



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 99 | Ausgabe 2

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

„Ich säe was, was Du nicht säst“ – Die Wirtschaftlichkeit des Gemengeanbaus von Winterackerbohne und Winterweizen

Von Vanessa Bonke, Daniel Siebrecht-Schöll, Oliver Mußhoff

1 Einleitung

Der Erhalt und die Förderung der Biodiversität gewinnen vor dem Hintergrund enger Getreidefruchtfolgen in der deutschen Landwirtschaft zunehmend an Bedeutung. Eine Möglichkeit, die Biodiversität in der landwirtschaftlichen Flächenproduktion zu erhöhen, ist der Anbau von Feldfrüchten in Gemengen (GABA et al., 2015; MARTIN-GUAY et al., 2018). Der Gemengeanbau ist per Definition der gleichzeitige Anbau von zwei oder mehr Kulturarten auf derselben Fläche (ANDREWS und KASSAM, 1976). Es handelt sich bei dieser Form des Anbausystems im Prinzip um ein traditionelles System, dessen Ursprünge sich mehrere Tausend Jahre zurückverfolgen lassen. Zu den bekanntesten Gemengen, die bereits von indigenen Völkern in Mesoamerika genutzt wurden, zählen Kombinationen aus Mais, Bohne und Kürbis (POSTMA und LYNCH, 2012). In Deutschland war der Gemengeanbau bis Mitte des 19. Jahrhunderts ebenfalls eine weit verbreitete Anbauform. Erst mit der zunehmenden Mechanisierung und der steigenden Verfügbarkeit synthetischer Dünge- und Pflanzenschutzmittel verlor dieses Anbausystem an Bedeutung (HOF und RAUBER, 2003). Die Verfügbarkeit von synthetischen Stickstoffdüngemitteln hat auch dazu beigetragen, dass Leguminosen aus den Fruchtfolgen verdrängt wurden (MAMINE und FARÈS, 2020). Eine Folge dieser Entwicklung sind starke Einbußen in der Biodiversität innerhalb der Ackerschläge einerseits und innerhalb der Fruchtfolgen andererseits (STEIN und STEINMANN, 2018).

Der Anbau von Gemengen stellt somit aus heutiger Sicht eine „innovative“ Möglichkeit dar, die Biodiversität innerhalb der Ackerschläge und Fruchtfolgen zu steigern. Zudem bieten insbesondere Gemenge aus Leguminosen und Nicht-Leguminosen die Möglichkeit, synthetische Stickstoffdüngemittel einzusparen. Darüber hinaus verspricht der Gemengeanbau im Vergleich zum Reinsaatbau bei verringertem Input von synthetischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, eine verbesserte Ertragsstabilität bei optimierter Nutzung der vorhandenen Wachstumsfaktoren (GABA et al., 2015;

HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2008). Der sogenannte „Mischeffekt“, der sich aus der Interaktion der Gemengepartner ergibt, führt darüber hinaus oft zu einem Ertragsvorteil des Gemenges im Vergleich zu den korrespondierenden Reinsaaten (HOF und RAUBER, 2003; PELZER et al., 2012). Gemenge können außerdem dazu beitragen, die Bodenfruchtbarkeit zu erhöhen, Beikräuter zu unterdrücken und die vorhandenen Ressourcen, wie Nährstoffe, Wasser und Licht, besser zu nutzen (MALÉZIEUX et al., 2009; WEZEL et al., 2014; CHEN et al., 2018). Damit hat der Anbau von Leguminosen und Nicht-Leguminosen-Gemengen das Potential zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft beizutragen.

Aus praktischer landwirtschaftlicher Sicht ist der Anbau von Gemengen, speziell von Hauptfruchtgemengen (z.B. Weizen und Erbse, Hafer und Linse), jedoch mit einigen Herausforderungen verbunden. Da sich der landwirtschaftliche Sektor in den vergangenen Jahrzehnten um die dominanten Getreidereinsaat herum entwickelt hat, sind Pfadabhängigkeiten entstanden, die zu einem technologischen Lock-In geführt haben (BEDOUSSAC et al., 2015; MEYNARD et al., 2018). Alle Stufen der Wertschöpfungskette sind auf Reinsaat ausgelegt und optimiert worden: Beginnend mit den Sorten, die für den Anbau in Reinsaat gezüchtet worden sind (SIEBRECHT-SCHÖLL, 2019), bis hin zu den verarbeitenden Betrieben, die standardmäßig nicht darauf ausgelegt sind, gemischte Ernteprodukte zu verarbeiten. In der landwirtschaftlichen Primärproduktion ergeben sich Herausforderungen, da Landwirte beim Anbau von Hauptfruchtgemengen nur sehr begrenzt auf eigene Erfahrungen und Wissen zurückgreifen können, was impliziert, dass ein Anbau von Gemengen für einen Großteil deutscher Landwirte mit Lernkosten verbunden ist (BONKE und MUSSHOF, 2020). Informationen zur Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Gemengekombination sind in der wissenschaftlichen und praktischen Literatur sehr limitiert (ROSA-SCHLEICH et al., 2019; PELZER et al., 2012; LEMKEN et al., 2017b). Auch die Informationslage bezüglich der Erträge von Gemengen ist begrenzt, während schon allein die jährlichen Landessortenversuche kontinuierlich aktuelle Informationen für Reinsaat in Deutschland liefern. In der Praxis erhöhen fehlende Informationen nicht zuletzt auch das Risiko für den Anbau von Gemengen.

Politisch hat der Anbau von Hauptfruchtgemengen in Deutschland bislang nur wenig Beachtung gefunden. Während der Anbau von Zwischenfrüchten als Mischung und Hauptfrüchte mit Grasuntermägen bereits länger gefördert werden (BMEL, 2015), gab es für Hauptfruchtgemenge aus Leguminosen und Nicht-Leguminosen bis 2018 keine einheitliche Berücksichtigung auf nationaler Ebene im Rahmen der ersten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP). Erst seit den letzten Änderungen der Anforderungen für die Direktzahlungen der GAP, finden Hauptfruchtgemenge innerhalb der Greeningauflagen national Berücksichtigung. Konkret bedeutet dies, dass Gemenge aus Leguminosen und Nicht-Leguminosen, bei denen der Leguminosenanteil im Pflanzenbestand überwiegt, zum

Antragsjahr 2018 mit einem Gewichtungsfaktor von 1,0 zur Erbringung der ökologischen Vorrangfläche (ÖVF) anerkannt werden (BMEL, 2018). Vor 2018 galt dies nur für Leguminosen in Reinsaat und Mischungen aus Leguminosenarten, für welche in diesem Zeitraum ein Gewichtungsfaktor von 0,7 galt (BMEL, 2015). Mit der Änderung des Gewichtungsfaktors wurde gleichzeitig ein generelles Pestizidverbot für Leguminosen als ÖVF eingeführt. Unter Einhaltung des Pestizidverbotes konkurriert der Gemengeanbau damit direkt mit den anderen als ÖVF anrechenbaren Maßnahmen, wie z.B. brachliegenden Flächen oder Pufferstreifen.

In einigen Bundesländern ist theoretisch auch eine Berücksichtigung von Gemengen im Rahmen der Agrarumweltmaßnahmen zur Förderung vielfältiger Kulturen möglich, jedoch nur unter Einhaltung weiterer Restriktionen. Hinzu kommt die Einhaltung des Doppelförderungsverbotes, weshalb diese Fördermöglichkeit bspw. in Niedersachsen ausgesetzt ist (ML Niedersachsen, 2020). Damit gilt national für Flächen, die nicht als ÖVF anrechenbar sind, dass der Gemengeanbau unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten mit etablierten Reinsaaten konkurrieren muss.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel dieses Beitrags, die Wirtschaftlichkeit von Gemengen am Beispiel von Winterackerbohne (*Vicia faba*) und Winterweizen (*Triticum aestivum*) zu bewerten.

Basierend auf den Daten eines mehrjährigen Freilandversuches, welcher im Rahmen eines Verbundprojektes an der Georg-August-Universität Göttingen stattgefunden hat (IMPAC³), werden Deckungsbeiträge (DB) für verschiedene Sortenkombinationen von Winterackerbohne und Winterweizen berechnet. Zur ökonomischen Bewertung des Mischeffektes werden zusätzlich die relativen DB des Gemenges kalkuliert. Darauf aufbauend erfolgt die Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms mittels linearer Programmierung bei der neben „klassischen“ Produktionsverfahren auch das Gemenge mit Winterackerbohne und Winterweizen als Produktionsverfahren berücksichtigt wird. Das gesamtbetriebliche Modell erlaubt die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse der Stabilitätsbereiche des Gemenge DB, was Implikationen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Gemengen, die über die konkret berechneten DB hinausgehen, ermöglicht. Die Ergebnisse können als erste Orientierung für die Wirtschaftlichkeit dieser Gemengekombination in der konventionellen Landwirtschaft dienen und verdeutlichen, an welchen Stellen noch Forschungsbedarf besteht, um den Gemengeanbau zukünftig in der deutschen landwirtschaftlichen Praxis etablieren zu können.

2 Datengrundlage IMPAC³ Feldversuche

Im Rahmen des IMPAC³ Projektes wurden Feldversuche mit Winterackerbohnen und Winterweizen in Gemenge und in Reinsaat durchgeführt. Ziel des Versuches war die Identifikation von Merkmalen bei den beteiligten Arten, die mit der Ertragssteigerung im Gemenge assoziiert sind. Der Versuch war daher so aufgebaut, dass es größtmögliche Interaktionen zwischen den beteiligten Gemengepartnern gibt, um diese Effekte untersuchen zu können.

Es wurden Gemenge und Reinsaaten von:

- acht verschiedenen Winterackerbohnen genotypen (*Vicia faba*, Vf1 - Vf8) und
- drei Winterweizensorten (*Triticum aestivum*, Ta1 - Ta3) angebaut.

Bei den Winterackerbohnen handelt es sich um experimentelle Inzuchtlinien aus dem Zuchtprogramm der Norddeutschen Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG, Hohenlieth (NPZ) und der Abteilung Pflanzenzüchtung des Departments für Nutzpflanzenwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen (ROTH und LINK, 2010).

Für den Weizen wurden zwei Liniensorten genutzt (Genius = Ta1 und Boxer = Ta2) und eine Hybridsorte (Hybery = Ta3).

Die Versuchspartellen wurden als substitutives Anbaumodell in alternierenden Reihen angelegt, d.h. ein Prozentanteil der Aussaatstärke in Reinsaat der Winterackerbohne wurde durch einen gleich hohen Prozentanteil der Aussaatstärke in Reinsaat des Winterweizens ersetzt. Bezugspunkt ist dabei immer die Aussaatstärke der Reinsaaten der beteiligten Arten, welche 100 % entspricht. Dabei ist zu beachten, dass sich die Saatkichten (Körner/m²) verschiedener Arten oftmals stark unterscheiden (HOF und RAUBER, 2003). Die Aussaatdichte der Winterackerbohnenreinsaaten betrug 40 Körner/m² und die der Winterweizenreinsaaten 320 Körner/m². Die Aussaatstärke im Gemenge betrug jeweils 50 % der Aussaatstärke der Reinsaaten (20 Körner/m² Winterackerbohne, 160 Körner/m² Winterweizen) (SIEBRECHT-SCHÖLL, 2019). Es sei darauf hingewiesen, dass der Hybridweizen auch mit der Saatkichte von 320 Körner/m² in Reinsaat und 160 Körner/m² im Gemenge ausgesät wurde. Die gleich hohe Aussaatdichte liegt im Versuchsdesign und Forschungsziel begründet. Sortenversuche zeigen jedoch, dass „Hybery“ mit einer Saatkichte von 160 Körner/m² in Reinsaat sehr hohe Erträge unter Praxisbedingungen erzielt (ZIPPERT et al., 2013). Die Versuchsgestaltung war explizit nicht auf die Maximierung der Erträge ausgelegt. In den Gemengen und Reinsaaten des Versuchs hat keine Stickstoffdüngung stattgefunden.

Die Feldversuche wurden in drei Wirtschaftsjahren (2014/15, 2015/16 und 2016/17) an zwei kontrastierenden Standorten (Reinshof und Deppoldshausen) in Südniedersachsen durchgeführt. Der

Standort Reinshof (51°29'N, 9°55'O, bei 157 m ü. NN) zeichnet sich durch einen fruchtbaren tiefgründigen Boden in einer Flussaue aus. Der Oberboden besteht aus 21 % Ton, 68 % Schluff und 11 % Sand und zählt zu den Hohertragsstandorten. Der Standort Deppoldshausen (51°34'N, 9°58' O bei 342 m ü. NN) kann zu den Grenzertragsstandorten gezählt werden. Der Oberboden besteht in Deppoldshausen aus 55 % Ton, 43 % Schluff und 2 % Sand und zeichnet sich durch einen hohen Steinanteil aus. (SIEBRECHT-SCHÖLL, 2019).

