



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 91 | Ausgabe 1

MAI 2013

AGRARWISSENSCHAFT

FORSCHUNG

—
PRAXIS



Ökonomische und pflanzenbauliche Optimierung des Anbaus von Nahrungs-, Futter- und Energiepflanzen mit Unterstützung eines Linearen Programmierungsmodells

Von MARIANNE KARPENSTEIN-MACHAN, TORSTEN ZIMMERMANN, OLIVER MUSSHOF, Göttingen

1 Einleitung

Seit dem Jahr 2004 wird der Anbau von Biomasse für die energetische Verwertung durch die EEG-Novellierung maßgeblich gefördert. Seitdem stieg der Flächenbedarf für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für die energetische Nutzung in Deutschland kontinuierlich und liegt aktuell bei 2,1 Millionen Hektar oder 17,5 Prozent der bundesdeutschen Ackerfläche. Der Flächenanteil für die Biogasnutzung schlägt mit 962.000 Hektar (rund acht Prozent der Ackerfläche) zu Buche (11). In Niedersachsen hat der Anbau von Biogassubstraten auf Ackerflächen im Vergleich zum Bundesdurchschnitt mit neun Prozent der Ackerfläche einen noch höheren Stellenwert. Insbesondere der Anbau von Gärsubstraten für Biogasanlagen und hier besonders der Maisanbau werden im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit zunehmend kritisch gesehen. Die Risiken eines einseitigen Energiepflanzenanbaus mit dem Schwerpunkt auf Mais liegen in einer Verengung der Fruchtfolgen bis zur Monokultur, einem Verlust der Vielfalt in der Landschaft, dem Verlust an Biodiversität, der erhöhter Bodenerosion- und Nitratauswaschungsgefahr und dem Humusabbau (28; 29).

Die Nachhaltigkeitsverordnung der Bundesrepublik schreibt Anforderungen für eine nachhaltige Biomasseherstellung vor (6). In der Verordnung werden Fragen der Flächennutzung und der Bewirtschaftung der Nichtausschlussflächen geregelt. In Bezug auf die Bewirtschaftung der Flächen müssen im europäischen Raum die Cross-Compliance Verordnungen eingehalten werden. Diese schreiben zwar eine gute fachliche Praxis mit diversen Anforderungen an Artenvielfalt und Humusmanagement vor, greifen aber zum Beispiel nicht, wenn auf Teilflächen des Betriebes Mais in Monokultur angebaut wird (18). Nach Bewertung des Bundesamtes für Naturschutz finden naturverträgliche Formen der Biomasseerzeugung, die sich positiv auf die Entwicklung der Arten- und Lebensraumvielfalt in der Kulturlandschaft auswirken, immer noch zu wenig Beachtung (16).

In den vergangenen Jahren sind viele wissenschaftliche Untersuchungen zu den Umweltwirkungen des Energiepflanzenanbaus durchgeführt worden, die ein differenziertes und komplexes Bild von positiven und negativen Umweltwirkungen aufzeigen (12; 14; 18; 30). Es werden auch neue Kultur- und Wildpflanzenarten als Biogassubstrat und neue Anbaukonzepte erforscht, um ökonomische und ökologische Zielstellungen zu harmonisieren und Synergien zwischen Naturschutzzielen und Bioenergienutzung zu erzielen (33). Vor diesem Hintergrund befasst sich das Projekt: Nachhaltige Nutzung von Energie aus Biomasse im Spannungsfeld von Klimaschutz, Landschaft und Gesellschaft (► <http://www.bioenergie-goettingen.de>) im Rahmen des "Integrativen Energiepflanzenanbau" mit der Fragestellung, wie die vorhandenen, überwiegend theoretischen Erkenntnisse eines nachhaltigen Anbaus in die Praxis implementiert werden können und welche Kosten mit umweltfreundlicheren Anbaukonzepten im Vergleich zu herkömmlichen Konzepten verbunden sind.

Trotz langfristiger Synergieeffekte zwischen ökonomischen und ökologischen Zielvorgaben kommen bei artenreichen oder extensiven Anbaukonzepten, die oft mit Mehraufwand und Mehrkosten für den Landwirt verbunden sind, die positiven Ertragseffekte nicht immer kurzfristig zum Tragen. Ein Landwirt erbringt bei der Umstellung seines Produktionsprogramms im Sinne eines integrativen Ansatzes auch externe Leistungen für die Gesellschaft, zum Beispiel in Form einer Aufwertung des Landschaftsbildes oder einen Beitrag zum Erhalt/zur

Steigerung der Artenvielfalt, die einen gesellschaftlichen Mehrwert darstellen. Damit stellt sich grundsätzlich die Frage nach einem finanziellen Ausgleich für den Landwirt.

Ziel dieses Beitrages ist eine ökonomische Bewertung eines Betriebes, der sowohl Nahrungs- und Futtermittel als auch Energiepflanzen produziert. Es wird der Status quo des Betriebes einer rein ökonomischen Optimierung, die lediglich die Restriktionen auf der Basis von Cross-Compliance berücksichtigt, einer pflanzenbaulichen Optimierung, die weitergehende Fruchtfolgerestriktionen vorgibt, gegenübergestellt. Das dazu entwickelte erweiterte Lineare Programmierungs- oder Optimierungsmodell (eLP) wird beispielhaft auf einen Praxisbetrieb angewendet.

In Kapitel 2 wird der theoretische Hintergrund des integrativen Energiepflanzenbaus, auf dem die Optimierungskonzepte basieren, erläutert. Im dritten Kapitel wird das eLP-Modell beschrieben. Es wird weiterhin auf spezielle Design- und Methodendetails der hier vorliegenden Untersuchung eingegangen. In Kapitel 4 wird der untersuchte Praxisbetrieb, dessen wirtschaftliche und strukturelle Ausgangssituation als Benchmark sowie die einzelnen Optimierungsvarianten mit den jeweiligen Restriktionen beschrieben. Die Ergebnisse der ökonomischen und der pflanzenbaulichen Optimierung werden in Kapitel 5 dargestellt und mit der betrieblichen Ausgangssituation verglichen. Der Beitrag schließt mit Schlussfolgerungen sowie einem Ausblick (Kapitel 6).

2 Theoretischer Hintergrund des "Integrativen Energiepflanzenbaus"

2.1 Grundidee des "Integrativen Energiepflanzenbaus"

Landschaft muss vielfältige Nutzungsansprüche der Landwirtschaft, aber auch der Forstwirtschaft, des Natur- und Umweltschutzes, der Naherholung und des Tourismus sowie des Wohnungs- und Straßenbaus erfüllen. Aufgrund der nicht vermehrbaren Flächenpotenziale und der unterschiedlichen Nutzungsoptionen ergibt sich ein Spannungsfeld.

Als eine Lösungsmöglichkeit wird der integrative Energiepflanzenbau gesehen (17). Dieser kann auf betrieblicher und regionaler Ebene bestehende traditionelle Fruchtfolgen, Wirtschaftsformen (ökologisch, extensiv und konventionell) und Landschaften so erweitern, dass die unterschiedlichen Nutzungsoptionen (Nahrungsmittel, Futtermittel, Energieträger zur Vergärung, Brennstoffe und Kraftstoffe) und Naturschutz- und Tourismusziele sich ergänzen und dadurch positive Umweltwirkungen für eine Landschaft entstehen (26). Der integrative Energiepflanzenbau soll die Nutzung der Landschaft mit dem Schutz der Landschaft enger verzahnen, so dass beide Zielstellungen nicht konträr verlaufen, sondern durch innovative Anbaukonzepte beide Ziele auf der gleichen Fläche verwirklicht werden können. Integrativer Energiepflanzenbau kann zum Beispiel auf Gunststandorten hohe Biomasseerträge konventionell und umweltfreundlich mit Misch- und Zweikulturnutzung erzeugen, in Form von biozidfreien Blühstreifen (Sonnenblumen oder Wildpflanzenmischungen) am Ackerrand in artenarmen Landschaften zur Biodiversität beitragen und das Landschaftsbild verbessern. Ebenso kann der Anbau von Blühstreifen an den Rändern von Maisflächen der Artenvielfalt Vorschub leisten.

