Hinrichs, P.: Ein Modellkonzept zur verbesserten Abbildung von Finanzierungsproblemen mit stochastischen und dynamischen Strukturmerkmalen (Korreferat). In: Schmitt, G., Steinhauser, H.: Planung, Durchführung und Kontrolle der Finanzierung von Landwirtschaft und Agrarpolitik. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 15, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (1978), S. 529-541.

EIN MODELLKONZEPT ZUR VERBESSERTEN ABBILDUNG VON FINANZIERUNGSPROBLEMEN MIT STOCHASTISCHEN UND DYNAMISCHEN STRUKTURMERKMALEN (Korreferat)

von

Peter Hinrichs, Braunschweig-Völkenrode 1)

---

1) Arbeit aus dem Institut für Betriebswirtschaft der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Institutsdirektor: Prof. Dr. K. Meinhold.

1 Allgemeine Darstellung der Problematik

1.1 Die Bedeutung der Unsicherheit in Finanzierungsproblemen

Unsichere Erwartungen erschweren die Planung. Wo es jedoch gelingt, die Risiken unterschiedlicher Ereignisse zu monetarisieren, können sie z.T. durch Finanzierungsmaßnahmen abgefangen werden.

Der relativ große Umfang, den der Finanzierungsbereich in einigen Betriebsmodellen einnimmt, sollte allerdings nicht zu dem Schluß führen, seine Einbeziehung führe generell zu einer wesentlichen Veränderung in den Entscheidungen. Wegen der fast vollkommenen Konkurrenz im Kreditsektor und wegen der weiten Verbreitung finanzmathematischer Kalkulationsmethoden auch in der Kreditpraxis gibt es nichttriviale Finanzierungsprobleme nur für Betriebe mit sehr engem Finanzierungsspielraum, die außerdem mit unsicheren Erwartungen planen müssen. Denn aus den damit verbundenen Risiken einerseits und andererseits den begrenzten Möglichkeiten, sie durch Finanzierungsmaßnahmen abzufangen, resultiert in solchen Spezialfällen die ökonomische Bedeutung der Finanzierungsprobleme.

1.2 Finanzierung und dynamische Betrachtungsweise

Wenn die Risiken relativ unerwarteter Ereignisse durch die Finanzierung abgefangen werden, so wird dabei eine nach Art und Zweck ausgleichende intertemporale Beziehung hergestellt: Die unerwarteten Verluste in einer Periode werden - z.B. über einen Kredit - auch auf die folgenden Perioden mit verteilt, in gleicher Weise, wie auch Liquiditätslücken überbrückt werden, die z.B. bei größeren Investitionen entstehen können (vgl. CANDLER, 5). Freilich ist der Finanzierungsbereich nicht der einzige, in dem es zwischen den Perioden dynamische Beziehungen gibt, über die frühere Ereignisse und Entscheidungen die Wirkung und den Spielraum späterer Entscheidungen beeinflussen. Wo sich aber die ökonomisch wichtigsten Kausalbeziehungen in den monetären Bereich ableiten lassen und wo zudem die Finanzierungsreserven zum knappen Faktor werden, da liegt das Hauptgewicht der entscheidungsrelevanten dynamischen Beziehungen im Finanzbereich.

1.3 Stochastik in dynamischen Modellen

Einer der Hauptvorzüge dynamischer Modelle liegt in einer realitätsnäheren Wiedergabe und Beurteilung länger nachwirkender Entscheidungen und Ereignisse. Vor allem ihre ökonomische Beurteilung kann erheblich verbessert werden, wenn dabei auch die Anpassungsreaktionen des Betriebsleiters mit einbezogen werden. Das gilt besonders in den Fällen, die stark von den erwarteten Normalfällen abweichen, denn dann können die Anpassungsreaktionen von entscheidender Bedeutung für die Betriebsentwicklung sein. Eine im Normalfall optimale Folgeentscheidung kann beispielsweise im Ausnahmefall deutlich unterlegen oder gar ruinös sein.

Dynamische Modelle bieten hier eine Möglichkeit, die es in statischen Modellen nicht gibt: Wenn die zukünftige Entwicklung, stochastisch bedingt, unterschiedlich verlaufen kann, so können diese verschiedenen Entwicklungsalternativen explizite verfolgt, ausgewertet und beurteilt werden, und zwar - realistischerweise - unter Einbeziehung auch der Anpassungsreaktionen 1).

---

1) Eindrucksvolle Darstellungen hierzu geben z.B.: JOHNSTON (10), DAY (6) und WENTZEL (16).

2 Das Grundkonzept eines stochastischen dynamischen Entscheidungsmodells

2.1 Aufgabenstellung des Modellkonzeptes

Nach den Erläuterungen des vorigen Kapitels sollte ein Modellkonzept, mit dem unter Unsicherheit die Betriebsentwicklung bei knappen Finanzierungsreserven geplant werden soll,

- stochastisch bedingte Entwicklungsalternativen einzeln und ohne nivellierende Durchschnittsbildungen wiedergeben und
- eine dynamische Auswertung dieser Alternativen - d.h. unter Berücksichtigung der Anpassungsreaktionen - ermöglichen.

