Die Berücksichtigung von Unsicherheit und Flexibilität in der Investitionsplanung – dargestellt am Beispiel einer Vertragsinvestition für Roggen

Adequate consideration of uncertainty and flexibility in investment planning – the example of a purchasable sales contract with fixed prices

Oliver Mußhoff und Norbert Hirschauer
Humboldt-Universität zu Berlin

Zusammenfassung

Investitionsentscheidungen sind i.d.R. durch Unsicherheit, Irreversibilität und zeitliche Flexibilität gekennzeichnet. Bei einfachen Kapitalwertberechnungen wird dies nicht berücksichtigt. Aber auch die flexible Investitionsplanung mit Hilfe von Entscheidungsbäumen, die den am weitesten entwickelten Baustein traditioneller Investitionsrechenverfahren darstellt, ist oftmals nicht flexibel genug, um praktische Entscheidungsprobleme adäquat zu analysieren. Eine Schwierigkeit besteht darin, die Unsicherheit, d.h. die stochastischen Prozesse von Zufallsvariablen, in realistischer Weise zu berücksichtigen. Die größtmögliche Flexibilität zur Abbildung von Unsicherheit gewährleistet die stochastische Simulation. Eine einfache Standardsimulation ist allerdings aufgrund der vorwärts gerichteten Vorgehensweise nicht in der Lage, zeitliche Flexibilität zu berücksichtigen. In diesem Beitrag wird ein leicht handhabbares Verfahren aufgezeigt, das zur Analyse von Entscheidungsproblemen bei Unsicherheit und Flexibilität geeignet ist. Dabei wird die stochastische Simulation in einen dynamischen Programmierungsablauf integriert. Dieses Verfahren wird als „begrenzt rekursiv stochastische Simulation" (BRSS) bezeichnet. Es wird auf die Fragestellung angewendet, ob landwirtschaftliche Unternehmen Lieferlizenzen für Roggen mit einem garantierten Abnahmepreis kaufen sollten, wie sie in den neuen Bundesländern vor kurzer Zeit von einem großen Landhandelsunternehmen angeboten wurden. Die Modellergebnisse verdeutlichen zum einen, dass die Berücksichtigung von Unsicherheit und zeitlicher Flexibilität in der Investitionsplanung von großer Bedeutung ist. Zum anderen zeigen sie, dass die Lieferlizenzen bei den aktuellen Konditionen nur von extrem risikoaversen Landwirten unverzüglich gekauft werden sollten. Sie bestätigen somit das empirisch zu beobachtende Entscheidungsverhalten der Landwirte, die sich bisher nicht auf den Vertrag einlassen.

Schlüsselwörter

Investition; Unsicherheit; Flexibilität; stochastische Simulation; dynamische Programmierung; Lieferlizenzen mit Festpreisen

Abstract

Investment decisions are, as a rule, characterized by uncertainty, irreversibility and flexibility. Simple net present value calculations will not account for these features. In many situations even flexible investment planning with decision trees, which represents the most advanced method of traditional investment appraisal, does not have the capacity to solve practical decision problems adequately. One handicap is a realistic and manageable representation of stochastic variables. It has long been known that stochastic simulation procedures offer a nearly unlimited capacity to represent distributions and stochastic processes. However, a standard simulation will not allow for the consideration of flexibility. The problem is that with a simple forward moving simulation of stochastic paths it is not clear at potential investment dates whether waiting or investing represents the optimal strategy. In this paper we show how stochastic simulation procedures can be integrated successfully into a backward recursive programming approach. The resulting modus operandi can be called "Bounded Recursive Stochastic Simulation" (BRSS). We use this efficient combination of simulation and dynamic programming to answer the question whether farmers should buy sales contracts which guarantee fixed prices for rye in the future. The results of the model affirm the importance of uncertainty and flexibility for investment decisions. They also show that the actual conditions offered by the wholesale buyer are not economically attractive for farmers, unless they are extremely risk averse. Thus, model results coincide with the empirical evidence that farmers do not enter these contracts.

Key words

investment; uncertainty; flexibility; stochastic simulation; dynamic programming; sales contracts with fixed prices

1. Einleitung

Üblicherweise wird die Vorteilhaftigkeit einer Investition mit Hilfe des Kapitalwertkriteriums beurteilt (vgl. z.B. BRANDES und ODENING, 1992; KRUSCHWITZ, 2003). In seiner einfachen Form wird allerdings vernachlässigt, dass jede Investitionsplanung mit Unsicherheit behaftet ist und in aller Regel zeitliche Flexibilität hinsichtlich der Annahme einer Investition besteht.

Aus normativer Sicht führt die Berücksichtigung von zeitlicher Flexibilität dazu, dass man eine Investition erst dann durchführen sollte, wenn ihre Rentabilität zu keinem späteren Zeitpunkt höher ist. Mit anderen Worten: Die Berücksichtigung der Opportunitätskosten der unverzüglichen Investitionsdurchführung kann dazu führen, dass noch nicht investiert werden sollte, auch wenn die Investitionskosten gedeckt sind und damit der Kapitalwert positiv ist. Vielmehr wird die Investitionsschwelle nach oben verschoben. Wird neben der zeitlichen Flexibilität auch Unsicherheit berücksichtigt, dann verstärkt sich dieser Effekt, weil man eine positive Entwicklung der Rahmenbedingungen abwarten kann, ohne bei einer eventuell negativen Entwicklung zu einer Investitionsdurchführung verpflichtet zu sein. Die kombinierte Berücksichtigung von Unsicherheit und zeitlicher Flexibilität stellt methodisch ein dynamisch stochastisches Planungsproblem dar.

Zur Analyse von Entscheidungssituationen unter Berücksichtigung von Unsicherheit und zeitlicher Flexibilität wurde in der Vergangenheit insbesondere das Entscheidungsbaumverfahren vorgeschlagen (vgl. z.B. LAUX, 1971; HANF, 1986). Zwar sind Entscheidungsbäume grundsätzlich dazu geeignet, Unsicherheit und Flexibilität gleichzeitig zu berücksichtigen. Allerdings werden sie schnell sehr aufwendig. Zudem lässt sich die Unsicherheit, die sich in verschiedensten stochastischen Prozessen für die Zufallsvariablen äußern kann, oftmals gar nicht abbilden.

In diesem Beitrag wird ein effizientes und gleichzeitig intuitiv leicht verständliches simulationsbasiertes Verfahren zur kombinierten Berücksichtigung von Unsicherheit und zeitlicher Flexibilität systematisch dargestellt. Dies geschieht anhand des folgenden praktischen Entscheidungsproblems: Ein großes ostdeutsches Landhandelsunternehmen hat den Landwirten im Jahr 2003 Roggenlieferlizenzen zum Kauf angeboten. Der Kauf einer Lizenz würde den Landwirt einerseits dazu verpflichten, über einen Zeitraum von zehn Jahren jährlich fünf Tonnen Roggen an das Landhandelsunternehmen zu liefern. Andererseits würde der Preis auf 90 € je Tonne fixiert und damit unabhängig von der zukünftigen Entwicklung der Marktpreise für Roggen gezahlt. Für den Erwerb einer Lieferlizenz müsste der Landwirt einmalig zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses 250 € zahlen, also 50 € je jährlich zu liefernder Tonne Roggen. Diesen Betrag will das Landhandelsunternehmen für die Errichtung einer Bio-Ethanolanlage verwenden. Aufgrund der geringen Standort- und Fruchtfolgeansprüche des Roggens und mangelnder Alternativen in der Wirtschaftlichkeit sind Landwirte in vielen Regionen quasi dazu gezwungen, Roggen anzubauen. In Verbindung mit den jüngsten GAP-Reformplänen, die eine Abschaffung der Roggenintervention vorsehen, stellt sich somit die Frage, ob der Kauf einer solchen Lizenz sinnvoll ist.

Offensichtlich kann diese Fragestellung als klassisches Investitionsproblem verstanden werden: Die Investitionskosten betragen 50 € je Tonne. Die Nutzungsdauer beträgt zehn Jahre und die unsicheren Investitionsrückflüsse entsprechen der Differenz zwischen dem garantierten Preis und dem sich tatsächlich einstellenden unsicheren Marktpreis. Im Gegensatz zu üblichen Anlageinvestitionen rentiert sich diese Vertragsinvestition umso mehr, je geringer der zukünftige Produktpreis ausfällt. Ferner sind die beiden bereits angesprochenen Charakteristika einer Investitionsentscheidung auch für die hier vorliegende Fragestellung relevant: (i) Die Unsicherheit zukünftiger Marktpreise bedarf keiner weiteren Erklärung. (ii) Zeitliche Flexibilität liegt vor, wenn man - wie im Folgenden - davon ausgeht, dass solche Verträge auch in Zukunft angeboten werden. Anstelle einer unverzüglichen Investitionsdurchführung könnten Landwirte also auch später über den Kauf einer Lizenz entscheiden.

Der folgende Abschnitt 2 verdeutlicht in aller Kürze die Begrenzungen der traditionellen Verfahren der Investitionsrechnung inkl. der Entscheidungsbäume. Darauf aufbauend wird in Abschnitt 3 ein praktikables Verfahren zur kombinierten Berücksichtigung von Unsicherheit und Flexibilität aufgezeigt, das die stochastische Simulation in einen dynamischen Programmierungsablauf integriert. In Abschnitt 4 wird dieses als „begrenzt rekursiv stochastische Simulation“ (BRSS) bezeichnete Verfahren angewendet, um die optimale Handlungsstrategie bezüglich der Annahme bzw. Ablehnung der Lieferlizenz für Roggen abzuleiten. Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick (Abschnitt 5).