Abbildung 1 veranschaulicht beispielhaft die im Versuch erzielten Kornerträge für das Jahr 2016 für den Hohertragsstandort Reinshof und den Grenzertragsstandort Deppoldshausen, welche im Folgenden als Grundlage der Berechnungen dienen. Detaillierte Ertragsergebnisse für den Versuch sind zu finden in SIEBRECHT-SCHÖLL (2019). Die Säulenblöcke in Abbildung 1 sind gruppiert nach Ackerbohnenotypen (Vf1-8), zuzüglich eines Blocks für den Mittelwert über alle Ackerbohnenotypen (Mittelwert Vf1-8, linker Block) und eines Blocks für die Weizenreinsaat (Reinsaat Ta, rechter Block). Für jeden Ackerbohnenotypen werden dabei die Erträge der Gemenge mit den drei unterschiedlichen Weizensorten (blau=Ta1, gelb=Ta2, grün=Ta3) und der Ackerbohne in Reinsaat (rot) ausgewiesen. Analog zeigt der letzte Block rechts die Reinsaatserträge der drei Weizensorten gemäß der zugeordneten Farbe (Reinsaat Ta). Der Gesamtertrag eines Gemenges (ganze Säule) setzt sich dabei zusammen aus dem Ackerbohnenenertrag (rot schraffierter Teil der Säule) und dem Weizenertrag (nicht schraffierter Teil der Säule).

Im Jahr 2016 liegt das Ertragsniveau zwischen 30 und 50 dt/ha Gesamtertrag des Gemenges, der Anteil Ackerbohnen überwiegt gewichtsmäßig im Gesamtertrag deutlich den des Weizens. In Abhängigkeit der Umweltbedingungen in einem gegebenen Jahr, wird der Anteil der beiden Arten in den Erträgen im Gemenge variieren. Die Erträge am Standort Reinshof fallen für dieses Jahr vergleichsweise gering aus, da ein Unwetter zu Lager an den Ackerbohnen geführt hatte, welches ausgeprägter an diesem Standort war.

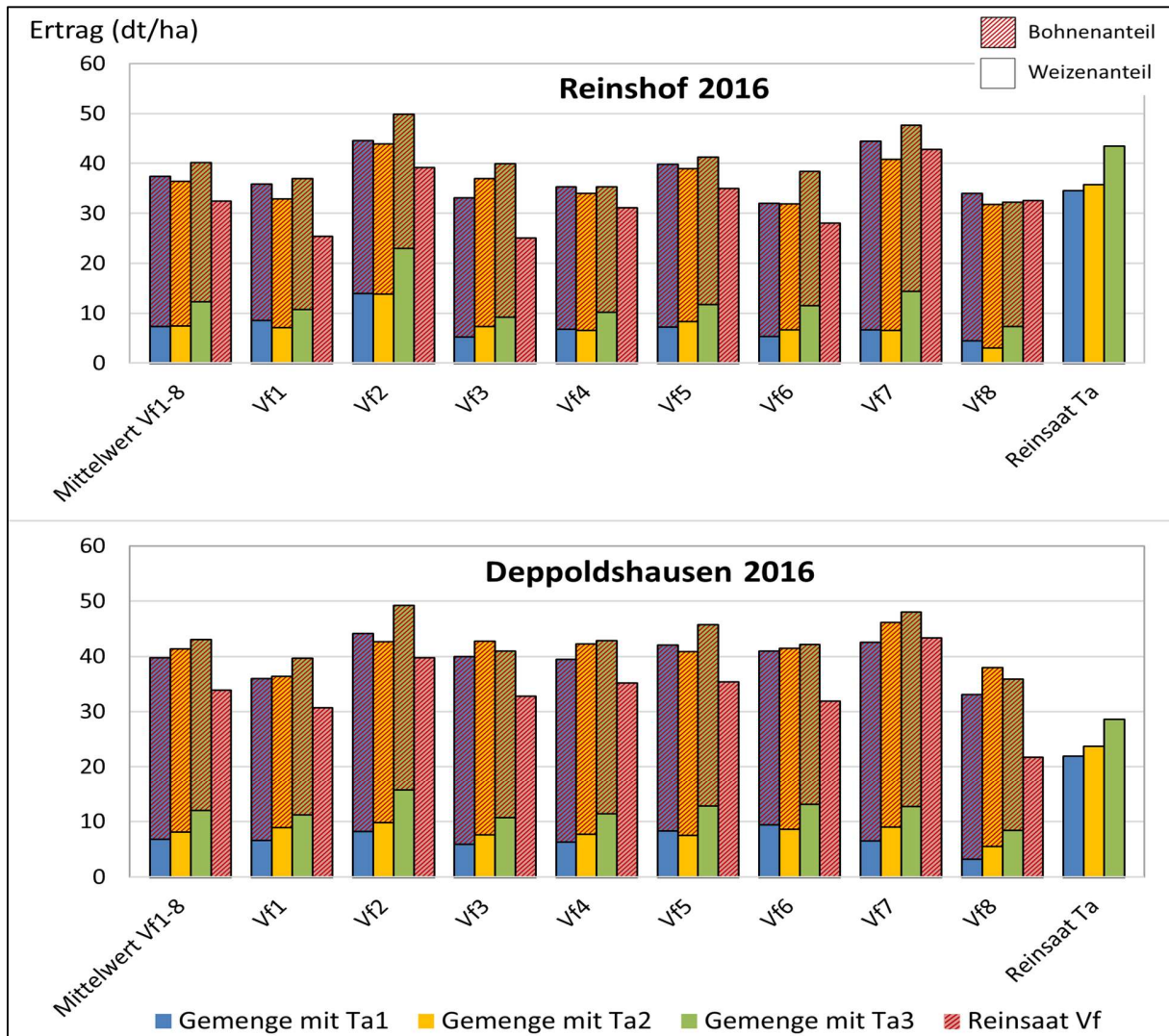


Abbildung 1: Gesamtkornerträge (dt/ha, gesamte Säule) aus dem Jahr 2016 für Gemege aus Winterackerbohne (*Vicia faba*, Vf, rot schraffiert) und Winterweizen (*Triticum aestivum*, Ta, nicht schraffiert) sowie korrespondierende Reinsaatserträge für Winterackerbohne (Reinsaat Vf, rote Säule, schraffiert) und Winterweizen (rechter Block, Reinsaat Ta, nicht schraffiert) für Standort Reinshof und Deppoldshausen

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf SIEBRECHT-SCHÖLL (2019)

Für beide Standorte zeigt sich, dass Gemegekombinationen mit dem Hybridweizen (Abbildung 1, Gemege mit Ta3) in den meisten Fällen die höchsten Erträge liefern. Dieses Verhältnis ist auch in den anderen Jahren zu beobachten (SIEBRECHT-SCHÖLL, 2019). Im Sinne der Ressourcennutzungseffizienz und Ertragsmaximierung zeigt sich der Hybridweizen folglich auch im Gemege besonders vorteilhaft.

3 Ökonomie des Gemengeanbaus

3.1 Einfache Deckungsbeiträge (DB)

3.1.1 Methodische Vorgehensweise

Für die Berechnung der DB basierend auf den Ergebnissen der Freilandversuche mussten verschiedene Planannahmen getroffen werden, welche sich auf die Ergebnisse und deren Belastbarkeit auswirken. Zur Ermittlung der Marktleistung mussten zunächst die Kornerträge der einzelnen Versuchspartellen (g/10,5 m²) in Hektarerträge (dt/ha) umgerechnet werden. Für die Berechnung der Marktleistung wurden die durchschnittlichen Jahrespreise der Agrarmarkt Informations-Gesellschaft (AMI) für Niedersachsen Ost (frei Erfasslager) für konventionell produzierte Produkte herangezogen (AMI, 2020). Hierbei wurde unterstellt, dass der Weizen im Gemenge eine höhere Qualität aufweist und als Brotweizen verkauft werden kann, während der Weizen in Reinsaat nur als Futterweizen verkauft werden kann (HOF und SCHMIDTKE, 2006). Weitere monetäre Leistungen, wie bspw. die Direktzahlungen, wurden nicht berücksichtigt, da diese unabhängig von der gewählten Feldfrucht gezahlt werden und damit nicht zu den entscheidungsrelevanten Leistungen zählen.

Die Berechnung der variablen Kosten basiert weitestgehend auf den Daten des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). Um dem Feldversuchsdesign und Schwerpunkt des Versuches Rechnung zu tragen, wurden die Saatgutkosten jedoch für die einzelnen Sorten und Genotypen separat mittels regional verfügbarer Saatgutpreise (RAIFFEISEN WAREN GMBH, 2019, Tab.1) approximiert. Dabei entsprechen die Saatgutpreise für Weizen den tatsächlichen regionalen Preisen für die genutzten Sorten. Für die verschiedenen Ackerbohnen genotypen wurde ein einheitlicher Preis unterstellt, da es sich um nicht zugelassene Sorten aus der experimentellen Züchtungsforschung handelt. Genutzt wurde hier der Saatgutpreis für die Winterackerbohnen sorten „Hiverna“, zuzüglich eines Aufschlags von 2 Euro/dt. Dieser Aufschlag ergibt sich aus der Differenz der Saatgutkosten zwischen „Hiverna“ und der in 2018 neu zugelassenen Sorte „Augusta“ aus dem Jahr 2018.

Tabelle 1:
Verwendete Saatgutpreise 2014-2016

Saatgutpreise	2014	2015	2016
Weizen			
Weizen Ta1 Genius (€/dt)	58,90	58,75	58,00
Weizen Ta2 Boxer (€/dt)	58,60	58,25	58,00
Weizen Ta3 Hybery (€/500.000 Körner)	67,50	67,50	67,50
Ackerbohne			
Vf1-Vf8 (€/dt)	99,50	100,00	98,40

Die Berechnung der Saatgutmenge (in kg/ha) erfolgte, ausgehend von den Aussaatstärken (Ackerbohnen: 40 Körner/m² in Reinsaat, 20 Körner/m² in Gemenge; Weizen: 320 Körner/m² in Reinsaat, 160 Körner/m² in Gemenge), basierend auf den Tausendkorngewichten (TKG) zuzüglich eines Sicherheitsaufschlags. Unterschiedliche Saatgutkosten für die Ackerbohnen sind dadurch implizit trotz des gleichen Preises anhand unterschiedlicher TKG berücksichtigt.

Die Arbeitsschritte des Anbaus entsprechen soweit möglich den im Freilandversuch durchgeführten Schritten und variieren zwischen den Standorten (Reinshof: mittlerer Boden, Deppoldshausen: schwerer Boden). Für die Berechnung der Kosten wurde eine Schlaggröße von 5 ha und eine Hof-Feld-Entfernung von 2 km unterstellt. Die Arbeitsschritte für die Bodenbearbeitung sind für Reinsaaten und Gemenge identisch. Für die Aussaat des Gemenges wird für die Berechnung unterstellt, dass diese in zwei Überfahrten erfolgte. Im Gegensatz dazu erfolgte die Aussaat im Feldversuch in einer Überfahrt mittels eines zweiten Saatgutbehälters, welcher aber in der Praxis nicht standardmäßig vorhanden ist. Im Voraufbau erfolgte in jedem Jahr eine Anwendung mit Pflanzenschutzmitteln (PSM), konkret eine Unkrautbehandlung mit Herbiziden. Für die mechanische Unkrautbekämpfung werden zwei Arbeitsgänge mit dem Striegel und ein Arbeitsgang mit der Hacke unterstellt. Für die Düngung wird der Anteil an der Erhaltungsdüngung für Kalk berücksichtigt. Der Mähdrusch erfolgte in den Reinsaaten und im Gemenge in einem Arbeitsgang und wird in den Kosten gleichermaßen berücksichtigt.

Für das Gemenge entstehen zusätzliche Kosten für die Trennung des gemischten Ernteguts. Diese erfolgt annahmegemäß mittels Windsichtung durch den Landwirt und wird in Form von Direktkosten in der Berechnung angesetzt. Unter Rückgriff auf die Daten des KTBL wurden hier die Trennungskosten von 1,43 Euro/dt approximiert, die sich aus Maschinen- und Lohnkosten zusammensetzen. MAMINE und FARÈS (2020) berichten Trennungskosten in Höhe von 1,50 Euro/dt für Gemenge aus Erbsen und Weizen in Frankreich. Somit scheinen die approximierten Kosten plausibel.

Auf Basis der Feldversuchsdaten wurden pro Standort und Jahr jeweils 160 Einzeldeckungsbeiträge berechnet (4 Wiederholungen á 40 Versuchspartzen). Im Folgenden wird anhand jeweils eines Beispiels das genutzte Schema für die Reinsaaten und das Gemenge für den mittleren Ertrag (MW) dargestellt. Auf die Darstellung aller Einzeldeckungsbeiträge wird verzichtet, es erfolgt eine grafische Darstellung der verschiedenen Gemengekombinationen anhand der Mittelwerte separat für die beiden Standorte Reinshof und Deppoldshausen und die jeweiligen Erntejahre 2015-2017, die sich aus den jeweils berechneten Einzeldeckungsbeiträgen ergeben. Tabelle 2 zeigt beispielhaft das genutzte Schema für den DB des Gemenges. Trennungskosten richten sich nach dem erzielten Ertrag des jeweiligen Gemenges. Saatgutkosten und Zinskosten unterscheiden sich zwischen den verschiedenen Gemengekombinationen.