Hinzu kommen die sonst üblichen Anforderungen wie: Informationsgehalt der Ergebnisse, Genauigkeit der Funktionen und vor allem die Lösbarkeit, womit nicht die mathematische (Existenz, Konvergenz), sondern die rechentechnische Lösbarkeit (angemessener Rechenzeit- und Speicherplatzbedarf) gemeint ist. Diese nämlich wird durch die Kombination der Kriterien "stochastisch" und "dynamisch" in Frage gestellt; denn in einem simultanen Lösungsansatz - etwa der linearen Programmierung - muß eine Kombination von stochastischen und dynamischen Modelleigenschaften unweigerlich zu unvertretbaren Matrixdimensionen führen. Rechenzeit- und speicherplatzsparende Auswege aus diesem Dilemma wurden bereits in großer Zahl angeboten 1).

Darin werden - je nach spezieller Fragestellung - entweder die stochastische oder die dynamische Komponente oder beide behelfsmäßig ersetzt, der simultane Lösungsansatz jedoch bleibt erhalten, als sei er sakrosankt. Dabei könnte doch eben dieser "Simultanismus" die Entwicklung wirklichkeitsgetreuer und gleichzeitig rechenbarer Modellkonzepte für die Finanzierungsplanung unter Unsicherheit verhindert haben.

Wenn man sich von ihm löst, kann man, wie im folgenden gezeigt wird, die dynamische Struktur der Entwicklungsverläufe und die Unsicherheit der Entscheidungssituationen einfacher als im simultanen Ansatz realitätsnah wiedergeben.

2.2 Das Konzept des Entscheidungsbaumes

Der allgemeinen Darstellung der Problematik in Kapitel 1 entspricht recht gut der Modelltyp, der unter dem Namen "Entscheidungsbaum" geläufig ist.
Ein Entscheidungsbaum soll die wichtigsten der vielfältigen Entwicklungspfade abbilden, die ein Betrieb überhaupt gehen kann. Die dabei auftretenden Verzweigungen haben zweierlei Ursachen:

- die Verwirklichung alternativer Entscheidungen,
- die zum Entscheidungszeitpunkt noch nicht bekannten Wirkungen der externen Einflüsse als Mitursachen.

Obwohl Entscheidungen und externe Einflüsse gleichzeitig wirken, hat es sich - aus Gründen der Übersichtlichkeit - eingebürgert, die von ihnen bewirkten Verzweigungen getrennt voneinander darzustellen. Im Schaubild 1 sind die entscheidungsbedingten Verzweigungen mit durchgezogenen und die stochastisch bedingten mit gestrichelten Linien dargestellt.

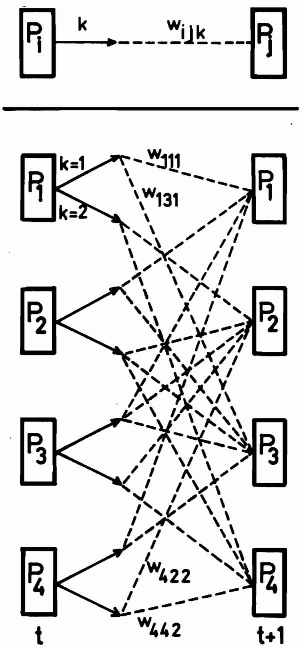
Der betrachtete Betrieb befindet sich im Zeitpunkt t in einem bestimmten Zustand P_i (t). Dabei bedeutet "Zustand" den Vektor <u>aller</u> Informationen über Geschichte und Gegenwart des Systems, die

- für die weitere Planung von Bedeutung und
- zum Zeitpunkt t auch verfügbar sind, wobei bereits
- eine Straffung auf möglichst wenige Variable vorgenommen wurde.

---

1) Vgl. die Literaturübersichten z.B. von HANF (7), TIMM (15) und STANCU-MINASIAN und WETS (14).

Schaubild 1: Stochastisches dynamisches Entscheidungsmodell (schemat. Darstellung)



Verschiedene alternative Entscheidungen für die nächste Periode (bis t + 1) setzen den Betrieb den übrigen Einflüssen in unterschiedlicher Weise aus und führen darum mit unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen zu den verschiedenen möglichen Resultaten im Zeitpunkt (t + 1).

Diese - zunächst unbewerteten, "physischen" - Resultate können wir aus Lösbarkeitserwägungen in zwei Komponenten aufteilen:

a) Resultate, die nur in der gerade untersuchten Periode, genauer: nur für die Bestimmung des direkten Beitrages zur Zielverwirklichung (z.B. Entnahmen) relevant, für den weiteren Entwicklungsverlauf aber bedeutungslos sind,
b) Resultate, die den Spielraum für künftige Entscheidungen oder ihre Wirkungsweise beeinflussen. Sie gehen darum ein in den Zustandsvektor P(t + 1), der die Grundlage für die Entscheidung im Zeitpunkt (t + 1) darstellt.

