



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 100 | Ausgabe 1

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Betriebliche Anpassung der Fruchtfolge bei Absicherung der Preise für Weizen, Gerste und Raps

von Franziska Potts, Jens-Peter Loy, Lennart Stein, Gunnar Breustedt

1 Einleitung

Im Zuge des Abbaus der Preisstützungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) seit 1992 (MacSharry-Reform) ist die Preisvolatilität für viele Agrarprodukte in der EU angestiegen. Infolgedessen hat auch das Preisrisiko für die Landwirte zugenommen (ARTAVIA et al., 2010). Vor allem bei Getreide- und Ölsaaten unterliegen die Preise großen Schwankungen. In den Jahren 2007-2015 verzeichneten 37 % der Betriebe Einkommensverluste im Vergleich zum dreijährigen Mittel von über 30 % (EU, 2018, S. 25-26). In Hochpreisphasen können Landwirte zwar profitieren, aber bei niedrigen Preisen und anhaltend hohen Kosten kann die Existenz des Betriebs gefährdet sein (THEUVSEN et al., 2010, S. 6).

Um das Einkommen zu stabilisieren und Liquiditätsproblemen vorzubeugen, gewinnen Instrumente der Preisabsicherung zunehmend an Bedeutung. Neben der Mengenabsicherung (z. B. durch eine Hagelversicherung) gehört Preisabsicherung zu den betrieblichen Risikomanagementinstrumenten. Eine Preisabsicherung kann über Warentermingeschäfte oder Forwardkontrakte erfolgen (HIRSCHAUER und MÜßHOFF, 2012). Das mathematische Preisrisiko kann mit Hilfe von Warenterminmarktgeschäften fast vollständig ausgeglichen werden (SCHROEDER und HAYENGA, 1988; PENNINGS und MEULENBERG, 1997; LOY et al., 2017). Allerdings gewinnt der Betrieb durch die Absicherung kaum an Erlösstabilität, da die Warenterminmarktpreise ähnlich wie Kassamarktpreise variieren. Auch die betriebliche Liquidität in Niedrigpreisphasen verbessert sich kaum, da eine Absicherung in Hochpreisphasen zumeist mit Preiseinbußen verbunden ist und in Phasen von niedrigen Preisen auch die Warenterminmarktpreise auf niedrigem Niveau liegen (LOY et al., 2017). Zudem muss meist ein Kompromiss zwischen Verzicht auf Erlös und Reduktion der Varianz eingegangen werden (ERCHINGER et al., 2020).

Die Reduktion des mathematischen Risikos erhöht allerdings die Planungssicherheit. Diese ist dann von Nutzen, wenn Anpassungen der Produktion vorgenommen werden können. Diese Anpassungen können vorbereitender Natur sein, z. B. durch die zeitige Aufnahme von Krediten in Niedrigpreisphasen. Weiterhin kann eine Optimierung des Produktionsplans an das abgesicherte

Preisgefüge erfolgen. Außerdem kann die spezielle Intensität des Anbaus an das Preisgefüge angepasst werden, z.B. Düngemittel- und Pflanzenschutzinsatz. Ohne Absicherung kann sich die Optimierung der Anbauplanung nur an den Erwartungswerten der Preise ausrichten. Wenn durch Absicherung zur Aussaat die Preise der verschiedenen Früchte für die nächste Ernte bekannt sind, dann kann in jeder Periode die Anbauplanung und die spezielle Intensität des Anbaus (Düngung, Pflanzenschutz) an die spezifischen Preise angepasst werden.

Die Optimierung der Anbauplanung wird in der Literatur mit statischen und dynamischen Ansätzen und unter Berücksichtigung verschiedener ökonomischer und ökologischer Aspekte betrachtet. Statische Anbauplanmodelle basieren zumeist auf linearer Programmierung und berücksichtigen verschiedene pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Aspekte wie beispielsweise Fruchtfolgeeffekte, Maschinen- und Arbeitszeitrestriktionen oder Blühstreifen und verfolgen unterschiedliche Ziele wie Profitmaximierung oder Minimierung der speziellen Intensität des Anbaus, wie z. B. der Einsatz von Düngemitteln (u.a. DOGLIOTTI et al., 2003; BACHINGER und ZANDER, 2006; STÖCKLE et al., 2003; EL-NAZER und MCCARL, 1986; KARPENSTEIN-MACHAN et al., 2013). KARPENSTEIN-MACHAN et al. (2013) kommen in ihren Berechnungen zur Optimierung des Anbauplans im Vergleich zum Status Quo zu Steigerungen des Deckungsbeitrags von bis zu 50 %, wobei zusätzliche pflanzenbauliche Restriktionen oder Auflagen zum Naturschutz nur zu geringen Verlusten beim Deckungsbeitrag führen. DOGLIOTTI et al. (2003) erzielen Steigerungen des Deckungsbeitrags um bis zu 29 % im Vergleich zu einem ökologischen Pilot-Betrieb und um bis 75 % relativ zur Fruchtfolge mit dem niedrigsten Deckungsbeitrag. EL-NAZER und MCCARL (1986) ermitteln Steigerungen der Profitabilität von rund 10 % im Vergleich zu den in der Praxis beobachteten Fruchtfolgen. Bei anderen Modellen wird auf eine ökonomische Bewertung der Ergebnisse verzichtet. Stattdessen werden z. B. die Einflüsse auf den Ertrag oder die N-Bilanz betrachtet (BACHINGER und ZANDER, 2006).

Bei den dynamischen Modellen wird auf Grundlage des Prinzips von BELLMAN (1954) die optimale Strategie rekursiv unter Berücksichtigung der langfristigen Auswirkungen heutiger Entscheidungen ermittelt. Die meisten Ansätze basieren auf der Maximierung eines Zielwertes für einzelne Felder. Es wird unterstellt, dass die Optimierung der Untereinheiten auch zu einem optimalen Ergebnis auf einer höheren Ebene führt (LIVINGSTON et al., 2015). Neben Preisunsicherheit, Inputintensitäten sowie Risikoaversion werden auch bis zu dreijährige Ertragseffekte für variable und feste Fruchtfolgen bei der Optimierung für meist eine begrenzte Anzahl von diskreten Zuständen berücksichtigt (u. a. LIVINGSTON et al., 2015; CAI et al., 2013; BOYABATLI et al., 2019; CARPENTIER et al., 2011; JANOVA, 2011). Die Arbeiten zeigen, dass Fruchtfolgen mit Rotation der Früchte meist dem Anbau in Monokultur vorgezogen werden (LIVINGSTON et al., 2015; JANOVA, 2011; BOYABATLI et al., 2019). In längerfristigen Betrachtungen können die Fruchtfolgen aber auch Anbau in Selbstfolge enthalten (LIVINGSTON et al. 2015). Die Fruchtfolgen werden durch die Höhe der Ertragseffekte von Vorfrüchten und das

Preisverhältnis der Früchte beeinflusst (CAI et al., 2013; CARPENTIER et al., 2011). Bei BOYABATLI et al. (2019) führt die optimale Fruchtfolge aus Mais und Sojabohnen im Vergleich mit einem Anbau in Monokultur zu einem um knapp 19 % höheren Deckungsbeitrag, während der Vergleich mit heuristischen Fruchtfolgen nur einen um bis zu 2 % höheren Deckungsbeitrag ergibt. Einen um 3 bis 5 US-\$ pro Acre höheren Deckungsbeitrag ergibt sich bei LIVINGSTON et al. (2015) im Vergleich einer optimalen Anbauregel über einen unendlichen Zeitraum mit ein- und zweijährigen Optimierungen und einer dauerhaft rotierenden Fruchtfolge aus Mais und Sojabohnen. Dies stellt bei Deckungsbeiträgen zwischen 454 bis 489 US \$ pro Acre eine Steigerung von etwa 1 % dar (LIVINGSTON et al., 2015).

In diesem Beitrag wird gezeigt, wie sich die Anbauplanung bei Preisabsicherung zum Aussattermin ändert. In den statischen als auch dynamischen Modellen werden die Preise als konstant oder als stochastisch angenommen. Durch die Absicherung sind die Preise für die kommende Ernte nahezu bekannt (nicht stochastisch), die Preise variieren aber von Ernte zu Ernte. Durch die Absicherung wird die Unsicherheit der Preise fast vollständig reduziert. Die Produktion kann in jeder Periode an die abgesicherten Preise angepasst werden. Es wird dafür ein Modell der Anbauplanung entwickelt, das den maximalen Deckungsbeitrag ermittelt.

In dieser Arbeit wird die Anbauplanung eines schleswig-holsteinischen Beispielbetriebs für den Zeitraum von 2008 bis 2018 unter Berücksichtigung von Ertragseffekten durch die jeweiligen Vorfrüchte und betrieblichen Arbeitskraft- und Maschinenkapazitäten optimiert. Durch den Vergleich mit einer Referenzstrategie ohne Anpassung über einen historischen Zeitraum wird gezeigt, inwieweit die Anpassungen des Anbauplans zu höheren Deckungsbeiträgen führen. Als Referenzstrategie dient eine Raps-Weizen-Gerste-Fruchtfolge (Standardfruchtfolge), die bei einer Optimierung für die durchschnittlichen Preise des betrachteten Zeitraums ergibt.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut. Zunächst wird der Beispielbetrieb beschrieben und das grundlegende Modell zur Optimierung der Anbauplanung erläutert. Es folgt eine Beschreibung der verwendeten Annahmen. Anschließend werden die Simulationsergebnisse für den Zeitraum von 2008 bis 2018 dargestellt. Die Arbeit schließt mit einer Diskussion der Ergebnisse und einer Zusammenfassung.

