SCHRIFTEN DER GESELLSCHAFT FÜR WIRTSCHAFTS- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN DES LANDBAUES E.V.

Wesseler, J.; Weichert, M.: Der Wert zusätzlicher Informationen bei Investitionsentscheidungen mit einem hohen Grad an Irreversibilität. In: Berg, E.; Henrichsmeyer, W.; Schiefer, G.: Agrarwirtschaft in der Informationsgesellschaft. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 35, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (1999), S.293-301.

Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e. V., Bd. 35, 1999, S. 293 - 301

DER WERT ZUSÄTZLICHER INFORMATIONEN BEI INVESTITIONSENTSCHEIDUNGEN MIT EINEM HOHEN GRAD AN IRREVERSIBILITÄT

von

J. WESSELER und M. WEICHERT*

1 Einleitung

Investitionen sind in der Regel dadurch gekennzeichnet, daß sie irreversibel und mit Unsicherheit verbunden sind und sich über einen längeren Zeitraum erstrecken. Mit der Bewertung von Investitionsentscheidungen bei Irreversibilität und temporärer Unsicherheit im Rahmen der Neuen Investitionstheorie läßt sich z.B. das Verhalten von Milchfarmern in Wisconsin als ökonomisch rational erklären, trotz sinkender Milchpreise keine die Kosten senkenden Investitionen zu tätigen (BARHAM UND CHAVAS, 1992).

Irreversibilität und temporäre Unsicherheit führen dazu, daß die Option, zu einem späteren Zeitpunkt zu investieren, einen positiven Wert annimmt, und wie gezeigt wird, bei der Investitionsentscheidung zu berücksichtigen ist. Die Entscheidung lautet nicht mehr heute „Ja oder Nein" sondern, „Ja - aber zu welchem Zeitpunkt"[1]. Die Berücksichtigung der Option, zu einem späteren Zeitpunkt investieren zu können, führt zu Entscheidungsregeln, die von Entscheidungen nach der traditionellen Kapitalwertmethode abweichen können (BEIßINGER UND MÖLLER, 1994; CHAVAS, 1994; PINDYCK, 1991a). So haben z.B. BARHAM UND CHAVAS (1997), DIXIT (1992, 1989), DIXIT UND PINDYCK (1994) auf die Relevanz für die Agrar- und Handelspolitik, PURVIS ET AL. (1995) für die Erklärung des Übernahmeverhaltens von technischem Fortschritt in der Landwirtschaft und WINTER-NELSON UND AMEGBETO (1998) für die Beschreibung von Investitionen in ressourcenschonende Maßnahmen hingewiesen.

Im folgenden Beitrag wird gezeigt, welche Bedeutung die Berücksichtigung des optimalen Investitionszeitpunktes auf die Investitionsentscheidung hat und wie in diesem Zusammenhang zusätzliche Informationen zu bewerten sind. Die Bewertungsmethodik wird anhand eines einfachen Beispiels dargestellt und in ein allgemeines Modell überführt, welches das Zusammenwirken für die Analyse wichtiger stochastischer Prozesse aufzeigt.

2 Ein einfaches Beispiel

Das folgende Beispiel wird in Anlehnung an DIXIT UND PINDYCK (1994, S.26 ff.) gewählt. Es sei angenommen, eine Zulassungsbehörde habe zu entscheiden, ob eine gentechnisch veränderte, herbizidresistente Kartoffelsorte zugelassen werden soll. Die Herbizidresistenz führe dazu, daß der Deckungsbeitrag über eine höhere Flächenproduktivität und geringere Pflanzenschutzkosten unmittelbar um D_0=200,00 DM je ha steigt.

Für die folgenden Perioden wird erwartet, daß auf Grund einer effizienteren Anwendung der neuen Technologie der Deckungsbeitrag D_l um D_h=300,00 DM je ha steigt. Andererseits besteht das Risiko, daß die Herbizidresistenz auf andere Pflanzen übertragen wird. Dieses soll

* Dr. sc. agr. Justus Wesseler, Institut für Gartenbauökonie und Dipl.-Math. oec. Michael Weichert, LG Bioinformatik, Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover; e-mail: wesseler@erols.com; weichert@ifgb.uni-hannover.de

[1] Der Zeitpunkt kann auch im Unendlichen liegen, welches einer "Nein"- Entscheidung gleich kommt.

wiederum über geringere Erträge und einen höheren Aufwand für den Pflanzenschutz zu einer Steigerung des Deckungsbeitrages in den nächsten Perioden lediglich um D_l=100,00 DM je ha führen. Beide Änderungen treten mit einer subjektiven Wahrscheinlichkeit von $p=1-p=0{,}5$ ein. Weiterhin soll gelten, daß die Veränderungen auf alle folgenden Perioden übertragen werden, so daß es sich um einen unendlichen konstanten Zahlungsstrom handelt[2]. Außerdem wird angenommen, daß das Risiko völlig diversifiziert werden kann (d.h. der Deckungsbeitrag ist unabhängig von der Entwicklung in dem Rest der Volkswirtschaft) und daher mit dem risikolosen Zinssatz r zu diskontieren ist, welcher 10% betragen soll.