Entsprechend dieser Gliederung ist auch die Bewertung der Resultate vorzunehmen: Während die Komponente a) sich ohne Komplikationen bewerten läßt, hängt die Bewertung der Fernwirkungen davon ab, welche Entscheidungen in Zukunft gefällt werden, denn aus deren direkten Beiträgen (Komponente a)) zur Zielerreichung und aus der Schlußbewertung der Komponente b) am Ende des Planungszeitraumes ergibt sich erst die Bewertung von P(t + 1) als der Gegenwartswert aller künftigen Entscheidungen.

2.3 Vergleich mit anderen Modellkonzepten

Die in den zahlreichen Literaturübersichten zum Thema Unsicherheit vorgestellten Ansätze sind zum überwiegenden Teil problemspezifisch erweiterte simultane Lösungsansätze. (Daraus erklärt sich auch ihre große Anzahl.) Es ist nicht die Aufgabe dieses Beitrages, die Eignung dieser Ansätze für die Spezialprobleme zu prüfen, für die sie konzipiert wurden. Problematisch sind jedoch die vielen Versuche, solche Ansätze zweckentfremdet auf andere Probleme zu übertragen, mit denen sie dann

- in der Problemstellung,
- in der Struktur der längerfristigen Wirkungszusammenhänge,
- in der Risikobewertung oder
- in der Wiedergabe der durch Unsicherheit charakterisierten Entscheidungssituation

nicht übereinstimmen. Bevor man also eine solche Übertragung auf ein anderes Problem erwägt, sollte man prüfen, ob und in welcher Hinsicht der betreffende Ansatz verallgemeinert werden kann. Das Entscheidungsbaum-Konzept kann hierzu als Vergleichsmaßstab dienen.

Unterziehen wir die von KÖGL (11) lediglich auf ihre Lösbarkeit getesteten drei Ansätze diesem Vergleich, so hat das Entscheidungsbaum-Modell folgende Unterschiede vorzuweisen:

- die konsequente stochastische Auffächerung auch bis in die Fernwirkungen hinein (im Gegensatz zu MOTAD und Portfolio-Selection, bei denen bereits vor der Bewertung Durchschnittsresultate gebildet werden, von denen aus die Entwicklung weitergeht);
- eine modellinterne Bestimmung der ökonomischen Bedeutung von Unsicherheit, die auch direkt entscheidungsrelevant wird (bei Portfolio-Selection und MOTAD dagegen wird eine pauschale Risikobewertung nach jeweils festgelegtem Kriterium unterstellt, das Kriterium kann im Einzelfall unzutreffend sein);
- eine relativ realistische Wiedergabe der Entscheidungssituation, die durch Unsicherheit in allen Entscheidungszeitpunkten gekennzeichnet ist (im Simulation-MLP-Ansatz dagegen werden mehrere mit Zufallszahlen gerüttelte, in sich jedoch völlig deterministische MLP-Probleme durchoptimiert);
- die Notwendigkeit zur Quantifizierung von Eintreffenswahrscheinlichkeiten für die Gewichtung der stochastisch aufgefächerten Entwicklungsmöglichkeiten, die allerdings bei den anderen Ansätzen in anderer Weise ebenfalls berücksichtigt werden muß (im Simulation-MLP-Ansatz bei der Koeffizientensimulation, in den beiden anderen Ansätzen bei der Gewichtung der absoluten Abweichungen bzw. ihrer Quadrate - wenn man nicht eine Gleichverteilung unterstellt -).

Wie diese Unterschiede zu beurteilen sind, wird in Kapitel 5 dieses Beitrages diskutiert.

3 Optimierung im Entscheidungsbaum-Modell mit Dynamischer Programmierung

Unter 2.2 wurde das Konzept des Entscheidungsbaumes bereits - im Blick auf die Lösbarkeit - in der Version eines Prozesses erster Ordnung dargestellt, der die Anwendung von BELLMAN's Dynamischer Programmierung (siehe BELLMAN, 2) ermöglicht. Das bedeutet: In jeder Periode t wird einem jeden möglichen Ausgangszustand $P_i(t)$ der Gegenwartswert aller künftigen Entscheidungen zugeordnet. Sollte $P_i(t)$ dann exakt das Resultat einer bestimmten Entscheidung in (t + 1) sein, so läßt sich diese Entscheidung sehr leicht evaluieren, da die Bewertung des Resultatzustandes $P_i(t)$ der Komponente b) entspricht und die Komponente a) (direkter Beitrag) leicht zu ermitteln ist.

Formal ausgedrückt:
Wenn wir die alternativen Entscheidungen mit k indizieren, die möglichen Ausgangszustände in t mit i und die möglichen resultierenden in (t + 1) mit j, so läßt sich der Gegenwartswert aller künftigen Entscheidungen auf der Basis von $P_i(t)$ einfach in einer rekursiven Gleichung 1. Ordnung darstellen.

$$Z(k(t),\ P_i(t)) = \sum_j \left(w_{ij}(t) \cdot \left[z(k(t),\ P_i(t)) + Z(k(t+1),\ P_j(t+1)) \right] \right) , \qquad (1)$$

wobei die $w_{ij}(t)$ die relativen Häufigkeiten (Gewichtungsfaktoren) darstellen.