2. Zur Problematik traditioneller Investitionsrechenverfahren bei Unsicherheit und Flexibilität

2.1 Systematik der traditionellen Verfahren

Die einzelnen Stufen von einer einfachen deterministischen Investitionsplanung bis hin zur Investitionsplanung unter Berücksichtigung von Unsicherheit und zeitlicher Flexibilität lassen sich wie folgt zusammenfassen (vgl. Abbildung 1):

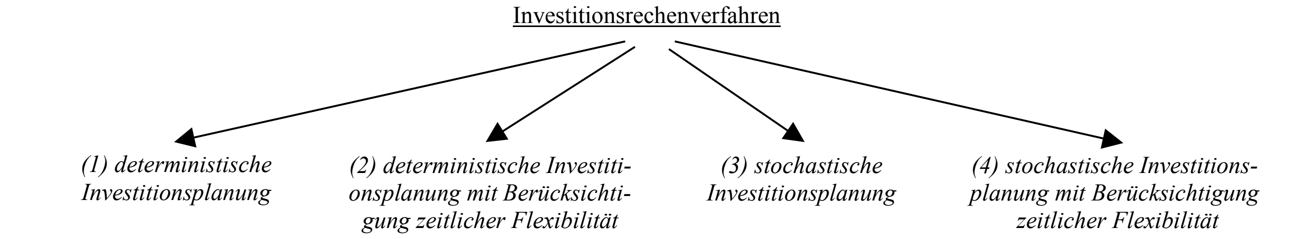
(1) Im Sinne einer Modellvereinfachung werden bei einer deterministischen Planung einwertige Annahmen anstelle von Zufallsvariablen berücksichtigt. Verwendet man den Kapitalwert als Investitionskalkül, so sollten Investitionen dann durchgeführt werden, wenn der Barwert der zukünftigen Rückflüsse die Investitionskosten übersteigt.

(2) Eine deterministische Betrachtung ermöglicht ohne weiteres die Berücksichtigung von zeitlicher Flexibilität über den einfachen Vergleich verschiedener, zeitlich versetzter Investitionsalternativen. Dies mündet in dem allseits bekannten Merksatz: „Wähle von zwei sich ausschließenden Investitionsalternativen diejenige mit dem höheren Kapitalwert“.

(3) Risiko wird allerdings in deterministischen Berechnungen modellendogen nicht berücksichtigt. Einen Übergang zu einer stochastischen Betrachtung bilden Variantenrechnungen verschiedenster Prägung (Sensitivitätsanalysen, Break-Even-Point-Analysen etc.). Allerdings werden hier nach wie vor keine Verteilungsinformationen berücksichtigt. Eine gezielte und relativ einfache Verarbeitung solcher Informationen ist im Rahmen der stochastischen Simulation möglich. Durch eine tausendfach wiederholte „Ziehung“ der Zufallsvariablen, die nach Maßgabe der vorgegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilung bzw. des stochastischen Prozesses erfolgt, wird im Ergebnis ein wahrscheinlichkeitsverteilter Kapitalwert berechnet.

(4) Die vorwärts gerichtete Simulation tausender möglicher Entwicklungspfade stochastischer Variablen macht aber zunächst die Berücksichtigung der zeitlichen Flexibilität unmöglich. Zwar kann im Rahmen einer Simulation für jeden beliebigen späteren Durchführungszeitpunkt der erwartete Kapitalwert berechnet werden. Zur Bestimmung des Wertes der Alternative „Warten“ muss jedoch die optimale Handlungsstrategie zu allen potenziellen Investitionszeitpunkten bekannt sein. Die optimale Strategie kann nicht vorwärts gerichtet bestimmt werden, weil man zunächst nicht weiß, wie man sich in Zukunft optimalerweise verhalten soll. Deshalb wird im Rahmen von Entscheidungsbäumen ausgehend von einer zustandsdiskreten (i.d.R. binomialen) Abbildung stochastischer Prozesse die optimale Strategie rückwärts rekursiv bestimmt.

Abbildung 1. Systematik der Verfahren der traditionellen Investitionsrechnung



2.2 Grundsätzliches Problem der flexiblen Investitionsplanung

Der Kapitalwert NPV_t einer Investition, die innerhalb eines bestimmten Zeitraumes T zu verschiedenen Zeitpunkten t ($t = 0,1,...,T$) durchgeführt werden kann, ist ganz allgemein wie folgt zu berechnen:

(1) $NPV_t = V_t - I$, mit

$$V_t = \sum_{\omega=t+1}^{t+Z} \left(E_\omega - A_\omega\right) \cdot e^{-r\cdot(\omega - t)}$$

Dabei kennzeichnet V_t den Barwert der Investitionsrückflüsse, I die Investitionskosten sowie E_ω die Einzahlungen und A_ω die Auszahlungen in der jeweiligen Produktionsperiode ω ($\omega = t+1, t+2,..., t+Z$). Z entspricht der Nutzungsdauer der Investition und e der EULERschen Zahl. Unter der vereinfachenden Annahme eines vollkommenen Kapitalmarktes diskontiert ein risikoneutraler Entscheidungsträger mit r, d.h. dem risikolosen Zinssatz bei zeitstetiger Verzinsung, zu dem beliebig viel Kapital geliehen oder angelegt werden kann.

Bezogen auf die Roggenlieferlizenz entspricht E_ω den zukünftigen Einzahlungen der Vertragsinvestition in Form des garantierten Preises P^G und A_ω den Auszahlungen in Form der entgehenden unsicheren Marktpreise P_ω. Positive Nettorückflüsse $E_\omega - A_\omega$ bzw. $P^G - P_\omega$ ergeben sich also immer dann, wenn der Marktpreis unter dem Garantiepreis liegt.

Bei einer unverzüglichen Investitionsentscheidung ist ein nicht-negativer Kapitalwert zu erzielen:

(2) $i_t = \max\left(0, NPV_t\right)$

$\max(\cdot)$ beschreibt den Maximumsoperator. Begründet ist die Nicht-Negativität des Wertes einer Investitionsmöglichkeit in der freien Wahl zur Durchführung. Wird die Investitionsdurchführung hinausgezögert, so ist ein sog. Fortführungswert f_t zu erzielen:

(3) $f_t = E\left(F_{t+1}\right) \cdot e^{-r}$

Dabei kennzeichnet $E(\cdot)$ den Erwartungswertoperator und F_{t+1} den Wert der Investition im nächst folgenden potenziellen Durchführungszeitpunkt $t+1$. Der Fortführungswert entspricht also dem diskontierten Wert der Investition, den diese angesichts der stochastischen Entwicklung der Zufallsvariablen und bei optimaler Handlungsstrategie im Zeitpunkt $t+1$ hat. Sofortiges Investieren bedeutet eine Realisation des nicht-negativen Kapitalwertes und eine gleichzeitige Vernichtung des Fortführungswertes. Ein rational handelnder Investor wird deshalb nur dann unverzüglich investieren, wenn der nicht-negative Kapitalwert den alternativ zu erzielenden Fortführungswert überschreitet. Andernfalls stellt Warten die zu bevorzugende Handlungsstrategie dar. Der Wert der Investition F_t entspricht demnach dem Maximum aus dem nicht-negativen Kapitalwert i_t und dem Fortführungswert f_t:

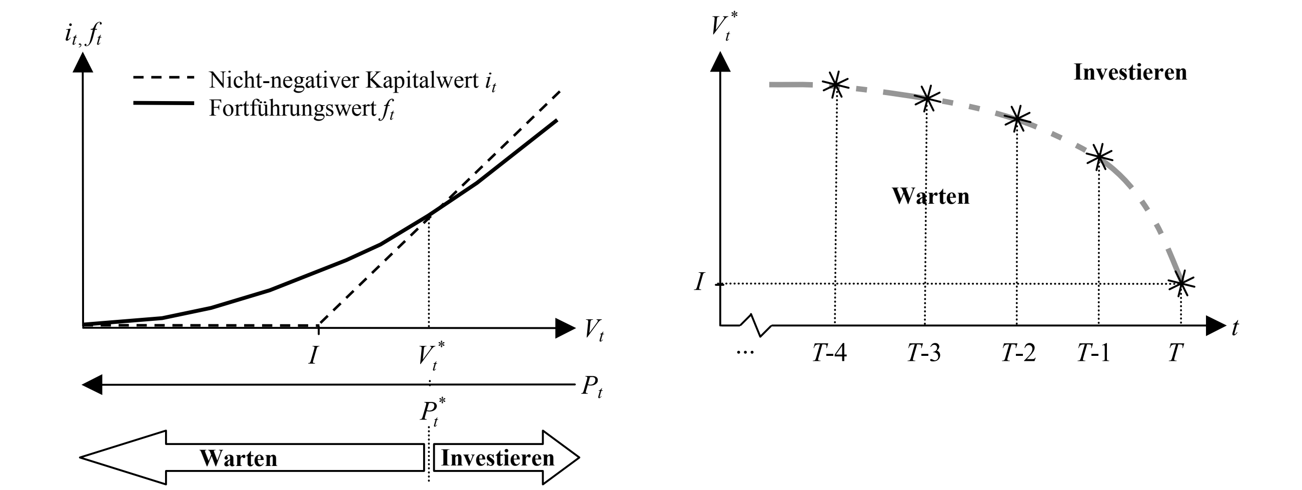
(4) $F_t = \max\left(i_t, f_t\right)$

Da in die Berechnung des Fortführungswertes f_t der Erwartungswert für die Investition im nächst folgenden potenziellen Durchführungszeitpunkt $t+1$ einfließt, handelt es sich bei der Bestimmung des Wertes der Investitionsmöglichkeit F_t um ein zeitlich interdependentes Entscheidungsproblem.

