

Isabella Karpinski, Rebecka Ridder, Sandra Rajmis, Jürgen Schwarz, Bettina Klocke, Hella Kehlenbeck

## Fruchtfolge versus Monokultur: Betriebswirtschaftliche Betrachtung eines Dauerfeldversuches im Roggenanbau über 18 Jahre

Crop rotation versus monoculture: Economic analysis of long-term (18 years) field trials in rye

### Zusammenfassung

Eine vielfältige Fruchtfolge mit Leguminosen kann durch deren positive Vorfruchtwirkung wirtschaftliche Vorteile für die Landwirtschaft bringen. Meist berücksichtigen betriebswirtschaftliche Bewertungen aber nur Einzelkulturen. Im vorliegenden Beitrag wird eine betriebswirtschaftliche Bewertung der gesamten Fruchtfolge anhand der direkt- und arbeits erledigungskostenfreie Leistung (DAL) sowie deren Nettobarwert und Annuität vorgestellt, die auf drei Rotationen über einen Zeitraum von 18 Jahren basiert. Dazu wurde ein Dauerfeldversuch zur Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz am JKI-Versuchsstandort Dahnsdorf betriebswirtschaftlich ausgewertet. Verglichen wurden eine sechsgliedrige Fruchtfolge mit Gerste und Roggen, aufgelockert durch Erbse und Weißklee mit dem Daueranbau von Roggen.

Ertragseffekte der nach Leguminosen folgenden Früchte Gerste und Roggen hatten neben der Verwendung von Klee (Gründüngung) dabei den entscheidenden Einfluss. Die Kosten in den untersuchten Pflanzenschutz- und Düngungsvarianten blieben über die Jahre weitgehend konstant. In der Fruchtfolge war der Roggenanbau nach Erbse in allen Varianten betriebswirtschaftlich am vorteilhaftesten. Der Vergleich des Daueranbaus von Roggen mit der abwechslungsreichen Fruchtfolge zeigte aber andererseits, dass bei entsprechenden Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen der Daueranbau sogar erfolgreicher war.

Vor dem Hintergrund zunehmender gesellschaftlicher und politischer Forderungen nach einer Verringerung der Anwendung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln sollten zukünftige Handlungsempfehlungen zu Ackerbaustrategien berücksichtigen, dass erweiterte Fruchtfolgen mit Leguminosen helfen können, die Wirtschaftlichkeit des Ackerbaus langfristig zu sichern. Der betriebswirtschaftliche Vorteil der Fruchtfolgen nahm über die Jahre und Rotationen deutlich zu.

**Stichwörter:** Dauerfeldversuch, betriebswirtschaftliche Auswertung, Roggenanbau, Leguminosen, direkt- und arbeits erledigungskostenfreie Leistung (DAL)

### Abstract

A diverse crop rotation with legumes may provide economic advantages for agriculture due to their positive pre-crop effects. In most cases, economic evaluations only take single main crops into account. Here, an economic evaluation of the entire crop rotation is presented, which was based on three rotations over a period of 18 years. We assessed a long-term field trial on impact assessment of crop rotation, fertilization and plant protection performed at JKI-field site in Dahnsdorf economically based on the direct and labor cost-free revenues as well as net present values and annuities. Permanent rye cultivation and a crop rotation with six components including barley and rye, diversified with pea and white clover were compared.

### Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

### Kontaktanschrift

Dr. Isabella Karpinski, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: [isabella.karpinski@julius-kuehn.de](mailto:isabella.karpinski@julius-kuehn.de)

### Zur Veröffentlichung angenommen

2. Juni 2020

Yield increases of barley and rye following legumes had decisive influence on the economic result as well as the use opportunity of clover (green manure). Costs of plant protection and fertilization remained almost the same over the years. The cultivation of rye after peas in crop rotation was economically most advantageous in all tested variants. The comparison of the long-term cultivation of rye with the varied crop rotation showed, however, that with appropriate fertilizer and crop protection measures, the long-term cultivation was even more successful.

With respect to societal and political demands for reducing pesticide and fertilizer use, future recommendations for farming strategies should take into account the economic viability of extended crop rotations with legumes. The economic advantage of crop rotations significantly increased over the years and rotations.

**Key words:** long-term field trials, economic evaluation, rye production, legumes, direct- and labour cost free revenues

## Einleitung

Dauer- und Langzeitversuche bieten die besondere Möglichkeit der Untersuchung von Langzeiteffekten im Pflanzenbau, wie sie insbesondere auch bei Fruchtfolgen oder beim Daueranbau von Kulturen auftreten und in „normalen“, oftmals dreijährigen Versuchen (noch) nicht zu beobachten sind.

Die Fruchtfolge ist ein zentrales Element des integrierten Pflanzenschutzes (IPS) zur Vorbeugung ackerbaulicher Probleme. Eine ausgewogene, vielfältige Fruchtfolgegestaltung trägt zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit bei und bringt vielfältige vorteilhafte phytosanitäre Effekte mit sich. Sie wirkt in besonderer Weise dem Befall durch Schadorganismen, einschließlich dem Auftreten von Unkräutern entgegen, und hilft, die Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf ein notwendiges Maß zu begrenzen. Darüber hinaus tragen erweiterte Fruchtfolgen dazu bei, den mit dem Ackerbau in Verbindung gebrachten Verlust der Biodiversität zu verringern (GROSS & ZIMMERMANN, 2019).

Zunehmende gesellschaftliche und politische Anforderungen hinsichtlich einer Verringerung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, aber auch eine abnehmende Verfügbarkeit von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen führen zu einer verstärkten Ausrichtung der Pflanzenproduktion auf ackerbauliche und nichtchemische Maßnahmen hin zur Entwicklung resilienter Anbausysteme. Dieses wird auch besonders in der Ackerbaustrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) adressiert (siehe BEER & KOTTMANN, 2020, dieses Heft).

Die Erweiterung derzeit oft enger Fruchtfolgen durch Leguminosen bietet vielfältige Vorteile einschließlich positiver Umweltwirkungen oder der Unabhängigkeit der Betriebe vom Zukauf von Eiweißfuttermitteln und

wird auch im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie des BMEL besonders gefördert.

Die positive Vorfruchtwirkung von Leguminosen ist überwiegend dem der Nachfrucht zur Verfügung stehenden Stickstoff zuzuschreiben, der über das Hinterlassen des Luft-Stickstoffs in Wurzeln (Knöllchenbakterien) und Ernterückständen im Boden entsteht. Leguminosen in Fruchtfolgen tragen dazu bei Infektionszyklen von Fruchtfolgekrankheiten, z.B. Schwarzbeinigkeit, Halmbruch, DTR und *Fusarium* zu unterbrechen und den Krankheitsdruck in der Folgekultur zu reduzieren. Die genannten Vorteile wirken sich auch positiv auf den Ertrag aus. Ohne mineralische Düngung, wie im Ökolandbau praktiziert, fallen die auf diese Weise erzeugten Mehrerträge noch mehr ins Gewicht (ALPMANN & SCHÄFER, 2014).

Trotz der zahlreichen positiven Vorfruchtwirkungen der Leguminosen werden diese nur in einem begrenzten Umfang in Fruchtfolgen integriert, was oftmals mit der geringen Wirtschaftlichkeit begründet wird. Ein Grund dafür könnte sein, dass ökonomische Bewertungen häufig nur auf der Grundlage von Einzelkulturen durchgeführt werden und (Vorfrucht-)Wirkungen der gesamten Fruchtfolge dabei unberücksichtigt bleiben.

Im vorliegenden Beitrag wird daher eine betriebswirtschaftliche Bewertung der gesamten Fruchtfolge vorgestellt, die auf drei vollständigen Rotationen über einen Zeitraum von 18 Jahren basiert. Verglichen werden eine sechsgliedrige Fruchtfolge mit Gerste und Roggen, aufgelockert durch zweimaligen Leguminosenanbau (Erbsen und Weißklee), mit einem Roggendaueranbau. Der zugrundeliegende Feldversuch wurde am JKI-Versuchsstandort Dahnsdorf im südlichen Brandenburg durchgeführt.

Folgenden Forschungsfragen sind wir dabei nachgegangen:

- (1) Welche wirtschaftlichen Effekte zeigen sich in der Fruchtfolge, auch im Vergleich zum Roggendaueranbau?
- (2) Lassen sich Vorfruchteffekte der Leguminosen bzgl. der Wirtschaftlichkeit erkennen und ab wann werden wirtschaftliche Vorteile der Fruchtfolgen sichtbar?
- (3) In welcher Fruchtfolge und an welcher Stelle in der Fruchtfolge erzielt Roggen als Hauptanbaukultur die höchsten wirtschaftlichen Vorteile?
- (4) Welchen Einfluss haben Pflanzenschutz und Düngung auf die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgen?

