# Reale Optionen und Landwirtschaftliche Betriebslehre – oder: Kann man mit der Optionspreistheorie arbitrieren?

MARTIN ODENING und OLIVER MUSSHOFF*

**Real Options: Concept, Methods and Applicability in Agricultural Economics**

**This paper discusses the real options approach to investment. Real options facilitate an analysis of investment under uncertainty explicitly taking into account irreversibility of the investment decision and flexibility with respect to the investment timing. This is achieved by exploiting the analogy between a financial option and an investment project. We pinpoint the relation to traditional methods of capital budgeting as well as the special features of this concept, namely the exclusion of arbitrage opportunities and the independence of individual risk preferences. Analytical and numerical solution procedures for option pricing are presented. An application to investments in hog finishing illustrates the main ideas of the real options approach. It turns out that compared to traditional investment criteria, e.g. the net present value, the optimal investment trigger is considerably higher. Hence real options give an explanation for economic hysteresis. The reason for the increase of the investment trigger is that the opportunity to delay the investment decision, i.e. the value of waiting, causes opportunity costs that have to be covered by the expected investment returns. Finally model extensions, which consider different stochastic processes, compound real options, and competition, are discussed.**

**Key words: real options; investment under uncertainty; flexibility; contingent claim analysis; hysteresis; hog finishing**

**Zusammenfassung**

**Der Beitrag diskutiert das Konzept der realen Optionen (synonym: neue Investitionstheorie). Die neue Investitionstheorie erlaubt eine Analyse von Investitionen unter Risiko und berücksichtigt dabei explizit Irreversibilität der Investitionsentscheidung und Flexibilität bezüglich des Durchführungszeitpunktes. Bei der Bewertung von Investitionsprojekten, die durch diese Merkmale gekennzeichnet sind, wird im Rahmen der neuen Investitionstheorie auf Methoden und Erkenntnisse der Optionspreistheorie zurückgegriffen. Zum besseren Verständnis dieses Konzeptes werden zunächst Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu traditionellen Verfahren der Investitionsrechnung aufgezeigt. Anschließend werden Lösungsverfahren zur Bewertung realer Optionen vorgestellt. Der Ansatz wird exemplarisch auf ein Investitionsvorhaben in der Schweinemast angewendet. Die Ergebnisse weichen von denen der traditionellen Investitionstheorie ab. Gemäß neuer Investitionstheorie sollte erst dann investiert werden, wenn die erwarteten Investitionsrückflüsse deutlich über den Investitionskosten liegen. Damit begründet das Real-Optionen-Konzept ökonomische Hysterese. Die Ursache ist darin zu sehen, dass Warten in einer unsicheren Umwelt vorteilhaft ist, ein Vorteil, der nach Durchführung der Investition verloren geht. Abschließend werden Modellerweiterungen diskutiert, die sich auf unterschiedliche stochastische Prozesse, komplexe reale Optionen und Wettbewerb beziehen.**

**Schlüsselwörter: Neue Investitionstheorie; Optionspreistheorie; Risiko; Flexibilität; Contingent Claim Analyse; Hysterese; Schweinemast**

## 1 Einleitung

BRANDES, RECKE und BERGER (1997) bringen im Vorwort zu ihrer „Produktions- und Umweltökonomik“ ein Zitat LEONTIEFF’s, in dem dieser der Agrarökonomik ein gesundes Verhältnis von theoretischer und empirischer Analyse bescheinigt. Die Tatsache, dass Agrarökonomen in starkem Maße angewandte und problemorientierte Forschung betreiben, hat seinen Preis: nur selten wird es ihnen gelingen, grundlegende Beiträge zur Weiterentwicklung der ökonomischen Theorie zu leisten. Dies ist freilich kein Ausdruck mangelnder Leistungsfähigkeit, sondern vielmehr Konsequenz einer vernünftigen Strategie der Arbeitsteilung, die darin besteht, theoretische Konzepte und Methoden der allgemeinen Wirtschaftswissenschaften auf agrarspezifische Fragestellungen zu übertragen und zu modifizieren, sofern dies notwendig und möglich ist. Anders ausgedrückt: Agrarökonomen arbitrieren mit ökonomischen Methoden. Vor diesem Hintergrund behandelt der vorliegende Beitrag die Frage, inwieweit sich aus der Optionspreistheorie fruchtbare Forschungsansätze für die landwirtschaftliche Betriebslehre im Besonderen und für die Agrarökonomik im Allgemeinen ergeben können. Dabei ist anzumerken, dass ein wesentlicher Schritt in Bezug auf diese Übertragung bereits stattgefunden hat: Modelle, die zunächst der Bewertung von Finanzderivaten dienten, finden seit geraumer Zeit unter der Bezeichnung „Reale Optionen“ und „Neue Investitionstheorie“ Anwendung auf Investitionsprojekte im Nichtfinanzbereich. Der Zusammenhang von Finanzoptionen und Investitionen wurde schon von MCDONALD und SIEGEL (1986) aufgezeigt und durch die vielzitierte Monographie von DIXIT und PINDYCK (1994) hat das Konzept der realen Optionen starke Verbreitung gefunden. Auch die zunehmende Zahl agrarökonomischer Publikationen belegt, dass es sich um ein expandierendes Forschungsgebiet handelt.

Worin liegt das Besondere der neuen Investitionstheorie? Vermutlich in der provokanten Aussage, das klassische Kapitalwertkriterium führe zu falschen Entscheidungen, insofern, als ein positiver Kapitalwert nicht notwendiger Weise als Indikator für eine sofortige Durchführung einer Investition anzusehen ist. Vielmehr solle ein potentieller Investor warten, bis ein „genügend hoher“ Kapitalwert realisiert werden kann, wobei die exakte Bestimmung dieses Schwellenwertes ein wesentliches Anliegen der neuen Investitionstheorie darstellt. Da der Kapitalwert und seine Derivate Grundbausteine der Investitionsrechnung bilden, sind die Konsequenzen dieser Kritik weitreichend: Im Grunde sind alle Entscheidungen, bei denen Investitionen im wei-

* Dieser Beitrag greift auf Ergebnisse der Diplomarbeit von OLIVER MUSSHOFF (2000) zurück, die mit dem „Förderpreis der Agrarwirtschaft“ 2001 ausgezeichnet wurde. Schriftliche Fassung eines Vortrags im Rahmen der Feier anlässlich der Emeritierung von Prof. Dr. W. BRANDES am 19.10.2001 in Göttingen.

testen Sinne eine Rolle spielen, zu hinterfragen und zwar nicht nur aus normativem, sondern auch aus positivem Blickwinkel. Möglicherweise ist ja eine empirisch beobachtbare Investitionszurückhaltung von Wirtschaftssubjekten nicht, wie vielfach angenommen, Ausdruck von Risikoaversion, sondern schlichtweg Streben nach Gewinnmaximierung.

Der vorliegende Beitrag versucht, Möglichkeiten und Grenzen des Realoptionsansatzes, wie sie sich gegenwärtig darstellen, aufzuzeigen. Dazu werden zunächst der Grundgedanke der Optionsbewertung und das Verhältnis zu traditionellen Verfahren der Investitionsrechnung erläutert (Abschnitt 2). Der dritte Abschnitt widmet sich realen Optionen am Beispiel der Verzögerungsoption. Es werden Besonderheiten realer Optionen im Vergleich zu Finanzoptionen sowie Lösungsverfahren zur ihrer Bewertung angesprochen. Abschnitt 4 nimmt Erweiterungen vor. Es werden verschiedene Optionstypen vorgestellt und Wettbewerbsbetrachtungen angestellt. Dabei werden auch Grenzen der Anwendbarkeit des Optionsgedankens deutlich. Der Beitrag endet mit einem Ausblick und Schlussfolgerungen.

## 2 Klassische Investitionskalküle und der Grundgedanke der Optionsbewertung

Ziel dieses Abschnittes ist es, deutlich zu machen, was das Besondere an der Optionspreisbewertung im Vergleich zu traditionellen Investitionsrechnungen ist. Gleichzeitig soll dem Missverständnis vorgebeugt werden, dass sich die verschiedenen Methoden an und für sich widersprechen. Dem ist nicht notwendiger Weise so. Auch bei der Bewertung realer Optionen kommen Kapitalwert, Entscheidungsbäume, dynamische Programmierung und stochastische Simulation zur Anwendung. Das Entscheidende ist, wie und mit welchen Parametern die Berechnungen durchgeführt werden.

