

Die Umstellung landwirtschaftlich genutzter Flächen auf Kurzumtriebsplantagen – Eine Anwendung des Realloptionsansatzes

(Mit 2 Abbildungen und 2 Tabellen)

O. MUSSHOF[✉] und K. JERCHEL¹⁾

(Angenommen September 2010)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Kurzumtriebsplantage; optimale Umstellungsstrategie; Unsicherheit; versunkene Kosten; unternehmerische Flexibilität; Realloptionsansatz.

Short rotation coppice; optimal conversion strategy; uncertainty; sunk costs; entrepreneurial flexibility; real options approach.

1. EINLEITUNG

Seit einigen Jahren wird die Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen für den Anbau schnellwachsender Baumarten auf sog. Kurzumtriebsplantagen (KUP) intensiv diskutiert. Das gilt nicht nur für Deutschland, sondern auch für andere Staaten Europas und Nordamerikas (vgl. z.B. AYLOTT et al., 2008; KNUST, 2009). KUP stellen mehrjährige Kulturen dar, die die Gewinnung fester Biomasse erlauben. Auf landwirtschaftlichen Flächen angelegte KUP sind nach EU-Prämienrecht und im Bundeswaldgesetz, das im Jahr 2010 diesbezüglich geändert wurde, vom Waldbegriff ausgenommen. Damit führt der Anbau von KUP – sofern die Umtriebszeit nicht länger als 20 Jahre beträgt – nicht dazu, dass die dafür genutzten Flächen den Rechtsstatus „landwirtschaftliche Nutzfläche“ verlieren.

KUP haben im Vergleich zu klassischen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, wie z.B. Weizen und Raps, geringere Anforderungen an die Bodengüte und das Klima (vgl. PALLAST et al., 2006). Des Weiteren ist ein vergleichsweise stabiler physischer Ertrag der KUP zu erwarten (vgl. MÜHLHAUSEN, 2010). Vor dem Hintergrund endlicher nichtregenerativer Energieträger erscheint holzartige Biomasse und damit KUP als alternative Energiequelle interessant (vgl. auch RÖHLE et al., 2006; AYLOTT et al., 2008). Aufgrund höherer Energiepreise sind in den letzten Jahren die Nachfrage nach und die Preise für derartige Produkte gestiegen. Außerdem werden KUP hinsichtlich der Biodiversität, des Schutzes der Böden vor Erosion und des Klimawandels als vorteilhaft eingeschätzt (vgl. z.B. MURACH, 2009). Die Politik hat mit den Gesetzen zu den erneuerbaren Energien auch für die Energiegewinnung aus KUP ökonomische Anreize gesetzt, indem sie zum einen das Holz aus KUP in die Liste der nachwachsenden Rohstoffe aufgenommen hat, so dass bei der Produktion des daraus gewonnenen Stroms der „NawaRo-Bonus“ gewährt wird. Zum anderen gelten die Errichtung und die Erweiterung von effizienten und emissionsarmen Hackschnitzelheizungen als förderfähige Maßnahmen (vgl. BMELV, 2009). Zu beobachten ist jedoch, dass Landwirte trotz dieser Entwicklungen sogar sehr schwache Standorte, für die kaum alternative Nutzungsmöglichkeiten bestehen, nur sehr zögerlich auf Kurzumtrieb umstellen (vgl. auch KNUST, 2009). So umfasste die im Jahr 2008 mit KUP bewirtschaftete Fläche deutschlandweit nur 1173 ha (STOLTE, 2009) und macht damit einen Anteil an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland von weniger als 0,01% aus.

Es liegt bereits eine Vielzahl an Arbeiten vor, die die ökonomische Vorzüglichkeit von KUP gegenüber der klassischen Nutzung landwirtschaftlicher Flächen auf einzelbetrieblicher Ebene analysieren (vgl. z.B. BEMMANN et al., 2007; TOEWS, 2009; WAGNER et al., 2009). Dabei wird die Entscheidung eines Betriebes, auf KUP umzustellen, als Investitionsentscheidung betrachtet und unter Rückgriff auf das klassische Kapitalwertkriterium bewertet. Zum einen ist die Umstellung auf KUP mit Investitionskosten verbunden, die zumindest teilweise versunken bzw. irreversibel sind. Zum anderen verändern sich durch eine Umstellung auf KUP die Ein- und Auszahlungen eines Betriebes über einen längeren Zeitraum. Nach dem klassischen Kapitalwertkriterium sollten gewinnmaximierende Entscheider dann auf KUP umstellen, wenn die damit verbundenen Investitionskosten durch den Barwert der erzielten Investitionsrückflüsse gedeckt sind. Unter Rückgriff auf das klassische Kapitalwertkriterium kommen z.B. BEMMANN et al. (2007), TOEWS (2009) und WAGNER et al. (2009) zu dem Ergebnis, dass eine Umstellung auf KUP für landwirtschaftliche Betriebe aus ökonomischer Sicht vorteilhaft sein könnte. Umso mehr stellt sich die Frage, warum die Landwirte nicht vermehrt auf KUP umstellen.

Es gibt verschiedene Erklärungsansätze für die vielfach zu beobachtende Umstellungszurückhaltung. Sie könnte z.B. in traditionalem Verhalten im Allgemeinen und in der für Landwirte ungewöhnlich langen Flächenbindung durch KUP im Besonderen, Risikoaversion, offenen Fragen im produktionstechnischen Bereich oder fehlenden liquiden Mitteln begründet sein (vgl. z.B. KNUST, 2009; MURACH, 2009; MÜHLHAUSEN, 2010). Der Realloptionsansatz, der auch als neue Investitionstheorie bezeichnet wird, stellt einen alternativen Erklärungsansatz dar (vgl. z.B. DIXIT und PINDYCK, 1994): Neben versunkenen Kosten ist die Investitionsmöglichkeit in eine KUP dadurch gekennzeichnet, dass der durch die Umstellung ausgelöste Zusatzzahlungsstrom stochastisch ist. Außerdem besteht zeitliche Flexibilität hinsichtlich der Durchführung der Umstellung. Mit anderen Worten: Man kann heute oder zu einem beliebigen zukünftigen Jahr auf KUP umstellen. Der Realloptionsansatz bewertet unternehmerische Flexibilität und kommt zu Ergebnissen, die sich von der klassischen Investitionstheorie unterscheiden: Vereinfacht gesagt wird bei Vorliegen von zeitlicher Flexibilität die Investitionsschwelle nach oben verschoben. Letztlich müssen die erwirtschafteten Rückflüsse nicht nur die Investitionskosten, sondern auch die Opportunitätskosten bzw. den „Gewinn“ kompensieren, den man erzielen könnte, wenn man die Investition verschieben würde. Der Wert des Wartens ist besonders ausgeprägt, wenn die Rückflüsse der Investition unsicher sind und mit der Durchführung der Investition hohe versunkene Kosten entstehen.

In der agrar- und forstökonomischen Literatur finden sich bereits einige Anwendungen des Realloptionsansatzes. So untersuchen bspw. PIETOLA und WANG (2000) sowie ODENING et al. (2005) Investitionsentscheidungen eines landwirtschaftlichen Betriebes in die Schweinemast unter Berücksichtigung von Realloptionseffekten. KUMINOFF und WOSSINK (2005) sowie MUSSHOF und HIRSCHAUER (2008) bewerten die Möglichkeit des Wechsels eines landwirtschaftlichen Betriebes vom konventionellen zum ökologischen Landbau. BEHAN et al. (2006) bestimmen den optimalen Umstellungszeitpunkt von agrarischer Produktion zu Wald unter Berücksichtigung

¹⁾ Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung der Georg-August-Universität Göttingen, Platz der Göttinger Sieben 5, D-37073 Göttingen, Tel.: 05 51/394842, Fax: 05 51/3922030.

✉ Korrespondierender Autor: OLIVER MUSSHOF.
E-Mail: oliver.musshoff@agr.uni-goettingen.de

sichtigung von zeitlicher Flexibilität bei der Durchführung. Allerdings bleibt bei der normativen Analyse die Unsicherheit hinsichtlich der Umstellungsrückflüsse unberücksichtigt. In WIEMERS und BEHAN (2004) wird sowohl zeitliche Flexibilität als auch Unsicherheit bei der Bestimmung des optimalen Umstellungszeitpunktes von agrarischer Produktion zu Wald berücksichtigt. Andere forstwirtschaftliche Arbeiten bestimmen die optimale Umtriebszeit von Wald unter Anwendung des Realloptionsansatzes (vgl. z.B. PLANTINGA, 1998; GJOLBERG und GUTTORMSEN, 2002; INSLEY, 2002). Die genannten Arbeiten verdeutlichen, dass sich die Ergebnisse des Realloptionsansatzes z.T. sehr deutlich von denen des klassischen Kapitalwertkriteriums unterscheiden.

Zu der Frage der Umstellung auf KUP als ein Produktionsverfahren, das im Unterschied zu vielen klassischen agrarischen Produktionsverfahren nicht in jedem Jahr einen Rückfluss liefert und das im Unterschied zu vielen klassischen forstlichen Produktionsaktivitäten mehrmals während der Nutzungsdauer geerntet werden kann, finden sich bislang keine Realloptionsanwendungen. Mit anderen Worten: In vorliegenden Arbeiten zu KUP bleiben die zeitliche Flexibilität der Umstellungsentscheidung und/oder die Unsicherheit der Investitionsrückflüsse unberücksichtigt. Damit ist bislang nicht klar, wann ein landwirtschaftlicher Betrieb unter Berücksichtigung von Realloptionseffekten auf KUP umstellen sollte und ob der Realloptionsansatz Erklärungspotenzial für die vielfach zu beobachtende Zurückhaltung bei der Umstellung auf KUP besitzt.

Vor diesem Hintergrund können wir die Ziele dieses Beitrags wie folgt beschreiben: Wir wenden den Realloptionsansatz auf eine beispielhafte Entscheidungssituation mit realistischen Planannahmen an, in der ein Betrieb an einem schwachen und trockenheitsgefährdeten Standort in Norddeutschland eine bislang in Form von Stilllegung genutzte landwirtschaftliche Fläche auf KUP umstellen könnte. Konkret wird zur Entscheidungsunterstützung die Umstellungsschwelle und der Wert der Umstellungsmöglichkeit auf KUP unter Berücksichtigung von Unsicherheit, Irreversibilität und unternehmerischer Flexibilität berechnet. Die Ergebnisse werden mit denen der klassischen Investitionstheorie verglichen. Dabei wird der Risikoaversion von Entscheidern über die Verwendung von risikoangepassten Zinssätzen Rechnung getragen. Die Bestimmung der Unterschiede zwischen Realloptionsansatz und klassischer Investitionstheorie erlaubt Schlussfolgerungen hinsichtlich der praktischen Relevanz von Optionswerten. Eine weitere Zielsetzung besteht darin, die Sensitivität der Modellergebnisse hinsichtlich des angenommenen stochastischen Prozesses für die Unsicherheitsvariable zu untersuchen. Wir glauben, dass eine ergebnisoffene Schätzung von stochastischen Prozessen und die Verarbeitung der Schätzergebnisse bei der Realloptionsbewertung mehr Aufmerksamkeit verdient (vgl. auch INSLEY, 2002; ODENING et al., 2005).

Zusätzlich zur spezifischen Anwendung wird in diesem Beitrag ein Realloptionsbewertungsmodell entwickelt, das in der Form bislang weder in der Literatur diskutiert noch auf agrar- oder forstökonomische Fragestellungen angewendet wurde. Dieses Realloptionsbewertungsmodell, das auf einer stochastischen Simulation und einer Parametrisierung des Investitionstriggers basiert, kann unabhängig von der Art des der Unsicherheitsgröße (z.B. Investitionsrückflüsse) zugrunde liegenden stochastischen Prozesses angewendet werden. Das entwickelte Realloptionsbewertungsmodell hat insbesondere aufgrund der Flexibilität hinsichtlich der Art des stochastischen Prozesses das Potenzial, auch in Zusammenhängen außerhalb der Bewertung der Umstellungsentscheidung auf KUP Anwendung zu finden.