Bei einem niedrigen aktuellen Marktpreis für Roggen ist der bei unverzüglicher Investitionsdurchführung zu erzielende nicht-negative Kapitalwert i_t höher als der Fortführungswert f_t. In diesem Fall wäre eine sofortige Vertragsunterzeichnung anzuraten. Bei einem hohen Marktpreis kann dagegen Warten vorteilhaft sein. In Abbildung 2 (linke Bildhälfte) ist der Funktionsverlauf von nicht-negativem Kapitalwert und Fortführungswert in Abhängigkeit vom erwarteten Gegenwartswert der Investitionsrückflüsse V_t für *einen* beliebigen potenziellen Durchführungszeitpunkt t schematisch dargestellt. Bildlich gesprochen sollte die Investition bei einem Barwert der Investitionsrückflüsse V_t links des Schnittpunktes zwischen nicht-negativem Kapitalwert und Fortführungswert nicht unverzüglich initiiert werden; rechts davon ist eine sofortige Realisierung der Investition anzuraten. Der Barwert bzw. Preis, bei dem sich die Funktionen für den nicht-negativen Kapitalwert und den Fortführungswert schneiden, wird als investitionsauslösender Wert, Trigger oder kritischer Wert bezeichnet.[1]

[1] Stopp- und Fortführungsregion zu einem potenziellen Durchführungszeitpunkt sind unter bestimmten Regularitätsbedingungen immer eindeutig durch einen kritischen Wert voneinander getrennt. Die Regularitätsbedingungen fordern, dass der nicht-negative Kapitalwert und der Fortführungswert monotone Funktionen des Barwertes der Investitionsrückflüsse sind. Zudem verlangen sie eine positive Persistenz des stochastischen Prozesses, d.h. die Verteilungsfunktion des Barwertes im Zeitpunkt $t+1$ muss nach rechts (links) verschoben sein, sobald der Wert in t steigt (fällt) (vgl. DIXIT and PINDYCK, 1994: 129).

Abbildung 2. Verhältnis zwischen nicht-negativem Kapitalwert und Fortführungswert (links; $t < T$) und kritischer Pfad (rechts)



Während sich die linke Darstellung in Abbildung 2 nur auf einen Zeitpunkt bezieht, sind in der rechten Darstellung die kritischen Barwerte zu *verschiedenen* potenziellen Durchführungszeitpunkten angezeigt. Jeder der kleinen Sterne entspricht dem für einen potenziellen Durchführungszeitpunkt geltenden kritischen Wert. In ihrer Gesamtheit ergeben die kritischen Werte den sog. kritischen Pfad. Der kritische Pfad, der unabhängig vom gegenwärtig erwarteten Barwert für die Investitionsrückflüsse gilt, definiert also die optimale Handlungsstrategie zu allen potenziellen Durchführungszeitpunkten. Bildlich gesprochen wird oberhalb des kritischen Pfades sofort investiert und unterhalb die weitere Entwicklung der Roggenpreise abgewartet. Charakteristisch für den Verlauf des kritischen Pfades ist die exponentielle Abnahme, die Ausdruck der sich mit der Abnahme des potenziellen Durchführungszeitraumes verringernden unternehmerischen Handlungsflexibilität ist. Das bedeutet, dass der Investor mit der Abnahme des potenziellen Durchführungszeitraumes immer weniger zurückhaltend beim Kauf der Lieferlizenz sein sollte. Da im letzten möglichen Durchführungszeitpunkt T keine zeitliche Flexibilität mehr vorhanden ist, wird ein risikoneutraler Entscheider jede Investition mit einem positiven Kapitalwert durchführen.

2.3 Anwendungsgrenzen des Entscheidungsbaumverfahrens bei der Berücksichtigung von Unsicherheit und Flexibilität

Zur Analyse von zeitlich interdependenten Entscheidungsproblemen wurde in der Vergangenheit insbesondere das Entscheidungsbaumverfahren vorgeschlagen. Grundsätzlich werden in einem Entscheidungsbaum alle Entscheidungsalternativen und alle potenziellen Umweltzustände bzw. Ereignisse in einer baumartigen Struktur grafisch dargestellt und mit diskreten Wahrscheinlichkeiten belegt. Zur Bestimmung der optimalen Handlungsstrategie findet die dynamische Programmierung (vgl. BELLMAN, 1957) Anwendung. Die Grundidee besteht darin, das Entscheidungsproblem rückwärts rekursiv, d.h. beginnend vom letzten möglichen Entscheidungszeitpunkt T zu lösen. Für diesen ist die Entscheidungsregel im Sinne eines kritischen Barwertes der Investitionsrückflüsse einfach abzuleiten: Es liegt keine zeitliche Flexibilität mehr vor. Also wird man jede Investition durchführen, bei der die Investitionskosten gedeckt sind, d.h. die einen positiven Kapitalwert besitzt. Im vorletzten Entscheidungszeitpunkt wird man eine Investition dann initiieren, wenn der dabei zu erwartende Kapitalwert mindestens gleich hoch ist wie der diskontierte erwartete Kapitalwert im letzten möglichen Durchführungszeitpunkt. In dieser Weise hangelt man sich bis zur „Wurzel“ des Entscheidungsbaumes vor.

Im Rahmen des Entscheidungsbaumverfahrens wird eine flexible Investitionsstrategie bestimmt, die im Sinne sequenzieller Entscheidungen die zu zukünftigen Zeitpunkten neu eingehenden Informationen berücksichtigt. Der optimale Investitionszeitpunkt ist nicht im Planungszeitpunkt bestimmbar, sondern wird erst bei Bekanntwerden des realisierten Umweltzustandes festgelegt. Der optimale Investitionszeitpunkt entspricht dem (unbekannten) Zeitpunkt, zu dem die Investitionsrückflüsse zum ersten Mal einen kritischen Wert erreichen (flexible Investitionsplanung; vgl. INDERFURTH, 1982). Was in zukünftigen Entscheidungszeitpunkten zu geschehen hat, wird nicht vorab festgelegt. Stattdessen werden für künftige Entscheidungszeitpunkte Eventualpläne aufgestellt.

Entscheidungsbäume erzwingen eine gute Strukturierung des Planungsproblems und zur Lösung sind nur wenige analytische Erfahrungen notwendig. Ein allgemein bekanntes Problem des Entscheidungsbaumverfahrens ist jedoch, dass aus Entscheidungsbäumen schnell unüberschaubare und schwer zu handhabende „Entscheidungsbüsche“ werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn stochastische Prozesse berücksichtigt werden müssen, die sich nicht binomial über einfache Wahrscheinlichkeiten abbilden lassen, oder wenn mehrere Unsicherheitsfaktoren zu berücksichtigen sind.[2] Außerdem bereitet die Bestimmung eines geeigneten Diskontierungssatzes wegen der in der

[2] Zu Entscheidungs- oder Zustandsnetzen, die vielfach zur Analyse von Entscheidungsproblemen mit multiplen Unsicherheitsquellen herangezogen werden, vgl. RECKE und LESERER (2001).

Praxis kaum zu quantifizierenden Risikoeinstellung Schwierigkeiten.[3]

3. Die begrenzt rekursiv stochastische Simulation

Im Folgenden wird die stochastische Simulation mit der dynamischen Programmierung kombiniert. Dabei werden die Vorteile beider Verfahrenselemente miteinander vereint: die größtmögliche Flexibilität hinsichtlich einer realistischen Modellierung der Unsicherheit und die grundsätzliche Möglichkeit der gleichzeitigen Berücksichtigung von Unsicherheit und zeitlicher Flexibilität der Investitionsdurchführung. Die aus optionstheoretischen Anwendungen (vgl. GRANT et al., 1997) abgeleitete simulationsbasierte und gleichzeitig rückwärts rekursive Vorgehensweise wird von uns als „begrenzt rekursiv stochastische Simulation“ (BRSS) bezeichnet. Mittels BRSS wird „von hinten her kommend“ zu jedem potenziellen Durchführungszeitpunkt der Barwert der Investitionsrückflüsse gesucht, bei dem sich die Handlungsstrategie bzgl. Warten bzw. Investieren ändert; mathematisch geht es also um die Bestimmung des Schnittpunktes zwischen nicht-negativem Kapitalwert und Fortführungswert (vgl. Abbildung 2). Nachdem der kritische Pfad bekannt ist, kann der Wert der Lieferlizenz mittels einfacher stochastischer Simulation vorwärts gerichtet berechnet werden. Die BRSS erlaubt letztendlich auch bei multiplen stochastischen Variablen und komplexen stochastischen Prozessen eine handhabbare Berücksichtigung von Unsicherheit und zeitlicher Flexibilität. Das Problem der adäquaten Berücksichtigung der subjektiven Risikoeinstellungen der Entscheider bleibt allerdings weiterhin bestehen. Eine technische Umsetzung der BRSS ist bspw. problemlos in MS-EXCEL möglich (vgl. MUßHOFF und HIRSCHAUER, 2003, Kapitel 5).