2 Annahmen

Die Optimierung der betrieblichen Anpassung wird für einen Beispielbetrieb mit 500 ha im ostholsteinischen Hügelland von Schleswig-Holstein durchgeführt. Der Betrieb liegt 15 km westlich von Kiel (Standortbedingungen wie das Versuchsgut Hohenschulen der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel), hat sandige Lehmböden und 750 mm Niederschlag pro Jahr. Für diesen Standort liegen Daten aus Modellversuchen vor, die für eine Optimierung der Fruchtfolge notwendig sind. In Schleswig-

Holstein hat der durchschnittliche Betrieb eine Ackerfläche von 78 ha und Betriebe mit einer Ackerfläche mit mehr als 200 ha machen 10 % der Betriebe aus (STATISTIKAMT NORD, 2019b). In Mecklenburg-Vorpommern verfügen knapp 47 % der Betriebe über mehr als 200 ha Ackerfläche und der durchschnittliche Ackerbaubetrieb bestellt eine Fläche von 290 ha (STATISTISCHES AMT MECKLENBURG VORPOMMERN, 2017). Die Ackerfläche des Beispielbetriebs liegt somit oberhalb des schleswig-holsteinischen Durchschnittsbetriebs, er repräsentiert große, norddeutsche Betriebe.¹⁾

Es wird eine durchschnittliche Schlaggröße von 10 ha und eine durchschnittliche Entfernung der Flächen zum Betriebsgelände von 2 km angenommen. Die Ausstattung des Betriebes mit Arbeitskräften und Maschinen ist in Tabelle 1 dargestellt. Der Betrieb beschäftigt drei Vollzeitkräfte, einen Betriebsleiter und zwei Angestellte. Zur Ernte wird eine Saisonkraft zusätzlich eingestellt. In dieser Zeit wird eine Arbeitskraft für den Mähdrusch und eine für den Getreidetransport benötigt; zwei Arbeitskräfte erledigen die Stoppelbearbeitung und die Vorbereitung der Aussaat. Die Mechanisierung ist so gewählt, dass die Bewirtschaftung mit einer Raps-Weizen-Gerste Fruchtfolge unter normalen Bedingungen termingerecht bewältigt werden kann. Bei einer Abweichung von der Standardfruchtfolge werden unter Umständen weitere Maschinenkapazitäten benötigt, die hier von einem Lohnunternehmen zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 1:
Ausstattung des Beispielbetriebs.

	Anzahl	Ausstattung
Arbeitskräfte	3	Vollzeitkräfte (Betriebsleiter, 2 Angestellte)
	1	Saisonkraft zur Ernte
Mechanisierung	3	Schlepper (200 kW, 157 kW, 103 kW)
	1	Mähdröschler 300 kW + 7,5 m Schneidwerk
	1	Sämaschine + Kreiselegge 4,5 m
	1	Tiefengrubber 5 m
	1	Scheibenegge 5 m
	1	1 Feldspritze 36 m 4000 l
	1	Anbaudüngerstreuer 1,5 m ³
	4	Dreiseitenkipper 18 t

Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL (2019a).

Für den Beispielbetrieb wird eine Referenzstrategie berechnet, um die Unterschiede im Deckungsbeitrag durch die Anpassung des Anbauplans zu ermitteln. Als optimale Strategie bei Preisunsicherheit ergibt sich die Standardfruchtfolge Raps-Weizen-Gerste mit nahezu gleichverteilten Anbauanteilen (vgl. Tabelle 2), wenn eine Optimierung auf Basis der durchschnittlichen Preise im betrachteten Zeitraum von 2008 bis 2018 als Erwartungswerte durchgeführt wird. Diese Fruchtfolge ist auch ertragsphysiologisch vorteilhaft, da keine Frucht in Selbstfolge angebaut wird und keine ausgeprägten Arbeitsspitzen bei Ernte und Aussaat aufweist. Nur durch den Anbau von Gerste nach

Weizen werden im Vergleich zu einem Anbau nach Raps geringe, negative Ertragseffekte in Kauf genommen, bei einer anderen Kombination der drei Früchte würden aber höherer negative Ertragseffekte auftreten (SIELING und CHRISTEN, 2015). Wie in Tabelle 3 dargestellt werden die Anbauanteile für die Referenzstrategie als gleichverteilt und konstant angenommen; Weizen hat einen Anbauanteil von 34 %, Gerste und Raps haben jeweils 33 %.

Tabelle 2:
Ergebnisse der Optimierung bei Preisunsicherheit mit Durchschnittspreisen von 2008 bis 2018 als Erwartungswerte

Frucht	Raps	Weizen	Gerste
Durchschnittspreis (Euro/t)	372,72	177,82	156,60
Anteil (%)	32	34	34
DB (Euro/ha)	639,81		

Quelle: Eigene Berechnung. Daten: LK SH (2019), KTBL (2019a, 2019b).

Die Anpassungsstrategie wird für den Beispielbetrieb mit einer flexiblen Fruchtfolge und vollständig variablen Anbauanteilen zwischen 0 und 100 % simuliert. Ergänzend wird eine weitere Restriktion eingeführt, mit der die Anbauanteile begrenzt werden. Diese Anpassungsstrategie* stellt die Anpassung unter Greening-Restriktionen dar. Entsprechend der Vorgaben für die Greening-Prämie in Bezug auf die Anbaudiversifikation können die Anbauanteile alle ganzzahligen Werte zwischen 5 und 75 % annehmen und in jeder Periode müssen alle drei Früchte angebaut werden.

Tabelle 3:
Referenz- und Anpassungsstrategien.

Bezeichnung	Beschreibung	Anbauanteile	Fruchtfolge
Referenzstrategie	Strategie bei Preisunsicherheit	konstant (33 - 34 %)	Raps-Weizen-Gerste
Anpassungsstrategie	Anpassung bei Preisabsicherung	variabel (zwischen 0 - 100 %)	flexibel
Anpassungsstrategie*	Anpassung bei Preisabsicherung unter Greening- Restriktionen	variabel (zwischen 5 - 75 %)	flexibel

Quelle: Eigene Darstellung

Für die Anpassungsstrategien wird angenommen, dass die Preise im August kurz vor der Aussaat abgesichert werden. Weizen und Raps können jeweils über entsprechende Kontrakte an der Euronext Paris abgesichert werden. Für Gerste gibt es keinen eigenständigen Kontrakt, so dass die Absicherung über einen Cross-Hedge mit Weizen stattfindet. Ein Cross-Hedge ist möglich, da die Preise von Weizen

und Gerste auf dem Kassamarkt ähnliche Schwankungen aufweisen. Basierend auf den abgesicherten Preisen erfolgt die Optimierung des Anbauplans. Für die Referenzstrategie werden dieselben Preise wie für die Anpassungsstrategien verwendet. Dies hat den Vorteil, dass für zufällige Preiseffekte durch die unterschiedlichen Verkaufszeitpunkte kontrolliert wird. Denn zwischen der Absicherung kurz vor der Aussaat und dem Verkauf zur Ernte könnte der Preis sowohl fallen als auch steigen, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen könnte.

Als Absicherungspreise werden reale Erzeugerpreise für Raps, Brotweizen und Futtergerste von der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein über den Zeitraum 2008-2018 verwendet. Die Nettopreise werden auf wöchentlicher Basis erhoben und stellen Schwerpunktpreise für die jeweilige Woche dar.²⁾

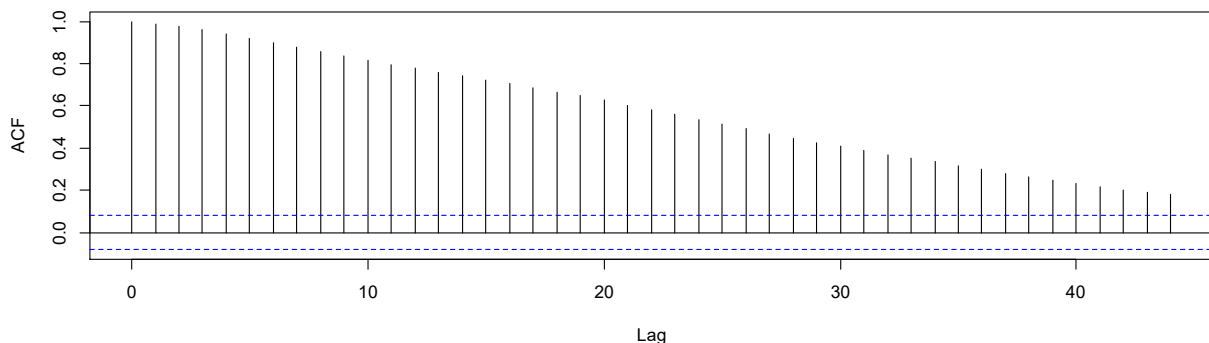
Wir nehmen an, dass sich die Kassamarktnotierungen über ein Warenterminmarktgeschäft mit einem Horizont bis zur Ernte im darauffolgenden Jahr (12 Monate) absichern lassen. Für die Warenterminmarkt-Preise von Weizen und Raps gilt, dass Kassamarktnotierungen, "nearby"-Warenterminmarkt-Notierungen sowie Warenterminmarkt-Notierungen mit Fälligkeitszeitpunkt in 12 Monaten hochkorreliert sind. Für Weizen liegen die Korrelationskoeffizienten bei bis zu 0,98, für Raps sogar bei bis zu 0,99. Demnach können mit einem Warenterminmarkt-Geschäft Preisrisiken nahezu vollständig reduziert werden und die Preise auf dem Warenterminmarkt mit einer Fälligkeit in 12 Monaten spiegeln im Wesentlichen die Kassamarktpreise zu dem Zeitpunkt der Notierung wider.

Für das erste Preisszenario werden die Preise kurz vor und zur Aussaat der Früchte genutzt. So umfasst das Szenario alle Erzeugerpreise, die im August des Beobachtungszeitraums von 2008-2018 aufgetreten sind. Es ergeben sich 44 Kassamarktnotierungen, die jeweils aus Preisen für Raps, Weizen und Gerste bestehen.

Da ein $n = 44$ einen relativ kleinen Stichprobenumfang darstellt, wird die Simulation für ein zweites Preisszenario mit allen Preisen im Beobachtungszeitraum wiederholt. Damit unterstellen wir, dass alle Preise auftreten könnten.³⁾ Die wöchentlichen Preise weisen zwar kurzfristig eine hohe Korrelation auf und hängen somit stark vom Preis der Vorwoche ab, langfristig nimmt die Korrelation aber stark ab. In Abbildung 1 ist die Korrelationsfunktion für den Erzeugerpreis Weizen für ein time-lag von bis zu 44 Wochen abgebildet. Das time-lag entspricht der Zeit von elf Monaten zwischen Aussaat und Ernte. Über die 44 Wochen ist zu beobachten, dass die Korrelation wie beschrieben stark abnimmt und am Ende der 44 Wochen nur noch bei 0,179 für Weizen liegt. Dies bedeutet, dass der Weizenpreis zur Aussaat praktisch in kaum einer Beziehung mit dem Preis zur Ernte steht und mögliche Preisänderungen zwischen Aussaat und Ernte sowohl positiv oder auch negativ ausfallen können und vor allem durch den Zufall bestimmt sind. Es kann also wie von uns auch angenommen theoretisch jeder Preis zum Zeitpunkt der Aussaat auftreten. Auch für die Erzeugerpreise von Gerste und Raps ist eine Abnahme der Autokorrelation über längere Zeiträume beobachtbar, wenn auch etwas weniger ausgeprägt als beim Weizen. Bei Raps sinkt die Autokorrelation über die 44 Wochen auf 0,317 und bei

Gerste auf 0,342. So besteht zwischen den Gerste- und Rapspreisen zwar eine stärkere Beziehung als beim Weizen, aber auch bei diesen sind Preisänderungen eher zufälliger Natur. In dieser Weise werden in einem zweiten Preisszenario alle realen Preise im Beobachtungszeitraum 2008-2018 als Absicherungspreise verwendet und der Stichprobenumfang erweitert sich auf $n = 576$.