In Abschnitt 2 wird kurz der theoretische Hintergrund der Bewertung von Realloptionen beschrieben. Anschließend wird das zu analysierende Entscheidungsproblem erläutert (Abschnitt 3). In

Abschnitt 4 werden die Ergebnisse diskutiert. Der Beitrag endet mit Schlussfolgerungen und einem kurzen Ausblick (Abschnitt 5).

2. BEWERTUNG VON REALOPTIIONEN

Der Realloptionsansatz verknüpft Unsicherheit hinsichtlich der Investitionsrückflüsse, versunkene Kosten und zeitliche Flexibilität bzgl. der Investitionsdurchführung in einem geschlossenen dynamisch-stochastischen Modell (vgl. DIXIT und PINDYCK, 1994). Dabei wird die Analogie zwischen einer Finanzoption und einer Sachinvestition genutzt. Die Möglichkeit, die Durchführung einer Investition zeitlich zu verschieben, kann mit einer amerikanischen Kaufoption verglichen werden: Wie der Besitzer einer amerikanischen Kaufoption hat ein Investor (z.B. der Land- oder Forstwirt) das Recht, aber nicht die Pflicht, einen Vermögensgegenstand (z.B. eine Produktionsanlage) mit einer unsicheren Wertentwicklung (z.B. Barwert der Investitionsrückflüsse) gegen Entrichtung (fixer) Investitionskosten innerhalb eines Zeitraumes (= Laufzeit), bis zu dessen Ende eine Investitionsentscheidung hinausgezögert werden kann, zu kaufen.

Gemäß klassischer Investitionstheorie entspricht der Wert einer Investition zum Zeitpunkt t dem Kapitalwert KW_t , also der Differenz zwischen dem Barwert der Einzahlungen E_t und dem Barwert der Auszahlungen A_t :

$$KW_t = E_t - A_t \quad (1)$$

Eine Investition sollte angenommen werden, wenn der Kapitalwert positiv ist.

Aus der Finanzoptionstheorie ist bekannt, dass der klassische Kapitalwert, der auch als innerer Wert bezeichnet wird, nur einen Teil des Wertes einer Investitionsoption darstellt (vgl. z.B. TRIGORIS, 1996: 124). Zusätzlich hat eine Investitionsoption einen Fortführungswert, der dem diskontierten Wert der Investition im nächsten potenziellen Ausübungszeitpunkt entspricht. Sofortiges Investieren bedeutet eine Realisation des inneren Wertes und eine gleichzeitige Vernichtung des Fortführungswertes. Ein rational handelnder Investor wird deshalb nur dann unverzüglich investieren, wenn der innere Wert der Option den alternativ zu erzielenden Fortführungswert überschreitet. Die Bellman-Gleichung für dieses binäre Entscheidungsproblem lautet wie folgt (vgl. DIXIT und PINDYCK, 1994: Kapitel 4):

$$F_t = \max(KW_t; \mu(KW_{t+dt}) \cdot (1+i)^{-dt}) \quad (2)$$

Hierbei kennzeichnet F den Wert der Investitionsoption, i den Diskontierungssatz, $\mu(\cdot)$ den Erwartungsoperator und $\max(\cdot)$ den Maximumoperator. Der klassische Kapitalwert stellt damit eine Untergrenze für den Optionswert dar. Stoppregion zu einem potenziellen Durchführungszeitpunkt, in der der innere Wert den Fortführungswert übertrifft, und Fortführungsregion, in der der Fortführungswert über dem inneren Wert liegt, sind unter bestimmten Regularitätsbedingungen eindeutig durch einen kritischen Wert für die Unsicherheitsgröße voneinander getrennt, der bei Investitionsoptionen auch als Investitionstrigger bezeichnet wird.¹⁾

Die Lösung von Gleichung (2) ist nicht trivial. Analytische Lösungen existieren nur für einfache Bewertungsprobleme bzw. Spezialfälle. Zum Beispiel muss es sich bei der zu bewertenden Option um eine Investitionsoption mit einer unendlichen Laufzeit und einer permanenten Ausübungsmöglichkeit handeln. Außerdem muss der Barwert der Einzahlungen einem geometrischen Brown-

¹⁾ Die Regularitätsbedingungen fordern, dass der innere Wert und der Fortführungswert monotone Funktionen des Wertes für die Unsicherheitsgröße sind. Zudem verlangen sie eine positive Persistenz des stochastischen Prozesses, d.h. die Verteilungsfunktion der Unsicherheitsgröße im Zeitpunkt $t+dt$ muss nach rechts (links) verschoben sein, sobald der Wert in t steigt (fällt) (vgl. DIXIT und PINDYCK, 1994: 129).

schen Prozess (GBP) folgen, und es dürfen keine Interaktionen zwischen der zu bewertenden Investitionsoption und anderen Optionen (z.B. Reinvestitionsoption und Desinvestitionsoption) bestehen. Sind diese Anwendungsvoraussetzungen erfüllt, kann die McDonald-Siegel-Bewertungsformel zur Anwendung kommen (vgl. McDONALD und SIEGEL, 1986):

$$F_0 = (E^* - A_0) \cdot \left(\frac{E_0}{E^*}\right)^\beta, \text{ mit} \quad (3)$$

$$E^* = \frac{\beta}{\beta - 1} \cdot A_0 \text{ und}$$

$$\beta = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2 \cdot \ln(1+i)}{\sigma^2}}$$

Dabei kennzeichnet α die Driftrate und σ die Standardabweichung des GBP und E^* den kritischen Barwert der Einzahlungen, der eine Investitionsdurchführung auslöst. Da bei einer unendlichen Laufzeit der Option die unternehmerische Flexibilität im Zeitablauf konstant ist, gilt ein von der Zeit unabhängiger kritischer Wert, der anzeigt, wann eine Investition durchgeführt werden sollte. Der in Gleichung (3) enthaltene Koeffizient $\beta/(\beta-1)$, der bei $\sigma > 0$ grundsätzlich größer als Eins ist, wird oftmals auch als Investment-Multiple bezeichnet.

Für viele Realloptionen sind die Anwendungsvoraussetzungen der analytischen Lösung nicht erfüllt, so dass numerisch-approximative Optionsbewertungsverfahren, wie z.B. die Binomialmethode oder die stochastische Simulation, Anwendung finden müssen. HULL (2009, Kapitel 19) liefert einen Überblick über verschiedene numerische Bewertungsverfahren. Der Vorteil eines simulationsbasierten Verfahrens besteht darin, dass mit relativ geringem Aufwand der Wert einer Option bei *gegebener* Ausübungsstrategie bestimmt werden kann, unabhängig davon, wie komplex die Verteilungen der Unsicherheitsvariablen sind. Grundlage der Optionsbewertung kann also die zeitdiskrete Version jedes beliebigen stochastischen Prozesses sein, der sich nach Durchführung einer ergebnisoffenen Zeitreihenanalyse für die mit Unsicherheit behaftete Größe ergibt. Es muss nicht – wie vielfach in Realloptionsanwendungen zu finden – a priori von einem GBP ausgegangen werden, um zu einer analytischen Lösung zu gelangen (vgl. auch GJOLBERG

und GUTTORMSEN, 2002: 14). Der Nachteil der stochastischen Simulation besteht darin, dass sie für sich genommen keinen Optimierungsalgorithmus beinhaltet. Deshalb ist z.B. die Bewertung amerikanischer Optionen mit begrenzter Laufzeit, bei denen die optimalen Ausübungswerte von der Restlaufzeit abhängig sind, allenfalls mit Hilfe einer Verfahrenskombination, die die stochastische Simulation einschließt, möglich (vgl. z.B. IBANEZ und ZAPATEIRO, 2004). Für den Fall, dass die Ausübung einer Option unendlich lange hinausgezögert werden kann und damit die optimale Ausübungsstrategie einem während der gesamten Laufzeit der Option konstanten Trigger entspricht (siehe Gleichung (3)), schlagen wir vor, die Optionsbewertung unter Anwendung der stochastischen Simulation und einer Parametrisierung des Triggers vorzunehmen.

Zur Bestimmung des optimalen Ausübungstriggers und des Optionswertes unter Anwendung der stochastischen Simulation und einer Parametrisierung des Triggers ergibt sich folgender Ablauf:

1. Es wird eine Vielzahl von Testtriggern vorgegeben. Dazu wird ein Parametrisierungsbereich für die Unsicherheitsgröße gewählt und in gleich große Abschnitte unterteilt. Die Unter- und Obergrenze des Parametrisierungsbereichs können willkürlich festgelegt werden. Für die Untergrenze kann auch der Investitionstrigger gemäß klassischem Kapitalwertkriterium herangezogen werden.
2. Für jeden vorgegebenen Testtrigger wird der Optionswert bestimmt. Dazu wird im Rahmen einer stochastischen Simulation die Wertentwicklung der Unsicherheitsgröße bestimmt und für jeden Simulationslauf der Optionswert berechnet. Der Startwert der Zufallsvariable sollte dabei von Simulationslauf zu Simulationslauf variiert werden. Der bei dem jeweiligen Testtrigger zu erzielende Optionswert entspricht dem über alle Simulationsläufe im Mittel erzielten Optionswert. In *Abbildung 1* ist der Zusammenhang zwischen dem Optionswert und der zugrunde gelegten Testtrigger schematisch angezeigt. Dabei kennzeichnet die linksseitig tiefgestellte Zahl die Nummer des Testtriggers.
3. Der Testtrigger, der über alle Simulationsläufe den höchsten mittleren Optionswert liefert, ist der „wahren“ optimalen Umstellungsschwelle am nächsten. Bei dem in *Abbildung 1* dargestellten Zusammenhang liefert ${}_{14}P^*$ den relativ höchsten Optionswert.

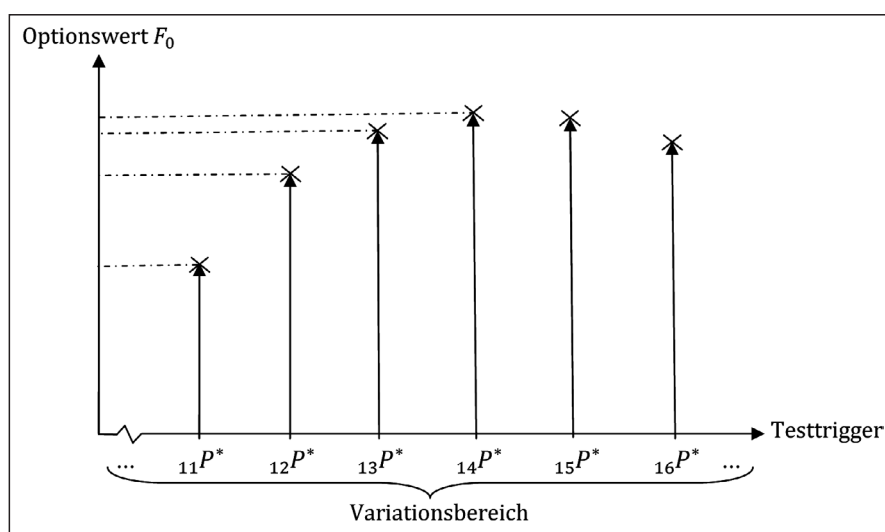


Abb. 1

Optionswert in Abhängigkeit von der zugrunde gelegten Ausübungsstrategie.
Option Values for Different Exercise Strategies.

4. Der potenzielle Lösungsraum wird in die Richtung des wahren Triggers „verdichtet“ und erneut der sich in Abhängigkeit vom jeweiligen Trigger einstellende Optionspreis berechnet. Mit Blick auf den in *Abbildung 1* dargestellten Zusammenhang werden die Testtrigger $_{13}P^*$ und $_{15}P^*$, die sich – bildlich gesprochen – links und rechts von $_{14}P^*$ befinden, als Bereichsgrenzen definiert. Die neuen Testtrigger werden gewonnen, indem der Parametrisierungsbereich in gleich große Intervalle unterteilt wird.
5. Die in Schritt 4 beschriebene Annäherung wird ggf. noch einige Male wiederholt und liefert letztlich einen – je nach der Art der Verdichtung – mehr oder weniger kleinen Wertebereich für den gewinnmaximalen kritischen Wert. Mit anderen Worten: Es erfolgt eine zunehmend feinere Parametrisierung des kritischen Wertes auf einem laufend kleiner werdenden Bereich.
6. Es wird der Wert für die Investitionsoption bestimmt. Grundlage bildet dabei der zuvor bestimmte optimale Ausübungstrigger und der aktuell beobachtete Wert für die Unsicherheitsvariable.