Variable Maschinenkosten variieren mit den Standorten. Der gezeigte DB ist der auf dem mittleren Ertrag basierende DB eines Gemenges in 2016.

Tabelle 2:

DB Schema für Gemenge des mittleren Ertrags für das Gemenge aus Vf7/Ta1, Reinshof, 2016

Leistungs-/Kostenart	Menge	Einheit	Preise	Einheit	Betrag in €/ha
Brotweizen (MW)	6,71	dt/ha	15,52	€/dt	104,14
Ackerbohne (MW)	37,81	dt/ha	17,64	€/dt	666,97
Summe Leistung					771,11
Weizen Ta1 Saatgut	86,00	kg/ha	0,5875	€/kg	50,53
Ackerbohne Saatgut	130,00	kg/ha	1,00	€/kg	130,00
Kohlensaurer Kalk	1,00	t/ha	40,70	€/t	40,70
PSM (Herbizide)	5,00	l/ha	12,76	€/l	63,80
Hagelversicherung	720,00	€/ha	0,01337	€/€	9,63
Wasser	1,20	m ³ /ha	1,80	€/m ³	2,16
Zinskosten (3 Monate)	297,50	€/ha	0,00742	€/€	2,21
Trennungskosten	44,52	dt/ha	1,43	€/dt	63,66
Summe Direktkosten					363,70
Direktkostenfreie Leistung					408,42
Variable Maschinenko.					208,43
Zinskosten (3 Monate)	208,43	€/ha	0,00742	€/€	1,55
Summe variable Kosten					572,67
Deckungsbeitrag					198,44

Tabelle 3:

DB Schema für Reinsaat Weizen des mittleren Ertrags für Ta1, Reinshof, 2016

Leistungs-/Kostenart	Menge	Einheit	Preise	Einheit	Betrag in €/ha
Futterweizen (MW)	34,56	dt/ha	15,14	€/dt	523,24
Summe Leistung					523,24
Weizen Ta1 Saatgut	172,00	kg/ha	0,5875	€/kg	101,05
Kohlensaurer Kalk	1,00	t/ha	40,70	€/t	40,70
PSM (Herbizide)	5,00	l/ha	12,76	€/l	63,80
Hagelversicherung	620,00	€/ha	0,00822	€/€	5,10
Wasser	1,20	m ³ /ha	1,80	€/m ³	2,16
Zinskosten (3 Monate)	212,00	€/ha	0,00742	€/€	1,57
Summe Direktkosten					212,81
Direktkostenfreie Leistung					310,43
Variable Maschinenko.					199,09
Zinskosten (3 Monate)	199,09	€/ha	0,00742	€/€	1,48
Summe variable Kosten					413,38
Deckungsbeitrag					109,86

Tabelle 3 zeigt das genutzte Schema für die Berechnung der DB für die Weizenreinsaaten. Trennungskosten entfallen hier und Maschinenkosten fallen geringer aus, da die zweite Überfahrt zur Aussaat nicht benötigt wird. Die Kosten der Hagelversicherung fallen für Weizen geringer aus.

Tabelle 4 veranschaulicht das Schema für die Berechnung der Ackerbohnenreinsaaten (Vf7, Reinshof 2016). Die Kosten für die Hagelversicherung fallen hier am höchsten aus. Variable Maschinenkosten sind hier minimal höher als in der Weizenreinsaat aufgrund von Gewichtsunterschieden des Saatguts.

Tabelle 4:

DB Schema für Reinsaat Ackerbohne des mittleren Ertrags für Vf7, Reinshof, 2016

Leistungs-/Kostenart	Menge	Einheit	Preise	Einheit	Betrag in €/ha
Ackerbohne (MW)	42,87	dt/ha	17,64	€/dt	756,23
Summe Leistung					756,23
Ackerbohne Saatgut	260,00	kg/ha	1,00	€/kg	260,00
Kohlensaurer Kalk	1,00	t/ha	40,70	€/t	40,70
PSM (Herbizide)	5,00	l/ha	12,76	€/l	63,80
Hagelversicherung	780,00	€/ha	0,01851	€/€	14,43
Wasser	1,20	m ³ /ha	1,80	€/m ³	2,16
Zinskosten (3 Monate)	326,66	€/ha	0,00742	€/€	2,42
Summe Direktkosten					383,51
Direktkostenfreie Leistung					372,72
Variable Maschinenko.					199,43
Zinskosten (3 Monate)	199,43	€/ha	0,00742	€/€	1,48
Summe variable Kosten					584,42
Deckungsbeitrag					171,81

3.1.2 Einfache Deckungsbeiträge Standort Reinshof

Abbildung 2 veranschaulicht die DB für die verschiedenen Gemengekombinationen und die korrespondierenden Reinsaaten gruppiert nach Ackerbohnen-Genotypen (Vf1-8). Farblich unterschieden werden dabei die Gemengekombinationen mit der jeweiligen Weizensorte (blau=Ta1, gelb=Ta2, grün=Ta3) und dem DB der Ackerbohnenreinsaat (rot). Analog zeigt der rechte Säulenblock die DB der Weizenreinsaaten (Reinsaat Ta) entsprechend der zugeordneten Farbe. Für das Jahr 2015 zeigt sich am Standort Reinshof, dass die DB der verschiedenen Gemenge alle positiv ausfallen. Den im Mittel besten DB der verschiedenen Gemengekombinationen in diesem Jahr liefert hier das Gemenge aus Vf3 und Ta1 (249,98 Euro/ha, Vf3 blaue Säule), der auch über dem DB der korrespondierenden Reinsaaten von Vf3 (233,21 Euro/ha, Vf3 rote Säule) und Ta1 (243,47 Euro/ha, Reinsaat Ta blaue Säule) liegt. Im Vergleich mit den korrespondierenden Bohnenreinsaaten zeigt sich, dass die Gemenge teilweise höhere, teilweise

aber auch niedrigere DB aufweisen. Die Weizenreinsaaten Ta1 und Ta2 weisen deutlich positive DB auf, die in fast allen Fällen höher ausfallen als die der korrespondierenden Gemenge. Den insgesamt höchsten DB liefert im Mittel die Weizenreinsaat Ta2 (278,82 Euro/ha). Gemenge mit Ta3 ebenso wie die Reinsaat Ta3 schneiden insgesamt am schlechtesten ab. Dies liegt vor allem darin begründet, dass es sich bei Ta3 um den Hybridweizen handelt, dessen Saatgutkosten weit über denen der anderen Weizensorten liegen. Die genutzte Saatkichte für den Hybridweizen (320 Körner/m²) war jedoch wesentlich höher, als dies in der Praxis der Fall wäre. Sollte sich der Hybridweizen auch bei einer Saatkichte von 160 Körner/m² in Reinsaat (ZIPPERT et al., 2013) und entsprechend 80 Körner/m² im Gemenge ähnlich positiv im Ertrag zeigen, würde dies die ökonomische Bewertung deutlich verbessern. Eine Halbierung der Saatgutmenge würde die Saatgutkosten halbieren, was bei dem insgesamt niedrigen DB massive Auswirkungen auf die relative Wettbewerbsfähigkeit haben kann.

Für das Jahr 2016 sind die DB sehr ungleichmäßig und fallen insgesamt niedriger aus. Dies liegt u.a. an den deutlich niedrigeren Verkaufspreisen im Jahr 2016, die jedoch in Niedersachsen für Weizen noch weit über dem deutschen Bundesdurchschnitt lagen (AMI, 2020). Zudem ist anzumerken, dass ein Unwetter in diesem Jahr zu starkem Lager an den Ackerbohnen im Versuch geführt hat (SIEBRECHT-SCHÖLL, 2019). Die DB der Gemenge liegen größtenteils über denen der korrespondierenden Bohnenreinsaaten, ein klarer Vorteil gegenüber den Weizenreinsaaten ist jedoch nicht zu sehen. Für die Gemengekombinationen mit Vf2 und Vf7 können die insgesamt höchsten DB verzeichnet werden. Dabei hat die Kombination aus Vf7 und Ta1 den höchsten DB in diesem Jahr erzielt (198,08 Euro/ha) und liegt sowohl über dem der korrespondierenden Weizenreinsaat Ta1 (109,41 Euro/ha) als auch der korrespondierenden Ackerbohnenreinsaat Vf7 (171,99 Euro/ha).

Im Jahr 2017 sind die DB der Gemenge alle deutlich im positiven Bereich am Standort Reinshof. Im Vergleich zum Vorjahr sind die Preise für Weizen und Ackerbohne deutlich gestiegen. Die Ackerbohnenreinsaaten unterliegen in allen Fällen ihren korrespondierenden Gemengen und das trotz des deutlich höheren Verkaufspreises der Ackerbohne. In diesem Jahr zeigen sich Gemenge mit Ta2 insgesamt am besten. Die höchsten DB liefern dabei die Kombination mit Vf3 (370,90 Euro/ha) und Vf4 (358,55 Euro/ha). Den insgesamt höchsten DB erzielte im Mittel jedoch die Reinsaat des Ta2 (427,26 Euro/ha), trotz des per Annahme geringeren Verkaufspreises für Futterweizen.

Insgesamt ist erneut zu betonen, dass es sich bei den Reinsaaten des Versuchs ebenfalls um Erträge aus ungedüngtem Anbau handelt. Das Ertragsniveau für die Weizenreinsaaten liegt damit deutlich unter den durchschnittlich in der konventionellen Landwirtschaft erzeugten Erträgen. Somit ist der Vergleich zwischen den Gemengen und ihren korrespondierenden Reinsaaten aus praktischer Sicht nur sehr begrenzt aussagekräftig bzw. relevant.

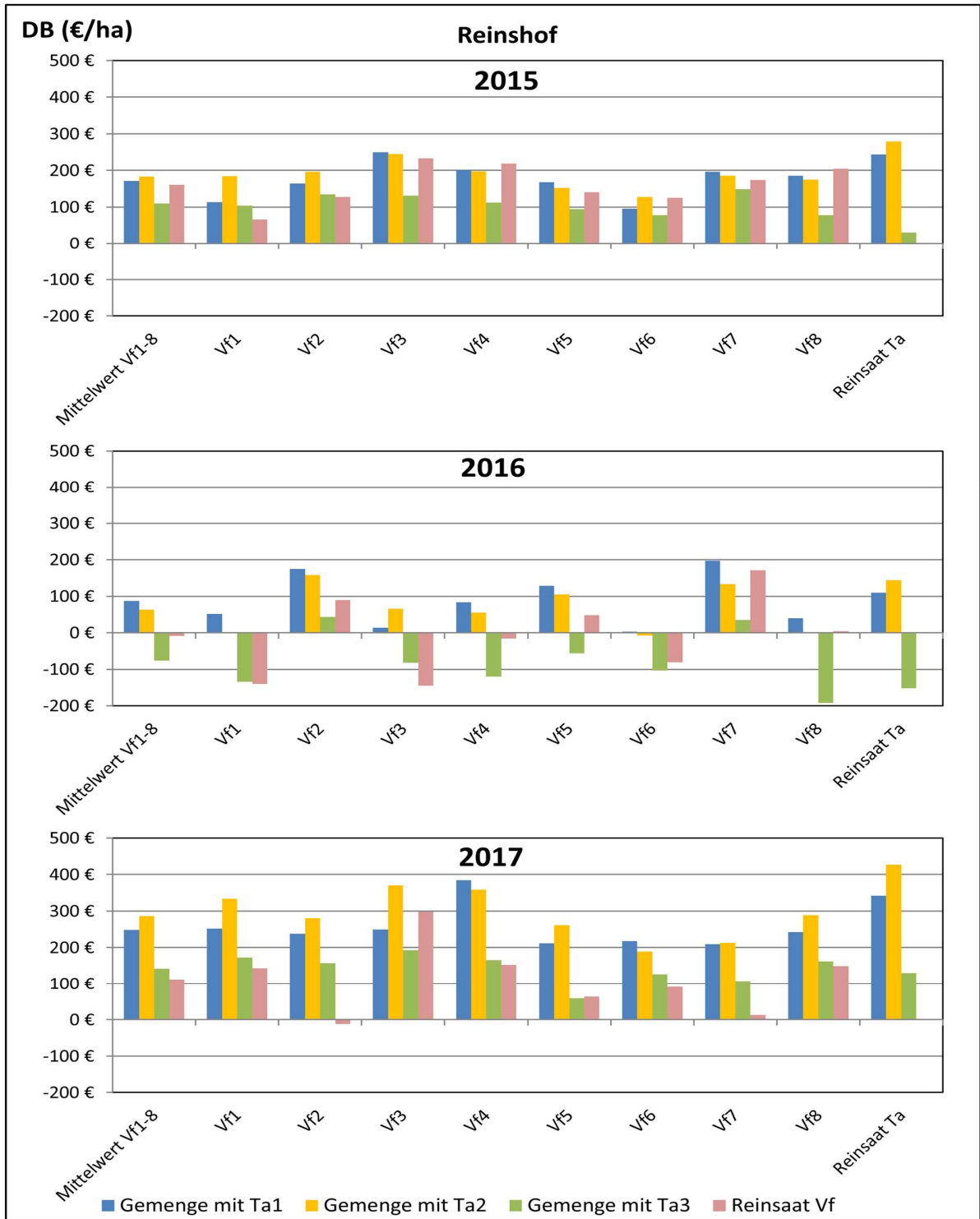


Abbildung 2: Mittelwerte der DB (Euro/ha) für den Standort Reinshof für Gemeinge aus Winterackerbohne (*Vicia faba*, Vf) und Winterweizen (*Triticum aestivum*, Ta) gruppiert nach Ackerbohnengeotypen (Vf1-8) sowie den korrespondierenden Reinsaaten für Winterackerbohne (Reinsaat Vf, rote Säulen) und Winterweizen (rechter Block, Reinsaat Ta) für unterschiedliche Jahre

3.1.3 Einfache Deckungsbeiträge Standort Deppoldshausen

Das Deckungsbeitragsniveau fällt am Standort Deppoldshausen insgesamt niedriger als am Standort Reinshof aus (geänderte Achsenskalierung in Abbildung 3). Außerdem sind die DB sehr heterogen. Beides war aufgrund der schlechteren Standorteigenschaften zu erwarten.