### *Investitionsentscheidungen unter Sicherheit*

Investitionsentscheidungen werden bei Vorliegen sicherer Erwartungen mit Hilfe des Kapitalwertkriteriums (NPV) getroffen. Dazu werden die künftigen Einzahlungsüberschüsse *CF* der Investition mit einem Zinssatz *r* auf den Zeitpunkt 0 diskontiert und dem Anschaffungspreis *I* gegenüber gestellt.

$$(1) \qquad NPV = \sum_{t=1}^{N} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I$$

Auf einem vollkommenen Kapitalmarkt stellt *r* den risikolosen Zinssatz dar, zu dem beliebig viel Kapital geliehen oder angelegt werden kann. Marktunvollkommenheiten können zu unterschiedlichen Kosten verschiedener Kapitalquellen führen. In diesem Fall ist der Kalkulationszins als mit den Finanzierungsanteilen gewichteter Durchschnitt der Kapitalkosten (WACC) zu berechnen. Bei im Zeitablauf variierenden Kapitalkosten ist $(1+r)^t$ durch $(1+r_1)*\ldots*(1+r_t)$ zu ersetzen. Als Entscheidungsregel für das Management gilt: Nimm alle Investitionsprojekte an, die einen positiven Kapitalwert aufweisen. Dadurch wird sichergestellt, dass der Marktwert des Unternehmens und der Nutzen der Unternehmenseigner unabhängig von deren individueller Zeitpräferenz maximiert wird (Fisher Separation).

### *Berücksichtigung von Unsicherheit*

Investitionsentscheidungen sind in aller Regel unter Unsicherheit zu treffen. Die Kapitalwertberechnung gemäß (1) unter Verwendung erwarteter künftiger Cash Flows ist nur bei angenommener Risikoneutralität der Investoren zu halten oder wenn unterstellt wird, dass das Investitionsprojekt kein systematisches Risiko aufweist, d.h. das bestehende Risiko durch Diversifikation eliminiert werden kann. Beide Annahmen sind wenig realistisch. In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze der Risikoberücksichtigung. Bei einer Risikoanalyse i.e.S. werden meist auf Basis einer stochastischen Simulation Verteilungsfunktionen für den Kapitalwert (bzw. internen Zinsfuß oder Endvermögen) abgeleitet. Dies kann allerdings nur als Entscheidungsvorbereitung gesehen werden, zumindest solange offen bleibt, wie zwischen alternativen Verteilungsfunktionen zu wählen ist. Alternativ dazu kann (1) in der Weise modifiziert werden, dass entweder die in den verschiedenen Perioden anfallenden unsicheren Rückflüsse durch ihr Sicherheitsäquivalent gemäß einer Risikonutzenfunktion ersetzt werden (Certainty-equivalent-Verfahren) oder anstelle des Zinssatzes *r* ein risikoangepasster Zinssatz $\mu$ tritt (Risk-Adjusted-Discount-Rate-Verfahren). $\mu$ kann entweder subjektiv nach Maßgabe der Risikoaversion des Entscheidungsträgers oder unter Verwendung des CAPM (Capital Asset Pricing Model) gemäß $\mu = r + \lambda \operatorname{cov}(r_i, r_m)$ bestimmt werden. $\lambda$ bezeichnet den Marktpreis für Risiko und $\operatorname{cov}(r_i, r_m)$ die Kovarianz der Rendite der betrachteten Investition mit dem Marktportfolio (vgl. TRIGEORGIS, 1996, S. 33 ff.).

### *Berücksichtigung von Flexibilität*

Bei der Durchführung von Investitionsprojekten bestehen oftmals Entscheidungsspielräume. Beispielsweise kann man eventuell die Investitionsentscheidung hinausschieben und sie später in Abhängigkeit von der Entwicklung der ökonomischen Erfolgsfaktoren treffen. Eine solche Verzögerung ist allerdings mit Opportunitätskosten verbunden. Im Grunde hat man nicht mehr über eine, sondern über zwei sich ausschließende Investitionsalternativen zu entscheiden und zwar sofortiges Investieren und Warten. Derartige Entscheidungssituationen lassen sich in Form von Entscheidungsbäumen darstellen und mit Hilfe der (stochastischen) dynamischen Programmierung lösen. Dabei kommt wieder die Kapitalwertmethode zur Anwendung, d.h. das Kapitalwertkriterium als solches ist in unterschiedlich komplexen Entscheidungssituationen einsetzbar. Die Berücksichtigung von Handlungsspielräumen und Unsicherheit in der Investitionsrechnung ist in der deutschsprachigen Literatur unter dem Begriff „flexible Investitionsplanung“ – in Abgrenzung von der „starren Investitionsplanung“ diskutiert worden (vgl. z.B. INDERFURTH, 1982). Abgesehen von dem praktischen Einwand, dass in komplexen Entscheidungssituationen aus Entscheidungsbäumen schnell unüberschaubare „Entscheidungsbüsche“ werden können, tritt das schon zuvor angesprochene Problem der adäquaten Bestimmung eines risikoangepassten Zinssatzes auf. Dieses Problem kann sich bei Vorliegen bestimmter Handlungsoptionen sogar noch verschärfen. AMRAM und KULATILAKA (1999, S. 31) erläutern dies am Beispiel einer Verkaufsoption: Wenn von der Möglichkeit, das Investitionsobjekt zu einem festen Wert zu veräußern, Gebrauch gemacht wird, besteht künftig kein Risiko mehr für den Investor; behält er dagegen die Anlage, ist er weiterhin einem Risiko ausgesetzt. Es ist kaum möglich, einen Zinssatz zu finden, der dieser Differenzierung Rechnung trägt und der für die Diskontierung der Investitionsrückflüsse in dem gesamten Entscheidungsbaum herangezogen werden kann.

*Ausschluss von Arbitrage*

Das Problem des adäquaten Diskontierungsfaktors wird im Rahmen der Optionspreisbewertung elegant gelöst. Man konstruiert ein Portfolio, das sich aus dem Investitionsobjekt selbst und der Option auf diese Investition zusammensetzt. Es ist so aufgebaut, dass die Erträge aus diesem Portfolio unabhängig von der Wertentwicklung des Investitionsobjektes, d.h. risikolos sind. Damit ist die Rendite dieses Portfolios der risikolose Zinssatz. Da der aktuelle Wert der Option die einzige unbekannte Größe in dem Portfolio ist, kann er eindeutig bestimmt werden. Interessanterweise gehen in die Bewertung der Investitionsmöglichkeit keine subjektiven Größen ein; insbesondere ist sie unabhängig von der Risikoeinstellung des potenziellen Investors. Dieses als Risk-Neutral-Valuation bezeichnete Verfahren geht auf COX und ROSS (1976) zurück und soll an Hand einer einfachen Entscheidungssituation veranschaulicht werden; der Grundgedanke liegt auch den komplexeren Anwendungen zu Grunde, die dann im weiteren Verlauf angesprochen werden. Angenommen, ein auf einem Kapitalmarkt gehandelter Vermögensgegenstand besitze gegenwärtig den Wert $V_0$. Dieser Wert kann im Zeitpunkt $t$ entweder $V_u = V_0 \cdot u$ oder $V_d = V_0 \cdot d$ betragen. Der Investor glaubt, dass dies mit der Wahrscheinlichkeit $p$ bzw. $1\text{-}p$ geschieht. Gleichzeitig werden Call-Optionen auf den Vermögensgegenstand gehandelt. Diese berechtigt den Besitzer, den Vermögensgegenstand zum festen Ausübungspreis $I$ zu beziehen. Im Fall steigenden Kurses beträgt der Wert dieser Option im Zeitpunkt $t$ $F_u = \max\{0, V_u - I\}$, ansonsten $F_d = \max\{0, V_d - I\}$. Es stellt sich die Frage nach einem gleichgewichtigen Preis für die Option zum gegenwärtigen Zeitpunkt 0 (siehe Abb. 1).