Bei der begrenzt rekursiv stochastischen Simulation ergibt sich folgendes Ablaufschema:

Schritt 1: Bestimmung der kritischen Werte im letzten potenziellen Durchführungszeitpunkt

Ausgangspunkt der rekursiven Bewertung sind die kritischen Werte im letzten potenziellen Durchführungszeitpunkt T. Zu diesem Zeitpunkt gibt es keine zeitliche Flexibilität mehr und die Investition wird durchgeführt, wenn der Barwert der Investitionsrückflüsse V_T die Investitionskosten I deckt ($V_T^* = I$). Fragt man danach, welcher (kritische) Roggenpreis einen Barwert in Höhe der Investitionskosten liefert, so ist zunächst die erwartete zukünftige Preisentwicklung zu spezifizieren. Kann der gegenwärtig beobachtete Roggenpreis als beste Annahme in die Zukunft fortgeschrieben werden (homogene Investitionsrückzahlungen), dann entspricht der kritische Roggenpreis dem zugesicherten Festpreis abzüglich der durchschnittlichen jährlichen Kosten der Investition. Bei Vorliegen eines positiven (negativen) Trends sind die Investitionskosten bei einem geringeren (höheren) anfänglichen Roggenpreis gedeckt. Bei solchen heterogenen, aber systematisch steigenden bzw. fallenden Investitionsrückzahlungen kann der kritische Roggenausgangspreis P_T^* unter Verwendung eines „modifizierten Wiedergewinnungsfaktors“ aus dem kritischen Barwert der Investitionsrückflüsse V_T^* bestimmt werden. Die Kenntnis des kritischen Barwertes und Preises im letzten möglichen Durchführungszeitpunkt ist Voraussetzung für die weiteren Berechnungen.

Schritt 2: Bestimmung der kritischen Werte im vorletzten potenziellen Durchführungszeitpunkt

Grundsätzlich entspricht der kritische Wert dem Barwert der Investitionsrückflüsse bzw. dem Preis, bei dem der nicht-negative Kapitalwert und der Fortführungswert identisch sind. Bei der Bestimmung des kritischen Barwertes V_{T-1}^* bzw. kritischen Preises P_{T-1}^* im vorletzten möglichen Durchführungszeitpunkt $T-1$ ist wie folgt vorzugehen (vgl. Abbildung 3):

Schritt 2.1: Festlegung von Testbarwerten und Testpreisen

Es wird ein relativ großer Parametrisierungsbereich für den Barwert der Investitionsrückflüsse (und damit auch für den Roggenpreis) vorgegeben. Aufgrund des exponentiell abfallenden Verlaufs des Pfades ist klar, dass der kritische Barwert des nachfolgenden potenziellen Durchführungszeitpunktes (hier: V_T^*) die Untergrenze für den kritischen Wert des betrachteten Zeitpunktes darstellt („begrenzt“). Die Obergrenze muss in jedem Fall pragmatisch gewählt werden. Der gewählte Bereich wird in $N-1$ gleich große Intervalle unterteilt, deren Grenzen die einzelnen Testbarwerte ${}_nV_{T-1}$ ($n = 1,2,...,N$) definieren. Die dazugehörigen Testpreise ${}_nP_{T-1}$ werden mittels des ggf. modifizierten Wiedergewinnungsfaktors (s.o.) bestimmt.

Schritt 2.2: Bestimmung der Fortführungswerte mittels stochastischer Simulation

Ausgehend von jedem Testpreis ${}_nP_{T-1}$ werden auf der Grundlage derselben Zufallszahlenfolge Simulationsläufe s ($s = 1,2,...,S$) durchgeführt. Die Entwicklungspfade basieren auf der zeitdiskreten und zustandsstetigen Version eines vorgegebenen stochastischen Prozesses. Für jeden Testpreis wird der Fortführungswert ${}_n^sf_{T-1}$ während jedes Simulationslaufs als diskontierter Rückfluss der optimalen Investitionsentscheidung bestimmt:

$$(5)\quad {}_n^sf_{T-1} = \max\left(0, {}_n^sV_T - I\right) \cdot e^{-r}$$

[3] Der Realoptionsansatz, der ebenfalls die kombinierte Berücksichtigung von Unsicherheit und Flexibilität erlaubt, *scheint* zunächst einen Ausweg aus diesem Dilemma zu bieten. Er unterstellt, dass der Parameter „subjektive Risikoeinstellung“ nicht benötigt wird (vgl. z.B. MCDONALD and SIEGEL, 1986; DIXIT and PINDYCK, 1994 oder TRIGEORGIS, 1996), d.h. zur Diskontierung des Erwartungswertes zukünftiger Zahlungsströme der risikolose Zinssatz verwendet werden kann. Dies ist jedoch an die Annahme vollständiger Märkte geknüpft, die bei genauerer Betrachtung in der Realität nur in Ausnahmefällen vorliegen (vgl. MUßHOFF und HIRSCHAUER, 2003).

Nach einer hinreichend hohen Anzahl an Simulationsläufen S wird der Erwartungswert für den Fortführungswert ${}_{n}f_{T-1}$ wie folgt berechnet[4]:

$$(6) \quad {}_{n}f_{T-1} = \sum_{s=1}^{S} {}_{n}^{s}f_{T-1} \cdot \frac{1}{S}$$

Schritt 2.3: Algorithmische Bestimmung der nicht-negativen Kapitalwerte

Um einen Vergleich zwischen den möglichen Strategien (i) sofortiger Kauf der Lieferlizenz und (ii) Warten vornehmen zu können, wird neben dem erwarteten Fortführungswert für jeden Testbarwert der nicht-negative Kapitalwert ${}_{n}i_{T-1}$ bestimmt:

$$(7) \quad {}_{n}i_{T-1} = \max\left(0, {}_{n}V_{T-1} - I\right)$$

Schritt 2.4: Lineare Interpolation

Praktisch wird es niemals gelingen, ad-hoc einen Testbarwert zu wählen, für den die Identitätsbedingung zwischen nicht-negativem Kapitalwert und Fortführungswert erfüllt ist, d.h. der dem gesuchten kritischen Barwert V_{T-1}^{*} entspricht. Deshalb werden zunächst die beiden Testbarwerte gesucht, bei denen die Differenz zwischen dem nicht-negativen Kapitalwert und dem mittels Simulation bestimmten Fortführungswert das Vorzeichen wechselt. Der zwischen diesen beiden Testbarwerten liegende kritische Wert V_{T-1}^{*} wird mittels Interpolation bestimmt. In dem in Abbildung 3 dargestellten Beispiel muss zwischen den Werten ${}_{4}V_{T-1}$ und ${}_{5}V_{T-1}$ interpoliert werden.

Kontrollschritt: Verminderung des Interpolationsfehlers

Um den Interpolationsfehler so gering wie möglich zu halten, könnte der zunächst pragmatisch gewählte Parametrisierungsbereich durch Verengung hin zum tatsächlichen Schnittpunkt zwischen nicht-negativem Kapitalwert und Fortführungswert angepasst werden und die Schritte 2.2 bis 2.4 erneut durchlaufen werden. Die Ergebnisgenauigkeit reagiert aber nicht sensibel auf die Breite des Parametrisierungsintervalles, solange der Parametrisierungsbereich so weit ist, dass sich die Funktionsabschnitte von nicht-negativem Kapitalwert und Fortführungswert tatsächlich schneiden. Andernfalls muss der Parametrisierungsbereich korrigiert werden, weil der Interpolationsfehler zu hoch wäre.

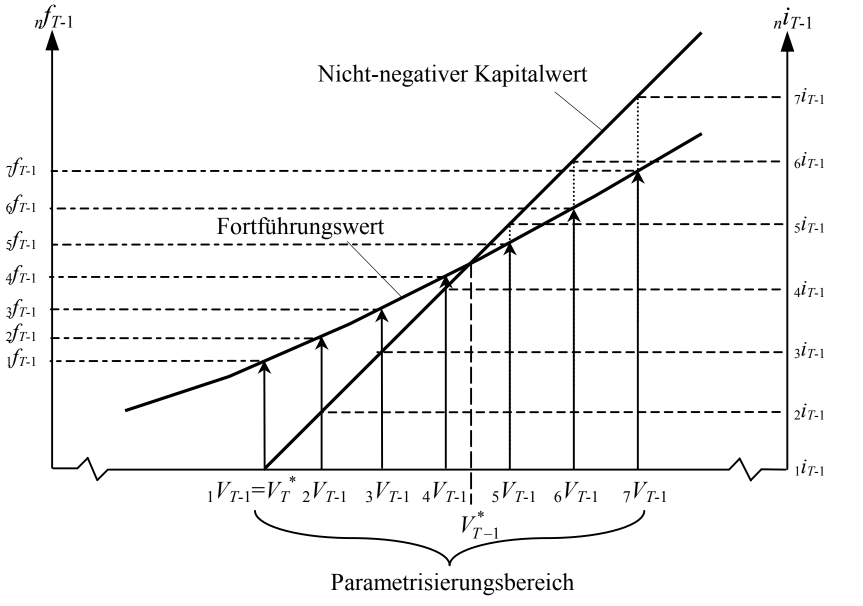
Schritt 3: Bestimmung der kritischen Werte im vorvorletzten potenziellen Durchführungszeitpunkt