Für das Jahr 2015 konnte keine der Weizenreinsaaten einen positiven DB generieren (rechter Block, Reinsaat Ta), wobei Ta3 den mit Abstand schlechtesten DB erzielt. Die Bohnenreinsaaten (rote Säulen) erzielen größtenteils positive DB, den höchsten liefert im Mittel der Bohnenreinsaaten der Genotyp Vf8 (132,71 Euro/ha). Auch die Gemenge zeigen in den meisten Fällen einen zumindest positiven DB und schneiden alle besser ab als die Weizenreinsaaten. Den insgesamt höchsten DB liefert im Mittel der Gemenge das Gemenge aus Vf6 und Ta1 (164,98 Euro/ha).

Für das Jahr 2016 zeigen sich die DB der Weizenreinsaaten am Standort Deppoldshausen wieder alle negativ. Die DB der Bohnenreinsaaten sind sehr heterogen, auch hier zum Teil begründet durch das erhöhte Auftreten von Lager, welches jedoch nicht so ausgeprägt war wie am Reinshof, und daraus resultierenden Ertragsverlusten (SIEBRECHT-SCHÖLL, 2019). Die DB der Gemenge mit Ta1 und Ta3 sind in fast allen Fällen ihren korrespondierenden Weizen- und Bohnenreinsaaten überlegen. Den insgesamt höchsten DB liefert hier im Mittel die Kombination aus Vf7 und Ta2 (213,44 Euro/ha).

Für das Jahr 2017 liefern die Weizenreinsaaten nur sehr geringe bzw. negative DB. Während die Reinsaat Vf8 den insgesamt höchsten positiven DB an diesem Standort liefert (226,13 Euro/ha), liegen die von Vf2 und Vf6 im negativen Bereich. Die Gemenge weisen größtenteils positive DB auf und zeigen sich hier erneut vorteilhaft gegenüber den Weizenreinsaaten und in den meisten Fällen auch gegenüber den Bohnenreinsaaten.

Über die Jahre zeigt sich für den Standort Deppoldshausen, dass die Gemenge im Mittel deutlich höhere DB liefern als die Weizenreinsaaten und in den meisten Fällen auch höhere DB als die Bohnenreinsaaten. Dies deutet darauf hin, dass die Gemenge insbesondere für Grenzertragsstandorte geeignet zu sein scheinen. Die Ergebnisse zwischen den Jahren und zwischen den verschiedenen Sorten variieren stark und lassen auf Basis der DB keine eindeutige Identifizierung der besten Gemengekombination unter ökonomischen Gesichtspunkten zu.



Abbildung 3: Mittelwerte der DB (Euro/ha) für den Standort Deppoldshausen für Gemeinge aus Winterackerbohne (*Vicia faba*, Vf) und Winterweizen (*Triticum aestivum*, Ta) gruppiert nach Ackerbohnnengenotypen (Vf1-8) sowie den korrespondierenden Reinsaaten für Winterackerbohne (Reinsaat Vf, rote Säulen) und Winterweizen (rechter Block, Reinsaat Ta) für unterschiedliche Jahre

3.2 Relative Deckungsbeiträge der Gemenge zu den zwei korrespondierenden Reinsaat

3.2.1 Methodische Vorgehensweise

Die im vorherigen Abschnitt dargestellten Berechnungen ermöglichen den direkten Vergleich der DB der Gemenge mit den jeweiligen DB der einzelnen Reinsaat. Man vergleicht also den Anbau des Gemenges mit dem Anbau entweder der Weizenreinsaat oder der Ackerbohnenreinsaat. Neben diesen Vergleichen mit den einzelnen Reinsaat ist es möglich, die relative Beziehung zwischen dem Gemenge und den zwei korrespondierenden Reinsaat von Winterackerbohne und Winterweizen simultan zu berechnen. Vor dem Hintergrund des angenommenen positiven Mischeffektes im Gemenge, der zum Ertragsvorteil des Gemenges führt, ist dieser Vergleich besonders relevant. Ökonomisch lässt sich dieser Mischeffekt auf Basis des sogenannten relativen DB des Gemenges („relative gross margin of mixtures“) bewerten. Der *relative DB_{Gemenge}* setzt den DB des Anbaus eines Hektars Gemenge mit dem DB des Anbaus jeweils eines halben Hektars beider Reinsaat ins Verhältnis (vgl. Gleichung (1)). Man geht also davon aus, dass beide Arten in Reinsaat angebaut werden und beantwortet die Frage, ob der Anbau beider Arten als Gemenge auf derselben Fläche ökonomisch vorteilhaft ist. In Anlehnung an bspw. PELZER et al. (2012) kann dieser relative DB des Gemenges wie folgt berechnet werden:

$$\text{relativer } DB_{\text{Gemenge}} = \frac{DB_{\text{Gemenge } Vf \& Ta}}{(0,5 \cdot DB_{Vf} + 0,5 \cdot DB_{Ta})} \quad (1)$$

Der *relative DB_{Gemenge}* setzt den DB des Anbaus eines Hektars Gemenge mit dem DB des Anbaus jeweils eines halben Hektars beider Reinsaat ins Verhältnis (vgl. Gleichung (1)). Ein Wert größer 1 bedeutet dabei, dass der Anbau des Gemenges unter ökonomischen Aspekten dem Anbau beider Reinsaat in Kombination auf separaten Flächen auf Ebene der DB überlegen ist. Im Vergleich zu anderen in der Literatur genutzten Parametern wie bspw. dem relativen Ertrag des Gemenges (WILSON, 1988), kommen hier auch Unterschiede in den Marktleistungen und variablen Kosten zum Tragen. Abbildung 4 verdeutlicht diesen Sachverhalt grafisch für beide Standorte und alle Jahre. Die eingezeichneten Diagonalen entsprechen einem relativen DB_{Gemenge} von 1. Punkte oberhalb der Diagonalen entsprechen folglich einem relativen $DB_{\text{Gemenge}} > 1$ und implizieren die ökonomische Vorteilhaftigkeit des Gemenges auf Stufe des DB gegenüber den zwei korrespondierenden Reinsaat.

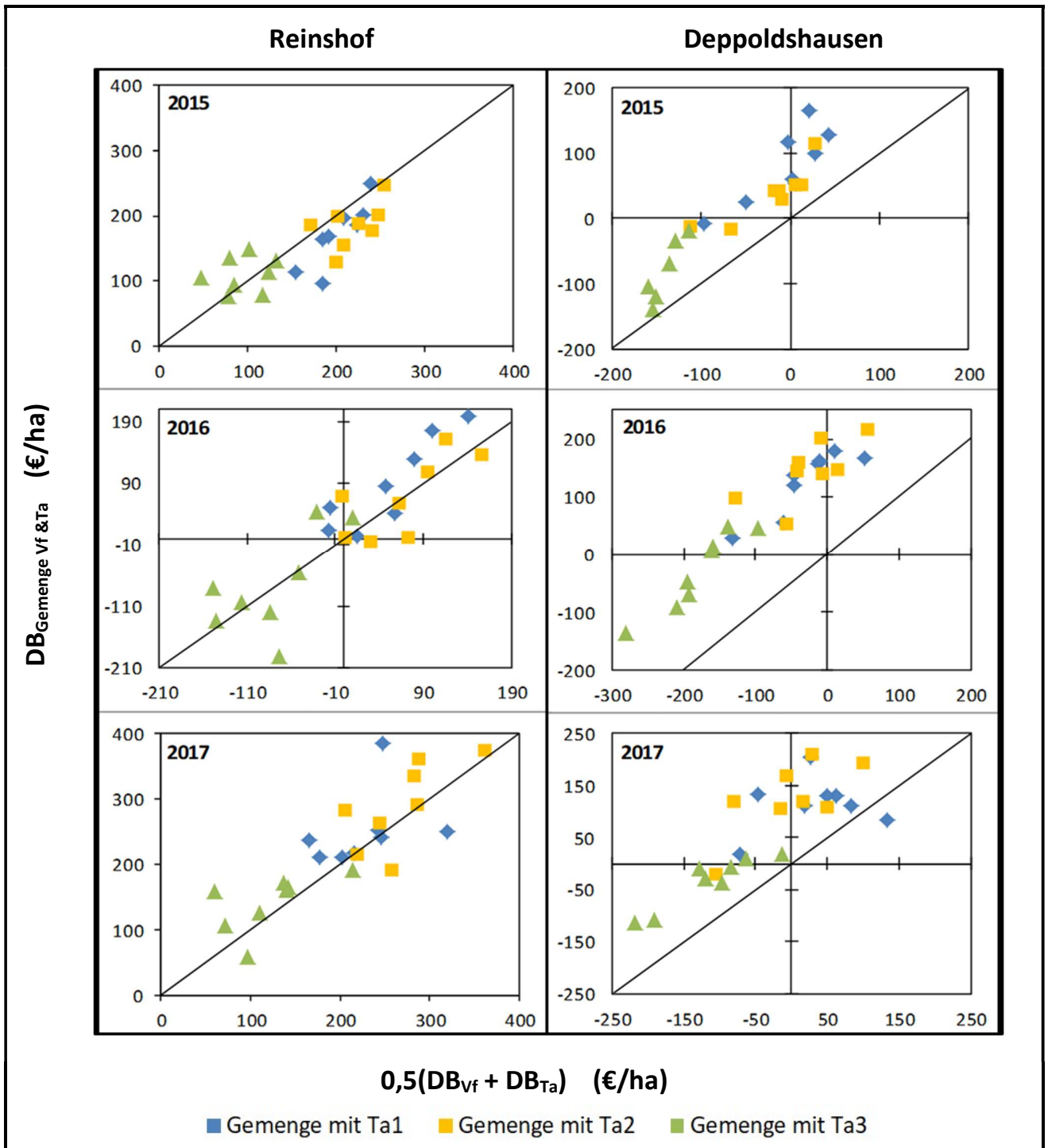


Abbildung 4: Relative Deckungsbeiträge der Gemeinde 2015-2017 für Reinshof und Deppoldshausen

3.2.2 Relative Deckungsbeiträge der Gemenge Standort Reinshof

Für das Jahr 2015 sind die relativen DB_{Gemenge} für Kombinationen mit Ta1 und Ta2 größtenteils kleiner als 1, d.h. ein positiver Mischeffekt lässt sich auf Ebene des DB nicht beobachten (Abb. 4). Für Kombinationen mit Hybridweizen Ta3 weisen etwa die Hälfte der Gemenge einen relativen DB größer 1 auf und sind damit dem separaten Anbau des Winterweizens und der Winterackerbohne überlegen. Im Jahr 2016 ändert sich der Gesamteindruck hinsichtlich der Vorteilhaftigkeit des Gemenges. Insbesondere Gemenge mit Ta1 weisen hier größtenteils relative DB_{Gemenge} größer 1 auf. Auch Kombinationen mit Ta2 sind im Vergleich zum Vorjahr deutlich positiver verglichen mit ihren beiden korrespondierenden Reinsaaten zu bewerten. Für das Jahr 2017 ist die Vorteilhaftigkeit der Gemenge in Bezug auf die relativen DB_{Gemenge} noch ausgeprägter. Auch sind in diesem Jahr alle DB im positiven Bereich. Mit nur wenigen Ausnahmen sind die relativen DB_{Gemenge} größer 1.

Im Vergleich über die Jahre zeigt sich für den Standort Reinshof ein gemischtes Bild bezüglich der relativen DB_{Gemenge} . Ein klarer Vorteil, wie er auf Ertragsebene in fast allen Fällen für das Gemenge aus Winterweizen und Winterackerbohne zu finden ist (SIEBRECHT-SCHÖLL, 2019), lässt sich auf Ebene des DB nicht feststellen. Dies liegt unter anderem daran, dass im Rahmen der DB auch Kosten berücksichtigt werden, die für das Gemenge höher ausfallen.