Die Fruchtfolgegestaltung beim integrativen Energiepflanzenanbau basiert auf Prinzipien, wie sie bereits von BRINKMANN (1950), KLAPP (1967), KÖNNECKE (1967), KOLBE (1997) und vielen anderen Pflanzenbauwissenschaftlern etabliert wurden (4; 19; 20; 22). Durch eine optimale Fruchtfolgegestaltung soll die Selbstregulierungskraft des landwirtschaftlichen Systems gestärkt werden, so dass sich ein hohes Maß an Pflanzengesundheit, Nährstoffeffizienz, Ertrag und Produktqualität der Fruchtarten einstellen kann (21).

Die Fruchtfolgen bilden ein wichtiges Ordnungsprinzip der Pflanzenproduktion. Das Wissen und die Anwendung der klassischen Ackerbaulehre um die optimale Fruchtfolgegestaltung trägt dazu bei, die Ressourcen Boden, Nährstoffe, Energie und Kapital effizient zu nutzen und durch Synergieeffekte hohe Erträge bei guter Umweltverträglichkeit zu ermöglichen.

Optimierte Fruchtfolgegestaltung war in früheren Zeiten bei fehlender Verfügbarkeit von synthetischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln eine notwendige Maßnahme, um die Erträge zu stabilisieren. Im ökologischen Landbau hat die Einhaltung von Prinzipien der Fruchtfolgegestaltung zur Vermeidung von Fruchtfolgeschäden einen hohen Stellenwert. Durch die Einhaltung von Anbaurestriktionen soll vermieden werden, dass der Boden mit Schadorganismen und eine bestimmte an eine Kultur angepasste Ackerwildpflanzenflora angereichert wird, Nährstoffe ineffizient genutzt werden sowie sich negative Veränderungen im Humusgehalt und in der Bodenstruktur ergeben. Neben der Befolgung von Anbaurestriktionen kommt der Wahl günstiger Vorfrucht-

Nachfrucht-Kombinationen ein bedeutender Stellenwert bei der Ertragsoptimierung zu.

Fruchtfolgeversuche von CHRISTEN (8) belegen, dass sich auch unter heutigen Produktionsbedingungen mit hohem Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz die Wahl günstiger Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen positiv auf den Ertrag und die Ertragsstabilität auswirken.

Die Ertragseffekte sind zwar im Vergleich zu älteren Untersuchungen (10) mit geringerem Produktionsmitteleinsatz auf diesen sehr ertragreichen Standorten geringer, aber auch ein hoher Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Düngergaben können die Ertragsminderungen einer ungünstigen Abfolge von Kulturarten nicht kompensieren. LÜTKE ENTRUP und SCHNEIDER (24) nehmen eine ökonomische Bewertung der Ergebnisse aus mehr oder weniger winterweizenbetonten Fruchtfolgen vor und folgern, dass insbesondere auf Böden mit geringer und mittlerer Ertragsfähigkeit die optimale Fruchtfolgegestaltung ein hocheffizientes pflanzenbauliches Werkzeug ist und die komplexen Wirkungen ein wichtiger Lösungsansatz aktueller pflanzenbaulicher Problemstellungen darstellen. Sie stellen auf der Grundlage langjähriger Versuche mit konservierender Bodenbearbeitung auf ertragreichen Böden die Bedeutung der Fruchtfolge bei dieser Form der Bodenbearbeitung heraus.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels mit zunehmenden Winter- und abnehmenden Sommerniederschlägen sowie steigenden Temperaturen (23) spielt die Erhaltung eines standortangepassten Humusgehaltes und eine unverdichtete Bodenstruktur für die Wasserspeicherefähigkeit des Bodens eine herausragende Bedeutung. Diese Anforderungen können am besten durch eine artenreiche standortangepasste Fruchtfolge erfüllt werden (34).

2.2 Modell zur Klassifizierung des Vorfruchtwertes in Fruchtfolgen

Grundsätzlich stellt sich die Frage, wie man Fruchtfolgeeffekte für eine Vielzahl von Kulturarten und Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen ausgedrückt als Veränderung des physischen Ertrags quantifizieren kann, um sie ökonomisch zu bewerten. Dies kann nur auf der Grundlage von zahlreichen, langjährigen Anbauversuchen erfolgen, die die Effekte auf den Ertrag für die unterschiedlichsten Kombinationsmöglichkeiten aufzeigen.

In den vergangenen Jahrzehnten sind zahlreiche Fruchtfolgeversuche durchgeführt worden, die Aussagen zu der Eignung unterschiedlicher Kombinationen von Kulturarten ermöglichten (1; 2; 3; 5; 7; 8; 13; 19; 22; 27). Aufbauend auf diesen Erkenntnissen, wurde schon früh an der Universität Halle-Wittenberg die Eignung von Fruchtfolgepaaren nach Prioritäten klassifiziert (sehr günstig/günstig/ungünstig/sehr ungünstig) und in einem Schema zusammengefasst (20). Kolbe (21) hat diese frühen Arbeiten aus den 50-er und 60-er Jahren als Grundlage für seine erweiterte Bewertungsmatrix verwendet. Die vorliegende Arbeit baut auf der Klassifikationsmatrix von Kolbe mit vier Klassifikationsstufen auf.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Matrix von Kolbe um Kulturarten erweitert, die für die energetische Nutzung interessant sind (Wintergetreidearten und Sonnenblumen zur Ganzpflanzennutzung). Da noch keine Fruchtfolgeversuche mit Wintergetreide und Sonnenblumen zur Ganzpflanzennutzung vorliegen, wird zunächst davon ausgegangen, dass die Vorfruchtwirkungen auf die Nachfrucht bei Körner- und Ganzpflanzennutzung gleich sind und in der Matrix die gleiche Bewertung für Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen bei Getreide mit Ganzpflanzennutzung vergeben. Durch die Ganzpflanzennutzung ergeben sich im Vergleich zur Körnernutzung jedoch neue Erntetermine und längere Brachezeiten zwischen zwei Hauptkulturen, die durch Untersaaten, Zwischenfrüchte und Zweitfrüchte genutzt werden können.

Den Klassifikationsstufen von KOLBE (21) sind quantitative Bewertungen mit prozentualen Spannen von Ertragszuschlägen bei günstigen Kombinationen und prozentualen Ertragsabschlägen bei ungünstigen Kombinationen zugeordnet, die auf Ergebnisse von ANDREA (1), RÜBSAM und RAUE (27) sowie KÖNNECKE (22) zurückgehen. Um der Erkenntnis Rechnung zu tragen, dass die Fruchtfolgeeffekte unter konventionellem Anbau mit relativ hohem Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz geringer sind als bei vergleichsweise geringem Betriebsmitteleinsatz, werden die unteren Werte der Ertragsspannen der aus der Literatur entnommenen Angaben der zitierten Versuchsanstalten angesetzt. Das qualitative Bewertungsschema von KOLBE (21) wird um potenzielle Energiepflanzen für die Vergärung erweitert und in ein quantitatives Schema mit prozentualen Ertragszuschlägen und -abschlägen überführt, um pflanzenbauliche Vorzüge der Fruchtfolgekombinationen ökonomisch im Rahmen der LP bewerten zu können.

