstand zwischen den erzielten Erträgen und dem theoretischen Ertragspotential liegt an mangelhaften Produktionsfaktoren und ertragsschädigenden Einflüssen wie Frostschäden, Wassermangel, Lagerbildung, zu niedrigen pH-Werten, stauende Nässe, Unkrautkonkurrenz, Krankheiten, tierische Schädlinge und Anbaufehlern (Diepenbrock et al., 1999).

2.2. Erbse

Die Erbse (*Pisum sativum* L. spp. *sativum*) zählt zur Familie der Leguminosen und hat fünf Convarietäten (Diepenbrock et al., 1999):

- convar. *axiphium* (Zuckererbse): Nutzung im Gartenbau. Ernte von unreifen, grünen Samen und Hülsen. Reife Samen werden beim Kochen nicht weich.
- convar. *medullare* (Markerbse): Nutzung im Garten- und Ackerbau. Ernte der unreifen, runzeligen Samen. Reife Samen bleiben beim Kochen hart.
- convar. *medullo-saccharatum* (Zuckermarkerbse): Anbau und Nutzung wie bei der Zuckererbse.
- convar. *sativum* (Saat- oder Speiseerbse): Sie wird als Grünpflückerbse, Trockenspeiseerbse und Tierfutter verwendet. Auch reife Samen dieser Convarietät werden beim Kochen weich.
- convar. *speciosum* (Futtererbse, Peluschke): Nutzung hauptsächlich als Grünfutter, Silage oder Heu (Diepenbrock et al., 1999).

Obwohl die Erbse zu den ältesten Kulturpflanzen zählt, wurde sie erst ab dem 8. Jahrhundert in Mitteleuropa vermehrt angebaut (Kämpf et al., 1971). Heute wird sie weltweit auf 10 Mio. ha kultiviert (Diepenbrock et al., 2005) und in Österreich auf einer Fläche von 15.168 ha angebaut (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, 2010). Die Erbse nimmt somit nach Soja mit 34.400 ha den zweiten Platz unter den Körnerleguminosen ein (AMA, 2011). Jedoch ist deren Produktionsfläche seit 1999 (46.000 ha) stetig gesunken (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, 2010).

Die Erbse hat eine dünne, mitteltiefe Pfahlwurzel mit frühzeitiger Wurzelverzweigung. Wie alle Leguminosen bildet sie eine Symbiose mit Knöllchenbakterien, die Luftstickstoff (N_2) in pflanzenverfügbaren, mineralischen Stickstoff (NH_3) umwandeln. Der Spross ist im Gegensatz zur Ackerbohne nicht verfestigt und variiert bei Sorten für die Körnernutzung zwischen 65 und 100 cm Länge. Die Blätter bestehen aus dem Blattstiel (Petiolus), je zwei Nebenblättern (Stipula) und den Fiederblättern (Lamina). Es wurden normalblättrige, halbblattlose (*semilleafless*), und blattlose (*leafless*) Formen gezüchtet (Abb. 1). Die halbblattlosen Erbsen haben Nebenblätter, keine Fiederblätter, dafür mehr Ranken. Dadurch ist die Standfestigkeit erhöht, die Transpirationsfläche vermindert und trotzdem bleibt die Photosyntheseleistung nahezu unverändert, da die andern grünen Organe wie Stengelteile, Ranken und Hülsenwände die Assimilationsleistung der Laubfiedern kompensatorisch übernehmen (Diepenbrock et al., 1999).

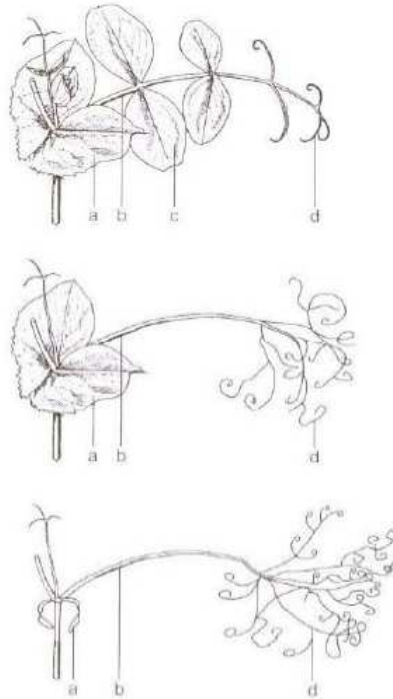


Abb.1: Blattmorphologie der Erbse. Oben: normalblättrige Erbse, Mitte: halbblattlose Erbse, unten: blattlose Erbse. a = Nebenblätter, b = Blattachse, c = Fiederblätter, d = Ranken (Diepenbrock al., 1999).

Auch bei der Erbse gibt es Winterformen. In Gebieten mit trockenen Sommern können Wintererbsen aufgrund der besseren Wasserversorgung in der vorgezogenen Blühphase höhere Erträge erzielen (Poetsch, 2006). Außerdem ist die Nährstoffauswaschung über den Winter durch die Bodenbedeckung geringer, während Wintererbsen Unkraut stärker unterdrücken und durch die frühere Blüte einen geringeren Blattlausbefall aufweisen (Hoos et al., 2005). Hebeisen und Charles (2003) hingegen ordnen Wintererbsen als etwas ertragsschwächer als Sommererbsen ein, da sie aufgrund der längeren Vegetationsperiode mehr krankheitsbedingte Ausfälle als Sommererbsen haben.

2.2.1. Kulturansprüche

Die Speise- und Saaterbse stellt ähnliche Ansprüche an das Klima wie die Sommergerste: Ein mäßig feuchtes, nicht zu warmes Klima. Wachstumshemmend wirken sich zu hohe Feuchtigkeit, schlecht durchlüftete, kalte Böden sowie längere Trockenperioden während der Blüte aus. Milde bis sandige Lehmböden mit hohem Kalkgehalt sind optimal für den Körnererbsenanbau (Kämpf et al., 1971). Die Erbse bildet weniger Trockenmasse und hat eine geringere Vegetationszeit als die Ackerbohne und daher auch einen geringeren Wasserbedarf. Die Keimung beginnt bei 1 bis 6 °C, aber ein rascherer Feldaufgang von 14 Tagen wird erst bei 10°C erzielt. Sommererbsen tolerieren im Jugendstadium Spätfröste von -4 bis -5 °C und benötigen einen Boden-pH-Wert von 6 bis 7 (Diepenbrock et al.,

1999). Wintererbsen können Temperaturen bis zu -12 °C gut überstehen. Außerdem wird ihre Kältetoleranz durch eine Schneedecke erhöht (Poetsch, 2006).

2.2.2. Aussaat

Die Aussaat von Sommererbsen erfolgt Mitte März bis Mitte April mittels Drillsaat mit 12,5 cm Reihenabstand und vier bis sechs Zentimeter Saattiefe. Es sind 70-90 Pflanzen m^{-2} anzustreben (Diepenbrock et al., 1999). Die Aussaat der Wintererbsen sollte laut Hof-Kautz (2011) Ende September bis Anfang Oktober erfolgen. Urbatzka et al. (2008) kommen zu dem Ergebnis, dass der Saattermin Anfang Oktober höhere Wintererbsenerträge sicherstellte als der Saattermin Mitte September und der Saattermin Ende Oktober. Außerdem ist die Auswinterung signifikant geringer als bei der Aussaat Mitte September (Urbatzka et al., 2008). Die Saatstärke für Wintererbsen beträgt 80 keimfähige Körner m^{-2} (Grass et al., 2009; in Kreuzer, 2010).

2.2.3. Ertrag

Die Ertragsstruktur der Körnererbse setzt sich folgendermaßen zusammen (Diepenbrock et al., 1999):

- Anzahl Pflanzen pro Fläche
- Anzahl Verzweigungstriebe (mit Hülsen) pro Pflanze
- Anzahl Hülsen pro Trieb
- Anzahl Samen pro Hülse
- Einzelsamengewicht

Die Anzahl an Pflanzen pro Fläche und die Anzahl an hülsentragenden Trieben pro Pflanze werden in einer relativ kurzen Wachstumsphase festgelegt, während die Hülsen pro Trieb über mehrere Wochen angelegt werden, so dass dieses Merkmal immer starken Schwankungen unterworfen ist. Die Samenzahl pro Pflanze ist sowie das Einzelsamengewicht relativ stark genetisch fixiert. Die Erbse hat drei bis fünf Samen pro Hülse (Diepenbrock et al., 1999). Wintererbsen erzielten beim Anbau in der Schweiz ein mehrjähriges Mittel von 5 t ha^{-1} , obwohl die Ertragsschwankungen erheblich sind (Hebeisen und Charles 2003). Allerdings schwanken laut der amtlichen Erntestatistik in Bayern die Körnererbsenerträge in den letzten 30 Jahren um die $3,5\text{ t ha}^{-1}$, obwohl in Feldversuchen weit höhere Erträge erzielt werden (Aigner, 2011).

2.3. Getreide und Erbse im Mischfruchtanbau

Getreide-Leguminosen-Mischkulturen können einen Beitrag zur Schaffung von nachhaltigen Agrarsystemen bei gleichzeitiger Maximierung der Wirtschaftlichkeit für die Landwirte leisten (Lithourgidis et al., 2011). Ein Ertragsvorteil in Mischkulturen tritt auf, wenn sich die Mischungspartner bei der Verwendung der Produktionsfaktoren unterscheiden und somit einen

besseren Gesamtnutzen der Ressourcen erzielen als beim Wachstum in Monokultur. Der Grund dafür kann die Aufnahme der Ressourcen zu unterschiedlichen Zeiten, aus unterschiedlichen Bodentiefen oder aus unterschiedlichen chemischen Formen sein (Willey, 1979; in Corre-Hellou et al., 2006). Daher wird Mischfruchtanbau vor allem in low-input-Systemen verwendet (Anil et al., 1998). Die komplementäre Nährstoffnutzung einer Mischkultur, der Gesamtertrag und der Anteil der Mischungspartner am Ertrag werden durch inter- und intraspezifische Konkurrenz, die Ressourcenverfügbarkeit, die Saatstärke und das Mischungsverhältnis bestimmt (Hauggaard-Nielsen et al., 2006). Eine komplementäre Nährstoffnutzung ist bei Getreide-Leguminosen-Gemengen stark ausgeprägt, da sie Stickstoff aus unterschiedlichen Quellen nutzen: Es nehmen zwar beide Stickstoff aus dem Boden auf, aber die Leguminose fixiert zusätzlich atmosphärischen N₂ in Symbiose mit Rhizobien (Corre-Hellou et al., 2006). Hinzu kommt, dass die Aufnahme von mineralischen Stickstoff durch das Getreide, die N-Fixierleistung der Leguminose erhöht wird (Neumann und Rauber, 2004, Musa et al., 2010).

2.3.1. Mischungseffekte

Jensen (1996; in Hauggaard-Nielsen et al., 2006) beobachtete höhere Stickstoffgehalte im Getreidekorn durch den Mischfruchtanbau mit Leguminosen. Auch Hauggaard-Nielsen et al. (2006) beschreiben eine signifikante Erhöhung des Protein- und Glutengehaltes von Weizen durch den Mischfruchtanbau mit Erbse sowie eine um 31% höhere Landnutzungseffizienz als beim Anbau in Monokultur. Kübler et al. (2006) kommen zu dem Ergebnis, dass substitutive Mischungen aus Getreide und Leguminosen ab einem Leguminosengehalt von 50% höhere Erträge erzielen als Monokulturen. Additive Mischungen hingegen produzierten keinen Mehrertrag, obwohl die Saatstärken in Summe höher waren. Pridham und Entz (2008) können keinen Mehrertrag von Getreide-Leguminosen-Mischkulturen feststellen.

Die bereits von Kämpf et al. (1971) erwähnte Stützwirkung des Getreides für die Erbse wird von Musa et al. (2010) bei Erbsen-Gersten-Mischkulturen beobachtet und trat vor allem bei gemischten und gekreuzten, aber nicht bei alternierenden Reihen auf. Außerdem stellten Urbatzka et al. (2008) eine deutlich verbesserte Mähdruschfähigkeit durch geringeres Lagern der Erbsen mit Roggen als Stützfrucht fest. Weiters sind die Blatterkrankungen des Weizens beim Mischfruchtanbau mit Erbse signifikant geringer (Pridham und Entz, 2008).

2.3.2. Mischungsvarianten

Eine weitverbreitete Getreide-Leguminosenmischkultur in der gemäßigten Klimazone ist Gerste mit Erbse. Weniger verbreitet ist Weizen mit Erbse (Ghaley et al., 2005; in Hauggaard-Nielsen et al., 2006). Lithourgidis et al. (2011) beschreiben die Weizen-Erbsen-Mischungen im Verhältnis 20:80 und Triticale-Erbsen-Mischungen mit demselben Verhältnis, als die profitabelsten Mischungen, da die Wettbewerbsindices und ökonomischen Indices eine Überlegenheit dieser Mischungen aufgrund einer

höheren Landnutzungseffizienz und einer höheren Wirtschaftlichkeit belegen. Auch Kübler et al. (2008) kommen zu dem Ergebnis, dass positive Mischungseffekte auf die oberirdische Biomasse und die Kornerträge durch die Erhöhung des Leguminosenanteils in der Mischung zunehmen. Die Mischung von Leguminosen mit Getreide, dessen Saatstärke gegenüber seiner Reinsaat nicht reduziert wurde, wies negative Mischungseffekte auf (Kübler et al., 2008). Schmitke (2011) empfiehlt für den Gemengeanbau von Erbsen 80% bis 100% der ortsüblichen Saatstärke für Sommererbsen plus 20% der ortsüblichen Saatstärke des Getreides. Hof-Kautz (2011) sieht für die halbblattlose Wintererbse eine Saatstärke von 40-80 Körnern m^{-2} gemischt mit 80-100 Körnern m^{-2} Winterroggen oder Wintertriticale als ertragsmaximierend an. Im Gegensatz dazu empfehlen Kämpf et al. (1971) höhere Getreideanteile in der Mischung: Hafer oder Sommerroggen werden mit Sommererbsen im Verhältnis von zwei Dritteln der Aussaatmenge für Erbse und einem Drittel der Aussaatmenge für Getreide bis zu zwei Dritteln der Aussaatmenge für Getreide und einem Drittel der Aussaatmenge für Erbse ausgesät.

3. Fragestellung

1) Besteht ein Mehrertrag in der Mischkultur durch bessere Ausnützung der Produktionsfaktoren Licht, Wasser und Nährstoffe?

Es wurde untersucht, ob die Faktoren Mischungsverhältnis und Anbautermin (Herbst und Frühjahr) einen Einfluss haben auf:

2a) Bodenbedeckung

2b) Biomassebildung

2d) Bodenstickstoffgehalt

3) Ertragsstruktur (Kornertrag, Strohertrag, Ernteindex, Tausendkorngewicht, Ähren/Hülsen m^{-2} , Kornzahl pro Ähre/Hülse und Korntrockenmasse pro Ähre/Hülse).

Zur Untersuchung jener Fragestellungen wurde an der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf ein Versuch angelegt, der Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist.

4. Material und Methoden

4.1. Standort

Der Versuch wurde auf den Versuchsflächen der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf in Raasdorf angelegt. Raasdorf liegt im Marchfeld und befindet sich an der westlichen Grenze des pannonischen Klimaraumes. Für diesen ist ein kontinentales Klima mit kalten, schneearmen Wintern und trockenen, heißen Sommern charakteristisch. Das langjährige Jahresmittel der Temperatur liegt bei 9,7°C und der Niederschlagsmenge bei 554 mm. Die Versuchswirtschaft befindet sich auf einer Seehöhe von 156 m und die Felder liegen in windoffenen Lagen, wodurch der Schnee im Winter sehr oft verfrachtet wird. Tschernosem ist der vorherrschende Bodentyp. Der A-Horizont besteht aus lehmigen Schluff mit einem Humusgehalt von ca. 2,5 %. Die Bodenreaktion liegt mit einem pH-Wert zwischen 7,5 und 7,6 im alkalischen Bereich. Im Herbst 2010 wurde auf der Versuchsfläche eine N_{\min} -Bestimmung vorgenommen. Die Messung ergab in einer Bodentiefe von 0-90 cm einen NO_3^- -N Gehalt von 123,7 kg ha⁻¹ (Tab. 1). Ammonium war nur in vernachlässigbaren Mengen vorhanden.

Tab. 1. Ergebnisse der N_{\min} -Bestimmung nach der Aussaat (Ziehung am 12. Oktober 2010).

Bodentiefe cm	in NO_3^- -N [kg N ha ⁻¹]
0-30	47,9
30-60	53,5
60-90	22,2
0-90	123,7

4.2. Faktoren

4.2.1. Mischungsverhältnis

In diesem Versuch wurde die Winterweizensorte Xenos, die laut AGES (2010) als „*Winterweizen registriert (auch für die Frühjahrsaussaat geeignet, ‚Wechselform, Wechselweizen‘)*“ ist, mit der französischen *semileafless* Wintererbsensorte Cherokee verwendet. Beide wurden in 1,5 m × 12 m großen Parzellen angebaut, wobei der erste und der letzte Meter nach einem Monat weggefräst wurden, wodurch sich eine Parzellengröße von 15 m² (1,5 × 10 m) ergab. Der Anbau erfolgte als Reinsaat mit 300 keimfähigen Weizenkörnern m⁻² und 80 keimfähige Erbsenkörnern m⁻² und als Mischkultur in fünf Mischungsverhältnissen vierfach wiederholt:

Reinsaaten:

- Weizen: 300 keimfähige Körner m⁻²
- Erbse: 80 keimfähige Körner m⁻²

Die Mischungen wurden als substitutives Gemenge der Reinsaatpartner in den folgenden Verhältnissen angelegt:

- $\frac{3}{4}$ Weizen (225 Körner m^{-2}) + $\frac{1}{4}$ Erbse (20 Körner m^{-2})
- $\frac{1}{2}$ Weizen (150 Körner m^{-2}) + $\frac{1}{2}$ Erbse (40 Körner m^{-2})
- $\frac{1}{4}$ Weizen (75 Körner m^{-2}) + $\frac{3}{4}$ Erbse (60 Körner m^{-2})
- $\frac{1}{8}$ Weizen (37,5 Körner m^{-2}) + $\frac{7}{8}$ Erbse (70 Körner m^{-2})

4.2.2. Saattermin

Jene oben beschriebenen Weizen- und Erbsenreinsaaten sowie die fünf Mischungsverhältnisse wurden vierfach wiederholt im Herbst (7. Oktober 2010) und Frühjahr (14. März 2011) ausgesät. Aus diesem Grund wurde ein laut AGES (2010) für die Frühjahrsaussaat geeigneter Winterweizen gewählt.