Abbildung 1:
Autokorrelationsfunktion für den Erzeugerpreis Weizen von 2008 bis 2018 mit einem lag von 4 Wochen



Quelle: Eigene Abbildung. Daten: LK SH (2018)

Bei beiden Preisszenarien werden die Preise zufällig aus der jeweiligen Datengrundlage gezogen. Durch die zufällige Ziehung wird der Einfluss von Autokorrelation der wöchentlichen Beobachtungen auf die Simulationsergebnisse verhindert. Um Korrelationen der Preise untereinander zu berücksichtigen, werden die Preise für Weizen, Gerste und Raps zufällig aber immer für die gleiche Periode gezogen. Dies ermöglicht eine realitätsnähere Abbildung als eine unabhängige, zufällige Ziehung der Preise.

Die spezielle Intensität des Anbaus wird in allen drei Strategien konstant gehalten. In jeder Periode werden Pflanzenschutzmittel sowie eine gleichbleibende Menge Düngemittel eingesetzt. Die Kosten für diese Einsätze basieren auf den Kalkulationsdaten des KTBL (KTBL, 2019a; 2019b). Durch die gleichbleibende spezielle Intensität des Anbaus werden auch konstante Erträge für die drei Feldfrüchte angenommen, die auf den durchschnittlichen Erträgen aus dem Naturraum Hügelland in Schleswig-Holstein für 2008-2018 basieren (STATISTIKAMT NORD, 2019a). Die Erträge sind ebenso wie die Kosten für Pflanzenschutz- und Düngemittel in Tabelle 4 abgebildet.

Neben den Kosten für Dünge- und Pflanzenschutzmittel werden auch Kosten für Saatgut sowie variable Maschinen- und Lohnkosten und die Kosten für eine Hagelversicherung berücksichtigt. Die Maschinen- und Lohnkosten werden aus Daten des KTBL (2019b) für die angenommene Mechanisierung berechnet. Die einzelnen Posten der variablen Kosten sind in Tabelle 4 dargestellt. In Summe belaufen sich die variablen Kosten auf 884,51 Euro/ha für den Anbau von Raps, auf 821,97 Euro/ha für Weizen und auf 720,71 Euro/ha für Gerste.

Tabelle 4:
Ertrag (t/ha) und variable Kosten (Euro/ha).

	Raps	Weizen	Gerste
Ertrag	3,98	9,14	8,43
Saatgut	85,5	99,00	78,40
Düngemittel	240,3	324,7	227,7
Pflanzenschutz	297,3	238,56	222,02
Versicherung	41,29	12,4	10,26
Variable Maschinenkosten	133,69	139,43	129,7
Variable Lohnkosten	55,35	62,85	58,05
Summe der variablen Kosten	857,18	876,94	726,13

Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL (2019a; 2019b), LK SH (2019) und STATISTIKAMT NORD (2019a).

Zur Berechnung der monetären Auswirkungen von Vorfruchteffekten werden Ergebnisse aus Fruchtfolgeversuchen vom Versuchsbetrieb Hohenschulen verwendet. Der Versuchsbetrieb besitzt die gleichen Standortvoraussetzungen wie der Beispielbetrieb. Basierend auf den absoluten Ertragseffekten von SIELING und CHRISTEN (2015) werden die relativen Ertragseffekte bestimmt, indem die Vorfrucht-Fruchtbeziehung mit dem höchsten Ertrag gleich 100 und die anderen Erträge dazu in Relation gesetzt werden. Die entsprechenden relativen Erträge sind in Tabelle 5 dargestellt. Da im Versuch keine Fruchtfolge von Weizen nach Gerste untersucht wurde, wird hier für den Effekt die gleiche Ertragswirkung wie für Weizen nach Weizen angenommen. Die vergleichbare Physiologie von Weizen und Gerste als Halmfrüchte führt zu ähnlichen Problemen bei z.B. Wurzelkrankheiten und analogen Bedürfnissen beim Nährstoffbedarf, so dass sich die Vorfruchtwirkung sehr wahrscheinlich nicht unterscheidet (ANGUS et al., 2015).

Die monetären Auswirkungen der Vorfrüchte können für jede mögliche Aufteilung der Anbauanteile der Vorfrüchte auf die Anbauanteile bestimmt werden, indem der Ertrag mit dem relativen Effekt, dem Preis für die Frucht und dem Anbauanteil der Frucht multipliziert wird. Für die Standardfruchtfolge aus Raps-Weizen und Gerste mit nahezu gleichverteilten Anteilen ergeben sich für Raps keine negativen Ertragseffekte, da Raps zu 100 % nach Gerste angebaut wird. Bei Gerste kommt es auf der gesamten Fläche zu negativen Ertragseffekten, da Gerste immer nach Weizen angebaut wird. So wird für Gerste ein Ertragsverlust von 5,1 % in Kauf genommen bei der Standardfruchtfolge. Weizen wird zum größten Teil nach Raps angebaut, nur auf einem Anteil von 3 % der Weizenfläche wird Weizen in Selbstfolge angebaut, was zu einem Ertragsverlust von 11 % führt. In Summe ergibt sich für die Standardfruchtfolge ein negativer Ertragseffekt von 2 % im Durchschnitt.

Tabelle 5:
Prozentualer Ertrag in Abhängigkeit von der Vorfrucht (in %).

		Frucht		
		Weizen	Gerste	Raps
Vorfrucht	Weizen	89,0	94,9	95,8
	Gerste	89,0	96,7	100,0
	Raps	100,0	100,0	91,1

Quelle: Eigene Berechnung nach SIELING und CHRISTEN (2015).

Bei der Aussaat können zusätzlich variable Kosten anfallen, wenn die eigene Arbeitskraft und Mechanisierung bei zunehmenden Anbauanteilen nicht ausreicht und ein Lohnunternehmer einen Teil der Arbeiten übernimmt. In Schleswig-Holstein ist die Ernte aller drei Früchte Ende August beendet. Die Aussaat von Gerste und Weizen startet erst Ende September und es kommt bei diesen beiden Früchten zu keiner Überschneidung der Ernte- und Aussaatzeitfenster. Bei Raps dagegen überschneidet sich das Zeitfenster für die Aussaat, die ab dem 20. August beginnt, mit den Erntefenstern von Raps und Weizen, die bis zum 20. bzw. 25. August reichen können (KTBL, 2008, S. 205; SPREU, 2016).

Bei Aussaat fallen somit möglicherweise zusätzliche variable Kosten nur bei Raps an, da bei Weizen und Gerste der zeitliche Abstand zwischen Ernte und Aussaat nach allen Vorfrüchten ausreichend ist, um die notwendige Bodenbearbeitung durchzuführen. Wenn bei der Aussaat von Raps die eigene Arbeitskraft und Mechanisierung bei zunehmenden Anbauanteilen nicht ausreicht und ein Lohnunternehmer einen Teil der Arbeiten übernehmen muss, ergeben sich zusätzliche Kosten von 22,12 Euro/ha. Die Kosten setzen sich aus den Kosten für den Lohnunternehmer von 58,50 Euro/ha abzüglich der variablen Kosten für eine eigene Aussaat von 26,28 Euro/ha zusammen (KURATORIUM BH/MR WESTFALEN, 2017). Die mit eigenen Mitteln bestellbaren Flächen bei der Aussaat von Raps ergeben sich dabei aus der Flächenleistung des Mähdreschers von 2,13 ha/h, den verfügbaren Arbeitskraftstunden pro Tag, dem 11-tägigen Aussaatfenster und der jeweiligen Vorfrucht, wie in Tabelle 6 dargestellt ist. Beim Anbau von Raps nach Gerste können mit den zur Verfügung stehenden Arbeitskräften 93 % der Fläche bestellt werden, da das Zeitfenster zwischen Ernte und Aussaat ausreicht, um einen Großteil der notwendigen Bodenbearbeitung vorzunehmen. Beim Anbau von Raps nach Weizen bzw. Raps reicht die Zeit nicht aus, um die notwendige Bodenbearbeitung vorzunehmen. Eine Arbeitskraft muss den Boden bearbeiten, während die andere Arbeitskraft die Bestellung vornehmen kann. So ergibt sich nur eine bestellbare Fläche von maximal 47 % durch die eigenen Kapazitäten.

Tabelle 6:
Bestellbare Fläche mit eigenen Mittel beim Anbau von Raps.

Frucht	Flächenleistung (ha/h)	Verfügbare		Bestellbare Fläche (pro Tag)	Bestellbare Fläche (in 11 Tage)	Anteil der Gesamtfläche (%)
		Arbeitskraft-	stunden			
		(pro Tag)				
nach Gerste	2,13	20		42,6	468,6	93
nach Weizen/Raps	2,13	10		21,3	234,3	47

Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL (2019a).

Bei der Ernte wird angenommen, dass zunächst mit den eigenen Maschinen trockenes Getreide (Zeitfenster 1) geerntet wird. Reicht die Flächenleistung nicht für die gesamte Fläche einer Frucht aus, werden Dienstleistungen eines Lohnunternehmers hinzugekauft. Wie in Tabelle 7 dargestellt, führt die Trocknung des Getreides zu hohen Kosten, welche die Kosten des Lohndrusches übersteigen.

Ist so noch nicht die ganze Fläche einer Frucht geerntet, wird im zweiten Zeitfenster feuchtes Getreide zunächst wieder mit eigenen Maschinen und dann mit Hilfe des Lohnunternehmers geerntet und anschließend in beiden Fällen getrocknet. Dabei fallen für Gerste und Weizen Trocknungskosten in Höhe von 12,3 Euro/t und für Raps in Höhe von 15,8 Euro/t (LK SH, 2020), was unter Berücksichtigung der angenommenen Durchschnittserträge zu Kosten von 112,42 Euro/ha für Weizen, 103,69 Euro/ha für Gerste und 62,88 Euro/ha für Raps führt. Die Kosten für Ernte und Trocknung sind detailliert in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7:
Variable Kosten bei der Ernte.