Die Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen werden wie folgt bewertet:

1. sehr günstige Kombination → 15 Prozent Ertragszuschlag
2. günstige Kombination → 5 Prozent Ertragszuschlag
3. ungünstige Kombination → 5 Prozent Ertragsabschlag
4. sehr ungünstige Kombination → 15 Prozent Ertragsabschlag

In die Bewertung fließen folgende Kriterien ein:

Als sehr günstige Kombination wird ein Fruchtwechsel von Halmfrucht zu Blattfrucht und umgekehrt bewertet. Als günstige Kombination wird generell ein Kulturartenwechsel und/oder ein Wechsel zwischen Winterung und Sommerung bewertet.

Ungünstige Kombinationen sind hingegen solche, die lange Brachezeiten ohne Vegetationsdecke verursachen oder die Ansprüche an die Erntezeit der Vorfrucht und die Saatzeit der Nachfrucht nicht erfüllen können. Sehr ungünstige Kombinationen sind solche, die der gleichen Pflanzenart oder Pflanzengattung angehören und Anfälligkeiten für gleiche Krankheiten besitzen, so dass sie das phytopathogene Potenzial im Boden erhöhen können. Als ebenfalls sehr ungünstig werden Kombinationen mit sehr starker Ernte-/ Saatzeitverlagerung bewertet. Untersaaten zur Vorfrucht können die Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen aufwerten (fünf Prozent Ertragsaufschlag), wenn damit potenzielle Brachezeiten zwischen zwei Kulturen sinnvoll geschlossen werden können. In Tabelle 1 ist die verwendete Matrix zur Bewertung der Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen dargestellt.

Tabelle 1: Matrix zur Bewertung der Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen mit Hilfe von prozentualen Aufschlägen oder Abschlägen auf den Durchschnittsertrag

Bewertungsschema Vorfrucht-/ Nachfruchtkombinationen	WW	WRo	WG	WTr	SHa	WRa	ZR	WRo-GPS	WTr-GPS	Ackergras	SM	SM + Untersaat
Winterweizen (WW)	85%	105%	105%	105%	95%	95%	115%	105%	105%	105%	105%	105%
Winterroggen (WRo)	105%	85%	105%	105%	95%	115%	115%	85%	105%	105%	105%	105%
Wintergerste (WG)	85%	85%	85%	85%	95%	115%	95%	85%	85%	105%	95%	95%
Wintertriticale (WTr)	105%	105%	105%	85%	95%	115%	115%	105%	85%	105%	95%	95%
Sommerhafer (SHa)	115%	115%	115%	115%	85%	115%	95%	115%	115%	115%	95%	95%
Winterraps (WRa)	115%	115%	115%	115%	95%	85%	95%	115%	115%	115%	95%	95%
Zuckerrüben (ZR)	115%	95%	95%	95%	115%	95%	85%	95%	95%	115%	115%	115%
Ganzpflanze Winterroggen (GPS-WRo)	105%	85%	105%	105%	95%	115%	95%	85%	105%	105%	95%	95%
Ganzpflanze Wintertriticale (GPS-WTr)	105%	105%	105%	85%	95%	115%	95%	105%	85%	105%	95%	95%
Ackergras	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%	115%
Silomais (SM)	115%	105%	95%	105%	115%	85%	115%	105%	105%	115%	85%	85%
Silomais + Untersaat (SM + Untersaat)	120%	105%	95%	105%	125%	85%	125%	105%	105%	125%	95%	95%
Sonnenblumen	115%	115%	95%	115%	115%	95%	115%	115%	115%	115%	115%	115%

Quelle: eigene Darstellung; nach 21

► größere Darstellung

3 Das Lineare Programmierungsmodell

3.1 Grundgedanke der Linearen Programmierung (LP)

Betriebliche Produktionsfaktoren können auf vielfältige Weise zur Erzeugung betrieblicher Leistungen (Produkte) verwendet werden. Um die optimale Verwertung im Betrieb vorhandener Produktionsfaktoren zu bestimmen, kann auf Instrumente des Operations Research, wie beispielsweise die LP, zurückgegriffen werden. Mit Hilfe der LP kann eine Zielfunktion unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen maximiert oder minimiert werden. So kann beispielsweise der Gesamtdeckungsbeitrag eines landwirtschaftlichen Betriebes maximiert werden, wobei ackerbauliche und betriebliche Vorgaben (nachfolgend "Restriktionen" genannt) und fixe Produktionsfaktoren (zum Beispiel Fläche, Arbeit) Berücksichtigung finden. Abbildung 1 verdeutlicht die Zusammenhänge eines LP-Modells.

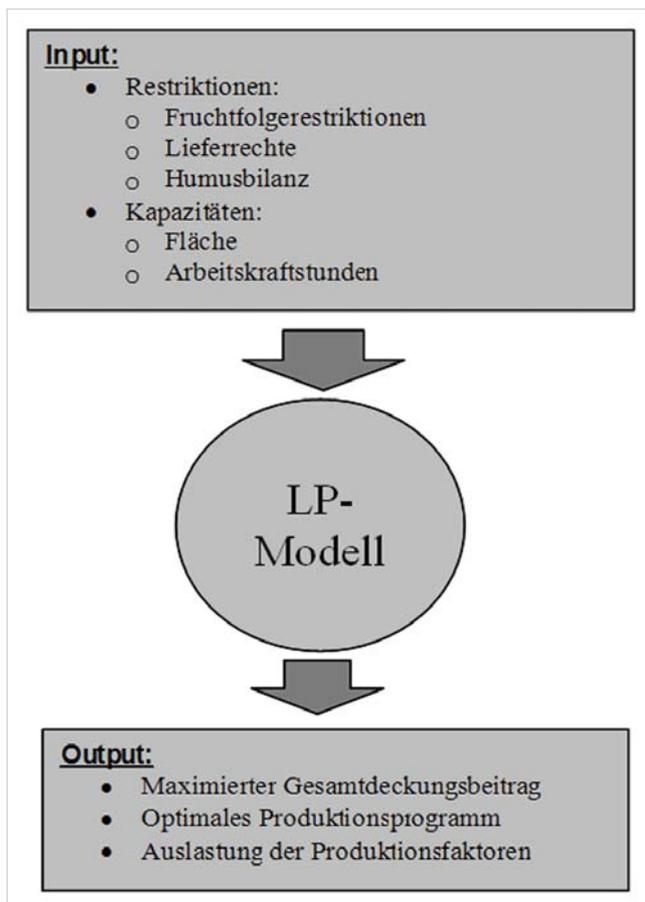


Abbildung 1: Vereinfachtes Schema eines Linearen Programmierungsmodells

Quelle: eigene Darstellung

Die Optimierung des Produktionsprogramms wird beispielsweise unter Zuhilfenahme des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel ermöglicht. Zur Optimierungsrechnung wird das Add-In "Premium Solver" des Anbieters Frontline Systems Inc. verwendet.