Bei der Ermittlung der kritischen Werte im vorvorletzten potenziellen Durchführungszeitpunkt $T-2$ geht es um die Bestimmung des Fortführungswertes einer Investition, die sowohl in $T-1$ als auch in T ausgeübt werden kann. Auch dazu kann die klassische stochastische Simulation zur Anwendung kommen, weil unter Berücksichtigung des zuvor berechneten V_{T-1}^{*} sowie des ohnehin bekannten V_{T}^{*} die zukünftige Handlungsstrategie klar definiert ist. Für die Bestimmung von V_{T-2}^{*} findet die in Schritt 2 dargelegte Vorgehensweise analog Anwendung. Dabei ist einzig die Berechnung des Fortführungswertes für jeden Simulationslauf gemäß dem tatsächlichen Durchführungszeitpunkt κ zu modifizierten:

$$(8) \quad {}_{n}^{s}f_{T-2} = \max\left(0, {}_{n}^{s}V_{\kappa} - I\right) \cdot e^{-r \cdot (\kappa - (T-2))}, \text{ mit}$$

$$\kappa = \begin{Bmatrix} T-1, \text{wenn } {}_{n}^{s}V_{T-1} \geq V_{T-1}^{*} \\ T, \end{Bmatrix}$$

Abbildung 3. Bestimmung des kritischen Barwertes V_{T-1}^{*} unter Verwendung der BRSS



(8) bedeutet, dass die Investition in $T-1$ durchgeführt wird und einen zu diskontierenden nicht-negativen Kapitalwert liefert, wenn der sich dort im Simulationslauf s einstellende Barwert ${}_{n}^{s}V_{T-1}$ größer oder gleich dem bereits bekannten kritischen Barwert V_{T-1}^{*} ist. Andernfalls liefert die Investition einen Rückfluss in Höhe des nicht-negativen Kapitalwertes in T.

Schritt 4: Bestimmung der kritischen Werte zu den verbleibenden potenziellen Durchführungszeitpunkten

Die beschriebene Vorgehensweise findet rückwärts gerichtet für die Berechnung der kritischen Werte zu allen weiteren potenziellen Durchführungszeitpunkten Anwendung. Dabei müssen jeweils alle zuvor bestimmten kritischen Werte berücksichtigt werden. Dies bedingt eine zunehmende Komplexität der Berechnung von ${}_{n}^{s}f_{t}$. Die dabei zu verwendende Formel lässt

[4] HAUG (1998: 140) schlägt bspw. die Durchführung von mindestens 10 000 Simulationsläufen vor.

sich allgemein wie folgt darstellen:

$$(9) \quad {}^{s}_{n}f_t = \max\left(0, {}^{s}_{n}V_\kappa - I\right)\cdot e^{-r\cdot(\kappa - t)}, \text{ mit}$$

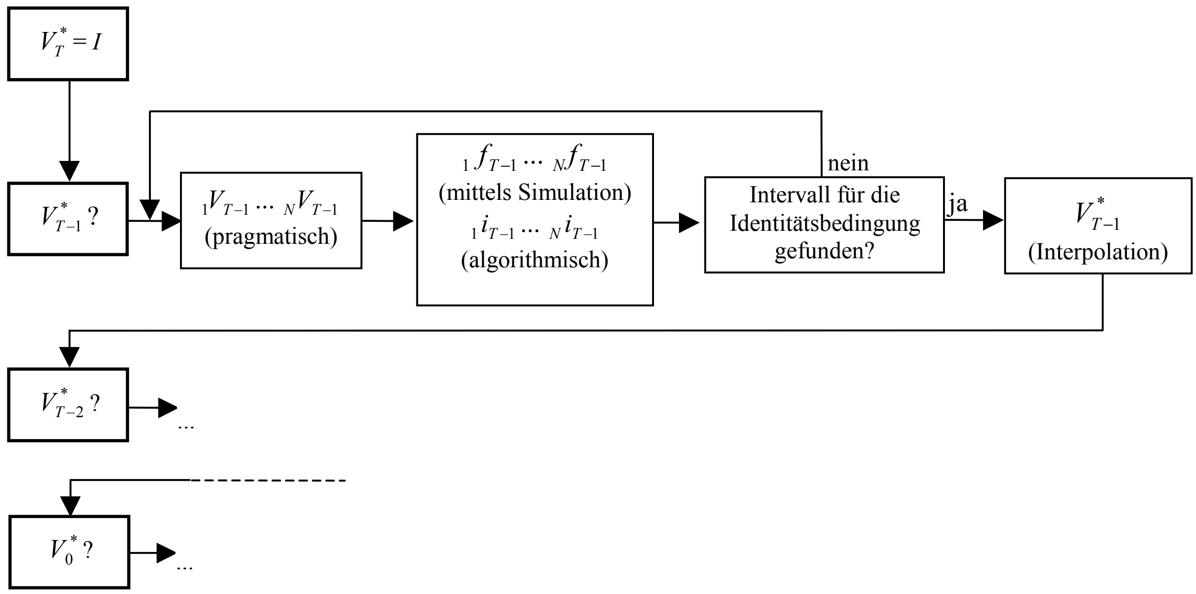
$$\kappa = \begin{Bmatrix} t+1, & \text{wenn } {}^{s}_{n}V_{t+1} \geq V^*_{t+1} \\ t+2, & \text{wenn } {}^{s}_{n}V_{t+2} \geq V^*_{t+2} \wedge {}^{s}_{n}V_{t+1} < V^*_{t+1} \\ \vdots & \\ T, & \text{andernfalls} \end{Bmatrix}$$

In Abbildung 4 ist die prinzipielle Vorgehensweise bei der Bestimmung der optimalen Investitionsstrategie grafisch veranschaulicht.

CULTURE AND AGRI-FOOD CANADA, 2003), um Annahmen bzgl. des zukünftigen Preismusters für Deutschland abzuleiten. Da die kanadischen Roggenpreise in kanadischen Dollar angegeben sind, werden sie unter Rückgriff auf eine Wechselkurszeitreihe zunächst in Euro umgerechnet. In Abbildung 5 ist die sich ergebende Preiszeitreihe grafisch veranschaulicht.[5]

Mittels Zeitreihenanalyse wird der Versuch unternommen, die in Abbildung 5 enthaltenen Verteilungsinformationen zu gewinnen, indem die Art des „richtigen“ bzw. „besten“ stochastischen Prozesses identifiziert wird. Dazu wird zunächst zur Prüfung auf Stationarität der Dickey-Fuller-Test angewendet (vgl. DICKEY and FULLER, 1981). Ergebnis

Abbildung 4. Vorgehensweise bei der Bestimmung der optimalen Investitionsstrategie mittels BRSS



4. Modellanwendung

4.1 Modellannahmen

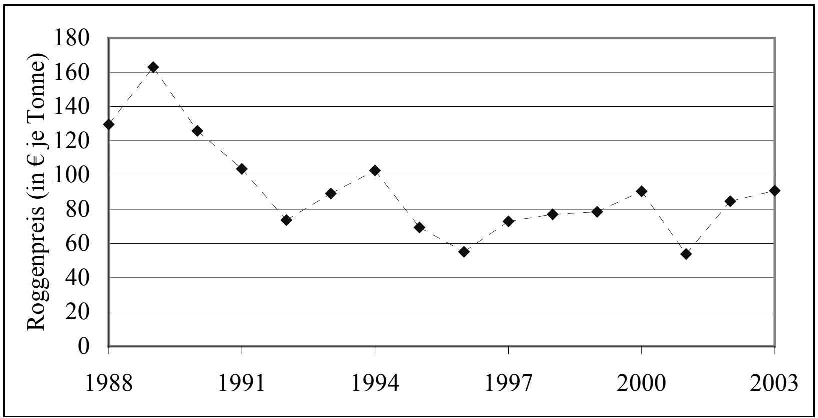
Im Folgenden wird unter Verwendung des BRSS-Verfahrens die eingangs beschriebene Roggenlieferlizenz bewertet. Dabei wird unterstellt, dass der zukünftige Roggenpreis die einzige unsichere Größe darstellt. Andere Unsicherheitsquellen, wie z.B. ein Ausfallrisiko seitens des Lizenzgebers infolge einer Insolvenz o.ä. werden vernachlässigt. Weiterhin wird angenommen, dass die Landwirte den Kauf der Lieferlizenz zu gleichen Konditionen um bis zu fünf Jahre hinauszögern und jährlich über die Durchführung entscheiden können. Die Landwirte fragen sich also, ob bzw. bei welchem beobachteten Roggenpreis sie die Vertragsinvestition eingehen sollen.

Wegen der Abschaffung der Roggenintervention ist klar, dass aus den bisherigen Roggenpreisen in Deutschland weder vom Entwicklungsmuster noch der Streuung her sinnvolle Annahmen für die Zukunft gebildet werden können. Vielmehr ist eher anzunehmen, dass sich die Roggenpreise in der Zukunft entsprechend der Weltmarktpreise entwickeln, wie dies beispielsweise in Kanada seit langem der Fall ist. Deshalb verwenden wir eine inflationsbereinigte Zeitreihe der durchschnittlichen jährlichen Roggenpreise aus Kanada von 1988 bis 2003 (Quelle: AGRI-

dieses Tests ist, dass die Roggenpreise mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit nicht stationär sind. Ein nichtstationärer stochastischer Prozess ist bspw. der geometrische Brownsche Prozess (GBP). Für die Modellierung von Preisdynamiken ist dieser Prozess insbesondere deshalb prädestiniert, weil sichergestellt ist, dass keine negativen Preise auftreten können. Weiterhin impliziert ein GBP, dass sich die Preise mit einer konstanten Rate ändern und für die Bestimmung des zukünftigen Wertes der stochastischen Variable ausschließlich der zuletzt beobachtete Wert relevant ist (Markov-Prozess). Somit reflektiert der gegenwärtige Wert alle Informationen der Vergangenheit, was wiederum rational handelnde Marktteilnehmer unterstellt. Tatsächlich zeigt sich nach Anwendung der Box-Jenkins-Testprozedur (vgl. BOX and JENKINS, 1976 sowie PINDYCK and RUBINFELD, 1998, Kapitel 17), dass die logarithmierten

[5] Ein Grunddilemma der flexiblen Investitionsplanung besteht darin, fundierte Annahmen über die zukünftige Verteilung von Unsicherheitsvariablen durch die Analyse geeigneter Zeitreihen zu gewinnen. An erster Stelle steht in diesem Beitrag die Darlegung der grundsätzlichen Vorgehensweise. Durch eine Verbesserung der Informationsgrundlage ist selbstverständlich eine Verbesserung der Entscheidungsunterstützung zu erreichen. So wäre eventuell die Analyse jahreszeitlich spezifischer Preise angebrachter als durchschnittlicher jährlicher Roggenpreise.