Frucht	Zeitfenster 1 (6 Stunden)					
	Betriebseigener Mähdrusch			Mähdrusch durch Lohnunternehmer		
	Fläche		Kosten	Fläche		Kosten
	ha	%	Euro/ha	ha	%	Euro/ha
Raps	156	31	48,34	180	36	81,66
Weizen	171	34	44,04	180	36	75,96
Gerste	171	34	42,39	180	36	77,61

Frucht	Zeitfenster 2 (4 Stunden)					
	Betriebseigener Mähdrusch + Trocknung			Mähdrusch durch Lohnunternehmer + Trocknung		
	Fläche		Kosten	Fläche		Kosten
	ha	%	Euro/ha	ha	%	Euro/ha
Raps	104	21	111,22	120	24	144,54
Weizen	114	23	156,46	120	24	188,38
Gerste	114	23	146,08	120	24	181,30

Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL (2019a), KURATORIUM BHD/MR WESTFALEN (2017) und LK SH (2020).

3 Modell zur Optimierung der betrieblichen Anbauplanung

Durch eine Absicherung der Preise am Warenterminmarkt mittels “full hedge” bei Weizen (Gerste) und Raps können ca. 95 Prozent des Preisrisikos durch die Warentermingeschäfte ausgeglichen werden (Loy et al., 2017). Wir unterstellen an dieser Stelle der Einfachheit halber, dass durch die Absicherung vollkommene Preissicherheit, also eine 100 prozentige Reduktion des Preisrisikos, erreicht wird. Bei Nicht-Absicherung sind alle künftigen Bewegungen der Preise unbekannt, die Prognosegüte über die 11 Monate von der Aussaat bis zur Ernte ist nahe null (Loy et al., 2017).

Ohne Absicherung basiert die Optimierung der Anbauplanung auf den durchschnittlichen Preisen als Maß für die Erwartungswerte. Die Optimierung ergibt die Standardfruchtfolge aus Weizen, Gerste und Raps. Wenn die Preise aller Früchte abgesichert werden, kennt man bereits bei der Aussaat den Preis, den man für die folgende Ernte erhält, und kann in jeder Periode eine gewinnmaximale Anpassung an das spezifische Preisgefüge vornehmen.

In diesem Modell wird die Anbauplanung durch die Maximierung des Gesamtdeckungsbeitrags für einen durchschnittlichen Hektar Ackerfläche, auf dem eine der n (3) Früchte anbaut werden können, über einen Zeitraum T optimiert. Die Maximierung erfolgt über die Anpassung der Anbauanteile der einzelnen Früchte i ($i = 1, \dots, n$) in Periode t ($t = 1, \dots, T$) in Abhängigkeit des Anbauprogramms der Vorperiode $t-1$ (G^{t-1}). Es wird angenommen, dass die prozentualen Anbauanteile (a_i^t) der Feldfrüchte nur ganze Werte zwischen 0 und 100 annehmen können und die Summe der Anbauanteile in jeder Periode t immer 100 ergeben muss. Es können auch weitere Restriktionen der minimalen und maximalen Anbauanteile umgesetzt werden, wie z. B. die Restriktionen durch das Greening.

$$\sum_{i=1}^N a_i^t = 100 \quad (1)$$

Der Deckungsbeitrag (DB_i^t) der Frucht i in der Periode t für einen Hektar resultiert aus dem Erlös (E_i^t) abzüglich der variablen Kosten (vK_i), wobei der Erlös sich zunächst einmal durch den Ertrag (E_i) und den abgesicherten Preis (P_i^t) ergibt. Der Preis wird als exogen und nicht durch den Landwirt oder seine Entscheidungen beeinflussbar angenommen. Für die Berechnung des Gesamtdeckungsbeitrags für einen durchschnittlichen Hektar werden die Deckungsbeiträge der einzelnen Früchte mit ihren prozentualen Anbauanteilen (a_i^t) in der Periode t gewichtet:

$$DB^t(a_i^t | P_i^t) = \max_{A_i^t} \sum_{i=1}^N a_i^t (E_i P_i^t - vK_i) \quad (2)$$

Des Weiteren wird angenommen, dass das Anbauprogramm der Vorperiode $t-1$ (G^{t-1}) aufgrund der Ertragseffekte in der Folgeperiode einen Einfluss auf die Deckungsbeiträge in der aktuellen Periode t

haben. Die Berücksichtigung ist insbesondere bei der Verwendung einer flexiblen Fruchtfolge von Bedeutung, da jede Frucht i ($i = 1, \dots, n$) nach jeder Frucht j ($j = 1, \dots, n$) angebaut werden kann. Auf eine Einbeziehung mehrjähriger Ertragseffekte wird verzichtet, da die Preise in $t+1$ nicht abgesichert werden können und damit nicht vorhersehbar sind bzw. das Preisrisiko nicht abgesichert werden kann. Aufgrund der Preiserwartung ist dann die Standardfruchtfolge wieder optimal.

Die Ertragseffekte der Vorfrüchte werden in Form von Deckungsbeitragsverlusten (DBV) in der Optimierung berücksichtigt. Der Deckungsbeitragsverlust für Frucht i beim Anbau nach der Vorfrucht j berechnet sich aus dem Ertrag (E_i) der Frucht i multipliziert mit dem prozentualen Ertragseffekt durch die Vorfrucht j auf die Frucht i (EE_{ij}), der mit dem abgesicherten Preis (P_i^t) für Frucht i monetarisiert wird. Der Anbauanteil der Frucht i kann aufgrund der flexiblen Fruchtfolge in der Periode t auch auf mehrere Vorfrüchte verteilt werden, so dass die Summe der Deckungsbeitragsverluste über alle Vorfrüchte j berechnet wird. Die Deckungsbeitragsverluste für die einzelnen Vorfrüchte werden dabei anhand der des Anbauanteils der Frucht i nach der Vorfrucht j in der Periode t (AV_{ij}^t) gewichtet. Der Anbauanteil (AV_{ij}^t) ist dabei abhängig von dem Anbauprogramm der Vorperiode $t-1$ (G^{t-1}) und der Verteilung der Anbauanteile der Vorfrüchte (V_s^t) auf die Anbauanteile der Früchte in Periode t :

$$DBV_i^t(a_i^t, V_s^t | P_i^t, G^{t-1}) = \sum_{j=1}^N AV_{ij}^t(G^{t-1}, V_s^t) * E_i * EE_{ij} * P_i^t \quad (3)$$

Außerdem werden weitere variable Kosten, die beim Anbau durch nicht ausreichende betriebseigene Maschinen- und Arbeitskraftkapazitäten entstehen können, in die Optimierung aufgenommen. Bei der Aussaat können zusätzliche Kosten anfallen, wenn das begrenzte Zeitfenster zwischen Ernte der Vorfrucht und Aussaat der Frucht nicht ausreicht (z.B. durch einen hohen Anbauanteil einer Frucht), um alle notwendigen Bodenbearbeitungsschritte durchzuführen. In einem solchen Fall überschneiden sich die Arbeitsvorgänge für Bodenbearbeitung und Ernte. Damit kann es zur Überschreitung der betriebseigenen Kapazitäten kommen. In diesem Fall werden Dienstleitungen eines Lohnunternehmers in Anspruch genommen. Die zusätzlichen Kosten ($zvAK_i^t$) werden berücksichtigt. Die Höhe der Kosten in t für die Frucht i hängt vom Anbauanteil der Frucht i (a_i^t), vom Anbauprogramm (G^{t-1}) der Vorperiode $t-1$ und der Verteilung der Anbauanteile der Vorfrüchte auf die Anbauanteile in Periode t (V_s^t) ab:

$$zvAK_i^t(a_i^t, V_s^t | G^{t-1}) \quad (4)$$

Auch bei der Ernte kann es Begrenzungen der betriebseigenen Kapazitäten geben. Für die einzelnen Früchte stehen begrenzte Zeitfenster für die Ernte zur Verfügung, wodurch bei einem höheren Anbauanteil einer Frucht die Flächenleistung des betriebseigenen Mähdreschers überschritten wird

und dann zusätzliche Kosten für den Einsatz eines Lohnunternehmens entstehen. Die Ernte von Getreide erfolgt gemäß der Tageszeit in der Regel mit unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt. Am Anfang des Tages ist der Feuchtigkeitsgehalt in der Regel hoch und sinkt im Tagesverlauf ab (LUDER 1984, 1996). Zu Vereinfachung werden hier zwei Zeitfenster unterstellt. Das erste Fenster beträgt sechs Stunden und ermöglicht die Ernte von lagerfähigem Getreide mit einer Kornfeuchte von weniger als 16 % (DIEPENBROCK et al., 2016, S. 188; LUDER, 1996). Es fallen keine Trocknungskosten an. Im zweiten Zeitfenster, das vier Stunden umfasst, kann Getreide und Raps mit einem durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt von 17 % geerntet werden (LUDER, 1996). Bei einer Kornfeuchte über 16 % muss das Erntegut getrocknet werden und es fallen zusätzliche Kosten für jede geerntete Tonne an. Die zusätzlichen variablen Erntekosten ($zvEK_i^t$) der Frucht i werden vor allem durch den Anbauanteil dieser Frucht (a_i^t) bestimmt, aber auch die Vorfrüchte spielen eine Rolle, da diese über die Ertragseffekte einen Einfluss auf die Trocknungskosten haben. Somit hängen die zusätzlichen variablen Kosten auch vom Anbauprogramm der Vorperiode $t - 1$ (G^{t-1}) und der Verteilung der Anbauanteile der Vorfrüchte auf die Anbauanteile in Periode t (V_s^t) ab:

$$zvEK_i^t(a_i^t, V_s^t | G^{t-1}) \quad (5)$$

Durch die Berücksichtigung der Ertragseffekte durch Vorfrüchte und die zusätzlichen variablen Kosten ergibt sich folgende Zielfunktion aus den Gleichungen (2) – (5) mit Gleichung (1) als Nebenbedingung:

$$\begin{aligned} DB^{t*}(a_i^t, V_s^t | P_i^t, G^{t-1}) = \max_{A_i^t, V_s^t} \sum_{i=1}^N a_i^t (E_i P_i^t - vK_i) \\ - DBV_i^t(a_i^t, V_s^t | P_i^t, G^{t-1}) - zvAK_i^t(a_i^t, V_s^t | G^{t-1}) - zvEK_i^t(a_i^t, V_s^t | G^{t-1}) \\ s. t. \sum_{i=1}^N a_i^t = 100 \quad (6) \end{aligned}$$