Die Freisetzung der herbizidresistenten Kartoffelsorte führt zu einem Verlust an Biodiversität. Dieser Verlust sei, z.B. über eine Zahlungsbereitschaftsanalyse, mit einem Gegenwartswert von 1600,00 DM je ha bewertet worden. Sie stellen die irreversiblen Kosten I der Entscheidung dar.

Der Kapitalwert einer sofortigen Zulassung läßt sich wie in Gleichung (1) beschrieben ermitteln.

$$(1) \qquad KW_0 = -I + D_0 + \frac{(p \cdot D_h)}{r} + \frac{((1-p) \cdot D_l)}{r} = -1600 + 200 + 1500 + 500 = 600.$$

Da der Kapitalwert KW_0 von Gleichung (1) positiv ist, spricht dies für eine sofortige Zulassung. Allerdings wird dabei nicht berücksichtigt, daß die Option besteht, die Zulassung um eine Periode zu verschieben und nur dann eine positive Entscheidung zu fällen, wenn keine Übertragung der Herbizidresistenz auf andere Kulturen stattfindet, d.h. D_h=300 eintritt. Im gegenteiligen Fall (D_l=100) würde, wie einfach zu erkennen ist, der Kapitalwert negativ ausfallen.

Wartet die Kontrollbehörde eine Periode, so weiß sie, welcher Zustand eintritt und wird die Zulassung nur dann erlauben, wenn keine Übertragung der Herbizidresistenz stattfindet. Der Kapitalwert der Option, nämlich der Möglichkeit die Entscheidung um eine Periode zu verschieben, beträgt:

$$(2) \qquad KW_0^{opt} = 0{,}5\left(-\frac{I}{1+r} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{D_h}{(1+r)^t}\right) = \frac{850}{1{,}1} = 773$$

Ein Vergleich der Kapitalwerte aus Gleichung (1) und Gleichung (2) zeigt, daß es in diesem Fall, $KW_0^{opt} > KW_0$, sinnvoll ist, die Entscheidung um eine Periode zu verschieben.

An diesem einfachen Beispiel zeigt sich bereits, welchen Vorteil die Neue Investitionstheorie liefert. Nach der traditionellen Kapitalwertmethode wäre entschieden worden, sofort die Zulassung auszusprechen. Durch die Berücksichtigung der Option, zu einem späteren Zeitpunkt zu entscheiden, fällt das Ergebnis anders aus, da es sinnvoller ist, eine Periode zu warten und dann unter der Berücksichtigung der zusätzlichen Informationen über einen Einsatz zu entscheiden. Der Wert des Wartens beträgt in diesem Beispiel W=773-600=173DM. Die neue Entscheidungsregel lautet nun nicht mehr zuzulassen, wenn der Kapitalwert positiv ist, sondern zuzulassen, wenn der Kapitalwert positiv **und** der Wert des Wartens nicht größer als null ist. Andernfalls ist die Zulassung zu verschieben.

Weiterhin wird deutlich, daß die Berücksichtigung der Option, zu einem späteren Zeitpunkt entscheiden zu können, tendenziell dazu führt, daß eine Investition verschoben wird. Das gleiche Ergebnis ergibt sich aus der Anwendung des Optionspreisansatzes. Die Möglichkeit, sofort beziehungsweise zu einem späteren Zeitpunkt die Zulassung zu erteilen, ist äquivalent zu einer amerikanischen call-option am Aktienmarkt (PINDYCK, 1991b).

Zur Verdeutlichung sei angenommen, daß F_0 den Wert der Option heute und F_1 den Wert der

---

[2] Diese Annahme ist getroffen worden, um das Beispiel einfach zu halten. Bei der Verallgemeinerung wird verständlicherweise angenommen, daß die Erträge nicht auf einem konstanten Niveau stehenbleiben, sondern einem stochastischen Prozeß folgen.

Zulassung in einem Jahr widerspiegelt. Die Zufallsvariable F_1 kann entweder den Wert F_1 = 1700 annehmen, wenn der Deckungsbeitrag hoch ist, oder 0, wenn der Deckungsbeitrag niedrig ist. Im letzten Fall wird die Option nicht ausgeübt, da 100+100/0,1-1600 < 0 ist. Damit sind alle Werte bekannt, die F_1 annehmen kann. Die Frage ist nun, welchen Wert F_0 hat.