## Material und Methoden

Eine detaillierte Beschreibung des JKI-Versuchsfeldes in Dahnsdorf findet sich bei SCHWARZ et al. (2015).

## Versuchsaufbau und Vorgehensweise

Für die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Fruchtfolgen wurden Feldversuche des Dauerversuches „Folgenabschätzung“ des Versuchsstandortes Dahnsdorf der

Jahre 2000 bis 2017 herangezogen. Dabei wird der Dauernanbau von Winterroggen mit einer Fruchtfolge mit einem Drittel Leguminosen in den **Varianten**:

- (b1) ohne Düngung und ohne Pflanzenschutz,
- (b2) nur Pflanzenschutz,
- (b3) nur Düngung,
- (b4) mit Düngung und mit Pflanzenschutz,

verglichen. Das Düngungsniveau lag mit 100 bis 120 kg N/ha auf einem mittleren Niveau und der Pflanzenschutz erfolgte situationsangepasst im Rahmen der guten fachlichen Praxis bzw. des integrierten Pflanzenschutzes.

Da der fixierte Luftstickstoff der Leguminosen optimal genutzt werden sollte, wurde in der Fruchtfolge die Wintergerste als früh folgende Kultur angebaut. Aufgrund von erforderlichen Anbauabständen der Leguminosen wurden unterschiedliche Leguminosen für die Fruchtfolge gewählt. Somit bestand die untersuchte Fruchtfolge aus folgenden Fruchtfolgegliedern:

Erbse – Wintergerste (Gerste\_a) – Winterroggen (Roggen\_a) – Weißklee – Wintergerste (Gerste\_b) – Winterroggen (Roggen\_b)

Die Versuche zur Fruchtfolge wurden pro Variante auf drei Feldern durchgeführt, so dass in einem Jahr drei Glieder der Fruchtfolge angebaut wurden (siehe Abb. 1). Eine vollständige Rotation der Fruchtfolge umfasst sechs Fruchtfolgeglieder und geht somit über sechs Jahre. Um bis zu drei Rotationen, also 18 Jahre auswerten zu können, wurden Daten der Jahre 2000–2017 herangezogen. Auf Feld 3 konnten drei Rotationen (Rotation 1, 2, 3) ausgewertet werden, auf Feld 1 und 2 jeweils zwei Rotationen (Rotation 1, 2). Den Anfang einer Rotation macht jeweils die Erbse. Dabei unterscheiden sich die Jahre des Beginns einer Rotation auf den drei Feldern (immer), so

dass Rotation 1 auf Feld 1 von 2002 bis 2007, Rotation 1 auf Feld 2 von 2004 bis 2009 und Rotation 1 auf Feld 3 von 2000 bis 2005 geht. Rotation 2 und 3 folgen diesem Prinzip (siehe Abb. 1).

Die Auswertung der Versuche erfolgte über einen Vergleich des Roggendauernbaus mit der gesamten Fruchtfolge und einzelner Kulturen in den Varianten b1 bis b4. Um Aussagen zu betriebswirtschaftlichen Auswirkungen von Fruchtfolgen machen zu können, die auch mit der Praxis vergleichbar sind, erfolgte die Auswertung der Daten hauptsächlich vertikal über verschiedene Jahre, also „rotationstreu“ von Rotation 1 bis 3. Betriebswirtschaftliche Kenngrößen wurden dabei „rotationstreu“ über die (drei) Felder gemittelt (siehe Abb. 1).

### Datengrundlagen

Erträge (inkl. Kornfeuchte) sowie die Menge und Häufigkeit eingesetzter Betriebsmittel in der Fruchtfolge und im Roggendauernbau in den Varianten b1 bis b4 wurden den Versuchsdaten entnommen.

Weitere Daten, wie Erzeugerpreise, Betriebsmittelpreise und Kosten der Arbeitsleistung (Ausbringung und Maschinenkosten) wurden aus sekundärstatistischen Quellen, wie den Statistiken des statistischen Bundesamtes, des BMEL, den AMI Berichten „Marktbilanz“ zu Erzeugerpreisen und den Standarddaten des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) aus der „Betriebsplanung Landwirtschaft“, ergänzt (AMI, 2019; KTBL, 1999–2016; STATISTISCHES BUNDESAMT, 2001–2013). Für alle Daten (Erzeuger-, Betriebsmittelpreise und Kosten) wurden für den Untersuchungszeitraum keine Pauschalpreise, sondern die jeweils gültigen Kosten und Preise der einzelnen Jahre (2000–2017) verwendet. Allein für den Zinssatz wurde der Mittelwert der Jahre 2000–2017 mit 5,3% auf KTBL-Basis herangezogen (FRISCH, J., E-Mail, 28.01.2019). Preise für Pflanzenschutzmittel entstammen den Agrarpreislisten Ost der Jahre 2000–2017. Kosten für Düngemittel wurden auf Reinnährstoffe heruntergebrochen und über Preisindizes der statistischen Jahrbücher des BMEL für die einzelnen Jahre berechnet. Lagen z.B. keine Preise in einem Jahr für Saatgut vor, wurden Preise mit Hilfe von Preisindizes der jeweiligen Jahrgänge der statistischen Jahrbücher berechnet.

Als Zielfeuchte für das Erntegut wurde in den Feldversuchen ein Wert von 14% angenommen, so dass für alle Ernten, die diese Grenze überschritten, Trocknungskosten angesetzt wurden, die aus Kalkulationsdaten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft LfL (2019) stammen. Kosten der Arbeitsleistung und Mechanisierung (angelehnt an Versuchsbedingungen) wurden den KTBL Standarddaten entnommen.

### Betriebswirtschaftliche Kenngrößen

Der wirtschaftliche Vorteil von Fruchtfolgen oder einzelnen Kulturen wurde mit Hilfe von Verfahren der Kosten-Leistungs-Rechnung erfasst. Mit Hilfe standardisierter betriebswirtschaftlicher Kennzahlen, wie der direkt- und arbeitsleistungskostenfreien Leistung (DAL), ist

Jahr	Feld 1 Kultur	Feld 2 Kultur	Feld 3 Kultur
2000	Gerste_b	Roggen_a	Rotation 1 Erbse Gerste_a Roggen_a Klee
2001	Roggen_b	Klee	
2002	Erbse	Gerste_b	
2003	Gerste_a	Roggen_b	
2004	Roggen_a	Erbse	
2005	Klee	Gerste_a	Rotation 2 Erbse Gerste_a Roggen_a Klee
2006	Gerste_b	Roggen_a	
2007	Roggen_b	Klee	
2008	Erbse	Gerste_b	
2009	Gerste_a	Roggen_b	
2010	Roggen_a	Erbse	Rotation 3 Erbse Gerste_a Roggen_a Klee
2011	Klee	Gerste_a	
2012	Gerste_b	Roggen_a	
2013	Roggen_b	Klee	
2014	Erbse	Gerste_b	
2015	Gerste_a	Roggen_b	
2016	Roggen_a	Erbse	
2017	Klee	Gerste_a	

Abb. 1. Versuchsanlage des Dauerfeldversuches zur Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz

es möglich die zu untersuchenden Strategien und Varianten zu analysieren und zu vergleichen. Standardisierte betriebswirtschaftliche Kalkulationen sind hilfreich, um Abhängigkeiten und Schwankungen einzelbetrieblicher Ausprägungen und damit auch Änderungen der ausgewiesenen Vorzüglichkeiten aufzuzeigen.

Für jede Kultur wurde zunächst die DAL ermittelt. Zur Berechnung der DAL wurden neben den Erlösen die Betriebsmittel für Aussaat, Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz sowie die Maschinen- und Lohnkosten berücksichtigt. Zusätzlich gingen Trocknungskosten und Zinskosten für gebundenes Kapital in die Berechnungen mit ein. Die DAL ergibt sich somit aus den Erlösen (Ertrag  $\times$  Erzeugerpreis) abzüglich der Direkt-, Arbeitserledigungs-, Trocknungskosten und des Zinsansatzes (nach SCHROERS & SAUER, 2011, siehe Abb. 2).

Die so errechnete DAL der einzelnen Kulturen und Jahre wurden anschließend mit Hilfe der Annuitätenmethode (MUßHOFF & HIRSCHAUER, 2016, siehe Abb. 2), abhängig vom Betrachtungszeitraum von sechs Jahren für eine Rotation und bis zu 18 Jahren für den Vergleich von drei vollständigen Rotationen in jährliche Beträge umgerechnet. Zunächst wird dabei die DAL des jeweiligen Betrachtungszeitraumes über den Nettobarwert (NBW) auf das Anfangsjahr abgezinst, um die Zahlungsströme, die zu unterschiedlichen Zeiten anfallen, vergleichbar zu machen. Mit Hilfe des Annuitätenfaktors (abhängig u.a. vom Betrachtungszeitraum) kann schließlich der NBW gleichmäßig auf den Betrachtungszeitraum verteilt werden. Für den Vergleich von einzelnen Kulturen wurden nur die Jahre innerhalb der Rotationen eins bis drei (siehe farbige Felder in Abb. 1) zur Berechnung der DAL herangezogen. Daraus ergibt sich für die einzelnen Kulturen (Erbse, Gerste\_a, Roggen\_a, Klee, Gerste\_b, Rog-

gen\_b) jeweils ein Anbau in sieben Jahren, zu dem ebenfalls der NBW und die Annuität berechnet wurden.