3.2.3 Relative Deckungsbeiträge der Gemenge Standort Deppoldshausen

Für den Standort Deppoldshausen, welcher insgesamt schlechtere Standorteigenschaften und Bodenqualität aufweist, liegen die relativen DB_{Gemenge} im Jahr 2015 alle oberhalb der Diagonalen, d.h. der positive Mischeffekt lässt sich auch auf Ebene des DB eindeutig feststellen. Im Jahr 2016 zeichnet sich dieser positive Mischeffekt in den relativen DB_{Gemenge} noch deutlicher ab, alle relativen DB_{Gemenge} liegen hier weit über der Diagonalen. Auch für das Jahr 2017 liegt der relative DB_{Gemenge} fast aller Gemengekombinationen über 1, jedoch nicht so ausgeprägt wie im Vorjahr.

Über die Jahre zeigt sich am Standort Deppoldshausen, dass Gemenge mit dem Hybridweizen Ta3 in absoluten Werten (Euro/ha) am schlechtesten abschneiden und größtenteils sogar in negativen DB resultieren, was insbesondere durch die sehr hohe Saatkosten und dadurch sehr hohen Saatgutkosten begründet ist. Diese Gemenge sind jedoch in allen Fällen ihren beiden korrespondierenden Reinsaaten im relativen DB überlegen. Der positive Mischeffekt des Gemenges zeigt sich an diesem Grenzertragsstandort insgesamt sehr deutlich auch auf Ebene der relativen DB. Die relative ökonomische Vorteilhaftigkeit des Gemenges ist hier deutlich ausgeprägter als am Hohertragsstandort Reinshof. Dies

deutet erneut drauf hin, dass der Gemengeanbau insbesondere für Flächen mit schlechteren Standorteigenschaften geeignet zu sein scheint, da die Ressourcennutzung im Gemenge durch die komplementäre Nutzung der Wachstumsfaktoren begünstigt wird.

3.3 Gesamtbetriebliches Optimierungsmodell

3.3.1 Funktionsweise und Planannahmen für die lineare Programmierung

Ein gesamtbetriebliches Optimierungsmodell kann genutzt werden, um das ökonomisch optimale Produktionsprogramm unter der Berücksichtigung innerbetrieblicher Interdependenzen, die sich durch die Konkurrenz verschiedener Produktionsverfahren um knappe fixe Produktionsfaktoren ergeben, zu identifizieren. Von besonderer Relevanz für den betrachteten Gemengeanbau ist jedoch die Möglichkeit einer Sensitivitätsanalyse im Rahmen des Optimierungsmodells. Im Sinne einer „was-wäre-wenn“ Analyse können Stabilitätsbereiche für den DB des Gemenges in Form eines ceteris paribus (c.p.) Vergleichs ermittelt werden. Damit kann die Frage beantwortet werden, wie hoch der DB des Gemenges sein müsste, um unter sonst gleichen Bedingungen in das ökonomisch optimale Produktionsprogramm aufgenommen zu werden. In dieser Form bestimmte Stabilitätsbereiche geben auch Auskunft über den Flächenumfang, in welchem das Gemenge mit dem entsprechenden DB in das Produktionsprogramm aufgenommen werden würde. Somit lassen sich Implikationen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Gemenges ableiten, die über die konkret berechneten DB der Gemenge hinausgehen, und Hinweise auf die Höhe einer möglichen finanziellen Förderung geben können.

Im gesamtbetrieblichen Modell steht das Gemenge unter Berücksichtigung von Arbeitszeit-, Fruchtfolge- und Greeningrestriktionen (inkl. ÖVF) in direkter Konkurrenz zu anderen Produktionsverfahren. Mittels linearer Programmierung kann der Gesamtdeckungsbeitrag maximiert und das ökonomisch optimale Produktionsprogramm identifiziert werden. Darüber hinaus können verschiedene Szenarien betrachtet werden, die Auskunft über betriebliche Anpassungsreaktionen z.B. bei einer politisch bedingten Änderung von Planannahmen geben können. Formal lässt sich das lineare Optimierungsmodell wie folgt darstellen:

$$\max_{x_i} GDB = \max_{x_i} \left(\sum_{i=1}^I DB_i \cdot x_i \right) \quad (2)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^I a_{j;i} \cdot x_i \leq \bar{b}_j \text{ für } j = 1, 2, \dots, J \quad (3)$$

$$x_i \geq 0 \quad (4)$$

Gleichung (2) stellt die Zielfunktion dar. Der Gesamtdeckungsbeitrag (GDB, in Euro) ergibt sich aus der Summe der DB einzelner Produktionsverfahren i (für $i = 1, 2, \dots, I$) gewichtet mit ihren jeweiligen Anbauumfängen x_i (in ha). Die Maximierung erfolgt unter Nebenbedingungen (3), wobei j (mit $j = 1, 2, \dots, J$) die zu berücksichtigende Kapazitätsrestriktion kennzeichnet. In Summe dürfen die Produkte aus den Kapazitätsansprüchen der jeweiligen Produktionsaktivität $a_{j,i}$ und den Anbauumfängen x_i die Ausstattung mit der entsprechenden Kapazität \bar{b}_j nicht übersteigen. Hinzu kommt gemäß Gleichung (4), dass die Umfänge der Produktionsverfahren nicht negativ werden dürfen.

Um basierend auf den Feldversuchsdaten ein gesamtbetriebliches Modell schätzen zu können, wurde zunächst ein Beispielbetrieb konstruiert, weitere Planannahmen getroffen und Restriktionen formuliert. Das Modell wurde für das Jahr 2016 erstellt, da repräsentative Ertragsdaten aus der aktuellsten Agrarstrukturerhebung 2016 genutzt werden konnten. Folgend werden die getroffenen Planannahmen und Kapazitätsrestriktionen beschrieben:

- Der konstruierte Beispielbetrieb bewirtschaftet eine Ackerfläche von 70 ha (Niedersächsischer Durchschnitt 2016: 68,7 ha), es handelt sich um einen reinen Ackerbaubetrieb. Der Betrieb erwirtschaftet durchschnittliche Erträge (ML und LSN, 2017) und erzielt damit durchschnittliche Marktpreise (AMI, 2020; KTBL) (vgl. Tabelle 5).
- Der Betrieb wird im Nebenerwerb bewirtschaftet, es steht eine Arbeitskraft mit 960 Arbeitskraftstunden (Akh) pro Jahr zur Verfügung (50 % Stelle bei 160 Akh/Monat), davon können jeweils 240 Akh innerhalb von 3 Monaten genutzt werden, um einerseits zu verhindern, dass alle Akh innerhalb kürzester Zeit geleistet werden und andererseits, um monatliche Arbeitsspitzen ausgleichen zu können.
- Produktionsverfahren sind: Winterweizen, Silomais (Biogas), Winterraps, Winterackerbohne, Gemenge aus Winterackerbohne und Winterweizen, Winterzwischenfrucht (Mischung aus Ölrettich, Senf, Phacelia), Brache
- Fruchtfolgebedingt dürfen maximal 66 % Weizen, maximal 33 % Raps, maximal 50 % Mais und maximal 25 % Ackerbohne angebaut werden (KTBL, 2018). Es wird angenommen, dass das Gemenge jeweils mit 50 % auf die Fruchtfolgerestriktion angerechnet wird.
- Greeningauflagen, die sich für einen Betrieb mit mehr als 30 ha landwirtschaftlicher Fläche ergeben und für den betrachteten Betrieb gelten, werden berücksichtigt (BMEL, 2015): Es müssen mindestens 3 verschiedene Kulturen angebaut werden. Der Flächenanteil der ersten Hauptfrucht darf maximal 75 % betragen. Erste und zweite Hauptfrucht dürfen in Summe einen Flächenanteil von 95 % nicht übersteigen. Mindestens 5 % der Fläche müssen zur Vorhaltung der ÖVF genutzt werden.

- Silomais kann für eine benachbarte Biogasanlage produziert werden, es besteht jedoch keine Lieferverpflichtung. Vor Silomais muss zwingend eine Winterzwischenfrucht angebaut werden. Diese wird per Annahme ungedüngt und ohne chemische Pflanzenschutzmaßnahmen angebaut (greeningfähig).

Die Berechnung der Kosten für die verschiedenen Produktionsverfahren basiert überwiegend auf den Daten des KTBL. Es wird eine durchschnittliche Schlaggröße von 5 ha und eine Hof-Feld-Entfernung von 2 km unterstellt. Die Bewirtschaftung erfolgt größtenteils nicht-wendend auf mittleren Böden. Erträge entsprechen, soweit verfügbar, den Durchschnittserträgen für Niedersachsen aus dem Jahr 2016 (ML und LSN, 2017). Preise für Weizen und Raps stammen von AMI (2020); für Silomais von KTBL. Für die DB der Winterackerbohne (Vf7) und des Gemenges (Vf7 und Ta1) wurden die Ergebnisse des Versuchs vom Reinshof 2016 genutzt. Die Zusammensetzung der DB der anderen Produktionsverfahren ist in Tabelle 5 veranschaulicht.

Tabelle 5:
DB weiterer Produktionsverfahren

	Winter- weizen	Silomais (Biogas)	Winter- raps	Winter- zwischen- frucht	Brache (1jährig)
Ertrag dt/ha	83,30	465	36,80	0	0
Preis €/dt	15,52	3,20	36,70	0	0
Leistung €/ha	1.292,82	1.488,00	1.350,38	0	0
Saatgut €/ha	84,00	242,00	85,80	74,95	34,20
Dünger €/ha	267,90	40,70	213,90	0	0
PSM €/ha	163,20	111,08	203,72	0	0
Versicherung €/ha	9,70	10,51	29,85	0	0
variable Maschinenko. €/ha	179,14	119,70	171,73	65,08	75,59
Zinskosten €/ha	5,28	6,89	5,23	1,04	0,56
Lohnunternehmer €/ha		400,00		0	
variable Kosten €/ha	709,22	927,2	710,23	141,07	110,36
Deckungsbeitrag €/ha					
(= Leistung €/ha – Kosten €/ha)	583,60	560,89	640,14	-141,07	-110,36

Aus den beschriebenen Annahmen ergibt sich, unter der Berücksichtigung der in 2016 geltenden Regelungen zum Greening, das in Tabelle 6 dargestellte Optimierungstableau. Im Rahmen des Greenings

find ein Gemenge aus großkörnigen Leguminosen und Getreide im Jahr 2016 keine Berücksichtigung (BMEL, 2015).

Tabelle 6:
Optimierungstableau Nulllösung

	Winterweizen	Silomais	Winterraps	Winterackerbohne	Gemenge (Vf7/Ta1)	Brache (1jährig)	Winterzwischenfrucht	Kapazitätsgrenzen
DB (€/ha)	583,60	560,89	640,14	171,99	198,08	-110,36	-141,07	
Umfang (ha)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Flächenansprüche (ha)	1	1	1	1	1	1	1	≤ 70
Gesamt Akh	8,57	8,26	7,46	9,59	12,82	3,43	3,75	≤ 960
Akh Jan.- März	0,87	0,47	1,05	0,85	0,85	0	1,64	≤ 240
Akh April- Juni	1,21	6,02	0,63	1,38	1,38	2,67	0	≤ 240
Akh Juli- Sept.	4,05	0,13	5,53	3,12	5,81	0	2,11	≤ 240
Akh Okt.- Dez.	2,44	1,64	0,25	4,24	4,78	0,76	0	≤ 240
Fruchtfolge								
WW (max. 66%)	0,33	-0,66	-0,66	-0,66	0,165	-0,66	-0,66	≤ 0
Raps (max. 33%)	-0,33	-0,33	0,66	-0,33	-0,33	-0,33	-0,33	≤ 0
Mais (max. 50%)	-0,50	0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	≤ 0
ABo (max. 25%)	-0,25	-0,25	-0,25	0,75	0,375	-0,25	-0,25	≤ 0
Vorfrucht Mais	0	1	0	0	0	0	-1	≤ 0
Greening								
WW & Raps (max. 95%)	0,05	-0,95	0,05	-0,95	0,025	-0,95	-0,95	≤ 0
WW & Mais (max. 95%)	0,05	0,05	-0,95	-0,95	0,025	-0,95	-0,95	≤ 0
(...)								
ÖVF (min. 5% von 70 ha)	0	0	0	-0,7	0	-1	-0,3	≤ -3,5

3.3.2 Szenario 1: Modell unter Berücksichtigung politischer Restriktionen von 2016

Die Ergebnisse der linearen Programmierung zeigen, dass im ökonomisch optimierten Betrieb das Gemenge nicht in das Produktionsprogramm aufgenommen wird (Tabelle 7). Der Großteil der Fläche wird mit Winterweizen kultiviert, sodass die pflanzenbauliche Fruchtfolgerestriktion vollständig ausgenutzt wird und begrenzend wirkt. Um die in 2016 geltenden Greeningauflagen zu erfüllen, werden

8,2 ha Winterzwischenfrucht (Gewichtungsfaktor ÖVF: 0,3) angebaut, die annahmegemäß aus einer Mischung von drei Arten besteht und in etwa 1 ha Fläche wird als Brache stillgelegt (Gewichtungsfaktor ÖVF: 1). Die berechneten DB der Winterzwischenfrucht und der Brache sind negativ, werden im ökonomisch optimierten Betrieb trotzdem dem Anbau der Winterackerbohne (Gewichtungsfaktor ÖVF: 0,7) vorgezogen, die ebenfalls zur Erbringung der ÖVF geeignet wäre.