3.2 Funktionsweise und Besonderheiten des erweitertes LP-Modells

Mit Hilfe eines LP-Modells können mögliche Kulturarten in ihren Anbauumfängen und Fruchtfolgen so bestimmt werden, dass ein maximaler Gesamtdeckungsbeitrag erzielt wird. Für die Optimierung der Fruchtfolge wird auf eine Vor-Nachfrucht-Kombinationsmatrix zurückgegriffen (Tabelle 1), die den Vorfruchteffekt auf die nachfolgende Frucht bewertet. Die empirisch ermittelten Zu- und Abschläge für positive und negative Fruchtfolgeeffekte aus der Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationsmatrix bilden den Ausgangspunkt für die Ertragsberechnung in dem LP-Modell (erweitertes LP-Modell). Da für jede Vorfrucht-Nachfrucht-Kombination entsprechende Fruchtfolge- oder Ertragseffekte festgelegt werden, hat die Matrix einen erheblichen Umfang, jedoch kann so die Optimierung der Fruchtfolge unter der Berücksichtigung von Vorfruchtwirkungen effektiv erfolgen.

Da Marktpreise für Agrarprodukte sehr volatil sind und folglich das Optimierungsergebnis und den zu maximierenden Gesamtdeckungsbeitrag stark beeinflussen, wird der 5-jährige Durchschnittspreis verwendet, damit kurzfristige Preiseffekte das Optimierungsergebnis nicht dominieren und damit pflanzenbauliche Effekte überlagern. Diese Zeitspanne wird einem mittelfristigen Markttrend sowie mehrjährigen ertrags- und preisbeeinflussenden Klimaschwankungen gerecht.

Die Berechnung von Düngermengen der Nachfrucht basiert auf dem Saldo der Vorfrucht (empfohlene Düngung minus Nährstoffentzug) und dem Nährstoffentzug über die Erntemenge. Ziel ist die anzustrebende Versorgungsstufe C des Bodens. Des Weiteren erfolgt die Optimierung auf der Basis einer ausgeglichenen

Humusbilanz (Kapitel 4.2).

Da landwirtschaftliche Betriebe im Gegensatz zu typischen industriellen Unternehmen eine Vielzahl von Produktionsmöglichkeiten haben und knappe Produktionsfaktoren sowie Kapazitäten sehr vielfältig verwenden können, werden im Optimierungsmodell auch eine Vielzahl von weiteren Komponenten und Wechselbeziehungen berücksichtigt (25). Unter anderem weisen Marktpreise, Flächenumfänge, zur Verfügung stehende Arbeitskraftstunden, Kontingente und Restriktionen sowie Humusbilanzierungen positive und negative Effekte auf den zu maximierenden Gesamtdeckungsbeitrag sowie die zu optimierende Fruchtfolge auf. Die Ausgangswerte, wie variable Kosten (zum Beispiel Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Saatgut, variable Maschinenkosten, Saatgut), werden einer separaten Deckungsbeitragsrechnung entnommen und fließen in das Lineare Programmierungsmodell ein.

Zusätzliche Komponenten, die in der Optimierung berücksichtigt werden, sind:

- Flächenverfügbarkeit (aufgegliedert in die drei Ertragsstufen gut, mittel und schlecht entsprechend der jeweiligen Bodenverhältnisse),
- Arbeitskraftkapazitäten, eingeteilt nach Produktionsverfahren und Arbeitszeitspannen im Kalenderjahr, jedoch nicht nach Ertragsstufen (Verhinderung einer Segmentierung des Gesamtbetriebes),
- Umfänge von verpflichtenden Lieferkontingenten sowie Festlegung möglicher Humusmehrung und -zehrung,
- Anbaurestriktionen in Form von minimalen und maximalen Anbauumfängen einzelner Kulturarten (Kapitel 4.2) und
- Möglichkeit zur Erstellung obligatorischer Vorgaben, wie beispielsweise zu berücksichtigende Sondermaßnahmen und -kulturen (zum Beispiel Blühstreifenmindestanteil im Mais).

3.3 Dateneingabe und Ergebnisausgabe

Dem Nutzer des Optimierungsmodells ist es möglich, Daten mittels einer Eingabemaske einzugeben und Ergebnisse in der Optimierungsmatrix auszulesen, ohne über Detailkenntnisse des eigentlichen Optimierungsprogramms zu verfügen.

Als Orientierungshilfe werden in der Eingabemaske zunächst aus der Literatur entnommene Standardwerte angegeben, die an die betriebsindividuellen Verhältnisse anzupassen sind. Über die Eingabemasken werden betriebsindividuelle Faktoren wie Fruchtarten, Erzeugerpreise, Flächenumfänge (in den Ertragsstufen gut, mittel, schlecht) sowie Vorgaben zur Humusbilanzierung erfasst. Außerdem werden Produktions- und Verkaufsaktivitäten des Betriebes, wie maximale und verpflichtende Lieferkontingente, berücksichtigt.

Das Rechenverfahren gibt einen maximierten Gesamtdeckungsbeitrag sowie eine zugehörige optimierte Fruchtfolge oder optimiertes Produktionsprogramm mit den einzelnen Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen und deren Anbauumfängen wider. Diese können dann in den jeweiligen Ertragsstufen in eine Fruchtfolge überführt werden. Weiterhin können Auslastungen einzelner limitierender Produktionsfaktoren und Restriktionen, wie beispielsweise Lieferkontingente, Flächenausnutzungen und Arbeitskapazitäten abgelesen werden. Über die EXCEL-Funktion "Sensitivitätsbericht" kann weiterhin ein Mindestdeckungsbeitrag abgeleitet werden, den die jeweilige Fruchtfolgekomponente erzielen muss, um in der Gesamtlösung berücksichtigt zu werden (31). Somit lässt sich auf den Mindesterloß für ein Produktionsverfahren schließen. Auch eine Mindestfördersumme für spezielle Naturschutzmaßnahmen ist ableitbar. Die Interpretation der Ergebnisdaten erfolgt multifaktoriell unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Ein- und Ausgangssituationen.

4 Praxisbetrieb, Optimierungsvarianten und Restriktionen

4.1 Charakterisierung des Praxisbetriebes

Als Praxisbetrieb wird ein gemischter Familienbetrieb in Südniedersachsen ausgewählt. Die Böden des

Praxisbetriebes weisen Ackerzahlen von 35 bis 67 auf. Am weitesten verbreitet ist der Buntsandstein-Verwitterungsboden, der aus dem Sandstein des Solling hervorgegangen ist. Diese lehmigen Sande und sandigen Lehme findet man vor allem auf den höher gelegenen Flächen (bis zu 330 Meter über NN) vor. In den Talregionen und auf den Flächen in den unteren Hangbereichen (etwa 220 Meter über NN) findet man eine mächtigere Auflage aus sandigem Lehm vor. In östlicher Richtung sind Böden aus Muschelkalk entstanden. Diese lehmigen Tone sind mit Ackerzahlen von 50 bis 60 ausgewiesen. Die langjährige Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8,25 Grad Celsius, der Jahresdurchschnittsniederschlag beträgt 782 Millimeter.

Auf den Ackerflächen werden Winterweizen (20,6 Hektar), Winterraps (14,6 Hektar) und Zuckerrüben (1,7 Hektar) angebaut. Des Weiteren hat der Betrieb die Möglichkeit, Energiepflanzen für eine externe Biogasanlage anzubauen. Im Referenzjahr wurden 14,1 Hektar Winterroggen-Ganzpflanzen und acht Hektar Mais angebaut (Status quo des Betriebes). Der Substratliefervertrag wurde im Jahr 2007 abgeschlossen und hat eine Laufzeit von insgesamt zwölf Jahren. Der Lieferumfang beträgt rund 147 Tonnen Winterroggenganzpflanzen und 130 Tonnen Silomais. Nach Absprache mit dem Betreiber sind beide Kulturen untereinander substituierbar. Im Praxisbetrieb wurden vor dem Vertragsanbau noch kein Silomais und keine Wintergetreideganzpflanzen produziert.