Um diese Frage zu beantworten, wird ein Portfolio kreiert, welches die gleiche Wertentwicklung wie die Zulassungsentscheidung hat. Dieses Portfolio bestehe aus der Zulassungsentscheidung an sich (analog zu der Option) und des Rechtes an dem höheren Deckungsbeitrag auf Grund des Einsatzes von herbizidresistenten Kartoffeln[3].

Das Portfolio wird so zusammengesetzt, daß es risikolos ist, d.h. der Wert unabhängig vom Umweltzustand in Periode 1 ist. Da das Portfolio risikolos sein soll, muß die Rendite des Portfolios dem risikolosen Zinssatz entsprechen. Das Portfolio setzt sich zusammen aus der Zulassungsmöglichkeit (Call-Option) und n Einheiten an Rechten zum Einsatz der neuen Kartoffelsorte. Die Rechte werden als Leerverkauf[4] gehalten. Wertmäßig ergibt sich für das Portfolio heute:

(3) $\Phi_0 = F_0 - n\,D_0 = F_0 - 200n$

Der Wert dieses Portfolio in einem Jahr ist:

(4) $\Phi_1 = F_1 - n\,D_1$

Der Wert Φ_1 hängt von D_1 ab. Steigt der Wert auf D_h=300DM, ergibt sich für F_1 = 1700 DM, sinkt er auf D_l=100 DM, ergibt sich für F_1=0. Nun soll n so gewählt werden, daß Φ_1 risikolos ist, d.h. unabhängig davon, welcher Preis eintritt. Dazu werden beide Zustände gleichgesetzt:

$$1700 - 300n = -100n; \Rightarrow n = 8{,}5.$$

Unabhängig von D_1 ergibt sich der Wert des Portfolios Φ_1 zu Φ_1 = -850. Der Wert dieses Portfolios muß dem Wert des Ausgangsportfolios Φ_0 multipliziert mit dem risikolosen Zinssatz entsprechen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß ein Leerverkauf an Rechten nur möglich ist, wenn dies eine Verzinsung zum risikolosen Zinssatz sicherstellt, da kein rationaler Entscheider sonst einem Leerverkauf zustimmen würde. Dies ist vergleichbar der Berücksichtigung von Dividenden bei Leerverkäufen von Aktien (DIXIT UND PINDYCK, 1994, S. 32). Für die Gleichsetzung der beiden Portfolios Φ_0, Φ_1 in t = 1 ergibt sich:

(5) $1.1(F_0 - nD_0) + 0{,}1nD_0 = -850.$

Der Wert von Φ_0 nach einer Periode setzt sich zusammen aus der Verzinsung der Option und des Leeverkaufes sowie der "Dividende". Nach dem Einsetzen der Werte und Auflösen nach F_0 ergibt sich ein Wert von F_0=773.

Auch hier zeigt sich, daß der Wert der Option, in der nächsten Periode zuzulassen, bei einer Zulassungsentscheidung mit zu berücksichtigen ist. Dieser Wert entspricht den Opportunitätskosten der unmittelbaren Zulassung Werden sie mit einbezogen, so liegen die Kosten der sofortigen Zulassung über den Erträgen: 1600+773 > 2200.

---

3 Dixit und Pindyck (1994, S. 32) haben auf das Problem hingewiesen, welches entsteht, wenn kein Gut tatsächlich gehandelt wird, daß das gleiche Risiko enthält wie die Investition. Dann besteht die Möglichkeit, den Kapitalwert für jede Investitionsstrategie zu ermitteln und die Strategie mit dem höchsten Kapitalwert auszuwählen. In diesem Fall, der Zulassung von gentechnisch veränderten Kartoffeln, reicht es, anzunehmen, es wäre so als ob die Rechte an der Technologie handelbar wären. Ähnlich haben auch BLACK UND SCHOLES (1973) bei der Ableitung ihrer Formel zur Bewertung von Optionsscheinen argumentiert, indem sie Leerverkäufe unterstellt haben, die tatsächlich rechtlich nicht möglich sind.

4 Unter einem Leerverkauf wird die Möglichkeit verstanden, Waren, die noch nicht im Besitz sind, bereits zu verkaufen und zu einem späteren Termin zu liefern. In diesem Beispiel entspräche es der Möglichkeit, das Recht, herbizidresistente Pflanzen anbauen zu dürfen, handeln zu können. Es wird daher zusätzlich angenommen, daß ein Markt für diese Rechte besteht. Somit bedeutet der Leerverkauf in diesem Beispiel, jemandem das Recht herbizidresistente Pflanzen in der nächsten Periode anbauen zu dürfen, heute zu verkaufen, obwohl dieses Recht noch gar nicht besteht.

Der Zusammenhang zwischen Investitions- und Optionspreistheorie läßt sich an der Darstellung der einzelnen Portfolios verdeutlichen, welche in Tabelle 1 dargestellt sind.