Mit Blick auf das Ergebnis des Optionsbewertungsverfahrens ist Folgendes zu beachten: Eine Optionsbewertung kann unabhängig von der Risikoeinstellung des Entscheiders erfolgen, sofern ein Replikationsportfolio von Vermögenswerten gebildet werden kann, das den stochastischen Ergebnissen des (Des)Investitionsprojekts entspricht (vgl. LUENBERGER, 1998: 251ff.; HULL, 2009: 241ff.). Zum einen ist diese Möglichkeit im Einzelfall zu prüfen. Zum anderen erfordert der Rückgriff auf das sog. risikoneutrale Bewertungsprinzip, dass eine risikoneutrale Drift für die Unsicherheitsvariable und der risikolose Zinssatz zur Diskontierung zukünftiger Zahlungen verwendet werden. Ist das risikoneutrale Bewertungsprinzip nicht anwendbar, gelten die Ergebnisse der Optionsbewertung jeweils nur für die unterstellte Risikoeinstellung des Entscheiders.

3. EIN REALOPTIONSMODELL FÜR DIE UMSTELLUNG AUF KUP

3.1 Beschreibung des Entscheidungsproblems

Es wird beispielhaft ein landwirtschaftliches Unternehmen in Norddeutschland betrachtet, das die Anlage einer KUP erwägt. Die Bodenzahl der Ackerfläche liegt bei 35 Punkten. Außerdem erreichen die Niederschläge in der relevanten Wachstumsperiode von April bis einschließlich September im Durchschnitt der Jahre nur etwa 300 mm. Grundwasser steht in einer Tiefe von etwa 4 m an. Die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum zzgl. Kapillaraufstieg beträgt 220 mm. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt ca. 8,5°C.

Bislang ist die potenziell mit KUP zu bewirtschaftende Fläche stillgelegt. Sie wird nicht mit Getreide o.ä. bewirtschaftet, weil aufgrund der schwachen Standortbedingungen damit keine positiven Deckungsbeiträge zu erwirtschaften sind. Zum Erhalt der Flächenprärie, die auch nach der Umstellung auf KUP zu erzielen wäre (vgl. Verordnung (EG) Nr. 73/2009, Artikel 34 Absatz 2), muss die Fläche einmal im Jahr gemulcht werden. Die damit verbundenen variablen Kosten in Höhe von 35 €/ha (vgl. KTBL, 2008: 151) könnten bei einer Umstellung auf KUP eingespart werden.

Die für KUP vorgesehene Fläche kann mit Pappelstecklingen bepflanzt werden. Zur Vorbereitung der Umstellung einer Fläche von Stilllegung auf KUP wird zunächst eine Totalherbizidbehandlung im Herbst durchgeführt. Vor der Pflanzung im Frühjahr wird die Fläche gepflügt und anschließend mit einer Saatbettkombination bearbeitet. Es werden 9000 Pappelstecklinge pro Hektar maschinell gepflanzt. Nach der Pflanzung wird auf der Fläche ein weiteres Mal eine Herbizidbehandlung mit einem Vorauflaufmittel durchgeführt, um die Konkurrenzvegetation zu unterdrücken und den Stecklingen ein optimales Austreiben zu ermöglichen. Für den

Totalherbizideinsatz im Herbst sind Kosten von 40 €/ha, für das Pflügen von 95 €/ha und für die Bearbeitung mit der Saatbettkombination von 40 €/ha anzusetzen (vgl. SCHAEFF, 2007; WAGNER et al., 2009). Für Pappelstecklinge müssten 0,25 €/Stück bezahlt werden (vgl. SCHATTENBERG, 2010), so dass sich die Kosten für das Pflanzgut auf 2250 €/ha belaufen. Die vom Lohnunternehmer durchgeführte Pflanzung wird mit 400 €/ha und die Vorauflaufbehandlung mit 50 €/ha veranschlagt (vgl. SCHAEFF, 2007; BERENS, 2009; WAGNER et al., 2009). Insgesamt ergeben sich damit Investitionskosten für eine KUP in Höhe von 2875 €/ha.

Während der Nutzungsdauer der KUP werden kein chemischer Pflanzenschutz und keine zusätzliche Düngung betrieben sowie keine Schutzmaßnahmen vor Wildverbiss ergriffen (vgl. auch PALLAST et al., 2006). Hinsichtlich der Umtriebszeit (Zeitraum zwischen Anpflanzung und Ernte bzw. zwei Ernten) und der möglichen Zahl an Umtrieben bzw. der Gesamtnutzungsdauer (Zeitraum zwischen Anpflanzung und Rekultivierung der Fläche) zeigen verschiedene Versuche für derartige Anlagen Folgendes:

- Die jährlichen Biomassezuwächse nehmen über einen Zeitraum von jeweils mindestens fünf Jahren nach Anpflanzung bzw. vorheriger Ernte zu (vgl. BEMMANN et al., 2007; MURACH et al., 2008; RÖHLE et al., 2009). Allerdings ist die maschinelle Ernte nach mehr als fünf Jahren technologisch nur noch eingeschränkt möglich (vgl. GROSSE et al., 2008; BIERTÜPFEL et al., 2009). Die optimale Umtriebszeit beträgt daher fünf Jahre (vgl. auch STÜRMER und SCHMID, 2007). In anderen forstwirtschaftlichen Zusammenhängen muss die Bestimmung der optimalen Umtriebszeit oftmals als ein wichtiges eigenständiges (Realoptions)Bewertungsproblem behandelt werden (vgl. z.B. GJOLBERG und GUTORMSEN, 2002; MÖHRING et al., 2006).
- Die Biomasseerträge steigen vom ersten zum zweiten Umtrieb deutlich an und bleiben dann in etwa konstant (vgl. RÖHLE et al., 2006; BIERTÜPFEL et al., 2009; RÖHLE et al., 2009). Für den beschriebenen Standort sind in der ersten Umtriebszeit jährliche Zuwächse von durchschnittlich 5 t_{atro} /ha und für die folgenden Umtriebszeiten jährliche Zuwächse von durchschnittlich 8 t_{atro} /ha zu erwarten (vgl. BEMMANN et al., 2007; MURACH et al., 2008; RÖHLE et al. 2009).²⁾ Mehr als sechs Umtriebe sind aufgrund eines Rückgangs austreibender Pflanzen, einer durch eine Erhöhung des Wurzelstocks technologisch erschwerten Ernte und durch eine schlechtere Hackgutqualität der immer mehr, aber immer dünner werdenden Triebe nicht möglich bzw. unwirtschaftlich (vgl. BEMMANN et al., 2007; STÜRMER und SCHMID, 2007; BIERTÜPFEL et al., 2009). Damit sind sechs Umtriebe und eine Gesamtnutzungsdauer der KUP von 30 Jahren optimal.³⁾

Jeweils am Ende einer Umtriebszeit fallen Kosten für die Ernte, die Trocknung und den Transport der Holzhackschnitzel an. Diese Arbeitsschritte werden von einem Lohnunternehmer zu einem Preis von 24 €/t_{atro} durchgeführt (vgl. SCHAEFF, 2007; GROSSE et al., 2008; WAGNER et al., 2009).

Wir gehen davon aus, dass die Vermarktungsstrategie für im Kurzumtrieb erzeugte Holzhackschnitzel festgelegt ist: Da das erntefrische Holz einen Wassergehalt von ca. 55% aufweist und dieser für die Verbrennung auf 30% zu reduzieren ist, werden die Holzhackschnitzel am Feldrand unter Anwendung des Dombelüftungsverfahrens für drei Monate gelagert (vgl. GROSSE et al., 2008; SCHULTZE et al., 2009). Anschließend werden die Holzhackschnit-

²⁾ Der Wassergehalt einer Tonne Holzhackschnitzel absolut trocken (*atro*) beträgt hier 30%.

³⁾ Die optimale Umtriebszeit wäre auch dann a priori bestimmbar, wenn die Biomasse zwar mit der Wachstumszeit ansteigt, aber nicht mit einer zunehmenden Rate. Dies gilt, solange eine konstante oder positive Preiserverwartung vorliegt und die Zahl der Umtriebe und nicht die absolute Nutzungsdauer der Anlage limitierend wirkt.

zel auch aufgrund des weiteren Substanzverlustes und des damit einhergehenden Heizwertverlusts vermarktet (vgl. SCHULTZE et al., 2009). Mit einem nahe gelegenen Biomasseheizkraftwerk kann jeweils im Zeitpunkt der Anpflanzung einer KUP ein Abnahmevertrag für die Holzhackschnitzel über einen Zeitraum von 30 Jahren abgeschlossen werden.

Es gibt keinen bereits über einen langen Zeitraum funktionierenden Markt für Holzhackschnitzel. Deshalb wird im Abnahmevertrag der Preis für die Holzhackschnitzel, den der Landwirt erzielen würde, an die Entwicklung der Heizölpreise gekoppelt, die mit Unsicherheit behaftet ist. Konkret entspricht der Preis für eine Tonne Holzhackschnitzel etwa dem Preis für 1000 Liter Heizöl dividiert durch 8,802 (= 3 multipliziert mit 2,934). Es wird zum einen berücksichtigt, dass 3 kg Holzhackschnitzel mit einem Wassergehalt von 30% denselben Energiewert haben wie 1 Liter Heizöl (SCHULTZE, 2009). Zum anderen wird berücksichtigt, dass der Mittelwert der durch drei dividierten Heizölpreise für den Zeitraum 2003 bis 2009 2,934 Mal so hoch ist wie der Mittelwert der in diesem Zeitraum beobachteten jährlichen Preise für Holzhackschnitzel (vgl. C.A.R.M.E.N. e.V., 2010).⁴⁾ Auf dem Markt für Holzhackschnitzel sind nicht die energieäquivalenten Preise zu erzielen, weil u. a. die Installation einer Hackschnitzelheizung beim Endverbraucher mit wesentlich höheren Kosten verbunden ist als die Anschaffung einer Ölheizung (KAHNT-RALLE, 2010).

Am Ende der Standdauer einer KUP, also nach 30 Jahren, muss die Fläche rekultiviert werden. Dies ist aus den oben genannten Gründen auch dann erforderlich, wenn die Fläche wieder mit KUP bewirtschaftet werden soll. Die Kosten für die Rekultivierung mittels Stockrodung betragen 1400 €/ha (vgl. SCHAERFF, 2007; TOEWS, 2009; WAGNER et al., 2009).

Wir nehmen an, dass der betrachtete Betrieb innerhalb eines beliebig langen Zeitraums von der Nutzung einer landwirtschaftlichen Fläche in Form von Stilllegung auf KUP umstellen kann. Über eine Umstellung kann jährlich entschieden werden. Außerdem ist nach Ablauf der Nutzungsdauer einer KUP eine erneute Investition bzw. eine Reinvestition in eine KUP möglich, aber nicht

⁴⁾ Die Korrelation zwischen den in den Jahren 2003 bis 2009 beobachteten Heizölpreisen bzw. den daraus abgeleiteten Holzhackschnitzelpreisen und den tatsächlich erzielten Holzhackschnitzelpreisen liegt bei 0,73.

zwangsläufig vorgegeben. Innerhalb des Planungszeitraums kann der Betrieb also z.B. aufgrund niedriger Holzhackschnitzelpreise eine erneute Investition in eine KUP (temporär oder dauerhaft) unterlassen und die Fläche wieder in Form von mulchender Stilllegung nutzen. Wird auf KUP umgestellt, dann muss die Holzhackschnitzelproduktion aufgrund des mit dem Biomasseheizkraftwerk abzuschließenden Abnahmevertrages 30 Jahre lang fortgeführt werden. Mit anderen Worten: Hat man auf KUP umgestellt, dann ist man für 30 Jahre an dieses Produktionsverfahren gebunden und es besteht nicht die Flexibilität, die KUP vor dem Ende ihrer Nutzungsdauer zu rekultivieren.