Der Energiepflanzenbau erweitert somit die angebauten Arten auf der Betriebsebene um die Pflanzenarten Mais und Winterroggenganzpflanzen (im folgenden Winterroggen-GPS genannt). Neben positiven Fruchtfolgeeffekten führen Mais als Sommerung und Winterroggen-GPS mit einer frühen Ernte zu einer Nivellierung der Arbeitsspitzen. Des Weiteren steht durch die Rücknahme des Gärrestes eine größere Menge an organischen Düngemitteln zur Verfügung. Hierdurch besteht die Möglichkeit, Kohlenstoff zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit zurückzuführen und gleichzeitig Mineraldünger einzusparen.

4.2 Beschreibung möglicher Fruchtfolge- und Humusbilanzrestriktionen

Werden Fruchtfolgeprinzipien nicht eingehalten, können sich Krankheiten, Schädlinge und Unkräuter im Bestand stark vermehren und zu Ertrags- und Qualitätsverlusten in den Kulturen führen. Aus dieser Kenntnis heraus werden Restriktionen (Vorgaben) des Anbauumfangs einzelner Kulturarten in Fruchtfolgen formuliert. Diese Restriktionen sowie die Vorgehensweise bei der Berechnung des Gesamtdeckungsbeitrages des Status quo des Betriebes werden nachfolgend kurz dargestellt und erläutert.

Neben dem Status quo des Betriebes werden drei Optimierungsvarianten berechnet: Die ökonomische Optimierung, die pflanzenbauliche Optimierung und die pflanzenbauliche Optimierung mit Blühstreifenrändern auf Maisflächen. Bei allen drei Varianten erfolgt die Optimierung auf der Basis einer mindestens ausgeglichenen Humusbilanz. Im Status quo wird die Humusbilanz nicht explizit berücksichtigt. Für die Ermittlung des Humusreproduktionsbedarfes oder der Humusreproduktionsfähigkeit einzelner Kulturarten und organischer Düngern werden die Standardwerte des VDLUFA Standpunkt-Papier (2004) verwendet.

Status quo des Betriebes

Es wird das bestehende Produktionsprogramm erfasst, das der Praxisbetrieb unter Berücksichtigung seiner Faktorausstattung (zum Beispiel Ackerflächen- und Arbeitskapazität) festgelegt hat.

Ökonomische Optimierung

Bei der ökonomischen Optimierung werden folgende Restriktionen vorgegeben:

1. Eine vollständige Fruchtfolge besteht im Minimum aus drei verschiedenen aufeinander folgenden Fruchtfolgegliedern im Hauptfruchtanbau. Die Fruchtfolge besitzt somit einen mindestens dreijährigen Turnus. Winterannuelle Kulturen zur Ganzpflanzennutzung, die vor der Vollreife geerntet werden, zählen, wie Arten zur Körnernutzung und Silomais, ebenfalls zu den Hauptkulturen, während Untersaaten in Hauptkulturen und Zwischenfrüchte mit kurzer Vegetationszeit keine Hauptkulturen darstellen.
2. Der maximale Getreideanteil in der Fruchtfolge kann bei 100 Prozent liegen. Bei Wintergetreidearten und Winterraps liegt die Anbaugrenze bei 70 Prozent der Kulturanteile.

Pflanzenbauliche Optimierung

Bei der pflanzenbaulichen Optimierung werden folgende Restriktionen vorgegeben:

1. Es gelten die in der ersten Restriktion der ökonomischen Optimierung beschriebenen Vorgaben.
2. Der maximale Winterweizenanteil in der Fruchtfolge darf 50 Prozent nicht überschreiten. Bei hohem Getreideanteil in der Fruchtfolge steigt das Risiko, große Ertragseinbußen durch die beiden wichtigsten Fruchtfolgpathogene im Getreidebau Schwarzbeinigkeit (*Gaeumannomyces graminis*) und Halmbrech (*Pseudocercospora herpotrichoides*) zu erleiden. Da Winterweizen besonders anfällig für Fußkrankheiten ist, sollte sein Anteil in getreidebetonten Fruchtfolgen auf maximal auf 50 Prozent beschränkt werden.
3. Der maximale Anteil von Kreuzblütlern (zum Beispiel Raps, Zuckerrüben) in der Fruchtfolge wird auf insgesamt 50 Prozent begrenzt. Der Winterraps- sowie Zuckerrübenanteil wird jeweils auf 25 Prozent begrenzt. Ein hoher Anteil von Kreuzblütlern (*Brassicaceae*) in der Fruchtfolge führt längerfristig zu einem hohen Krankheitsdruck und Ertragsdepressionen.
4. Der Anteil der Sommerungen muss mindestens 30 Prozent der angebauten Fruchtarten entsprechen. Ein Wechsel zwischen Winterungen und Sommerungen verringert den Unkrautdruck in der Fruchtfolge und kann zum humusmehrenden Zwischenfruchtanbau genutzt werden.

Pflanzenbauliche Optimierung mit Blühstreifen

Bei der pflanzenbaulichen Optimierung mit Blühstreifen werden die Restriktionen 1 bis 4 der pflanzenbaulichen Optimierung eingehalten. Mais kann ausschließlich angebaut werden, wenn dieser 5-prozentige Blühstreifenanteil je Hektar aufweist.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Gesamtdeckungsbeitrag

In Tabelle 2 sind der Status quo des Betriebes und die Ergebnisse der drei Optimierungsvarianten gegenübergestellt.

Der Gesamtdeckungsbeitrag des Betriebes beträgt im Status quo 22.837 Euro. Alle Optimierungsvarianten führen zu einer deutlichen Erhöhung des Gesamtdeckungsbeitrages im Vergleich zum Status quo des Betriebes. Damit wird deutlich, dass der Einsatz eines Programms zur Produktionsplanung Verbesserungspotenzial in der landwirtschaftlichen Unternehmensführung aufweist. Wenige, jedoch für vielfältige Produktionsverfahren verwendbare Produktionsfaktoren sind mittels rechen technischer Optimierung gewinnbringender und effektiver einsetzbar als bei einer intuitiven Betriebsplanung.

Nach der ökonomischen Optimierung und der Vorgabe der beschriebenen Restriktionen beträgt der Deckungsbeitrag 45.545 Euro. Die pflanzenbauliche Optimierung mit stärker wirkenden Anbaurestriktionen führt zu einem Deckungsbeitrag von 44.715 Euro und liegt damit 830 Euro unterhalb der ökonomischen Optimierung. Die pflanzenbauliche Optimierung mit Blühstreifen führt zu einer weiteren Reduzierung des Gesamtdeckungsbeitrages und liegt mit 252 Euro unterhalb der pflanzenbaulichen Optimierung (Tabelle 2). Insbesondere die restriktive Vorgabe eines Blühstreifens im Silomais in der pflanzenbaulichen Optimierung mit Blühstreifen verdeutlicht, dass diese Naturschutzmaßnahmen sowie die Umsetzung der erweiterten guten fachlichen Praxis die Produktionskosten erhöhen und damit den Gesamtdeckungsbeitrag und ökonomischen Gewinn reduzieren.

