

# Schlagspezifische operative Fruchtfolgeplanung mit Linearer Programmierung

Henning Burmeister<sup>1</sup>, Soenke Garlichs<sup>2</sup>, Mandes Verhaagh<sup>3</sup> und Hans-H. Sundermeier<sup>4</sup>

**Abstract:** Die betriebliche Fruchtfolgemodellierung mit Linearer Programmierung gestaltete bisher Fruchtart- und Arbeitserledigungsalternativen unter Berücksichtigung von aggregierten Kapazitätsrestriktionen (z. B. Flächenausstattung, Arbeits- und Maschinenkapazitäten). Die Fruchtfolge eines Betriebes besteht jedoch genau betrachtet aus der Summe aller Fruchtartsequenzen auf jedem einzelnen Schlag. Diese veränderte Betrachtungsweise hat erhebliche Konsequenzen für Modellgröße und –komplexität sowie für die Umsetzbarkeit von Optimalplanungen. Der Beitrag erläutert Schritte zur Entwicklung einer praxistauglichen Entscheidungshilfe unter Berücksichtigung von Greening-Restriktionen, Wirtschaftsdüngeranfall und Auflagen der Düngeverordnung.

**Keywords:** Operative Betriebsplanung, Fruchtfolgeplanung, Lineare Programmierung, Risiko

## 1 Einleitung

Die Abfolgen der Fruchtarten auf den einzelnen Schlägen bilden die zentralen Dispositionselemente für die operative Planung der Pflanzenproduktion im Einzelbetrieb. Obwohl die wirtschaftlich optimale Nutzung der Flächen und weiterer Ressourcen traditioneller Erkenntnisgegenstand der landwirtschaftlichen Betriebslehre ist, fehlen nach wie vor praxistaugliche Entscheidungshilfen, die simultan den komplexen Alternativenraum eines realen Sachproblems mit seinen Verflechtungen, Wechselbeziehungen und Nebenbedingungen abbilden und wirtschaftlich optimale schlagspezifische Anbausequenzen algorithmusgestützt (optimierend im Sinne des Operations Research) ermitteln können.

Gängige Lehrbuchmodelle abstrahieren von schlagspezifischen „Komplexitätstreibern“ (Schlaggröße, -form, Hofentfernung, Anbaurestriktionen, Vorfrucht etc.), und vereinfachen damit Problemauffassung und Modellierung in unzulässigem Ausmaß. Derartig „über“-vereinfachte Modelle erfassen weder entscheidende Aspekte des Realproblems noch können sie praxistaugliche Entscheidungshilfen liefern; sie frustrieren die Anwender und bringen die benutzte mathematische Methode (z. B. Lineare Programmierung) in Misskredit. Gleichzeitig erschweren in der „realen Welt“ gesetzliche Auflagen die Planungspraxis: Die Vorschriften der Düngeverordnung sind künftig ebenso zu berücksichtigen wie die Greening-Auflagen zur Fruchtarten-Diversifizierung.

---

<sup>1</sup> Institut für Agrarökonomie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, henning-burmeister@gmx.de

<sup>2</sup> Institut für Agrarökonomie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, sgarlichs@web.de

<sup>3</sup> Institut für Agrarökonomie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, mandes@verhaagh.de

<sup>4</sup> Landwirtschaftlicher Buchführungsverband, Kiel, hsundermeier@lbv-net.de

## 2 Stand der Modellentwicklung

Die für die Landnutzung bedeutsamen Faktoren und Organisationsprinzipien sammelt Kuhlmann [Ku15] aus standorttheoretischer Perspektive (s. Tab. 1) und formuliert als erwerbswirtschaftliches Ziel die nachhaltige Maximierung der betrieblichen Bodenrente.

Für Landnutzung bedeutsame Standortfaktoren bzw. betriebliche Organisationsprinzipien (nach Kuhlmann [Ku15])	LP-Modell
natürliche Standortfaktoren: Bodenart, Ertragspotential, Steinbesatz ...	(+)
technologische Standortfaktoren: genetische Potentiale der Pflanzen und Tiere, verfügbare Dünge- und Pflanzenschutzmittel, Maschinen und technische Anlagen	(tw) +
strukturelle Standortfaktoren: Entfernung der Produkt- und Faktormärkte, Hof-Feld-Entfernung, Größe und Formen der Feldstücke	+
marktliche Standortfaktoren: Relationen zwischen Produktpreisen, Faktorpreisen und Faktor- bzw. Produktpreisen	+
Erhaltung Leistungsfähigkeit des Bodens: Humusausgleich, Nährstoffausgleich, Begrenzung von Unkraut- und Krankheitserregern	(tw)
Sicherung der wirtschaftlichen Existenz: Marktrisikoausgleich und Produktionsrisikoausgleich	(+)
Sicherung der Versorgung für Futterausgleich und Substratausgleich	(+)
bestmögliche Nutzung verfügbarer Produktionskapazitäten	+
<hr/>	
+ = berücksichtigt (+) = implizit berücksichtigt (tw) = teilweise berücksichtigt	