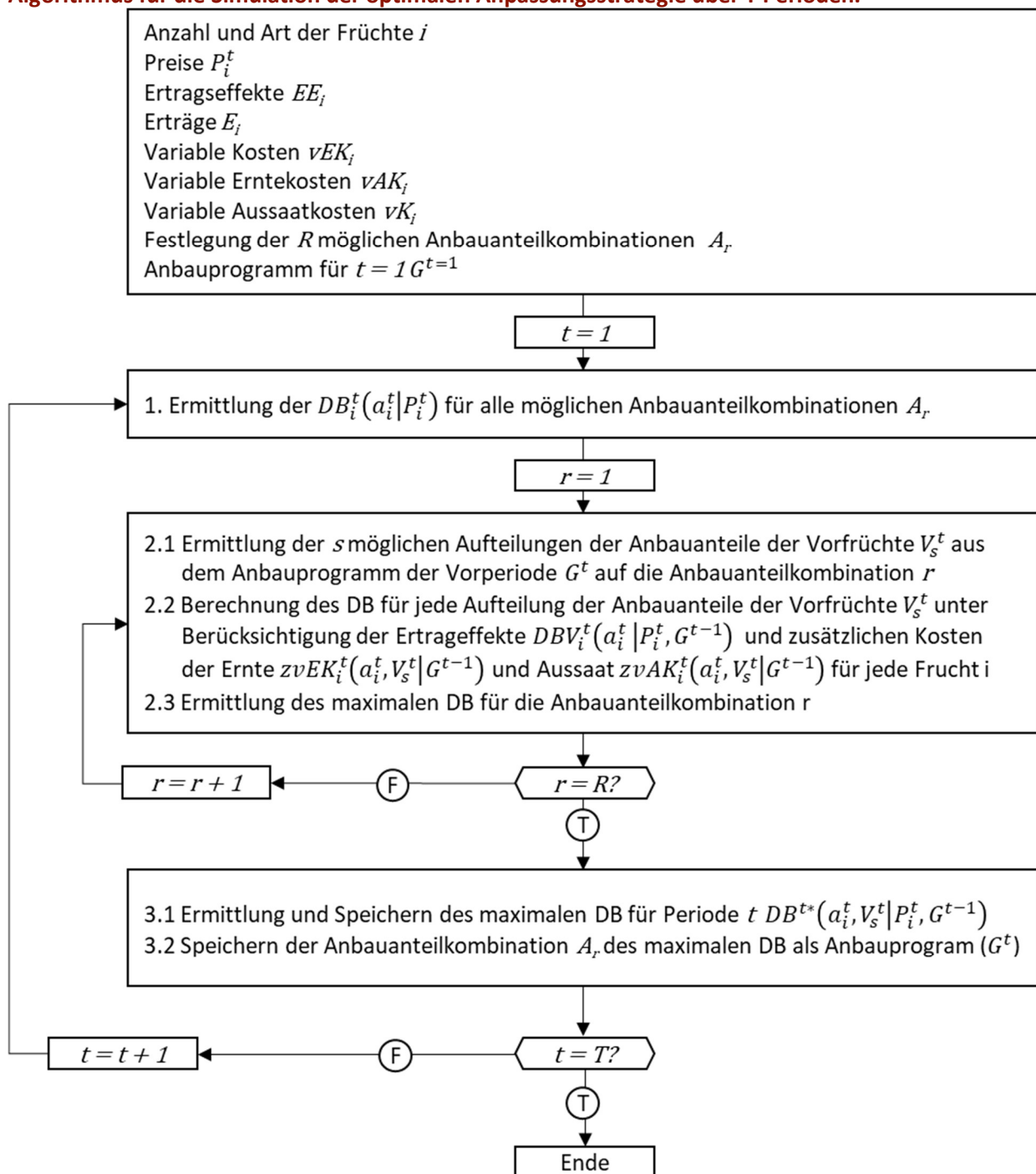
mit $i = 1, \dots, N$; $j = 1, \dots, N$; $t = 1, \dots, T$; $s = 1, \dots, S$.

Aus dieser Optimierung ergeben sich für die Periode t ein maximierter Gesamtdeckungsbeitrag und die optimalen Anbauanteile für jede Frucht i in Abhängigkeit vom Anbauplan der Vorperiode $t - 1$. Die optimalen Anbauanteile werden als Anbauplan der Vorperiode in der nächsten Periode $t + 1$ verwendet.

Der Algorithmus für die Simulation einer optimalen Anpassungsstrategie ist in Abbildung 2 dargestellt. Für die Maximierung des Deckungsbeitrags über die betrachteten Perioden T werden die Anbauanteile der Standardfruchtfolge als Start-Anbauanteile für die Periode $t = 1$ genutzt. Für jede Periode werden zunächst die Deckungsbeiträge $DB_i^t(a_i^t | P_i^t)$ für alle möglichen Anbauanteilkombinationen A_r mit Gewichtung anhand des Anbauanteile der Frucht i in der Anbauanteilkombination r berechnet ohne

Effekte durch Vorfrüchte zu berücksichtigen. Für jede Anbauanteilkombination r werden im nächsten Schritt die möglichen Aufteilungen der Anbauanteile der Vorfrüchte V_s^t aus dem Anbauprogramm G^{t-1} der Vorperiode $t - 1$ bestimmt. Für jede Aufteilung wird der Deckungsbeitrag für jede Frucht i unter Berücksichtigung der Ertragseffekte $DBV_i^t(a_i^t | P_i^t, G^{t-1})$ sowie zusätzlichen Kosten der Ernte $zvEK_i^t(a_i^t, V_s^t | G^{t-1})$ und Aussaat $zvAK_i^t(a_i^t, V_s^t | G^{t-1})$ ermittelt und anschließend der maximale Deckungsbeitrag für die Anbauanteilkombination r und alle Früchte ermittelt. Diese Prozedur (Schritt 2.1-2.3) wird für alle R möglichen Anbauanteilkombinationen durchgeführt. Aus den resultierenden R Deckungsbeiträgen wird in Schritt 3.1 abschließend der maximale Deckungsbeitrag für die Periode t ermittelt und gespeichert. Ebenso werden die Anbauanteile der deckungsbeitragsmaximalen Anbauanteilkombination in Schritt 3.2 als Anbauprogramm G^t gespeichert, um in der nächsten Periode die Anbauanteile der Vorperiode zu bilden. Dieses Prozedere wird so lange durchgeführt bis $t = T$ ist und somit eine Maximierung für jede Periode erfolgt ist.

Abbildung 2:
Algorithmus für die Simulation der optimalen Anpassungsstrategie über T Perioden.



4 Ergebnisse

Der vorgestellte Algorithmus für die Anpassung der Betriebsplanung wurde in R programmiert und in RStudio (Version 1.2.5001) unter Nutzung von R (Version 4.0.4) ausgeführt. Die Berechnung der optimalen Deckungsbeiträge für alle möglichen Aufteilungen der Anbauanteile der Vorfrüchte (Schritte 2.1 – 2.3 in Abb. 1) erfolgt dabei parallel, um die Rechenzeiten der Optimierung zu verringern. Für die Umsetzung der parallelen Berechnungen wird das Package „parallel“ genutzt (RIPLEY et al.

2011). Mit Parallelität dauert die Maximierung des Deckungsbeitrags für eine Periode durchschnittlich 5 Minuten, während bei der klassischen Maximierung ohne Parallelität bis zu 1,67 Stunden pro Periode benötigt werden. Die Simulation der Anpassungsstrategie für eine Periode dauert durchschnittlich 4,5 Minuten, während die Simulation der Anpassungsstrategie* durchschnittlich 5,2 Minuten benötigt. Die kürzeste Simulationsdauer für eine Periode liegt bei 0,17 Minuten und die längste bei 17 Minuten. Die Simulationsdauer für eine Periode wird maßgeblich durch die Anzahl der möglichen Verteilungen der Anbauanteile der Vorfrüchte auf die Anbauanteile der Früchte in Periode t bestimmt.

Basierend auf den schleswig-holsteinischen Erzeugerpreisen zur Aussaat im August als Absicherungspreise (Preisszenario 1) führt die Referenzstrategie zu einem durchschnittlichen Deckungsbeitrag von 607,83 Euro/ha bei einer Standardabweichung von 259,42 Euro/ha (vgl. Tabelle 8). Der geringste Deckungsbeitrag der Referenzstrategie liegt bei 80,09 Euro/ha und der höchste bei 1174,67 Euro/ha. Die Anpassung der Anbauplanung bei abgesicherten Preisen führt zu einem höheren Anteil von Weizen. In der Referenzstrategie hat Weizen einen Anteil von 34 %, bei abgesicherten Preisen wird durchschnittlich 51 % Weizen angebaut. Bei Anwendung der Greening-Restriktionen sinkt der Anteil auf 47 %. Die Anbauanteile von Raps liegen im Mittel bei 32 % und nehmen bei beiden Strategien um 1 % ab, während Gerste im Durchschnitt noch auf 17 % bzw. 21 % (unter Greening-Restriktionen) der Fläche angebaut wird. Die Variation der durchschnittlichen Anbauanteile liegt für alle drei Früchte mit Standardabweichungen zwischen 30 - 36 % bei der Anpassungsstrategie höher als bei der Anpassungsstrategie*. Die stärkste Variation zeigt der Anbauanteil von Raps mit einer Standardabweichung von 26 %.

Die minimalen und maximalen Anbauanteile der Anpassungsstrategie sind für alle Früchte 0 % und 100 %. Auch bei der Anpassungsstrategie* zeigen sich dieselben minimalen und maximalen Werte für die Anbauanteile für die drei Früchte. Diese liegen entsprechend den Vorgaben der Greening-Restriktionen bei 5 % und 75 %.

Tabelle 8:
Ergebnisse für die Anpassung bei Preisabsicherung und die Referenzstrategie (Preise zur Aussaat, n = 44).

Fruchtart	Referenzstrategie Standardfruchtfolge			Anpassungsstrategie			Anpassungsstrategie* (Greening-Restriktion)		
	Raps	Weizen	Gerste	Raps	Weizen	Gerste	Raps	Weizen	Gerste
Anteil^a	33	34	33	32	51	17	32	47	21
Standard- abweichung^a	0	0	0	36	37	30	26	21	20
Minimum^a	33	34	33	0	0	0	5	5	5
Maximum^a	33	34	33	100	100	100	75	75	75
Durchschnittlicher DB^b		607,83			624,55			619,11	
Standard- abweichung^a		259,42			274,59			266,18	
Variations- koeffizient^a		42,7			43,9			43,0	
Minimaler DB^b		80,09			36,22			51,06	
Maximaler DB^b		1174,67			1336,14			1241,65	

^a in %, ^b in Euro pro ha. Quelle: Eigene Berechnung. Daten: Lk SH (2019, 2020), KTBL (2019a, 2019b).