4.3. Versuchsanlage und Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde auf einer konventionell bewirtschaftenden Fläche mit Vorfrucht Wintergerste in der Vegetationsperiode 2010/2011 angebaut. Für die Bodenbearbeitung wurden ein Pflug (Bearbeitungstiefe: 30 cm) und anschließend eine Scheibenegge (Bearbeitungstiefe: 10 cm) eingesetzt. Während der gesamten Kulturdauer des Versuches erfolgten eine rein händische Unkrautbekämpfung und ein Insektizideinsatz. Es wurden 24 Doppelparzellen pro Anbautermin angelegt. Das ergab in Summe 48 Doppelparzellen. Die linke Parzelle einer Doppelparzelle wurde als Ganzes gedroschen und die rechte Parzelle diente für die Beprobungen während der Vegetationsperiode. Die Aussaat der 96 Parzellen wurde mit einer Versuchs-Drillmaschine artengemischt in einer Überfahrt durchgeführt. Die Saattiefe lag bei ca. vier Zentimeter, der Reihenabstand bei 12,5 cm.

4.4. Untersuchungsprogramm

4.4.1. Entwicklungsstadium

Während der gesamten Vegetationszeit wurde das Pflanzenstadium nach dem BBCH-Code für Erbsen und Weizen bonitiert (Tab. 2).

4.4.2. Auswinterungsschäden

Im Herbst wurden in jeder Parzelle mit Erbsen vier Meter einer Reihe mit Plastikstäbchen markiert, die Erbsenpflanzen gezählt und an der selben Stelle im Frühjahr noch einmal gezählt, um die Auswinterungsschäden zu ermitteln (Tab. 2).

4.4.3. Bodenbedeckungsgrad

Während der Vegetationszeit wurde zu mehreren Terminen von jeder Parzelle eine digitale Fotografie angefertigt. Anschließend wurden diese mit Hilfe des Bildauswertungsprogramms Sigma Scan Pro 5 analysiert. Dabei wurde der Anteil grüner Pixel an der Gesamtpixelanzahl ermittelt und in Prozent angegeben (Tab. 2).

4.4.4. Oberirdische Biomasse

Zur Bestimmung der oberirdischen Biomasse wurde jeweils die Frischmasse von 0,3 m² mit einer Schere an der Bodenoberfläche geschnitten, in Erbse und Weizen getrennt, bei 105°C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und gewogen (Tab. 2).

4.4.5. N_{min}- Gehalt im Boden

Die Bestimmung des mineralischen Stickstoffs (N_{min}) im Boden dient zur Erfassung der leicht verfügbaren Stickstoffvorräte. Dabei werden sowohl der Nitratstickstoff (NO₃⁻) als auch der Ammoniumstickstoff (NH₄⁺) erfasst. Zur Bestimmung des Mineralstickstoffgehalts im Boden wurden in jeder rechten Beprobungsteilparzelle zu fünf Terminen vier 90 cm tiefe Bohrungen genommen und deren mineralischer Stickstoffgehalt im Labor gemessen. Die Bohrungen erfolgten auf derselben Fläche, auf der zuvor die Biomasse für die Biomassebestimmung geschnitten wurde (Tab. 2).

4.4.6. Ertrag und Ertragsstruktur

Zur Bestimmung der Ernteerträge wurde von jeder rechten Beprobungsteilparzelle 1,2 m² Pflanzenmaterial geschnitten, getrocknet, in Weizen und Erbse separiert, die Ähren bzw. Hülsen gezählt, gedroschen, das Korn gewogen und das Tausendkorngewicht ermittelt. Die linke Druschteilparzelle wurde mittels Mähdrusch als Ganzes geerntet und gewogen (Tab. 2).

4.4.7. Druschverluste

Um die Druschverluste festzustellen, wurden auf jeder 15 m² großen Druschparzelle mit Erbsen als Gemengepartner oder als Reinsaat nach der Ernte mit dem Parzellenmähdrescher (Mähdrusch Winterung: 7. Juli 2011, Mähdrusch Sommerung: 15. Juli 2011) 4 ¼ m² große Rahmen gleichmäßig über die Parzelle verteilt und die ausgefallenen Erbsen oder abgeschnittenen Hülsen von Hand verlesen und nach der Trocknung verwogen. Um zu ermitteln, ob sich der Anteil der Druschverluste in den verschiedenen Mischungsvarianten und der Reinsaat unterschied, wurde der Anteil der Druschverluste am Erbsenertrag der jeweiligen Mischung bzw. Reinsaat errechnet.

4.4.8. Statistische Auswertung

Die Daten der untersuchten Merkmale wurden auf ihre Signifikanz mit dem Statistikprogramm SAS Enterprise Guide 4.2 überprüft. Mit den Werten eines jeden Beprobungstermins wurde der Student Newman Keul-Test (SNK) im Rahmen einer zweifachen ANOVA mit dem Faktor Mischungsverhältnis und Anbauermin durchgeführt. Zusätzlich wurde für jeden Biomassebeprobungstermin pro Anbauermin für jede Kultur der Student Newman Keul-Test im Rahmen einer einfachen ANOVA durchgeführt.

4.4.9. Land Equivalent Ratio (LER)

Der Land Equivalent Ratio (LER) nach Mead und Wiley (1980) wurde nach der Formel $LER = X_m/X_r + Y_m/Y_r$ errechnet. X und Y sind die einzelnen Kulturen bei Mischkultur (m) und Reinkultur (r).

4.4.10. Monetary Advantage Index (MAI)

Um die monetäre Überlegenheit der Mischkulturen in € ha⁻¹ zu ermitteln wurde der Monetary Advantage Index (MAI) nach Banik et al. (2000 in Lithourgidis et al., 2011) und Ghosh (2004; in Lithourgidis et al., 2011) verwendet: $MAI = (Y_E P_E + Y_W P_W) \times ((LER - 1)/LER)$. Y ist der Ertrag für die jeweilige Kultur und P der Preis. Als Weizenpreis wurde der Preis für Mahlweizen (min. 12,5% Proteingehalt, Fallzahl: 220) an der Wiener Börse von 25. April 2012 verwendet, der im Mittel 201,5 € t⁻¹ betrug. 220 € t⁻¹ ist laut telefonischer Auskunft am 7. Mai 2012 von Herrn DI Binder der Raiffeisen Ware Austria der gängige Marktpreis für Körnererbsen.

Tab. 2. Untersuchungsprogramm

Untersuchung	Datum
Bodenbedeckungsgrad- Fotos	15.03.2011 H, 05.04.2011, 27.04.2011, 17.05.2011, 08.06.2011
BBCH-Stadium	28.10.2010 H, 17.11.2011 H, 23.11.2010 H, 15.03.2011 H, 05.04.2011, 27.04.2011, 17.05.2011, 08.06.2011, 21.06. 2011, 04.07.2011, 13.07.2011 F
Überwinterung Erbse	23.11.2010 H, 15.03.2011 H
Biomasse	15.03.2011 H, 05.04.2011, 27.04.2011, 17.05.2011, 08.06.2011, 04.07.2011 H, 13.07.2011 F
Mineralischer Stickstoffgehalt	05.04.2011 H, 27.04.2011, 17.05.2011, 08.06.2011, 04.07.2011H, 13.07.2011 F
Ernte 1,2 m ² Winterung	04.07.2011 H
Ernte 1,2 m ² Sommerung	13.07.2011 F
Mähdrusch 15m ² Winterung	7. Juli 2011 H
Mähdrusch 15m ² Sommerung	15. Juli 2011 F
Druschverluste Winterung	7. Juli 2011 H
Druschverluste Sommerung	15. Juli 2011 F

Legende: H... nur Herbstanbau, F... nur Frühjahrsanbau.

5. Ergebnisse

5.1. Wetterdaten

Die von 1. März bis 31. Juli 2011 gemessenen Wetterdaten für Groß-Enzersdorf sind in Abbildung 3 und 4 dargestellt. Die Niederschlagssumme von 1. März bis 31. Juli betrug 260 mm und die Temperatursumme 2207 °C.

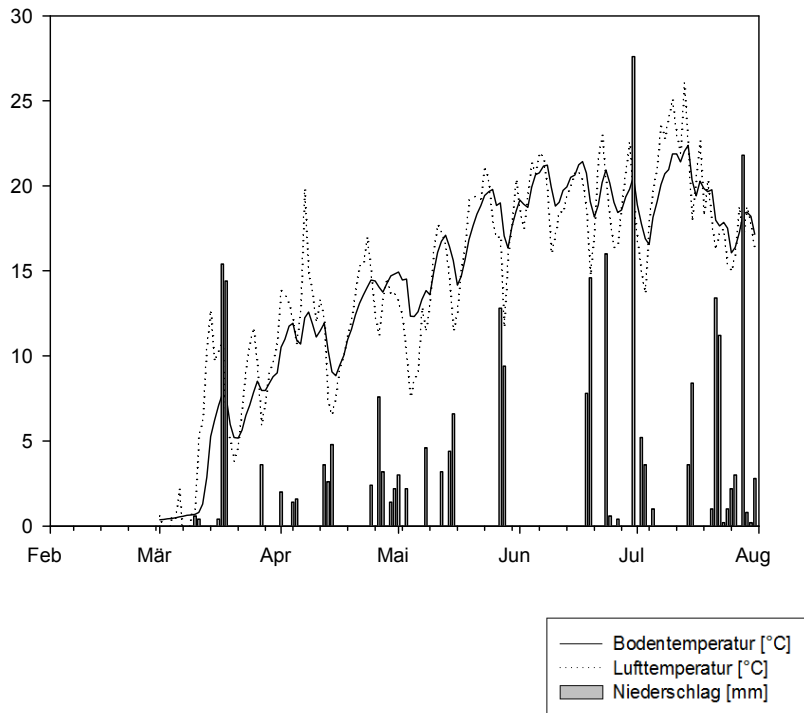


Abb. 2: Niederschlag, Boden- und Lufttemperatur vom 1. März bis 31. Juli 2011 in Groß-Enzersdorf.

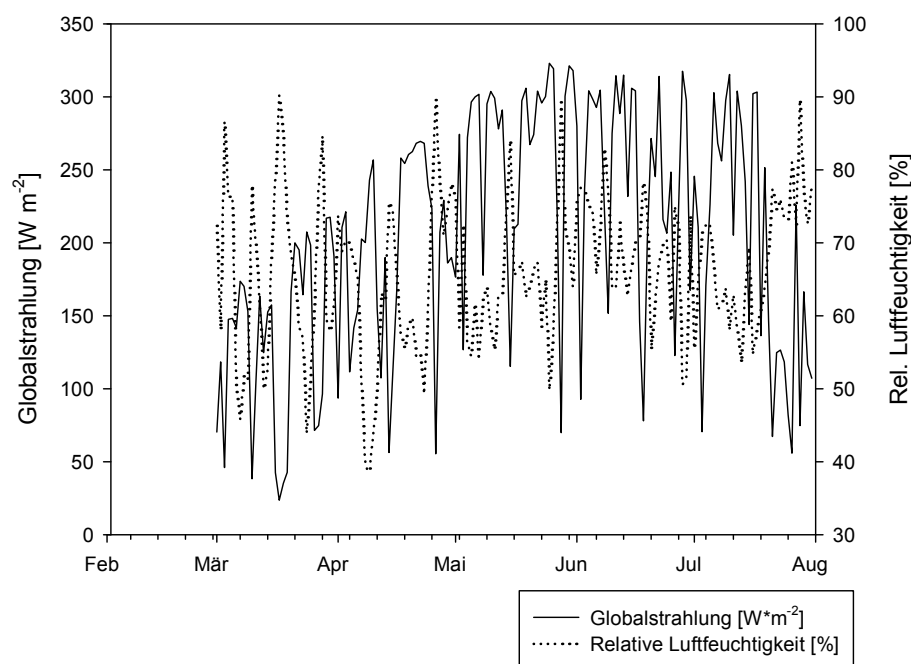


Abb. 3: Globalstrahlung und relative Luftfeuchtigkeit vom 1. März bis 31. Juli 2011 in Groß-Enzersdorf.

5.2. Überwinterung der Erbse

Im Mittel sind 3,0% der Erbsen im Herbstanbau ohne signifikante Unterschiede aufgrund des Mischungsverhältnisses ausgewintert.

Tab. 3. Ergebnis der einfachen ANOVA für die ausgewinterten Erbsen der einzelnen Mischungsvarianten im Herbstanbau (SNK).

Mischungsverhältnis	ausgewinterte Erbsen
100% Erbse	1,25 ^a
75% Weizen/25% Erbse	0,75 ^a
50% Weizen/50% Erbse	1,5 ^a
25% Weizen/75% Erbse	0,75 ^a
12,5% Weizen/87,5% Erbse	1 ^a
<i>ANOVA GLM</i>	
<i>Mischungsverhältnis</i>	<i>n. s.</i>

Signifikanzniveau: $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***)

5.3. BBCH-Stadien

Der Entwicklungsverlauf (BBCH-Stadien) von Weizen und Erbse im Herbstanbau ist in Abbildung 4 dargestellt. Am 7. Oktober 2010 wurden Weizen und Erbse als Winterung ausgesät. Am 22. November 2010 hatte Weizen das Zweiblattstadium (BBCH 12) und Erbse das Vierblattstadium (BBCH 14) erreicht. Am 15. März 2011 hatte Weizen bereits einen Bestockungstrieb (BBCH 21) und Erbse war im Fünfblattstadium (BBCH 15). Am 5. April 2011 begann der Weizen zu schossen (BBCH 30) und die Erbse war im Siebenblattstadium (BBCH 17), worauf Weizen am 27. April 2011 bereits im Zweiknotenstadium (BBCH 32) war, während sich die Erbse am Ende der Entwicklung der Blütenanlagen befand (BBCH 59). Am 17. Mai 2011 öffnete sich die Blattscheide des Fahnenblattes bei Weizen (BBCH 43) und die Erbse befand sich in der Vollblüte (BBCH 65). Am 8. Juni 2011 hatte Weizen das Stadium „frühe Teigreife“ (BBCH 83) erreicht, während sich die Erbse in der Grünreife befand (BBCH 79). Am 21. Juni befand sich Weizen noch immer in der frühen Teigreife (BBCH 83) und die Erbse hingegen schon in der Totreife (BBCH 97). Für die Erbse wäre dies der optimale Erntezeitpunkt, jedoch nicht für Weizen. Daher wurde mit der Ernte bis 4. Juli 2011 gewartet, wo sich Weizen in der Vollreife (BBCH 89) und Erbse weiterhin in der Totreife befand. Die Hülsen der Erbsen blieben platzfest, wodurch es zu keinem Kornverlust kam.

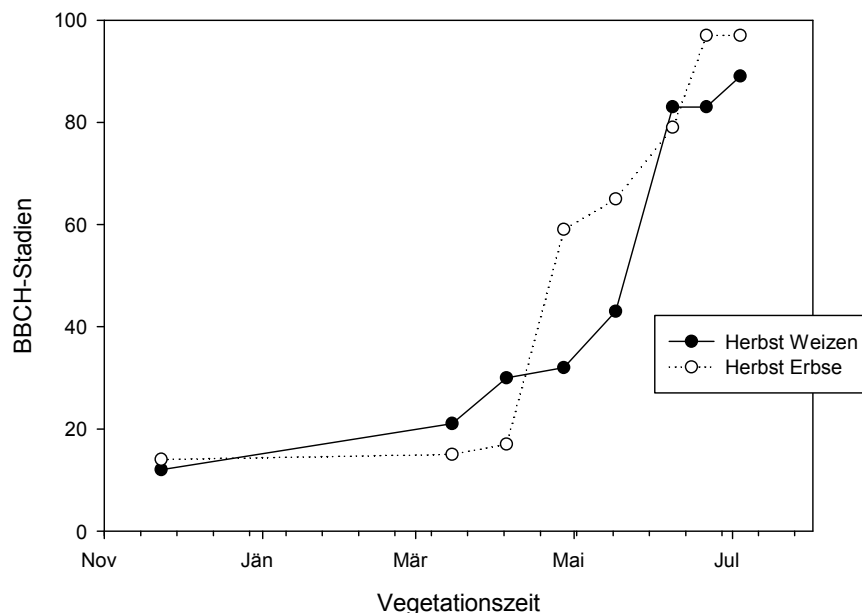


Abb. 4: BBCH-Stadien von Weizen und Erbse im Herbstanbau.

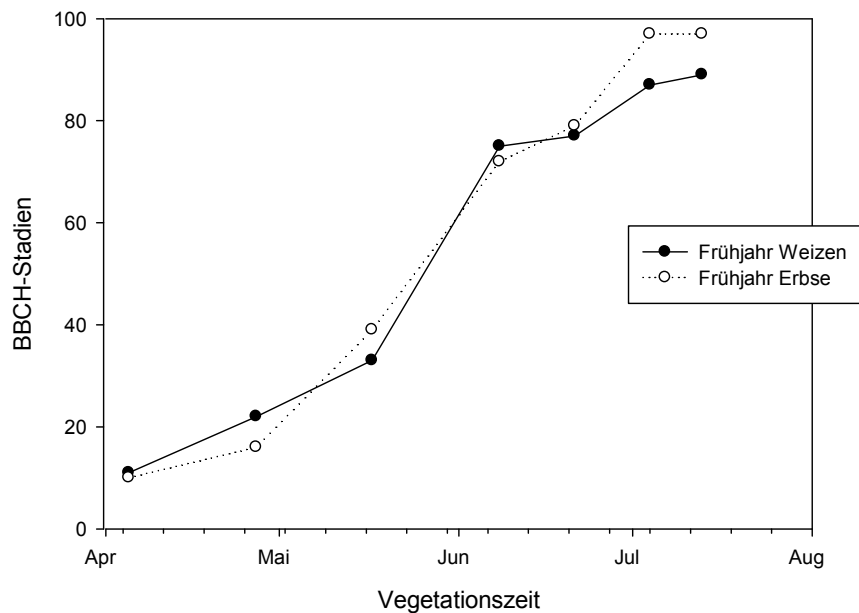


Abb. 5: BBCH-Stadien von Weizen und Erbse im Frühjahrsanbau.

Am 14. März 2011 wurden Weizen und Erbse als Sommerung ausgesät. Am 5. April 2011 war Weizen im Einblattstadium (BBCH 11) und die Erbse gerade aufgelaufen (BBCH 10). Am 27. April 2011 hatte Weizen bereits zwei Bestockungstriebe (BBCH 22) und die Erbse war im Sechsbblattstadium (BBCH 16). Am 17. Mai 2011 war Weizen im Dreiknotenstadium (BBCH 33), während die Erbse das Ende des Längenwachstums erreicht hatte (BBCH 39). Am 8. Juni 2011 befand sich Weizen in der Mitte der Milchreife (BBCH 75) und 20% der Hülsen der Erbse hatten ihre art- und sortentypische Länge erreicht (BBCH 72). Am 21. Juni 2011 hatte Weizen das Ende der Milchreife (BBCH 77) und die Erbse die Grünreife erreicht (BBCH 79). Am 4. Juli 2011 befand sich Weizen in der Gelbreife (BBCH 87) und die Erbse bereits in der Totreife (BBCH 97). Am 13. Juli erfolgte schließlich die Ernte der Sommerung, wo sich Weizen in der Vollreife (BBCH 89) und die Erbse weiterhin in der Totreife befand (BBCH 97).