Abbildung 5. Kanadische Roggenpreise (inflationsbereinigt)



Quelle: Eigene Darstellung nach AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA (2003)

Roggenpreise einem autoregressiven Prozess erster Ordnung (AR(1)-Prozess) mit einem Gewichtungskoeffizienten für den zurückliegenden Beobachtungswert von ca. 1 folgen, was konsistent zur Annahme eines GBP ist. Mathematisch lässt sich ein GBP in diskreter Zeit wie folgt darstellen (vgl. HULL, 2000: 408):

$$(10)\quad P_t = P_{t-\Delta t} \cdot e^{\left[\left(\alpha - \frac{\sigma^2}{2}\right)\cdot \Delta t + \sigma \cdot \sqrt{\Delta t}\cdot \varepsilon_t\right]}$$

Dabei kennzeichnet α die Driftrate und σ die Standardabweichung der logarithmierten relativen Wertänderungen der Roggenpreise. ε_t beschreibt eine standardnormalverteilte Zufallszahl (White-Noise) und Δt die Länge eines Zeitintervalls (hier ein Jahr).

Die Driftrate und die Standardabweichung eines GBP sind folgendermaßen zu berechnen (CAMPBELL et al., 1997: 363):

$$(11)\quad \alpha = \frac{1}{\Delta t} \cdot \ln\left[\left(\sum_{t=1}^{B} \frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \cdot \frac{1}{B}\right]$$

$$(12)\quad \sigma = \frac{1}{\sqrt{\Delta t}} \cdot \sqrt{\frac{1}{B-1} \cdot \sum_{t=1}^{B} y_t^2 - \frac{1}{B(B-1)} \cdot \left(\sum_{t=1}^{B} y_t\right)^2}, \text{ mit}$$

$$y_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

B kennzeichnet die Anzahl der historischen Beobachtungswerte, also 16. Die basierend auf den in Abbildung 5 angezeigten Roggenpreisen zu berechnende Driftrate α und Standardabweichung σ betragen 1,24 % bzw. 28,10 %.

Als risikofreier Diskontierungssatz wird die mittlere Umlaufrendite börsengehandelter deutscher Bundeswertpapiere mit Restlaufzeiten von 15 bis 30 Jahren herangezogen, weil diese relativ sicher ist. Die mittlere Rendite r von 1988 bis 2001 beträgt 6,5 % p.a. (DEUTSCHE BUNDESBANK, 2002).[6] Die Verwendung eines risikolosen Zinssatzes ist eigentlich nur dann gerechtfertigt, wenn die Landwirte für eine unsichere Investition keinen Risikozuschlag fordern würden, also risikoneutral wären. Bekanntermaßen sind ökonomische Entscheidungsträger jedoch mehr oder weniger risikoavers. Eine Möglichkeit, verschiedene Einstellungen gegenüber dem Risiko zu berücksichtigen, besteht darin, risikoangepasste (höhere) Diskontierungssätze zu verwenden. Damit werden unsichere zukünftige Zahlungsströme umso stärker diskontiert, je risikoaverser ein Entscheider ist. Mittels Variantenrechnungen kann man untersuchen, wie sich normative Entscheidungsregeln ändern würden, wenn man berücksichtigt, dass Landwirte unterschiedlich risikoscheu sind. Hier wird neben dem Zinssatz von 6,5 % auch ein Zinssatz in Höhe von 10 % betrachtet. Zu beachten ist, dass hier nicht wie üblich die Nettorückflüsse mit dem risikoangepassten Zinssatz diskontiert werden, sondern dass der risikoaverse Entscheider die unsicheren zukünftigen Marktpreise P_ω stärker diskontiert. Die Modellannahmen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.[7]

4.2 Modellergebnisse

Tabelle 2 und Abbildung 6 beschreiben unter den getroffenen Annahmen die optimale Strategie eines Landwirtes bzgl. des Kaufs einer Roggenlieferlizenz. Weiterhin sind die Werte der Roggenlieferlizenz bei einem gegenwärtig beobachteten Roggenpreis von 90 € je Tonne angezeigt. Zu beachten ist, dass sich die Ergebnisdarstellung nicht auf eine Lieferlizenz (fünf Tonnen Roggen), sondern immer auf eine Tonne Roggen bezieht.

In der ersten Spalte der Tabelle 2 ist dargestellt, wie hoch der kritische Roggenpreis ist, wenn man die Investition nicht verschieben kann, weil möglicherweise das Angebot nicht aufrechterhalten wird („Jetzt-oder-Nie-Entscheidung“). Ein risikoneutraler Entscheider sollte den Vertrag nur dann unterzeichnen, wenn der Roggenpreis kleiner oder gleich 78,0 € je Tonne wäre. Dieser Wert ist geringer als der zugesicherte Festpreis von 90 € je Tonne abzüglich der jährlichen Kosten der Investition von 7 € je Tonne. Dies ist in der positiven Driftrate des unterstellten GBP begründet. In Spalte 2 ist der entsprechende kritische Barwert der Investitionsrückflüsse angezeigt. Er entspricht den Investitionskosten je Tonne Roggen. Bei einem gegenwärtig beobachteten Weltmarktpreis in Höhe von 90 € je Tonne Roggen ergäbe sich ein Barwert der Investitionsrückflüsse in Höhe von -41,0 € und folgerichtig bei Kauf der Lizenz ein negativer Kapitalwert in Höhe von -91,0 € je Tonne.

---

6 Zu beachten ist, dass kein „endlicher“ optimaler Investitionszeitpunkt existiert, wenn die Driftrate größer als der Diskontierungssatz ist (vgl. MERTON, 1973). Dies ist jedoch keine realistische Annahme für die Wirtschaftswirklichkeit.

7 Zur grundsätzlichen Wirkungsrichtung der einzelnen Faktoren auf den Wert einer Investition und die optimale Handlungsstrategie vgl. ODENING und MUßHOFF (2001).

In der dritten Spalte ist der kritische Roggenpreis für einen risikoaversen Entscheider dargestellt, der die unsicheren Marktpreise P_ω mit einem Zinssatz in Höhe von 10 % p.a. diskontiert. Er beträgt 92,4 € und liegt damit sogar oberhalb des zugesicherten Festpreises. Wie auch intuitiv leicht nachvollziehbar ist, ist ein risikoscheuer Entscheider bereits bei einem höheren Roggenausgangspreis (also eher) bereit, „etwas herzugeben“ für eine Reduzierung der zukünftigen Unsicherheit. Allerdings entspricht der Barwert der Investitionsrückflüsse, der sich ausgehend von einem Roggenpreis in Höhe von 92,4 € ergeben würde, wiederum den Investitionskosten. Mit anderen Worten: Bezogen auf den kritischen Barwert gilt für Entscheider unterschiedlichster Risikoeinstellungen bei einer „Jetzt-oder-Nie-Entscheidung“ dieselbe Entscheidungsregel. Bei einem gegenwärtigen Weltmarktpreis für Roggen von 90 € würde sich der Kapitalwert des risikoaversen Entscheiders auf 15,4 € belaufen. Für den risikoaversen Entscheider wäre das Vertragsangebot also attraktiv.