Die Berechnung der durchschnittlichen DAL über gesamte Rotationen erlaubt schließlich nicht nur eine Aussage zur betriebswirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit einer Fruchtfolge im Vergleich zum Daueranbau, sondern auch zum betriebswirtschaftlichen Vorfruchtwert von Leguminosen, da die betriebswirtschaftlichen Bewertungsgrößen alle Effekte innerhalb der Rotation berücksichtigen (PREISSEL et al., 2015).

Da die vorliegenden Untersuchungen nicht auf Niedrigstzinsen von 1–2% basieren, sondern auf einem Durchschnittswert von 5,3% (s.o.), hat die NBW- oder Annuitätenmethode im Vergleich zu der Durchschnittswertbetrachtung der DAL durchaus Relevanz. Allerdings beruht die NBW-Methode üblicherweise auf Auszahlungen, während die DAL-Methodik zumindest teilweise auf (nicht auszahlungsrelevanten) kalkulatorischen Kosten basiert (Kosten sind nicht automatisch Auszahlungen und vice versa), so dass die NBW-Methode hier nur eingeschränkt interpretierbar ist. Daher stehen die Ergebnisse der NBW und Annuitäten nicht im Vordergrund der betriebswirtschaftlichen Untersuchungen.

## Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen Untersuchungen vorgestellt. Diese erfolgen jeweils im Vergleich der drei Rotationen der sechsjährigen Fruchtfolge im Vergleich zum Daueranbau von Roggen, d.h. über 18 Jahre von 2000 bis 2017. Dabei werden zunächst alle Einzelkulturen der Fruchtfolge, dann der Roggenanbau im Speziellen und schließlich die gesamte

Leistungen, Kosten, Kenngrößen	Beschreibung
<i>Erlös nach Trocknung</i>	<i>Ertrag (-Verlust Trocknung) <math>\times</math> Erzeugerpreis</i>
- Direktkosten (Betriebsmittel)	Saatgut, Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz
- Arbeitserledigungskosten	Maschinenkosten, Lohnkosten aller erforderlichen Arbeitsgänge
- Trocknungskosten	
- Zinsansatz	
<b>= Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL)</b>	
<b>Nettobarwert (NBW)</b>	$NBW = \sum_{t=1}^T \left( \frac{DAL_t}{(1+i)^t} \right)$ <i>T- Gesamtbetrachtungszeitraum</i> <i>t- jeweiliges Jahr</i> <i>i- Diskontierungsfaktor</i>
<b>Annuität (A)</b>	$A = NBW * ANF_{T,i}$ $ANF_{n,i} = \frac{(1+i)^T * i}{(1+i)^T - 1}$ <i>ANF- Annuitätenfaktor</i> <i>T, t, i- siehe NBW</i>

**Abb. 2.** Vorgehensweise zur Berechnung der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAL) und verwendete betriebswirtschaftliche Kenngrößen nach SCHROERS & SAUER (2011) und MUßHOFF & HIRSCHAUER (2016).

Fruchtfolge anhand der vorgestellten betriebswirtschaftlichen Kennzahlen analysiert und betrachtet.

### Wirtschaftlichkeit der einzelnen Kulturen in der Fruchtfolge sowie der Hauptanbaukultur Roggen

Für die Jahre 2000–2017 wurden die einzelnen Fruchtfolgelieder in den drei Rotationen (siebenmaliger Anbau) getrennt nach Kosten, Erträgen und Leistungen bewertet, um daraus die DAL zu berechnen. Die Bezeichnung der Kulturen mit dem Nachsatz „\_a“ oder „\_b“ deutet dabei auf die Stellung der Kultur in der Fruchtfolge hin. Die Bezeichnung „\_a“ hinter einer Kultur bedeutet, dass die jeweilige Kultur an erster Stelle in der Fruchtfolge steht und „\_b“ deutet auf die Wiederholung dieser Kulturen innerhalb der Fruchtfolge hin (siehe Abb. 1). Somit bedeutet „Roggen\_a“, dass dieser die Vorvorfrucht Erbse und „Roggen\_b“ die Vorvorfrucht Weißklee hatte.

**Einzelkulturen der Fruchtfolge.** Einen Überblick zur direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistung (DAL) für alle Kulturen der betrachteten Fruchtfolge gibt Abb. 3. Die DAL ist hier jeweils als Durchschnittswert der einzelnen Kulturen in den vier Varianten abgebildet. Betrachtet man die einzelnen Varianten, so weist die Variante ohne Düngung und Pflanzenschutz (b1) in fast allen Kulturen der Fruchtfolge die niedrigste DAL auf. Pflanzenschutz und Düngung (b4) führen aber nicht in jeder Kultur zu dem höchsten wirtschaftlichen Vorteil, wie bei Gerste\_b und Roggen\_b (nach Weißklee) ersichtlich. Düngung und Pflanzenschutz führen bei Roggen\_a (Vorvorfrucht Erbse) zu wirtschaftlichen Vorteilen. Für Roggen\_b und Gerste\_b hat Düngung und Pflanzenschutz kaum einen wirtschaftlichen Vorteil.

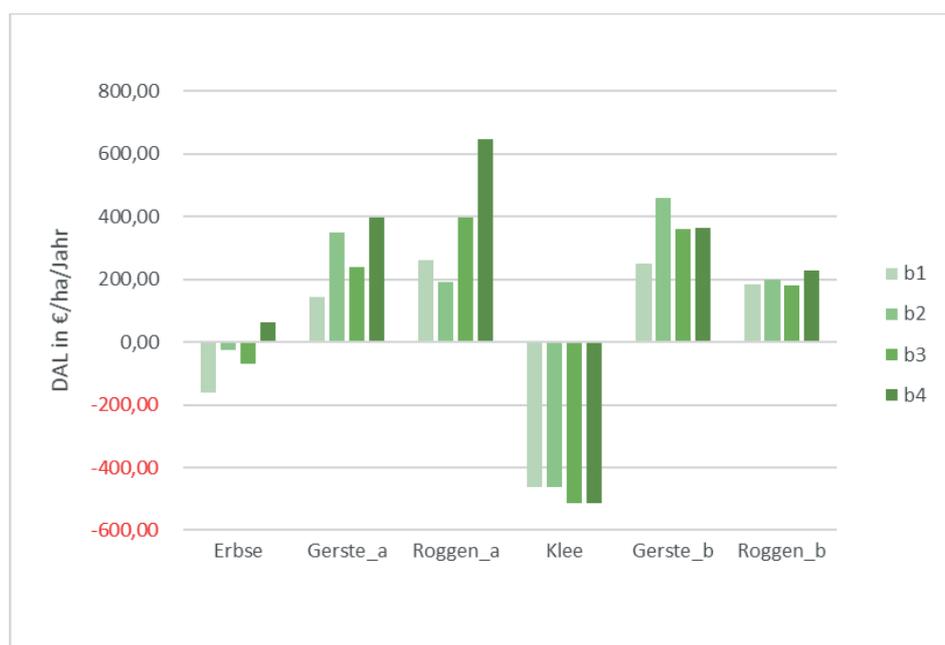
**Gerste** erzielt an beiden Stellen in der Fruchtfolge gute wirtschaftliche Ergebnisse. Die DAL steigt von 140 €/ha

(b1) bis 400 €/ha und für Gerste\_a von 250 €/ha (b1) bis 460 €/ha (b2) für Gerste\_b. Deutlich ist zudem ein wirtschaftlicher Vorteil von **Roggen** als Roggen\_a zu erkennen. Dieser erreicht eine DAL von rund 200 €/ha (b1) bis zu 645 €/ha (b4), wohingegen Roggen\_b nur Werte von 180 €/ha (b1) bis zu 230 €/ha (b2) aufweist.