**2-Zeitpunkt-Modell zur Optionsbewertung**

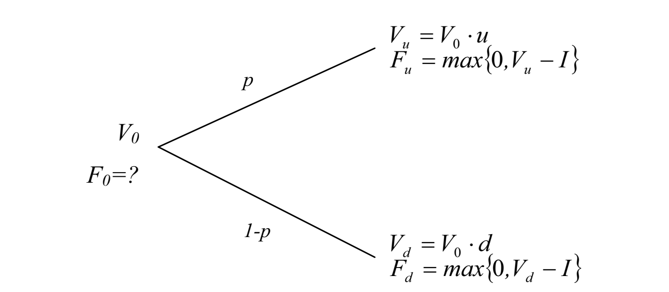


**Abbildung 1**

Eine Immunisierung gegen Kursschwankungen des Vermögensgegenstandes besteht darin, eine Call-Option zu verkaufen und gleichzeitig $\Delta = (F_u - F_d)/(V_u - V_d)$ Anteile des Vermögensgegenstandes zu kaufen. $\Delta$ ist so gewählt, dass sich Gewinne und Verluste der beiden Positionen genau ausgleichen. Da die Erträge dieses Hedgeportfolios sicher sind, sind sie mit dem risikolosen Zinssatz $r$ zu diskontieren, um Arbitrage auf dem Kapitalmarkt auszuschließen. Aufgrund dieser Überlegung lässt sich $F_0$ wie folgt bestimmen (HULL, 2000, S. 203 f.):

$$F_0 = V_0 \cdot \Delta - \left(V_0 \cdot u \cdot \Delta - F_u\right) \cdot e^{-rt}$$

$$= \left(q \cdot F_u + (1-q) \cdot F_d\right) \cdot e^{-rt} \quad , \qquad (2)$$

$$\text{mit } q = \frac{e^{rt} - d}{u - d} \quad .$$

(2) hat die Struktur eines Erwartungswertes, allerdings erfolgt die Erwartungswertbildung nicht auf der Grundlage der subjektiven Wahrscheinlichkeiten $p$, sondern mit Hilfe sogenannter Pseudowahrscheinlichkeiten $q$, die unabhängig von subjektiven Parametern sind. Der gefundene Optionspreis $F_0$ gilt somit unabhängig von der individuellen Risikoeinstellung der Investoren.

## 3 Investitionsprojekte als Reale Optionen: Grundelemente der neuen Investitionstheorie

### 3.1 Analogie zwischen Finanzoptionen und Realoptionen

Schlüsselgedanke der neuen Investitionstheorie ist die formale Analogie zwischen einer Finanzoption und einer Sachinvestition (einem Investitionsprojekt), die bei Vorliegen einiger realitätsnaher Voraussetzungen gegeben ist: erstens, die Rückflüsse des Investitionsprojektes (und damit auch ihr Barwert) sind stochastisch. Zweitens, die anfänglichen Investitionsausgaben sind ganz oder teilweise irreversibel. Damit ist gemeint, dass aufgrund von Faktorspezifität bei Wiederveräußerung nur ein Teil der Investitionskosten zurückgewonnen werden kann. Drittens soll das Investitionsprojekt Flexibilität aufweisen. Darunter wird zunächst ein variabler Durchführungszeitpunkt der Investition verstanden, d.h. es geht nicht um eine Jetzt-oder-Nie-Entscheidung. Später werden auch weitere Formen von Flexibilität betrachtet. Unter diesen Annahmen ist die Investitionsmöglichkeit mit dem Besitz einer amerikanischen Call-Option vergleichbar (siehe Tab. 1): Sie beinhaltet das Recht (nicht die Verpflichtung), einen Vermögenstitel (Underlying) innerhalb einer bestimmten Laufzeit jederzeit zu einem vorgegebenen Ausübungspreis zu erwerben. Dabei entspricht der Barwert der Investitionsrückflüsse, $V$, dem stochastischen Wert des Underlyings (z.B. Aktienkurs) und der Anschaffungspreis $I$ der Investition dem Ausübungspreis (Strike Price, Exercise Price). Die Durchführung der Investition kommt der Ausübung der Option gleich. Die Tatsache, dass reale Optionen im Gegensatz zu Finanzoptionen oft keine fest definierte Laufzeit haben, stört den Vergleich nicht wesentlich.

Im Rahmen der Optionstheorie geht es um die Beantwortung von zwei Fragen: erstens, welchen Wert besitzt die Option und zweitens, im Fall amerikanischer Optionen, bei welchem aktuellen Preis des Underlyings sollte die Option ausgeübt werden? Mit Blick auf reale Optionen erscheint der zweite Punkt relevanter: Bei welchem erwarteten Barwert der Investitionsrückflüsse sollte das Projekt realisiert werden? Gesucht wird also der optimale Investitionszeitpunkt. Es zeigt sich allerdings, dass beide zuvor genannten Fragen zusammenhängen und nur gleichzeitig beantwortet werden können. Der Wert einer Option wird offensichtlich durch die Differenz zwischen aktuellem Kurs des Wertpapiers und dem vereinbarten Ausübungspreis bestimmt. Diese Differenz, die als innerer Wert (Intrinsic Value) bezeichnet wird, entspricht dem traditionellen Kapitalwert einer Investition und ist relativ leicht zu ermitteln. Darüber hinaus weist eine Option einen sog. Zeitwert (Optionsprämie, Aufgeld) auf. Er trägt dem Umstand Rechnung, dass sich der innere Wert während der Restlaufzeit ändern kann. So kann eine Option, die „aus dem Geld" ist, also aktuell einen inneren Wert von Null hat, trotzdem einen positiven Wert besitzen, da die Chance besteht, dass sie später „ins Geld" kommt. Im Sprachgebrauch der Investitionstheorie bedeutet dies, dass eine risikobehaftete Investitionsmöglichkeit einen positiven Wert besitzen kann, selbst wenn der traditionelle Kapitalwert negativ ist. Maßgeblich ist der erweiterte (strategische) Kapitalwert, der die Optionsprämie einschließt. Für die Bestimmung des optimalen Investitionszeitpunktes bzw. eines optimalen Investitionstriggers $V^*$ ist ein weiterer Wertbegriff von Bedeutung, der sog. Fortführungswert (Continuation Value). Er gibt den Wert der lebenden Option an und reflektiert erwartete künftige Wertzuwächse unter Ausnutzung der der Investition innewohnenden Entscheidungsspielräume in Verbindung mit neuen Informationen über den Wert der Investitionsrückflüsse. Sofortiges Investieren bedeutet eine Realisation des inneren Wertes und eine gleichzeitige Vernichtung des Fortführungswertes. Es leuchtet intuitiv ein, dass die Rückflüsse der Investition nicht nur die direkten Investitionskosten decken sollten, sondern zusätzlich die Opportunitätskosten, die sich aus dem Verzicht auf den Fortführungswert ergeben. Anders ausgedrückt sollte eine Option erst ausgeübt werden, wenn sie „genügend tief im Geld" ist. Was „genügend tief" genau bedeutet, bedarf einiger Überlegungen, die im Folgenden angestellt werden sollen. Dabei wird der im vorangegangenen Abschnitt entwickelte Gedanke der arbitragefreien Optionsbewertung aufgegriffen und auf eine Situation mit unendlichem Zeithorizont und stetiger Zeit übertragen.

Tabelle 1: **Analogie zwischen Finanzoptionen und realen Optionen**

| Finanzoption | Realoption |
|---|---|
| • Amerikanischer Call | • Möglichkeit, eine Investition jetzt oder später durchzuführen |
| • Aktienkurs | • Barwert der Investitionsrückflüsse |
| • Ausübungspreis | • Anschaffungspreis |
| • Laufzeit | • Zeitraum, für den die Investitionsmöglichkeit existiert |
| • Volatilität des Kurses | • Unsicherheit der Investitionsrückflüsse |
| • innerer Wert | • Kapitalwert |
| • Zeitwert | • Zeitwert |
| • Optionswert | • Erweiterter (strategischer) Kapitalwert |

Es gilt wiederum ein risikoloses Portfolio zu konstruieren, in dem die Option als ein Bestandteil enthalten ist. Berücksichtigt man, dass die Rendite für ein risikoloses Portfolio auf einem vollkommenen Kapitalmarkt der risikolose Zinssatz ist, so kann auf den Wert der Option geschlossen werden. Im einzelnen ist wie folgt vorzugehen (vgl. DIXIT und PINDYCK, 1994, S. 150 ff. sowie TRIGEORGIS, 1996, S. 95 ff.): Es wird unterstellt, dass sich der Barwert der Investitionsrückflüsse gemäß einem geometrischen Brown'schen Prozess entwickelt:

$$\begin{aligned} &dV = \alpha V dt + \sigma V dz \\ &\text{mit } dz = \varepsilon_t \sqrt{dt}, \varepsilon_t \approx N(0,1) \end{aligned} \tag{3}$$