Tabelle 1. Überblick der unterstellten Modellparameter

Investitionskosten I entspricht jährlichen Kosten	50 € pro Tonne Roggen 7 € pro Tonne Roggen und Jahr
Nutzungsdauer der Investition Z	10 Jahre
Möglicher Durchführungszeitraum der Investition T	5 Jahre (jährliches Durchführungsrecht)
Diskontierungssatz r	
risikoloser Zinssatz (risikoneutraler Entscheider)	6,5 % p.a.
risikoangepasster Zinssatz (risikoaverser Entscheider)	10 % p.a.
stochastischer Prozess	geometrischer Brownscher Prozess
Prozessparameter	
Driftrate α	1,24 %
Standardabweichung σ	28,10 %

Quelle: Eigene Berechnungen und Annahmen

Die Zurückhaltung der Landwirte hinsichtlich einer Vertragsannahme verstärkt sich, wenn man unterstellt, dass das Angebot aufrechterhalten wird und man die Lieferlizenz zu den gleichen Konditionen auch später kaufen kann. In den Spalten 5 bis 8 sind die Ergebnisse für den Fall dargestellt, dass die Vertragsunterzeichnung um bis zu fünf Jahre hinausgezögert und jährlich angenommen werden kann. Im Vergleich zur „Jetzt-oder-Nie-Entscheidung“ ergeben sich deutliche Unterschiede:

- Ein risikoneutraler Entscheider (Spalte 5) sollte die um bis zu fünf Jahre aufschiebbare Vertragsunterzeichnung nur dann unverzüglich vornehmen, wenn der gegenwärtige Roggenpreis kleiner oder gleich 50,1 € je Tonne wäre. Erst ab einem so niedrigen Roggenpreis wäre tatsächlich zu keinem späteren Zeitpunkt ein höherer Kapitalwert zu erwarten. Der kritische Barwert der Investitionsrückflüsse bezogen auf eine Tonne (Spalte 6) beträgt 260,7 €. Risikoneutrale Landwirte tun also gut daran, die Lieferlizenz erst bei einem Barwert der Investitionsrückflüsse anzunehmen, der die Investitionskosten um den Faktor 5 übertrifft. Bei einem aktuellen Roggenpreis von 90 € je Tonne beläuft sich der Wert der flexiblen Investitionsmöglichkeit auf 82,4 €. Das bedeutet, dass der auf die Gegenwart bezogene Kapitalwert, der sich bei optimaler Investitionsentscheidung innerhalb der fünf Jahre ergibt, bei 82,4 € je Tonne liegt.
- Berücksichtigt man, dass Landwirte i.d.R. risikoscheu sind und rechnet mit einem höheren Diskontierungssatz, so steigt der kritische Roggenpreis (sinkt der kritische Barwert) verglichen mit dem eines risikoneutralen Entscheiders (Spalten 7 und 8). Das bedeutet, dass die Landwirte dann eher bereit sind, auf die Ertragschancen einer Marktlösung zugunsten eines zugesagten sicheren Preises zu verzichten. Wenn das Angebot noch fünf

Tabelle 2. Investitionsauslösende Roggenpreise, kritische Barwerte für die Investitionsrückflüsse und Wert der Lieferlizenz (in € je Tonne)

	Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6	Spalte 7	Spalte 8
	Ohne zeitliche Flexibilität				Mit zeitlicher Flexibilität			
	Zinssatz = 6,5 % (risikoneutraler Entscheider)		Zinssatz = 10 % (risikoaverser Entscheider)		Zinssatz = 6,5 % (risikoneutraler Entscheider)		Zinssatz = 10 % (risikoaverser Entscheider)	
Kritische Werte im Jahr ...	P^*	V^*	P^*	V^*	P^*	V^*	P^*	V^*
2003	78,0	50,0	92,4	50,0	50,1	260,7	64,1	230,9
2004	–	–	–	–	51,3	252,0	65,0	224,9
2005	–	–	–	–	52,4	243,3	66,6	214,9
2006	–	–	–	–	55,2	222,2	68,7	201,0
2007	–	–	–	–	59,3	191,0	73,3	171,7
2008	–	–	–	–	78,0	50,0	92,4	50,0
Wert der Lieferlizenz [a]	-91,0		15,4		82,4		103,5	

[a] Der Wert der Lieferlizenz wurde für einen anfänglichen Roggenpreis von 90 € je Tonne berechnet.

Quelle: Eigene Berechnungen

Jahre lang gilt, beträgt bei einem unterstellten Diskontierungssatz von 10 % der investitionsauslösende Roggenpreis 64,1 € und der kritische Barwert 230,9 € je Tonne. Ebenfalls wird deutlich, dass die Möglichkeit zum Kauf einer Lieferlizenz für einen risikoaversen Entscheider wertvoller ist (103,5 €) als für einen risikoneutralen Entscheider.

- Abbildung 6 (linke Bildhälfte) verdeutlicht, dass der kritische Roggenpreis umso geringer ist, je mehr Zeit noch für eine spätere Entscheidung übrig ist. Solange noch viele spätere Investitionsmöglichkeiten bestehen, ist die Chance größer, dass eine spätere Investition rentabler ist. Man könnte auch sagen: Die Opportunitätskosten einer sofortigen Investition sind am Anfang des möglichen Entscheidungszeitraumes noch größer und man ist deswegen weniger geneigt, die Vertragsinvestition durchzuführen. Spiegelbildlich dazu - aber in der Aussage gleich - ist der Verlauf der kritischen Barwerte zu den unterschiedlichen Durchführungszeitpunkten (Abbildung 6, rechte Bildhälfte). Im letzten potenziellen Durchführungszeitpunkt handelt es sich schließlich um eine „Jetzt-oder-Nie-Entscheidung“ und der kritische Roggenpreis fällt mit dem klassischen investitionsauslösenden Roggenpreis bzw. der kritische Barwert mit den Investitionskosten zusammen. Zu beachten ist, dass der Grenzzuwachs der kritischen Werte mit jeder weiteren Ausdehnung des potenziellen Durchführungszeitraumes sinkt. Bereits bei fünf Jahren ergeben sich im Vergleich zu längeren potenziellen Durchführungszeiträumen nur geringfügig niedrigere Werte.

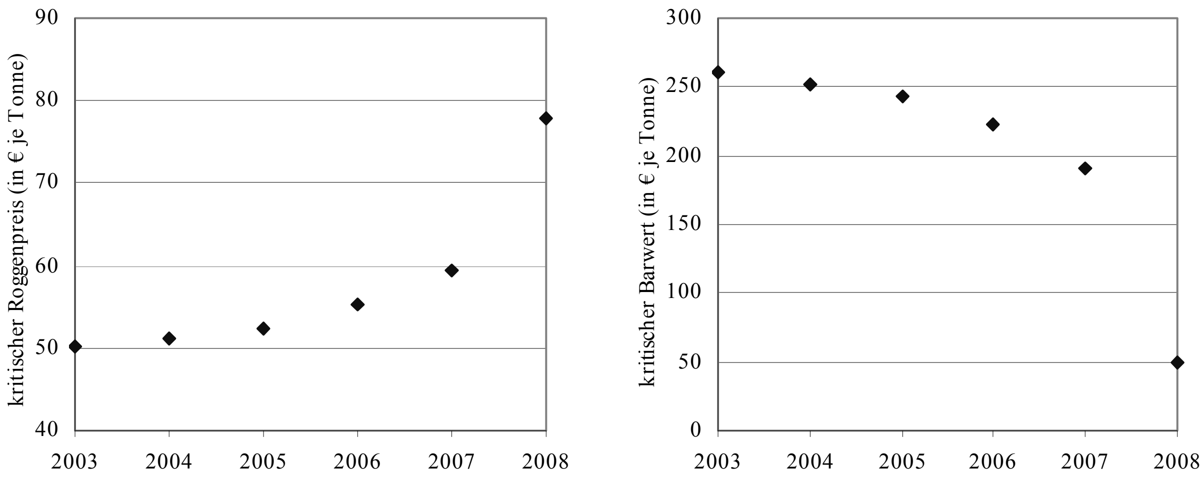
5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen üblicher Verfahren der Investitionsrechnung ist die gleichzeitige Berücksichtigung von Unsicherheit und Flexibilität nicht möglich bzw. nicht praktikabel. Die BRSS kombiniert zwei aus der traditionellen Investitionstheorie bekannte Verfahrenselemente, nämlich die stochastische Simulation und die dynamische Programmierung. Dies ermöglicht einerseits eine außerordentliche Flexibilität hinsichtlich der Abbildung von Unsicherheit. Das heißt, dass sowohl beliebige stochastische Prozesse als auch multiple stochastische Variablen (inkl. Korrelationen) problemlos abgebildet werden können. Andererseits kann neben der Unsicherheit auch zeitliche Flexibilität in der Investitionsplanung berücksichtigt werden. Obwohl diese Verfahrenskombination immer noch komplex ist, stellt sie einen deutlich „handlicheren“ Ansatz der flexiblen Investitionsplanung dar als das Entscheidungsbaumverfahren. Ebenfalls großes Einsatzpotenzial bieten die (hier nicht beschriebenen) Genetischen Algorithmen (vgl. z.B. BALMANN und MUßHOFF, 2001), die orientiert an den Prinzipien der natürlichen Evolution durch eine heuristische Variation der kritischen Werte die optimale Strategie bestimmen. Allerdings muss konstatiert werden, dass bislang noch kein anwenderfreundliches, kommerziell erhältliches Tool zur Verfügung steht, das eine relativ leichte Handhabung der flexiblen Investitionsplanung für breite Kreise ermöglicht.

Die normativen Berechnungen für den untersuchten Anwendungsfall einer flexiblen Investitionsplanung zeigen zum einen, dass sich durch die Anwendung der BRSS auch komplexe Planungsprobleme für den praktischen Anwender zugänglich machen lassen. Zum anderen wird deutlich, dass das Angebot zum Kauf einer Roggenlizenz in der ursprünglichen Fassung wohl nur von extrem risikoaversen Landwirten angenommen werden wird. Risikoneutrale Landwirte sollten erst bei einem Roggenpreis von weniger als 50,1 € je Tonne eine Lieferlizenz kaufen, wenn das Angebot fünf Jahre lang gilt und die unterstellte stochastische Entwicklung hinsichtlich der Roggenpreise vorliegt. Wenn zeitliche Flexibilität nicht berücksichtigt wird und stattdessen unterstellt wird, dass das Angebot nur einmalig gilt, dann sollten risikoneutrale Landwirte das Angebot bereits annehmen, wenn der aktuelle Roggenpreis unter 78,0 € läge. Damit bestätigen die Modellrechnungen die große Bedeutung der Berücksichtigung von zeitlicher Flexibilität in der Investitionsplanung.