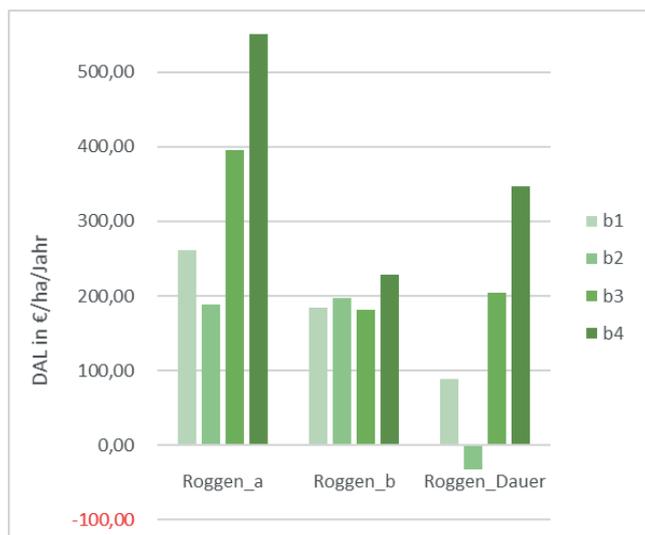
Bei der **Erbse** fällt auf, dass nur in der Variante mit Düngung und Pflanzenschutz (b4) ein positiver Wert von rund 63 €/ha erreicht wird, während alle anderen Varianten negative Werte aufweisen mit einer DAL von bis zu rund -162 €/ha in Variante b1. In der betriebswirtschaftlichen Einzelbetrachtung der Erbse schneidet diese, wie erwartet, somit schlecht ab. Der Anbau von **Weißklee** (Klee) zum Zwecke der Gründüngung führt in der Einzelbetrachtung zu erheblichen wirtschaftlichen Verlusten. Weißklee zur Verwendung als Gründüngung erreicht eine negative DAL in Höhe von ca. -500 €/ha in allen Varianten. Pflanzenschutz entfällt in Weißklee, so dass nur die Kosten für die Grunddüngung ins Gewicht fallen, was die gleich hohen Werte jeweils für b1/b2 und b3/b4 zeigen.

Berücksichtigt man mit Hilfe der Annuitätenmethode ( $\emptyset$  Zins von 5,3%), dass die Zahlungen zu unterschiedlichen Zeiten anfallen und über den Nettobarwert und den Annuitätenfaktor des Betrachtungszeitraums auf gleichmäßige Zahlungen abgezinst wurden, so bestätigen die errechneten Annuitäten weitestgehend die Ergebnisse der durchschnittlichen DAL der Einzelkulturen.

**Roggen.** Der Vergleich des Roggendaueranbaus mit dem Roggenanbau in der Fruchtfolge zeigt bei Einzelauswertung der Kulturen anhand der DAL einen größeren betriebswirtschaftlichen Vorteil des Roggens\_a. Wie in Abb. 4 zu sehen ist, fällt Roggen\_b dazu deutlich ab. Roggen\_a weist dabei besonders in den gedüngten Varianten b3 und b4 viel höhere DAL-Werte auf als in Roggen\_b. Es



**Abb. 3.** Durchschnittliche DAL pro Kultur in der Fruchtfolge über drei Rotationen (18 Jahre). \_a (Vorfrucht Erbse) bzw. \_b (Vorfrucht Weißklee) bezeichnet die Reihenfolge der jeweiligen Kultur in der Fruchtfolge. b1 bis b4 beschreibt die Varianten: b1 (ohne Pflanzenschutz (PS) und ohne Düngung), b2 (nur PS), b3 (nur Düngung), b4 (PS und Düngung).



**Abb. 4.** Vergleich der durchschnittlichen DAL von Roggen in der Fruchtfolge (Roggen\_a und Roggen\_b) über drei Rotationen (siebenmaliger Anbau in 18 Jahren) mit dem Roggendaueranbau über 18 Jahre. \_a (Vorfrucht Erbse) bzw. \_b (Vorfrucht Weißklee) bezeichnet die Reihenfolge der jeweiligen Kultur in der Fruchtfolge. b1 bis b4 beschreibt die Varianten: b1 (ohne Pflanzenschutz (PS) und ohne Düngung), b2 (nur PS), b3 (nur Düngung), b4 (PS und Düngung).

ist recht unwahrscheinlich, dass Roggen positiv mit einem höheren Ertrag auf das zusätzliche N-Angebot aus den Knöllchenbakterien der vorvorjährigen Erbse reagiert. Vielmehr könnten ungünstige klimatische Jahreseffekte des Roggens\_b, mit deutlichen Wirkungen auf den Ertrag (siehe Tab. 1), eine Rolle gespielt haben, z.B. trockene Jahre (2011) und ein extrem starkes Hagelereignis im Jahr 2013.

Im Roggendaueranbau liegen die DAL-Werte der beiden Varianten ohne Düngung (b1 und b2) im Vergleich zum Roggen in der Fruchtfolge auf einem niedrigen Niveau (siehe Abb. 4). In Variante b2 kommen die Pflanzenschutzkosten besonders zum Tragen, da der Ertrag durch die fehlende Düngung niedrig ist und da keine Leguminosen hier Nährstoffe bereitstellen können, so dass die DAL besonders gering ausfällt und negativ wird. Die Düngungsvarianten b3 und b4 weisen hingegen deutlich höhere und positive DAL-Werte auf.

Auch für den Roggendaueranbau wurden die Annuitäten berechnet und die Ergebnisse der durchschnittlichen DAL-Werte bestätigt.

Bei den Kosten in den einzelnen Jahren beim Anbau von Roggen in der Fruchtfolge und im Daueranbau gibt es nur geringe Unterschiede zwischen den Varianten b2 (PS) und b4 (PS und Düngung). Tab. 1 gibt einen Überblick über die durchschnittlichen Kosten (Direktkosten inkl. Arbeitserledigungskosten), Erträge, Erzeugerpreise und Erlöse im Roggen. Die für die b2-Variante aufgeführten Kosten für Düngung sind auf eine durchgeführte P- und K-Düngung in Roggen (Grunddüngungsmaßnahmen) in den Jahren 2005 und 2011 zurückzuführen. Da es sich hierbei um ungerade Jahre handelt, fallen die Kosten nur im Roggen\_b und im Daueranbau ins

Gewicht. Die höheren Düngungskosten für Roggen\_b in Variante b2 und b4 erklären sich im Vergleich zum Roggen im Daueranbau aus dem Mittel über sieben Jahre für Roggen in der Fruchtfolge und dem Mittel aus 18 Jahren von Roggen im Daueranbau. Von der Grunddüngung, die dann auch insgesamt die höchsten Kosten in Roggen\_b verursacht, profitiert aber auch Roggen\_a. In allen hier dargestellten Roggen-Varianten haben die Pflanzenschutzkosten den größten Anteil an den Kosten, noch vor der Düngung. Fungizidkosten wiederum haben den größten Anteil an den Pflanzenschutzkosten, gefolgt von den Herbizidkosten. Insektizide spielen keine Rolle. Wachstumsregler werden (Ausnahme 2007 in b2) nur in der Variante b4 eingesetzt, um Lager zu vermeiden. Dadurch liegen die Kosten für Pflanzenschutzmittel im Durchschnitt der Variante b4 auf etwas höherem Niveau als bei b2. Die Kosten für Pflanzenschutz insgesamt sind mit 160 €/ha (b2) zu 200 €/ha (b4) im Daueranbau von Roggen am geringsten. Arbeitserledigungskosten sind in allen Roggen-Varianten mit Pflanzenschutz am höchsten aufgrund einer höheren Anzahl von Überfahrten im Vergleich zu Düngung und Aussaat. Der Anteil der Arbeitserledigungskosten an den jeweiligen Kostenpositionen variiert von ca. 16% bei der Düngung bis zu 53% bei der Aussaat und liegt beim Pflanzenschutz bei ca. 42%. Aus Tab. 1 geht deutlich hervor, dass die Arbeitserledigungskosten für Fungizide und Herbizide auf einem ähnlichen Niveau liegen, die Kosten insgesamt für Fungizide aber höher ausfallen, was auf hohe Preise für Fungizide hinweist.