Eindeutig ist $Z(k(t), P_i(t))$ jedoch erst, wenn $k(t+1)$, $k(t+2)$ und alle folgenden Entscheidungen bekannt, d.h. optimiert sind:

$$Z(k(t), P_i(t)) = \sum_i (w_{ij}(t) \cdot [z(k(t), P_i(t)) + Z^*(P_i(t+1))]) \quad , \qquad (2)$$

Wenn zur Bewertung gegenwärtiger Resultate nach Gl. (2) die künftigen bereits als Ergebnisse noch weiter reichender Optimierungen herangezogen werden sollen, liegt es nahe, mit der Optimierung in der fernen Zukunft zu beginnen.

Dieses Verfahren, die Dynamische Programmierung, ist gerade für die Lösung mehrperiodiger Planungsprobleme unter Unsicherheit immer dann gut geeignet, wenn die Zahl der Zustandsvariablen, über die die Perioden miteinander verbunden sind, relativ klein ist 1).

4 Verbesserung der Lösbarkeit durch Einfügen von LP-Untermodellen

4.1 Zur Anwendbarkeit der Dynamischen Programmierung (DP) in der Betriebsentwicklungsplanung

Die um der Lösbarkeit willen stark eingeschränkte Zahl der Zustandsvariablen hat bisher die Anwendbarkeit der DP auf Teilprobleme - vornehmlich im Bereich der Prozeßoptimierung - begrenzt.

Der Grund für diese Einschränkung ist leicht einsehbar:
Da ja noch nicht vorher bekannt ist, zu welchen Resultaten eine Entscheidung führt, muß vorsorglich für alle möglichen Resultate bekannt sein, wie die Entwicklung weitergeht und welcher Zielfunktionswert dieser weiteren Entwicklung zuzuordnen ist.

Gesamtbetriebliche Planung ist darum wegen der Vielschichtigkeit der einzuhaltenden Restriktionen, deren Rechte Seiten z.T. die Bedeutung von Zustandsvariablen haben, eine Domäne der LP, denn die Vorteile des Entscheidungsbaum-Konzeptes, die noch relativ originäre Problemwiedergabe und die daraus sich ableitende Aussagekraft der Ergebnisse, müssen mit einem erheblichen Rechenaufwand erkauft werden, wenn es nicht gelingt, die Zahl der Evaluierungen drastisch zu senken 2).

4.2 Die Verknüpfung einperiodiger LP-Modelle zu einem dynamischen Modell

Trotz der geringen Affinität der DP zur gesamtbetrieblichen Planung läßt sie sich in unserem Spezialfall anwenden. Dabei kommt uns eine Eigenschaft der DP zugute: die erstaunliche Flexibilität und methodische Vielseitigkeit, die sie zu einer idealen Ergänzung für alle simultanen Lösungsansätze macht. Im konkreten Fall bedeutet dies: Die Dynamische Programmierung läßt sich sehr gut mit simultanen Ansätzen kombinieren, die dabei die Rolle des Transformationsoperators (einschließlich der stochastischen Auffächerung der Resultate, ihrer Bewertung und ihrer Gewichtung) übernehmen. Die Auswahl der optimalen Entscheidungsalternative k^* und die Ermittlung des optimalen Zielfunktionswertes $Z^*(P_i(t))$ besorgt ganz normal der Simplex-Algorithmus. So wird eine möglichst repräsentative Auswahl möglicher $P_i(t)$ - jeder als ein B-Vektor definiert - ausgewertet, und der jeweilige Zielfunktionswert wird gespeichert. Nachdem alle B-Vektoren ausgewertet sind, werden die ihnen zugeordne-

1) Siehe BELLMAN und DREYFUS (3), KAUFMANN und CRUON (12), BECKMANN (1) oder WHITE (17).

2) Als Beispiel für die Anstrengungen auf diesem Gebiet vgl. WONG (18).

ten Zielfunktionswerte in die Bewertungsteilmatrix für die nachfolgende Optimierung (der davorliegenden Periode) übernommen.

Wichtigste Voraussetzung für eine solche Kombination von DP und LP ist, daß die Zahl der ökonomisch wichtigen Rahmendaten im einperiodigen Submodell sehr klein gehalten werden kann; denn diese Rahmendaten sind die Zustandswerte, die von einer Periode an die nächste weitergegeben werden.

Wo Finanzierungsreserven so knapp sind, daß sie praktisch das Tempo der Betriebsentwicklung diktieren, ergeben sich zwei Ansatzpunkte zu einer Vereinfachung der Modellstruktur:
- die Finanzknappheit dominiert alle übrigen Knappheitssituationen,
- die sich in einer solchen Situation außerdem leicht in Geldeinheiten ausdrücken und gegeneinander aufrechnen lassen.

Dadurch läßt sich die Zahl der Zunstandsvariablen erheblich reduzieren, so daß das Entscheidungsbaum-Modell mit einperiodigen LP-Submodellen hier anwendbar wird.