Der Besitzer der Investition bzw. der damit produzierten Güter (nicht jedoch der Besitzer der Option) empfängt eine dividendenähnliche Zahlung δ, die als „Convenience Yield" bezeichnet wird. Darunter werden monetäre Vorteile zusammengefasst, die sich aus der physischen Verfügbarkeit der Güter ergeben. Das Vorhandensein eines positiven Convenience Yield ist eine Voraussetzung dafür, dass die Option vor dem Ende ihrer Laufzeit ausgeübt wird, sprich, dass überhaupt investiert und die Investitionsentscheidung nicht ständig verzögert wird. Man betrachte nun ein Portfolio, das sich aus der Investitionsmöglichkeit $F(V,t)$ und $n = \partial F / \partial V$ leerverkauften Anteilen an dem Investitionsprojekt zusammensetzt. $n$ ist so gewählt, dass das Portfolio zumindest für einen Zeitraum $dt$ risikolos ist. Der Wert dieses Portfolios ist

$$\Phi = F - \frac{\partial F}{\partial V} \cdot V \tag{4}$$

Die Short-Position setzt eine Zahlung in Höhe von $\delta \cdot V \cdot \partial F / \partial V$ an den Investor voraus, da sich sonst niemand bereit finden würde, die entsprechende Long-Position einzugehen. Der Investor erhält damit eine Dividende δ zuzüglich des Wertzuwachses α. α und δ müssen im Kapitalmarktgleichgewicht der risikoangepassten Rendite der riskanten Investition entsprechen. Aus dieser Überlegung folgt, dass sich die Rendite des Portfolios innerhalb eines Zeitraumes $dt$ wie folgt darstellt:

$$dF - \frac{\partial F}{\partial V} \cdot dV - \delta \cdot V \cdot \frac{\partial F}{\partial V} \cdot dt \ . \tag{5}$$

Der Ausdruck $dF$ lässt sich unter Verwendung von Ito's Lemma und (3) zu

$$dF = \left( \alpha \cdot V \cdot \frac{\partial F}{\partial V} + \frac{1}{2} \cdot \sigma^2 \cdot V^2 \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} + \frac{\partial F}{\partial t} \right) dt + \sigma \cdot V \cdot \frac{\partial F}{\partial V} \cdot dz \tag{6}$$

entwickeln. Für die Portfoliorendite ergibt sich dann unter Berücksichtigung von (3)

$$\frac{1}{2} \sigma^2 \cdot V^2 \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} dt + \frac{\partial F}{\partial t} \cdot dt - \delta \cdot V \cdot \frac{\partial F}{\partial V} \cdot dt \ . \tag{7}$$

In (7) treten keine stochastischen Terme mehr auf, d.h. die Rendite des Hedgeportfolios ist tatsächlich risikolos. Durch die Festsetzung $n = \partial F / \partial V$ werden Zufallsschwankungen in $V$ durch solche von $F$ gerade ausgeglichen. Zur Vermeidung von Arbitragemöglichkeiten muss daher gelten:

$$\begin{aligned} &\frac{1}{2} \sigma^2 \cdot V^2 \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} dt + \frac{\partial F}{\partial t} dt - \delta \cdot V \cdot \frac{\partial F}{\partial V} dt \\ &= r \left( F - V \cdot \frac{\partial F}{\partial V} \right) dt \end{aligned} \tag{8}$$

wobei $r$ wieder den risikolosen Zinssatz bezeichnet. (8) lässt sich umformen zu:

$$(9) \qquad \frac{1}{2}\sigma^2 V^2 \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} + V(r-\delta)\frac{\partial F}{\partial V} + \frac{\partial F}{\partial t} - r \cdot F = 0 .$$

Das Resultat der soeben durchgeführten Contingent-Claim-Analyse ist die partielle Differentialgleichung (9), die eine allgemeine Bewertungsgleichung für Realoptionen darstellt. Im Folgenden ist zu diskutieren, wie daraus der Wert der Investitionsmöglichkeit bzw. der Verzögerungsoption konkret zu bestimmen ist und wie eine Entscheidungsregel für die Durchführung der Investition abgeleitet werden kann.

### 3.2 Lösungsverfahren

TRIGEORGIS (1996) und HULL (2000) vermitteln eine Übersicht über Lösungsverfahren zur Optionspreisberechnung. Grundsätzlich ist zwischen analytischen und numerischen Verfahren zu unterscheiden. Analytische Verfahren vermitteln einen guten Einblick in die Struktur, die Eigenschaften und die Determinanten der Optionspreismodelle. Leider sind sie an Annahmen geknüpft, die im Finanzbereich zwar häufig zutreffen, für reale Optionen jedoch meist unrealistisch sind. Zielt man auf realitätsnahe Anwendungen ab, so ist die Verfügbarkeit flexibler und effizienter numerischer Verfahren eine wichtige Voraussetzung. Nachfolgend wird kurz auf die analytische Lösung für einen einfachen Standardfall eingegangen und anschließend wird gezeigt, wie reale Optionen mittels stochastischer Simulation bewertet werden können. Auf Binomialbäume als weiteres wichtiges numerisches Verfahren wird an dieser Stelle nicht eingegangen, da der Grundgedanke bereits in Abschnitt 2 angesprochen wurde. Einzelheiten zu Binomialbäumen finden sich bei TRIGEORGIS (1996, S. 320 ff.) und HULL (2000, S. 388 ff.).

DIXIT und PINDYCK (1994, S. 136 ff.) folgend sei unterstellt, dass die Möglichkeit zu investieren unbegrenzt hinausgezögert werden kann und nicht verfällt. Bei einer unendlichen Laufzeit ist der Optionswert $F$ ausschließlich eine Funktion des Barwertes der Investitionsrückflüsse $V$ und unabhängig von der Zeit $t$. (9) vereinfacht sich dann zu der gewöhnlichen Differentialgleichung:

$$(10) \qquad \frac{1}{2}\sigma^2 \cdot V^2 \cdot \frac{d^2 F}{dV^2} + (r-\delta) \cdot V \cdot \frac{dF}{dV} - r \cdot F = 0 .$$

Zusätzlich muss $F(V)$ folgenden Randbedingungen genügen:

$$(11) \qquad F(0) = 0$$

$$(12) \qquad F(V^*) = V^* - I$$

$$(13) \qquad \left.\frac{dF}{dV}\right|_{V=V^*} = 1$$

Die erste Nebenbedingung ergibt sich aus der Annahme eines geometrischen Brown'schen Prozesses. Nimmt $V$ den Wert Null an, kann dieser auch künftig nicht verlassen werden und die Investitionsoption ist wertlos. Die zweite Nebenbedingung, die als „Value-Matching-Bedingung" bezeichnet wird, fordert, dass beim sog. Investitionstrigger $V^*$ innerer Wert und Fortführungswert der Option gleich groß sind. $V^*$ ist also ein Break-even-Point dergestalt, dass investiert werden sollte, sobald $V(t)$ diesen Wert überschreitet. Die letzte Bedingung besagt, dass der Optionswert $F(V)$ und der innere Wert $V - I$ am Indifferenzpunkt $V^*$ dieselbe Steigung aufweisen müssen, d.h. beide Funktionen tangieren sich in $V^*$[1]. Die Lösung von (10) unter den Randbedingungen (11) – (13) lautet (DIXIT und PINDYCK, 1994, S. 152):

$$(14) \qquad F(V) = A \cdot V^{\beta} \quad \text{mit}$$

$$(15) \qquad \beta = \frac{1}{2} - \frac{r-\delta}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{r-\delta}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} > 1 \quad \text{und}$$

$$(16) \qquad A = \frac{(\beta-1)^{\beta-1}}{\beta^{\beta} \cdot I^{\beta-1}}$$

Daraus lässt sich auch der gesuchte Investitionstrigger ableiten:

$$(17) \qquad V^* = \frac{\beta}{1-\beta} \cdot I$$

Wie bereits angedeutet, hat $V^*$ folgende Interpretation: Investiere, sobald $V(t)$ den Trigger $V^*$ überschreitet; schiebe die Investitionsentscheidung hinaus, solange $V(t)$ kleiner ist als $V^*$ und warte auf neue Informationen über die Investitionsrückflüsse. Da der Faktor $\beta/(1-\beta)$ größer ist als 1, ergeben sich zwangsläufig Abweichungen zum klassischen Kapitalwertkriterium, das die Durchführung einer Investition empfiehlt, sobald $V(t)$ die Investitionsausgaben $I$ deckt.

Situationen, in denen (14) – (17) eine Lösung des Optionsbewertungsproblems bieten, sind nur selten gegeben. Komplikationen ergeben sich insbesondere durch folgende Aspekte:

- Die Stochastizität der Investitionsrückflüsse lässt sich nicht durch einen geometrischen Brown'schen Prozess (3) beschreiben.
- Es liegen mehrere Risikofaktoren vor.
- Die Laufzeit der Investitionsoption ist begrenzt.
- Die Ausübung der Option ist nicht jederzeit möglich.
- Es liegen gleichzeitig mehrere reale Optionen vor, d.h. der Handlungsspielraum beschränkt sich nicht auf die Verzögerung der Investition.