Tabelle 1: Zusammenstellung des Portfolios im Gleichgewicht.

Zahlungen	Ausgangsperiode (Φ_0)	Zustand nach einer Periode Φ_1	
		Günstig (D_h)	ungünstig (D_l)
Call Option	-773	1700	0
Leerverkauf (8,5 Einheiten "Rechte")	1700	-2550	-850
Kapitalanlage	-927	1020	1020
Dividende		-170	-170
Saldo	0	0	0

Beide Ansätze, die Kapitalwertmethode unter Berücksichtigung der Verschiebung des Investitionszeitpunktes sowie der Optionspreisansatz, führen zum gleichen Ergebnis. Allerdings wird an dem einfachen Beispiel bereits deutlich, welchen gewichtigen Vorteil der Optionspreisansatz aufweist. Die Bewertung der Investition kann ohne Berücksichtigung der subjektiven Eintrittswahrscheinlichkeit p durchgeführt werden und ist damit unabhängig von der Risikoeinstellung der Entscheider. Diese bedeutende Eigenschaft bleibt auch bei einer Verallgemeinerung des Optionspreisansatzes erhalten (BLACK UND SCHOLES, 1973; MERTON, 1998). Eine Ermittlung des Optionswertes mit Hilfe der Kapitalwertmethode ist ohne Informationen über die subjektiven Eintrittswahrscheinlichkeiten nicht möglich.

Allerdings erfordert der Optionspreisansatz für die Bewertung ein Handelsobjekt (spanning asset), welches die Risikoverteilung des Investitionsobjektes exakt widerspiegelt. Hier wurde unterstellt, daß ein entsprechender Markt existiert. Dieser kann dadurch sichergestellt werden, daß ein entsprechendes Derivat am Markt plaziert wird (COX UND RUBINSTEIN, 1985).

3 Erste Verallgemeinerung

In dem angeführten Beispiel wurden sehr restriktive Annahmen zugrunde gelegt. Im folgenden wird eine Verallgemeinerung vorgenommen, um eine realere Modellierung des Entscheidungsproblems zu ermöglichen. Allgemeiner formuliert lautet es: Unter der Berücksichtigung von irreversiblen Kosten I, deren Höhe nicht genau bekannt ist und dem Netto-Nutzen V, der ebenfalls unsicher ist, ist die folgende Funktion zu maximieren:

$$(6) \quad F_0 = \max\left[V_0 - I_0, \frac{F_1}{1+r}\right] \quad \text{, mit}$$

$$F_1 = E\left[\max\{V_1 - I_1; 0\}\right] = p \cdot (V_1 - I_1);$$

$$V_t = V_t(\tilde{x}, y); I_t = I_t(\tilde{g}, h)$$

F_0: Wert der Zulassungsmöglichkeit zum Zeitpunkt t=0;
F_1: Wert der Zulassungsmöglichkeit zum Zeitpunkt t=1;
V_0: Gegenwartswert des Nettonutzens zum Zeitpunkt t=0;
V_1: Gegenwartswert des Nettonutzens zum Zeitpunkt t=1;
I_0: Irreversible Kosten der Zulassung zum Zeitpunkt t=0;
I_1: Irreversible Kosten der Zulassung zum Zeitpunkt t=1;
$\tilde{g}, \tilde{x}$: Vektor von stochastischen Variablen;
h,y: Vektor von deterministischen Variablen;
t: Zeitindex.

Für den Nettonutzen V_t und den irreversiblen Kosten I_t soll gelten, daß sie aus einem stochastischen $(\tilde{x}, \tilde{g})$ und einem deterministischen (y, h) Teil bestehen. Damit sind V_t und I_t ebenfalls stochastisch.[5]

Der Wert der Zulassungsmöglichkeit F_l ist der Erwartungswert der Zulassungsmöglichkeit für alle $V_1 - I_1 > 0$, welches sich daraus ableitet, daß der Wert für alle Zustände, in denen $V_1 - I_1 \leq 0$, null ist.

Als Wert des Wartens erhält man die Differenz aus der Option der Möglichkeit in t=1 und der Möglichkeit, sofort eine Zulassung zu erteilen. Immer, wenn dieser Wert positiv ist, sollte eine Verschiebung der Zulassungsentscheidung erfolgen. Ist der Wert W negativ, zeigt er an, wie hoch der Verlust ist, der sich aus einer Verschiebung der Entscheidung ergibt. Er berechnet sich aus:

$$\begin{aligned} W &= \frac{F_1}{1+r} - (V_0 - I_0) \\ &= \frac{p \cdot (V_1 - I_1)}{1+r} - (V_0 - I_0) \end{aligned} \tag{7}$$

Anhand von (7) kann gezeigt werden, welchen Effekt eine höhere Unsicherheit über die Zukunft hat. Es sei angenommen, D_h steige um 50,00 DM und D_l sinke um den gleichen Betrag, so daß das Risiko zunimmt und der Erwartungswert konstant bleibt. Dies hat keinen Einfluß auf den zweiten Term von (7), da dort die Erwartungswerte von D_1 eingehen. Allerdings ändert sich der erste Term, da dieser von D_h abhängt. Die Verringerung von D_l hat keine weiteren Auswirkungen, da schon vorher - bei einer kleineren Streuung - von einer positiven Zulassungsentscheidung abgesehen wurde. Daraus folgt, daß sich der Wert des Wartens in einem solchen Szenario erhöht und damit auch der Anreiz, die Zulassung zu verschieben.