4.3 Die Struktur der LP-Untermodelle und ihrer funktionalen Beziehungen untereinander

4.3.1 Überblick über eine Teilmatrix

Die Matrixübersicht in Schaubild 2 soll einige wichtige Strukturmerkmale des LP-Teilmodells veranschaulichen. Zur Erhaltung der Übersichtlichkeit war es nötig, einige Teilbereiche zu simplifizieren (Produktion, Investition) oder sie, wo es auf das Detail ankam, nur teilweise darzustellen (z.B. im Bereich der langfristigen Darlehen).

Die Spalten der Matrix gliedern sich in 6 Gruppen:
- Quantifizierung des Ausgangszustands (B-Vektoren und Bereitstellungsaktivitäten)
- Produktions- und Investitionsaktivitäten
- Finanzierung (Aufnahme langfristiger Darlehen, Kapitaldienst, Kontokorrentkredite)
- Konsum (Mindest- und jahresbedingte Zusatzentnahmen)
- Berechnung der Resultate, die für künftige Entscheidungen relevant sind (Transfer der Finanzüberschüsse, häufigkeitsabhängige Gewichtung und Darstellung der Finanzüberschüsse und Anlagebestände als diskrete Varianten)
- Bewertung der Resultate als Linearkombinationen diskreter Varianten.

Die wichtigsten funktionalen Beziehungen, die diese Spaltengruppen miteinander verknüpfen, lassen sich anhand der entsprechenden Restriktionen erläutern:

- Die durch Entscheidungen oder stochastische Einwirkungen unbeeinflußbare Faktorausstattung wird fix vorgegeben und von den Produktionsaktivitäten beansprucht.

- Die variablen Ressourcen (hier: Anlagenbestand und Liquiditätsreserve) sind die Zustandsvariablen des Modells. Sie werden aus den B-Vektoren über Bereitstellungsaktivitäten eingespeist, die zusätzliche Informationen aus den Dualwerten ermöglichen sollen.

- Die Liquiditätsrestriktionen sollen die unterschiedlichen Situationen in verschiedenen Jahren (hier: witterungsbedingte Unterschiede) wiedergeben, wobei noch eine Untergliederung in das Sommer- (März bis August) und das Winterhalbjahr (September bis Februar) vorgenommen wurde, um das Ausmaß der kurzfristigen Verschuldung mit zu erfassen, das dann durch zusätzliche Restriktionen (etwa einem eingeräumten Dispositionskredit entsprechend) entscheidungswirksam eingegrenzt werden kann.

- Die Bindung langfristiger Darlehen an dingliche Sicherheiten und Investitionsaktivitäten ist ebenso gebräuchlich wie die Berechnung des Kapitaldienstes und das Abrufen von Mindestentnahmen.

Schaubild 2: Matrixübersicht für ein einperiodiges Untermodell im DP/LP-Ansatz

		B-Vektoren				Restriktionstyp	Bereitstellungsvektoren	Produktionsaktivitäten	Investitionsaktivitäten	Aufnahme langfrist. Darlehen	Kapitaldienst	Kontokorrentkredit (kurzfristige Verschuldung)			Mindestentnahme	zusätzliche Entnahme			Transfer der Finanzüberschüsse			Häufigkeitsabhängige Gewichtung der transferierten Finanzüberschüsse						diskr. Varianten der Investitionsaktivitäten		Bewertung der Resultate als Linearkombination dirkr. Varianten			
		I	II	III	IV							R	N	T		R	N	T	R	N	T	R 0	R 1	N 0	N 1	T 0	T 1	0	1	I	II	III	IV
Zielfunktion		max !				←									1	+	+	+												+	+	+	+
Faktorausstattung (Boden etc.)			+			≥	-	+	-																								
Anlagenbestand				1	1	=	1																										
Liquiditätsreserve			1		1	=	1																										
Liquiditätsrestriktionen	Regenjahr So.-Halbj.						-	+	+	-		-1			+																		
	Regenjahr Wi.-Halbj.							-			1	+			+	1			1														
	Normaljahr So.-Halbj.					≥	-	+	+	-			-1		+																		
	Normaljahr Wi.-Halbj.							-			1		+		+		1			1													
	Trockenjahr So.-Halbj.						-	+	+	-				-1	+																		
	Trockenjahr Wi.-Halbj.							-			1			+	+			1			1												
Max. Aufnahme langfristiger Darlehen			+			≥			-	+																							
Kapitaldienst			+			=				-	1																						
Mindestentnahme			+			≤									1																		
Finanzüberschüsse	Regenjahr																		-1			+	+										
	Normaljahr					=														-1				+	+								
	Trockenjahr																				-1					+	+						
Zusammenfassung der mit rel.Häufigkeiten gewichteten Finanzüberschüsse						=																-		-		-				1		1	
																							-		-		-				1		1
Anlagenbestand als Lin.Kombin.diskr.Varianten						=	+		+																				-				
Zuordnung der diskr.Varianten d.Inv.akt. zu den Resultut-Vektoren						=																						-1		1	1		
																													-1			1	1
Einheitsrestriktionen		1	1	1	1																	1	1										
		1	1	1	1	=																		1	1								
		1	1	1	1																					1	1						
		1	1	1	1																							1	1				

- Die restlichen Restriktionen dienen der Erfassung, Gewichtung, Übertragung und Bewertung der stochastisch bedingten Finanzüberschüsse, mithin der dynamischen Verknüpfung mit der folgenden Periode. Sie werden unter 4.3.2 erläutert.