Nicht jede Lockerung der getroffenen Annahmen zwingt zur Verwendung numerischer Verfahren, allerdings stößt man schnell an Modellierungsgrenzen, wenn man sich auf analytische Lösungen beschränkt. Eine alternative Technik zur Optionsbewertung ist die stochastische Simulation (BOYLE, 1977). Die Nutzung der stochastischen Simulation basiert auf der Erkenntnis, dass sich der Wert einer Option

1) Zur Begründung dieser sog. Smooth-Pasting-Bedingung siehe DIXIT und PINDYCK (1994, S. 130 ff.).

als Gegenwartswert seiner erwarteten Rückflüsse ermitteln lässt[2]):

$$(18) \qquad F(V(t)) = e^{-r\tau} \cdot \hat{E} \max\{0, V(T) - I\}$$

$\tau = T - t$ bezeichnet die Restlaufzeit der Option bis zur Fälligkeit $T$. $\hat{E}$ drückt aus, dass der Erwartungswert unter Anwendung des Risk-Neutral-Valuation-Prinzips gebildet wird. D.h. für die Simulation des stochastischen Prozesses des Barwertes der Investitionsrückflüsse $V(t)$ wird in (3) anstelle des Driftparameters $\alpha$ der Parameter $\hat{\alpha} = r - \delta$ herangezogen. Dies entspricht der Bildung von Pseudowahrscheinlichkeiten in der Bewertungsgleichung (2). Durch diese Manipulation wird bei gleichzeitiger Verwendung des risikolosen Zinssatzes $r$ als Diskontierungsrate Arbitragefreiheit der berechneten Optionspreise sichergestellt[3]). TRIGEORGIS (1996, S. 103 ff.) zeigt, dass die risikoneutrale Driftrate relativ einfach ermittelt werden kann, sofern der Output der Investition auf Futuresmärkten gehandelt wird. Es gilt dann:

$$(19) \qquad \hat{\alpha} = \frac{\ln\left(\frac{f_{t_2}}{f_{t_1}}\right)}{t_2 - t_1}$$

mit $f_{t_1}$ und $f_{t_2}$ als Futuresnotierungen mit den Laufzeiten $t_1 < t_2$.

Bei der Anwendung der stochastischen Simulation auf reale Optionen tritt allerdings ein Problem auf: Reale Optionen sind solche amerikanischen Typs, da sie praktisch jederzeit ausgeübt werden können und der optimale Ausübungszeitpunkt muss endogen ermittelt werden. Die Anwendung von (18) setzt aber voraus, dass der Ausübungszeitpunkt ($T$) feststeht. Deswegen wird in der Literatur die Auffassung vertreten, stochastische Simulation sei für die Bewertung amerikanischer Optionen ungeeignet. IBANEZ und ZAPATERO (1999) zeigen allerdings, dass diese Einschränkung durch eine Koppelung von stochastischer Simulation und dynamischer Programmierung behoben werden kann. Ihr Ansatz basiert auf einer rückwärts-rekursiven Berechnung der Exercise-Frontier für diskrete Ausübungszeitpunkte $T, T-1, \ldots, 1$. Die Exercise-Frontier gibt den kritischen Barwert der Investitionsrückflüsse $V^*$ in Abhängigkeit von der Restlaufzeit der Option an, d.h. im Gegensatz zu der Lösung (17) ist hier eine Vielzahl von Punkten zu bestimmen (siehe Abb. 2). Eine ausführliche Beschreibung dieses relativ rechenaufwendigen Verfahrens erfolgt bei ODENING (2000). Alternativ zur Verwendung der dynamischen Programmierung kann die Exercise-Frontier auch direkt mit Hilfe genetischer Algorithmen bestimmt werden. Dazu wird der Optionswert $F(V)$ bezüglich $V_t^*$ simultan für alle $t$ maximiert, wobei die Maximierung eine rekursive Abfolge der Schritte „Evaluierung der Fitness", „Selektion und Replikation", „Rekombination" und „Mutation" umfasst (vgl. BALMANN und MUSSHOFF, 2001a). Dieses Verfahren weist einen hohen Grad an Flexibilität auf und lässt sich auch auf sehr komplexe reale Optionen anwenden; allerdings erfüllen die Ergebnisse nicht immer alle theoretischen Konsistenzbedingungen. Zudem ist die Methode wegen der zur Fitnessbestimmung einer Lösung notwendigen stochastischen Simulation ebenfalls sehr rechenaufwendig.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft das Ergebnis der Berechnung einer Exercise-Frontier mittels stochastischer Simulation für die Problemstellung einer Investition in die Schweinemast. Offensichtlich sind die zuvor genannten Anwendungsvoraussetzungen Irreversibilität der Investitionsausgaben, Unsicherheit der Investitionsrückflüsse und Verschiebbarkeit der Investitionsentscheidung in dieser Situation gegeben. Bei der Modellierung der Entscheidungssituation wurden Kosten und Erträge zugrunde gelegt, wie sie sich für spezialisierte Schweinemastbetriebe in Deutschland derzeit darstellen (vgl. MUSSHOFF, 2000). Aus Abbildung 2 geht hervor, dass die Deckungsbeiträge, die entsprechend der neuen Investitionstheorie eine sofortige Investition in die Schweinemast nahe legen, bei den gewählten Annahmen um 60 Prozent höher liegen, als von dem traditionellen Kapitalwertkriterium gefordert. Auch in weiteren Anwendungen zeigen sich deutliche Abweichungen (z.B. PIETOLA und WANG, 2000 oder PURVIS et al., 1995). Diese Feststellung ist nicht nur aus normativer einzelbetrieblicher Sicht relevant, sondern auch für das Verständnis der Geschwindigkeit, mit der sich ökonomische Anpassungsprozesse vollziehen (ODENING und BALMANN, 2001).

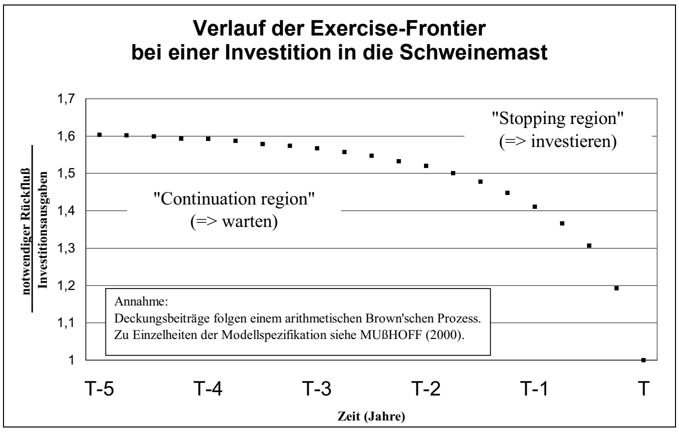


**Abbildung 2**

### 3.3 Determinanten des Optionswertes und des Investitionstriggers

Nachstehend sollen kurz einige Faktoren angesprochen werden, die Einfluss auf den Optionswert haben.

- Laufzeit der Realoption
  Optionswert und Investitionstrigger steigen bei einer Verlängerung der Optionslaufzeit; der Effekt nimmt allerdings ab, wie Abbildung 2 zeigt. Der Grenzfall einer unendlichen Laufzeit lag der zuvor betrachteten analytischen Lösung zugrunde. Geht die Restlaufzeit gegen Null, fallen Optionswert und traditioneller Kapitalwert zusammen. In realen Entscheidungssituationen könnte eine zeitliche Begrenzung der Option beispielsweise durch das Auslaufen bestimmter Förderprogramme oder die Einführung von Restriktionen, etwa das Verbot von Käfighaltung in der Geflügelproduktion, begründet sein.

2) Einzelheiten der technischen Umsetzung mit Hilfe gängiger Software finden sich z.B. bei WINSTON (1998, S. 325 ff.).

3) NEFTCI (1996, S. 297 ff.) liefert eine ausführliche theoretische Begründung dieses Vorgehens und erläutert die Beziehung zu der zuvor angesprochenen Bestimmung von Optionspreisen mittels partieller Differentialgleichungen.