Tabelle 7:
Ökonomisch optimales Produktionsprogramm unter politischen Restriktionen von 2016

Anbauumfänge	ha	%	Stabilitätsbereiche Gemenge
Winterweizen	46,5	66%	
Silomais	8,2	12%	
Winterraps	6,0	9%	
Winterackerbohne	0,0	0%	
Gemenge Winterweizen & Winterackerbohne	0,0	0%	
Winterzwischenfrucht	8,2	12%	
Brache	1,0	2%	
GDB	34.327 €		

Die Durchführung der Sensitivitätsanalyse in Form eines ceteris paribus (c.p.) Vergleichs, ermöglicht die Identifizierung von Stabilitätsbereichen für den DB des Gemenges. Erst ab einem DB von ca. 727 Euro/ha würde das Gemenge, unter sonst gleichen Bedingungen, in das Produktionsprogramm mit einem Flächenanteil von 16 % aufgenommen und gleichzeitig der Anbau von Winterweizen in Reinsaat reduziert sowie der Anbau von Raps vollständig aus dem Produktionsprogramm entfernt. Dies entspricht mehr als einer Verdreifachung des aktuellen DB (von 198 Euro/ha auf 727 Euro/ha). Der DB des Gemenges müsste damit auch deutlich über dem DB der Weizenreinsaat liegen (583 Euro/ha vs. 727 Euro/ha), u. a. weil der Arbeitszeitanpruch im Gemenge höher ist. Bei einer weiteren Erhöhung auf 788 Euro/ha würde eine Ausweitung der Anbaufläche des Gemenges auf insgesamt 20 % ökonomisch optimal sein. Erst ab einem DB von 808 Euro/ha würde eine weitere deutliche Ausweitung der Anbaufläche des Gemenges stattfinden. Eine Ausweitung des Gemengeanbaus auf 40 % der Ackerfläche und eine gleichzeitige Reduzierung des Anbaus der Weizenreinsaat auf 15 % würde erst erfolgen, wenn sich der DB des Gemenges in etwa vervierfacht. Dies ist unter anderem darin begründet, dass das Gemenge in der Fruchtfolge und in den Greeningrestriktionen direkt mit den Weizenreinsaat

konkurriert. Hinzu kommen beim Gemengeanbau die erhöhten Arbeitszeiten (insbes. durch Trennung des Ernteguts) in der zeitkritischen Erntephase.

3.3.3 Szenario 2: Modell unter Berücksichtigung der geänderten ÖVF Richtlinien von 2018

In einem zweiten Szenario wurden die in 2018 umgesetzten Änderungen zur Vorhaltung der ÖVF berücksichtigt. Konkret bedeutet dies, dass der Gemengeanbau aus großkörnigen Leguminosen und Getreide für die ÖVF mit einem Gewichtungsfaktor von 1 anrechenbar ist, wenn die Leguminose im Pflanzenbestand vorherrscht, jedoch unter der Auflage des Pflanzenschutzmittelverbots (BMEL 2018). Auch der Gewichtungsfaktor für Leguminosen ist von 0,7 auf 1 erhöht worden. Für das Modell wird angenommen, dass das betrachtete Gemenge die Anforderungen erfüllt, um als ÖVF angerechnet werden zu können.

Es zeigt sich auch in diesem Szenario, dass das Gemenge im ökonomisch optimalen Produktionsprogramm nicht enthalten ist. Es wird jedoch die Winterackerbohnenreinsaat zur Erbringung der ÖVF ins Produktionsprogramm aufgenommen, da sich mit der Änderung der Vorschriften in 2018 der Gewichtungsfaktor für Leguminosen geändert hat (von 0,7 auf 1,0; BMEL 2018). Für den Beispielbetrieb ist es daher wirtschaftlich lohnenswert, zuvor brachgelegte Flächen nach der Neureglung mit Winterackerbohnen zu kultivieren. Das restliche Produktionsprogramm hat sich im Vergleich zum ersten Szenario nicht viel verändert, Winterweizen ist auch hier flächenmäßig am stärksten vertreten. Der GDB ändert sich im Vergleich zum vorherigen Szenario um lediglich 5 Euro (Tabelle 8).

Tabelle 8:
Ökonomisch optimiertes Produktionsprogramm unter politischen Restriktionen von 2018

Anbauumfänge	ha	%	Stabilitätsbereiche Gemenge
Winterweizen	46,5	66%	
Silomais	8,6	12%	
Winterraps	5,3	8%	
Winterackerbohne	0,9	1%	
Gemenge Winterweizen & Winterackerbohne	0,0	0%	
Winterzwischenfrucht	8,6	12%	
Brache	0,0	0%	
GDB	34.332 €		

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass das Gemenge c.p. bei einem DB von 474 Euro/ha mit einem Flächenanteil von in etwa 1 % (0,8 ha) aufgenommen würde. Das Gemenge würde dann die Winterackerbohnenreinsaat hinsichtlich der Erbringung der ÖVF ablösen, der Großteil dieser Restriktion würde jedoch nach wie vor über den Anbau der Winterzwischenfrucht erfüllt. Es wird deutlich, dass das Gemenge mit dem derzeitigen DB aus ökonomischer Sicht auch dann nicht attraktiv genug für den Anbau in einem konventionellen Betrieb ist, wenn eine ÖVF Anrechnung möglich ist. Selbst eine hypothetische Erhöhung des Gewichtungsfaktors auf 2,1 würde bei gleichbleibendem DB (198 Euro/ha) c.p. nur zu einem Anbau von 0,4 ha des Gemenges im Beispielbetrieb führen.

Eine Erhöhung des Flächenanteils auf 16 % würde in diesem Szenario erst ab einem DB für das Gemenge von 740 Euro/ha erfolgen, was ebenfalls eine Reduzierung der Weizenreinsaat und eine Entfernung des Rapsanbaus aus dem Produktionsprogramm zur Folge hätte. Bei einer Vervierfachung des ursprünglichen DB auf 808 Euro/ha würde der Flächenanteil des Gemenges auf 40 % steigen und den Anbau der Weizenreinsaat weiter reduzieren. Insbesondere die Konkurrenz in der Fruchtfolge zur Weizenreinsaat ist auch hier ein begrenzender Faktor für den Anbau des Gemenges. Hinsichtlich der Fruchtfolgeeffekte eines Gemenges gibt es jedoch bislang auch keine eindeutigen Schlussfolgerungen in der pflanzenbaulichen Literatur. Für die Auflagen der Anbaudiversifizierung gibt es eindeutige Definitionen, nach denen ein Gemenge als zwei Kulturen gewertet wird, wenn der Anteil der einzelnen Kultur über 25 % der Fläche abdeckt. Die Kulturen werden dann mit ihrem jeweiligen Flächenumfang gewichtet (BMEL, 2015). Es wird angenommen, dass die Aussaatstärke von 50 % zu 50 % des IMPAC³ Versuches dieser Definition entspricht. Restringierend wirken im Beispielbetrieb jedoch nicht die Greeningauflagen, sondern die pflanzenbaulichen Restriktionen, nach denen der Weizenanteil 66 % in der Fruchtfolge nicht überschreiten darf. Mathematisch lässt sich diese Restriktion problemlos entsprechend des Aussaatverhältnisses aufteilen und in der Programmierung berücksichtigen. Ob diese Aufteilung aus praktischer und pflanzenbaulicher Sicht optimal ist, ist allerdings nicht eindeutig. Es stellt sich auch die Frage, ob sich die Fruchtfolgerestriktion nach der Ackerbohne richten sollte, die in unserem Beispiel einen Anteil von 25 % nicht übersteigen sollte. Konkret ergibt sich somit die Fragestellung, in welchen Zeitabständen ein Gemenge auf derselben Fläche aus pflanzenbaulicher Sicht angebaut werden kann bzw. werden sollte.

Insgesamt zeigt sich, dass das Gemenge in der im Freilandversuch durchgeführten Form noch nicht wettbewerbsfähig genug ist, um sich in den ökonomisch optimierten Beispielbetrieb integrieren zu lassen. Auch eine angenommene Anrechnung im Rahmen der ÖVF ermöglicht die Aufnahme in das ökonomisch optimale Produktionsprogramm nicht. Während die konkreten Zahlenwerte nur Gültigkeit für den betrachteten Beispielbetrieb besitzen, so wird der grundsätzliche Sachverhalt in vielen Betrieben

ähnlich sein. Einschränkend muss jedoch angemerkt werden, dass positive Vorfruchteffekte des Gemenges in der DB Berechnung nicht berücksichtigt wurden. Diese können sich positiv auf die relative Wettbewerbsfähigkeit des Gemenges auswirken, jedoch nicht in einem Ausmaß, welches die Rentabilität im Beispielbetrieb entscheidend beeinflussen und zur benötigten Verdreifachung des DB führen würde.

4 Diskussion

In der nutzpflanzenwissenschaftlichen Fachliteratur ist einer der genannten Hauptvorteile des Gemenges der erhöhte Gesamtertrag im Vergleich zu den korrespondierenden Reinsaaten. Auch für die hier betrachteten Feldversuche bestätigen sich diese Ergebnisse (SIEBRECHT-SCHÖLL, 2019). Es zeigt sich jedoch auf Ebene des DB dieser Produktionsverfahren, dass dieser Vorteil im Ertrag sich nicht in demselben Maß auf ökonomischer Ebene durchsetzt. Vergleicht man die DB des Gemenges mit den einzelnen Reinsaaten, so zeigt sich, dass am Hohertragsstandort Reinshof die (ungedüngte) Weizenreinsaat in zwei von drei Jahren den insgesamt höchsten DB liefert, und das trotz des per Annahme geringeren Preises für Futterweizen in der Reinsaat. Auf dem Grenzertragsstandort Deppoldshausen liefert hingegen das Gemenge in zwei von drei Jahren den insgesamt höchsten DB. Dieser Eindruck setzt sich auch in den relativen DB_{Gemenge} fort. Für den Standort Deppoldshausen sieht man in allen Jahren den klaren Vorteil des Gemenges, während die Ergebnisse für den Reinshof gemischt sind. Problematisch aus praktischer landwirtschaftlicher Sicht ist, dass diese Vergleiche und relativen Bezüge grundsätzlich zu den ebenfalls extensiv produzierten (ungedüngten) Reinsaatserträgen stattfinden. In Bezug auf die Erträge der Weizenreinsaat ist diese Benchmark aus praktischer Sicht jedoch nur sehr bedingt geeignet, denn Weizen wird in der konventionellen Landwirtschaft in der Regel nicht extensiv und unter Einsatz von Stickstoffdüngemitteln produziert, was zu deutlich höheren Erträgen als denen im Versuch führt. Das Ertragsniveau des Versuchs ist prinzipiell als Benchmark für ökologisch produzierten Weizen besser geeignet. Allerdings erfolgt auch in der ökologischen Landwirtschaft vielfach eine organische Düngung. Hinzu kommt die Anwendung von Herbiziden im Voraufbau des Feldversuchs, was die Annahme der Preise für ökologisch produzierte Feldfrüchte ungeeignet macht. Auch in Bezug auf die angenommene Anerkennung des Gemenges als ÖVF ist der Herbizideinsatz kritisch zu sehen, aufgrund des seit 2018 geltenden Pestizidverbotes (BMEL, 2018).

Ein Zielkonflikt auf ökonomischer Ebene zeigt sich anhand unserer Ergebnisse in Bezug auf den Hybridweizen. Mit Blick auf die Erträge liefern die Gemenge mit Hybridweizen über alle Jahre sehr hohe Gesamterträge (SIEBRECHT-SCHÖLL, 2019), auf Ebene der DB schneiden diese Kombinationen jedoch durchgehend am schlechtesten ab, insbesondere begründet durch die höheren Saatgutkosten. Vor dem

Hintergrund der aus Praxissicht viel zu hohen Aussaatdichte in Reinsaat für Hybridweizen (320 Körner/m²), können jedoch die berechneten Deckungsbeiträge zu falschen Schlussfolgerungen führen. Die genutzte Sorte Hybery wird als eine der produktivsten Weizensorten beschrieben, bei einer Saatdichte von 160 Körner/m² (ZIPPERT et al., 2013). Würde sich der Hybridweizen bei halber Saatdichte ebenso positiv im Gemenge zeigen, würde sich die relative Wettbewerbsfähigkeit dieses Gemenges drastisch verbessern, da sich der größte Kostenfaktor des Saatguts halbieren würde.