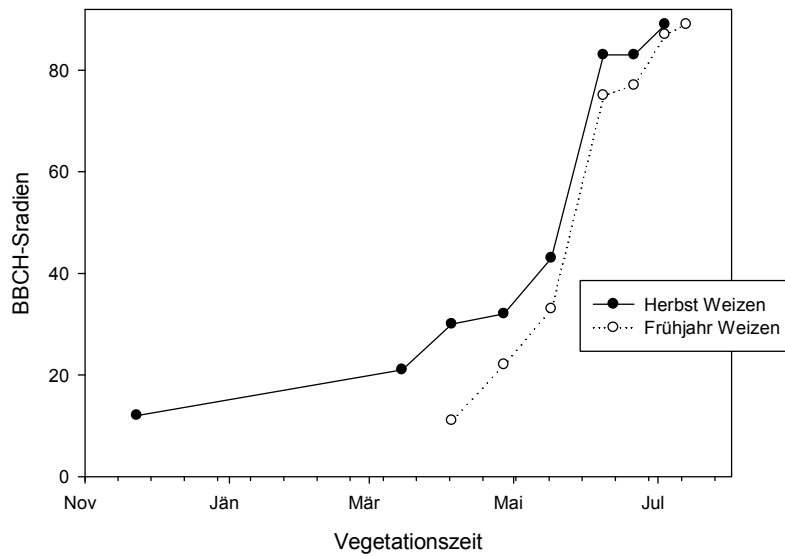


Abb. 6: BBCH-Stadien von Weizen im Herbst- und Frühjahrsanbau.

Von März bis Anfang Mai lag der Weizen im Frühjahrsanbau in der Entwicklung weit hinter dem Weizen im Herbstanbau, konnte allerdings im Mai und Juni viel aufholen und reifte mit nur neun Tagen Verzögerung zur Herbstsaussaat ab.

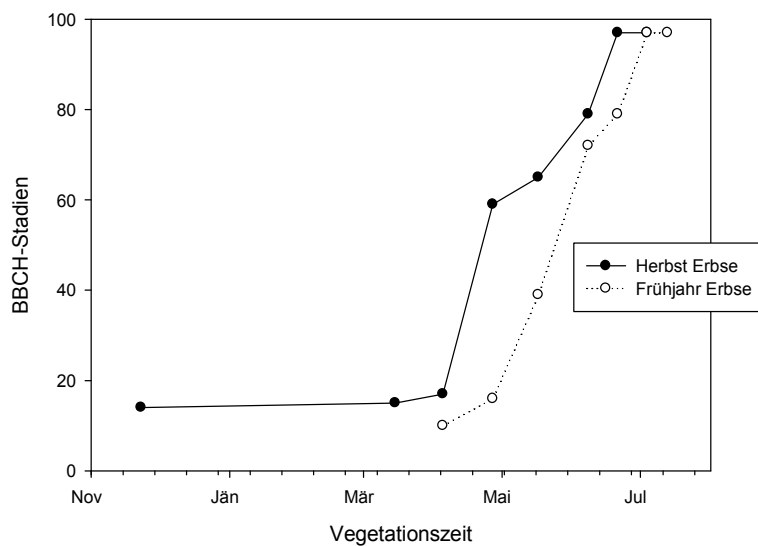


Abb. 7: BBCH-Stadien von Erbse im Herbst- und Frühjahrsanbau.

Die Erbse im Frühjahrsanbau lag bis Mitte Mai in ihrer Entwicklung hinter der Erbse im Herbstanbau, holte im Mai und Juni auf und erreichte das Stadium der Totreife, den optimalen Erntezeitpunkt am 4. Juli 2011, 13 Tage nach der Erbse im Herbstanbau (Totreife am 21. Juni 2011).

5.4. Bodenbedeckung

Die Bodenbedeckung von Weizen und Erbse ist in Abbildung 8 dargestellt.

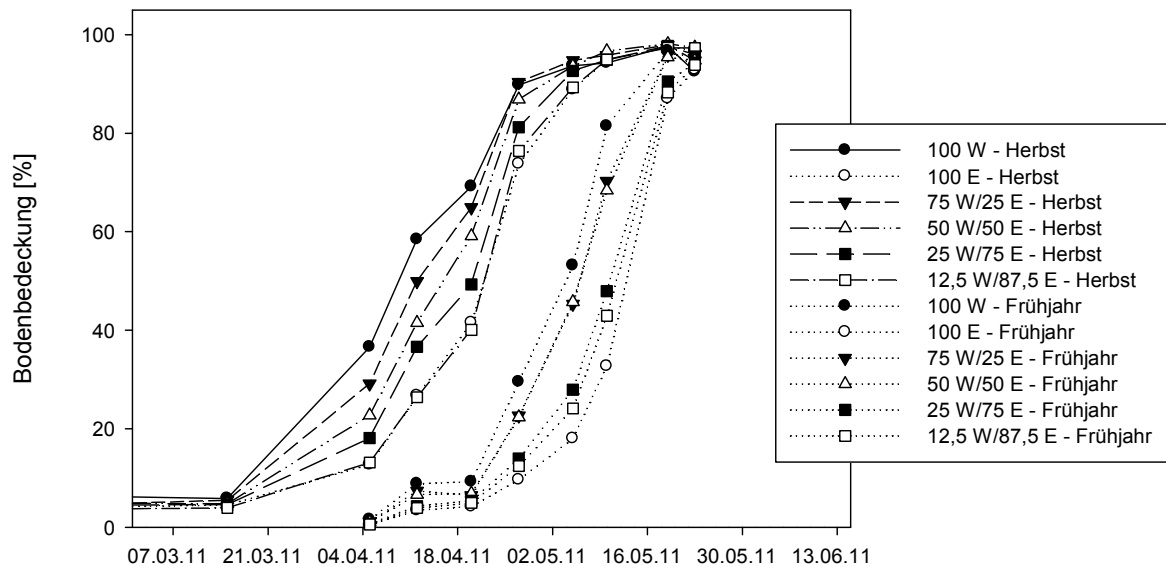


Abb. 8: Bodenbedeckung von Weizen und Erbse im Herbst- und Frühjahrsanbau.

Am Beginn der Vegetationszeit bedeckten alle Varianten des Herbstanbaues im Mittel 5% des Bodens, wobei sich nur die Weizenreinsaat von der Mischkultur mit dem geringsten Weizenanteil signifikant unterschied. Anfang April hoben sich die Varianten im Herbstanbau deutlich voneinander ab: Je höher der Weizenanteil war, desto höher war die Bodenbedeckung. Ende April erreichten die Weizenreinsaat und die zwei Mischungen mit dem höchsten Weizenanteil bereits 90 % der Bodenbedeckung, allerdings war damit nahezu das Limit erreicht und die Zunahme jener Varianten erfolgte nur noch langsam. Die weizenärmeren Mischungen hingegen nahmen weiterhin rapide zu, womit der Abstand zu den weizenstärkeren Varianten kleiner wurde. Mitte Mai lagen alle Varianten im Herbstanbau und die drei weizenstärksten Varianten im Frühjahrsanbau mit 98% Bodenbedeckung gleichauf. Die zwei weizenschwächsten Mischungen und die Erbsenreinsaat im Frühjahrsanbau bildeten mit 87-90% Bodenbedeckung das Schlusslicht. Erst am 23. Mai erreichten auch diese Varianten eine vollständige Bodenbedeckung.

Die Bodenbedeckung der Sommerungen begann Anfang April mit 1% und stieg bis zur Monatsmitte langsam an. Dann begann ein rasanter Anstieg der Bodenbedeckung mit signifikanten Unterschieden zwischen den weizenreicheren und weizenärmeren Varianten, der von der Weizenreinsaat mit 30% Bodenbedeckung Ende April angeführt wurde. Die Winterungen hatten zu diesem Zeitpunkt bereits 90% der Bodenbedeckung erreicht. Der Unterschied zwischen der Weizenreinsaat, den weizenreichen und den weizenarmen Mischungsvarianten war am 10. Mai am größten: Die Weizenreinsaat bedeckte

80% des Bodens, gefolgt von den zwei weizenreichsten Mischungen mit 70% Bodenbedeckung und weit darunterliegend die zwei weizenärmeren Mischungen und die Erbsenreinsaat mit 30-50% Bodenbedeckung. Schließlich erreichten Ende Mai auch alle Varianten im Frühjahrsanbau nach rasantem Anstieg die vollständige Bodenbedeckung.

Die Ergebnisse der zweifachen ANOVAs sind in Tabelle 4 dargestellt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit höherem Weizenanteil die vollständige Bodenbedeckung früher erreicht wurde. Außerdem trat bei den Kulturen im Herbstanbau die vollständige Bodenbedeckung einen Monat früher ein als bei den Kulturen im Frühjahrsanbau.

Tab. 4. Ergebnisse der zweifachen ANOVAs für die Bodenbedeckung der einzelnen Mischungsvarianten im Herbst- und Frühjahrsanbau von März bis Mai 2011 (SNK).

Mischungsverhältnis	15. 3.	4. 4.	12. 4.	20. 4.	27. 4.	5. 5.	10. 5.	19. 5.	23. 5.
Weizen/Erbse									
100/0	5,9 ^a	19,0 ^a	33,6 ^a	39,2 ^a	59,7 ^a	73,4 ^a	87,9 ^a	97,1 ^a	93,1 ^a
0/100	4,5 ^{ab}	6,6 ^c	15,1 ^c	22,9 ^c	41,7 ^b	53,4 ^c	63,8 ^b	92,2 ^b	95,0 ^a
75/25	5,5 ^{ab}	15,1 ^{ab}	28,7 ^{ab}	35,7 ^{ab}	56,5 ^a	70,0 ^a	83,0 ^a	96,9 ^a	95,3 ^a
50/50	4,8 ^{ab}	11,9 ^{bc}	24,0 ^{bc}	33,0 ^{ab}	54,6 ^a	69,7 ^a	82,5 ^a	96,8 ^a	96,1 ^a
25/75	4,6 ^{ab}	9,4 ^{bc}	20,5 ^{bc}	27,3 ^{bc}	47,6 ^b	60,3 ^b	71,4 ^b	94,1 ^b	95,1 ^a
12,5/87,5	3,9 ^b	6,9 ^c	15,1 ^c	22,5 ^c	44,4 ^b	56,7 ^{bc}	68,9 ^b	92,8 ^b	95,6 ^a
Anbauermin									
Herbst	5,0	22,0 ^a	39,9 ^a	54,0 ^a	83,0 ^a	92,1 ^a	95,2 ^a	97,7 ^a	95,8 ^a
Frühjahr	-	0,9 ^b	5,7 ^b	6,2 ^b	18,4 ^b	35,7 ^b	57,3 ^b	92,3 ^b	94,2 ^b
<i>ANOVA GLM</i>									
<i>Anbauermin</i>	-	***	***	***	***	***	***	***	**
<i>Mischungsverhältnis</i>	*	***	***	***	***	***	***	***	<i>n. S.</i>
<i>A × M</i>	-	***	*	**	<i>n. S.</i>	***	***	***	<i>n. S.</i>

Signifikanzniveau: $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***)

5.5. N_{\min} -Gehalt im Boden

Der mineralische Stickstoffgehalt von 0-90 cm Bodentiefe wird in Abbildung 9 dargestellt. Während der gesamten Vegetationszeit traten keine feststellbaren Mengen an NH_4^+ -Stickstoff auf. Der mineralische Stickstoffgehalt ist somit dem Gehalt an NO_3^- -Stickstoff gleichzusetzen. Eine Woche nach der Herbstaussaat (12. Oktober 2010) war das Mittel an mineralischem Stickstoff über alle Parzellen $143,7 \text{ kg N ha}^{-1}$. Am 5. April 2011 lagen die mineralischen Stickstoffgehalte in den Parzellen des Anbautermins Herbst zwischen 82 und 154 kg N ha^{-1} . Der Stickstoffgehalt in der Erbsenreinsaat und einer erbsenreichen Mischung (25% Weizen/75% Erbse) war mit $60-70 \text{ kg N ha}^{-1}$ Differenz bereits signifikant höher als in der Weizenreinsaat. Ab 27. April verringerte sich die Geschwindigkeit der Bodenstickstoffabnahme bei den weizenreichen Mischungen. Die erbsenreichen Mischungen hinterließen wie auch die erbsenarmen Mischungen mineralischen Stickstoff im Boden von $15-19 \text{ kg N ha}^{-1}$. Lediglich die Erbsenreinsaat hinterließ einen signifikant höheren Gehalt von 43 kg N ha^{-1} zur Ernte. Dieselbe Reihung an N_{\min} -Gehalten wurde nach der Ernte in den Varianten des Frühjahrsanbaues gemessen.

Der Verlauf der mineralischen Bodenstickstoffgehalte in den Sommerungen war dem der Winterungen ähnlich. Außerdem bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stickstoffmengen nach der Ernte aufgrund der beiden Anbautermine. Die Erbsenreinsaat hinterließ die signifikant höhere, größte mineralische Stickstoffmenge von 50 kg N ha^{-1} . Die anderen Anbauvarianten hinterließen zwischen 24 und 14 kg N ha^{-1} ohne signifikante Unterschiede.

Die Ergebnisse der zweifachen ANOVAs sind in Tabelle 5 dargestellt.

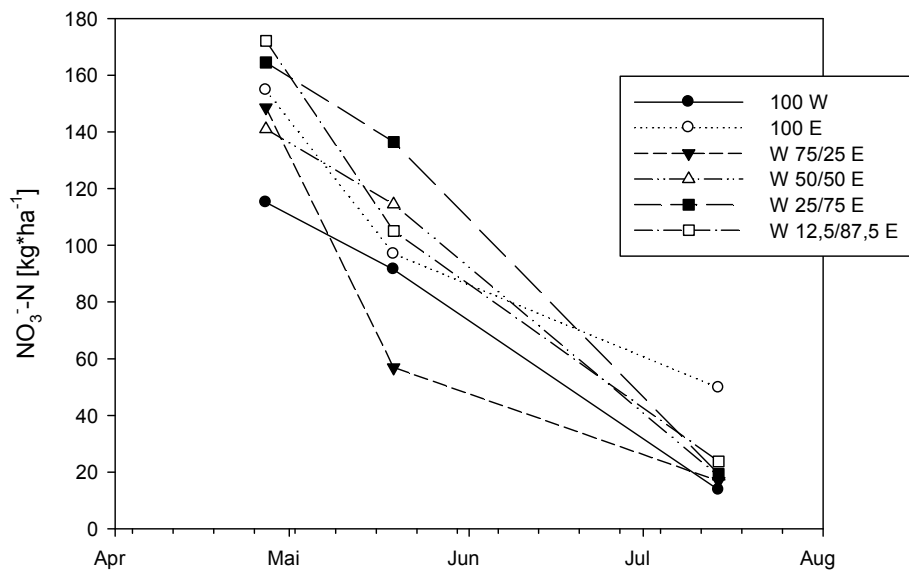
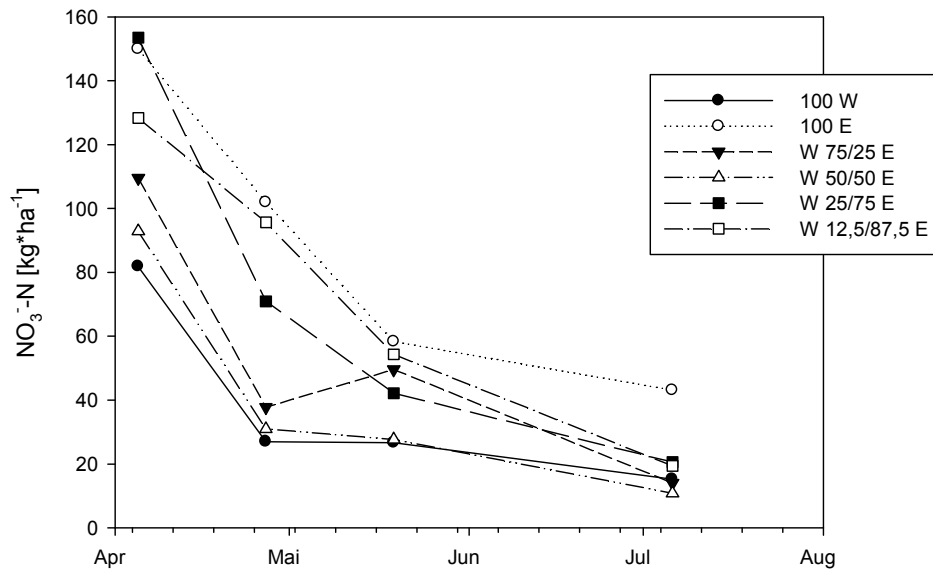


Abb. 9: N_{min} -Gehalte von 0-90 cm Bodentiefe aller Varianten im Herbst- und Fröhjahrsanbau.

Tab. 5. Ergebnisse der zweifachen ANOVAs für die N_{\min} -Gehalte der einzelnen Mischungsvarianten im Herbst- und Frühjahrsanbau von April bis Juli 2011 (SNK).

Mischungsverhältnis	5. April 2011	27. April 2011	19. Mai 2011	4. Juli (Winterung) 13. Juli (Sommerung) 2011
Weizen/Erbse				
100/0	91,8 ^b	71,0 ^c	59,0 ^a	14,5 ^b
0/100	150,0 ^a	128,3 ^a	77,6 ^a	46,4 ^a
75/25	109,5 ^{ab}	93,2 ^{bc}	53,2 ^a	15,4 ^b
50/50	92,6 ^b	86,0 ^c	71,0 ^a	14,7 ^b
25/75	153,5 ^a	117,7 ^{ab}	89,3 ^a	20,0 ^b
12,5/87,5	128,3 ^{ab}	133,9 ^a	79,7 ^a	21,6 ^b
Anbauermin				
Herbst	119,3	60,7 ^b	43,1 ^b	20,5 ^a
Frühjahr	-	149,3 ^a	100,2 ^a	23,7 ^a
<i>ANOVA GLM</i>				
<i>Anbauermin</i>	-	***	***	<i>n. s.</i>
<i>Mischungsverhältnis</i>	**	***	<i>n. s.</i>	***
<i>A × M</i>	-	<i>n. s.</i>	<i>n. s.</i>	<i>n. s.</i>

Signifikanzniveau: $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***)

5.6. Oberirdische Biomasse

5.6.1. Oberirdische Biomasse am 1. Beprobungstermin (15. März 2011)

Zu diesem Beprobungstermin waren die Kulturen des Frühjahrsanbaus noch nicht gekeimt, daher ist nur die Biomasse des Herbstanbaus angegeben. In diesem frühen Entwicklungsstadium (Weizen BBCH 21, Erbse BBCH 15) war die Erbsenbiomasse in der Reinsaat und allen Mischungen höher als die Weizenbiomasse. Für Weizen bestand der klare Trend, dass seine Biomasse zu diesem

Beprobungstermin leicht unterproportional zu seiner Saatstärke ausgeprägt war, während die Biomasse der Erbse in den beiden erstgenannten Varianten überproportional und in den letzten beiden unterproportional zur Saatstärke vertreten war (Abbildung 10, Tabelle 6). Die Werte wurden ebenfalls mit einer einfachen ANOVA verrechnet (Tab. 6).