- Zahl der Ausübungsmöglichkeiten
  Auch eine zunehmende Häufigkeit der Ausübungsmöglichkeit der (Des)Investition erhöht den Optionswert, denn damit ist ein Zuwachs an Flexibilität verbunden. Diese Feststellung steht in Einklang mit der bekannten Tatsache, dass amerikanische Optionen i.d.R. wertvoller sind als europäische, d.h. solche, die nur zum Ende ihrer Laufzeit ausgeübt werden können.

- Abschreibung
  Abschreibung als solche erhöht die Auslöseschwelle für die Investition, denn die erwarteten Investitionsrückflüsse müssen den Wertverlust der Anlage kompensieren. Besteht allerdings nach Ablauf der Nutzungsdauer die Möglichkeit, das Projekt erneut zu realisieren, wird die Investition im Vergleich zu einer Situation ohne Abschreibung vorgezogen, da die Zeitdauer der Kapitalbindung und damit der Grad an Irreversibilität geringer sind.

- Driftrate und Zinssatz
  Die Höhe des Investitionstriggers hängt weiterhin von der Differenz zwischen dem risikolosen Zinssatz $r$ und der Driftrate $\alpha$ des Barwertes der Investitionsrückflüsse ab. Je kleiner diese Differenz ist, umso größer sind $F(V)$ und $V^*$. Dies lässt sich folgendermaßen plausibel machen (DIXIT und PINDYCK, 1994, S. 155 f.): Bei gegebenem $r$ ist es lohnender zu warten, wenn der erwartete Wertzuwachs des Projektes hoch ist. Das Gegenteil gilt bei einer Erhöhung von $r$ für eine gegebene Driftrate, denn dadurch werden künftige Erträge stärker entwertet, so dass Warten teuer wird.

- Volatilität
  Die Ergebnisse von Optionspreismodellen reagieren besonders sensibel auf das Ausmaß der Unsicherheit, das sich in dem Parameter $\sigma$ manifestiert. Je größer die Volatilität der Investitionsrückflüsse, umso größer ist der Investitionstrigger, d.h. die Investitionszurückhaltung nimmt zu. Klassische entscheidungstheoretische Modelle kommen zu derselben Aussage, allerdings ist die Begründung im Kontext der Realoptionen eine andere: Nicht die Risikoaversion der Entscheider führt zu einer Investitionszurückhaltung, sondern die Erkenntnis, dass Warten vorteilhaft ist und daher eine sofortige Realisation der Investition mit Opportunitätskosten belegt ist. Tatsächlich wird das Vorhandensein von Unsicherheit als Chance, d.h. positiv interpretiert: Verfügt ein Unternehmen über Handlungsmöglichkeiten (Flexibilität), dann sind diese in einer stochastischen Umwelt wertvoller als in einer deterministischen.

- Art des stochastischen Prozesses
  Wie bereits erwähnt, ist die Standardannahme in finanzwirtschaftlichen Anwendungen ein geometrischer Brown'scher Prozess (vgl. (3)). Er impliziert, dass *relative* Wertänderungen im Zeitablauf konstant sind und dass die betrachtete Zufallsvariable nicht negativ werden kann. Da es sich um einen Random Walk handelt, sind Erwartungswert und Varianz im Zeitablauf unbegrenzt. Diese Annahme ist für reale Optionen nicht gleichermaßen plausibel. Zum einen werden die Investitionsrückflüsse keinem geometrischen Brown'schen Prozess folgen, wenn variable Kosten anfallen, da der Cash-Flow dann negativ werden kann. Zum anderen ist zweifelhaft, ob Preise für Agrarprodukte genau wie Aktienkurse einem Random Walk folgen, d.h. nichtstationär sind. Es scheint plausibler, dass diese Preise um ein mehr oder weniger konstantes, durch die Grenzkosten der Produktion bestimmtes Niveau schwanken und sich nach einer temporären, stochastischen Abweichung diesem Niveau wieder annähern. Ein derartiges Verhalten wird durch sog. Mean-Reverting-Prozesse abgebildet. Diese Feststellung ist insofern relevant, als der Typ des Zufallsprozesses den Optionswert beeinflusst. Beispielsweise kommt MUSSHOFF (2000) zu völlig unterschiedlichen Ergebnissen für den Investitionstrigger in der Schweinemast, je nach dem ob ein geometrischer Brown'scher Prozess, ein arithmetischer Brown'scher Prozess oder ein integrierter Moving-Average-Prozess IMA(1,1) für die Deckungsbeiträge unterstellt wird.

## 4 Erweiterungen

### 4.1 Optionstypen

Bislang wurde das Konzept der realen Option am Beispiel einer Verzögerungsoption veranschaulicht. Darüber hinaus gibt es aber eine Reihe weiterer Optionstypen, die insgesamt wie folgt klassifiziert werden können (vgl. TRIGEORGIS, 1996):

- Verzögerungsoption
  Siehe oben.
- Unterbrechungsoption
  Diese Option beinhaltet die Möglichkeit, die Produktion zeitweilig zu unterbrechen und später wieder aufzunehmen. Dies ist dann von Vorteil, wenn mit der Produktion variable Kosten verbunden sind, die eingespart werden können. Beispielsweise ist es denkbar, die Produktion von Mastschweinen zeitweilig auszusetzen, wenn an Hand von Futuresnotierungen absehbar ist, dass die laufenden Produktionskosten nicht durch die zu erwartenden Verkaufserlöse gedeckt werden. Allerdings können zusätzliche Kosten für die Konservierung der Produktionsanlagen und das Wiederanfahren der Produktion anfallen. Die Unterbrechungsoption kann formal mit einer Summe europäischer Call-Optionen verglichen werden, deren Wert $e^{-rt} \cdot \hat{E}\max\{0, P_t - C_t\}$ beträgt, wobei $P$ den Produktpreis und $C$ die variablen Produktionskosten bezeichnet.
- Desinvestitionsoption
  Die Abbruchoption ermöglicht es dem Investor, einen Teil der anfänglichen Investitionsausgaben durch Verkauf oder Verpachtung des Investitionsobjektes zurückzubekommen. Der Entscheidungsträger hat in diesem Fall abzuwägen, ob er weiterproduzieren oder desinvestieren soll. Diese Situation ist analog zu einer amerikanischen Put-Option auf eine dividendenzahlende Aktie, wobei der Wiederveräußerungswert dem Ausübungspreis und der Cash Flow der Investition den Dividendenzahlungen entspricht. Die Existenz solcher Handlungsmöglichkeiten ist sicher objektspezifisch. Sie dürfte im Allgemeinen für mobile Anschaffungsgüter eher gegeben sein als für Gebäude. Allerdings ist durchaus zu beobachten, dass auch Wirtschaftsgebäude für die Nutztierhaltung verpachtet werden.

- Expansionsoption
  Zum Teil lassen sich Investitionsprojekte in mehreren Stufen realisieren. Nach einer kleineren anfänglichen Investition kann im Fall positiver wirtschaftlicher Entwicklungen expandiert werden. Eine solche Option beinhaltet natürlich mehr Flexibilität als eine sofortige Investition in vollem Umfang.
- Kontraktionsoption
  Diese Option ist das Gegenstück einer Expansionsoption.
- Nutzungswechseloption
  Hierbei handelt es sich um einen sehr allgemeinen Optionstyp. Einige der zuvor genannten Optionen fallen in diese Kategorie. So kann eine Desinvestition als Nutzungswechsel interpretiert werden. Darunter ist aber auch die Fähigkeit zu verstehen, für die Produktion verschiedener Güter einsetzbar zu sein (flexible Produktionssysteme) oder verschiedene Ressourcen verwenden zu können (z.B. alternative Energieträger)

Die Darstellung der verschiedenen Optionstypen macht eines deutlich: Es lässt sich beinahe jede Entscheidungssituation, in der es um die Bewertung von Flexibilität geht, optionstheoretisch darstellen. Dabei muss es nicht einmal um Investitionen im klassischen Sinne gehen. Auch die Entscheidung über eine Pflanzenschutzapplikation kann als reale Option aufgefasst werden; die Suche nach dem gewinnmaximalen Investitionstrigger kommt der Bestimmung der ökonomischen Schadschwelle gleich.

Tabelle 2: **Optionswerte und kritische Deckungsbeiträge in der Schweinemast bei isolierten und komplexen Investitionsoptionen**
(Angaben in € pro Platz und Jahr)

| | Verzögerungoption (isoliert) | Desinvestitionsoption (isoliert) | Verzögerungs- + Desinvestitions-option | Verzögerungs- + Unterbrechungs-option | Verzögerungs- + Desinvestitions- + Unterbrechungs-option |
|---|---|---|---|---|---|
| Optionswert | 185 | 66 | 209 | 201 | 210 |
| Kritischer Deckungsbeitrag | 83 | -4 | 76 | 79 | 76 |

*Annahmen*: Arithmetischer Brown'scher Prozess der Deckungsbeiträge, Investitionskosten 52 € pro Platz und Jahr, Pachtpreis 20 € pro Platz und Jahr, Optionswert berechnet für einen anfänglichen Deckungsbeitrag von 65 €.