Die Veränderungen der Anbauanteile und die flexiblen Fruchtfolgen führen zu durchschnittlichen Deckungsbeiträgen von 624,55 Euro/ha für die Anpassungsstrategie und 619,11 Euro/ha für die Anpassungsstrategie*. Beide Optimierungen des Anbauprogramms führen somit im Durchschnitt zu einem höheren Deckungsbeitrag als die Referenzstrategie. Die durchschnittlichen Differenzen liegen absolut betrachtet zwischen 11,28 Euro/ha und 16,72 Euro/ha, wobei die höchste Differenz zwischen Anpassungsstrategie und Referenzstrategie liegt. Prozentual betrachtet liegt der Unterschied im Durchschnitt bei 1,8 % bzw. 2,7 %. Wie die Ergebnisse der t-Tests in Tabelle 9 zeigen, sind die Unterschiede zwischen den durchschnittlichen Deckungsbeiträgen der beiden Anpassungsstrategien im Vergleich zur Referenzstrategie statistisch signifikant, die Anpassungsstrategie und die Anpassungsstrategie* zeigen keinen signifikanten Unterschied.

Die Anpassungsstrategie weist mit einer Standardabweichung von 274,59 Euro/ha die stärkste Variabilität auf, während die Referenzstrategie die geringste Standardabweichung von 259,42 Euro/ha zeigt. Dies wird auch in den Spannen der Deckungsbeiträge deutlich, die bei der Referenzstrategie mit Deckungsbeiträgen zwischen 80,09 Euro/ha und 1174,67 Euro/ha kleiner ist als bei den Anpassungsstrategien mit Werten von 36,22 Euro/ha bis 1336,14 Euro/ha. Betrachtet man die relative Variation in Form des Variationskoeffizienten, so zeigt die Referenzstrategie weiterhin den geringsten

Wert mit 42,7 %. Die relative Variation der Anpassungsstrategie liegt um 1,2 % höher, während die Anpassungsstrategie* 0,3 % höher liegt.

Tabelle 9:
Zwei-Stichproben t-Test für gepaarte Stichproben (n = 44).

	Anpassungsstrategie vs. Referenzstrategie Standardfruchtfolge	Anpassungsstrategie* (Greening-Restriktion) vs. Referenzstrategie Standardfruchtfolge	Anpassungsstrategie vs. Anpassungsstrategie* (Greening-Restriktion)
t-Wert	1,8925 *	1,9022 *	1,4571
df	43	43	43
p-Wert	0,6517	0,06386	0,1523
Mittelwert der Differenzen ^a	16,72	11,28	5,45

H0: Differenz = 0, *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1; a in Euro pro ha. Quelle: Eigene Berechnung.

Die Vorfruchtanteile sind Tabelle 10 dargestellt. Bei der Anpassungsstrategie wird Raps vor allem nach Weizen (60 %), aber auch nach Gerste (40 %) angebaut. Ein Anbau von Raps in Selbstfolge findet nicht statt. Raps ist die häufigste Vorfrucht beim Anbau von Weizen (58 %). Zu 34 % wird Weizen nach Weizen angebaut und in 8 % folgt Weizen auf Gerste. Gerste wird meist nach Weizen (84 %) und seltener nach Raps (15 %) angebaut. Ein Anbau in Selbstfolge kommt mit einem Anteil von 1 % am seltensten vor. Bei der Anpassungsstrategie* sind ähnliche Fruchtfolgen zu beobachten, die größten Unterschiede zeigen sich beim Anbau von Weizen. Weizen wird mit 65 % häufiger nach Raps und seltener in Selbstfolge (32 %) oder nach Gerste (3 %) angebaut. Gerste wird am häufigsten nach Weizen (83 %) angebaut, häufiger in Selbstfolge (9 %) und seltener nach Raps (8 %).

Tabelle 10:
Anteile der Vorfrüchte (%) für jede Frucht (n = 44).

Referenzstrategie Standardfruchtfolge			
Vorfrucht	Raps	Frucht Weizen	Gerste
Raps	0	97	0
Weizen	0	3	100
Gerste	100	0	0

Anpassungsstrategie			
Vorfrucht	Raps	Frucht Weizen	Gerste
Raps	0	58	15
Weizen	60	34	84
Gerste	40	8	1

Anpassungsstrategie* (Greening-Restriktion)			
Vorfrucht	Raps	Frucht Weizen	Gerste
Raps	0	65	8
Weizen	46	32	83
Gerste	54	3	9

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Ergebnisse für Preisszenario 2, bei dem angenommen wird, dass alle Preise des Beobachtungszeitraums bei der Absicherung zur Aussaat auftreten können, sind in Tabelle 11 dargestellt. Bei beiden Anpassungsstrategien kommt es zu einer stärkeren Konzentration des Anbaus von Weizen mit einem durchschnittlichen Anbauanteil von 63 % (Anpassungsstrategie bzw. 54 % Anpassungsstrategie*) im Vergleich zur Referenzstrategie, während die Anbauanteile von Raps und Gerste abnehmen. Unter Berücksichtigung der Greening-Restriktionen (Anpassungsstrategie*) nehmen die Anbauanteile weniger stark ab, Gerste hat durchschnittlich einen Anbauanteil von 19 % und Raps von 27 %. Bei der Anpassungsstrategie wird insbesondere Gerste mit einem Anbauanteil von 12 % deutlich seltener angebaut. Die Anbauanteile der Anpassungsstrategie variieren mit Standardabweichungen zwischen 27 – 38 % stärker als bei der Anpassungsstrategie* mit Standardabweichungen von 19 – 24 %. Die Spannen der Anbauanteile nutzen bei beiden Strategien die gesamte Breite zwischen 0 – 100 % (Anpassungsstrategie) bzw. 5 – 75 % (Anpassungsstrategie*) aus. Bei der Anpassungsstrategie kommt es somit bei jeder Frucht zu einer vollständigen Konzentration des Anbaus.

Tabelle 11:
Ergebnisse für die Referenzstrategie und die Anpassungsstrategien (alle Preise als Absicherungspreise, n = 576).

Fruchtart	Referenzstrategie Standardfruchtfolge			Anpassungsstrategie			Anpassungsstrategie* (Greening-Restriktion)		
	Raps	Weizen	Gerste	Raps	Weizen	Gerste	Raps	Weizen	Gerste
Anteil^a	33	34	33	32	53	15	32	47	21
Standard- abweichung^a	0	0	0	36	38	27	24	23	19
Minimum^a	33	34	33	0	0	0	5	5	5
Maximum^a	33	34	33	100	100	100	75	75	75
Durchschnittlicher DB^b		632,59			655,79			649,05	
Standard- abweichung^a		293,94			318,96			308,64	
Variations- koeffizient^a		46,5			48,6			47,6	
Minimaler DB^b		50,28			12,38			24,23	
Maximaler DB^b		1249,03			1544,70			1428,33	

a in %, b in Euro pro ha. Quelle: Eigene Berechnung. Daten: LK SH (2019, 2020), KTBL (2019a, 2019b).

Die Anpassungen der Anbauanteile und der Fruchtfolge zeigen ähnliche Auswirkungen auf den Deckungsbeitrag wie in Preisszenario 1. Die Referenzstrategie führt mit 632,59 Euro/ha zum geringsten durchschnittlichen Deckungsbeitrag. Die Anpassungsstrategie erzielt einen Deckungsbeitrag von 655,79 Euro/ha und liegt damit ca. 23,20 Euro/ha bzw. 3,7 % über der Referenzstrategie. Die Anpassungsstrategie* erreicht im Durchschnitt einen Deckungsbeitrag von 649,05 Euro/ha und liegt damit 6,74 Euro/ha unter der Anpassungsstrategie. Wie in Tabelle 12 dargestellt, sind diese Unterschiede der Mittelwerte statistisch signifikant.

Die Referenzstrategie zeigt mit Deckungsbeiträgen zwischen 56,01 Euro/ha und 1253,66 Euro/ha und der niedrigsten Standardabweichung von 293,68 Euro/ha die geringsten Schwankungen. Die Anpassungsstrategie zeigt mit einem maximalen Deckungsbeitrag von 1544,70 Euro/ha und einem minimalen Wert von 12,38 Euro/ha die stärkste Variation, was sich auch in der höchsten Standardabweichung von 318,96 Euro/ha widerspiegelt. Die Anpassungsstrategie* liegt zwischen den beiden Strategien. Dies ist vom Muster her identisch mit den Ergebnissen des ersten Preisszenarios.

Tabelle 12:
Zwei-Stichproben t-Test für gepaarte Stichproben (n = 576).

	Anpassungsstrategie vs. Referenzstrategie Standardfruchtfolge		Anpassungsstrategie* (Greening-Restriktion) vs. Referenzstrategie Standardfruchtfolge		Anpassungsstrategie vs. Anpassungsstrategie* (Greening-Restriktion)	
t-Wert	8,2826	***	8,8288	***	5,9685	***
df	575		575		575	
p-Wert	8,493e-16		2,2e-16		4,19e-09	
Mittelwert der Differenzen^a	23,21		16,47		6,74	

H0: Differenz = 0, *** p < 0,001. a in Euro pro ha. Quelle: Eigene Berechnungen.

Die durchschnittlichen Anteile der Vorfrüchte sind in Tabelle 13 abgebildet. Sowohl Raps als auch Gerste werden bei der Anpassungsstrategie zu mehr als 60 % nach Weizen angebaut. Raps wird am zweithäufigsten nach Gerste angepflanzt und ein Anbau in Selbstfolge kann mit einem Anteil von 4 % am seltensten beobachtet werden. Gerste wird außer nach Weizen zu fast gleichen Anteilen um 20 % nach Raps und Gerste angebaut. Weizen wird am meisten nach Raps (52 %) angebaut, gefolgt von einem Anbau in Selbstfolge (41 %)

Bei der Anpassungsstrategie* verändern sich die Fruchtfolgen im Vergleich ein bisschen. Raps wird zu nahezu gleichen Teilen nach Gerste und Weizen angebaut (48 bzw. 51 %). Bei Gerste nimmt der Anbau nach Raps im Vergleich um 8 % ab, nach Weizen um 7 % zu. Bei Weizen kommt vor allem Raps als Vorfrucht vor (63 %), während Gerste mit 3 % nahezu keine Rolle als Vorfrucht für Weizen spielt.

Tabelle 13:
Anteile der Vorfrüchte (in %) für jede Frucht (n = 576).