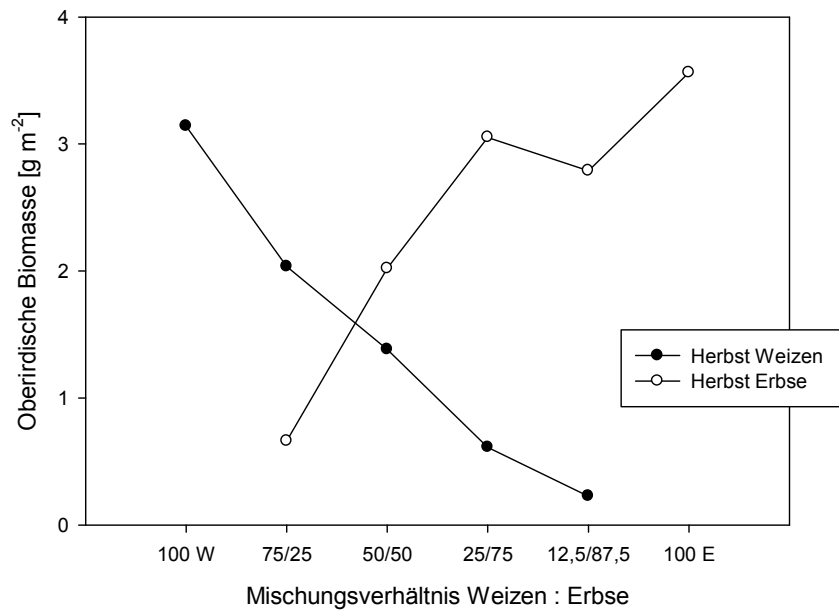


Abb. 10: Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse am 15. März 2011.

Tab. 6. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischung im Verhältnis zur Reinsaat im Herbstanbau am 15. März 2011 (ANOVA, SNK).

Mischungsverhältnis	Weizen Herbst [g m ⁻²]	Weizen Herbst (%)	Erbse Herbst [g m ⁻²]	Erbse Herbst (%)
100 % Weizen	3,1 ^a	100	-	-
75% Weizen/ 25% Erbse	2,0 ^b	65	0,7 ^c	27
50% Weizen/ 50% Erbse	1,4 ^c	44	2,0 ^b	62
25% Weizen/ 75% Erbse	0,6 ^c	20	3,0 ^{ab}	44
12,5% Weizen/ 87,5% Erbse	0,2 ^c	7	2,8 ^{ab}	78
100% Erbse	-	-	3,6 ^a	100
p-Wert	0,0001	-	0,0003	-

5.6.2. Oberirdische Biomasse am 2. Beprobungstermin (5. April 2011)

Die oberirdische Gesamtbio­masse von Weizen und Erbse zum zweiten Beprobungstermin (5. April 2011) ist in Abbildung 11 dargestellt. Die Weizen- und Erbsenbiomasse lag in der Reinsaat und den Mischungen zirka gleich hoch und nimmt proportional zu den Mischungsverhältnissen ab. Der Mittelwertvergleich für die Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten im Herbst- Frühjahrsanbau zum Beprobungstermin am 5. April 2011 ist in Tabelle 7 dargestellt.

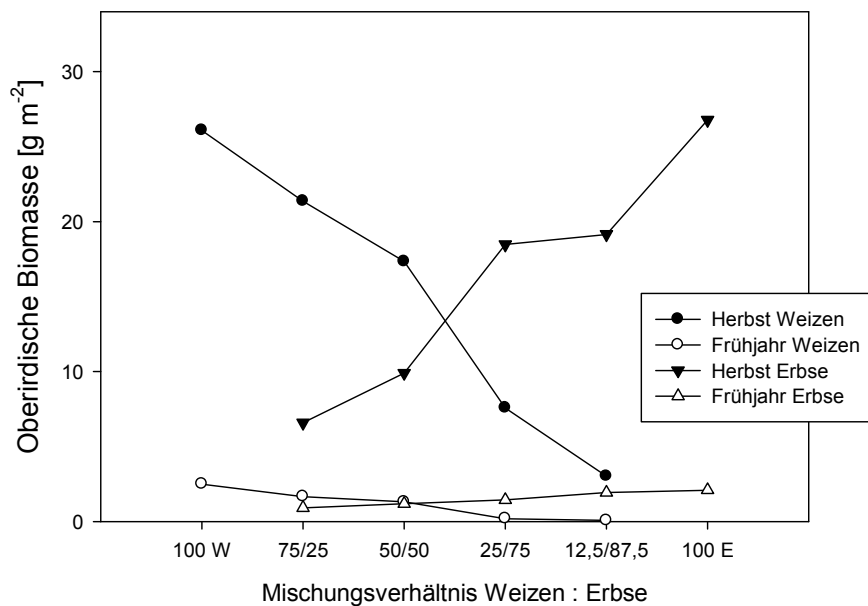


Abb. 11: Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse am 5. April 2011.

Die Werte wurden ebenfalls mit einer zweifachen ANOVA verrechnet (Tabelle 8). Die Wechselwirkung zwischen Mischungsverhältnis und Anbautermin bei Weizen bestand darin, dass die Abnahme der Weizenbiomasse mit abnehmender Saatstärke beim Anbautermin Frühjahr stärker ausgeprägt war als beim Anbautermin Herbst (Abb. 11). Die Wechselwirkung zwischen Mischungsverhältnis und Anbautermin bei der Erbse bestand aus der stärkeren Abnahme der Erbsenbiomasse mit abnehmender Saatstärke beim Anbautermin Herbst im Vergleich zum Anbautermin Frühjahr (Abb. 11).

Tab. 7. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 5. April 2011 (ANOVA, SNK).

Mischungs- verhältnis	Weizen Herbst [g m ⁻²]	Weizen Herbst (%)	Erbse Herbst [g m ⁻²]	Erbse Herbst (%)	Weizen Früh- jahr [g m ⁻²]	Weizen Frühjahr (%)	Erbse Frühjahr [g m ⁻²]	Erbse Frühjahr (%)
100 % Weizen	26,1 ^a	100	-	-	2,5 ^a	100	-	-
75% Weizen/ 25% Erbse	21,4 ^{ab}	82	6,6 ^c	25	1,7 ^b	67	0,9 ^b	44
50% Weizen/ 50% Erbse	17,3 ^{ab}	66	9,9 ^{bc}	37	1,3 ^b	53	1,2 ^{ab}	57
25% Weizen/ 75% Erbse	7,6 ^c	29	18,5 ^{ab}	69	0,8 ^c	8	1,5 ^{ab}	69
12,5% Weizen/ 87,5% Erbse	3 ^c	12	19,1 ^{ab}	71	0,6 ^c	3	1,9 ^a	92
100% Erbse	-	-	26,8 ^a	100	-	-	2,1 ^a	100
p-Wert	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-	0,0124	-

Tab. 8. Ergebnis der zweifachen ANOVA für die oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 5. April 2011 (SNK).

Anbauermin	Weizen	Erbse
Herbst	15,0 ^a	16,2 ^a
Frühjahr	1,4 ^b	1,5 ^b
Mischungsverhältnis		
100 % Weizen oder 100% Erbse	14,3 ^a	14,4 ^a
75% Weizen/25% Erbse	11,5 ^{ab}	3,8 ^c
50% Weizen/50% Erbse	9,3 ^b	5,6 ^{bc}
25% Weizen/75% Erbse	4,2 ^c	10,0 ^{ab}
12,5% Weizen/87,5% Erbse	1,8 ^c	10,5 ^{ab}
<i>ANOVA GLM</i>		
<i>Anbauermin</i>	***	***
<i>Mischungsverhältnis</i>	***	***
<i>Anbauermin × Mischungsverhältnis</i>	***	**

Signifikanzniveau: p < 0,05 (*), p < 0,01 (**), p < 0,001 (***)

5.6.3. Oberirdische Biomasse am 3. Beprobungstermin (27. April 2011)

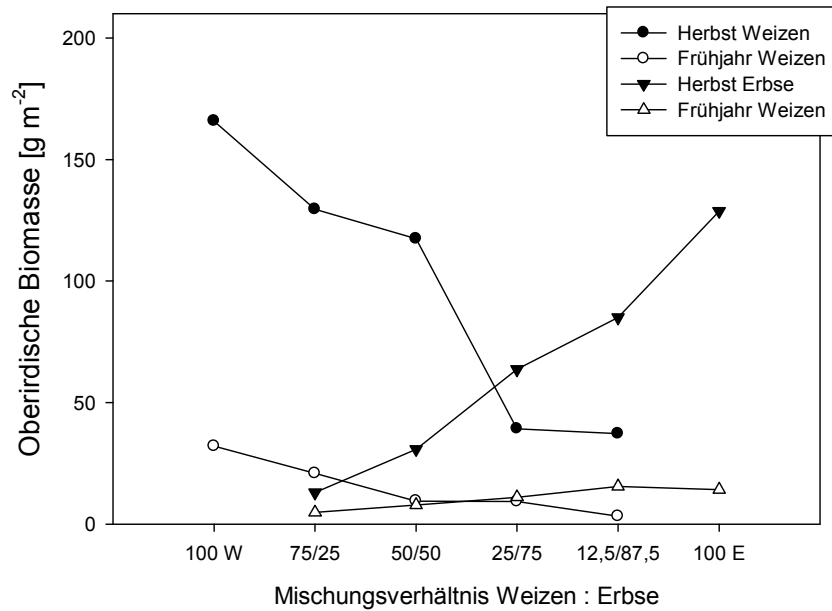


Abb. 12: Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse am 27. April 2011.

Die Weizenbiomasse in den Reinsaaten beider Anbauermine war am 27. April 2011 höher als die Biomasse der Erbsenreinsaat (Weizen: BBCH 32, Erbse: BBCH 59).

Es zeigte sich der Trend, dass die Weizenbiomasse in den Mischungen überproportional und die Erbsenbiomasse unterproportional zum Mischungsverhältnis vertreten war. Die Unterdrückung der Erbse durch Weizen hatte zu diesem Termin bereits begonnen.

Der Trend bei der Sommerung verlief folgendermaßen: Die Biomasse beider Kulturen nahm proportional zum Mischungsverhältnis ab. Die Erbse wurde zu diesem Zeitpunkt noch nicht unterdrückt. Außerdem hatte die Variante mit 12,5% Weizen/87,5% Erbse um 10% mehr Biomasse als die Reinsaat.

Tab. 9. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 27. April 2011 (ANOVA, SNK).

Mischungsverhältnis	Weizen Herbst [g m ⁻²]	Weizen Herbst (%)	Erbse Herbst [g m ⁻²]	Erbse Herbst (%)	Weizen Frühjahr [g m ⁻²]	Weizen Frühjahr (%)	Erbse Frühjahr [g m ⁻²]	Erbse Frühjahr (%)
100 % Weizen	165,8 ^a	100	-	-	32,0 ^a	100	-	-
75% Weizen/ 25% Erbse	129,5 ^a	78	12,0 ^c	10	20,9 ^b	65	4,8 ^b	34
50% Weizen/ 50% Erbse	117,4 ^a	71	30,8 ^c	24	9,5 ^c	30	7,8 ^{ab}	55
25% Weizen/ 75% Erbse	39,2 ^b	24	63,6 ^b	49	9,3 ^c	29	11,0 ^{ab}	78
12,5% Weizen/ 87,5% Erbse	37,2 ^b	22	85,0 ^b	66	3,2 ^c	3	15,5 ^a	110
100% Erbse	-	-	128,7 ^a	100	-	-	14,2 ^a	100
p-Wert	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-	0,0119	-

Die Werte wurden ebenfalls mit einer zweifachen ANOVA verrechnet. Die Wechselwirkung zwischen Mischungsverhältnis und Anbauzeitpunkt bei Weizen stellte sich wie folgt dar: Die Abnahme der Weizenbiomasse mit abnehmender Saatstärke beim Anbauzeitpunkt Frühjahr war stärker ausgeprägt als beim Anbauzeitpunkt Herbst (Abb.12). Die Wechselwirkungen zwischen Mischungsverhältnis und Anbauzeitpunkt bei Erbse bezog sich auf die Reihung der Reinsaat und der Mischung mit 87,5% Erbse und 12,5% Weizen im Herbst und Frühjahrsanbau: Im Herbstanbau hatte die Reinsaat eine höhere Biomasse, während im Frühjahrsanbau die Mischung hinsichtlich Biomasse die Reinsaat übertraf.

Tab. 10. Ergebnis der zweifachen ANOVA für die oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 27. April 2011 (SNK).

Anbauermin	Weizen	Erbse
Herbst	97,8 ^a	64,2 ^a
Frühjahr	15,0 ^b	10,6 ^b
Mischungsverhältnis		
100 % Weizen oder 100% Erbse	98,9 ^a	71,5 ^a
75% Weizen/25% Erbse	75,2 ^b	8,9 ^d
50% Weizen/50% Erbse	63,4 ^b	19,3 ^d
25% Weizen/75% Erbse	24,3 ^c	37,4 ^c
12,5% Weizen/87,5% Erbse	20,2 ^c	50,3 ^b
<i>ANOVA GLM</i>		
<i>Anbauermin</i>	***	***
<i>Mischungsverhältnis</i>	***	***
<i>Anbauermin × Mischungsverhältnis</i>	***	***

Signifikanzniveau: $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***)

5.6.4. Oberirdische Biomasse am 4. Beprobungsterim (17. Mai 2011)

Die oberirdische Gesamtbio­masse von Weizen und Erbse zum 4. Beprobungsterim (17. Mai 2011) ist in Ab­bil­dung 13 dar­ge­stellt. Die Weizen­bio­masse am 17. Mai 2011 lag bei den Vari­an­ten der Winterung deutlich über jenen der Sommerung. Bei beiden Anbauerminen nahm die Weizen­bio­masse mit ab­neh­mendem Weizen­an­teil in der Mischung ab, wobei die Ab­nahme bei der Sommerung geringer war. Die Erbsen­bio­masse der Winterungen nahm im Ver­gleich zur Reinsaat mit ab­neh­mendem Anteil in der Mischung überproportional ab. Die Konkurrenz­wir­kung durch Weizen in den Mischungen im Herbstanbau war zu diesem Termin bereits stark ausgeprägt.

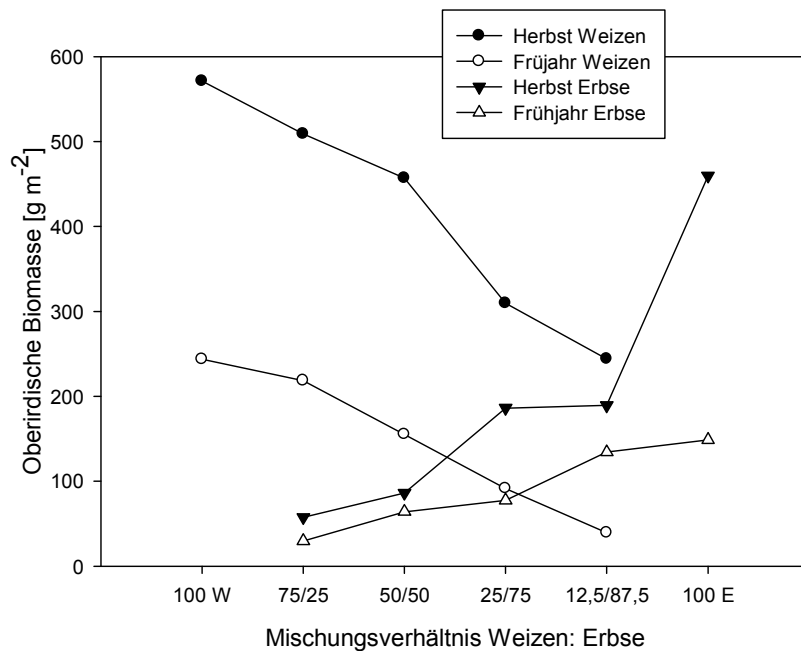


Abb. 13: Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse am 17. Mai 2011.

Die Erbsenbiomasse des Frühjahrsanbaues nahm ebenfalls überproportional zur abnehmenden Saatstärke ab, allerdings geringer als bei der Winterung. Zu diesem Beprobungstermin wurde auch die Konkurrenzwirkung des Weizens in den Mischungen des Frühjahrsanbaues erstmals festgestellt.

Die Wechselwirkung zwischen Mischungsverhältnis und Anbautermin bei Weizen stellte sich wie folgt dar: Die Abnahme der Weizenbiomasse mit abnehmender Saatstärke war beim Anbautermin Herbst stärker ausgeprägt als beim Anbautermin Frühjahr (Abb. 13). Die Wechselwirkung zwischen Mischungsverhältnis und Anbautermin bei Erbse bestand aus der stärkeren Abnahme der Erbsenbiomasse mit abnehmender Saatstärke beim Anbautermin Herbst im Vergleich zum Anbautermin Frühjahr (Abb. 13).

Tab. 11. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 17. Mai 2011 (ANOVA, SNK).

Mischungsverhältnis	Weizen Herbst [g m ⁻²]	Weizen Herbst (%)	Erbse Herbst [g m ⁻²]	Erbse Herbst (%)	Weizen Frühjahr [g m ⁻²]	Weizen Frühjahr (%)	Erbse Frühjahr [g m ⁻²]	Erbse Frühjahr (%)
100 % Weizen	571,2 ^a	100	-	-	243,6 ^a	100	-	-
75% Weizen/ 25% Erbse	508,8 ^a	89	57,7 ^c	13	218,5 ^b	90	29,7 ^b	20
50% Weizen/ 50% Erbse	456,8 ^a	80	86,3 ^c	19	155,2 ^c	64	64,1 ^{ab}	43
25% Weizen/ 75% Erbse	309,4 ^b	54	186,2 ^b	40	91,6 ^c	38	77,7 ^{ab}	52
12,5% Weizen/ 87,5% Erbse	244,1 ^b	43	189,4 ^b	41	39,4 ^c	16	134,5 ^a	90
100% Erbse	-	-	459,7 ^a	100	-	-	148,7 ^a	100
p-Wert	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-	0,0119	-

Tab. 12. Ergebnis der zweifachen ANOVA für die oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 17. Mai 2011 (SNK).