3.2 Modellierung der unsicheren Umstellungsrückflüsse

Die Rentabilität der Umstellung auf KUP hängt neben den Umstellungskosten von der Entwicklung der Zahlungen ab, die durch eine Investition in KUP ausgelöst werden. Die Flächenprämie ist nicht entscheidungsrelevant, da sie sowohl bei Stilllegung als auch bei KUP realisiert werden kann. Von einer diesbezüglichen ggf. unterschiedlichen Politikunsicherheit wird abstrahiert. Die zukünftigen Heizölpreise bzw. die daraus abzuleitenden und für die Höhe der Einzahlungen aus der KUP relevanten Holzhackschnitzelpreise sind mit Unsicherheit behaftet. In *Abbildung 2* ist die Entwicklung der aus den Heizölpreisen (BRENNSTOFFHANDEL, 2010; HAWLICZEK, 2001; IWO, 2010) abgeleiteten Holzhackschnitzelpreise über einen Zeitraum von 1970 bis 2009 angezeigt. Die Preise wurden unter Rückgriff auf die Inflationsraten (IHK, 2006; SPIEGEL ONLINE, 2008; STATISTISCHES BUNDESAMT, 2010) bereinigt.

Mit Blick auf *Abbildung 2* wird deutlich, dass die aus den Heizölpreisen abgeleiteten inflationsbereinigten Holzhackschnitzelpreise im betrachteten Zeitraum erheblichen Schwankungen unterworfen waren. Sie bewegen sich zwischen 25,95 €/t_{atro} im Jahr 1972 und 93,40 €/t_{atro} im Jahr 2008. Die Holzhackschnitzelpreise stellen annahmegemäß die einzige Unsicherheitsgröße dar. Die Erträge aus der KUP werden nicht als Unsicherheitsgröße modelliert, weil der Ertrag über mehrere Jahre aufgebaut wird und bei entsprechendem Grundwasseranschluss ohnehin weniger niederschlagsabhängig ist als bspw. der Ertrag der klassischen Getreideproduktion (vgl. MÜHLHAUSEN, 2010).

Im Zusammenhang mit der Modellierung der Wertentwicklung von Zufallsvariablen gewinnen stochastische Prozesse zunehmend an Beachtung. Der Begriff „stochastischer Prozess“ impliziert, dass

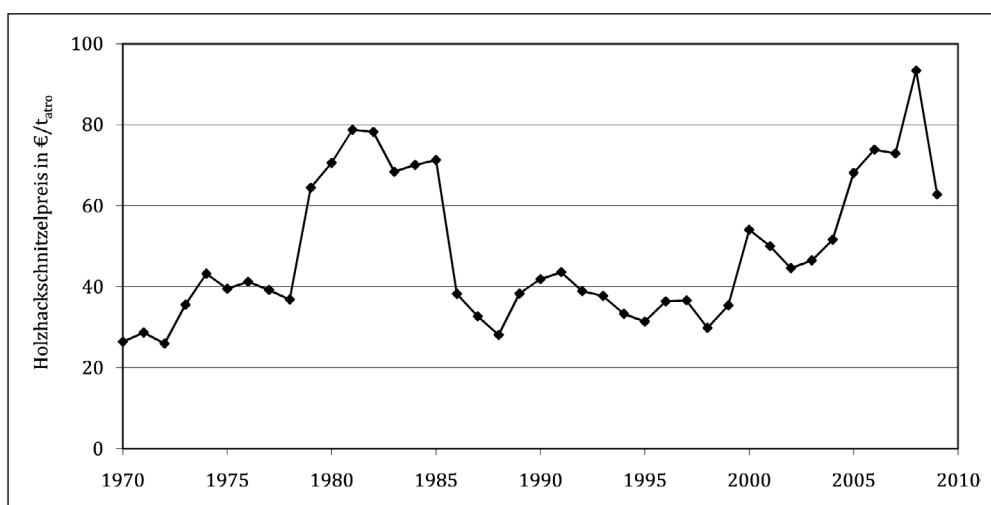


Abb. 2

Entwicklung der aus Heizölpreisen abgeleiteten Holzhackschnitzelpreise (inflationsbereinigt).

Development of the Price of Wood Chips Derived from Fuel Oil Prices (Inflation-adjusted).

man Annahmen über die Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Zufallsvariablen zu verschiedenen zukünftigen Zeitpunkten trifft. Mittels Zeitreihenanalyse wird der Versuch unternommen, die in *Abbildung 2* enthaltenen Verteilungsinformationen zu gewinnen, indem die Art des „besten“ stochastischen Prozesses identifiziert wird. Dazu werden zunächst zur Prüfung auf Stationarität der Augmented-Dickey-Fuller-Test (vgl. DICKEY und FULLER, 1981) sowie der Variance-Ratio-Test (vgl. CAMPBELL et al., 1997) angewendet. Ergebnis beider Tests ist übereinstimmend, dass die Holzhackschnitzelpreise nicht stationär sind (5% Irrtumswahrscheinlichkeit).

Ein plausibler nicht-stationärer stochastischer Prozess für die Modellierung von Preisentwicklungen stellt der GBP dar: Es ist sichergestellt, dass die Zufallsvariable nicht das Vorzeichen wechseln kann, d.h. keine negativen Werte auftreten können, wenn der Startwert positiv ist. Außerdem bestätigt die Box-Jenkins-Testprozedur (vgl. PINDYCK und RUBINFELD, 1998), dass die Holzhackschnitzelpreise einem Random-Walk-Prozess folgen. Weiterhin stellt der GBP die Standardannahme für die Modellierung der Wertentwicklung von Aktienkursen dar. Empirische Evidenz dafür, dass die Ölpreisentwicklung durch einen GBP zutreffend approximiert werden kann, liefern POSTALI und PICCHETTI (2006). Der GBP lässt sich mathematisch in diskreter Zeit wie folgt darstellen:

$$P_t = P_{t-\Delta t} \cdot e^{[(\alpha-0,5\sigma^2)\Delta t + \sigma\sqrt{\Delta t}\cdot\varepsilon_t]} \quad (4)$$

Dabei kennzeichnet P_t den Holzhackschnitzelpreis zum Zeitpunkt t , α die Driftrate, σ die Standardabweichung der relativen logarithmierten Wertänderungen der Holzhackschnitzelpreise und ε_t eine standardnormalverteilte Zufallszahl. Ein Mittelwertvergleich der relativen logarithmierten Wertänderungen der Holzhackschnitzelpreise zeigt, dass die Driftrate nicht signifikant verschieden von Null ist (p-value = 0,514; zweiseitiger t-Test). Es gilt also: $\alpha = 0\%$ p.a. Die Standardabweichung beträgt $\sigma = 21,05\%$ p.a. (Standardfehler = 3,37%). Der GBP besitzt die Markov-Eigenschaft, d.h. die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die zukünftigen Holzhackschnitzelpreise ist ausschließlich vom letzten Beobachtungswert abhängig.

Für den Erwartungswert einer Unsicherheitsvariable, die einem GBP folgt, gilt allgemein (vgl. LUENBERGER, 1998: 310):

$$\mu(P_t) = P_{t-\Delta t} \cdot e^{\alpha\Delta t} \quad (5)$$

Zu beachten ist, dass eine Driftrate von Null nicht bedeutet, dass die Unsicherheitsvariable im Zeitablauf gegen Null strebt. Vielmehr bedeutet sie, dass die erwartete relative logarithmierte Wertänderung Null ist und damit der Erwartungswert für den zukünftigen Holzhackschnitzelpreis dem aktuell beobachteten Wert entspricht.

Während die Annahme eines GBP für die Modellierung von Aktienkursen plausibel erscheint, ist das nicht notwendigerweise für Rohstoffpreise oder Erlöse sowie Deckungsbeiträge einer Sachinvestition der Fall. Wir untersuchen deshalb im Rahmen von Variantenrechnungen, inwiefern sich die Wahl eines alternativen stochastischen Prozesses auf die Ergebnisse auswirkt. Wir betrachten eine lineare Version des GBP, d.h. einen arithmetischen Brownschen Prozess (ABP), der bspw. von DIXIT und PINDYCK (1994: 65ff.) für die Bewertung realer Optionen vorgeschlagen wird und insbesondere für die Modellierung von nicht-stationären Cash-Flows relevant sein kann. Der ABP lässt sich mathematisch in diskreter Zeit wie folgt darstellen:

$$P_t = P_{t-\Delta t} + \alpha \cdot \Delta t + \sigma \cdot \sqrt{\Delta t} \cdot \varepsilon_t \quad (6)$$

Hierbei kennzeichnet α die Drift und σ die Standardabweichung jeweils gemessen in € pro t_{atro} . Ein Mittelwertvergleich der absoluten Wertänderungen der Holzhackschnitzelpreise zeigt, dass

auch die Drift des ABP nicht signifikant verschieden von Null ist (p-value = 0,601; zweiseitiger t-Test). Die Standardabweichung σ beträgt 11,03 €/t_{atro}. Für den Erwartungswert einer Unsicherheitsvariable gilt:

$$\mu(P_t) = P_{t-\Delta t} + \alpha \cdot \Delta t \quad (7)$$

Bei Annahme eines ABP kann ein Vorzeichenwechsel der stochastischen Variable nicht ausgeschlossen werden. Daher ist der ABP für die Modellierung von Preisentwicklungen aus theoretischen Überlegungen heraus nicht plausibel.

Für viele ökonomische Variablen erscheint es plausibel, anzunehmen, dass es langfristig ein konstantes Niveau gibt, um das ihr Wert kurzfristig schwankt. Hingewiesen wird dabei auf die Beziehung zwischen den Produktpreisen und den langfristigen Produktionskosten. Demnach nähern sich die Preise langfristig dem Niveau der Produktionskosten an. Je weiter sie sich von diesem entfernt haben, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit einer Rückkehr. Ein derartiges Verhalten einer stochastischen Variable kann durch Mean-Reverting-Prozesse (MRP) modelliert werden (stationäre Prozesse), die auch als Spezialfall eines autoregressiven Prozesses erster Ordnung verstanden werden können. BAKER et al. (1998) sowie PILIPOVIC (1998) liefern empirische Evidenz dafür, dass Ölpreise einem MRP folgen.

Obwohl der Augmented-Dickey-Fuller-Test für die hier analysierten Holzhackschnitzelpreise (vgl. *Abbildung 2*) zeigt, dass die Stationaritätsannahme nicht zutrifft, modellieren wir die logarithmierten Holzhackschnitzelpreise in einer weiteren Variantenrechnung unter Verwendung eines Ornstein-Uhlenbeck-Prozesses, der ein spezieller MRP ist und sich mathematisch in diskreter Zeit wie folgt darstellen lässt (vgl. VASICEK, 1977):

$$x_t = x_{t-\Delta t} \cdot e^{-\eta\Delta t} + \bar{x} \cdot (1 - e^{-\eta\Delta t}) + \sigma \cdot \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta\Delta t}}{2 \cdot \eta}} \cdot \varepsilon_t \quad (8)$$

Dabei gilt $x_t = \ln(P_t)$. η kennzeichnet die Rückkehrgeschwindigkeit der stochastischen Variable x auf ihr mittleres Niveau \bar{x} . Für die logarithmierten Holzhackschnitzelpreise ergibt sich: $\eta = 0,22$, $\bar{x} = 3,92$ und $\sigma = 0,22$. Der Erwartungswert für x_t unter Maßgabe des MRP kann wie folgt bestimmt werden:

$$\mu(x_t) = x_{t-\Delta t} \cdot e^{-\eta\Delta t} + \bar{x} \cdot (1 - e^{-\eta\Delta t}) \quad (9)$$

Im Unterschied zu Brownschen Prozessen kann die erwartete Wertänderung also positiv (bei $x_{t-\Delta t} < \bar{x}$), Null (bei $x_{t-\Delta t} = \bar{x}$) oder negativ (bei $x_{t-\Delta t} > \bar{x}$) sein.⁵⁾ Für den ausgehend von $\mu(x_t)$ erwarteten Preis gilt:

$$\mu(P_t) = e^{\mu(x_t) + 0,5 \cdot \text{Var}(x_t)}, \text{ mit} \quad (10)$$

$$\text{Var}(x_t) = (1 - e^{-2\eta\Delta t}) \cdot \frac{\sigma^2}{2 \cdot \eta}$$

Dabei kennzeichnet $\text{Var}(x_t)$ die Varianz von x_t . $\mu(P_t)$ konvergiert gegen 53,37 €/t_{atro}.