4.3.2 Auswirkungen von Stochastik und Dynamik auf die Matrixformulierung

Um dem stochastischen Charakter des Modells gerecht zu werden, ist es nötig, die übliche LP-Matrix um Teile zu erweitern, die die alternativen Entwicklungsmöglichkeiten (etwa in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf) explizite wiedergeben 1). Manifest werden diese stochastischen Einflüsse für den finanzschwachen Betrieb zunächst im Bereich der Liquidität, speziell in der defizitären Jahreszeit (hier: im Sommer). Darum wurde für jedes mögliche Ereignis (hier: Regen-, Normal- und Trockenjahr) ein eigener Satz von Liquiditätsrestriktionen formuliert einschließlich einer eigenen Kontokorrentkredit-Aktivität für den jahreszeitlichen Ausgleich. Wo diese nicht ausreicht, muß ein Darlehen genommen werden. Die maximale Aufnahme langfristiger Darlehen dürfte im allgemeinen an dingliche Sicherheiten oder auch an bestimmte Investitionen gekoppelt sein. Langfristige Darlehen bedeuten Zahlungsverpflichtungen in späteren Jahren. Der Kapitaldienst ist also eine wichtige Resultatgröße im Zustandsvektor (in der Matrixübersicht aus Platzmangel nicht mit dargestellt). Für die Entscheidungen über Investitionen und die Aufnahme langfristiger Darlehen wird übrigens hier unterstellt, daß sie bereits zu Beginn des 1. Halbjahres getroffen werden müssen. Die in unterschiedlichen Jahren unterschiedlich hohen Finanzüberschüsse können entweder zusätzlich entnommen oder in das folgende Jahr transferiert werden. Im zweiten Fall werden sie als Linearkombinationen derjenigen diskreten Varianten dargestellt, die als Ausprägungsmerkmale für die verschiedenen Resultatzustände definiert sind. Im Matrixschema wurden nur 2 Varianten dargestellt: 0 entspricht einem Überschuß von 0 DM, und 1 könnte z.B. einem Überschuß von 100 000 DM entsprechen. Resultiert nun in einem bestimmten Jahr ein Überschuß von 40 000 DM, so kommen die beiden diskreten Varianten mit den Niveaus 0,6 bzw. 0,4 in die Lösung. (Dafür sorgt auch die entsprechende Einheits-Restriktion). An dieser Stelle könnte nun eigentlich die Bewertung vorgenommen werden, da das Resultat als Linearkombination bereits ausgewerteter Resultatzustände dargestellt ist. Das würde jedoch bei großer Zahl der stochastisch bedingten Entwicklungsalternativen eine unvertretbar große Anzahl von Bewertungsaktivitäten erfordern. Darum ist es sinnvoll, die Gewichtung der errechneten Niveaus mit den jahresspezifischen Eintreffwahrscheinlichkeiten bereits an dieser Stelle vorzunehmen, die so gewogenen diskreten Zustandsvarianten getrennt voneinander über alle Ereignisse zu summieren und sie erst dann, in derart zusammengefaßter Form, zu bewerten. Durch dieses Vorgehen wird sichergestellt, daß die jahresspezifischen Besonderheiten in den Resultaten erhalten bleiben und nicht bei einer anschließenden Mittelwertbildung nivelliert werden, wie es in den anderen Ansätzen - aus operationellen Erwägungen - geschieht.

4.3.3 Vergleich mit dem herkömmlichen Verfahren der nivellierenden Mittelwertbildung

Die Bedeutung dieses Unterschiedes in der Resultatbewertung soll an einem kleinen Beispiel mit eindimensionalem Zustand demonstriert werden, dessen Datenannahmen in Übersicht 1 tabelliert sind.

---

1) Als ein relativ einfaches Demonstrationsbeispiel kann (8) dienen. Ein wesentlich umfassenderes Modell, das außer den stochastischen auch dynamische Aspekte einschließt, liefert SCHMIDT (13).