Tabelle 2: Gesamtdeckungsbeitrag und Produktionsprogramm des Status quo des Praxisbetriebes und verschiedener Optimierungsvarianten

Version	Gesamtdeckungsbeitrag		Produktionsprogramm		
	In Euro	Veränderung in Euro zur vorherigen Variante	Kultur	Umfang (ha)	Umfang (%)
Status quo des Betriebes	22.837	---	Winterweizen	20,6	35,0
			Winterroggen-GPS	14,1	23,9
			Winterraps	14,6	24,7
			Zuckerrüben	1,7	2,9
			Silomais	8,0	13,6
Ökonomische Optimierung	45.545	+22.708	Winterraps	21,3	36,3
			Winterroggen	10,9	18,6
			Winterroggen-GPS	10,4	17,7
			Zuckerrüben	8,0	13,7
			Silomais mit Untersaat (Humus)	6,7	11,4
Pflanzenbauliche Optimierung	44.715	-830	Winterweizen	1,3	2,2
			Winterraps	14,7	25,0
			Winterweizen	12,9	21,9
			Winterroggen-GPS	10,2	17,3
			Zuckerrüben	8,4	14,3
			Silomais mit Untersaat (Humus)	6,9	11,7
			Winterroggen	3,3	5,6
			Sommerhafer	1,2	2,0
Pflanzenbauliche Optimierung mit Blühstreifen	44.463	-252	Silomais	1,2	2,0
			Winterraps	13,0	23,0
			Winterweizen	12,3	21,8
			Winterroggen-GPS	10,4	18,4
			Zuckerrüben	8,4	14,9
			Silomais mit Untersaat (Humus) und Blühstreifen	8,2	14,5
			Winterroggen	3,2	5,7
			Sommerhafer	1,0	1,8

Quelle: eigene Berechnung

5.2 Produktionsprogramm

Im Status quo des Betriebes werden vertraglich verpflichtende Kontingente für Silomais und Winterroggen-GPS für die Bioenergieerzeugung über die Mindestforderung erfüllt. Das Zuckerrübenkontingent wird jedoch nur geringfügig ausgelastet. Beide Maßnahmen wirken sich negativ auf den Gesamtdeckungsbeitrag aus.

In der ökonomischen und pflanzenbaulichen Optimierung sowie pflanzenbaulichen Optimierung mit Blühstreifen werden bei den Kontingenten für Silomais und Winterroggen- GPS nur die verpflichtenden Mindestmengen ausgeschöpft (Tabelle 3). Maximal mögliche Anbau- und Liefermenge werden nicht ausgenutzt, da die Energiepflanzen nicht zu den deckungsbeitragsstarken Kulturen gehören. Die Anbauumfänge der Energiepflanzen sind somit in den Optimierungsvarianten vergleichbar groß. Das Zuckerrübenkontingent, welches keinen verpflichtenden Charakter hat, wird jedoch immer vollständig ausgelastet, da durch die Zuckerrüben hohe Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden können.

Durch das im Status quo des Betriebes vorgegebene Anbauprogramm wird bereits ein variationsreiches Anbauprogramm mit fünf verschiedenen Kulturarten auf Betriebsebene realisiert. Die verpflichtenden Kontingente in Bereich Energiepflanzen (Winterroggen-GPS und Silomais) belegen bereits ein Drittel der Anbaufläche. Deshalb kommen die Restriktionen in den optimierten Varianten nicht direkt zum Tragen.

Winterweizen wird im Falle der ökonomischen Optimierung sehr stark reduziert angebaut (Tabelle 2). Aufgrund der wenig strengen Anbaurestriktionen von maximal 70 Prozent Winterraps sowie 100 Prozent Kulturanteil für Winterraps und Zuckerrüben wird der gegenüber dem Winterweizen deckungsbeitragsstärkere Winterraps in der ökonomischen Optimierung bevorzugt.

In den beiden pflanzenbaulichen Optimierungen wird der Rapsanbau eingeschränkt, da der Anbau auf 25 Prozent Gesamtanbauumfang limitiert ist und Winterweizen wird nach Raps am umfangreichsten angebaut. In diesen Optimierungsvarianten wird auch der Sommerhafer in geringen Umfang (1,2 oder 1 Prozent) ausgewählt, um die Anforderung "30 Prozent Sommerungen an Anbauumfang" zu erfüllen.

Anbauumfänge von Mais und Zuckerrüben werden nicht durch die Fruchtfolgerestriktionen begrenzt, da bei diesen Kulturen die Kontingentbeschränkungen den Anbauumfang bereits vor der Restriktionsgrenze limitieren.

In allen Optimierungsvarianten wird der Anbau von Silomais im Reinanbau nahezu vollständig gegen Silomais mit Untersaat substituiert, um den Humusbilanzausgleich zu erfüllen.

In allen vier Optimierungsszenarien werden die betrieblichen Flächen in vollem Umfang für den Pflanzenbau genutzt. Brachflächen entstehen nicht.

Die zur Verfügung stehenden Arbeitskraftstunden haben in keiner Variante einen einschränkenden Charakter und werden in keiner Arbeitszeitspanne voll ausgeschöpft. Im Durchschnitt beträgt die Auslastung der Arbeitskraftkapazität weniger als 50 Prozent (Tabelle 3).

Tabelle 3: Beschränkungen und Ausschöpfung ausgewählter Produktionsfaktoren in den verschiedenen Berechnungsstufen

Art	Beschränkung (min./ max.)	Ausschöpfung der Produktionsfaktoren			
		Status quo des Betriebes	Ökonomische Optimierung	Pflanzenbauliche Optimierung	Pflanzenbauliche Optimierung mit Blühstreifen
Fläche Acker gesamt (ha)	59 (max.)	59	59	59	59
Zuckerrübenkontingent (dt FM)	7.390 (max.)	1.466	7.390	7.390	7.390
Lieferkontingent Silomais (dt TM)	1.560 (max.)	1.344	1.300	1.300	1.300
-davon verpflichtend (dt TM)	1.300 (min.)	1.344	1.300	1.300	1.300
Lieferkontingent GPS Roggen (dt TM)	1.764 (max.)	1.859	1.470	1.470	1.470
-davon verpflichtend (dt TM)	1.470 (min.)	1.859	1.470	1.470	1.470
Arbeitskraftstunden Januar	411 (max.)	0	0	0	0
Arbeitskraftstunden Februar	411 (max.)	10	12	12	11
Arbeitskraftstunden März	411 (max.)	20	18	19	18
Arbeitskraftstunden April	411 (max.)	29	35	32	34
Arbeitskraftstunden Mai	411 (max.)	8	15	17	17
Arbeitskraftstunden Juni	411 (max.)	10	10	10	11
Arbeitskraftstunden Juli	450 (max.)	10	15	11	11
Arbeitskraftstunden August	450 (max.)	216	232	207	205
Arbeitskraftstunden September	411 (max.)	112	98	108	109
Arbeitskraftstunden Oktober	411 (max.)	62	37	49	48
Arbeitskraftstunden November	411 (max.)	19	88	96	95
Arbeitskraftstunden Dezember	411 (max.)	0	0	0	0

Quelle: eigene Berechnung

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Es muss beachtet werden, dass das vorliegende Modell, trotz seiner Komplexität, eine Abstraktion und Vereinfachung der Realität ist und somit die betrieblichen Bedingungen nicht vollständig abbilden kann. So können beispielsweise auch nichtmonetäre Bewertungskriterien, wie pflanzenbauliche Präferenzen des Betriebsleiters, subjektive Aversion gegen bestimmte Kulturen oder Risikoüberlegungen relevant sein, um eine Aussage über den ökonomischen Erfolg zu treffen. Derartige Kriterien werden nicht in einem Modell abgebildet, könnten aber beispielsweise die geringe Ausnutzung des Zuckerrübenkontingents im betrieblichen Status quo erklären.