Anbauermin	Weizen	Erbse
Herbst	418,0 ^a	195,9 ^a
Frühjahr	149,7 ^b	90,9 ^b
Mischungsverhältnis		
100 % Weizen oder 100% Erbse	407,4 ^a	304,2 ^a
75% Weizen/25% Erbse	363,7 ^{ab}	43,7 ^c
50% Weizen/50% Erbse	306,0 ^b	75,2 ^{bc}
25% Weizen/75% Erbse	200,5 ^c	131,9 ^{bc}
12,5% Weizen/87,5% Erbse	141,8 ^c	161,9 ^b
<i>ANOVA GLM</i>		
<i>Anbauermin</i>	***	***
<i>Mischungsverhältnis</i>	***	***
<i>Anbauermin × Mischungsverhältnis</i>	**	**

Signifikanzniveau: p < 0,05 (*), p < 0,01 (**), p < 0,001 (***)

5.6.5. Oberirdische Biomasse am 5. Beprobungsterim (8. Juni 2011)

Abbildung 14 zeigt die oberirdische Biomasse von Weizen und Erbse am 8. Juni 2011.

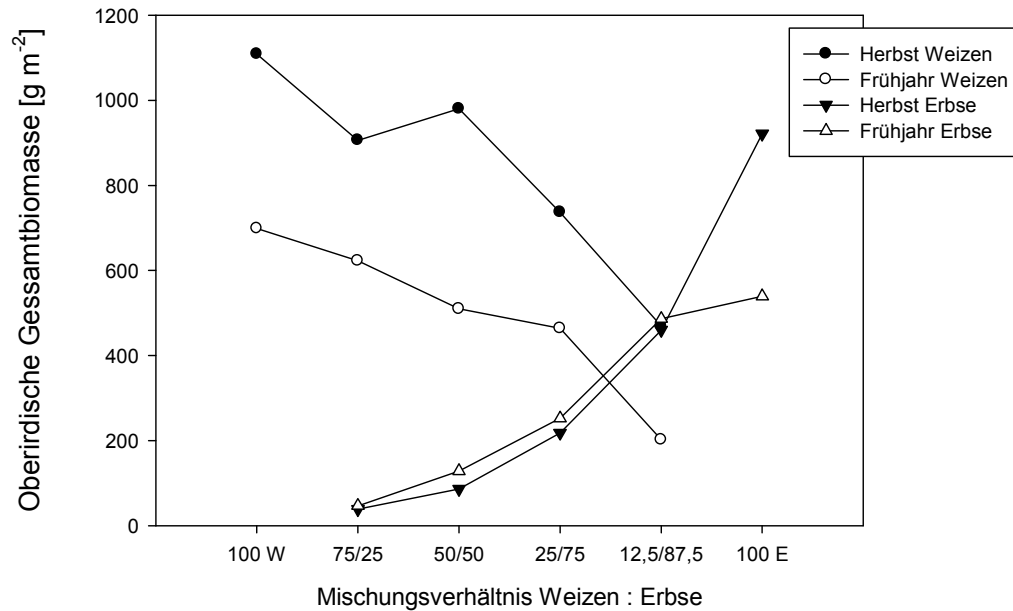


Abb. 14 Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse am 8. Juni 2011.

Die Biomasse des Weizens übertraf in allen Mischungen, außer der erbsenreichsten Mischung im Frühjahrsanbau, die Biomasse der Erbse des jeweiligen Anbautermins. Die Weizenbiomasse beider Anbautermine war überproportional zur ausgesäten Saatstärke ausgeprägt, während der prozentuelle Unterschied zwischen der Biomasse der Erbsenreinsaat und den Erbsenbiomassen in den Mischungen im Frühjahrsanbau geringer war als im Herbstanbau (Tab. 14).

Die Wechselwirkung zwischen Mischungsverhältnis und Anbautermin bei der Erbse bestand aus dem geringeren prozentuellen Unterschied zwischen der Biomasse der Erbsenreinsaat und den Erbsenbiomassen in den Mischungen im Frühjahrsanbau (Abb. 14, Tab. 13, Tab. 14).

Tab. 13. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 8. Juni 2011 (ANOVA, SNK).

Mischungsverhältnis	Weizen Herbst [g m ⁻²]	Weizen Herbst (%)	Erbse Herbst [g m ⁻²]	Erbse Herbst (%)	Weizen Frühjahr [g m ⁻²]	Weizen Frühjahr (%)	Erbse Frühjahr [g m ⁻²]	Erbse Frühjahr (%)
100 % Weizen	1108,8 ^a	100	-	-	698,7 ^a	100	-	-
75% Weizen/ 25% Erbse	906,3 ^a	82	38,8 ^d	4	622,8 ^a	89	46,7 ^d	9
50% Weizen/ 50% Erbse	980,1 ^a	88	86,3 ^{cd}	9	509,5 ^{ab}	73	128,5 ^d	24
25% Weizen/ 75% Erbse	737,0 ^a	66	217,9 ^c	24	464,0 ^{ab}	66	252,4 ^c	47
12,5% Weizen/ 87,5% Erbse	469,2 ^b	42	459,8 ^b	50	202,0 ^b	29	486,6 ^b	90
100% Erbse	-	-	921,2 ^a	100	-	-	539,3 ^a	100
p-Wert	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-	0,0119	-

Tab. 14. Ergebnis der zweifachen ANOVA für die oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 8. Juni 2011 (SNK).

Anbauermin	Weizen	Erbse
Herbst	840,3 ^a	344,8 ^a
Frühjahr	499,4 ^b	290,7 ^a
Mischungsverhältnis		
100 % Weizen oder 100% Erbse	903,8 ^a	730,3 ^a
75% Weizen/25% Erbse	764,6 ^{ab}	42,8 ^d
50% Weizen/50% Erbse	744,8 ^{ab}	107,4 ^{cd}
25% Weizen/75% Erbse	600,5 ^b	235,1 ^c
12,5% Weizen/87,5% Erbse	335,6 ^c	473,2 ^b
<i>ANOVA GLM</i>		
<i>Anbauermin</i>	***	<i>n. s.</i>
<i>Mischungsverhältnis</i>	***	***
<i>Anbauermin × Mischungsverhältnis</i>	<i>n. s.</i>	*

Signifikanzniveau: p < 0,05 (*), p < 0,01 (**), p < 0,001 (***)

5.6.6. Oberirdische Biomasse zu den Ernteterminen

Die oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse zu den Ernteterminen (Winterung: 4. Juli 2011, Sommerung: 13. Juli 2011) ist in Abbildung 15 dargestellt.

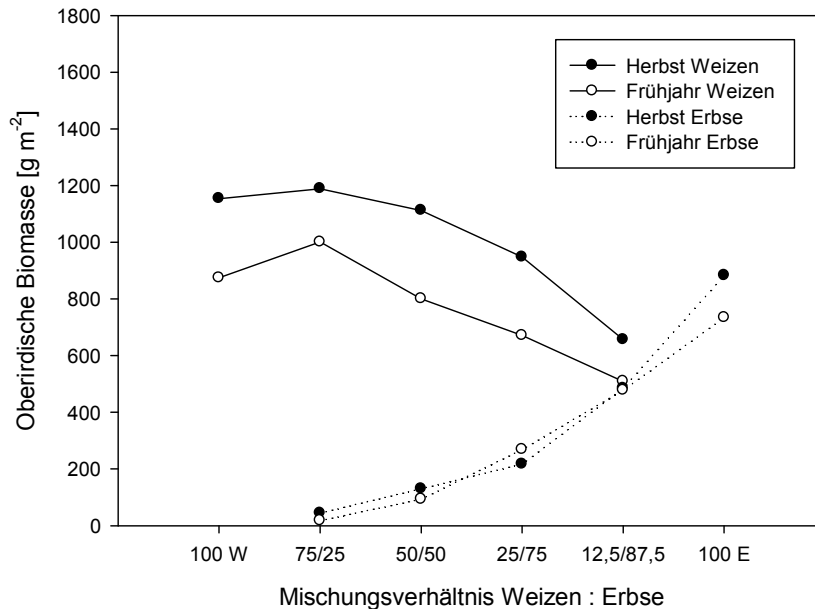


Abb. 15: Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).

Der prozentuelle Anteil der oberirdischen Biomasse von Weizen in den einzelnen Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat ist in Tabelle 15 dargestellt. Mit abnehmendem Anteil des Weizens an der Saatstärke nahm die Biomasse wesentlich geringer ab, als es aufgrund der Saatstärke zu erwarten gewesen wäre (Tab. 15).

Bei der Variante mit einem $\frac{3}{4}$ -Anteil von Weizen wurde der Biomassertrag der Reinsaat bei beiden Anbauzeiten übertroffen, obwohl hier die Saatstärke im Vergleich zur Reinsaat um 25% geringer war und zudem Erbse beigemischt war. Die Variante war zu beiden Anbauzeiten die produktivste Weizenvariante.

Im Gegenteil zu Weizen, der in der Mischung überproportional zu seiner Saatstärke Biomasse bildete, war die Biomassebildung der Erbse wesentlich geringer als sie aufgrund ihrer Saatstärke und ihrer Reinsaatbiomasse zu erwarten gewesen wäre (Abb. 15, Tab. 15).

Tab. 15. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen Winterung: 4. Juli 2011, Sommerung: 13. Juli 2011 (ANOVA, SNK).

Mischungsverhältnis	Weizen Herbst [g m ⁻²]	Weizen Herbst (%)	Erbse Herbst [g m ⁻²]	Erbse Herbst (%)	Weizen Frühjahr [g m ⁻²]	Weizen Frühjahr (%)	Erbse Frühjahr [g m ⁻²]	Erbse Frühjahr (%)
100 % Weizen	1153,9 ^a	100	-	-	874,6 ^a	100	-	-
75% Weizen/ 25% Erbse	1189,3 ^a	103	43,8 ^d	5	1000,6 ^a	114	17,6 ^d	2
50% Weizen/ 50% Erbse	1112,2 ^a	94	129,7 ^{cd}	15	800,6 ^{ab}	91	93,3 ^d	13
25% Weizen/ 75% Erbse	947,8 ^a	82	217,1 ^c	25	670,8 ^{ab}	77	268,6 ^c	37
12,5% Weizen/ 87,5% Erbse	656,8 ^b	57	484,2 ^b	45	508,9 ^b	58	477,9 ^b	65
100% Erbse	-	-	882,5 ^a	100	-	-	734,0 ^a	100
p-Wert	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-	0,0119	-

Die oberirdische Biomasseproduktion von Weizen und Erbse wurde mithilfe einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Anbauermin und Mischungsverhältnis verrechnet. Beide Faktoren hatten auf Weizen eine signifikante Auswirkung, wobei keine Wechselwirkungen auftraten. Die Biomasse der Winterung war signifikant höher als jene der Sommerung. Die Erträge der Erbse waren beim Herbstanbau mit einem Mittel von 351g m⁻² geringfügig höher als im Frühjahrsanbau mit 318g m⁻². Die beiden Anbauermine unterschieden sich jedoch statistisch nicht. Allerdings errechnet die zweifache Varianzanalyse signifikante Unterschiede zwischen allen Mischungsvarianten.

Tab. 16. Ergebnis der zweifachen ANOVA für die oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen Winterung: 4. Juli 2011, Sommerung: 13. Juli 2011 (SNK).

Anbauermin	Weizen	Erbse
Herbst	1012,0 ^a	351,5 ^a
Frühjahr	771,1 ^b	318,3 ^a
Mischungsverhältnis		
100 % Weizen oder 100% Erbse	1014,3 ^a	808,2 ^a
75% Weizen/25% Erbse	1095,0 ^a	30,7 ^e
50% Weizen/50% Erbse	956,4 ^{ab}	111,5 ^d
25% Weizen/75% Erbse	809,3 ^b	242,9 ^c
12,5% Weizen/87,5% Erbse	582,8 ^c	481,0 ^b
<i>ANOVA GLM</i>		
<i>Anbauermin</i>	***	<i>n. s.</i>
<i>Mischungsverhältnis</i>	***	***
<i>Anbauermin × Mischungsverhältnis</i>	<i>n. s.</i>	<i>n. s.</i>

Signifikanzniveau: $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***)

5.7. Erntedaten

5.7.1. Kornertrag

Der Kornertrag von Weizen und Erbse ist in Abbildung 16 dargestellt.

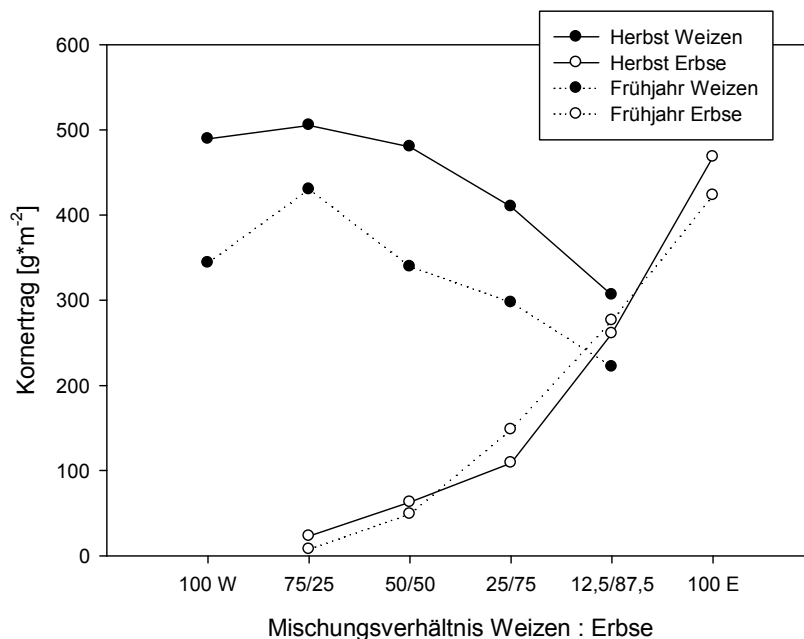


Abb. 16: Kornertrag von Weizen und Erbse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).

Bei der Betrachtung des Kornertrages von Weizen muss beachtet werden, dass dieser Feldversuch nicht gedüngt wurde. Den höchsten Kornertrag erzielte Weizen in der Mischung mit $\frac{3}{4}$ Saatstärke seiner Reinsaat: 505 g m^{-2} (Winterung) bzw. 430 g m^{-2} (Sommerung). Die Erbse wurde in dieser Mischung nahezu vollständig unterdrückt. Der Kornertrag der Erbse in dieser Variante betrug lediglich 23 g m^{-2} (Winterung) bzw. 8 g m^{-2} (Sommerung), was lediglich 230 kg ha^{-1} (Winterung) bzw. 80 kg ha^{-1} (Sommerung) entspricht. Der Kornertrag in Abhängigkeit der Mischungsverhältnisse verlief nach dem gleichen Trend wie die oberirdische Biomasse: Der Weizenertrag war überproportional zu seiner Saatstärke ausgeprägt, der Erbsenertrag hingegen unterproportional. Die Relationen des Kornertrages von Weizen und Erbse zur jeweiligen Reinsaat sowie die signifikanten Unterschiede laut einfacher ANOVA sind in Tabelle 18 dargestellt.

Tab. 17. Kornertrag von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Kornertragsanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (ANOVA, SNK).

Mischungsverhältnis	Weizen Herbst [g m ⁻²]	Weizen Herbst (%)	Erbse Herbst [g m ⁻²]	Erbse Herbst (%)	Weizen Frühjahr [g m ⁻²]	Weizen Frühjahr (%)	Erbse Frühjahr [g m ⁻²]	Erbse Frühjahr (%)
100 % Weizen	489,6 ^a	100	-	-	344,1 ^{ab}	100	-	-
75% Weizen/ 25% Erbse	505,4 ^a	103	23,1 ^d	5	430,3 ^a	125	7,7 ^d	2
50% Weizen/ 50% Erbse	480,2 ^a	98	63,0 ^{cd}	13	339,4 ^{ab}	99	49,0 ^d	12
25% Weizen/ 75% Erbse	410,0 ^{ab}	84	109,0 ^c	23	297,4 ^{ab}	86	148,2 ^c	35
12,5% Weizen/ 87,5% Erbse	306,2 ^b	63	260,8 ^b	56	221,9 ^b	64	276,3 ^b	65
100% Erbse	-	-	468,3 ^a	100	-	-	423,0 ^a	100
p-Wert	0,0085	-	0,0001	-	0,0001	-	0,0119	-

Die Kornerträge von Weizen und Erbse wurden ebenfalls mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Anbautermin und Mischungsverhältnis verrechnet. Beide Faktoren unterschieden sich bei Weizen signifikant, wobei keine Wechselwirkungen auftraten. Die Biomasse der Winterung war signifikant höher als jene der Sommerung. Die Erträge der Erbse waren beim Herbstanbau mit einem Mittel von 184,9 g m⁻² geringfügig höher als im Frühjahrsanbau mit 180,8 g m⁻², die beiden Anbautermine unterschieden sich jedoch statistisch nicht signifikant. Allerdings errechnete die zweifache Varianzanalyse signifikante Unterschiede für die Erbse zwischen nahezu allen Mischungsvarianten.

Tab. 18. Ergebnis der zweifachen ANOVA für den Kornertrag [g m⁻²] von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- und Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).

Anbauertermin	Weizen	Erbse
Herbst	438,3 ^a	184,9 ^a
Frühjahr	326,6 ^b	180,8 ^a
Mischungsverhältnis		
100 % Weizen oder 100% Erbse	416,8 ^{ab}	445,7 ^a
75% Weizen/25% Erbse	467,8 ^a	15,4 ^d
50% Weizen/50% Erbse	409,8 ^{ab}	56,0 ^d
25% Weizen/75% Erbse	353,7 ^b	128,6 ^c
12,5% Weizen/87,5% Erbse	264,0 ^c	268,6 ^b
<i>ANOVA GLM</i>		
<i>Anbauertermin</i>	***	<i>n. s.</i>
<i>Mischungsverhältnis</i>	***	***
<i>Anbauertermin × Mischungsverhältnis</i>	<i>n. s.</i>	<i>n. s.</i>

Signifikanzniveau: p < 0,05 (*), p < 0,01 (**), p < 0,001 (***)

Um die Flächennutzungseffizienz der Mischkultur auszurechnen, wurde der Land Equivalent Ratio (LER) der jeweiligen Mischung dargestellt (Tab. 19). Außerdem wurde der Monetary Advantage Index (MAI) angegeben, da er die monetäre Überlegenheit der Mischkultur gegenüber der Reinsaat beschreibt.