Übersicht 1: Annahmen für das Evaluierungsbeispiel

	Jahr R	Jahr N	Jahr T	Resultatvariante I	Resultatvariante II	Resultatvariante III
P	1000	700	200	0	500	1000
w	0,25	0,5	0,25	-	-	-
Z (P)	-	-	-	0	1000	1200

In der herkömmlichen Weise würde der gewogene Wert für Z ($\bar{P}$) wie folgt berechnet:

$$\left.\begin{array}{llr} \bar{P} & = 0,25 \cdot 1000 + 0,5 \cdot 700 + 0,25 \cdot 200 = & 650 \\ & = 0,7 \cdot 500 + 0,3 \cdot 1000 & \\ Z(\bar{P}) & = 0,7 \cdot 1000 + 0,3 \cdot 1200 = & 1060 \end{array}\right\} \quad (3)$$

Korrekt errechnet sich der Erwartungswert aller künftigen Resultate Z (P_R, P_N, P_T) dagegen wie folgt:

$$\left.\begin{array}{l} P_R = 1,0 \cdot 1000 \\ P_N = 0,6 \cdot 500 + 0,4 \cdot 1000 \end{array}\right\} \quad (4)$$
$$P_T = 0,6 \cdot 0 + 0,4 \cdot 500$$

$$\left.\begin{array}{llr} 0,25 \cdot & Z_R = 0,25 \cdot 1200 = & 300 \\ 0,5 \cdot & Z_N = 0,3 \cdot 1000 + 0,2 \cdot 1200 = & 540 \\ 0,25 \cdot & Z_T = 0,15 \cdot 0 \quad 0,1 \cdot 1000 + \quad = & 100 \\ \hline & Z(P_R, P_N, P_T) = 0 + 400 + 540 = & 940 \end{array}\right\} \quad (5)$$

Es leuchtet ein, daß es einen bedeutsamen Unterschied zwischen der herkömmlichen und der korrekten Evaluierung nur in den Fällen geben kann, in denen die Funktion Z (P) stark gekrümmt (bzw. geknickt) ist, die marginale Bewertung sich also mit der Ausprägung des Zustandsmerkmals stark verändert. Aber gerade diese (und nur diese!) Fälle sind es, in denen eine Berücksichtigung der Unsicherheit zur Vermeidung von Fehlplanungen überhaupt gerechtfertigt ist.

5 Zur Nutzbarkeit des Modellkonzeptes

Messen wir die Nutzbarkeit eines Modellkonzeptes
- an der Realitätsnähe seiner Funktionalstruktur,
- an der Präzision seiner Funktionen und Parameter,
- am Rechenzeit- und Speicherplatzbedarf und
- am Informationsgehalt seiner Resultate,

so lassen sich dazu - speziell im Vergleich mit den von KÖGL (11) getesteten Ansätzen - folgende Aussagen machen:

5.1 Zur Realitätsnähe der Funktionalstruktur

Das stochastische DP/LP-Modell bildet die Entscheidungssituationen allgemein realistischer ab, da es zum einen eine relativ objektive Bewertung der Fernwirkungen erlaubt und zum anderen Unsicherheiten auch bei künftigen Entscheidungen unterstellt.

5.2 Zur Präzision der Funktionen und Parameter

Die Präzision der Funktionen und Parameter wird durch den rechentechnisch bedingten Zwang zur diskreten Variation der Zustandsvariablen beeinträchtigt. Entscheidungswirksam dürfte diese Beeinträchtigung allerdings kaum werden, wenn je Zustandsmerkmal 3 bis 5 diskrete Werte untersucht werden und wenn dadurch der gesamte Variationsbereich abgedeckt wird. Wem eine solche Approximation noch zu grob erscheint, der mag die Anzahl der diskreten Werte noch erhöhen - freilich zu Lasten der Lösbarkeit.

5.3 Zum Rechenzeit- und Speicherplatzbedarf

Der Rechenzeit- und Speicherbedarf hängt in entscheidendem Maße ab von

- der Zahl der stochastisch bedingten Entwicklungsalternativen in einer Periode ($j = 1, \ldots, J$),
- der Zahl der Zustandsvariablen, die auch von j beeinflußt werden ($l = 1, \ldots, L_1$),
- der Zahl der übrigen Zustandsvariablen ($l = L_1 + 1, \ldots, L_2$),
- den Zahlen der diskreten Werte M_l, die die einzelnen Zustandsvariablen l annehmen können.

Zusätzlich zu denjenigen Erweiterungen, die die Einbeziehung von Investitionen und Finanzierung erforderlich macht, wird die Matrix um

$$NR = (2 \cdot J - 2) \cdot L_1 + 3 \cdot L_2 + \sum_{l=1}^{L_2} M_l \qquad (6)$$

Zeilen und um

$$NC = J \cdot (L_1 + \sum_{l=1}^{L_2} M_l) + \sum_{l=L_1+1}^{L_2} M_l + 2 \cdot \prod_{l=1}^{L_2} M_l \qquad (7)$$

Spalten erweitert. Für ein Beispiel mit $J = 4$, $L_1 = 1$, $L_2 = 3$, $M_1 = 4$, $M_2 = 3$ und $M_3 = 3$ waren also 25 zusätzliche Zeilen und 98 zusätzliche Spalten zu formulieren (einschließlich der 36 B-Vektoren). Dieser Mehraufwand ist im Gegensatz zu allen Simultanansätzen unabhängig von der Zahl der Planungsperioden. Hier nun liegt ein großer Vorzug des Modells: Der Rechenzeitaufwand steigt nur noch linear mit der Zahl der Planungsperioden an. Da außerdem relativ kleine Matrizen operiert werden können, ist auch die - ohnehin nicht sehr aufwendige - Evaluierung vieler alternativer B-Vektoren gut vertretbar. Bedeutsam kann für einige Anwender auch die Tatsache sein, daß bei jeder Optimierung nur jeweils eine einperiodige Teilmatrix operiert wird, so daß sich dieses Verfahren auch auf relativ kleinen Rechnern anwenden läßt.