Nun ist es nicht sehr wahrscheinlich, daß der Netto-Nutzen V_1 der Zulassung nur zwei Werte annehmen wird. Vielmehr ist davon auszugehen, daß der Netto-Nutzen einer kontinuierlichen Verteilung unterliegt. Ebenso kann angenommen werden, daß sich das Risiko nicht nur auf eine Periode beschränkt, sondern auch für alle folgenden Perioden besteht. Somit besteht ein offener Zeithorizont, wobei von einer kontinuierlichen Zunahme des Risikos ausgegangen werden kann.

Es läßt sich zeigen, daß die kontinuierliche Version einer Binomionalverteilung der allgemeine Wiener Prozeß ist (z.B. WESSELER UND WEICHERT, 1997). Dieser weist die Eigenschaft auf, daß die Varianz der stochastischen Variablen mit der Zeit linear wächst. Mit Hilfe des Wiener Prozesses können eine Reihe von weiteren stochastischen Prozessen zur Modellierung von Zufallsvariablen gebildet werden (KLOEDEN UND PLATEN, 1995; DIXIT UND PINDYCK, 1994, Kapitel 2; DIXIT, 1992; GESKE, 1986; RUBINSTEIN, 1983; COX ET AL., 1979; FISCHER, 1978; MARGRABE, 1978; ROLL, 1977). Die Identifizierung der einzelnen stochastischen Prozesse muß in der Regel theoretisch abgeleitet werden, da Zeitreihen-analysen zu falschen Schlußfolgerungen führen können (LUND, 1993; DIXIT UND PINDYCK, 1994, S. 78). Sind die stochastischen Prozesse identifiziert, so kann der Wert des Wartens wie oben gezeigt ermittelt werden.[6]

---

[5] Die Anzahl der stochastischen Variablen, die eingesetzt werden, wird von dem Problem und der zu bearbeitenden Fragestellung abhängen.

[6] Für die nicht mehr explizit lösbaren Modelle ist eine numerische Approximation der Lösung zu ermitteln. (S. KLOEDEN UND PLATEN, 1995)

4 Zweite Verallgemeinerung

Im nächsten Schritt wird das deterministische Verhalten des Deckungsbeitrags bei dem Problem der Zulassung von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen (GVK) aufgehoben und durch ein unsicheres ersetzt.

Die Bewertung der Zulassung von GVKs läßt sich wie folgt darstellen. Wie oben ist davon auszugehen, daß GVKs einen höheren Deckungsbeitrag je Hektar aufweisen als konkurrierende Kulturpflanzen. Unabhängig davon, wie sich der Deckungsbeitrag entwickelt, entstehen bei einer Zulassung Kosten durch das Risiko der Freisetzung. Daher stellt sich die Frage der Zulassung nur bei der Steigerung des Deckungsbeitrags. Für die Steigerung des Deckungsbeitrags kann angenommen werden, daß er für eine spezielle GVK nicht auf Dauer bestehen bleiben wird, da regulierende Kräfte wirksam werden.

Zur Modellierung der Entwicklung des Deckungsbeitrags bieten sich primär zwei stochastische Prozesse an, und zwar der allgemeine Brownsche Prozeß (PURVIS ET AL., 1995; WINTER-NELSON UND AMEGBETO, 1998) oder ein mean-reverting-process (LUND, 1993; DIXIT UND PINDYCK, 1994, Kapitel 5 und 6).

Neben der Unsicherheit über die Deckungsbeiträge besteht Unsicherheit über die Höhe der irreversiblen Kosten, die durch die Freisetzung entstehen. Es soll angenommen werden, daß die Risiken über die Zeit zunehmen. Diese Annahme scheint plausibel, da die Übertragung von Genen zwischen Arten als auch die Verwilderung von Kulturpflanzen und die Verdrängung von Arten über die Zeit immer wahrscheinlicher wird. Daher ist neben der Zunahme des Risikos von einem positiven Trend bei den Kosten auszugehen.