Tab. 19. LER, MAI und Erlöse der einzelnen Mischungsvarianten im Herbst- und Frühjahrsanbau.

Mischungsverhältnis Weizen: Erbse	LER Herbst	MAI Herbst [€ ha ⁻¹]	Erlös Herbst [€ ha ⁻¹]	LER Frühjahr	MAI Frühjahr [€ ha ⁻¹]	Erlös Frühjahr [€ ha ⁻¹]
W 75 : 25 E	1,08	81	1169	1,27	187	884
W 50 : 50 E	1,12	114	1106	1,10	73	792
W 25 : 75 E	1,07	70	1066	1,21	163	925
W 12,5: 87,5 E	1,18	184	1191	1,30	242	1055

Zu beiden Anbauertminen hat die erbsenreichste Mischung den höchsten Land Equivalent Ratio, wobei der Land Equivalent Ratio des Frühjahrsanbaues mit 1,30 höher liegt. Der Monetary Advantage Index war ebenfalls zu beiden Anbauertminen in dieser Mischung am höchsten. Den höchsten Erlös erwirtschaftete die erbsenreichste Mischung im Herbstanbau.

5.7.2. Ähren/Hülsen pro Quadratmeter

Abbildung 17 zeigt die Weizenähren und Erbsenhülsen pro Quadratmeter zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).

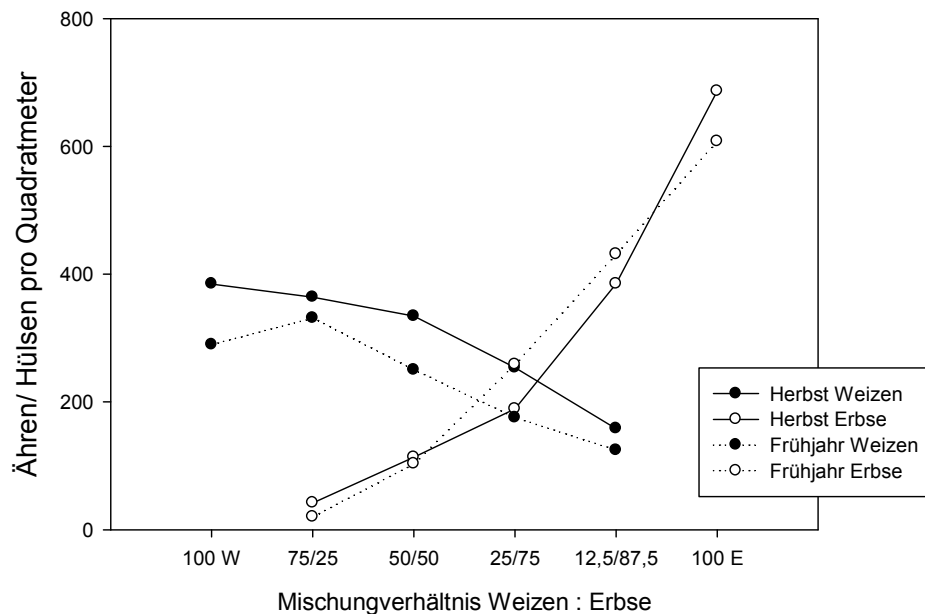


Abb. 17: Weizenähren und Erbsenhülsen m⁻² zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).

Die im Herbst ausgesäten Weizenvarianten übertrafen jene des Frühjahrsanbaues hinsichtlich der Anzahl an Ähren m⁻².

Die Erbsenreinsaat im Herbstanbau bildete 80 Hülsen m⁻² mehr als die Erbsenreinsaat im Frühjahrsanbau. Allerdings bildeten die beiden Mischungsvarianten mit dem höchsten Erbsenanteil im Frühjahrsanbau um 45 Hülsen m⁻² (12,5% Weizen/87,5% Erbse) bzw. 70 Hülsen m⁻² (25% Weizen/75% Erbse) mehr als im Herbstanbau.

Die Weizenähren und Erbsenhülsen m⁻² wurden ebenfalls mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Anbautermin und Mischungsverhältnis verrechnet. Beide Faktoren unterschieden sich bei Weizen signifikant, wobei keine Wechselwirkungen auftraten. Die Ähren m⁻² der Winterung waren signifikant höher als jene der Sommerung. Bei den Hülsen m⁻² der Erbse gab es zwischen dem Herbst- und Frühjahrsanbau mit einem Unterschied im Mittel von einer Hülse m⁻² keine statistisch erchenbaren Unterschiede. Allerdings errechnete die zweifache Varianzanalyse signifikante Unterschiede für die Hülsen m⁻² der Erbse zwischen jeder einzelnen Mischungsvariante.

Tab. 20. Ergebnis der zweifachen ANOVA für die Ähren/Hülsen m⁻² von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).

Anbauertermin	Weizen	Erbse
Herbst	299,0 ^a	283,2 ^a
Frühjahr	234,3 ^b	284,3 ^a
Mischungsverhältnis		
100 % Weizen oder 100% Erbse	337,2 ^a	647,4 ^a
75% Weizen/25% Erbse	347,8 ^a	31,0 ^e
50% Weizen/50% Erbse	292,3 ^a	108,2 ^d
25% Weizen/75% Erbse	214,7 ^b	224,0 ^c
12,5% Weizen/87,5% Erbse	141,3 ^c	408,1 ^b
<i>ANOVA GLM</i>		
<i>Anbauertermin</i>	***	<i>n. s.</i>
<i>Mischungsverhältnis</i>	***	***
<i>Anbauertermin × Mischungsverhältnis</i>	<i>n. s.</i>	<i>n. s.</i>

Signifikanzniveau: p < 0,05 (*), p < 0,01 (**), p < 0,001 (***)

5.7.3. Tausendkorngewicht

Das Tausendkorngewicht von Weizen war in der Winterung mit einem Mittel von 42,3 g signifikant höher als in der Sommerung mit einem Mittel von 40,5 g (Abb. 18). In den beiden Mischungen mit dem geringsten Weizenanteil (12,5% Weizen/87,5% Erbse und 25% Weizen/75% Erbse) war das TKG im Herbst- und Frühjahrsanbau signifikant höher als in den anderen Varianten.

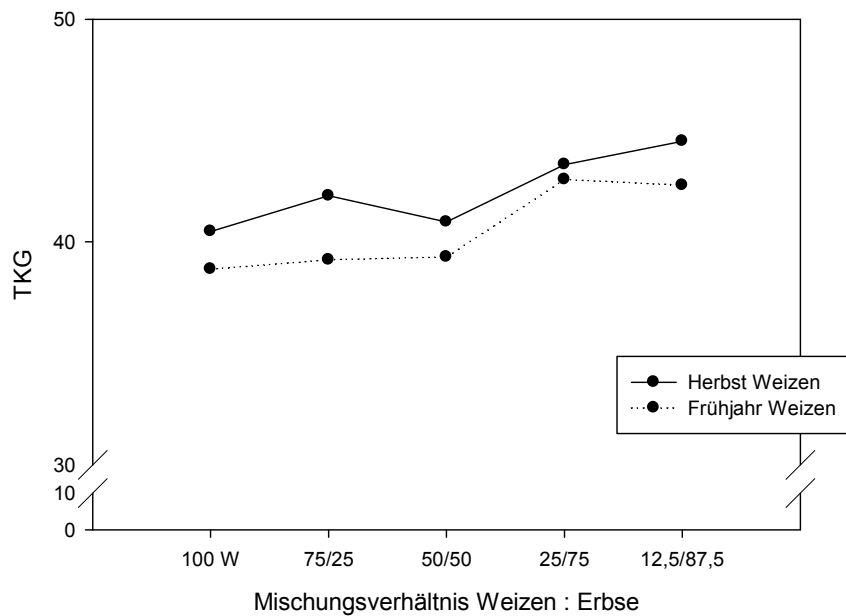


Abb. 18: Tausendkorngewicht von Weizen zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).

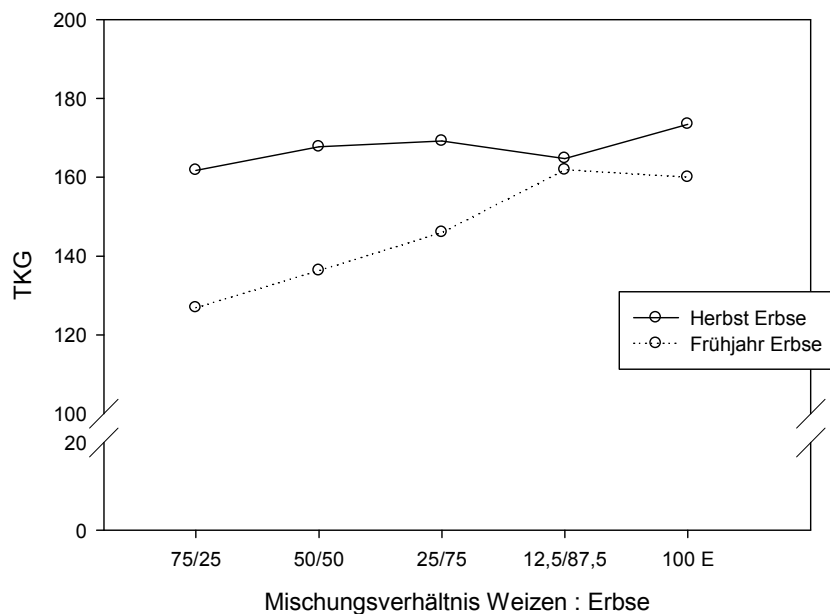


Abb. 19: Tausendkorngewicht von Erbse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).

Die Erbse hatte im Herbstanbau ein signifikant höheres TKG mit einem Mittel von 167,4 g als im Frühjahrsanbau mit einem Mittel von 146,2 g (Abb. 19). Der Trend der TKG-Abnahme mit

abnehmendem Anteil in der Mischung erfolgte genau umgekehrt zu Weizen: In der Reinsaat und der Mischung mit dem höchsten Erbsenanteil (12,5% Weizen/87,5% Erbse) war das TKG signifikant höher als in den Varianten mit geringem Erbsenanteil und hohem Weizenanteil.

Die Wechselwirkung des TKG der Erbse zwischen den Faktoren Anbauermin und Mischungsverhältnis bestand darin, dass die Abnahme des TKG in der Sommerung stärker war als in der Winterung.

Tab. 21. Ergebnis der zweifachen ANOVA für das Tausendkorngewicht [g] von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).

Anbauermin	Weizen	Erbse
Herbst	42,3 ^a	167,4 ^a
Frühjahr	40,5 ^b	146,2 ^b
Mischungsverhältnis		
100 % Weizen oder 100% Erbse	39,6 ^b	166,7 ^a
75% Weizen/25% Erbse	40,6 ^b	144,3 ^c
50% Weizen/50% Erbse	40,1 ^b	152,0 ^{bc}
25% Weizen/75% Erbse	43,1 ^a	157,6 ^{ab}
12,5% Weizen/87,5% Erbse	43,5 ^a	163,3 ^a
<i>ANOVA GLM</i>		
<i>Anbauermin</i>	**	***
<i>Mischungsverhältnis</i>	***	***
<i>Anbauermin × Mischungsverhältnis</i>	<i>n. s.</i>	***

Signifikanzniveau: $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***)

5.7.4. Kornanzahl pro Ähre/Hülse

Der Kornanzahl pro Weizenähre und Erbsenhülse ist in Abbildung 20 und 21 dargestellt.

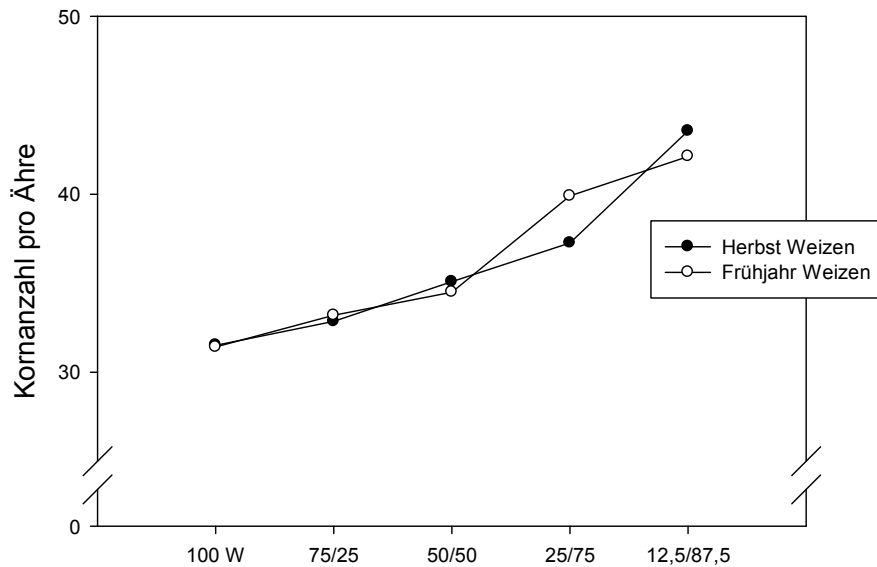


Abb. 20: Kornanzahl pro Weizenähre zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).

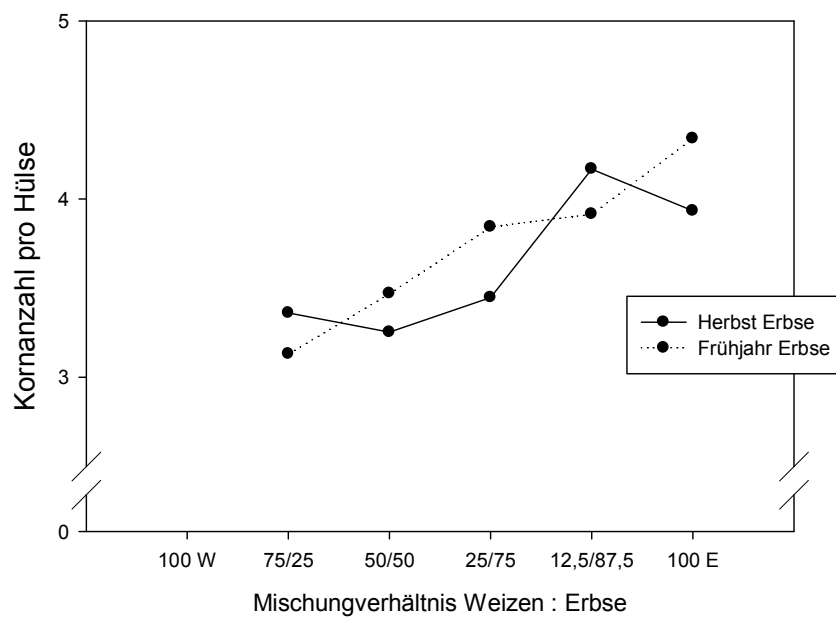


Abb. 21: Kornanzahl pro Erbsenhülse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).

Die Kornanzahl pro Ähre/Hülse unterschied sich bei Weizen und Erbse nicht aufgrund des Anbautermins, aber sehr wohl aufgrund des Mischungsverhältnisses. Die Kornanzahl pro Ähre war mit 42,8 Körnern pro Ähre im Mittel in der Variante mit dem geringsten Weizenanteil (12,5% Weizen/87,5% Erbse) am höchsten und nahm mit zunehmendem Weizenanteil in der Mischung ab. Die Kornanzahl pro Hülse der Erbse unterlag einer leichten Abnahme mit abnehmendem Anteil in der Mischung. Die Werte wurden mit einer zweifachen ANOVA verrechnet (Tab. 22).

Tab. 22. Ergebnis der zweifachen ANOVA für Kornanzahl pro Ähre und Hülse von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).

Anbauermin	Weizen	Erbse
Herbst	36,1 ^a	3,6 ^a
Frühjahr	36,2 ^a	3,7 ^a
Mischungsverhältnis		
100 % Weizen oder 100% Erbse	31,5 ^c	4,1 ^a
75% Weizen/25% Erbse	33,0 ^c	3,2 ^b
50% Weizen/50% Erbse	34,8 ^{bc}	3,4 ^b
25% Weizen/75% Erbse	38,6 ^b	3,6 ^{ab}
12,5% Weizen/87,5% Erbse	42,8 ^a	4,0 ^a
<i>ANOVA GLM</i>		
<i>Anbauermin</i>	<i>n. s.</i>	<i>n. s.</i>
<i>Mischungsverhältnis</i>	***	***
<i>Anbauermin × Mischungsverhältnis</i>	<i>n. s.</i>	<i>n. s.</i>

Signifikanzniveau: $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***)

5.7.5. Kornertrag pro Ähre/Hülse

Der Kornertrag pro Ähre unterschied sich bei Weizen nicht signifikant zwischen den Anbauterminen, allerdings lag der Kornertrag pro Hülse bei der Erbse im Herbstanbau mit einem Mittel von 0,60g/Hülse signifikant höher als im Frühjahrsanbau mit 0,55g/Hülse. Weizen hatte den höchsten Kornertrag pro Ähre in der Variante mit dem geringsten Weizenanteil (12,5% Weizen/87,5% Erbse). Dieser nahm mit abnehmendem Anteil in der Mischung signifikant ab. Der Kornertrag pro Hülse der

Erbse nahm mit abnehmendem Erbsen- und zunehmenden Weizenanteil leicht ab. Die Werte wurden mit einer zweifachen ANOVA verrechnet (Tab. 24).

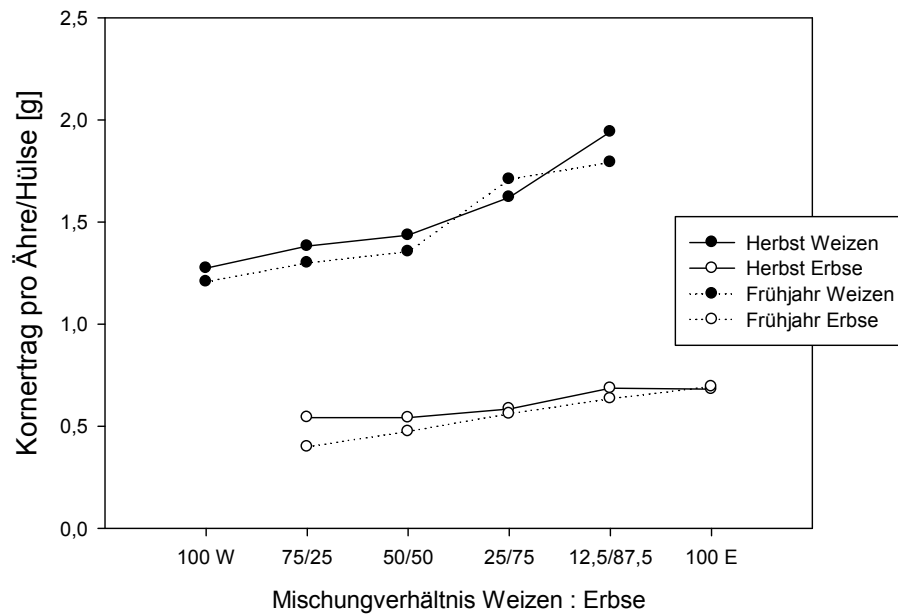


Abb. 22: Kornertrag pro Weizenähre und Erbsenhülse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).