Unter rein ökonomischen Gesichtspunkten ist kurzfristig der höchste Deckungsbeitrag zu erzielen. Die pflanzenbaulich optimierte Variante liegt jedoch nur 830 Euro (zwei Prozent) unter der ökonomischen Variante, was auch darauf zurückzuführen ist, dass in allen optimierten Fruchtfolgen, also auch in der ökonomischen Variante, auf die Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen-Matrix zugegriffen wird und ungünstige Kombination durch Ertragsabzüge bestraft und günstige Kombinationen durch Ertragsaufschläge belohnt werden. Auch die

vertraglich zu erfüllenden Kontingente des Betriebes mit drei verschiedenen Kulturarten tragen dazu bei, dass die ökonomische Variante kein einseitiges Anbauspektrum als Ergebnis liefert und damit schon weitgehend der erweiterten guten fachlichen Praxis entspricht. Es ist geplant, das Modell auch in anderen Betrieben anzuwenden, wo die Fruchtfolgen weniger durch verpflichtende Lieferverträge eingeschränkt sind und das gegenwärtige Anbauspektrum durch hohe Flächenanteile mit Silomais geprägt ist.

Pflanzenbaulich optimierte Lösungen kommen dem Betrieb zugute und werden insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels mittelfristig auch "rein" ökonomischen Lösungen überlegen sein, da Selbstregulierungskraft durch diversifizierte Fruchtfolgen gestärkt und extreme Klimasituationen durch eine Vielfalt unterschiedlicher Arten besser überwunden werden können (34). Für darüber hinausgehende Naturschutzmaßnahmen, zum Beispiel durch Blühstreifen sollte ein finanzieller Anreiz geschaffen werden, damit positive Effekte zur Erhöhung der faunistischen und floristischen Artenvielfalt, die dem landwirtschaftlichen Betrieb nur indirekt zugute kommen, nicht zu Lasten des ökonomischen Betriebsergebnisses erfolgen.

Zusammenfassung

Mittels der um ein Bewertungsverfahren zur Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationseignung erweiterten Linearen Programmierung (eLP) können Auswirkungen pflanzenbaulicher und naturschutzfachlicher Vorgaben auf das Anbauprogramm eines Betriebes ökonomisch bewertet werden. Im vorliegenden Beitrag wird das gegenwärtige Anbauprogramm eines Betriebes (Status quo) der Nahrungs-, Futter- und Energiepflanzen anbaut, den Varianten: ökonomische Optimierung, pflanzenbauliche Optimierung, pflanzenbauliche Optimierung mit Blühstreifen gegenübergestellt. Da Fruchtfolgeeffekte und Cross-Compliance-Anforderungen generell in allen Optimierungsvarianten Berücksichtigung finden, werden nur Fruchtfolgen vorgeschlagen, die der guten fachlichen Praxis entsprechen. In den pflanzenbaulich optimierten Varianten werden weitergehende sinnvolle Restriktionen formuliert, die einzelne Pflanzenarten aus phytosanitären Gründen in ihrem Anbauumfang limitieren oder Blühstreifen im Mais generell zur Bereicherung der Artenvielfalt vorsehen. Diese Optimierungsvarianten tragen einer effizienten Nutzung von Betriebsmitteln (Düngung und Pflanzenschutz) und einer Ökologisierung der Landnutzung stärker Rechnung.

In dem dieser Untersuchung zugrunde liegenden Beispielbetrieb weist die betriebliche Ausgangssituation einen um etwa 50 Prozent niedrigeren Gesamtdeckungsbeitrag als in den optimierten Varianten auf. Unter den drei optimierten Varianten ist die ökonomische Optimierung die Variante mit dem höchsten Gesamtdeckungsbeitrag. Die pflanzenbaulich optimierte Variante sowie die pflanzenbaulich optimierte Variante mit Blühstreifen liegen zwei und drei Prozent unter der ökonomischen Variante. Finanzielle Anreize sollten für naturschutzfachliche Maßnahmen gegeben werden, die über die pflanzenbaulichen Optimierungsmaßnahmen hinausgehen.

Summary: Economic and plant cultivation optimization for cultivating food, forage and energy crops using a linear programming model

The impact of plant cultivation and environmental protection prerequisites on a farm's cultivation program can be evaluated economically using linear programming, extended by an evaluation procedure for the suitability of first and second crop combinations. This study compares the present cultivation program of a farm which grows food, forage and energy crops (status quo) with the following variants: economic optimization, plant cultivation optimization, plant cultivation optimization with flower strips. As crop rotation effects and cross-compliance requirements are generally taken into consideration for all optimization variants, we only suggest crop rotations that comply with the good professional practice. In the optimized plant cultivation variants, more extensive, reasonable restrictions are formulated which, due to phytosanitary reasons, limit the extent of cultivation of individual plant species, or which generally stipulate flower strips in maize cultivations in order to enrich biodiversity. These optimization variants take better account of the efficient use of the operating resources (fertilization and plant protection) and of ecologization of land use.

The operational starting situation of the exemplary farm underlying this study has a total gross margin that is approximately 50% lower than the gross margin in the optimized variants. Among the three optimized variants, the economic variant is the one with the highest total gross margin. Both, the gross margins of the optimized plant cultivation variant, and of the optimized plant cultivation variant with flower strips, are 2 and 3 percentage

points lower respectively than the one of the economic variant. It would be recommendable to set financial incentives for environmental protection measures which go beyond the plant cultivation optimization measures.

Résumé: Optimisation économique et horticultrice de la culture de plantes alimentaires, fourragères et énergétiques à l'aide d'un modèle linéaire de programmation.

A l'aide de la programmation linéaire, élargie d'un procédé d'évaluation de l'applicabilité d'une combinaison des précédents/suivants culturaux (eLP), les effets économiques des prescriptions, au niveau de l'horticulture ou de la protection de l'environnement, sur le programme de cultures d'une exploitation peuvent être évalués. L'article présent compare le programme de culture actuel (le status quo) d'une exploitation qui cultive des plantes alimentaires, fourragères et énergétiques aux variantes d'optimisation économique, optimisation horticultrice, optimisation horticultrice avec bandes fleuries. Etant donné que les effets des rotations de cultures et des exigences en matière de conditionnalité sont généralement pris en considération dans toutes les variantes d'optimisation, la présente ne propose que des rotations de cultures qui correspondent à la bonne pratique professionnelle/ agricole. Dans les variantes de cultures optimisées, des restrictions utiles, plus rigoureuses, sont formulées, qui limitent certaines espèces végétales, quant à l'étendu de culture, pour des raisons phytosanitaires ou qui prévoient des bandes fleuries pour des cultures de maïs, généralement pour des raisons de biodiversité. Ces variantes d'optimisation prennent en considération la gestion/ l'utilisation efficace des intrants (fertilisation, protection phytosanitaire) et l'écologisation de l'utilisation des surfaces.

Dans l'exploitation modèle qui faisait l'objet de cette analyse, la situation économique initiale montre une marge totale d'environ 50 pourcent en dessous de celle dans les variantes optimisées. Parmi les trois variantes optimisées, l'optimisation économique est celle qui atteint la marge totale la plus élevée tandis que la variante optimisée au niveau horticultrice et celle optimisée au niveau horticultrice avec bande fleurie, se situent à deux et trois pourcent en dessous de la variante économique. Quant aux mesures dans le cadre de la protection de la nature, on devrait offrir des moyens financiers au-delà des mesures d'optimisation horticultrice.