3.3 Bewertung der Umstellungsentscheidung im Rahmen der klassischen Investitionstheorie

Es wird zunächst dem Kapitalwertkriterium folgend unterstellt, dass ein Betrieb „Jetzt-oder-Nie“ dauerhaft von der Nutzung einer

⁵⁾ Bei einem MRP kann es durchaus optimal sein, vor Ablauf einer Umtriebszeit von 5 Jahren zu ernten. Dies ist dann der Fall, wenn sich der Preis für Holzhackschnitzel weit oberhalb des Gleichgewichtsniveaus befindet und sich damit eine stark negative erwartete Preisänderung ergibt, die den physischen Mehrertrag überkompensiert. Dies wird in der vorliegenden Anwendung nicht berücksichtigt, weil der Landwirt annahmegemäß alle 5 Jahre seiner Lieferverpflichtung für Holzhackschnitzel nachkommen muss.

landwirtschaftlichen Fläche als Stilllegung auf KUP umstellen kann. Bei einem im Zeitablauf konstanten erwarteten Preis für Holzhackschnitzel ($\mu(P_0) = \mu(P_1) = \mu(P_2) = \dots = P$) kann der Barwert der Einzahlungen wie folgt berechnet werden⁶⁾:

$$E_0 = e_n \cdot \frac{1}{i(T=UZ)} - (e_n - e_s) \cdot \frac{1}{i(T=N)} \cdot (1+i)^{N-UZ}, \text{ mit } (11)$$

$$e_s = Q_s \cdot P \text{ und } e_n = Q_n \cdot P$$

Dabei kennzeichnet Q_s (e_s) die Produktionsmenge (Einzahlungen) aus dem ersten Umtrieb der KUP und Q_n (e_n) das Normalniveau der Produktionsmenge (Einzahlungen). Weiterhin beschreibt i den jahresbezogenen Kalkulationszinsfuß $i(T=UZ)$ den Kalkulationszinsfuß für einen Diskontierungszeitraum T in Höhe der Umtriebszeit UZ und $i(T=N)$ den Kalkulationszinsfuß für einen Diskontierungszeitraum in Höhe der Nutzungsdauer N einer KUP. Zwischen dem jahresbezogenen Zinssatz i und dem Zinssatz $i(T)$ bezogen auf einen Zeitraum T besteht folgender Zusammenhang:

$$i(T) = (1+i)^T - 1 \quad (12)$$

Über die erste Komponente in Gleichung (11) wird der Barwert einer unendlichen Rente berechnet, die sich bei konstanten Einzahlungen auf dem Normalniveau ergeben würde. Mit der zweiten Komponente wird den niedrigeren Einzahlungen aus dem jeweils ersten Umtrieb einer KUP Rechnung getragen.

Der Anschaffungswert AW , der mit der Anpflanzung einer KUP verbunden ist, ist sowohl im Jahr Null als auch in jedem folgenden N -ten Jahr aufzubringen. Der Barwert der Anschaffungskosten AW_0 ist wie folgt zu berechnen:

$$AW_0 = AW + AW \cdot \frac{1}{i(T=N)} \quad (13)$$

Für den Barwert der Ernte-, Trocknungs- und Transportkosten K_0 gilt analog zu Gleichung (11):

$$K_0 = k_n \cdot \frac{1}{i(T=UZ)} - (k_n - k_s) \cdot \frac{1}{i(T=N)} \cdot (1+i)^{N-UZ}, \text{ mit } (14)$$

$$k_s = Q_s \cdot K \text{ und } k_n = Q_n \cdot K$$

Dabei kennzeichnet K die Summe aus den Ernte-, Trocknungs- und Transportkosten in € je t_{atro} .

Außerdem fallen in jedem N -ten Jahr Rekultivierungskosten RK an. Für den Barwert der Rekultivierungskosten RK_0 gilt:

$$RK_0 = RK \cdot \frac{1}{i(T=N)} \quad (15)$$

Weiterhin sind die jährlichen Kosten der Stilllegung S relevant, die bei einer Umstellung auf KUP eingespart werden können. Der Barwert der Stilllegungskosten S_0 entspricht:

$$S_0 = S \cdot \frac{1}{i} \quad (16)$$

Der Barwert der Auszahlungen kann wie folgt berechnet werden:

$$A_0 = AW_0 + K_0 + RK_0 - S_0 \quad (17)$$

Für den klassischen Kapitalwert gilt (vgl. Gleichung (1)):

$$KW_0 = E_0 - A_0 \quad (18)$$

⁶⁾ Wir gehen von einer dauerhaften Umstellung aus. Dies ist solange zutreffend, wie (i) der Planungshorizont unendlich lang ist, (ii) die Investition in eine KUP im Zeitablauf wiederholt durchgeführt werden kann und (iii) der erwartete Preis für Holzhackschnitzel im Zeitablauf konstant ist oder ansteigt. (iii) bedingt, dass die Nutzung der Fläche als KUP ex ante über den gesamten Planungszeitraum beibehalten werden sollte, wenn der investitionsauslösende Wert für die Unsicherheitsgröße einmal erreicht wurde.

Basierend auf den Gleichungen (11) bis (18) kann man den (kritischen) Barwert der Einzahlungen E^{*M} und – daraus abgeleitet – den (kritischen) Preis für Holzhackschnitzel P^{*M} bestimmen, die gerade zu einem Kapitalwert von Null führen und damit die Umstellungsschwellen definieren. Das rechtsseitig hochgestellte M soll verdeutlichen, dass man im Zusammenhang mit den Investitionsschwellen dem klassischen Kapitalwertkriterium folgend oftmals auch vom Marshallian-Trigger spricht.

Arbeitet man mit einem Kalkulationszinsfuß i in Höhe des risikolosen Zinssatzes, dann unterstellt man, dass der Entscheider risikoneutral ist. Der risikolose Zinssatz kann aus den Umlaufrenditen börsennotierter, quasi sicherer Bundeswertpapiere abgeleitet werden. Der Mittelwert der nominalen Renditen von Bundeswertpapieren mit einer Restlaufzeit von über 15 bis 30 Jahren von 1988 bis 2009 beträgt 5,92% p.a. (vgl. DEUTSCHE BUNDESBANK, 2010). In der gleichen Periode belief sich die Inflationsrate auf im Mittel 1,98% p.a. (vgl. IHK, 2006; SPIEGEL ONLINE, 2008; STATISTISCHES BUNDESAMT, 2010). Wir nutzen die entsprechende reale Verzinsung von 3,87% p.a. als Proxy für den risikolosen Zinssatz.

Bekanntermaßen sind ökonomische Entscheidungsträger nicht risikoneutral, sondern mehr oder weniger risikoavers. Die Berücksichtigung der Risikoeinstellung kann in der Investitionsplanung z.B. über risikoadjustierte Diskontierungssätze erfolgen. Beim Risk-Adjusted-Discount-Rate-Verfahren wird ein risikoangepasster Zinssatz subjektiv nach Maßgabe der Risikoaversion des Entscheiders bestimmt. Aufgrund der Schwierigkeiten bei der empirischen Bestimmung der Risikoeinstellung eines Entscheiders (vgl. HUDSON et al., 2005) wird die Risikoprämie oftmals parametrisiert (vgl. z.B. GEBREMEDHIN und GEBRELUL, 1992; BERG, 2003). Wir führen ebenfalls Variantenrechnungen durch, um zu testen, wie sich die optimale Umstellungsstrategie mit der Risikoeinstellung des Entscheiders verändert. Es gilt folgender Zusammenhang:

$$i = r + p \quad (19)$$

i beschreibt den risikoangepassten Zinssatz, r den risikolosen Zinssatz und p die Risikoprämie, die auf den risikolosen Zinssatz aufgeschlagen wird. Um die grundsätzlichen Effekte zu untersuchen, die von Risikoaversion ausgehen, verwenden wir drei risikoangepasste Zinssätze: 3,87% p.a. (risikoneutral), 8,87% p.a. (risikoavers) und 13,87% p.a. (stark risikoavers). Das Niveau der Risikoprämien wird mit 0% bis 10% in Übereinstimmung mit der Literatur variiert, in der oftmals Risikoprämien in Höhe von 8% bis 12% verwendet werden (vgl. z.B. GEBREMEDHIN und GEBRELUL, 1992; MARCHANT et al., 2004).

3.4 Bewertung der Umstellungsentscheidung im Rahmen des Realloptionsansatzes

Im Unterschied zum klassischen Kapitalwertkriterium berücksichtigt der Realloptionsansatz die kombinierte Wirkung von Unsicherheit der Investitionsrückflüsse, Irreversibilität der Investitionskosten und zeitlicher Flexibilität der Investitionsdurchführung, die im Zusammenhang mit der Umstellung von agrarischer Produktion auf KUP relevant ist. Das stochastisch-dynamische Investitionsplanungsproblem lässt sich formal wie folgt darstellen:

$$F_0 = \sum_{t=0}^{\infty} R_t \cdot (1+i)^{-t} \rightarrow \max_P! , \text{ mit } (20)$$

$$R_t = \begin{cases} 0, & \text{wenn } LN_t = 0 \wedge P_t < P^* \\ -AW, & \text{wenn } LN_t = 0 \wedge P_t \geq P^* \\ Q_s \cdot (P_t - K) + S, & \text{wenn } LN_t = 1 \wedge N_{jt} = UZ \\ Q_n \cdot (P_t - K) + S, & \text{wenn } LN_t = 1 \wedge N_{jt} = 2 \cdot UZ \vee \dots \vee N_{jt} = (U-1) \cdot UZ \\ Q_n \cdot (P_t - K) + S - RK, & \text{wenn } LN_t = 1 \wedge N_{jt} = U \cdot UZ \wedge P_t < P^* \\ Q_n \cdot (P_t - K) + S - RK - AW, & \text{wenn } LN_t = 1 \wedge N_{jt} = U \cdot UZ \wedge P_t \geq P^* \\ S, & \text{sonst} \end{cases}$$

In Worten bedeutet Gleichung (20): Gesucht ist die optimale Umstellungsstrategie ausgedrückt als kritischer Holzhackschnitzel-

preis P^* , bei der von Stilllegung auf KUP gewechselt wird. Dazu ist der Zielfunktionswert F_0 , der dem Wert der Umstellungsmöglichkeit bzw. dem Optionswert entspricht, zu maximieren. Zur Berechnung des Optionswertes ist der Gegenwartswert der zukünftigen Investitionsrückflüsse R_t zu bestimmen, die in den Planungsperioden t ($t = 0, 1, \dots, \infty$) bei optimaler Umstellungsstrategie zu erzielen sind. Ganz allgemein gilt:

- Es ergibt sich keine Änderung der Ein- und Auszahlungen ($R_t = 0$), wenn die Landnutzung bislang über Stilllegung erfolgt ($LN_t = 0$) und der stochastische Holzhackschnitzelpreis P_t unterhalb der Auslöseschwelle P^* liegt ($P_t < P^*$), d.h. die Fläche auch zumindest in der Folgeperiode für Stilllegung genutzt wird.
- R_t entspricht den Auszahlungen in Höhe der Anschaffungskosten für eine KUP ($R_t = -AW$), wenn die Landnutzung bislang über Stilllegung erfolgt ($LN_t = 0$) und der stochastische Holzhackschnitzelpreis P_t oberhalb der Auslöseschwelle P^* liegt ($P_t \geq P^*$), d.h. auf KUP umgestellt wird.
- R_t entspricht der Produktionsmenge Q_s , die mit dem ersten Umtrieb aus der KUP verbunden ist, multipliziert mit der Differenz zwischen dem Preis für Holzhackschnitzel P_t und den Ernte-, Trocknungs- und Transportkosten K zzgl. der eingesparten Kosten der Stilllegung S . Dies ist dann der Fall, wenn die Landnutzung über KUP erfolgt ($LN_t = 1$) und das Nutzungsjahr N_{jt} der j -ten KUP zum Zeitpunkt t der Umtriebszeit UZ entspricht ($N_{jt} = UZ$).
- R_t entspricht der Produktionsmenge Q_n multipliziert mit der Differenz zwischen dem Preis für Holzhackschnitzel P_t und den Ernte-, Trocknungs- und Transportkosten K zzgl. der eingesparten Kosten der Stilllegung S . Dies ist dann der Fall, wenn die Landnutzung über KUP erfolgt ($LN_t = 1$) und die jeweilige KUP im zweiten bis vorletzten Umtrieb aller Umtriebe U geerntet wird ($N_{jt} = 2 \cdot UZ \vee \dots \vee N_{jt} = (U-1) \cdot UZ$).
- R_t entspricht der Produktionsmenge Q_n multipliziert mit der Differenz zwischen dem Preis für Holzhackschnitzel P_t und den Ernte-, Trocknungs- und Transportkosten K zzgl. der eingesparten Kosten der Stilllegung S und abzgl. der Rekultivierungskosten RK . Dies ist dann der Fall, wenn die Landnutzung über KUP erfolgt ($LN_t = 1$), die jeweilige KUP das letzte Mal geerntet wird ($N_{jt} = U \cdot UZ$) und der stochastische Holzhackschnitzelpreis P_t unterhalb der Auslöseschwelle P^* liegt ($P_t < P^*$), d.h. nach dem Nutzungsende einer KUP (zunächst) wieder auf Stilllegung zurückumgestellt wird.
- R_t entspricht der Produktionsmenge Q_n multipliziert mit der Differenz zwischen dem Preis für Holzhackschnitzel P_t und den Ernte-, Trocknungs- und Transportkosten K zzgl. der eingesparten Kosten der Stilllegung S und abzgl. der Rekultivierungskosten RK sowie der Anschaffungskosten AW für eine neue KUP. Dies ist dann der Fall, wenn die Landnutzung über KUP erfolgt ($LN_t = 1$), die jeweilige KUP das letzte Mal geerntet wird ($N_{jt} = U \cdot UZ$) und der stochastische Holzhackschnitzelpreis P_t größer oder gleich der Auslöseschwelle P^* ist ($P_t \geq P^*$), d.h. nach dem Nutzungsende einer KUP die Fläche weiterhin mit KUP bewirtschaftet werden soll.
- R_t entspricht den eingesparten Kosten der Stilllegung S , wenn die Fläche mit KUP bewirtschaftet wird, aber zum jeweiligen Zeitpunkt nicht geerntet wird.

Da die Erstellung eines Replikationsportfolio (vgl. Abschnitt 2) für die hier betrachtete Entscheidungssituation mit dem oben beschriebenen individuellen Abnahmevertrag für die Holzhackschnitzel über einen Zeitraum von 30 Jahren nicht möglich ist, wird auch bei der Realoptionsbewertung der Kalkulationszinsfuß i variiert. Wie bei der Anwendung des klassischen Kapitalwertkriteriums werden ein risikoneutraler Entscheider ($i = 3,87\%$), ein risikoaverser

Entscheider ($i = 8,87\%$) und ein stark risikoaverser Entscheider ($i = 13,87\%$) betrachtet.

Das in Gleichung (20) formulierte Maximierungsproblem entspricht der Bestimmung des Wertes einer amerikanischen Kaufoption mit unendlicher Laufzeit. Da für die disaggregierte Größe „Holzhackschnitzelpreis“, auf die die Unsicherheit hinsichtlich der Investitionsrückflüsse zurückgeführt werden kann, ein GBP plausibel ist, könnte man auch den Barwert der Einzahlungen mit einem GBP modellieren, der die gleichen Prozessparameter aufweist. Damit liegt es zunächst nahe, zur Optionsbewertung auf Gleichung (3) zurückzugreifen. Allerdings ist realistischerweise zum einen keine zeitstetige Umstellungsmöglichkeit auf KUP gegeben und zum anderen besteht nach der Realisation einer KUP erneut die Möglichkeit, eine weitere KUP anzulegen. Die Bewertung der Umstellung auf KUP kann daher nicht auf analytischem Weg erfolgen. Die mit Gleichung (3) implizierte zeitstetige Ausübungsmöglichkeit führt dazu, dass der Investitionstrigger und der Optionswert überschätzt werden (höhere unternehmerische Flexibilität). Die in Gleichung (3) nicht berücksichtigte Reinvestitionsmöglichkeit wirkt sich entgegengesetzt aus (geringere unternehmerische Flexibilität). Wie ausgeprägt der jeweilige Effekt ist, lässt sich nicht ohne Weiteres abschätzen. Es wird deshalb das in Abschnitt 2 beschriebene simulationsbasierte Optionsbewertungsverfahren angewendet. Dieses Verfahren kann für den mit Gleichung (3) zu lösenden Spezialfall validiert werden. Die Modellannahmen sind in *Tabelle 1* zusammengefasst.

4. SIMULATIONSERGEBNISSE

Wir wenden nun das simulationsbasierte Optionsbewertungsverfahren an, um die Schwellen und die Optionswerte für die Umstellung von agrarischer Produktion auf KUP zu bestimmen. Wie bei allen numerischen Bewertungsverfahren muss ein unendlicher Planungszeitraum durch einen endlichen Wert approximiert werden. Wir betrachten 500 Jahre. Der sich damit ergebende Approximationsfehler ist als gering einzuschätzen, da der Barwert von z.B. 100000 €, die in 500 Jahren erzielt werden, bei einem Zinssatz von 3,87% weniger als 1 Cent beträgt. Wir verfeinern das Parametrisierungsintervall für den Umstellungstrigger auf bis zu 0,2 €/t_{atro} und führen zur Bestimmung der Optionswerte unter Verwendung von MS-EXCEL 50000 Simulationsläufe⁷⁾ durch.

In *Tabelle 2* sind die optimalen Umstellungsstrategien dem klassischen Kapitalwertkriterium und dem Realoptionsansatz folgend angezeigt. Weiterhin sind Kapitalwerte und Optionswerte ausgewiesen, die sich bei einem im Jahr 2009 beobachteten Preis für Holzhackschnitzel in Höhe von 62,76 €/t_{atro} ergeben.

In Zeile 1 wird ein risikoneutraler Entscheider betrachtet, der den gemäß statistischen Tests am besten die Entwicklung der Holzhackschnitzelpreise beschreibenden GBP verwendet und zur Diskontierung zukünftiger Zahlungen auf den risikolosen Zinssatz zurückgreift. Die Ergebnisse sind wie folgt zu interpretieren:

- In den Spalten 6 bis 8 sind die Ergebnisse angezeigt, die sich ergeben, wenn man die zeitliche Flexibilität hinsichtlich der Umstellung auf KUP nicht berücksichtigen würde („Jetzt-oder-Nie-Entscheidung“). Mit Blick auf Spalte 6 wird deutlich, dass ein risikoneutraler Entscheider dann umstellen sollte, wenn der Holzhackschnitzelpreis größer oder gleich 47,0 €/t_{atro} (entspricht 0,41 €/l Heizöl) wäre. Der entsprechende kritische Barwert der Einzahlungen in Höhe von 8137 €/ha (Spalte 7) entspricht dem Barwert der Auszahlungen (Spalte 4). Bei einem gegenwärtig beobachteten Holzhackschnitzelpreis von 62,76 €/t_{atro} ergäbe sich ein Barwert der Einzahlungen in Höhe von 10862 €/ha und

⁷⁾ HAUG (1998: 140) schlägt bspw. die Durchführung von mindestens 10000 Simulationsläufen vor.

Tab. 1

Überblick der unterstellten Modellparameter^{a)}.
Overview of the Assumed Model Parameters.

Anschaffungskosten für eine KUP AW	2 875 €/ha
Ernte-, Trocknungs- und Transportkosten K	24 €/t _{atro}
Umtriebszeit UZ	5 Jahre
Zahl der Umtriebe U	6
Nutzungsdauer einer KUP N	30 Jahre
Produktionsmenge der KUP	
bei 1. Umtrieb nach Anpflanzung Q_s	25 t _{atro} /ha
bei 2. bis 6. Umtrieb nach Anpflanzung Q_n	40 t _{atro} /ha
Rekultivierungskosten für eine KUP RK	1 400 €/ha
Potenzieller Durchführungszeitraum der Umstellung	∞ (jährliches Durchführungsrecht und Reinvestitionsmöglichkeit in KUP)
Risikoloser Zinssatz r	3,87% p.a.
Risikoprämie ρ	0% p.a. (risikoneutraler Entscheider)
Stochastischer Prozess für die Holzhackschnitzelpreise	geometrischer Brownscher Prozess (GBP)
Prozessparameter	
Driftrate α	0% p.a.
Standardabweichung σ	21,05% p.a.
Jährliche disponible Kosten der Stilllegung S	35 €/ha
Aktuell beobachteter Holzhackschnitzelpreis P_0	62,76 €/t _{atro}

^{a)} In Variantenrechnungen wird die Sensitivität der Ergebnisse hinsichtlich (i) der Höhe der Anschaffungskosten AW , (ii) der Höhe der Risikoprämie ρ und (iii) der Art des zugrunde gelegten stochastischen Prozesses untersucht.

Tab. 2

Investitionsauslösende Holzhackschnitzelpreise, kritische Barwerte für die Einzahlungen und Wert der Umstellungsmöglichkeit bei unterschiedlichen Planannahmen.

Critical Prices of Wood Chips, Critical Present Values for the Revenues and Values of the Conversion Option in Case of Different Scenarios.

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6	Spalte 7	Spalte 8	Spalte 9	Spalte 10	Spalte 11	Spalte 12		
Annahmen					Ohne zeitliche Flexibilität (klassisches Kapitalwertkriterium)			Mit zeitlicher Flexibilität (Realloptionsansatz)			Investment-Multiple E^*/E^{*M}		
Stochastischer Prozess	Reinvestitions-option	Anschaffungskosten für eine KUP (€/ha)	Barwert der Auszahlungen ^{a)} (€/ha)	Zinssatz (%)	Kritischer Holzhackschnitzelpreis P^{*M} (€/t _{atro})	Kritischer Barwert der Einzahlungen E^{*M} (€/ha)	Kapitalwert KW_0 ^{c)} (€/ha)	Kritischer Holzhackschnitzelpreis P^* ^{b)} (€/t _{atro})	Kritischer Barwert der Einzahlungen E^* (€/ha)	Optionswert F_0 ^{c)} (€/ha)			
1	mit	2 875	8 137	3,87	47,0	8 137	2 725	73,6	12 739	4 317	1,57		
2			5 750		12 366	71,5	12 366	-1 504	112,0	19 385	3 005	1,57	
3			ohne	2 875	4 400	8,87	67,8	4 400	-327	96,0	6 231	678	1,42
4					3 569	13,87	99,9	3 569	-1 325	133,4	4 768	131	1,34
5	ohne	2 875	5 532	3,87	47,0	5 532	1 852	87,6	10 308	2 545	1,86		
6	mit	2 875	8 137		47,0	8 137	2 725	69,6	12 046	4 295	1,48		
7			MRP		4,1	8 137	1 219	40,0	9 100	1 233	1,12		

^{a)} Barwert der Anschaffungskosten zzgl. Barwert der Ernte-, Trocknungs- und Transportkosten für Holzhackschnitzel zzgl. Barwert der Rekultivierungskosten abzgl. Barwert der bei Umstellung auf KUP einzusparenden Kosten der Stilllegung. Im Fall mit Reinvestitionsoption wird eine permanente Bewirtschaftung mit KUP angenommen.

^{b)} Das Parametrisierungsintervall für den Umstellungstrigger wird auf bis zu 0,2 €/t_{atro} verfeinert.