Tab. 1: Im LP-Optimierungsmodell berücksichtigte Standortfaktoren und Organisationsprinzipien

Als weitere Konstituenten für einzelbetriebliche Landnutzungsprogramme und -intensitäten führt Kuhlmann unterschiedliche Befähigungen und Verhaltensweisen der Landnutzer bezüglich Realisierung technischer und ökonomischer Effizienz, Risikoverhalten, Zeitpräferenz und Berücksichtigung von Nebenbedingungen für das erwerbswirtschaftliche Ziel an.

Verhaagh und Sundermeier brechen in einer Vorstudie [VS15] mit der traditionellen Auffassung einer „betrieblichen“ Fruchtfolge und modellieren die Nutzungsalternativen für jeden Schlag einzeln unter Beachtung der aus standorttheoretischer Sicht ermittelten Faktoren und Organisationsprinzipien (s. Tab. 1). Die auf den ersten Blick nur geringfügig modifizierte Problemauffassung (simultane Berücksichtigung der Parameter aller Einzelschläge) verändert Größe, Komplexität und Nebenbedingungen (z. B. Binarität) für eine betriebliche Lösungsraumabbildung grundlegend. Ein erster Machbarkeitstest der neuen Modellarchitektur gelang bis zu einer Problemgröße von acht Schlägen und ermutigte zur Weiterentwicklung zu einer Fruchtfolge-Entscheidungshilfe für die Praxis. Garlichs und Burmeister integrieren weitere Modellkonstrukte für Mindestfruchtartendiversität, Wirtschaftsdünger [Ga15] bzw. Risiko [Bu15] und erweitern die simultane Ressourcenverflechtung für bis zu 26 Schläge. Dabei entstehen LP-Matrizen mit derzeit bis zu 7.500 Aktivitäten (mit etwa 1.160 Binärvariablen) für einen Einzelbetrieb.

### 3 Ausrichtung auf Anforderungen aus der Anwendungspraxis

Praxisrelevante Entscheidungshilfen müssen u. a. a) das Real-World-Sachproblem ausreichend genau abbilden, b) vorhandene betriebliche Daten, Datenmodelle bzw. Datenhaltungssysteme verwenden, c) vorhandene Schnittstellen zur Datenaufnahme nutzen, d) Schnittstellen zur Datenweitergabe bedienen, e) auf einem robusten Lösungsalgorithmus beruhen, f) ohne manuelle Aufbereitungsschritte nachvollziehbare Ergebnisse liefern und g) zusätzliche Informationen über die Stabilität der Ergebnisse ergänzen.

Als Planungshorizont definieren wir zwei Wirtschaftsjahre: Die eigentliche Planungsperiode für die anstehenden Anbauentscheidungen sowie ein Folgejahr für die Berücksichtigung von Effekten, die sich aus dem Planjahr ergäben. In Verbindung mit der jeweiligen Anbauhistorie (Vorfrucht und Vor-Vorfrucht) entsteht für jeden Schlag und für die innerbetriebliche Ressourcenallokation ein insgesamt vierjähriger Betrachtungshorizont. Zur differenzierten Abbildung der Arbeitswirtschaft modellieren wir Sub-Intervalle mit einer Dauer von 14 Tagen. Mächtigster Komplexitätstreiber bleibt die Zahl der Einzelschläge. Mit dem kommerziellen LP-Solver der Fa. Frontline ließen sich Modelle mit bis zu 26 Schlägen bearbeiten.

Praxisentscheidend ist ein möglichst geringer Aufwand für Datenbeschaffung und -aufbereitung. Wir nutzen die Exportschnittstelle des Sammelantrags zur Übernahme der Flächenidentifikator-Nummer (FLIK), des Schlagnamens, der Größe sowie der Vorfrüchte. Die Landwirtschaftsverwaltung kann hiermit zugleich Greening-Auflagen zur Fruchtfolgegestaltung kontrollieren. Mangels Schnittstellen-Standardisierung sind weitere betriebliche Datenquellen (Buchführung und Schlagkartei) derzeit noch nicht für eine automatische Datenübernahme nutzbar. Ein konzeptueller Verknüpfungsvorschlag entstand für das System WIKING des Landwirtschaftlichen Buchführungsverbandes. In den darin enthaltenen Zusatz-Naturalfeldern für die Datensätze für die Finanzbuchführung können wesentliche Angaben zum naturalen Betriebsgeschehen dokumentiert werden.