#### **Erträge, Erzeugerpreise und Erlöse im Roggen**

In allen drei Roggenvarianten werden in der Variante mit Pflanzenschutz (b2) deutlich geringere Erträge erreicht als in der gedüngten Variante (b4, siehe Tab. 1). Durchschnittliche Ertragszuwächse von ca. 20% für Roggen\_b an zweiter Stelle in der Fruchtfolge (ungerade Jahre) bis zu einer Verdopplung der Erträge im Daueranbau sind in der Düngungsvariante zu verzeichnen. Für die Unterschiede in den Ertragszuwächsen im Roggen in der Fruchtfolge (a/b – gerade/ungerade Jahre) und im Daueranbau sind klimatische Jahreseffekte mitverantwortlich. Unter den ungeraden Jahren (Roggen\_b) sind die Dürrejahre 2003 und 2011 und das Hageljahr 2013 zu finden. 2004, im Roggen\_a, war dagegen ein sehr gutes Jahr mit hohen Erträgen. Veränderungen von Erzeugerpreisen im Roggen unterliegen über die 18 Jahre nur geringen Schwankungen. Unterschiedliche Erzeugerpreise in Tab. 1 erklären sich aufgrund des Anbaus von Roggen\_a in geraden Jahren und Roggen\_b in ungeraden Jahren (Siebenjahresdurchschnitt), während für Roggen im Daueranbau der 18-jährige Durchschnittswert herangezogen wurde und auch aus den oben erwähnten Jahreseffekten. Daher übertragen sich Ertragswirkungen direkt auf den Erlös und zeigen dieselben Entwicklungen auf. Die Werte der Erlöse in Tab. 1 stellen Durchschnittswerte dar und können nicht durch Multiplikation von Ertrag  $\times$  Erzeugerpreis ermittelt werden. Hinsichtlich der erzielten Erträge sollte beachtet werden, dass auf Ver-

**Tab. 1. Darstellung der durchschnittlichen Kosten inkl. Arbeitserledigung (AEK), Erträge, Erzeugerpreise und Erlöse von Roggen in der Fruchtfolge (Roggen\_a mit Vorfrucht Erbse, Roggen\_b mit Vorfrucht Weißklee) im Vergleich zum Daueranbau (Roggen\_Dauer) für die Varianten b2 und b4 des Dauerfeldversuches zur Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz.** Durchschnitt der Fruchtfolge über drei Rotationen (siebenmaliger Anbau in 18 Jahren) und im Daueranbau über 18 Jahre. Roggen\_a in geraden Jahren und Roggen\_b in ungeraden Jahren. b2 beschreibt die Variante nur mit Pflanzenschutz, b4 beschreibt die Variante mit Pflanzenschutz und Düngung.

	Roggen_a	Roggen_b	Roggen_Dauer	Roggen_a	Roggen_b	Roggen_Dauer
<b>Kosten in €/ha</b>		<b>Ø b2</b>			<b>Ø b4</b>	
Fungizide	112,11	89,88	95,73	114,09	98,70	96,65
davon AEK	37,62	32,54	34,55	39,59	35,61	33,48
Herbizide	61,61	77,06	61,41	63,58	69,14	55,50
davon AEK	26,77	40,56	26,99	28,74	33,23	23,30
Insektizide	4,75	0,00	3,82	4,75	0,00	5,73
davon AEK	3,38	0,00	2,76	3,38	0,00	4,21
Wachstumsregler	0,00	5,70	0,00	41,53	39,84	42,16
davon AEK	0,00	3,95	0,00	25,32	25,39	26,26
<b>PSM gesamt</b>	<b>178,47</b>	<b>172,64</b>	<b>160,96</b>	<b>223,95</b>	<b>207,68</b>	<b>200,04</b>
davon AEK	67,77	77,05	64,30	97,04	94,23	87,25
<b>Aussaat</b>	<b>68,92</b>	<b>77,52</b>	<b>72,38</b>	<b>68,92</b>	<b>77,52</b>	<b>72,38</b>
davon AEK	38,11	39,04	37,87	38,11	39,04	37,87
<b>Düngung</b>	<b>0,00</b>	<b>18,64</b>	<b>16,10</b>	<b>120,06</b>	<b>194,87</b>	<b>152,15</b>
davon AEK	0,00	2,64	1,99	23,08	31,90	27,21
Bodenbearbeitung	163,20	160,45	161,33	163,20	160,45	161,33
Trocknung	8,86	10,51	9,14	0,00	3,93	10,42
Ernte	116,63	118,45	116,33	116,63	118,45	116,33
<b>Summe Kosten</b>	<b>536,08</b>	<b>558,21</b>	<b>536,24</b>	<b>692,76</b>	<b>762,90</b>	<b>712,65</b>
davon AEK	385,71	397,63	381,82	438,06	444,07	430,00
<b>Leistung</b>						
Ertrag (dt/ha)	61,92	65,68	40,03	94,64	77,36	81,40
Erzeugerpreis (€/t)	135,50	140,48	131,84	135,50	140,48	131,84
Erlös (€/ha)	842,43	887,10	505,34	1292,80	1058,44	1051,37

suchsfeldern in vielen Fällen höhere Erträge als in der landwirtschaftlichen Praxis erzielt werden.

### Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgen im Vergleich zum Daueranbau

In Abb. 5 sind die durchschnittlichen DAL-Werte der einzelnen Kulturen der Fruchtfolge über drei Rotationen (oben) und im Daueranbau über 18 Jahre (unten) abgebildet. Dabei ist zunächst deutlich zu erkennen, dass die Wirtschaftlichkeit der Kulturen in den einzelnen Jahren, im Daueranbau und vor allem auch in der Fruchtfolge, sehr starken Schwankungen unterliegt.

Im Roggendaueranbau kommt es in einzelnen Jahren, besonders in der Variante mit Pflanzenschutz und Düngung (b4) zu einer hohen DAL mit rund 1.000 €/ha (2008) und 892 €/ha (2012). In dieser Variante wird auch über die 18 Jahre generell die höchste DAL erreicht. Variante b1 (ohne PS und ohne Düngung) ist meist wirtschaftlicher, als Variante b2 mit Pflanzenschutz, bedingt durch die Pflanzenschutzkosten und gleichzeitig niedrigen Erträgen aufgrund der fehlenden Düngung. In Vari-

ante b2 wird auch die niedrigste DAL aller Varianten im Jahr 2013 mit -293 €/ha erreicht. Die Entwicklung der DAL über die Jahre lässt zunächst eine Abnahme bis 2003/2005 erkennen, gefolgt von einem Anstieg mit sehr guten Jahren in 2008 und 2012, bis ab dem Jahr 2015 wieder eine Abnahme der DAL zu beobachten ist. Ursache dafür sind Ertragsschwankungen.

In der Fruchtfolge sind weniger große Unterschiede in der DAL einzelner Kulturen in einem Jahr zwischen den Pflanzenschutz- und Düngungsvarianten zu beobachten. Allerdings variiert die DAL der einzelnen Kulturen ganz erheblich. Die Getreidekulturen liegen dabei auf einem relativ hohen Niveau mit 540 €/ha bei Roggen\_a (in der zweiten und dritten Rotation) und 520 €/ha bei Gerste\_a (in der dritten Rotation). Weißklee liegt in allen drei Rotationen zwischen -450 €/ha und -580 €/ha. Auch die Erbse weist oft negative DAL auf. Aufgrund von starker Verunkrautung in den Varianten b1 und b3 konnte in manchen Jahren die Erbse nicht beerntet werden. Dennoch entstanden Kosten. Nur in Rotation 3 liegt sie in der Variante b2 bei ca. 110 €/ha bzw. in b4 bei ca. 185 €/ha.



**Abb. 5.** Direkt- und arbeitsleistungskostenfreie Leistung (DAL) in der Fruchtfolge im Vergleich zum Roggendaueranbau über alle Kulturen und alle Varianten des Dauerfeldversuches zur Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz (über drei Rotationen, 18 Jahre). Oben Fruchtfolge, unten Roggendaueranbau. *\_a* (Vorfrucht Erbse) bzw. *\_b* (Vorfrucht Weißklee) bezeichnet die Reihenfolge der jeweiligen Kultur in der Fruchtfolge. *b*<sub>1</sub> bis *b*<sub>4</sub> beschreibt die Varianten: *b*<sub>1</sub> (ohne Pflanzenschutz (PS) und ohne Düngung), *b*<sub>2</sub> (nur PS), *b*<sub>3</sub> (nur Düngung), *b*<sub>4</sub> (PS und Düngung).

Eine Übersicht der Berechnung der Wirtschaftlichkeit nach Rotationen in Abb. 6 zeigt, dass die DAL im Durchschnitt der drei Felder (siehe Abb. 1) der Rotation in beinahe allen untersuchten Varianten positive Werte aufweist. Nur in der Variante *b*<sub>1</sub> ist für die erste Rotation eine DAL von -14 €/ha errechnet worden. Allerdings steigt die DAL über die Rotationen, d.h. über die Zeit, stetig an. Diese positive Entwicklung der Fruchtfolge basiert hauptsächlich auf Ertragssteigerungen von Rotation 1 zu Rotation 3 und insgesamt abnehmenden Kosten (u.a. der Trocknungskosten). Durchgängige Steigerungen der DAL von Rotation 1 zu Rotation 3 sind in den Varianten ohne Pflanzenschutz und Düngung (*b*<sub>1</sub>), nur mit Pflanzenschutz (*b*<sub>2</sub>) und mit Pflanzenschutz und Düngung (*b*<sub>4</sub>) zu beobachten. Eine sechsgliedrige Getreide-Leguminosen-Fruchtfolge scheint also erst längerfristig betriebswirtschaftlich vorteilhaft zu sein, hier ab der zweiten und

dritten Rotation, besonders in der Variante mit Pflanzenschutz und Düngung (*b*<sub>4</sub>). So steigert sich die durchschnittliche DAL über alle Varianten in Rotation 1 von 27 €/ha auf 250 €/ha und erzielt damit den höchsten Wert. Diese Ergebnisse unterstreichen die Wichtigkeit von Dauerfeldversuchen zur langfristigen Betrachtung solcher Effekte.