^{c)} Die Kapital- und Optionswerte wurden für einen anfänglichen Holzhackschnitzelpreis $P_0 = 62,76$ €/t_{atro} berechnet; 50 000 Simulationsläufe.

folgerichtig bei der Umstellung ein Kapitalwert in Höhe von 2725 €/ha. Bei einem Holzhackschnitzelpreis von 62,76 €/t_{atro} wäre die Umstellung also rentabel und sollte vorgenommen werden.

- In den Spalten 9 bis 11 sind die Ergebnisse für den Fall dargestellt, dass die Umstellung zeitlich hinausgezögert und jährlich angenommen werden kann. Im Vergleich zur „Jetzt-oder-Nie-Entscheidung“ ergeben sich deutliche Unterschiede. So sollte ein risikoneutraler Entscheider nur dann unverzüglich umstellen, wenn der gegenwärtige Holzhackschnitzelpreis größer oder gleich 73,6 €/t_{atro} (entspricht 0,65 €/l Heizöl) wäre. Erst ab einem so hohen Holzhackschnitzelpreis wäre tatsächlich zu keinem späteren Zeitpunkt ein höherer Kapitalwert zu erwarten. Der kritische Barwert der Einzahlungen beträgt 12739 €/ha. Risikoneutrale Landwirte tun also gut daran, die Umstellung erst bei einem Barwert der Einzahlungen vorzunehmen, der den Barwert der Auszahlungen um den Faktor 1,57 übertrifft (Investment-Multiple; Spalte 12). Bei einem aktuellen Holzhackschnitzelpreis von 62,76 €/t_{atro} beläuft sich der Wert der flexiblen Investitionsmöglichkeit bzw. der auf die Gegenwart bezogene Kapitalwert, der sich bei optimaler Investitionsentscheidung innerhalb des betrachteten Zeitraums ergibt, auf 4317 €/ha. Bei einem Holzhackschnitzelpreis von 62,76 €/t_{atro} wäre die Umstellung also nicht unverzüglich durchzuführen. Wollte man erreichen, dass risikoneutrale Landwirte auf KUP umstellen, müsste man monetäre Anreize in Höhe des Wertes des Wartens setzen, d.h. mindestens 1592 €/ha (= 4317 €/ha – 2725 €/ha) zahlen.

Unter Rückgriff auf den mittels stochastischer Simulation bestimmten Erwartungswert der Option F_0 , die Standardabweichung der sich bei den einzelnen Simulationsläufen einstellenden Optionswerte σ_F , die Anzahl der durchgeführten Simulationsläufe S und Θ als den zu dem gewählten Konfidenzniveau gehörenden Wert der Standardnormalverteilung (z.B. 1,96 beim 95% Niveau) kann das Konfidenzintervall für den gesuchten „wahren“ Optionspreis \tilde{F}_0 folgendermaßen berechnet werden (vgl. HULL, 2009: 431):

$$F_0 - \frac{\Theta \cdot \sigma_F}{\sqrt{S}} < \tilde{F}_0 < F_0 + \frac{\Theta \cdot \sigma_F}{\sqrt{S}} \quad (21)$$

Bei einem im Ergebnis der stochastischen Simulation ermittelten Erwartungswert von 4317 €/ha und einer Standardabweichung der sich einstellenden Optionswerte von 13751 €/ha ist \tilde{F}_0 mit 95% Wahrscheinlichkeit bzw. mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit nicht kleiner als 4196 €/ha und nicht größer als 4437 €/ha. Dies verdeutlicht die Genauigkeit einer Optionsbewertung, die auf 50000 Simulationsläufen basiert.

Um zu verdeutlichen, was sich bei höheren Anschaffungskosten für die KUP ergibt, sind in Zeile 2 die Ergebnisse für doppelt so hohe Anschaffungskosten (5750 €/ha) angezeigt. Es wird deutlich, dass sich mit den Anschaffungskosten auch die Umstellungsschwellen sowohl dem klassischen Kapitalwertkriterium als auch dem Realloptionsansatz folgend erhöhen. Das Investment-Multiple bleibt aber – abgesehen von marginalen Unterschieden, die in der Zufallszahlenziehung und dem Parametrisierungsbereich begründet sind – konstant bei 1,57. Dies bestätigt sich auch bei weiteren Variantenrechnungen bzgl. der Umstellungskosten. Mit anderen Worten: Aus der Kenntnis des Investment-Multiple können bei Annahme eines GBP ohne Weiteres die Umstellungsschwellen bei unterschiedlichen Umstellungskosten bestimmt werden.

In den Zeilen 3 und 4 sind zur Verdeutlichung der Wirkung von Risikoaversion die Ergebnisse für Entscheider mit unterschiedlicher Risikoeinstellung angezeigt. Folgendes wird deutlich:

- Ein risikoaverser Entscheider, der zur Diskontierung zukünftiger Zahlungen einen Zinssatz in Höhe von 8,87% verwendet (Zeile 3) und der die zeitliche Flexibilität vernachlässigt, sollte dann auf

KUP umstellen, wenn der Holzhackschnitzelpreis größer oder gleich 67,8 €/t_{atro} ist. In Übereinstimmung zu der allgemein bekannten Aussage, dass Risikoaversion an sich Investitionszurückhaltung induziert, wird ein risikoscheuer Entscheider also erst bei einem höheren Holzhackschnitzelpreis Kapital unsicher investieren. Allerdings entspricht der Barwert der Einzahlungen mit 4400 €/ha, der sich ausgehend von einem Holzhackschnitzelpreis in Höhe von 67,8 €/t_{atro} ergeben würde, wiederum dem Barwert der Auszahlungen. Mit anderen Worten: Bezogen auf den kritischen Barwert gilt für Entscheider unterschiedlichster Risikoeinstellungen bei einer „Jetzt-oder-Nie-Entscheidung“ dieselbe Entscheidungsregel. Bei einem gegenwärtigen Holzhackschnitzelpreis von 62,76 €/t_{atro} würde sich der Kapitalwert des risikoaversen Entscheiders auf –327 €/ha belaufen. Für den risikoaversen Entscheider wäre die Umstellung auf KUP also nicht attraktiv. Für einen stark risikoaversen Entscheider, der mit einem risikoangepassten Zinssatz von 13,87% arbeitet (Zeile 4), verstärken sich diese Effekte.

- Berücksichtigt man auch für einen risikoaversen Entscheider die zeitliche Flexibilität hinsichtlich der Umstellung, dann zeigt sich, dass der kritische Holzhackschnitzelpreis verglichen mit dem eines risikoneutralen Entscheiders (Zeile 1) steigt. Allerdings sinkt das Investment-Multiple im Vergleich zu einer Situation, in der man nur die zeitliche Flexibilität und nicht gleichzeitig die Risikoaversion berücksichtigt. Oder anders formuliert: Die zeitliche Verzögerung einer (bei einem entsprechend hohen Holzhackschnitzelpreis) an sich rentablen Investition ist bei einem höheren Diskontierungssatz weniger vorteilhaft. Ebenfalls wird deutlich, dass die Umstellungsmöglichkeit für einen risikoaversen Entscheider c.p. weniger wert ist als für einen risikoneutralen Entscheider.

In Zeile 5 sind die Ergebnisse angezeigt, die sich ergeben, wenn keine wiederholte Möglichkeit der Umstellung auf KUP bestehen würde, sondern die Fläche nur einmalig über einen Zeitraum von 30 Jahren mit KUP bewirtschaftet werden könnte. Geht man davon aus, dass die Anschaffung einer KUP weiterhin mit Kosten in Höhe von 2875 €/ha verbunden ist, dann sinkt der Barwert der Auszahlungen von 8137 €/ha (mit Reinvestition; Zeile 1) auf 5532 €/ha. Vernachlässigt man bei der Bewertung zeitliche Flexibilität hinsichtlich des Umstellungszeitpunktes, so ergibt sich bei diesem Ceteris-Paribus-Vergleich der gleiche investitionsauslösende Holzhackschnitzelpreis von 47,0 €/t_{atro}. Berücksichtigt man, dass auch zu einem späteren Zeitpunkt einmalig auf KUP umgestellt werden kann, dann steigt der kritische Holzhackschnitzelpreis auf 87,6 €/t_{atro} und damit stärker als bei einer wiederholten Umstellungsmöglichkeit. Letztlich liegt das Investment-Multiple bei einer wiederholten Umstellungsmöglichkeit bei 1,57 (Zeile 1) und bei einer einmaligen Umstellungsmöglichkeit bei 1,86. Damit verdeutlichen die in Zeile 5 angezeigten Ergebnisse zum einen, dass man die Umstellungszurückhaltung der Landwirte überschätzen würde, wenn man die realistischerweise mögliche wiederholte Umstellung auf KUP nicht berücksichtigt. Zum anderen erlauben die Ergebnisse in Zeile 5 eine Validierung des verwendeten simulationsbasierten Realloptionsbewertungsmodells. Unter Rückgriff auf die in Gleichung (3) beschriebene analytische Lösung können der kritische Barwert der Einzahlungen und der Optionspreis bestimmt werden, die für den Fall einer zeitstetigen Umstellungsmöglichkeit gelten. Bei einem Barwert der Auszahlungen von 5532 €/ha ergibt sich ein kritischer Barwert der Einzahlungen von 11669 €/ha, der mit einem investitionsauslösenden Holzhackschnitzelpreis in Höhe von 99,2 €/t_{atro} korrespondiert. Bei einem gegenwärtigen Holzhackschnitzelpreis von 62,76 €/t_{atro} beträgt der Optionswert 2572 €/ha. Sowohl die kritischen Werte als auch der Optionswert sind damit aufgrund der bei der analytischen Lösung implizit unterstellten permanenten Umstellungsmöglichkeit, die zusätzliche

unternehmerische Flexibilität darstellt, etwas höher als die in Zeile 5 ausgewiesenen Werte. Die Ergebnisse des numerischen Optionsbewertungsverfahrens erscheinen im Lichte dessen valide.

Der Vergleich der in den Zeilen 1, 6 und 7 angezeigten Ergebnisse verdeutlicht zum einen die Flexibilität des vorgeschlagenen Bewertungsverfahrens hinsichtlich der Art des zugrundegelegten stochastischen Prozesses. Zum anderen wird die Sensitivität der Ergebnisse bzgl. des stochastischen Prozesses deutlich: Sowohl die Umstellungstrigger und Investment-Multiple als auch die Optionswerte des MRP unterscheiden sich deutlich von denen des GBP und ABP, obwohl die Parameterschätzung auf derselben Datengrundlage basiert. Der Unterschied kann durch die jeweiligen Prozesscharakteristika erklärt werden, die im Hinblick auf positive zukünftige Entwicklungen bestehen. Während die Preise bei einem MRP um ihr Gleichgewichtsniveau schwanken, können sie bei den Brownschen Prozessen beliebig driften. Deshalb sind bei Annahme eines MRP die Opportunitätskosten einer sofortigen Umstellung geringer als bei einem GBP und ABP. Der dem Kapitalwertkriterium folgend bei Annahme eines MRP sehr viel niedrigere Umstellungstrigger ist darin begründet, dass der kostendeckende Holzhackschnitzelpreis bei einem konstanten zukünftig erwarteten Preis $47,0 \text{ €}/t_{\text{atro}}$ (Zeile 1 und 6) beträgt, während sich das Gleichgewichtsniveau, das sich bei der Erwartungswertbildung relativ schnell ergibt, bei $53,4 \text{ €}/t_{\text{atro}}$ und damit über $47,0 \text{ €}/t_{\text{atro}}$ liegt (vgl. Gleichung (10)). Ein Kapitalwert von Null kann sich also nur ausgehend von einem entsprechend geringeren Niveau als $47,0 \text{ €}/t_{\text{atro}}$ ergeben. Der vergleichsweise deutliche Effekt ist darin begründet, dass der Holzhackschnitzelpreis nicht in den ersten vier Jahren nach der Umstellung (in denen sich ausgehend von einem niedrigen Startwert noch ein vergleichsweise niedriger Erwartungswert ergibt), sondern erst ab dem fünften Jahr einzahlungsrelevant wird.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Trotzdem verschiedene Untersuchungen zeigen, dass die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für die Produktion holzartiger Biomasse in KUP rentabel sein könnte, stellen nur wenige Landwirte um. Zur Erklärung zu beobachtender Anpassungsstrategie werden unterschiedliche Erklärungsansätze diskutiert. Dazu zählen z.B. traditionalistisches Verhalten und Risikoaversion. Versteht man die Wechselentscheidung von klassischen agrarischen Produktionsverfahren zu KUP als Investitionsentscheidung, dann gewinnt ein relativ neuer Erklärungsansatz an Bedeutung: Investitionsentscheidungen sind i.d.R. durch Unsicherheit, versunkene Kosten und zeitliche Flexibilität gekennzeichnet. Investitionsplanung unter Berücksichtigung dieser drei Aspekte erfolgt im Rahmen des Realoptionsansatzes. Demnach ist ein Wechsel – entgegen dem Kapitalwertkriterium – erst dann anzuraten, wenn der bei unverzüglichem Wechsel zu erzielende Kapitalwert die mit der unverzüglichen Umstellung verbundenen Opportunitätskosten, die darin bestehen, dass eine spätere Umstellung rentabler sein kann, mindestens kompensiert.