Tab. 23. Ergebnis der zweifachen ANOVA für den Kornertrag pro Ähre/Hülse [g] von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).

Anbauertermin	Weizen	Erbse
Herbst	1,5 ^a	0,60 ^a
Frühjahr	1,5 ^a	0,55 ^b
Mischungsverhältnis		
100 % Weizen oder 100% Erbse	1,2 ^c	0,69 ^a
75% Weizen/25% Erbse	1,3 ^c	0,47 ^c
50% Weizen/50% Erbse	1,4 ^c	0,51 ^{bc}
25% Weizen/75% Erbse	1,7 ^b	0,57 ^b
12,5% Weizen/87,5% Erbse	1,9 ^a	0,66 ^a
<i>ANOVA GLM</i>		
<i>Anbauertermin</i>	<i>n. s.</i>	<i>*</i>
<i>Mischungsverhältnis</i>	<i>***</i>	<i>***</i>
<i>Anbauertermin × Mischungsverhältnis</i>	<i>n. s.</i>	<i>n. s.</i>

Signifikanzniveau: $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***)

5.7.6. Harvestindex

Der Harvestindex lag generell bei der Erbse höher als bei Weizen, und bei der Erbse wiederum im Frühjahrsanbau höher als im Herbstanbau (Abb. 23 und 24). Mit geringerem Weizenanteil nahm der Harvestindex des Weizens leicht zu, jedoch nicht signifikant. Der Harvestindex der Erbse nahm im Frühjahrsanbau mit abnehmendem Erbsenanteil ab. Im Herbstanbau war dieser Trend nicht so deutlich ausgeprägt.

Der Faktor Mischungsverhältnis wirkte sich signifikant auf den Harvestindex der Erbse aus. Die Wechselwirkung zwischen Mischungsverhältnis und Anbauertermin beruht auf den hohen Harvestindex in der 75:25-Weizen:Erbsen-Mischung im Herbstanbau.

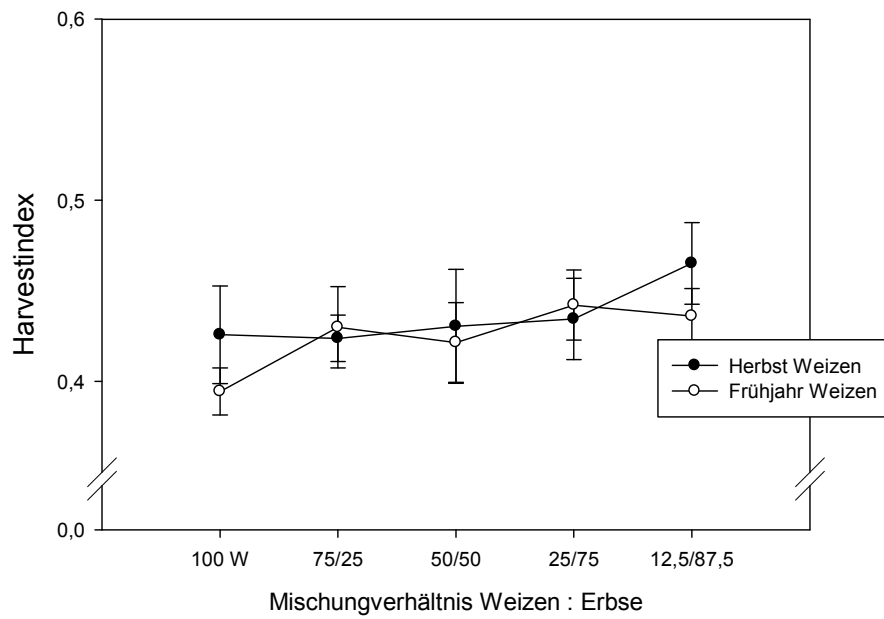


Abb. 23: Harvestindex des Weizens zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).

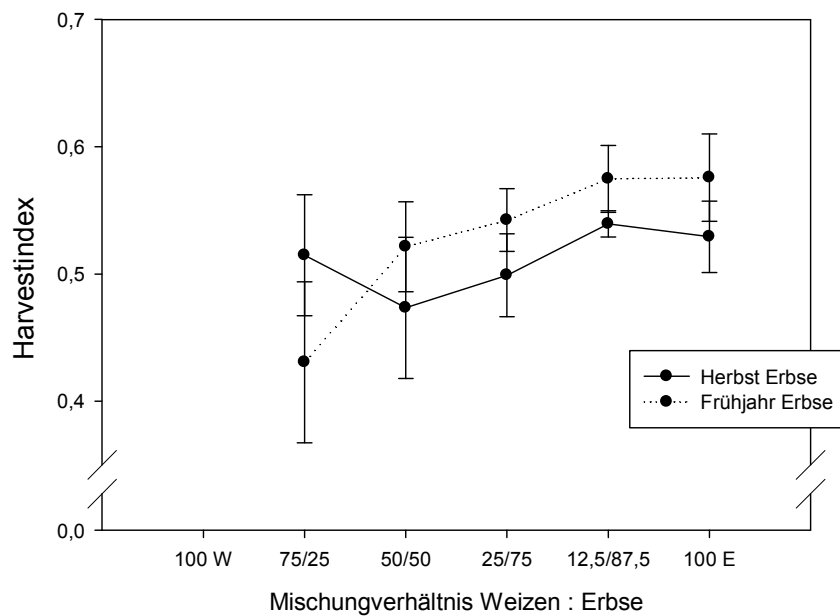


Abb. 24: Harvestindex der Erbse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).

Tab. 24. Ergebnis der zweifachen ANOVA für den Harvestindex von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).

Anbauertermin	Weizen	Erbse
Herbst	0,4 ^a	0,51 ^a
Frühjahr	0,4 ^a	0,53 ^a
Mischungsverhältnis		
100 % Weizen oder 100% Erbse	0,41 ^a	0,55 ^a
75% Weizen/25% Erbse	0,43 ^a	0,47 ^c
50% Weizen/50% Erbse	0,43 ^a	0,50 ^{bc}
25% Weizen/75% Erbse	0,44 ^a	0,52 ^{ab}
12,5% Weizen/87,5% Erbse	0,45 ^a	0,56 ^a
<i>ANOVA GLM</i>		
<i>Anbauertermin</i>	<i>n. s.</i>	<i>n. s.</i>
<i>Mischungsverhältnis</i>	<i>n. s.</i>	***
<i>Anbauertermin × Mischungsverhältnis</i>	<i>n. s.</i>	***

Signifikanzniveau: $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***)

5.7.7. Druschverluste

Durch Lagerbildung zur Erbsenernte unter ungünstigen Anbau- und Klimabedingungen kann es auch bei modernen standfesten Sorten zu erheblichen Druschverlusten kommen (Kolbe et al., 2001). Durch den Mischanbau mit Weizen könnten die Standfestigkeit erhöht und die Druschverluste minimiert werden (Abb. 25).

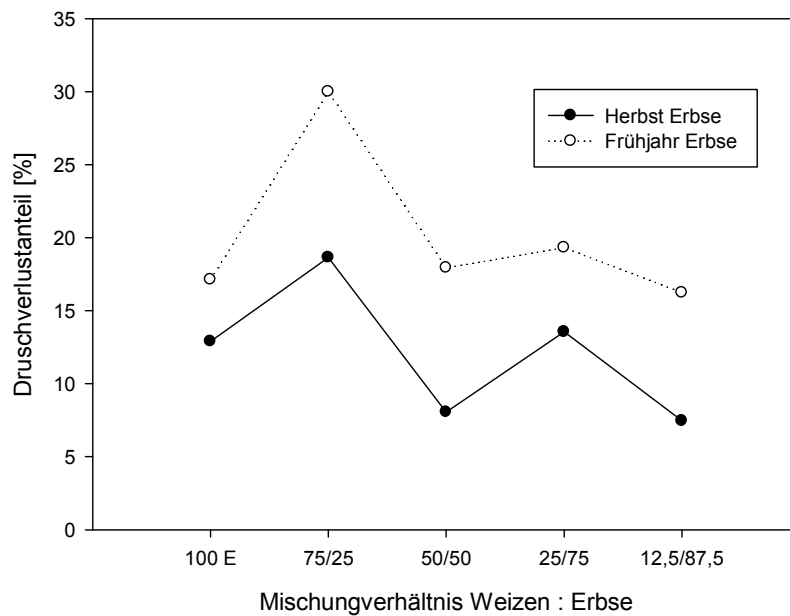


Abb. 25: Anteil der Druschverluste bei Mähdrusch am Erbsenertrag zu den Mähdruschterminen 7. Juli 2011 (Winterung) und 15. Juli 2011 (Sommerung).

Der prozentuelle Anteil der Druschverluste am Erbsenertrag war in allen Mischungsvarianten und der Reinsaat bis auf die Variante mit dem geringsten Erbsenanteil gleich. Da keine Unterschiede zwischen dem Anteil der Druschverluste der Mischkulturen und der Reinsaat lagen, hatte die Mischkultur keinen positiven Effekt auf die Reduktion von Druschverlusten. Die Varianzanalyse fand ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Druschverlustanteil der unterschiedlichen Mischungsvarianten ($p=0,0614$).

6. Diskussion

6.1. Ertrag, Biomassebildung und Ertragsstruktur

In allen Mischungsvarianten behauptete sich Weizen beim Korntrag und bei der oberirdischen Biomasse überproportional zu seiner ursprünglichen Saatstärke und unterdrückte die Erbse. Die Erbse hatte wesentlich geringere Kornträge und oberirdische Biomassen als aufgrund ihrer Reinsaatträge und ihrer Saatstärken in den Mischungen zu erwarten gewesen wären. Allerdings wurde die Erbse im Frühjahrsanbau schwächer unterdrückt: In der Mischung mit $\frac{7}{8}$ Erbsensaatstärke erreichte sie beispielsweise immerhin noch 65% ihres Ertrages in Reinsaat, und damit um 9 Prozentpunkte mehr als die Herbstsaat mit 56% ihres Reinsaaterrages. Das lag möglicherweise an der schwächeren Bestockung des Weizens im Frühjahrsanbau und an einer geringeren Konkurrenz des Weizens zur Erbse in der Biomassezunahme im Frühjahrsanbau. Schmitke et al. (2007) kommen zu dem Ergebnis, dass die Wintererbsen sich im Gemenge mit Winterweizen in einer Mischung von 20% Weizensaatstärke verglichen zur Reinsaat (300 Körner m^{-2}) und 80% Erbsensaatstärke relativ zur Reinsaat (80 Körner m^{-2}) nur schwer behaupten können. Die vorliegende Arbeit unterstützt diese Aussage, da bei der Mischung mit 87,5% Erbsensaatstärke und 12,5% Weizensaatstärke der Erbsenertrag nur bescheidene 56% (Anbauzeitpunkt Herbst) bzw. 65% (Anbauzeitpunkt Frühjahr) seines Reinsaaterrages betrug, während der Weizenanbau weit überproportional 62% (Winterung) bzw. 55% (Sommerung) des Ertrages seiner Reinsaat erreichte.

In Gemengen mit geringerem Weizenanteil konnte Weizen den zunehmenden Standardraum pro Einzelpflanze durch eine höhere Bestockung ausnutzen. Schmitke et al. (2007) beschreiben ebenfalls die höhere Bestockung in 20% Weizensaatstärke von vier ährentragenden Halmen pro Pflanze im Vergleich zur 100%-igen Saatstärke mit 1,3 ährentragenden Halmen pro Pflanze. Weizen konnte das zunehmende Angebot an Wasser, Licht und Nährstoffen bei zunehmendem Standardraum pro Einzelpflanze – wie von Schmitke et al. (2007) beschrieben – durch eine höhere Anzahl an Körnern pro Ähre, ein höheres Tausendkorngewicht und einen höheren Harvestindex ausnutzen.

Die Erbse hingegen wurde bei zunehmendem Weizenanteil stärker unterdrückt, was sich vor allem auf eine geringere Hülsenanzahl pro m^2 auswirkte, da das Merkmal Hülsen pro Trieb laut Diepenbrock et al. (1999) über mehrere Wochen angelegt wird und somit starken Schwankungen durch die Umwelt unterliegt. Im Frühjahrsanbau war die Hülsenanzahl pro m^2 in den beiden erbsenstärksten Mischungen höher als im Herbstanbau, woraus folgt, dass die Konkurrenzkraft der Erbse im Frühjahrsanbau höher war. Das Tausendkorngewicht und die Kornzahl pro Hülse nahmen mit zunehmender Konkurrenz durch den Weizen ebenfalls ab, aber schwächer, da sie laut Diepenbrock et al. (1999) stärker genetisch determiniert sind. Auch der Harvestindex der Erbse nahm mit zunehmender Konkurrenz ab. Das bedeutet, dass die Erbse in der Konkurrenzsituation mehr vegetative Biomasse bildete. Der höhere Harvestindex der Erbse im Frühjahrsanbau lag wahrscheinlich daran, dass die Erbse im Herbstanbau

durch die längere Vegetationszeit vor der kritischen Tageslänge, die zum Schossen, Blühen und Fruchten führte, mehr Zeit hatte, um vegetative Biomasse zu bilden. Der Schossbeginn der Winterung war Anfang April, der Schossbeginn der Sommerung Anfang Mai.

Der Land Equivalent Ratio (LER) nach Mead und Wiley (1980) war für alle Mischungen höher als 1 (1,07-1,30). Das bedeutet, dass die Mischkulturen mehr Ertrag pro Flächeneinheit als die Reinsaaten produzierten, da die Mischkulturen die Produktionsfaktoren Licht, Wasser und Nährstoffe effizienter nutzten (Hof und Rauber, 2003). Den höchsten LER hatte die erbsenreichste Mischung im Frühjahrsanbau, den zweithöchsten die erbsenärmste Mischung im Frühjahrsanbau. Allerdings ist der LER ein Vergleichswert, der bei geringen Reinsaaterträgen - wie es v. a. bei Weizen im Frühjahrsanbau (3,4 t ha⁻¹) der Fall war, nicht zu überschätzen ist und somit bei höheren Reinsaaterträgen wie im Anbautermin Herbst aussagekräftiger ist.

Der Monetary Advantage Index (MAI) nach Banik et al. (2000; in Lithourgidis et al., 2011) und Ghosh (2004; in Lithourgidis et al., 2011) war mit 242 € ha⁻¹ für die erbsenreichste Mischung im Frühjahrsanbau am höchsten und wiederum für die erbsenärmste Mischung zum selben Anbautermin am zweithöchsten. Auch dieser Index wird mithilfe des LER errechnet, der wie vorhin erwähnt durch die geringen Reinsaaterträge im Frühjahrsanbau nicht zu überschätzen ist.

Da der Erlös in der erbsenreichsten Variante im Herbstanbau am höchsten war und sie die anderen Mischungen im Herbstanbau bezüglich LER und MAI übertraf, ist sie empfehlenswert für die landwirtschaftliche Praxis. Allerdings könnte bei strengeren, schneeärmeren Wintern ein höherer Anteil der Erbsen auswintern (in diesem Versuch nur 3,2 %) und somit geringere Erträge produzieren. Daher ist auch die erbsenreichste Mischung im Frühjahrsanbau empfehlenswert, da sie für ihren Anbautermin nicht nur den höchsten LER und MAI, sondern auch den höchsten Erlös erzielte. Des Weiteren muss beachtet werden, dass dieser Versuch ungedüngt, aber immerhin mit einem Bodenstickstoffgehalt vor der Aussaat im Herbst von 123 kg N_{min} ha⁻¹, durchgeführt wurde. Bei einer Stickstoffdüngung könnte die Unterdrückung der Erbse - wie von Corre-Hellou et al. (2005) für Gerste-Erbsen-Mischungen festgestellt wurde - noch höher sein, wodurch diese beiden Varianten einen noch geringen Erbsenertrag liefern würden und möglicherweise andere LERs, MAIs und Erlöse erzielen würden.

Ein weiteres Problem in der landwirtschaftlichen Praxis könnte die Trennung des Erntegutes in Weizen und Erbse darstellen, vor allem, wenn beim Mähdrusch die Erbsenkörner gebrochen werden (Hauggard-Nielsen et al., 2006). Diese Mischkultur ist daher besonders interessant, wenn das Erntegut nicht getrennt werden muss, da es zum Beispiel gemeinsam verfüttert wird. Außerdem ergänzen sich die Mischungspartner bei der Verfütterung des Erntegutes: Leguminosen enthalten wesentlich höhere Mengen an Lysin, eine der erstlimitierenden Aminosäuren des Getreides. Jenes wiederum gleicht die geringen Methioningehalte der Leguminose aus (Sommer und Maier-Loeper, 2004). Ein Nachteil für die konventionelle Landwirtschaft ist die Einschränkung bei Herbiziden, die meist nur für monokotyle

oder dikotyle Kulturpflanzen verträglich sind und somit entweder den Weizen oder die Erbse schädigen. Aus diesem Grund hat die Weizen-Erbse-Mischkultur v. a. für den ökologischen Landbau eine Bedeutung.

Der Erntezeitpunkt der Erbse im Herbstanbau trat 13 Tage früher ein als bei Weizen. Der Erntezeitpunkt der Erbse im Frühjahrsanbau war nur neun Tage früher als der Erntezeitpunkt für Weizen. Obwohl es zu keinem Kornverlust der Erbse durch Hülsenplatzen kam, könnte ihre frühere Abreife bei höheren Niederschlägen ab der Totreife zum Hülsenplatzen führen. Unter solchen Witterungserwartungen ist daher der Anbau von Weizen und Erbse im Frühjahrsanbau empfehlenswerter, da sich die Erntezeitpunkte weniger unterscheiden.

6.2. N_{\min} -Gehalt im Boden

Der N_{\min} -Gehalt im Boden nahm in allen Anbauvarianten bis zur Ernte ab, allerdings war die Abnahme mit geringerem Erbsen- und höherem Weizenanteil schneller, was an der symbiotischen N-Fixierung der Rhizobien an den Wurzeln der Erbsen liegen könnte, die bei Erbsen zwischen 50 und 500 kg N ha⁻¹ liegen kann, jedoch durchschnittlich 150 kg N ha⁻¹ beträgt (Quispel, 1982). Der Bodenstickstoffgehalt der Erbsenreinsaat nach der Ernte war signifikant höher als jener der Mischungen, die nur einen etwas höheren N_{\min} -Gehalt als die Weizenreinsaat hinterließen, aber sich nicht signifikant voneinander unterschieden. Diese Reihung entspricht der Reihung der N-Bilanzsalden, die laut Schmitke et al. (2007) folgendermaßen verläuft: Reinsaat Leguminose > Gemenge > Reinsaat Weizen. Der Gehalt an N_{\min} im Boden nach der Ernte ist jedoch keinesfalls mit einem N-Bilanzsaldo gleichzusetzen, da Mineralisierung, atmosphärische N-Deposition, N-Auswaschung, N-Immobilisierung, etc. während der Vegetationszeit stattfinden.