Bemerkenswert ist der relativ hohe Wert der DAL in der dritten Rotation in der Variante ohne Pflanzenschutz und Düngung (*b*<sub>1</sub>) mit 230 €/ha. Dieser wurde hervorgerufen durch deutlich höhere DAL in den Getreidekulturen als in der zweiten Rotation. Mögliche Gründe dafür könnten ein verbessertes Stickstoffangebot durch die Leguminosen innerhalb der Fruchtfolge sein. Auch ein geringer Krankheitsdruck, aufgrund fehlender mineralischer Düngung, könnte möglicherweise eine Ursache sein. Nicht zuletzt könnte auch der Züchtungsfortschritt



**Abb. 6.** Durchschnittliche direkt- und arbeitsleistungskostenfreie Leistung (DAL) je Fruchtfolge und im Roggendaueranbau im Durchschnitt über drei Rotationen, drei Zeiträume von sechs Jahren und insgesamt von 18 Jahren des Dauerfeldversuches zur Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz. b1 bis b4 beschreibt die Varianten: b1 (ohne Pflanzenschutz (PS) und ohne Düngung), b2 (nur PS), b3 (nur Düngung), b4 (PS und Düngung).

der angebauten Sorten hinsichtlich Krankheitsresistenz oder Ertrag eine Rolle gespielt haben.

Im Durchschnitt aller Rotationen (siehe Abb. 6) schneiden die Varianten mit Pflanzenschutz b2 mit 156 €/ha und b4 mit Pflanzenschutz und Düngung mit 190 €/ha am vorteilhaftesten ab. Der Roggendaueranbau liegt in den gedüngten Varianten b3 und b4 aber sogar vor der Fruchtfolge im Durchschnitt der Rotationen, und zwar um jeweils 80 bis 160 €/ha, hauptsächlich aufgrund der negativen DAL des Weißklee in der Fruchtfolge. Ob sich diese Entwicklung weiter fortsetzen wird, werden die weiteren Versuchsjahre zeigen.

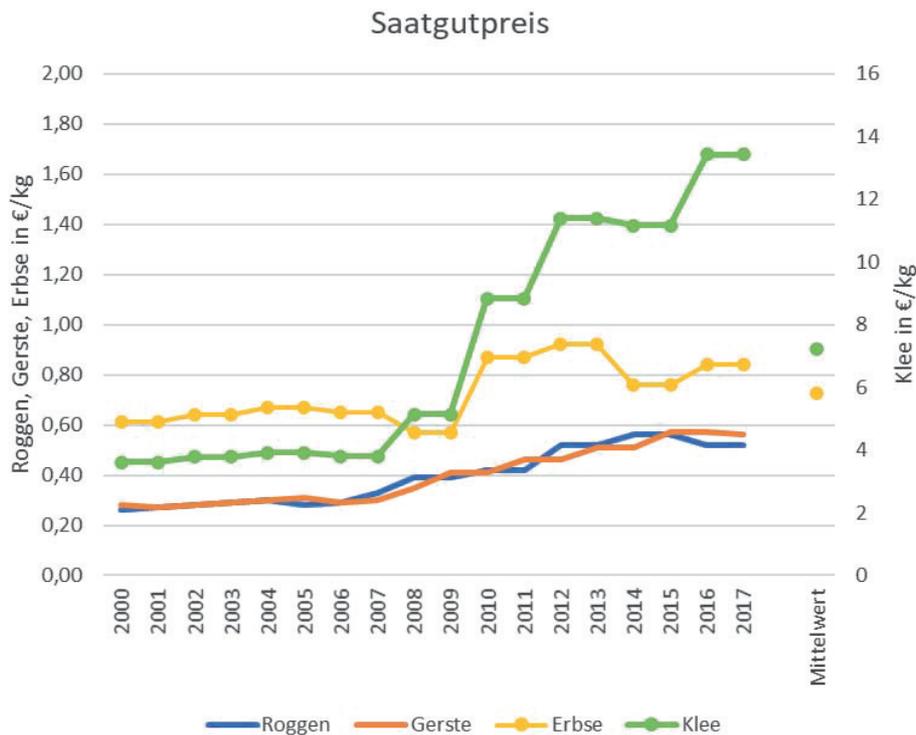
Wie auch bei der Auswertung der Einzelkulturen wurden neben der DAL auch die Nettobarwerte und deren gleichmäßige Verteilung über den Betrachtungszeitraum als Annuitäten berechnet. Abweichende Effekte lassen sich dabei nicht erkennen.

Untersuchung möglicher Einflussfaktoren. In den DAL-Berechnungen der Fruchtfolgen weist Klee sehr hohe ne-

gative Werte auf, auch für Erbsen können meist nur niedrige DAL-Werte errechnet werden. Dies ist vor allem beim Klee den hohen Saatgutpreisen zuzuschreiben. Der Preis von Klee-Saatgut ist im 18-jährigen Untersuchungszeitraum extrem stark gestiegen, etwa um das Vierfache. Von 2011–2017 stieg der Klee-Saatgutpreis von 3,61 €/kg auf 13,42 €/kg, so dass die Saatgutkosten insgesamt stark angestiegen sind. Wie man in Abb. 7 erkennen kann, ist auch das Saatgut von Erbsen im Vergleich zu Roggen und Gerste deutlich teurer.

### Schlussfolgerungen

Anhand von Berechnungen der direkt- und arbeitsleistungskostenfreien Leistung konnten Versuchsergebnisse des Dauerfeldversuches „Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz“ erstmals auch umfassend betriebswirtschaftlich ausgewertet werden. Unsere eingangs gestellten Forschungsfragen lassen sich nach den Ergebnissen folgendermaßen beantworten:



**Abb. 7.** Saatgutpreise für Roggen, Gerste, Erbsen und Weißklee für die Jahre 2000 bis 2017 (Quellen: KTBL, 1999 bis 2017, STATISTISCHES BUNDESAMT, 2001 bis 2013).

(1) Welche wirtschaftlichen Effekte zeigen sich in der Fruchtfolge, auch im Vergleich zum Roggendaueranbau?

Der Roggendaueranbau ist über den betrachteten Zeitraum von 18 Jahren, beurteilt anhand der DAL, betriebswirtschaftlich attraktiver als die Fruchtfolge, wenn Düngung und Pflanzenschutz angewendet werden. Dabei liegt die DAL der Fruchtfolge fast auf dem Niveau des Roggendaueranbaus, sofern die Varianten „mit Düngung“ betrachtet werden. Zum Tragen kommt dabei besonders, dass der Klee ohne Leistungen aufgrund der Verwendung als Gründung in die Berechnung eingegangen ist, wodurch die Ergebnisse zwischen den Jahren beim Wechsel von Getreide zu Leguminose großen Schwankungen unterlagen. Wurde hingegen nicht gedüngt, war die wirtschaftliche Vorzüglichkeit der Fruchtfolge weitaus höher als im Vergleich zum Roggendaueranbau. Auch ist festzustellen, dass sich die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolge über die Zeit deutlich erhöht und in der dritten Rotation in fast allen Varianten höhere DAL-Werte aufweist. Die Effekte des Verzichts auf Düngung benötigen Zeit und werden erst über einen längeren Betrachtungszeitraum sichtbar.

(2) Lassen sich Vorfruchteffekte der Leguminosen bezüglich der Wirtschaftlichkeit erkennen und ab wann werden wirtschaftliche Vorteile der unterschiedlichen Fruchtfolgen sichtbar?

Vorfruchteffekte der Leguminosen sind sehr deutlich bei Roggen an erster Stelle in der Fruchtfolge (nach Erbse und Gerste) ab der zweiten Rotation zu erken-

nen. Auch für die Fruchtfolge insgesamt und alle anderen Kulturen steigt die DAL ab der zweiten Rotation stark an. In der dritten Rotation ist ebenfalls eine steigende Tendenz zu erkennen. Effekte zeigen sich insbesondere in den ungedüngten Varianten. Ob dies allerdings ein Ausgleich eines möglichen N-Defizits durch die Stickstoffbereitstellung der Leguminosen sein kann, müsste noch in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

(3) In welcher Fruchtfolge und an welcher Stelle in der Fruchtfolge erzielt Roggen als Hauptanbaukultur die höchsten wirtschaftlichen Vorteile?