Wird aus der Klasse der Brownschen Prozesse ein geometrischer Brownscher Prozeß für die Entwicklung der Deckungsbeiträge und der irreversiblen Kosten ausgewählt, so läßt sich die Unsicherheit der Zulassung anhand der folgenden beiden Gleichung beschreiben; mit D dem Deckungsbeitrag und I den irreversiblen Kosten, α der Trendvariablen, σ der Standardabweichung und dz einem Brown-Wiener Prozeß (WESSELER UND WEICHERT, 1997).

(8) $$dD/D = \alpha_D dt + \sigma_D dz_D, \qquad dI/I = \alpha_I dt + \sigma_I dz_I$$

Eine Korrelation zwischen dem Deckungsbeitrag und den irreversiblen Kosten kann berücksichtigt werden (DIXIT UND PINDYCK, 1994, S. 208), wenn $\mathrm{E}\left[dz_D^2\right] = dt$ und $\mathrm{E}\left[dz_I^2\right] = dt$ gilt. Sie wird beschrieben durch $\mathrm{E}\left[dz_D dz_I\right] = \rho dt$.

Das Problem, ob und wann eine Zulassung ausgesprochen werden sollte, läßt sich anhand der folgenden Überlegungen vereinfachen. Eine Änderung des Deckungsbeitrages sowie der irreversiblen Kosten um das k-fache hat keine Auswirkungen auf die Zulassungsentscheidung. Dementsprechend hängt die Entscheidung vom Verhältnis des Deckungsbeitrages zu den irreversiblen Kosten ab, $d := D/I$ (DIXIT UND PINDYCK, 1994, S. 211). Daraus folgt für die Option der Zulassung *F(D,I)*, daß sie homogen vom Grade eins in *D* und *I* ist. Unter Berücksichtigung dieser Eigenschaften vereinfacht sich *F(D,I)* zu:

(9) $$F(D,I) = I \cdot f(\tfrac{D}{I}) = I \cdot f(d)$$

Über die Lösung der *smooth-pasting* und *value-matching* Bedingungen (DIXIT, 1993), die von $f(d)$ abhängen, ergibt sich die Entscheidungsgrenze d^* für das Verhältnis aus Deckungsbeitrag und irreversiblen Kosten:

(10) $$\frac{D^*}{I^*} = d^* = \frac{\beta}{\beta - 1}\delta_D, \text{ mit}$$

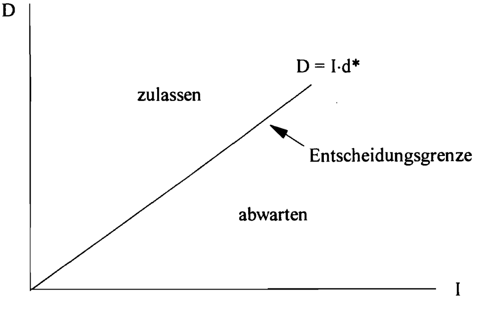
$$\beta = \frac{1}{2} - \frac{\delta_I - \delta_D}{\sigma_D^2 - 2\rho\sigma_D\sigma_I + \sigma_I^2} + \sqrt{\left[\frac{\delta_I - \delta_D}{\sigma_D^2 - 2\rho\sigma_D\sigma_I + \sigma_I^2} - \frac{1}{2}\right]^2 + 2\frac{\rho}{\sigma_D^2 - 2\rho\sigma_D\sigma_I + \sigma_I^2}} > 1$$

Hierbei stellen δ_D und δ_I die Differenz zwischen der Rendite am Markt dar, abgeleitet aus dem Capital Asset Pricing Model (CAPM) und der Trendvariablen α_D und α_I.

Die Entscheidungsgrenze verläuft durch den Ursprung, wie in Abbildung 1 dargestellt. (Auf der Abzisse sind die irreversiblen Kosten abgebildet und auf der Ordinate der Deckungsbeitrag.) Ist das Verhältnis von D zu I kleiner als d^*, so hat die Option, die Zulassungsentscheidung zu verschieben, einen positiven Wert. Daher sollte eine Zulassungsentscheidung verschoben werden.

Wie Gleichung (10) zeigt, hängt die Steigung der Geraden positiv von der Varianz des Deckungsbeitrages σ_D und der irreversiblen Kosten σ_I sowie negativ von der Korrelation zwischen Deckungsbeiträgen und irreversiblen Kosten ab. Dies ist intuitiv nachzuvollziehen an dem einfachen Beispiel zur Einleitung dieses Kapitels. Eine größere Kovarianz zwischen Deckungsbeitrag und irreversible Kosten führt zu einem geringeren Risiko und daher zu einem geringeren Wert der Option der späteren Zulassung.