7. Zusammenfassung

Der Anbau einer Getreide-Leguminosen-Mischkultur weist im Vergleich zu einer Reinsaat einige Vorteile auf: Die Leguminose schont den Stickstoffgehalt in der Bodenlösung aufgrund ihrer symbiotischen Fixierung von atmosphärischem N_2 und ihres geringen Bedarfs an anorganischer Stickstoffdüngung. Das Getreide reduziert den Stickstoffgehalt in der Bodenlösung, was zu einer höheren N-Fixierleistung der Erbse führt. Somit wird der Vorrat an Boden- und Luftstickstoff in der Mischkultur effizienter genutzt. Außerdem können positive Effekte auf die Ertragsbildung aufgrund der höheren Nutzung der photosynthetisch wirksamen Lichteinstrahlung erwartet werden.

Ziel der Arbeit war es, für Weizen und Erbsen den Einfluss variierender Mischungsverhältnisse und unterschiedlicher Anbauermine auf die Bodenbedeckung, die oberirdische Biomasse, den Ertrag, die Ertragsstruktur und den N_{min} -Gehalt im Boden festzustellen.

Je höher der Weizenanteil in der Mischung war, desto schneller wurde die vollständige Bodenbedeckung erreicht. In allen Mischungsvarianten behauptete sich Weizen beim Kornertrag und bei der oberirdischen Biomasse überproportional zu seiner ursprünglichen Saatstärke und unterdrückte die Erbse. Die Erbse hatte wesentlich geringere Kornerträge und oberirdische Biomassen als aufgrund ihrer Reinsaterträge und ihrer Saatstärken in den Mischungen zu erwarten gewesen wären. Allerdings wurde die Erbse im Frühjahrsanbau schwächer unterdrückt. Der Land Equivalent Ratio (LER) war für alle Mischungen höher als 1 (1,07-1,30) und nahm für die $\frac{1}{8}$ Weizen: $\frac{7}{8}$ Erbsen-Mischung für beide Anbauermine die höchsten Werte an. Da der Monetary Advantage Index (MAI) und der Erlös für diese Mischung zu beiden Anbauerminen ebenfalls am höchsten waren, ist sie am empfehlenswertesten für die landwirtschaftliche Praxis. In Gemengen mit geringerem Weizenanteil konnte Weizen den zunehmenden Standraum pro Einzelpflanze durch eine höhere Anzahl an Ähren m^{-2} und an Körnern pro Ähre, durch ein höheres Tausendkorngewicht und einen höheren Harvestindex ausnutzen. Diese Ertragskomponenten nahmen bei der Erbse mit zunehmendem Weizenanteil in den Mischungen ab. Der N_{min} -Gehalt im Boden nahm in allen Anbauvarianten bis zur Ernte ab, allerdings war die Abnahme mit geringerem Erbsen- und höherem Weizenanteil schneller. Der Bodenstickstoffgehalt in den Erbsenreinsaaten nach der Ernte war signifikant höher als jener in den Mischungen, die sich beim N_{min} -Gehalt nach der Ernte von den Weizenreinsaaten nicht signifikant unterschieden.

8. Abstract

Intercropping of a cereal and a legume provides many advantages in comparison to a monoculture: The legume saves the nitrogen content in the soil solution because of its symbiotic fixation of atmospheric N₂ and its low need of inorganic N-fertilizer. The cereal reduces the nitrogen content in the soil solution, which stimulates the legume to a higher N-fixation. That is why the soil nitrogen is used more efficiently in a mixed cultivation. Furthermore, a higher utilization of the photosynthetic active light in intercropping can cause positive effects on the yield.

The goal of this master thesis was to determine with wheat and pea the influence of varying intercropping ratios and different seeding dates on the ground cover, the aboveground biomass, the yield, the yield structure and the mineral nitrogen content in the soil.

The higher the proportion of wheat in the intercropping was, the faster was the complete ground cover achieved. In all intercropping variants wheat was dominant regarding yield and biomass and suppressing the pea. The pea had much smaller yields and biomasses as it would have been expected due to its yields in monoculture and its seeding rates in the intercrops. However, the spring sown pea was less suppressed. The Land Equivalent Ratio (LER) after Mead and Wiley (1980) was for all intercrops higher than 1 (1,07-1,30) and described the variant with $\frac{1}{8}$ of the wheat seeding rate and $\frac{7}{8}$ of the pea seeding rate as the variant with the highest land use efficiency for both seeding dates. Furthermore, the Monetary Advantage Index (MAI) and the proceeds were for these variant for both seeding dates also the highest. That is why it is the most recommendable intercropping variant for agricultural practice. In intercrops with a low proportion of wheat seeding rate wheat could use the increasing space per plant with a higher number of ears per square meter, a higher number of grains per ear, a higher thousand-seed weight and a higher harvest index. These yield components of pea were decreasing with higher wheat and lower pea seeding rate in the intercrops. Till harvest the mineral nitrogen content in the soil of all variants was decreasing, but the decrease was faster with higher wheat and lower pea proportions in the intercrops. After the harvest the mineral nitrogen content in the soil of pea in monoculture was significantly higher as of the intercrops, which did not differ significantly to wheat in monoculture concerning the mineral nitrogen content in the soil.

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Blattmorphologie der Erbse. Oben: normalblättrige Erbse, Mitte: halbblattlose Erbse, unten: blattlose Erbse. a = Nebenblätter, b = Blattachse, c = Fiederblätter, d = Ranken (Diepenbrock al., 1999).....	9
Abb. 2: Niederschlag, Boden- und Lufttemperatur vom 1. März bis 31. Juli 2011 in Groß-Enzersdorf.	19
Abb. 3: Globalstrahlung und relative Luftfeuchtigkeit vom 1. März bis 31. Juli 2011 in Groß-Enzersdorf.	20
Abb. 4: BBCH-Stadien von Weizen und Erbse im Herbstanbau.	21
Abb. 5: BBCH-Stadien von Weizen und Erbse im Frühjahrsanbau.....	22
Abb. 6: BBCH-Stadien von Weizen im Herbst- und Frühjahrsanbau.....	23
Abb. 7: BBCH-Stadien von Erbse im Herbst- und Frühjahrsanbau.....	23
Abb. 8: Bodenbedeckung von Weizen und Erbse im Herbst- und Frühjahrsanbau.	24
Abb. 9: N _{min} -Gehalte von 0-90 cm Bodentiefe aller Varianten im Herbst- und Frühjahrsanbau.	27
Abb. 10: Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse am 15. März 2011.....	29
Abb. 11: Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse am 5. April 2011.....	31
Abb. 12: Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse am 27. April 2011.....	34
Abb. 13: Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse am 17. Mai 2011.....	37
Abb. 14 Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse am 8. Juni 2011.....	40
Abb. 15: Oberirdische Gesamtbiomasse von Weizen und Erbse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).	43
Abb. 16: Kornertrag von Weizen und Erbse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).	46
Abb. 17: Weizenähren und Erbsenhülsen m ² zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).	50
Abb. 18: Tausendkorngewicht von Weizen zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).	52
Abb. 19: Tausendkorngewicht von Erbse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).	52

Abb. 20: Kornanzahl pro Weizenähre zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).....	54
Abb. 21: Kornanzahl pro Erbsenhülse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).....	54
Abb. 22: Kornertrag pro Weizenähre und Erbsenhülse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).....	56
Abb. 23: Harvestindex des Weizens zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).....	58
Abb. 24: Harvestindex der Erbse zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung).....	58
Abb. 25: Anteil der Druschverluste bei Mähdrusch am Erbsenertrag zu den Mähdruschterminen 7. Juli 2011 (Winterung) und 15. Juli 2011 (Sommerung).	60

Tabellenverzeichnis

Tab. 1. Ergebnisse der N_{\min} -Bestimmung nach der Aussaat (Ziehung am 12.10.2010).....	14
Tab. 2. Untersuchungsprogramm.....	18
Tab. 3. Ergebnis der einfachen ANOVA für die ausgewinterten Erbsen der einzelnen Mischungsvarianten im Herbstanbau (SNK).....	20
Tab. 4. Ergebnisse der zweifachen ANOVAs für die Bodenbedeckung der einzelnen Mischungsvarianten im Herbst- und Frühjahrsanbau von März bis Mai 2011 (SNK).....	24
Tab. 5. Ergebnisse der zweifachen ANOVAs für die N_{\min} -Gehalte der einzelnen Mischungsvarianten im Herbst- und Frühjahrsanbau von April bis Juli 2011 (SNK).	28
Tab. 6. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat im Herbstanbau am 15. März 2011 (ANOVA, SNK).....	30
Tab. 7. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst-Frühjahrsanbaues am 5. April 2011 (ANOVA, SNK).....	32
Tab. 8. Ergebnis der zweifachen ANOVA für die oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 5. April 2011 (SNK).....	33
Tab. 9. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst-Frühjahrsanbaues am 27. April 2011 (ANOVA, SNK).....	35
Tab. 10. Ergebnis der zweifachen ANOVA für die oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 27. April 2011 (SNK).....	36
Tab. 11. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst-Frühjahrsanbaues am 17. Mai 2011 (ANOVA, SNK).....	38
Tab. 12. Ergebnis der zweifachen ANOVA für die oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 17. Mai 2011 (SNK).....	39

Tab. 13. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst-Frühjahrsanbaues am 8. Juni 2011 (ANOVA, SNK).....	41
Tab. 14. Ergebnis der zweifachen ANOVA für die oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues am 8. Juni 2011 (SNK).....	42
Tab. 15. Oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Biomasseanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst-Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen Winterung: 4. Juli 2011, Sommerung: 13. Juli 2011 (ANOVA, SNK).....	44
Tab. 16. Ergebnis der zweifachen ANOVA für die oberirdische Weizen- und Erbsenbiomasse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen Winterung: 4. Juli 2011, Sommerung: 13. Juli 2011 (SNK).....	45
Tab. 17. Kornertrag von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten sowie der prozentuelle Kornertragsanteil der Mischungen im Verhältnis zur Reinsaat in Abhängigkeit des Herbst-Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (ANOVA, SNK).....	47
Tab. 18. Ergebnis der zweifachen ANOVA für den Kornertrag [g m ⁻²] von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).....	48
Tab. 19. LER, MAI und Erlös der einzelnen Mischungsvarianten im Herbst- und Frühjahrsanbau.....	49
Tab. 20. Ergebnis der zweifachen ANOVA für Ähren/ Hülsen m ⁻² von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).....	51
Tab. 21. Ergebnis der zweifachen ANOVA für das Tausendkorngewicht [g] von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).....	53
Tab. 22. Ergebnis der zweifachen ANOVA für Kornanzahl pro Ähre und Hülse von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).....	55
Tab. 23. Ergebnis der zweifachen ANOVA für Kornertrag pro Ähre/ Hülse [g] von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).....	57

Tab. 24. Ergebnis der zweifachen ANOVA für den Harvestindex von Weizen und Erbse der einzelnen Mischungsvarianten in Abhängigkeit des Herbst- Frühjahrsanbaues zu den Ernteterminen 4. Juli 2011 (Winterung) und 13. Juli 2011 (Sommerung) (SNK).....	59
---	----

Literaturverzeichnis

AGES (2010): Sortenliste Winterweizen, Winterweichweizen.

AGES (2012): N_{\min} -Untersuchung. <http://www.ages.at/ages/landwirtschaftliche-sachgebiete/boden/bodenuntersuchung/nmin-untersuchung/> (Zugriff: 25.04.2012).

Aigner, A. (2011): Ertrags- und Anbauentwicklung bei Eiweißpflanzen in Bayern und Deutschland. 61. Tagung der Pflanzzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 87-89.

Anil, L., Park, J., Phipps, R. H., Miller, F. A. (1998): Temperate intercropping of cereals for forage. A review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass Forage Sci.* 53, 301–317.

AMA (2012): Daten & Fakten der Agrar-Markt Austria für den Bereich Getreide und Ölsaaten. http://www.ama.at/Portal.Node/public?genetics.rm=PCP&genetics.pm=gti_full&p.contentid=10008.88262&01_Kennzahlen_Getreide_AT.pdf (Zugriff: 30. 03. 2012).

Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (2011): Basisdaten für die Ermittlung des Düngebedarfs.

Bundesanstalt für Agrarwirtschaft (2010): Agrar- und volkswirtschaftliche Daten: Pflanzliche Produktion. <http://www.agraroekonomik.at/index.php?id=pflanzproduktion> (Zugriff: 26.04.10).

Chalk, P. M., Smith, C. J., Hamilton, S. D., Hopmans, P. (1993): Characterization of the N benefit of a grain legume (*Lupinus angustifolius* L.) to a cereal (*Hordeum vulgare* L.) by an in situ ^{15}N isotope dilution technique. *Biology and Fertility of Soils* 15, 39–44.

Corre-Hellou, G., Fustec, J., Crozat, Y. (2006): Interspecific competition for soil N and its interaction with N_2 fixation, leaf expansion and crop growth in pea–barley intercrops. *Plant and Soil* 282, 195–208.

Diepenbrock, W., Fischbeck, G., Heyland, K. U., Knauer, N. (1999): Spezieller Pflanzenbau. 3. Auflage, Stuttgart: Ulmer.

FAO (2011): FAOStat (<http://faostat.fao.org/>), FAO, Rom.

Freyer, B. (2003): Fruchtfolgen – konventionell, integriert, biologisch. Stuttgart: Ulmer.

Ghaley, B. B., Hauggaard-Nielsen, H., Jensen, E. S., Høgh-Jensen, H. (2005): Nutrient Cycling in Agroecosystems 73, 201–212.

Grass, R., Urbatzka, P., Schüler, C., Trautz, D. Schliephake, U. (2009): Wintererbse wieder entdeckt. DLZ-Agrarmagazin 8, S. 54–57

Hauggaard-Nielsen H., Knudsen M. T., Jørgensen J. R., Jensen E. S., 2006. Intercropping wheat with pea for improved wheat baking quality. Proceedings of the European Joint Organic Congress. Odense, Denmark, 268–269.

Hebeisen, T., Charles R. (2003): Anbau von Sommer- und Wintereiweißersens. Agrarforschung 10 (1), 14–19.

Hof, C., Rauber, R. (2003): Anbau von Gemengen im ökologischen Landbau. Broschüre Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Göttingen und Bonn.

Hof-Kautz, C. (2011): Wintererbsen. http://www.oekolandbau.nrw.de/fachinfo/pflanzenbau/koernerleguminosen/herbstaussaat_hof-kautz_sept_2011.php (Zugriff: 20. April 2012).

Hoos, S., Zillger, C., Anderl, A., Goetz, M. (2005): Versuchsbericht Versuche im ökologischen Landbau. Bericht 15, Versuchswesen Pflanzenbau Rheinland-Pfalz.

Jensen, E. S. (1996): Plant and Soil 182, 25–38.

Kämpf, R., Nohe, E., Petzoldt, K. (1971): Pflanzliche Produktion. Frankfurt: DLG.

Kolbe, H., Karalus, W., Hänsel, M., Grünbeck, A., Gramm, M., Arp, B., Krelling, B. (2002): Körnerleguminosen im ökologischen Landbau. Leipzig.

Kreuzer, A. S. (2010): Einfluss von Saattermin und Saatstärke auf die Jugendentwicklung, Überwinterung und den Ertrag von Wintererbsen. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

Kübler, E., Aufhammer, W., Piepho, H. P. (2006): Mischungseffekte in Getreide-Körnerleguminosenbeständen auf den Kornertrag in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis. Universität Hohenheim.

Kübler, E., Aufhammer, W., Piepho, H. P. (2008): Mischungseffekte Getreide-Körnerleguminosenbeständen auf die Zusammensetzung der Spross- und Kornmassen in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis. Universität Hohenheim.

Lithourgidis, A. S., Vlachostergios, D. N., Dordas, C. A., Damalas, C. A. (2011): Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *Europ. J. Agronomy* 34, 287–294.

Mead, R., Willey, W. R. (1980): The concept of land equivalent ratio and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture* 16, 217–228.

Musa, M., Leitch, M. H., Iqbal, M., Sahi, F. U. H. (2010): Spatial arrangement affects growth characteristics of barley-pea intercrops. *Int. J. Agric. Biol.* 12, 685–690.

Neumann, A., Rauber, R. (2004): Einfluss substitutiver und additiver Anbaumuster auf Ertragsvorteile in Erbsen-Hafer-Gemengen bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung. *Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 16, 29–30.

Pridham, J. C., Entz, M. H. (2008): Intercropping Spring Wheat with Cereal Grains, Legumes, and Oilseeds Fails to Improve Productivity under Organic Management. *Agron. J.* 100, 1436–1442.

Pietsch, G., Starz, W., Wagentristl, H., Freyer, B. (2006): Abschlussbericht Projekt Nr. 1290 - Optimierung von Körner- und Futtererbsenanbau und -verwertung unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus im pannonischen Klimagebiet.

Quispel, A. (1982): Frontiers of research in symbiotic nitrogen fixation. Roy, S. K., *Frontiers in Research of Agriculture*. Indian Statistical Institute Calcutta, India.

Rauber, R., Schmidtke, K., Kimpel-Freund, H. (2000): Konkurrenz und Ertragsvorteile in Gemengen aus Erbse (*Pisum sativum* L.) und Hafer (*Avena sativa* L.). *J. Agron. & Crop Sci.* 185, 33–47.

Schmitke, K., Hof, C. (2007): Erzeugung von Weizen hoher Backqualität durch Gemengeanbau mit Winterackerbohne und Wintererbse im ökologischen Landbau. Dresden.

Sommer, W., Maier-Loeper, O. (2004): <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/fuetterung/leguminosen.htm> (Zugriff: 5.12.2011).

Urbatzka, P., Graß, R., Schüler, C. (2008): Vergleichender Anbau verschiedener Wintererbsenherkünfte in Rein- und Gemengesaat zur Integration in das Anbausystem Ökologischer Landbau. Universität Kassel.

Willey, R. W. (1979): Intercropping – Its importance and Research needs. Part 1. Competition and Yield advantages. *Field Crops* 32, 1–10.

Witzenberger, A., Hack, H., Van den Boom, T. (1989): Erläuterungen zum BBCH-Dezimal-Code für die Entwicklungsstadien des Getreides - mit Abbildungen.