Eines der Ziele des IMPAC³ Projektes war die Identifizierung von Merkmalen, die zum Gemengemehrertrag führen, um Sorten für den Anbau in Gemengen selektieren zu können. Auf ökonomischer Ebene wird deutlich, dass darüber hinaus parallel Forschungsbedarf hinsichtlich des Anbaus unter Praxisbedingungen besteht, um den Gemengeanbau mit Hauptfrüchten in der Praxis etablieren zu können. Zwar rücken extensive Bewirtschaftungsmethoden, wie im vorliegenden Versuch, weiter in den Fokus, jedoch ist zu hinterfragen, inwiefern diese großflächig umsetzbar sind. Vergleicht man bspw. konventionell erzeugte Weizenenerträge mit den Gesamterträgen des Gemenges, dann wird deutlich, dass das Ertragsniveau in der konventionellen Landwirtschaft deutlich höher ist. Vor dem Hintergrund der absoluten Flächenknappheit, welche in Zukunft weiter zunehmen wird, stellt sich somit die Frage, inwiefern Einbußen in der Flächenproduktivität im Gegenzug zur extensiveren Erzeugung langfristig nachhaltig sind. In Bezug auf ökologisch erzeugte Feldfrüchte wurden bereits ähnliche Bedenken geäußert, insbesondere vor dem Hintergrund der globalen Ernährungssicherheit (OECD/FAO, 2020). Im Hinblick auf den Anbau von Gemengen wird es daher unerlässlich sein, Ertragssteigerungen anzustreben, was nur durch kontinuierliche Forschung in allen Disziplinen des Agrarsektors möglich sein wird.

Im gesamtbetrieblichen Modell zeigt sich, dass das Gemenge aus Winterweizen und Winterackerbohne nicht wettbewerbsfähig genug ist, um sich in den ökonomisch optimierten konventionellen Beispielbetrieb integrieren zu lassen. Auch die angenommene Anrechnung im Rahmen der ÖVF Änderungen 2018 kann dieses Ergebnis nicht maßgeblich beeinflussen. Das Aussaatverhältnis im Versuch betrug jeweils 50 % der Aussaatstärke beider Reinsaaten. Die im Versuch genutzte Aussaatstärke von 50 % zu 50 %, entspricht einer Saatdichte von 20 Körner/m² Winterackerbohne und 160 Körner/m² Winterweizen bei angenommener gleicher Keimfähigkeit. Damit ergäbe sich ein Gesamtpflanzenbestand von 180 Pflanzen/m². Berechnet man den Anteil am Pflanzenbestand anhand der Einzelpflanzen, beträgt der Anteil der Leguminosen nur 11,11 % (20 von 180 Pflanzen/m²), während der des Weizens 88,88 % (160 von 180 Pflanzen/m²) beträgt. An diesem Beispiel wird deutlich, dass die Bezeichnungen „Aussaatstärke/Aussaatverhältnis“ und „Saatdichte/Pflanzenbestand“ im Zusammenhang mit dem Anbau von Gemengen nicht synonym verwendet werden können, was die Kommunikation zwischen den

verschiedenen Akteuren erschwert. Diese Besonderheit ergibt sich im Gemengeanbau aus den unterschiedlichen Ansprüchen der Kulturen. Formulierungen wie „Voraussetzung ist, dass der Anteil der Leguminosen am Pflanzenbestand überwiegt“ (BMEL, 2018) sind daher nicht zwangsläufig eindeutig interpretierbar. Für den betrachteten Versuch entspricht die „Aussaatstärke“ 50 % Leguminosen zu 50 % Getreide der in Reinsaat üblichen Aussaatstärke, einem „Pflanzenbestand“ von 11 % Leguminosenpflanzen und 88 % Getreidepflanzen. Im Kornertrag liegt der Leguminosenanteil (dt/ha) im betrachteten Versuch in den meisten Fällen weit über 50 %, was auch an dem deutlich höheren TKG liegt (vgl. Abb. 1, SIEBRECHT-SCHÖLL, 2019). Die Biomasseerträge können sich wiederum von den Kornerträgen unterscheiden, wobei anhand des Habitus der Winterackerbohne die Biomasse pro Pflanze in vielen Fällen höher ist, als die des Weizens. Die Anteile von Leguminosen und Getreide am Gesamtertrag (Korn und Biomasse) werden in Abhängigkeit der Umweltbedingungen eines Jahres zudem immer variieren, was zur Stabilisierung des Gesamtertrags im Gemenge beitragen kann. Die Stabilisierung des Gesamtertrags ist einer der unterstellten Vorteile des Anbaus von Gemengen im Sinne einer Risikoreduzierung durch Anbaudiversifizierung. Dadurch kann allerdings der Fall eintreten, dass das Getreide in Biomasse- und Kornertrag den Leguminosenanteil überwiegt, selbst wenn ein Aussaatverhältnis mit einem über 50 % liegenden Anteil der Aussaatstärke der Leguminosen genutzt wurde. Mit Blick auf politische Restriktionen für den Gemengeanbau sollte demnach verstärkt auf die Formulierungen geachtet werden, da diese sonst zu Unklarheiten führen können. Um Unsicherheiten bzgl. der Erfüllung von Restriktionen seitens der Landwirte zu vermeiden, wäre es empfehlenswert, diese an die Aussaat und nicht an den resultierenden Pflanzenbestand zu knüpfen, da ein Bezug zu dem tatsächlichen Pflanzenbestand problematisch sein kann, aufgrund der in Abhängigkeit der jährlichen Umweltbedingungen nicht eindeutig vorhersehbaren schwankenden Anteile der Arten. Es ist jedoch anzumerken, dass sowohl unter Biodiversitäts- als auch Ertragsgesichtspunkten Gemenge mit höheren Leguminosenanteilen im Aussaatverhältnis anzustreben sind (HOF und SCHMIDTKE, 2006).

Deutlich wird im gesamtbetrieblichen Model auch, dass über den DB hinaus weitere Faktoren für die Umsetzung in der Praxis relevant sind. Einer dieser Faktoren ist die erhöhte Arbeitszeit im Gemenge in der zeitkritischen Erntephase durch die Trennung des Ernteguts. Annahmegemäß erfolgte die Trennung des Ernteguts per Windsichtung durch den Landwirt. In der Praxis stellt sich die Frage, ob hier zusätzliche Investitionen in Maschinen seitens der Landwirte benötigt werden würden, um eine saubere Trennung des Ernteguts zu gewährleisten. Eine Vermarktung des gemischten Ernteguts ist prinzipiell möglich, wird aus Sicht deutscher Landwirte jedoch als eines der größten Hindernisse genannt (BONKE und MUSSHOFF, 2020). Die Trennung des Ernteguts ist darüber hinaus ein Arbeitsschritt im Ablauf der Wertschöpfungskette, welcher für Reinsaaten nicht benötigt wird und somit eine zusätzliche

Kostenposition darstellt. An dieser Stelle wird auch der technologische Lock-In rund um die dominanten Feldfrüchte erneut deutlich (MEYNARD et al., 2018). Für nutztierhaltende Betriebe kann die Nutzung gemischter Erträge im Rahmen der Fütterung eine Möglichkeit sein, Trennungskosten und die zusätzliche Arbeitszeit vollständig einzusparen, was dazu führen kann, dass sich die relative Wettbewerbsfähigkeit des Gemenges verbessert.

In unserem konstruierten Ackerbaubetrieb sind jedoch die Furchtfolgerestriktion und die erhöhte Arbeitszeit dafür verantwortlich, dass das Gemenge im DB wesentlich höher sein müsste als die Weizenreinsaat, um in das ökonomisch optimale Produktionsprogramm aufgenommen zu werden. Aus praktischer Sicht relevant ist also der Vergleich mit der Rentabilität des in der Landwirtschaft dominant genutzten Gemengepartners. Vor dem Hintergrund, dass in Deutschland Getreide auf über 6 Mio. Hektar produziert wird, großkörnige Leguminosen hingegen nur auf etwa 0,2 Mio. Hektar produziert werden (DESTATIS, 2020), sollte auch in Bezug auf die Biodiversitätssteigerung der Denkansatz von der Getreidereinsaat hin zum Gemenge mit Getreide sein, um die Getreidelastigkeit der Fruchtfolgen zu reduzieren. Würde man hingegen die Produktion von der Leguminosenreinsaat hin zum Gemenge mit Getreide verschieben, stellt sich die Frage, ob damit letztendlich tatsächlich eine Steigerung der Biodiversität innerhalb der deutschen landwirtschaftlichen Produktion erreicht werden würde. Für unseren Beispielbetrieb zeigt sich darüber hinaus, dass die Aufnahme des Gemenges unter der Annahme des höheren DB in der Sensitivitätsanalyse dazu führt, dass Raps aus dem Produktionsprogramm verdrängt wird. Somit würde die Anzahl der unterschiedlichen Furchtarten innerhalb der Furchtfolge insgesamt stabil bleiben.

Hinsichtlich weiterer Ökosystemdienstleistungen, die mit dem Anbau von Gemengen assoziiert sind, ist zu betonen, dass diese in die vorgenommene ökonomische Bewertung nicht auf monetärer Ebene eingeflossen sind. Dies liegt zum einen an unzureichenden Datengrundlagen und zum anderen daran, dass viele Ökosystemdienstleistungen monetär nur bedingt auf Betriebsebene bewertbar sind. Die symbiotische Stickstofffixierung der Leguminose ist ein Beispiel für einen Vorteil des Gemenges, der gleichermaßen zur Reduzierung der Kosten für Düngemittel und von potentiell negativen Umweltauswirkungen beitragen kann. Hierbei ist das Gemenge aus Leguminosen und Getreide auch vorteilhaft gegenüber einer Leguminosenreinsaat, da die Stickstoffauswaschung im Gemenge reduziert und die Stickstoffnutzungseffizienz erhöht ist (JENSEN et al., 2020; HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2003; SENBAYRAM et al., 2015). Die ausgewiesenen Stabilitätsbereiche für den DB des Gemenges im optimierten Modell zeigen jedoch, dass auch die Berücksichtigung der Kosten für eingesparte Düngemittel in der Folgefrucht noch nicht ausreichen würde, um zu einer Aufnahme in das ökonomisch optimierte Produktionsprogramm zu führen.

Damit stellt sich die Frage, welche Möglichkeiten es gibt, um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern und den Anbau für deutsche Landwirte attraktiv zu machen. Die Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen in Gemengen ist ein erheblicher ökologischer Vorteil gegenüber den konventionellen Reinsaaten, der diese Form des Anbaus für eine nachhaltigere landwirtschaftliche Produktion interessant macht. Diese assoziierten Ökosystemdienstleistungen, wie die Steigerung der Biodiversität innerhalb der Ackerschläge, werden jedoch derzeit nicht explizit über den Markt entlohnt. Die Implementierung politischer Restriktionen könnte dazu beitragen, den Gemengeanbau in der deutschen Landwirtschaft weiter zu etablieren. Die Ergebnisse von BONKE und MUSSHOFF (2020) deuten jedoch darauf hin, dass zunehmender politischer Druck sich auch negativ auf die Intention, Gemenge anzubauen, auswirken kann. Freiwillige Fördermaßnahmen scheinen hier die zu präferierende Möglichkeit darzustellen. Die im Rahmen der GAP Reform vorgeschlagenen Eco-Schemes könnten eine Möglichkeit sein, den Anbau von Gemengen in der Praxis zu fördern. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, über höhere Zahlungsbereitschaften von Konsumenten für nachhaltig produzierte Lebensmittel die Marktleistung des Gemenges zu verbessern (z.B. BAHRS et al., 2020). LEMKEN et al. (2017a) zeigen bspw., dass deutsche Konsumenten bereit sind, mehr für Lebensmittel mit Leguminosenanteil zu bezahlen, die umweltfreundlicher produziert wurden. Analog zum mittlerweile in Deutschland etablierten Tierwohllabel müssten dafür jedoch eine Differenzierung der Produkte anhand des Produktionsverfahrens und eine entsprechende Zertifizierung erfolgen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass auch die Landwirte bereit wären, auf einen Teil ihres Gewinns zugunsten einer ökologisch vorteilhafteren Produktion zu verzichten, da auch altruistische Unternehmerziele verfolgt werden können (CHOUINARD et al., 2008).

5 Schlussfolgerungen

Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der Gemengeanbau von Winterackerbohne und Winterweizen in der durchgeführten Form ökonomisch derzeit noch nicht wettbewerbsfähig in der konventionellen deutschen Landwirtschaft ist. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass sich Hauptfruchtgemenge eher für Standorte mit schlechteren Standorteigenschaften eignen können. Hierbei zeigt sich die in den Erträgen festgestellte Vorteilhaftigkeit auch auf der Ebene des Deckungsbeitrags sehr deutlich. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse des gesamtbetrieblichen Optimierungsmodells zeigen aber, dass die Deckungsbeiträge des Gemenges sogar weit über den Deckungsbeitrag der derzeit produzierten Getreidereinsaat steigen müssten, um in den ökonomisch optimierten Beispielbetrieb integriert zu werden. Dies ist dann darin begründet, dass das Gemenge innerbetrieblich mit anderen

Produktionsverfahren um knappe Produktionsfaktoren konkurriert. Um eine Umsetzung des Gemengeanbaus mit Hauptfrüchten in Deutschland zu erreichen, wird es daher unerlässlich sein, die relative Wettbewerbsfähigkeit von Gemengen zu verbessern. Dies deutet zum einen auf weiteren Forschungsbedarf in den Disziplinen Pflanzenbau und –züchtung hin und gilt auch für praxisrelevante Fragestellungen, wie bspw. die Fruchtfolgeauswirkungen eines Hauptfruchtgemenges. Zum anderen wird es darüber hinaus relevant sein, neben den Landwirten weitere Akteure innerhalb der Wertschöpfungskette zu adressieren und zu involvieren. Einige der Herausforderungen, die sich aus praktischer Sicht für den Anbau von Hauptfruchtgemengen ergeben, sind begründet durch den technologischen Lock-In. Nur wenn die technischen Voraussetzungen für den Anbau geschaffen und die Absatzmöglichkeiten verbessert werden, wird der Anbau von Hauptfruchtgemengen großflächig in Deutschland umsetzbar sein.