Die Erstellung der einzelbetrieblichen LP-Modelle sowie die Interpretation der Optimal-Lösungen erfolgen derzeit mit Hilfe von Microsoft-EXCEL als Frontend. Mit den vielfältigen Gestaltungsoptionen lässt sich der differenzierte Informationsgehalt der LP-Ergebnisse (betrieblicher Optimalplan einschließlich Grenzwerte sowie Sensitivitätsbericht mit Stabilitätsbereichen) gezielt und grafisch unterstützt aufbereiten.

### 4 Erste Ergebnisse und Ausblick

Die Folgestudien von Garlichs [Ga15] und Burmeister [Bu15] erweiterten das Grundmodell zur Fruchtfolgeoptimierung um obligatorische Cross-Compliance-Restriktionen (Greening-Auflage: Mindestfruchtartendiversität bzw. Berücksichtigung ökologischer Vorrangflächen), Auflagen gemäß Düngeverordnung 2012 (Mengen- bzw. Ausbringungzeit-Beschränkungen für Wirtschafts- und Handelsdünger), optimale Allokation

von Wirtschaftsdünger unter Berücksichtigung der Lagerkapazitäten (am Beispiel der Schweinegülle), arbeitswirtschaftliche Differenzierung in Abhängigkeit der Feld-Hof-Entfernungen und Modellierungsvarianten für die Berücksichtigung von Risiko.

Strafkostenansätze erlauben das Aufweichen zu strikter Restriktionen. Wenn beispielsweise die betrieblichen Arbeitskapazitäten ausgeschöpft sind, müssen nicht zwangsläufig Arbeiten an Lohnunternehmer abgegeben werden. Durch höher vergütete Überstunden können Arbeitszeitspannen „gestreckt“ werden, solange dies kostengünstiger ist als eine betriebsexterne Arbeitserledigung.

Werden gesetzlichen Vorgaben verletzt, berücksichtigen spezielle Modellformulierungen die wirtschaftlichen Konsequenzen. Bei einer Überschreitung der erlaubten Nährstoffüberhänge laut Düngeverordnung erfolgt ein automatischer Abzug in Höhe von drei Prozent der Betriebsprämie im ersten Jahr und von fünf Prozent im zweiten Jahr. Weitere potentielle Bußgeld-Sanktionen (z. B. bei Verletzung der Wasserrahmenrichtlinie) sind derzeit nicht berücksichtigt.

Die zusätzlichen Modellkonstrukte erwiesen sich als tragfähig und führten in Parametrisierungstests sowie im prototypischen Praxiseinsatz zu plausiblen und nachvollziehbaren Fruchtfolge-Empfehlungen. Die aktuellen Arbeiten konzentrieren sich auf a) eine weitere Annäherung an Regelwerk und Datenmodell der landwirtschaftlichen Rechnungslegung (Wirtschaftsjahresgrenzen, Bewertung von Feldinventar und selbsterzeugten Vorräten, konsequente Nutzung und Detaillierung der Kontierungskonzepte, konkrete Vorschläge zur Belegung der Zusatznaturalfelder im Buchführungssystem WIKING), b) Aufhebung bzw. Anhebung des Limits für die maximale Zahl der abzubildenden Schläge, c) ein vereinfachtes Handling des Matrizenaufbaus sowie d) eine verbesserte Darstellung und Erläuterung der Optimallösungen in einem selbst erklärenden Ergebnisbericht.

## Literaturverzeichnis

- [Bu15] Burmeister, H.: Parzellenspezifische operative Betriebsplanung mit Linearer Programmierung unter besonderer Berücksichtigung von Risikoaspekten. Masterarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2015
- [Ga15] Garlichs, S.: Parzellenspezifische operative Betriebsplanung mit Linearer Programmierung unter besonderer Berücksichtigung von Wirtschaftsdünger aus Veredlungsbetrieben. Masterarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2015
- [Ku15] Kuhlmann, F.: Landwirtschaftliche Standorttheorie – Landnutzung in Raum und Zeit, DLG-Verlag, Frankfurt, 2015
- [VS15] Verhaagh, M.; Sundermeier, H.-H: Verbesserte Betriebsplanung mit Linearer Programmierung durch parzellenspezifische Fruchtfolgemodellierung und Verknüpfung mit der Finanzbuchführung. In (Arno Ruckelshausen, Hans-Peter Schwarz, Brigitte Theuvsen, Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Referate der 35. GIL-Jahrestagung in Geisenheim; S. 193-196; 2015