Abbildung 1: Zulassung bei Unsicherheit über den Deckungsbeitrag und den irre-versiblen Kosten



Bei der Herleitung der Entscheidungsgrenze wurde ein geometrischer Brownscher Prozeß für die Entwicklung des Deckungsbeitrages unterstellt. Untersuchungen von Ökologen weisen darauf hin, daß ein Eingriff in ein Ökosystem Gegenreaktionen hervorruft. So ist bekannt, daß z.B. neue Fungizide nur über einen gewissen Zeitraum wirksam sind. Ähnliches ist für genetisch veränderte Kulturen zu erwarten (ACRE, 1997, KENDALL ET AL., 1997; WÖHRMANN ET AL., 1996; PURRINGTON UND BERGELSON, 1995; OTA, 1993; EVENHUIS UND ZADOCKS, 1991; POTRYKUS, 1991; TIEDJE ET AL., 1980). Diese Entwicklung läßt sich z.B. über einen mean-reverting-process darstellen. Eine Erweiterung des Modells in diese Richtung wird verfolgt.

5 Weitere Interpretation

Der Wert des Wartens kann auch als der Wert von zusätzlicher Information interpretiert werden. Diese Information wird ohne zusätzliche Forschungsaufwendungen nicht oder nur im geringen Umfang, z.B. aus Erfahrungen mit anderen Freisetzungen, zur Verfügung stehen. Dann wäre der Wert des Wartens die maximalen Aufwendungen, die getätigt werden sollten, um zusätzliche Informationen über den Zeitraum von einer Periode über die Verteilung der einzelnen stochastischen Variablen zu erhalten.

6 Zusammenfassung und Schlußfolgerung

An einem Beispiel zur Zulassungsentscheidung von gentechnisch veränderten Kulturen konnte gezeigt werden, welche Bedeutung zusätzliche Informationen bei Entscheidungen unter temporärer Unsicherheit und irreversiblen Kosten haben. Zur Darstellung wurde die Neue Investitionstheorie verwandt, die sich dem Problem der Vorhersage von Preisen und anderen Daten und damit dem Informationsproblem widmet. Eine der wichtigsten Aussagen dieser Theorie ist es, daß die Option, eine Investition zu verschieben, einen positiven Wert hat, wenn Irreversibilität und temporäre Unsicherheit vorliegen. Diese Option wird bei der Anwendung der traditionellen Kapitalwertmethode zur Investitionsbewertung vernachlässigt. Eine Bewertung der Option über den Optionspreisansatz aus der Finanzierungstheorie ermöglicht eine Bewertung von Investitionen unter Unsicherheit ohne Kenntnis der subjektiven Risikoeinstellung der Entscheider.

Werden in dem verwandten Beispiel für die Entwicklung der Deckungsbeiträge und der irreversiblen Kosten geometrische Brownsche Prozesse unterstellt, so kann gezeigt werden, daß der Quotient d^* aus Deckungsbeitrag und irreversibler Kosten die Zulassungsentscheidung bestimmt. Die Zulassungsgrenze, deren Steigung von der Varianz der Deckungsbeiträge und der irreversiblen Kosten positiv sowie der Kovarianz zwischen beiden Variablen negativ beeinflußt wird, ist linear in d^*. Damit führen Informationen über höhere Risiken in diesem Modell zu einer Verschiebung der Zulassungsentscheidung.

Literaturverzeichnis

ACRE (Advisory Committee on Release to the Environment) (1997): Insect Resistance Genes, *ACRE Newsletter*, June 8.

BEIßINGER, T; MÖLLER, J (1994): Neue Investitionstheorie. *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, Heft 6:270-275.

BLACK, F.; SCHOLES, M. (1973): The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81:637-654.

BARHAM, B.; CHAVAS, J-P. (1997): Sunk Costs and Resource Mobility. Implications for Economic and Policy Analysis. Staff Paper Series No. 410. Department of Agriculture and Resource Economics, University of Madison, Wisconsin.

- (1994): Low Capital Dairy Strategies in Wisconsin: Lessons from a New Approach to Measuring Profitability. Staff Paper Series No. 381. Department of Agriculture and Resource Economics, University of Madison, Wisconsin.

CHAVAS, J.-P. (1994): Production and Investment Decisions under Sunk Costs and Temporary Uncertainty. American Journal of Agriculture Economics, 76:114-127.

COX, J.C.; RUBINSTEIN, M. (1985): Options Markets. Englewood-Cliffs, New Jersey.

COX, J. C.; ROSS, S.A.; RUBINSTEIN, M. (1979): Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics* 7:229-263.

DIXIT, A. (1993): The Art of Smooth Pasting. Harwood Academic Publishers.

- (1992): Investment and Hysteresis. Journal of Economic Perspectives, 6(1):107-132.

- (1989): Entry and Exit Decision Under Uncertainty. *Journal of Political Economy* 97:620-638.

- PINDYCK, R.S. (1994): Investment Under Uncertainty. Princeton University Press.