Referenzstrategie Standardfruchtfolge			
Vorfrucht	Raps	Frucht Weizen	Gerste
Raps	0	97	0
Weizen	0	3	100
Gerste	100	0	0
Anpassungsstrategie			
Vorfrucht	Raps	Frucht Weizen	Gerste
Raps	4	52	20
Weizen	68	41	61
Gerste	28	7	19
Anpassungsstrategie* (Greening-Restriktion)			
Vorfrucht	Raps	Frucht Weizen	Gerste
Raps	1	63	12
Weizen	51	34	68
Gerste	48	3	20

Quelle: Eigene Berechnungen.

5 Diskussion und Fazit

In diesem Beitrag wird die Anpassung der Anbauplanung bei Preisabsicherung für einen Beispielbetrieb in Schleswig-Holstein simuliert. Dabei werden die Anbauanteile der einzelnen Früchte unter Berücksichtigung von Ertragseffekten durch Vorfrüchte und variablen Kosten bei Ernte und Aussaat berücksichtigt. Für den schleswig-holsteinischen Beispielbetrieb kann gezeigt werden, dass die Anpassungen des Anbauplans durch variable Anbauanteile zu höheren durchschnittlichen Deckungsbeiträgen als in der Referenzstrategie der Standardfruchtfolge aus Weizen, Gerste und Raps führen. Der Unterschied liegt im Mittel mit gut 23 Euro pro ha um 3,7 % höher als bei der Referenzstrategie Standardfruchtfolge. Der Unterschied ist ökonomisch relevant und statistisch signifikant. Ein Unterschied von 23 Euro pro ha ergibt bezogen auf die gesamte Ackerfläche des Beispielbetriebes von 500 ha einen Unterschied von 11.500 Euro im Gesamtdeckungsbeitrag pro Jahr. Die Anpassungsstrategie mit möglichen Anbauanteilen zwischen 0 – 100 % scheint etwas erfolgreicher zu sein als die Anpassungsstrategie* unter Berücksichtigung der Greening-Vorgaben, da der Deckungsbeitrag in beiden Preisszenarien den unter Greening-Restriktionen um etwa 6 Euro/ha übersteigt. Allerdings kann unter Berücksichtigung der Greening-Restriktionen, wenn neben den hier berücksichtigten Vorgaben zur Anbaudiversifizierung auch die anderen Greening-Vorgaben zum Erhalt von Dauergrünland und ökologischen Vorrangflächen erfüllt werden, eine Prämie von 85 Euro/ha beantragt werden (LWK NIEDERSACHSEN, 2021). Die Beantragung der Prämie ist nur für die Anpassungsstrategie* möglich, da bei der Anpassungsstrategie nicht immer die Vorgaben zur

Anbaudiversifizierung (z.B. der Anbau von mindestens drei Früchten in jeder Periode) erfüllt werden. Unter Einbeziehung dieser Prämie wäre somit die Anpassungsstrategie* unter Berücksichtigung der Greening-Restriktionen der Anpassungsstrategie überlegen.

Die Unterschiede in den Deckungsbeiträgen lassen sich auf eine Zunahme des durchschnittlichen Anteils von Weizen bei gleichzeitiger Abnahme der durchschnittlichen Anteile von Gerste und Raps zurückführen. Weizen ist bei beiden Preisszenarien und Anpassungsstrategien in Bezug auf Kosten und Leistung vorteilhafter gegenüber Raps und Gerste. Selbst die zusätzlichen Kosten bei der Ernte von bis zu 188,38 Euro pro ha sprechen nicht gegen den stärkeren Anbau von Weizen. Die Vorteilhaftigkeit des Weizens im Vergleich zur Gerste resultiert aus dem höheren Durchschnittsertrag und dem höheren Preis und scheint die höheren variablen Kosten sowie den schlechteren Vorfruchtwert für Raps auszugleichen. Die Kostenstrukturen bei Ernte und Aussaat der beiden Früchte sind sehr ähnlich. Raps weist im Vergleich zu Gerste höhere Direktkosten und vor allem höhere Kosten bei der Ernte und Aussaat relativ zu den beiden Halmfrüchten Weizen und Gerste auf, wenn durch höhere Anbauanteile die betriebseigenen Maschinenkapazitäten überschritten werden.

Die positiven monetären Veränderungen durch die optimierte Anbauplanung liegen prozentual betrachtet zwischen den Ergebnissen bisheriger Studien, aber eher im Bereich der dynamischen Ansätze. Die dynamischen Ansätze konnten Steigerungen des erwarteten Profits von 1 - 2 % im Vergleich zu kurzfristigeren Optimierungen bzw. heuristischen Strategien (LIVINGSTON et al., 2015; BOYABATLI et al., 2019). Lediglich beim Vergleich mit einem Monokultur-Anbauprogramm und auch den statistischen Modellen kommt es zu deutlich höheren Steigerungen des Zielwertes um bis zwischen 19 % und 50 % (BOYABATLI et al., 2019; EL-NAZER und MCCARL, 1986; KARPENSTEIN-MACHAN et al., 2013; DOGLITOTTI et al., 2002). Beim Vergleich mit den bisherigen Studien ist aber zu berücksichtigen, dass die Bewertungen der Veränderungen auch stark durch die verwendete Referenz beeinflusst werden. So werden bei einigen Studien Status Quo-Situationen oder der Anbau in Monokultur als Referenz genutzt, während andere Studien mit myopischen Optimierungen vergleichen. Beim Vergleich mit myopischen Optimierungen oder auch mit einer für die Erwartungswerte der Preise optimierten Fruchtfolge wie in diesem Beitrag fallen die Veränderungen tendenziell etwas geringer aus, da es sich schon bei Referenz um eine nahezu optimale Situation handelt.

Eine Anpassung des Anbauplans bei Preisabsicherung hat aber nicht nur Vorteile, sondern birgt auch gewisse Risiken. Durch die Anpassung der Anbauanteile werden teilweise Diversifizierungsvorteile durch Abweichen von der Standardfruchtfolge aufgegeben. So können negative Ertragsschwankungen einzelner Kulturen höhere Verluste zur Folge haben (HIRSCHAUER und MUßHOFF, 2012). Mehrjährige Ertragseinbußen durch beispielsweise Witterungsextreme können zu Liquiditätsproblemen führen. Durch die Berücksichtigung der Vorgaben des Greening in Bezug auf die Anbauanteile wird allerdings eine zu starke Spezialisierung verhindert, da der maximale Anbauanteil einer Frucht auf 75 % begrenzt

wird und jede der drei Früchte in jeder Saison angebaut werden muss. Diese Restriktionen führen zu relativ geringen Einbußen beim Deckungsbeitrag von etwa 1 % im Vergleich zur Anpassungsstrategie ohne Restriktionen und zu einem um bis zu 2,6 % höheren Deckungsbeitrag als die Referenzstrategie. Die Absicherung über einen Vorvertrag oder Warenterminmarktkontrakt birgt zusätzlich noch ein Mengenrisiko, das durch Ertragsschwankungen beeinflusst wird. Das Mengenrisiko besteht darin, dass bei negativen Ertragsschwankungen die abgesicherte Menge die tatsächlich geerntete Menge überschreiten kann. Das Risiko kann dadurch minimiert werden, dass ein geringerer Anteil der erwarteten Erntemenge abgesichert wird. Allerdings sinkt damit auch der Anteil der Gesamtfläche, für den eine genaue Planung auf Grundlage der Preisabsicherung durchgeführt werden kann.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse darf aber nicht außer Acht gelassen werden, dass die Simulationen für einen Beispielbetrieb mit spezifischer Kostenstruktur durchgeführt wurden und die Ergebnisse somit nur bedingt übertragbar sind. Für abweichende Kostenstrukturen beispielsweise durch eine andere Mechanisierung oder eine andere Betriebsgröße können die Ergebnisse variieren und möglicherweise auch zu größeren Effekten führen. Auch weniger starke Ertragseffekte der Vorfrüchte, vor allem beim Weizen, könnten zu größeren (positiven) Effekten führen.

Zudem beeinflussen die Annahmen bezüglich Mechanisierung und zur Verfügung stehenden Arbeitskräften die Aussaat- und Ernterestriktionen erheblich. Bei abweichenden Kostenstrukturen und Annahmen kann es zu veränderten Anbaumustern kommen. Weitere begrenzende Annahmen des Modells sind die Berücksichtigung von ausschließlich direkten Vorfruchteffekten und die Vernachlässigung von Ertragsschwankungen. So werden längerfristige indirekte Effekte wie die Summenwirkung der Kulturen einer Fruchtfolge vernachlässigt. Dies führt zur Nichtbeachtung des Aspektes der längerfristigen Ertragsstabilität und zukünftige Ertragseinbußen werden tendenziell unterschätzt, was zu einer Überschätzung des langfristigen Deckungsbeitrags führen kann. Des Weiteren kommt es durch die Nutzung von Durchschnittserträgen zu einer Unterschätzung der Ertragsschwankungen. Denn stochastische Einflussfaktoren wie die Witterung werden so außer Acht gelassen und die Ertragsschwankungen sind geringer als in der Realität beobachtet.

Diese Grenzen bieten allerdings Motivation und Ansatzpunkte für weitere Forschung. So sollte das Modell auch für weitere Regionen und Betriebsstrukturen simuliert werden und mehrperiodische Ertragseffekte und Ertragsschwankungen könnten einbezogen werden. Ebenso ist auch eine Anpassung der speziellen Intensität des Anbaus in Form von Düngung und Pflanzenschutzmitteleinsatz an das abgesicherte Preisgefüge denkbar.

Zusammenfassung

Betriebliche Anpassung der Fruchtfolge bei Absicherung der Preise für Weizen, Gerste und Raps

Zur Risikoabsicherung und zur Vorbeugung von betrieblichen Liquiditätsengpässen werden häufig Absicherungsgeschäfte auf Warenterminmärkten empfohlen. Weniger Beachtung hat bislang die Möglichkeit der optimierten betrieblichen Planung bei Preisabsicherung durch Hedgegeschäfte gefunden. In dem vorliegenden Beitrag wird geprüft, ob Anpassungen der Anbauplanung bei Planungssicherheit durch Preisabsicherung zu höheren Deckungsbeiträgen führen können. Dazu wird die Fruchtfolge für einen schleswig-holsteinischen Beispielbetrieb unter Berücksichtigung von Vorfruchteffekten und der Auslastung von Maschinen und Arbeitskräften optimiert. Als Referenz dient eine Standardfruchtfolge aus Raps, Weizen und Gerste. Bei der Optimierung werden Szenarien mit und ohne Restriktionen der Greening-Vorgaben der EU berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Optimierung der Anbauplanung unter Preisabsicherung zu einer Erhöhung des Deckungsbeitrages um bis zu 3,7 Prozent gegenüber der Referenz führen kann.