Von Initiatorenseite bzw. den Landwirten wurden die Schwächen des Angebotes bereits erkannt. Zusammenfassend kann man also sagen, dass die Modellrechnungen, die

Abbildung 6. Kritischer Roggenpreis (links) und kritischer Barwert der Investitionsrückflüsse (rechts) zu unterschiedlichen Durchführungszeitpunkten für einen risikoneutralen Entscheider



Quelle: Eigene Berechnungen

den Versuch unternehmen, den Informationsgehalt der empirischen Marktpreiszeitreihe aus Kanada zu nutzen, zu den gleichen Ergebnissen kommen wie die Landwirte. Mit anderen Worten: Die Rechnungen bestätigen ein empirisch zu beobachtendes Verhalten. Die direkte Konsequenz daraus ist, dass sich Landwirte zur Vertragunterzeichnung wohl nur dann entschließen würden, wenn das Landhandelsunternehmen Verhandlungsspielraum besitzt und eine evtl. vorhandene Gewinnspanne der Bio-Ethanolanlage an die Landwirte weitergibt; d.h. es müsste zu einer Verbesserung der Konditionen zugunsten der Landwirte kommen. Dies könnte bspw. durch eine Verringerung der Investitionskosten, eine Erhöhung des zugesicherten Festpreises etc. erfolgen. Gegenwärtig wird diskutiert, dass die Landwirte keinen Festpreis, sondern einen an den Weizeninterventionspreis gekoppelten Roggenpreis erhalten sollen. Wenn die konkreten Bedingungen bestimmt sind, ließe sich das überarbeitete Vertragsangebot ggf. wiederum neu berechnen.

Im Sinne einer vorsichtigen Interpretation von Modellergebnissen ist natürlich immer zu berücksichtigen, dass diese nur so „gut“ sind wie die Modellannahmen:

- Besonders kritisch ist die korrekte Schätzung des „richtigen“ stochastischen Prozesses, der der zukunftsgerichteten Investitionsplanung zugrunde zu legen ist (vgl. ODENING et al., 2004). Auch nach den statistischen Tests, die für die kanadischen Roggenpreise auf einen GBP hindeuten, verbleiben letztlich Zweifel hinsichtlich einer realtitätsgetreuen Modellierung der (zukünftigen) stochastischen Entwicklung der Preise: (i) Bei den Berechnungen wurde von konstanten Prozessparametern ausgegangen. GARCH-Modelle können Anwendung finden, wenn die Varianz nicht als konstant betrachtet werden kann, sondern selbst zeitlichen Veränderungen unterworfen ist (vgl. BOLLERSLEV, 1986). (ii) Die modellierte Stochastizität wird zwar explizit bei der Ableitung von Entscheidungsregeln berücksichtigt. Das Wissen um die Art des beobachteten stochastischen Prozesses ist aber selbst nicht sicher. Neuere Forschungsergebnisse betonen die Bedeutung nichtlinearer statistischer Abhängigkeiten in einer Zeitreihe (z.B. CHAVAS and HOLT, 1991). Diese können aber von den Standard-Testverfahren (vgl. BOX and JENKINS, 1976), die a priori von Linearität ausgehen, nicht erkannt werden. Vielmehr sollten verfeinerte Testverfahren, wie der Brock-Dechert-Scheinkman-Test (BDS-Test), angewendet werden (vgl. LEBARON, 1997). (iii) Selbst wenn die Art des stochastischen Prozesses der empirischen Zeitreihe mit Sicherheit bekannt wäre, verbliebe insbesondere bei einem relativ langen Prognosezeitraum immer noch Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Art des stochastischen Prozesses. Eine statistische Fortschreibung vergangener Muster ist bei Strukturbrüchen grundsätzlich nicht möglich (HIRSCHAUER, 2001). Mit anderen Worten: Es könnte sein, dass sich die Art des stochastischen Prozesses in der Zukunft ändert.
- Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass das methodische Problem der korrekten Erfassung der subjektiven Risikoeinstellungen der Entscheider auch nicht durch die verfahrenstechnische Neuerung gelöst werden kann. Deshalb wurden hier im Sinne von Variantenrechnungen verschiedene Diskontierungssätze verwendet, die unterschiedliche Risikoeinstellungen repräsentieren. Wie nicht anders zu erwarten, zeigt sich, dass risikoaverse Landwirte eher bereit sind, das Vertragsangebot anzunehmen. Dennoch ist die Berücksichtigung von zeitlicher Flexibilität auch bei Risikoaversion bedeutsam.

Literatur

AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA (2003): Auskunft per E-mail.

BALMANN, A. und O. MUßHOFF (2001): Analyse Realer Optionen mittels Genetischer Algorithmen. In: Kögl, H.J. Spilke und U. Birkner (Hrsg.): GIL-Jahrestagung: Information und Kommunikation im Dienst der ländlichen Entwicklung: Methoden - Anwendungen - Probleme. Rostock: 9-13.

BELLMAN, R. (1957): Dynamic Programming. Princeton University Press, Princeton.

BOLLERSLEV, T. (1986): A Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. In: Journal of Econometrics 31 (3): 307-327.

BOX, G.E.P. and G.M. JENKINS (1976): Time Series Analysis: Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco.

BRANDES, W. und M. ODENING (1992): Investition, Finanzierung und Wachstum in der Landwirtschaft. Ulmer-Verlag, Stuttgart.

CAMPBELL, J.Y., W. LO and C. MACKINLAY (1997): The Econometrics of Financial Markets. Princeton University Press, New Jersey.

CHAVAS, J.P. and M.T. HOLT (1991): On Non-linear Dynamics: The Case of the Pork Cycle. In: American Journal of Agricultural Economics 73 (3): 819-828.

DEUTSCHE BUNDESBANK (2002): Auskunft per E-mail.

DICKEY, D.A. and W.A. FULLER (1981): Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root. In: Econometrica 49 (4): 1057-1072.

DIXIT, A.K. and R.S. PINDYCK (1994): Investment under Uncertainty. Princeton University Press, Princeton.

GRANT, D., G. VORA and D. WEEKS (1997): Simulation and the Early-Exercise Option Problem. In: Journal of Financial Engineering 5 (3): 211-227.

HANF, C.H. (1986): Entscheidungslehre. Oldenbourg Verlag, München.

HAUG, E.G. (1998): The Complete Guide to Option Pricing Formulas. McGraw-Hill, New York.

HIRSCHAUER, N. (2001): Controlling. In: Odening, M. und W. Bokelmann (Hrsg.): Agrarmanagement. Ulmer-Verlag, Stuttgart: 276-339.

HULL, J.C. (2000): Options, Futures, and Other Derivatives. 4th edition, Prentice-Hall, Toronto.

INDERFURTH, K. (1982): Starre und flexible Investitionsplanung. Gabler, Wiesbaden.

KRUSCHWITZ, L. (2003): Investitionsrechnung. 9. Auflage. Oldenbourg Verlag, München.

LAUX, H. (1971): Flexible Investitionsplanung - Einführung in die Theorie der sequentiellen Entscheidungen bei Unsicherheit. Westdeutscher Verlag, Opladen.

LEBARON, B. (1997): A Fast Algorithm for the BDS Statistic. In: Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics 2 (2): 53-59.

MCDONALD, R. and D. SIEGEL (1986): The Value of Waiting to Invest. In: Quarterly Journal of Economics 101 (4): 707-728.

MERTON, R.C. (1973): Theory of Rational Option Pricing. In: Bell Journal of Economics and Management Science 4 (1): 141-183.

MUßHOFF, O. und N. HIRSCHAUER (2003): Bewertung komplexer Optionen - Umsetzung numerischer Verfahren mittels MS-EXCEL und Anwendungsmöglichkeiten der Optionspreistheorie auf Sachinvestitionen -. PD-Verlag, Heidenau.

ODENING, M. und O. MUßHOFF (2001): Reale Optionen und landwirtschaftliche Betriebslehre – oder: Kann man mit der Optionspreistheorie arbitrieren? In: Agrarwirtschaft 50 (8): 480-489.

ODENING, M., O. MUßHOFF and A. BALMANN (2004): Investment Decisions in Hog Production - An Application of the Real Options Approach. In: Agricultural Economics (im Druck).

PINDYCK, R.S. and D.L. RUBINFELD (1998): Econometric Models and Economic Forecasts. 4th edition. McGraw-Hill, Singapore.

RECKE, G. und M. LESERER (2001): Investitionsentscheidungen mit Zustandsnetzen. GIL-Jahrestagung: Information und Kommunikation im Dienst der ländlichen Entwicklung: Methoden - Anwendungen - Probleme. Band 14: 117-121, Rostock.

TRIGEORGIS, L. (1996): Real Options. MIT-Press, Cambridge.

Danksagung

Für hilfreiche Kommentare, Anregungen und Kritik danken wir Prof. Dr. Martin Odening, zwei anonymen Gutachtern und den Herausgebern der „Agrarwirtschaft“. Oliver Mußhoff dankt der Klaus-Tschira-Stiftung, gemeinnützige GmbH, für die finanzielle Unterstützung.

Kontaktautor:
DR. OLIVER MUßHOFF
Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus,
Fachgebiet Allgemeine Betriebslehre des Landbaus
Luisenstraße 56, 10099 Berlin
Tel.: 030-20 93 63 15, Fax: 030-20 93 64 65
e-mail: oliver.musshoff@agrar.hu-berlin.de