EVENHUIS, A.; ZADOKS J.C. (1991): Possible Hazards to Wild plants of Growing Transgenic Plants. A Contribution to Risk Analysis. *Euphytica* 55:81-84.

FISCHER, S. (1978): Call Option Pricing When the Exercise Price is Uncertain, and the Valuation of Index Bonds. *The Journal of Finance* 33:169-176.

GESKE, R. (1986): The Valuation of Complex Options. Ann-Arbor, Michigan.

KENDALL, H. W.; BEACHY, R.; EISNER, T.; GOULD, F.; HERDT, R.; RAVEN, P.H.; SCHELL, J.S.; SWAMINATHAN, M.S. (1997): Bioengineering of Crops. Environmental and Socially Sustainable Development Studies and Monograph Series 23. The World Bank, Washington DC.

KLOEDEN, P. E.; PLATEN, E. (1995): Numerical Solution of Stochastic Differential Equations. Springer-Verlag, Berlin.

LUND, D. (1993): The Lognormal Diffusion is Hardly an Equilibrium Price Process for Exhaustible Resources. Journal of Environmental Economics and Management, 25:235-241.

MARGRABE, W. (1978): The Value of An Option to Exchange one Asset for Another. *The Journal of Finance* 33.177-186.

MERTON, R. C. (1998): Application of Option-Pricing-Theory: Twenty-Five Years Later. American Economic Rview, 88(3):323-349.

OTA (Office of Technology Assessment) (1993): Harmful Non-Indigenous Species in the United States. OTA-F-566. United States Congress, Washington, D.C.

PINDYCK, R. S. (1991a): Irreversibility, Uncertainty, and Investment. *Journal of Economic Literature*, 29:1110-1148.

\- (1991b): Irreversibility and the Explanation of Investment Behavior. In: Lund und Øksendal, *Stochastic Models and Option Values*. North-Holland, Amsterdam.

POTRYKUS, I. (1991): Gentransfer auf Getreide: Eine Abschätzung und Bewertung. Arbeitsmaterialien zur Technologiefolgenabschätzung und -bewertung der modernen Biotechnologie No. 2. Forschungsschwerpunkt Biotechnik, Gesellschaft und Umwelt (BIOGUM), Universität Hamburg.

PURRINGTON, C. B.; BERGELSON, J. (1995): Assessing Weediness of Transgenic Crops: Industries Plays plant Ecologist. *Trends in Ecology and Evolution* 10:340-342.

PURVIS, A.; BOGGESS, W.G.; MOSS, C. B.; HOLT, J. (1995): Adoption of Emerging Technologies Under Output Uncertainty: An Ex-Ante Approach. *American Journal of Agriculture Economics*:77(3):541-551.

ROLL, R. (1977): An Analytic Valuation Formula for Unprotected American Call Option on Stock with Known Dividends. Journal of Financial Economics 5:251-258.

RUBINSTEIN, M. (1983): Displaced Diffusion Option Pricing. Journal of Finance, 38:213-235.

SIANESI, B.; ULPH, D. (1998): Species Loss Through the Genetic Modification of Crops - A Policy Framework. Paper to be presented at The First World Congress of Resource and Environmental Economists, Venice. http://www.feem.gnee.it/

TIEDJE, J. M.; COLWELL, R.K; GROSSMAN, Y.L.; HODSON, R.E.; LENSKI, R.E.; MACK, R.N.; REGAL, P.J.; (1990): Die gezielte Freisetzung genetisch veränderter Organismen: Ökologische Überlegungen und Empfehlungen. Original erschienen im April 1980 in *Ecology*, 70(2). Arbeitsmaterialien zur Technologiefolgenabschätzung und -bewertung der modernen Biotechnologie No. 1. Forschungsschwerpunkt Biotechnik, Gesellschaft und Umwelt (BIOGUM), Universität Hamburg.

WESSELER, J. WEICHERT, M. (1997): Modellierung von Unsicherheiten in Agrar- und Wirtschaftswissenschaften mit Hilfe des Wiener Prozesses. Schriftliche Fassung des Vortrages am 10. Dezember 1997 im Seminar für wissenschaftliche Mitarbeiter am Fachbereich Gartenbau der Universität Hannover.

WINTER-NELSON, A.; AMEGBETO, K. (1998): Option Values to Conservation and Agricultural Price Policy: Application to Terrace Construction in Kenya. *American Journal of Agriculture Economics*:80(2):409-418.

WÖHRMANN, K.; TOMIUK, J.; BRAUN, P. (1996): *Die Problematik der Freisetzung transgener Organismen aus der Sicht der Populationsbiologie.* Arbeitsmaterialien zur Technologiefolgenabschätzung und -bewertung der modernen Biotechnologie No. 8. Forschungsschwerpunkt Biotechnik, Gesellschaft und Umwelt (BIOGUM), Universität Hamburg.