In den meisten Anwendungen treten reale Optionen nicht isoliert auf; vielmehr stellen Investitionsprojekte einen mehr oder weniger komplexen Verbund der angesprochenen Optionstypen dar. Beispielsweise bestehen i.d.R. vor Durchführung eines Investitionsprojektes sowohl eine Verzögerungs- als auch eine Desinvestitionsoption. Die Bewertung des Realoptionskomplexes wird dadurch erschwert, dass die verschiedenen Einzeloptionen interagieren, was zu einer simultanen Bewertung aller Optionen zwingt. Die Interdependenzen zwischen Optionen sollen an dem oben beschriebenen Beispiel der Investition in die Schweinemast illustriert werden (siehe Tab.2).

Die Zahlen verdeutlichen die Nichtadditivität der Optionswerte. Der Wert des Optionskomplexes ist zwar größer als der Wert der Einzeloptionen, aber kleiner als die Summe beider. Gleichzeitig sinkt der Investitionstrigger im Vergleich zu einer isolierten Verzögerungsoption, d.h. die Investitionszurückhaltung sinkt. Dies lässt sich einfach plausibel machen: Sowohl die Verzögerungs- als auch die Desinvestitionsoption wirken als eine Art Versicherung für den Fall ungünstiger Rentabilität, d.h. sie bilden Substitute. Diese Feststellung ist verallgemeinerbar. Der Wert eines Puts wird durch einen vorgeschalteten Call stets geringer, da sich der Wert des Bezugsobjektes erhöht. Ähnliche Überlegungen lassen sich für den Verbund aus Verzögerungs- und Unterbrechungsoption anstellen. Es gibt aber auch Beispiele für positive Interaktionseffekte[4]).

#### 4.2 Wettbewerb und Preisendogenität

Ein scheinbar gravierender Einwand gegen die Übertragbarkeit der Optionstheorie auf Investitionsprojekte liegt in der Nichtexklusivität vieler realer Optionen. Während Finanzoptionen ein verbrieftes, individuelles Recht darstellen, stehen Investitionsmöglichkeiten prinzipiell jedem Marktteilnehmer offen. Die bislang vorgenommene Betrachtung unterstellt eine Monopolsituation, die im Agrarbereich selten vorliegt. Im Konkurrenzfall dagegen wird das Überschreiten des Investitionstriggers auch bei Konkurrenten Reaktionen auslösen, die in ihrer Gesamtheit Einfluss auf den Produktpreis und damit den Wert des Investitionsprojektes haben werden. Wie ist mit diesem Einwand umzugehen? Oder anders ausgedrückt: Ist das Real-Options-Konzept auch auf Sektorebene anwendbar? Diese Frage ist in Abhängigkeit von der Art der Unsicherheit und von der Marktform zu diskutieren und grundsätzlich zu bejahen. Ist die Ursache der Stochastizität der Investitionsrückflüsse unternehmensspezifisch, so ändert sich an den bisherigen Überlegungen wenig. Betrifft die Unsicherheit dagegen die gesamte Branche, etwa in Form einer Verschiebung der Nachfragefunktion und ist vollkommene Konkurrenz gegeben, so lohnt es sich für ein Unternehmen nicht zu warten, denn es ist zu erwarten, dass der Preis bei Überschreiten einer Auslöseschwelle infolge eine Ausweitung des aggregierten Angebotes nicht weiter steigen wird. Dennoch ist der für den Monopolfall berechnete Investitionstrigger nicht obsolet. DIXIT und PINDYCK (1994, S. 252 ff.) zeigen, dass er weiterhin Gültigkeit behält; allein die Begründung für sein Zustandekommen ändert sich: War es zuvor die Chance auf einen Wertzuwachs des Investitionsprojektes, so ist es in einer Konkurrenzsituation das Wissen um einen tendenziellen Preisverfall, der Investoren davon abhält, schon bei Erreichen eines „vollkostendeckenden" Preises zu investieren. Auf unvollkommenen Märkten stellt sich die Situation anders dar. Hier steht dem Zeitwert einer Verzögerungsoption der mögliche Verlust von temporären Wettbewerbsvorsprüngen entgegen. Letztere können entstehen, wenn im Laufe der Zeit weitere Konkurrenten den Markt betreten oder technologische Neuerungen übernommen werden. Dieser Verlust an Pioniergewinn kann formal wie eine Dividendenzahlung interpretiert werden, die nur dem Investor zugute kommt und die dazu führt, dass eine Investition (im Vergleich zur Monopolsituation) zeitlich vorgezogen wird. Der erweiterte Kapitalwert nähert sich wieder dem statischen Kapitalwert des Investitionsprojektes an (TRIGEORGIS, 1996, S. 273ff.). Eine Endogenisierung der

4) KULATILAKA (1995) und TRIGEORGIS (1996) nehmen systematische Untersuchungen zu Interdependenzen in Realoptionskomplexen vor.

Markteintrittsentscheidungen in Oligopolmärkten ist mit Hilfe spieltheoretischer Modelle grundsätzlich möglich (vgl. BERNHARD, 2000), allerdings scheinen hier die Grenzen einer anwendungsbezogenen Umsetzung erreicht.

### 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die im Untertitel dieses Beitrages gestellte Frage nach den Übertragungsmöglichkeiten der Optionspreistheorie auf Problemstellungen des Agribusiness kann vor dem Hintergrund der obigen Ausführungen bejaht werden. Die Gründe dafür sind folgende:

- Investitionen sind fundamentale ökonomische Transaktionen, nicht nur in der allgemeinen Betriebswirtschaft, sondern auch im Agribusiness. Viele klassische, investitionsbezogene Entscheidungsprobleme lassen sich „neu" entdecken. Sowohl Anwendungsbedarf als auch Anwendungsvoraussetzungen sind bei agrarbezogenen Fragestellungen nicht schlechter als anderswo, da der Output von Investitionsprojekten hier vielfach Produkte sind, für die Märkte existieren.
- Die Erkenntnisse des Real-Options-Ansatzes greifen nicht nur bei der Beurteilung des Wertes und der Rentabilität einzelner Investitionen, sondern haben Implikationen für die Unternehmensbewertung als solche, da diese im Wesentlichen ertragswertorientiert ist und auf eine Form der Discounted-Cash-Flow-Analyse zurückgreift (vgl. BERNHARD, 2000).
- Die neue Investitionstheorie erlaubt eine neue Sichtweise von Risiko, bei der Risiko, oder besser Volatilität, nicht als etwas Negatives gesehen, sondern als Chance begriffen wird, sofern ein Unternehmen über Flexibilität verfügt oder sie herstellen kann (vgl. AMRAM und KULATILAKA, 1999).
- Die neue Investitionstheorie lässt eine Integration von mikroökonomisch-entscheidungstheoretischer Sichtweise einerseits und managementorientierter Sichtweise der Unternehmensführung andererseits zu. Dies ist bemerkenswert, da beide „Schulen" ansonsten oft nebeneinander existieren. Basierend auf finanztheoretischen Modellen können Aspekte der strategischen Planung sowie Wettbewerbsüberlegungen grundsätzlich berücksichtigt werden. Daher ist es nicht verwunderlich, dass reale Optionen zunehmend zum Gegenstand von kommerziellen Managementseminaren und praxisbezogenen Publikationen werden (vgl. z.B. HOMMEL et al., 2001).
- Die Anwendung der realen Optionen ist nicht auf einzelbetriebliche Fragestellungen beschränkt; vielmehr lassen sich auch agrarpolitische und sektorbezogene Themenstellungen betrachten. Zum einen können die betrieblichen Reaktionen auf marktpolitische Instrumente mit Optionscharakter analysiert werden. Ein Beispiel ist die Untersuchung von KANG und BRORSEN (1995), bei der die Teilnahme von US-Farmern an einem Deficiency-Payment-Programm prognostiziert wird. Weiterhin lässt sich die Wirkung von Preispolitiken bewerten (WINTER-NELSON und AMEGBETO, 1998; BALMANN und MUSSHOFF, 2001b). Darüber hinaus kann auch der viel verwendete Begriff der Politikunsicherheit operationalisiert und bewertet werden. DIXIT und PINDYCK (1994, S. 303 ff.) tun dies mit Blick auf die Wirkung von Investitionsförderprogrammen.
- Schließlich liegt es nahe, den Optionsgedanken auf umweltökonomische Fragestellungen anzuwenden, denn auch bei der Nutzung von Umweltgütern treten Unsicherheit und Irreversibilität auf (NICODEMUS, 1998) und die Bewertung von Flexibilität spielt insbesondere im Zusammenhang mit der Erhaltung bedrohter Lebensformen und Biodiversität eine Rolle (WEIKARD, 2000).