Über alle 18 Jahre betrachtet erbringt Roggen\_a in allen Varianten eine höhere Wirtschaftlichkeit im Vergleich zum Roggendaueranbau. In der zweiten und dritten Rotation erzielte der Roggen in der Fruchtfolge in den gedüngten Varianten sogar die höchsten DAL-Werte. Allerdings erreichte der Roggendaueranbau (ebenfalls in den gedüngten Varianten) nach zehnjährigem Anbau (2008) eine noch höhere Wirtschaftlichkeit, die in den nachfolgenden Jahren aber wieder rapide absank. Die Wirtschaftlichkeit des Roggens in der Fruchtfolge dagegen zeigt eine steigende Tendenz. Auch unter diesem Aspekt wird wieder deutlich, dass die genannten Effekte erst nach einer gewissen Zeit zu beobachten sind und daher Dauerfeldversuche zu einer sicheren Beurteilung unerlässlich sind.

(4) Welchen Einfluss haben Pflanzenschutz und Düngung auf die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgen?

Während im Roggendaueranbau die gedüngten Varianten über die untersuchten 18 Jahre immer wirt-

schaftlicher waren, zeigte sich in der Fruchtfolge ein komplexeres Bild. Insbesondere wurde deutlich, dass trotz fehlender Düngung bei der Fruchtfolge die Wirtschaftlichkeit des Roggenanbaus auf einem hohen Niveau verblieb. Durch die Kompensation der fehlenden Düngung, aufgrund der Leguminosen in der Fruchtfolge, führte hier der Pflanzenschutz zu einer deutlichen Steigerung der DAL-Werte, was im Roggendaueranbau nicht der Fall war (bei der Variante b2 mit Pflanzenschutz, ohne Düngung). Für den Roggendaueranbau wurde sehr deutlich, dass die Wirtschaftlichkeit sehr stark von der Düngung abhängt. Pflanzenschutz lohnte sich nur, wenn auch gedüngt wird. In der Fruchtfolge hingegen war auch die Pflanzenschutzanwendung ohne Düngung wirtschaftlich vorteilhaft.

### Diskussion und Ausblick

Die hier vorgestellten Ergebnisse leisten insgesamt einen Beitrag zu der Frage nach der betriebswirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit von Leguminosen in Fruchtfolgen, die auch von PREISSEL et al. (2015) in ihrem Reviewartikel aufgeworfen wurde. Über einen längeren Zeitraum betrachtet, können gute Fruchtfolgen negative betriebswirtschaftliche Leistungen einzelner Früchte, wie Weißklee oder zum Teil auch Erbse, gut abfedern und führen auch betriebswirtschaftlich zu vorteilhaften Systemen.

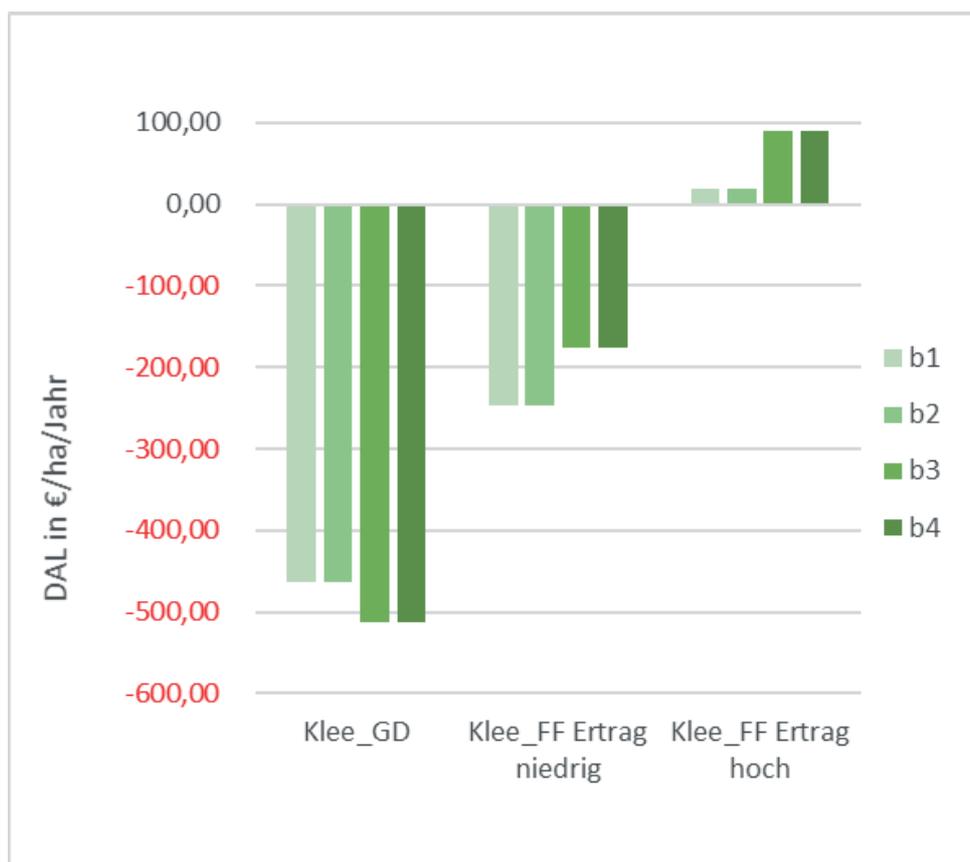
Leguminosen, wie Erbse und Weißklee, können zu konkurrenzfähigen Alternativen zu anderen Hauptkulturen werden, besonders auch auf mittleren Ertragsstandorten, wie am Beispiel des Versuchsstandortes Dahnsdorf gezeigt wird. Sie haben einen hohen Vorfruchtwert (Erbse), der sich in deutlichen Mehrerträgen der Folgefrüchte und damit auch deren DAL wieder spiegelt. So kamen ALBRECHT & GUDAT (2004) in Thüringen zu dem Ergebnis, dass der Kornertrag von Winterweizen nach Leguminosen-Vorfrucht im Mittel um rund 10 dt/ha über dem nach Getreide-Vorfrucht lag. Unter Berücksichtigung von Einsparungen bei N-Düngung und Bodenbearbeitung ergab sich auch ein deutlicher monetärer Vorfruchtwert der Körnerleguminosen. Für die Wirtschaftlichkeit von Leguminosen und damit auch der gesamten Leguminosen-Fruchtfolge ist es für die Praxis besonders wichtig, neue Vermarktungswege für Leguminosen zu finden und auszuloten, um möglichst hohe Preise erzielen zu können. Beim Verkauf helfen inzwischen Online-Märkte, wie „leguminosenmarkt.de“ (STEVENS et al., 2018) als Alternative zum regulären Handel. Durch einen hohen Futterwert der Eiweißfrüchte und eine innerbetriebliche Verwertung z.B. als frisches Viehfutter kann die Wertschöpfung von Leguminosen im Betrieb sogar noch erhöht werden, da der Futterwert der Leguminosen deutlich über dem reinen Vorfruchtwert als Gründünger liegt (STEVENS et al., 2018 und ALPMANN & SCHÄFER, 2014).

Dies zeigt auch eine zusätzliche betriebswirtschaftliche Auswertung einer alternativen Weißkleeerverwertung auf der Grundlage der Ergebnisse der Dauerfeldver-

suche in Dahnsdorf. Dazu wurde der Weißklee als Gründüngung die Verwertung als Frischfutter mit niedrigem und hohem Ertragsniveau gegenübergestellt. In Regionen mit umfangreicher Rinderhaltung ist dies durchaus von Bedeutung. Die Simulation der DAL zur Frischfutterverwertung des Weißkleees basiert auf einem Schnitt und den jeweiligen Kosten für Mähen und Laden (angelehnt an Rotklee-Gras-Gemenge nach KTBL, 1999–2016) der einzelnen Jahre (keine Pauschalkosten). Preise der Frischware wurden ebenfalls dem KTBL (1999–2016) entnommen und variieren von 24 €/t bis 33 €/t (ab 2013). Das niedrige Ertragsniveau wurde an Angaben des KTBL (1999–2016) angelehnt und beträgt für die Varianten ohne Düngung (b1 und b2) 10 t/ha und mit Düngung (b3 und b4) 15 t/ha Frischmasse Weißklee. Das hohe Ertragsniveau orientiert sich an Daten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL, 2020) und variiert von 20 t/ha (b1, b2) bis 25 t/ha (b3, b4). Diese Berechnung zeigt, dass die Weißkleeerverwendung als Frischfutter auf ertragreichen Standorten, bewertet anhand der DAL, durchaus betriebswirtschaftlich vorteilhaft sein kann (siehe Abb. 8): Bei der Simulation des hohen Ertragsniveaus weisen die DAL positive Werte von ca. 20 €/ha bis zu 90 €/ha auf. Beim niedrigen Ertragsniveau für die Frischfutterverwertung verbessert sich die DAL zwar deutlich im Vergleich zur Gründüngung, bleibt aber immer noch negativ (-246 €/ha bis -175 €/ha). Im Vergleich zur Gründüngung liegen die Varianten mit Düngung b3 und b4 mit ca. 71 €/ha Differenz zu den Varianten ohne Düngung b1 und b2 jetzt aber im Vorteil. Ab einem Ertrag von 21,6 t/ha, oder einem Erzeugerpreis von durchschnittlich 2,87 €/t (c. p.) Frischmasse Weißklee wird die DAL in den gedüngten Varianten positiv, was auf Hohertragsstandorten als durchaus realistisch einzuschätzen ist.