5.4 Zum Informationsgehalt der Resultate

Da in jeder Periode für jeden als möglich definierten Zustand eine optimale Politik berechnet werden muß (damit dieser Zustand bewertet werden kann), liefert das LP/DP-Modell eine Fülle von Informationen und Empfehlungen gerade auch für die nicht normalen Fälle. Der Benutzer weiß, welche Entscheidung er treffen wird, wenn er wider Erwarten eine Mißernte hinnehmen muß. Seine Entscheidungen sind damit nicht nur objektiv, sondern auch subjektiv besser abgesichert, und die Bereitschaft, sie zu realisieren, ist dadurch in der Regel größer.

6 Vorgesehene Anwendungsgebiete und Anwendungserleichterungen

Für die praktische Nutzung dieses Modellkonzeptes empfiehlt sich die Verwendung eines benutzerfreundlichen LP-Systems, das in seiner Steuersprache den Zugriff auf einzelne Ergebnisse und daraus abgeleitete Koeffizientenänderungen erlaubt. Damit nämlich lassen sich die rekursiven Lösungs- und Bewertungsschritte automatisieren und außer dem Arbeitsaufwand auch die Fehlermöglichkeiten einschränken. Soll aber ein solcher Ansatz überhaupt in nennenswertem Umfange eingesetzt werden, so sind auch die dazu erforderlichen Matrixerweiterungen weitgehend automatisch zu erzeugen. Für die rein monetären Matrixteile und den Resultatauswertungsbereich ist das möglich; die stochastisch bedingten Unterschiede bei den Ein- und Auszahlungen dagegen müssen für den Einzelfall spezifiziert werden, ebenso die Faktorressourcen und die Kreditaufnahmerestriktionen. Grundsätzlich ist auch das leichter zu bewerkstelligen, wenn man eine größere Anzahl von Betrieben mit ähnlicher Problemstellung (z.B. vor einer Investition in Bewässerungsanlagen) untersucht. Aus diesem Grunde ist beabsichtigt, zunächst nur für solche speziellen Gruppen Matrizen zu erzeugen und Optimierungen durchzuführen.

Literatur

1 BECKMANN, M.J.: Dynamic Programming of Economic Decisions. Berlin-Heidelberg-New York, 1968.

2 BELLMAN, R.: Dynamic Programming Princeton 1957.

3 BELLMAN, R. and S.E. DREYFUS: Applied Dynamic Programming. Princeton 1962.

4 BOOT, J.C.G.: Mathematical Reasoning in Economics and Management Science. Englewood Cliffs, 1967.

5 CANDLER, W.: Reflections on Dynamic Programming Models. Journal of Farm Econ. 42 (1960), H. 4, S. 920.

6 DAY, R.H.: Recursive Programming and Production Response. Amsterdam 1963.

7 HANF, E.: Mathematische Modelle als Entscheidungshilfen - gegenwärtiger Stand, neuere Entwicklungen. Schriften der Gewisola, Bd. 13, München-Bern-Wien, 1976.

8 HINRICHS, P.: Optimale Ausnutzung eines Zuckerrübenabsatzkontingentes bei unsicherer Ertragserwartung. Agrarwirtschaft, 19 (1970), H. 2, S. 65 - 67.

9 HINRICHS, P.: Die Formulierung und dynamische Optimierung von Entscheidungssequenzen. Meisenheim 1974.

10 JOHNSTON, J.: Dynamic Programming and the Theory of the Firm (mit Diskussion). Journal of Agricultural Economics (Reading) 16 (1965).

11 KÖGL, H.: Integrierte Finanz- und Investitionsplanung unter Unsicherheit. Referat auf der 18. Jahrestagung der Gewisola, Weihenstephan 1977.

12 KAUFMANN, A. und R. CRUON: La Programmation Dynamique: Gestion Scientifique Sequentielle Paris, 1965.

13 SCHMIDT, B.: Die Wirtschaftlichkeit des Beregnungseinsatzes und Entwicklungsmöglichkeiten landwirtschaftlicher Betriebe auf beregnungsbedürftigen Standorten (noch unveröffentlichte Dissertation).

14 STANCU-MINASIAN, J.M. and M.J. WETS: A Research Bibliography in Stochastic Programming 1955 - 1975. Operations Research 24 (1976).

15 TIMM, E.: Das Investitionsrisiko im investitionstheoretischen Ansatz. Berlin-München 1976, S. 136 - 162.

16 WENTZEL, J.S.: Elemente der Dynamischen Programmierung. München-Wien 1966.

17 WHITE, D.J.: Dynamic Programming. Edinburgh-London-San Francisco, 1969.

18 WONG, P.J.: A new Decomposition Procedure for Dynamic Programming. Operations Research 18 (1970).