Summary

Farm adjustments in crop rotation under price hedging for wheat, barley, and rapeseed

Hedging transactions on commodity futures markets are often recommended for risk protection and to prevent liquidity shortages. Less attention has been given to the options of optimizing farm planning under price certainty through hedging. This article examines whether adjustments in crop planning can lead to higher contribution margins with planning security by price hedging. For this purpose, we optimise the crop rotation for a model farm in Schleswig-Holstein under consideration of previous crop effects and utilization of machines and labour. The standard crop rotation of rapeseed, wheat and barley is used as reference. During the optimisation, both a strategy without further restrictions and a strategy that considers the EU greening requirements are calculated. The results show that optimizing the crop planning under price certainty can lead to an increase in the contribution margin of up to 3.7 percent compared to the reference.

Literatur

1. ANGUS, J. F., J. A. KIRKEGAARD, J. R. HUNT, M. H. RYAN, L. OHLANDER und M. B. PEOPLES, 2015. Break crops and rotations for wheat. In: Crop and Pasture Science. **66**(6), S. 523-552.
2. ARTAVIA, M., A. DEPERMANN, G. FILLER, H. GRETHE, A. HÄGE, D. KIRSCHKE und M. ODENING, 2010. Ertrags- und Preisinstabilität auf Agrarmärkten in Deutschland und der EU – Betriebswirtschaftliche und agrarpolitische Implikationen. In: Rentenbank (Hrsg.): Auswirkungen der Finanzkrise und volatiler Märkte auf die Agrarwirtschaft. Schriftenreihe der Rentenbank Band 26, Frankfurt a.M., S. 53-87.
3. BACHINGER, J. und P. ZANDER, 2006. ROTOR, a tool for generating and evaluating crop rotations for organic farming systems. In: European Journal of Agronomy. **26**(2), S. 130-143.
4. BELLMAN, R., 1954. The Theory of Dynamic Programming. In: Bulletin of the American Mathematical Society. **60**, S. 503-515.
5. BOYABATLI, O., J. NASIRY und Y. ZHOU, 2019. Crop Planning in Sustainable Agriculture. Dynamic Farmland Allocation in the Presence of Crop Rotation Benefits. In: Management Science. **65**(5), S. 1949-2443.
6. CAI, R., J. D. MULLEN, M. E. WETZSTEIN und J. C BERGSTROM, 2013. The impacts of crop yield and price volatility on producers' cropping patterns. A dynamic optimal crop rotation model. In: Agricultural Systems. **116**, S. 52–59.
7. CARPENTIER, A., A. GOHIN und E. LETORT, 2011. Accounting for agronomic rotations in crop production. A theoretical investigation and an empirical modeling framework. In: Annual Meeting of the AAEA 2011. Pittsburgh, Pennsylvania, July 24-26 2011.
8. DIEPENBROCK, W., F. ELLMER und J. LÉON, 2016. Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. 4., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
9. DOGLIOTTI, S., W. ROSSING und M. VAN ITTERSUM, 2003. ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations. In: European Journal of Agronomy. **19**(2), S.239-250.
10. EL-NAZER, T. und B. A. MCCARL, 1986. The Choice of Crop Rotation. A Modeling Approach and Case Study. In: American Journal of Agricultural Economics. **68**(1), S. 127-136.
11. ERCHINGER, J. S., M. MICHELS, M. und O. MÜßHOFF, 2020. Welche Hedgingstrategie führt zu einer Preisrisikoreduzierung im Ackerbau? – Eine Anwendung von Downsiderisikomaßen. In: Austrian Journal of Agricultural Economics and Rural Studies. **29**(1), S. 49-59.
12. EUROPEAN UNION (EU), 2018. Agricultural and farm income. Online verfügbar: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/agricultural-farm-income_en.pdf.
13. HIRSCHAUER, N. und O. MÜßHOFF, 2012. Risikomanagement in der Landwirtschaft. Clenze: Agrimedia Verlag.
14. JANOVÁ, J., 2011. The dynamic programming approach to long term production planning in agriculture. In: Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. **59**(2), S. 129-136.
15. KARPENSTEIN-MACHAN, M., T. ZIMMERMANN und O. MUSSHOFF, 2013. Ökonomische und pflanzenbauliche Optimierung des Anbaus von Nahrungs-, Futter- und Energiepflanzen mit Unterstützung eines Linearen Programmierungsmodells. In: Berichte über Landwirtschaft. **91**(1), S. 1-15.
16. KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (KTBL), 2008. Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/2009. KTBL-Datensammlung. Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. 21., Aufl. Münster: Westfälischer Landwirtschaftsverlag Münster.
17. KTBL, 2019a. KTBL-Feldarbeitsrechner. Online verfügbar: <https://daten.ktbl.de/feldarbeit/home.html>.

18. KTBL, 2019b. Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. Online verfügbar: <https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html>.
19. KURATORIUM FÜR BETRIEBSHILFSDIENSTE UND MASCHINENRINGE IN WESTFALEN-LIPPE E.V. (KURATORIUM BHD/MR WESTFALEN), 2017. Erfahrungssätze für Maschinenring-Arbeiten unter Landwirten. www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/beratung/pdf/erfahrungssaetze-wl.pdf.
20. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (LWK NIEDERSACHSEN), 2021. GAP Prämienrechner bis 2020 aktualisiert: Die Reform in Euro und Cent. Online verfügbar: <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/360/article/19108.html>.
21. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN (LK SH), 2019. Erzeugerpreise aus Schleswig-Holstein für Winterweizen, Winterraps und Futtergerste von 2008-2018.
22. LK SH, 2020. Kalkulationsdaten aus Schleswig-Holstein 2008-2018.
23. LIVINGSTON, M., M. ROBERTS und Y. ZHANG, 2015. Optimal sequential plantings of corn and soybeans under price uncertainty. In: American Journal of Agricultural Economics. **97**(3), S. 855-878.
24. LOY, J.-P., G. GERSTENBERG und S. PREHN, 2017. Risikoabsicherung am Warenterminmarkt: Interessant für Landwirte? Vorträge zur Hochschultagung 2017 der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, S.41-46.
25. LUDER, W., 1984. Mähdrusch: Verfügbare Zeit, erforderliche Kapazität, Kosten. In: FAT-Blätter für Landtechnik. Nr. 248, Tänikon. Online verfügbar: <https://ira.agroscope.ch/de-CH/Page/Einzelpublikation/Download?einzelpublikationId=29330>.
26. LUDER, W., 1996. Wetterrisiko und verfügbare Feldarbeitstage in der Schweiz. In: FAT-Berichte. Nr. 490, Tänikon. Online verfügbar: <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/18720>.
27. PENNING, J. und M. T. G. MEULENBERG, 1997. Hedging Efficiency: A Futures Exchange Management Approach. In: The Journal of Futures Markets. **17**(5), S. 59–61
28. RIPLEY, B., L. TIERNEY und S. URBANEK, 2011. Support for Parallel Computation.
29. SCHROEDER, T. und M. HAYENGA, 1988. Comparison of selective hedging and options strategies in cattle feedlot risk management. In: The Journal of Futures Markets. **8**(2), S.141-156.
30. SIELING, K. und O. CHRISTEN, 2015. Crop rotation effects on yield of oilseed rape, wheat and barley and residual effects on the subsequent wheat. In: Archives of Agronomy and Soil Science. **61**(11), S. 1531-1549.
31. SPREU, A., 2016. Klima- und betriebliche Gegebenheiten sind entscheidend. Bauernblatt, 16, S. 26-29.
32. STATISTIKAMT NORD, 2019a. Bodennutzung und Ernte in Schleswig-Holstein. Online verfügbar: <https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/landwirtschaft/ernte-feldfruechte-und-gruenland/dokumentenansicht/product/6371/ernteberichterstattung-ueber-feldfruechte-und-gruenland-in-schleswig-holstein-76>.
33. STATISTIKAMT NORD, 2019b. Naturraum- und Gemeindeergebnisse in Schleswig-Holstein 2016. Online verfügbar: <https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/landwirtschaft/dokumentenansicht/naturraum-und-gemeindeergebnisse-in-schleswig-holstein-2016-61479>.
34. STATISTISCHES AMT MECKLENBURG VORPOMMERN (2017): Struktur der Bodennutzung in Mecklenburg-Vorpommern 2016 (Ergebnisse der Agrarstrukturhebung). Statistische Berichte C IV – 3j, Schwerin.
35. STÖCKLE C., M. DONATELLI und R. NELSON, 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. In: European Journal of Agronomy. **18**(3-4), S. 289-307.
36. THEUVSEN, L., M. HEYDER und M. FRENTROP, 2010. Risikomanagement in der Landwirtschaft. Online verfügbar: www.rentenbank.de/dokumente/Risikomanagementleitfaden.pdf.

Endnoten

- 1) Das hier vorgestellte Optimierungsmodell kann auch für kleinere Betriebe angewendet werden. Die Fruchtfolgeeffekte sind dabei identisch, lediglich die Maschinen- und Arbeitskraftkapazitäten und deren Veränderungen bei veränderter Fruchtfolge sind anzupassen.
- 2) Alternativ zu realen Preisdaten wäre die Verwendung von simulierten Preisen basierend auf einem geschätzten Preisprozess möglich. Für die Simulation von Preisen wären aber weitere Annahmen über beispielsweise die Form des Preisprozesses notwendig, und die Preisdaten müssten gewisse Anforderungen wie z.B. Stationarität erfüllen. Zudem sind die Preise der drei Früchte korreliert, was eine weitere Herausforderung bei der Simulation darstellen würde. Außerdem haben reale Daten den Vorteil, dass sie die Realität am besten abbilden.
- 3) Das wäre z. B. der Fall, wenn Lagerhaltung möglich ist.

Anschrift der Autoren

MSc. Franziska Potts

Marktlehre, Institut für Agrarökonomie,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,
Olshausenstr. 40, 24098 Kiel,
E-Mail: franziska.potts@ae.uni-kiel.de

Prof. Dr. Jens-Peter Loy

Marktlehre, Institut für Agrarökonomie,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,
Olshausenstr. 40, 24098 Kiel,
E-Mail: jploy@ae.uni-kiel.de

MSc. Lennart Stein

E-Mail: lennart.stein1@web.de

Dr. Gunnar Breustedt

Landwirtschaftliche Betriebslehre und Produktionsökonomie, Institut für Agrarökonomie,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,
Olshausenstr. 40, 24098 Kiel,
E-Mail: gbreustedt@agric-econ.uni-kiel.de

Danksagung

Die Autoren danken der H. Wilhelm Schaumann Stiftung und der Stiftung Schleswig-Holsteinische Landschaft für die Unterstützung der Studie.