Zusammenfassung

„Ich säe was, was du nicht säst“–

Die Wirtschaftlichkeit des Gemengeanbaus von Winterackerbohne und Winterweizen

Eine Möglichkeit, die Biodiversität in der deutschen Landwirtschaft zu erhöhen, ist der Anbau von Gemengen. Der simultane Anbau von Leguminosen und Nicht-Leguminosen kann unter anderem dazu beitragen, synthetische Stickstoffdüngemittel einzusparen. Diese Form des Anbaus ist jedoch derzeit in Deutschland nicht weit verbreitet und die Informationsverfügbarkeit aus praktischer Sicht gering. Insbesondere für die Wirtschaftlichkeit verschiedener Gemengekombinationen sind nur sehr limitiert Informationen verfügbar. Vor diesem Hintergrund bewertet dieser Beitrag die Wirtschaftlichkeit von Gemengen am Beispiel Winterackerbohne und Winterweizen basierend auf den Ergebnissen eines Freilandversuches. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Gemengeanbau von Winterackerbohne und Winterweizen in der durchgeführten Form ökonomisch derzeit nicht wettbewerbsfähig in der konventionellen deutschen Landwirtschaft ist. Jedoch scheint der Anbau von Hauptfruchtgemengen eher für Standorte mit schlechteren Standorteigenschaften geeignet zu sein. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse eines gesamtbetrieblichen Optimierungsmodells zeigen, dass die Deckungsbeiträge des Gemenges sogar weit über den Deckungsbeitrag der derzeit produzierten Getreidereinsaat steigen müssten, um in den ökonomisch optimierten Beispielbetrieb integriert zu werden.

Summary

The profitability of mixed cropping with winter faba bean and winter wheat

One possibility to increase the biodiversity in German agriculture is mixed cropping. The simultaneous cultivation of legumes and non-legumes can inter alia help to save synthetic nitrogen fertilizers. However, this form of cultivation is currently not widespread in Germany and the availability of information is low from a practical point of view. In particular, only very limited information about the economic efficiency of different mixed cropping combinations is available. Against this background, this paper evaluates the profitability of mixed stands using the example of winter faba bean and winter wheat based on the results of a field trial. The results indicate that mixed cropping with winter faba bean and winter wheat in the implemented form is currently not economically competitive in conventional German agriculture. However, mixed cropping in the present form seems to be suitable especially for sites with poorer site characteristics. The results of the sensitivity analysis of a whole-farm optimization model show that the gross margins of the mixed stands would even have to surpass that of the dominantly produced cereals in pure stand.

Danksagung

Diese Studie wurde im Rahmen des IMPAC³ Projektes durchgeführt. IMPAC³ ist ein Projekt des Zentrums für Biodiversität und nachhaltige Landnutzung (CBL) der Universität Göttingen. Das Projekt wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ 031A351A). Unser Dank gilt dem Projektpartner Norddeutsche Pflanzenzucht (NPZ).

Ein ganz besonderer Dank gilt Regina Martsch und Tina Tietz, die die Freilandversuche betreut haben. Wir danken Marius Michels für wertvolle Hinweise zum Manuskript.

Literatur

1. AMI (2020): Marktdaten: Preise für Getreide, Ölsaaten, Hülsenfrüchte 2015-2017. Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH. In: <https://www.ami-informiert.de/ami-onlinedienste/serviceportal-forschung-lehre/>.
2. ANDREWS, D. J. und A. H. KASSAM (1976): The importance of multiple cropping in increasing world food supplies.
3. BAHRS, E., J. DAUBER, P. H. FEINDT, U. HAMM, J. ISSELSTEIN, G. BACKES, H. BRANDT, E.-M. ENGELS, J. ENGELS, A. GRANER, M. HERDEGEN, S. SCHRÖDER, E. THOLEN, S. WAGNER, F. WÄTZOLD, H. WEDEKIND, H. WOLF, V. WOLTERS (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT FÜR BIODIVERSITÄT UND GENETISCHE RESSOURCEN) (2020): 10 Empfehlungen für mehr Biodiversität im Ackerbau. Stellungnahme zum Diskussionspapier des BMEL zur „Ackerbaustrategie 2035“. In: Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft Sonderheft 231: 1–23.
4. BEDOUSSAC, L., E.-P. JOURNET, H. HAUGGAARD-NIELSEN, C. NAUDIN, G. CORRE-HELLOU, E. S. JENSEN, L. PRIEUR und E. JUSTES (2015): Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. In: *Agronomy for Sustainable Development* 35 (3): 911–935.
5. BMEL (2015): Umsetzung der EU-Agrarreform in Deutschland - Ausgabe 2015.
6. BMEL (2018): Änderungen bei den Direktzahlungen ab dem Antragsjahr 2018. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/EU/AendDirektzahlungen2018.pdf?__blob=publicationFile.
7. BONKE, V. und O. MUSSHOFF (2020): Understanding German farmer's intention to adopt mixed cropping using the theory of planned behavior. In: *Agronomy for Sustainable Development* 40 (6): 1–14.
8. CHEN, G., X. KONG, Y. GAN, R. ZHANG, F. FENG, A. YU, C. ZHAO, S. WAN und Q. CHAI (2018): Enhancing the systems productivity and water use efficiency through coordinated soil water sharing and compensation in strip-intercropping. In: *Scientific Reports* 8: 1–11.
9. CHOUINARD, H. H., T. PATERSON, P. R. WANDSCHNEIDER und A. M. OHLER (2008): Will Farmers Trade Profits for Stewardship? Heterogeneous Motivations for Farm Practice Selection. In: *Land Economics* 84 (1): 66–82.
10. DESTATIS (2020): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Landwirtschaftliche Bodennutzung, Anbau auf dem Ackerland (Vorbericht). Statistisches Bundesamt. In: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Publikationen/Bodennutzung/anbau-ackerland-vorbericht-2030312208004.html>.
11. GABA, S., F. LESCOURET, S. BOUDSOCQ, J. ENJALBERT, P. HINSINGER, E.-P. JOURNET und ET AL. (2015): Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design. In: *Agronomy for Sustainable Development* 35 (2): 607–623.
12. HAUGGAARD-NIELSEN, H., P. AMBUS und E. S. JENSEN (2003): The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65 (3): 289–300.
13. HAUGGAARD-NIELSEN, H., B. JØRNSGAARD, J. KINANE und E. S. JENSEN (2008): Grain legume–cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. In: *Renewable Agriculture and Food Systems* 23 (1): 3–12.

14. HOF, C. und R. RAUBER (2003): Anbau von Gemengen im ökologischen Landbau: 55 S. In: <https://biokulturorg.files.wordpress.com/2017/11/anbau-von-gemengen-im-c3b6kologischen-landbau.pdf>.
15. HOF, C. und K. SCHMIDTKE (2006): Erzeugung von Weizen hoher Backqualität durch Gemengeanbau mit Winterackerbohne und Wintererbse im ökologischen Landbau. Abschlussbericht. Dresden, Göttingen. In: https://orgprints.org/15171/1/15171-03OE050-htw_dresden-schmidtke-2006-backqualitaet_weizen.pdf.
16. JENSEN, E. S., G. CARLSSON und H. HAUGGAARD-NIELSEN (2020): Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. In: *Agronomy for Sustainable Development* 40 (1): 1–9.
17. KTBL (Hrsg.) (2018): Faustzahlen für die Landwirtschaft. YARA, Darmstadt.
18. KTBL(2020):Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. In: <https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html>.
19. LEMKEN, D., M. KNIGGE, S. MEYERDING und A. SPILLER (2017a): The Value of Environmental and Health Claims on New Legume Products: A Non-Hypothetical Online Auction. In: *Sustainability* 9 (8): 1340.
20. LEMKEN, D., A. SPILLER und M. von MEYER-HÖFER (2017b): The Case of Legume-Cereal Crop Mixtures in Modern Agriculture and the Transtheoretical Model of Gradual Adoption. In: *Ecological Economics* 137: 20–28.
21. MALÉZIEUX, E., Y. CROZAT, C. DUPRAZ, M. LAURANS, D. MAKOWSKI, H. OZIER-LAFONTAINE, B. RAPIDEL, S. de TOURDONNET und M. VALANTIN-MORISON (2009-): Mixing Plant Species in Cropping Systems: Concepts, Tools and Models: A Review. In: Lichtfouse, E. (Hrsg.): *Sustainable agriculture*. Springer, Dordrecht: 329–353.
22. MAMINE, F. und M.'H. FARÈS (2020): Barriers and Levers to Developing Wheat–Pea Intercropping in Europe: A Review. In: *Sustainability* 12 (17): 6962.
23. MARTIN-GUAY, M.-O., A. PAQUETTE, J. DUPRAS und D. RIVEST (2018): The new Green Revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. In: *The Science of the total environment* 615: 767–772.
24. MEYNARD, J.-M., F. CHARRIER, M.'H. FARES, M. LE BAIL, M.-B. MAGRINI, A. CHARLIER und A. MESSÉAN (2018): Socio-technical lock-in hinders crop diversification in France. In: *Agronomy for Sustainable Development* 38 (5): 116.
25. ML Niedersachsen (2020): AL 1 - Anbau vielfältiger Kulturen im Ackerbau https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/themen/landwirtschaft/agraforderung/agraarumweltm_assnahmen_aum/aum_details_zu_den_massnahmen/al1_anbau_vielfaltiger_kulturen/al-1---anbau-vielfaeltiger-kulturen-im-ackerbau-122327.html
26. ML und LSN (2017): Die niedersächsische Landwirtschaft in Zahlen 2017. Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
27. OECD/FAO (2020): OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029. FAO, R./O. P.
28. PELZER, E., M. BAZOT, D. MAKOWSKI, G. CORRE-HELLOU, C. NAUDIN und ET AL. (2012): Pea–wheat intercrops in low-input conditions combine high economic performances and low environmental impacts. In: *European Journal of Agronomy* 40: 39–53.
29. POSTMA, J. A. und J. P. LYNCH (2012): Complementarity in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/bean and maize/bean/squash polycultures. In: *Annals of Botany* 110 (2): 521–534.
30. RAIFFEISEN WAREN GMBH (2019): Saatgutpreise Winterweizen und Winterackerbohne. persönliche Kommunikation, E-Mail.

31. ROSA-SCHLEICH, J., J. LOOS, O. MUßHOFF und T. TSCHARNTKE (2019): Ecological-economic trade-offs of Diversified Farming Systems – A review. In: Ecological Economics 160: 251–263.
32. ROTH, F. und W. LINK (2010): Selektion auf Frosttoleranz von Winterackerbohnen (*Vicia faba* L.): Methodenoptimierung und Ergebnisse Selection on freezing-tolerance of faba bean (*Vicia faba* L.): Improvement of methods and results. In: Tagungsband der 60. Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 24.-26. November 2009, Raumberg-Gumpenstein: 31–37.
33. SENBAYRAM, M., C. WENTHE, A. LINGNER, J. ISSELSTEIN, H. STEINMANN, C. KAYA und S. KÖBKE (2015): Legume-based mixed intercropping systems may lower agricultural born N 2 O emissions. In: Energy, Sustainability and Society 6 (1): 1–9.
34. SIEBRECHT-SCHÖLL, D. (2019): Züchterische Analyse von acht Winterackerbohnen genotypen für den Gemengeanbau mit Winterweizen. Dissertation. Georg-August-Universität, Göttingen.
35. STEIN, S. und H.-H. STEINMANN (2018): Identifying crop rotation practice by the typification of crop sequence patterns for arable farming systems – A case study from Central Europe. In: European Journal of Agronomy 92: 30–40.
36. WEZEL, A., M. CASAGRANDE, F. CELETTE, J.-F. VIAN, A. FERRER und J. PEIGNÉ (2014): Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. In: Agronomy for Sustainable Development 34 (1): 1–20.
37. WILSON, J. B. (1988): Shoot Competition and Root Competition. In: The Journal of Applied Ecology 25 (1): 279.
38. ZIPPERT, B., F. WEHNER, S. JUNGERT und S. BÖSE (2013): Sortenwahl Winterweizen II. Sortenwahl - eine Typfrage. In: praxisnah - Fachinformationen für die Landwirtschaft (3): 4–6.

Anschrift der Autoren

M. Sc. Vanessa Bonke, Prof. Dr. Oliver Mußhoff
Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung
Arbeitsbereich Landwirtschaftliche Betriebslehre
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen

M. Sc. Vanessa Bonke, Dr. Daniel Siebrecht-Schöll
Zentrum für Biodiversität und nachhaltige Landnutzung (CBL)
Georg-August-Universität Göttingen
Büsgenweg 1
37077 Göttingen

E-Mail: vanessa.bonke@agr.uni-goettingen.de