Puristen werden an dieser Stelle möglicherweise Einspruch erheben, wenn der Begriff der realen Optionen derart weit gefasst wird. Denn wie deutlich wurde, ist die Optionspreistheorie ja mehr als „nur" die Anwendung von stochastischen und dynamischen Modelle. Der „Clou" liegt in der besonderen Art und Weise, diese Modelle zu formulieren und die darin enthaltenen Parameter zu spezifizieren. Würde man eine Analyse realer Optionen auf „normale" Optimal-Stopping-Probleme reduzieren, ginge ein Teil der nobelpreisgekrönten Erkenntnisse von Black und Scholes verloren. Nicht die stochastische dynamische Programmierung oder die stochastische Simulation als solche charakterisieren die Optionspreistheorie, sondern die Contingent-Claim-Analyse bzw. das Risk-Neutral-Valuation-Prinzip, da erst sie die Arbitragefreiheit der berechneten Optionspreise sicherstellen. Für finanzwirtschaftliche Anwendungen ist Arbitragefreiheit eine nicht wegzudenkende Prämisse. Ob und inwieweit die Schwierigkeiten, Convenience Yields bzw. „risikoneutrale" Driftraten in diesem Sinne korrekt zu schätzen, den praktischen Nutzen von Real-Options-Anwendungen in der Agrarökonomie schmälern, darüber lässt sich streiten. Die Ergebnisse der hier vorgestellten Modelle haben sich beispielsweise nur geringfügig geändert, wenn anstelle risikoneutraler Driftraten aktuelle Driftraten und subjektiv gegriffene Diskontierungsraten verwendet wurden. Was in jedem Fall bleibt, ist eine Analyse, die sowohl dynamischen als auch stochastischen Charakter aufweist. Und wenn die Beschäftigung mit der neuen Investitionstheorie dazu führen sollte, dass beide Aspekte in agrarökonomischen Anwendungen künftig stärkere Beachtung fänden, so wäre dieses Konzept sicher keine „Mogelpackung".

Abschließend sei angemerkt, dass, obwohl die neue Investitionstheorie wichtige Einsichten in die Struktur dynamischer Entscheidungsprobleme unter Risiko liefert, allerdings eine empirische Validierung der Bedeutung dieses Konzeptes noch weitestgehend aussteht. Nicht jede beobachtbare Investitionszurückhaltung muss optionstheoretisch begründbar sein. Versuche, optionsbedingte Hystereseeffekte ökonometrisch zu schätzen, sind bislang selten und stellen zukünftig eine reizvolle Forschungsaufgabe dar[5]).

#### Literaturverzeichnis

AMRAM, M.; KULATILAKA, N. (1999): Real Options. Managing Strategic Investments in an Uncertain World. Harvard Business School, Boston.

BALMANN, A.; MUSSHOFF, O. (2001a): Analyse realer Optionen mittels genetischer Algorithmen. In: Kögl, H.; Spilke, J.; Birkner, U. (Hrsg.): Referate der 22. GIL-Jahrestagung in Rostock. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land–, Forst– und Ernährungswirtschaft 14, S. 9–13.

5) Vgl. RICHARDS und PATTERSON (1998) und die dort zitierte Literatur.

BALMANN, A.; MUSSHOFF, O. (2001b): Real Options and Competition: The Impact of Depreciation and Reinvestment. Miemo.

BERNHARD, H.-G. (2000): Realoptionen als Instrument zur marktformspezifischen Unternehmensbewertung. Peter Lang, Frankfurt u.a.

BOYLE, P.P. (1977): A Monte Carlo Approach to Options. Journal of Financial Economics 4, S. 323 – 338.

BRANDES, W.; BERGER, T.; RECKE, G. (1997): Produktions– und Umweltökonomik, Ulmer, Stuttgart.

CAMPBELL, J.Y.; LO, W.; MACKINLAY, C. (1995): The Econometrics of Financial Markets. Princeton University Press, New Jersey.

COX, J.; ROSS, S. (1976): The valuation of options for alternative stochastic processes. Journal of Financial Economics 3, S. 145 – 166.

DIXIT, A. (1992): Investment and Hysteresis. Journal of Economic Perspectives 6, 107 – 132.

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

HOMMEL, U.; SCHOLICH, M.; VOLLRATH, R. (2001): Realoptionen in der Unternehmenspraxis. Springer, Berlin u.a.

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

IBANEZ, A.; ZAPATERO, F. (1999): Monte Carlo Valuation of American Options through Computation of the Optimal Exercise Frontier. Working Paper 99-8, Finance and Business Economics Department, The University of Southern California.

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

KANG, T.; BRORSEN, B.W. (1995): Valuing Target Price Support Programs with Average Option Pricing. American Journal of Agricultural Economics 77, S. 106 – 118.

KULATILAKA, N. (1995): Operating Flexibilities in Capital Budgeting: Substitutability and Complementarity in Real Options. In: TRIGEORGIS, L. (Hrsg.): Real Options in Capital Investment. Praeger, Westport, S. 121 – 131.

LANDER, D.M.; PINCHES, G.E. (1998): Challenges to the Practical Implementation of Modeling and Valuing Real Options. In: PINCHES, G.E. (Hrsg.): Real Options: Developments and Applications. Quarterly Review of Economics and Finance 38 (Special Issue), S. 537 – 568.

MCDONALD, R.; SIEGEL, D. (1986): The Value of Waiting to Invest. Quarterly Journal of Economics 101, S. 707 – 728.

MUSSHOFF, O. (2000): Reale Optionen – Bedeutung und Bewertung in der Landwirtschaft – dargestellt am Beispiel der Schweinemast. Diplomarbeit an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät, Humboldt-Universität zu Berlin.

NEFTCI, N.S. (1996): An Introduction to the Mathematics of Financial Derivatives. Academic Press, San Diego.

NICODEMUS, G. (1998): Reale Optionswerte in der Umweltökonomie. Physika, Heidelberg.

ODENING, M. (2000): Der Optionswert von Sachinvestitionen – Theoretischer Hintergrund und Bewertungsmethoden. Working Paper Nr. 55/2000 der Wirtschafts– und Sozialwissenschaften der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.

ODENING, M.; BALMANN, A. (2001): Die Bedeutung realer Optionen für das Tempo agrarstrukturellen Wandels. In: PENKER, M. und PFUSTERSCHMID, S. (Hrsg.): Wie steuerbar ist die Landwirtschaft? Erfordernisse, Potentiale und Instrumente zur Ökologisierung der Landwirtschaft. Facultas. Wien (im Druck).

PIETOLA, K.S.; WANG, H.H. (2000): The Value of Price and Quantity Fixing Contracts. European Review of Agricultural Economic 27, S. 431 – 447

PURVIS, A.; BOGGESS, W.G.; MOSS, C.B.; HOLT, J. (1995): Technology Adaption Decisions Under Irreversibility and Uncertainty: An Ex Ante Approach. American Journal of Agricultural Economics 77, S. 541 – 551.

RICHARDS, T.J.; PATTERSON, P.M. (1998): Hysteresis and the Shortage of Agricultural Labor. American Journal of Agricultural Economics 80, S. 683 – 695.

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

WEIKARD, H.-P. (2000): On the Quasi-Option Value of Biodiversity and Conservation. Paper presented at XXIV. International Conference of Agricultural Economists (IAAE) Berlin, August 13–19 2000.

WINSTON, W. (1998): Financial Models Using Simulation and Optimization. Palisade, New York.

WINTER-NELSON, A.; AMEGBETO, K. (1998): Option Values and Agricultural Price Policy: Application to Terrace Construction in Kenia. American Journal of Agricultural Economics 80, S. 409 – 418.

Verfasser:

Prof. Dr. MARTIN ODENING und

Dipl.-Ing. agr. OLIVER MUSSHOFF,

Humboldt-Universität zu Berlin, FG Allgemeine Betriebslehre des Landbaus, Luisenstraße 56, D-10117 Berlin, http://www.agrar.hu-berlin.de/wisola/fg/abl/