Betriebswirtschaftlich könnten Alternativen zum Weißklee noch attraktiver sein, auch wenn eine Verwendung in der Biogasproduktion berücksichtigt würde. In den vorliegenden Untersuchungen sollten aber die Dauerfeldversuche mit ihren Fruchtfolgegliedern nicht verändert werden, um einerseits den Charakter der Versuche unverändert zu lassen und andererseits eine Vergleichbarkeit über die Jahre zu gewährleisten. Mögliche Alternativen zu Weißklee wären beispielsweise Ackerbohne oder Soja. Die Standortbedingungen in Dahnsdorf schränken den Anbau dieser Kulturen allerdings ein, da Ackerbohnen einen hohen Wasserbedarf haben und dessen Verfügbarkeit in Dahnsdorf der limitierende Faktor ist. Beim Sojaanbau hingegen könnten Spätfröste problematisch werden. Leguminosen sollten in jedem Fall in der Fruchtfolge etabliert bleiben, da ohne Düngung (b1 und b2) der Stickstoff fehlen würde.

Die Ergebnisse für den Roggendaueranbau in der Variante mit Düngung und Pflanzenschutz zeigten überraschenderweise eine betriebswirtschaftliche Vorzüglichkeit gegenüber der Fruchtfolge. Dies könnte auf die Standortbedingungen in Dahnsdorf zurückzuführen sein und den Daueranbau gegebenenfalls auf weiteren marginalen Standorten in den Fokus ackerbaulicher Überle-



**Abb. 8.** Durchschnittliche DAL unterschiedlicher Weißklee-(Klee)verwertung über drei Rotationen (18 Jahre). GD bezeichnet die Verwertung als Gründung, FF bezeichnet die Verwertung als Frischfutter. b1 bis b4 beschreibt die Varianten: b1 (ohne Pflanzenschutz (PS) und ohne Düngung), b2 (nur PS), b3 (nur Düngung), b4 (PS und Düngung).

gungen rücken. Vor dem Hintergrund zunehmender Einschränkungen durch den Umwelt- und Naturschutz, auch im Kontext zukünftig noch erlaubter Düngungs- und Pflanzenschutzintensitäten wäre der Roggendaueranbau aus betriebswirtschaftlicher Sicht allerdings weniger attraktiv, da nur in den Varianten mit Düngung und Pflanzenschutz (auf mittlerem Niveau und nach der derzeitigen guten fachlichen Praxis mit dem integrierten Pflanzenschutz) wirtschaftliche Vorteile erzielt wurden. Bei gesamtwirtschaftlicher Betrachtung mit Berücksichtigung positiver und negativer Externalitäten könnte dann auch der extensive Daueranbau von Roggen vorteilhaft sein und sollte auch in zukünftige Analysen aufgenommen werden. Roggen gilt aus ackerbaulicher Sicht als sehr selbstverträglich, was vor allem auch der „ewige Roggen in Halle“ (1878 durch Julius Kühn angelegt) zeigt (HERBST et al., 2017). Auf vielen marginalen Standorten kann außer Roggen kaum anderes Getreide angebaut werden, so dass hier wenig Alternativen vorhanden sind.

Erweiterte Fruchtfolgen mit Leguminosen und die damit verbundene Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit können dabei helfen, die Wirtschaftlichkeit des Ackerbaus langfristig zu sichern. Nach BAHRS (2018) wird die zukünftige Gestaltung von Fruchtfolgen verstärkt im Fokus von Landwirten stehen müssen, um eine betriebswirtschaftliche Optimierung des Ackerbaus vorzunehmen. Dabei bleibt die Herausforderung für Ackerbauern

groß, die richtige Abstimmung zwischen Betriebswirtschaft und auch gesellschaftlichen Ansprüchen zu finden. Veränderte bzw. weitere und auch flexiblere Fruchtfolgen werden jedoch in vielen Betrieben Deutschlands, sowohl aus betriebswirtschaftlicher, als auch volkswirtschaftlicher bzw. gesellschaftlicher Perspektive, verstärkt zu beobachten sein.

Ein direkter Vergleich der hier untersuchten sechsgliedrigen Fruchtfolge mit klassischen engen Weizen-Weizen-Raps-Fruchtfolgen war im Rahmen der vorliegenden Versuchsdaten nicht möglich. Zukünftige Versuchskonzepte und Auswertungen sollten dies jedoch berücksichtigen.

### Erklärung zu Interessenskonflikten

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

### Literatur

- ALBRECHT, R., C. GUDDAT, 2004: Welchen Wert haben Körnerleguminosen in der Fruchtfolge. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.
- ALPMANN, D., B.C. SCHÄFER, 2014: Der Wert von Körnerleguminosen im Betriebssystem. UFOP-PRAXISINFORMATION. Berlin, ufop. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V.

- AMI, 2019: Marktbilanz Getreide, Ölsaaten, Futtermittel 2019. Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH. Rheinbreitbach: 227.
- BAHRS, E., 2018: Wie entwickeln sich die deutschen Fruchtfolgen. Getreide Magazin 23 (5), 40-42.
- BEER, H., L. KOTTMANN, 2020: Ackerbaustrategie 2035 des BMEL. Journal für Kulturpflanzen 72 (7), xxx-xxx, DOI: 10.5073/JfK.2020.07.xx.
- GROSS, J., O. ZIMMERMANN, 2019: Der Verlust der Insektenvielfalt – ein Kommentar der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie. Natur und Landschaft 6/7, 304-305.
- HERBST, F., L. SCHMIDT, W. MERBACH, 2017: Die Entwicklung des Ertragsniveaus im „Ewigen Roggenanbau“ in Halle/S. seit 1879. Journal für Kulturpflanzen 69 (9), 189-197, DOI: 10.5073/JfK.2017.06.01.
- KTBL, 1999: Betriebsplanung Landwirtschaft 1999/2000; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2002: Betriebsplanung Landwirtschaft 2002/2003; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2004: Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/2005; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2006: Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/2007; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2008: Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/2009; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2010: Betriebsplanung Landwirtschaft 2010/2011; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2012: Betriebsplanung Landwirtschaft 2012/2013; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2014: Betriebsplanung Landwirtschaft 2014/2015; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2016: Betriebsplanung Landwirtschaft; 2016/2017 Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- LFL, 2019: Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Access: 13.06.2019, URL: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html;jsessionid=6AD84A345055911BF91BD60E2ACED8BF>.
- LFL, 2020: Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Access: 3.3.2020, URL: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html;jsessionid=6AD84A345055911BF91BD60E2ACED8BF>.
- MUßHOFF, O., N. HIRSCHAUER, 2016: Modernes Agrarmanagement. Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren. 4. Auflage München, Verlag Franz Vahlen.
- PREISSEL, S., M. RECKLING, N. SCHLÄFKE, P. ZANDER, 2015: Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. Field Crops Research 175, 64-79, DOI: 10.1016/j.fcr.2015.01.012.
- SCHROERS, J.O., N. SAUER, 2011: KTBL. Die Leistungs-Kostenrechnung in der landwirtschaftlichen Betriebsplanung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. KTBL.
- SCHWARZ, J., T. FEIKE, B. FREIER, M. JAHN, H. KEHLENBECK, B. KLOCKE, S. KÜHNE, B. PALLUTT, J. SALTZMANN, C. WAGNER, U. WITTCHEN, 2015: 20 Jahre Dauerfeldversuche am Standort Dahnsdorf des Julius Kühn-Instituts, Journal für Kulturpflanzen, 67 (12), 389-403, DOI: 10.5073/JfK.2015.12.01.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2001: Statistisches Jahrbuch 2001 für die Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2006: Preisindizes für die Land- und Forstwirtschaft Dezember 2005. Fachserie 17, Reihe 1. Wiesbaden, Destatis.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011: Preisindizes für die Land- und Forstwirtschaft Dezember 2010. Fachserie 17, Reihe 1. Wiesbaden, Destatis.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2012: Preisindizes für die Land- und Forstwirtschaft März 2012. Fachserie 17, Reihe 1. Wiesbaden, Destatis.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013: Preisindizes für die Land- und Forstwirtschaft Dezember 2012. Fachserie 17, Reihe 1. Wiesbaden, Destatis.
- STEVENS, K., P. ZERHUSEN-BLECHER, B.C. SCHÄFER, J. BRAUN, 2018: Erbse und Bohne - das Plus für Ihre Fruchtfolge. Top Agrar 3, 68-73.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).