LITERATUR

1. Andreae, B., 1959: Wirtschaftslehre des Ackerbaus. Eugen Ulmer, Stuttgart.
2. Bachthaler, G., 1997: Fruchtfolge und Produktionstechnik. BLV Verlagsgesellschaft, München.
3. Baeumer, K., 1990: Gestaltung der Fruchtfolge. In: Dierks, R. und Heitefuß, R., 1990 Integrierter Landbau. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München.
4. Brinkmann, T., 1950: Das Fruchtfolgebild des deutschen Ackerbaues. Bonner Universitäts-Buchdruckerei, Bonn.
5. Brouwer, W., 1972: Handbuch des speziellen Pflanzenbaus. Band 1. Paul Parey Verlag, Berlin.
6. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 2010: Merkblatt Nachhaltige Biomasseherstellung. Allgemeine Informationen.
7. Christen, O., 1997: Untersuchungen zur Anbautechnik nach unterschiedlichen Vorfruchtombinationen. Habilitationsschrift an der CAU Kiel.
8. Christen, O., 2001: Ertrag, Ertragsstruktur und Ertragsstabilität von Weizen, Gerste und Raps in unterschiedlichen Fruchtfolgen. Pflanzenbauwissenschaften 5(1), 33-39.
9. Cross-Compliance-Regelung, 2010: Informationsbroschüre für die Empfänger von Direktzahlungen und für bestimmte ELER-Zuwendungsempfänger über die anderweitigen Verpflichtungen – Cross Compliance-, Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz, Ausgabe Thüringen.

10. Fischbeck, G.; Hanus, H.; Franken, H., 1969: Systemwirkungen von Fruchtfolgen. Z. Acker- und Pflanzenbau 129, 310 – 324.
11. FNR, 2012: Daten und Fakten. ► www.bio-energie.de/daten-und-fakten/
12. Glemnitz, M., Platen, R., Brandt, K. Hufnagel, J., Saure, C., 2010: Energiepflanzenanbau und Biodiversität – Deutschlandweites Verbundprojekt EVA erforscht die Alternativen zum Energiemaisanbau, in Forschungsreport 1/2010, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
13. Gliemeroth, G., 1964: Nachhaltige Fruchtfolgewirkungen. Hohenheimer Hochschultage 64, 11 – 25.
14. Gödeke, K., Reinhold, G., Vetter, A., Peyker, W., Graf, T., Warsitzka, C., Schubert, K., 2011: Sachstandsanalyse Energiemais – Auswertungen agrarstatistischer Daten und Studien, Einordnung und Bewertung der Wirkungen des Energiepflanzenbaus auf die Agrarflächennutzung. Auftraggeber: BMU
15. Gross, G.; Krause, A.; Lenssen, C.; Müller, U.; von Buttlar, C.; Karpenstein-Machan, M.; Bauböck, R.; Dressler, D.; Loewen, A.; Lessmann, D.; Mersch, I.; Fricke, E.; Weiss, C.; Reich, M.; Rode, M.; Wixmat, T.; Röhm, H.; Fürstenberg, K.; Matheja, A.; Meinken, M.; Beermann, B., 2011: Klimafolgenmanagement in der Metropolregion Hannover, Braunschweig, Göttingen. GeoBerichte 18, 174 Seiten.
16. Jessel, B., 2010: Bioenergie und Naturschutz – Synergien fördern, Risiken vermeiden. Hrsg. Bundesamt für Naturschutz
17. Karpenstein-Machan, M., 1997: Konzepte für den Energiepflanzenbau; DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt, ISBN -3-7690-0546-5.
18. Karpenstein-Machan, M.; Weber, C., 2010: Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen: Veränderung der Fruchtfolgen und der Bewirtschaftung von Ackerflächen in Niedersachsen. Naturschutz und Landschaftsplanung 42 (10), 313 – 320.
19. Klapp, E., 1967: Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus. 6. Auflage, Paul Parey, Berlin
20. Kolbe, H., 1997: Beitrag des Ökologischen Landbaus zum Umwelt- und Ressourcenschutz. Teil 1 und 2. Infodienst der Sächsischen Agrarverwaltung Nr. 10 und 11.
21. Kolbe, H., 2006: Fruchtfolgegestaltung im Ökologischen Landbau: Bewertung von Vorfruchtwirkungen. Pflanzenbauwissenschaften, 10 (2). S. 82 – 89.
22. Könnecke, G., 1967: Fruchtfolgen. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
23. Krause, A.; Gross, G. in Gross et al., 2011: Lokaler Klimawandel. S. 8 – 22.
24. Lütke Entrup, N.; Schneider, M., 2006: Bewertung von neuen Systemen der Bodenbewirtschaftung in erweiterten Fruchtfolgen mit Körnerraps und Körnerleguminosen. Forschungsbericht des Fachbereiches Agrarwirtschaft der Fachhochschule Südwestfalen, Standort Soest, Nr. 21.
25. Mußhoff, O.; Hirschauer, N., 2011: Modernes Agrarmanagement Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren. Kapitel 5. München: Vahlen-Verlag (2., überarbeitete und erweiterte Auflage).
26. Rode, M.; Kanning, H. (Eds.), 2010: Natur- und raumverträglicher Ausbau energetischer Biomassepfade. Ibidem-Verlag, Stuttgart.
27. Rübsam, E., Raue, K., 1964: Ackerbau: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
28. Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), 2007: Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten. Erich Schmidt Verlag
29. Taube F.; Herrmann A., 2007: Kriterien für einen nachhaltigen Maisanbau zur Biogaserzeugung. ► http://www.grassland-organicfarming.uni-kiel.de/gfo/pdf/DMK_Taube07.pdf
30. Taube F.; Herrmann A., 2009: Relative Vorzüglichkeit von Mais und Gras unter Berücksichtigung von Klimawandel. Landbauforschung – vTI Agriculture and Forestry Research, Sonderheft 331. S 115 – 126.

31. Thonemann, U., 2009: Operations Management: Pearson (2. aktualisierte Auflage)
32. Vdlufa, 2004: Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Standpunktpapier. VDLUFA Selbstverlag.
33. Vollrath, B.; Kuhn, W.; Werner, A.; Degenberg, M., 2011: Was können Wildpflanzen als Biogassubstrat leisten? Fachtagung Energie aus Wildpflanzen, Berlin 12. 4. 2011.
34. Von Buttlar, C.; Karpenstein-Machan, M.; Bauböck, R. in Gross, G. et al., 2011: Potenziale für den Anbau und die Nutzung von Energiepflanzen unter Berücksichtigung des regionalisierten Klimawandels. S. 40 – 58.

Dank

Wir danken dem "Ministerium für Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur" für die finanzielle Unterstützung des Projektes.

Autorenanschrift:

PD Dr. Marianne Karpenstein-Machan, Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung (IZNE), Georg-August-Universität Göttingen, Goldschmidtstrasse 1, 37077 Göttingen, Deutschland

► mkarpen@gwdg.de

Prof. Dr. Oliver Mußhoff und B.Eng.(Agr.)(FH). Torsten Zimmermann, Landwirtschaftliche Betriebslehre am Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung der Georg-August-Universität Göttingen, Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen

► Oliver.Musshoff@agr.uni-goettingen.de;

► torzim@me.com