In diesem Beitrag werden Umstellungsschwellen und Optionswerte für einen beispielhaft betrachteten Betrieb auf einem schwachen und trockenheitsgefährdeten Standort in Norddeutschland ermittelt, der von Flächenstilllegung auf KUP umstellen und diese Entscheidung über einen beliebig langen Zeitraum hinauszögern kann. Dazu wird ein Optionsbewertungsverfahren entwickelt, das auf einer stochastischen Simulation und einer Parametrisierung des Triggers basiert. Der Vorteil dieses Verfahrens insbesondere gegenüber anderen nichtsimulationsbasierten Optionsbewertungsverfahren besteht darin, dass es flexibel hinsichtlich der Art des zugrundegelegten stochastischen Prozesses ist.

Die für den betrachteten Standort bestimmten Ergebnisse verdeutlichen, dass unter realistischen Planannahmen ein risikoneutra-

ler Entscheider erst dann von Stilllegung auf KUP umstellen sollte, wenn der Barwert der Einzahlungen dem 1,57-fachen des Barwertes der Auszahlungen entspricht. Damit bestehen beachtliche Unterschiede zur klassischen Investitionstheorie, die bereits eine Investitionsdurchführung bei einem Investment-Multiple von Eins nahelegt. Berücksichtigt man, dass Unternehmer vielfach risikoavers sind, dann sinkt das Investment-Multiple dem Realoptionsansatz folgend zwar. Allerdings ist der investitionsauslösende Wert für die Holzhackschnitzelpreise trotzdem vergleichsweise hoch, weil Risikoaversion ebenfalls Investitionszurückhaltung induziert. Außerdem verdeutlichen die Modellrechnungen, dass die Ergebnisse in beachtlichem Maße vom Typ des der Bewertung zugrundegelegten stochastischen Prozesses abhängen. Neben diesen normativen Aussagen zeigen die Ergebnisse, dass der Realoptionsansatz tatsächlich ein Erklärungspotenzial für die vielfach zu beobachtende Umstellungszurückhaltung besitzt. Natürlich ist in weiterführenden Untersuchungen zu überprüfen, inwiefern die Ergebnisse für die hier getroffenen Planannahmen spezifisch sind und wie stark sie von den Standortbedingungen, dem bislang umgesetzten agrarischen Produktionsverfahrens etc. beeinflusst werden.

Aus agrar- und forstpolitischer Sicht sind die Ergebnisse insofern relevant, als dass sie die Aufmerksamkeit nicht nur auf die allgemein bekannten Determinanten einer Investitionsentscheidung (z.B. die Höhe der Rückflüsse und deren Unsicherheit oder die Höhe der Umstellungskosten) lenken, sondern auch auf die zeitliche Flexibilität der Investitionsdurchführung bei Unsicherheit. Was könnte die Politik also konkret tun, um den Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche, die für KUP genutzt wird, zu erhöhen, sofern dies gewünscht ist? Sie könnte bspw. zusätzliche Flächenprämien für KUP zahlen, mit der Folge einer Erhöhung der Umstellungsrückflüsse. Alternativ könnten Pflanzbeihilfen gewährt werden. Mit Blick auf einen Vergleich von Kapital- und Optionswerten wird deutlich, dass diese Umstellungsbeihilfen deutlich höher sein müssen als gemäß klassischer Investitionstheorie zu erwarten, um eine entsprechende Wirkung zu erzielen. Die Wirkung von Umstellungsbeihilfen könnte allerdings verstärkt werden, wenn sie zeitlich befristet werden. Letztlich würden dadurch die Opportunitätskosten über der Zeit gesenkt und die Umstellungsentscheidung in Richtung einer „Jetzt-oder-Nie-Entscheidung“ verschoben. Ein falsches Signal wäre das in Aussicht stellen einer stärkeren Förderung einer Umstellung in der Zukunft. Schließlich würde dies zu einem weiteren Anstieg der intertemporalen Opportunitätskosten und damit zu einer vermehrten Umstellungszurückhaltung führen. Zu betonen ist natürlich, dass immer auch zwischenbetriebliche Wechselwirkungen berücksichtigt werden müssen, wenn ein politischer Eingriff nachhaltig sein soll.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Vielfach ist zu beobachten, dass sich Entscheider nicht so schnell an sich verändernde Rahmenbedingungen anpassen, wie vordergründig zu erwarten wäre. Dies gilt insbesondere auch in Bezug auf die Umstellung bislang für die klassische Agrarproduktion genutzter Flächen auf Kurzumtriebsplantagen, die in den letzten Jahren aus ökonomischer Sicht an Attraktivität gewonnen hat und trotzdem nur sehr vereinzelt vorgenommen wird. Dafür werden bereits unterschiedliche Erklärungsansätze angeführt. Einen vergleichsweise neuen Erklärungsansatz stellt der Realoptionsansatz dar. Er verknüpft Unsicherheit hinsichtlich der Investitionsrückflüsse, versunkene Kosten und zeitliche Flexibilität bzgl. der Investitionsdurchführung in einem geschlossenen dynamisch-stochastischen Modell. Quintessenz des Realoptionsansatzes ist die Aussage, dass die Auslöseschwellen für Investitionen im Vergleich zum einfachen Kapitalwertkriterium nach oben verschoben sind, wenn es zu intertemporalen Opportunitätskosten kommt. In diesem Beitrag wird ein Realoptionsbewertungsmodell entwickelt, das die

Bestimmung von Investitions- bzw. Umstellungsschwellen unter realistischen Planannahmen erlaubt. Unter Verwendung dieses Modells wird berechnet, wann Landwirte auf einem schwachen und trockenheitsgefährdeten Standort von einer bislang durch Stilllegung genutzten Fläche auf Kurzumtriebsplantagen umstellen sollten. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Landwirte erst dann umstellen sollten, wenn der Barwert der Investitionsrückflüsse die Investitionskosten deutlich übertrifft. Konkret sollten risikoneutrale Entscheider am betrachteten Standort erst dann von Stilllegung auf Kurzumtriebsplantagen umstellen, wenn der Barwert der Einzahlungen dem 1,57-fachen des Barwertes der Auszahlungen entspricht. Für risikoaverse Entscheider gelten höhere Umstellungsschwellen als für risikoneutrale Entscheider. Die Ergebnisse bestätigen damit die empirisch vielfach zu beobachtende Umstellungszurückhaltung der Landwirte auf Kurzumtriebsplantagen. Außerdem zeigen die Modellrechnungen, dass die Ergebnisse von Optionsbewertungsmodellen in außerordentlich starkem Maße von der Art des zugrundegelegten stochastischen Prozesses abhängig sind.

7. Summary

Title of the paper: *The Conversion of Farm Land to Short Rotation Coppice – An Application of the Real Options Approach.*

Decision-makers often do not adapt as fast as it might be ostensibly expected to changed economic conditions. This is also the case for the conversion of farm land to short rotation coppice. From an economic point of view, short rotation coppice has become more interesting in the last few years. Nevertheless, farm land is rarely converted to this quite unknown crop. Several explanatory approaches (e.g., traditionalistic behavior and risk aversion) are currently discussed in order to explain this behavior. A relatively new explanatory approach is the real options approach. The real options approach uses a comprehensive dynamic-stochastic model which combines the uncertainty of investment returns, the sunk costs, and the temporal flexibility of the investment implementation. The quintessence of the real options approach is that – compared to the classical investment theory – the investment triggers will be shifted upwards if investments involve intertemporal opportunity costs. This paper develops a real options model which allows the determination of triggers on the basis of realistic assumptions (see *Table 1*). We examined when farmers, who only dispose of sandy soils with little water-storing capacity, should convert set-aside land to short rotation coppice. The results show that farmers should not convert until the present value of the investment returns exceeds the investment costs considerably (see *Table 2*). Thus, they confirm the empirically observed reluctance in conversion. Furthermore, it turned out that the magnitude of the difference between classical investment theory and the real options approach depends heavily on the type of stochastic process that underlies the investment returns.

8. Danksagung

Für hilfreiche Kommentare, Anregungen und Kritik danken wir zwei anonymen Gutachtern und den Herausgebern der „Allgemeinen Forst- und Jagdzeitung“. Außerdem danken wir dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF; FKZ: 033L033A) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für finanzielle Unterstützung.

9. Literatur

AYLOTT, M. J., E. CASELLA, I. TUBBY, N. R. STREET, P. SMITH and G. TAYLOR (2008): Yield and Spatial Supply of Bioenergy Poplar and Willow Short-rotation Coppice in the UK. *New Phytologist* **178** (2): 358–370.
 BAKER, M. P., E. S. MAYFIELD and J. E. PARSONS (1998): Alternative Models of Uncertain Commodity Prices for Use with Modern Asset Pricing Methods. *Energy Journal* **19** (1): 115–148.

BEHAN, J., K. MCQUINN and M. J. ROCHE (2006): Rural Land Use: Traditional Agriculture or Forestry? *Land Economics* **82** (1): 112–123.
 BEMMANN, A., K.-H. FEGER, D. GEROLD, W. GROSSE, K.-U. HARTMANN, R. PETZOLD, H. RÖHLE, J. SCHWEINLE and C. STEINKE (2007): Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen in der Region Großenhain im Freistaat Sachsen. *Forstarchiv* **78**: 95–101.
 BERENS, S. (2009): Kurzumtriebsplantagen – Betriebswirtschaftliche Betrachtung. *Landpost* **44/09**: 49–51.
 BERG, E. (2003): Modeling the Impacts of Uncertainty and Attitudes Towards Risk on Production Decisions in Arable Farming. Paper presented at the 25th International Conference of the International Association of Agricultural Economists, Durban.
 BIERTÜPFEL, A., H. RUDEL, A. WERNER and A. VETTER (2009): 15 Jahre Energieholzversuche in Thüringen. Bericht der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. <http://www.tll.de/ainfo/pdf/ehol1009.pdf>.
 BMELV (Hrsg.) (2009): Das Erneuerbare-Energien- und das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz – Daten und Fakten zu Biomasse. Broschüre des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_391-bmelv-broschuere-ee-2009.pdf.
 BRENNSTOFFHANDEL (2010): Heizöl-Preise 2009: Heizölpreise fallen um 31% gegenüber dem Jahr 2008. http://www.brennstoffhandel.de/index.php?content=news&cs_go=archiv&cs_id=1629&cs_search=.
 CAMPBELL, J. Y., W. LO and C. MACKINLAY (1997): *The Econometrics of Financial Markets*. Princeton University Press, New Jersey.
 C.A.R.M.E.N. e.V. (2010): Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln. Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnitpreise.html>.
 DEUTSCHE BUNDESBANK (2010): <http://www.deutsche-bundesbank.de/>.
 DICKEY, D. A. and W. A. FULLER (1981): Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Econometrica* **49** (4): 1057–1072.
 DIXIT, A. K. and R. S. PINDYCK (1994): *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press, Princeton.
 GEBREMEDHIN, T. G. and S. GEBRELUL (1992): An Investment Analysis of Meat Goat Enterprises for Small-scale Producers. *Review of Agricultural Economics* **14** (1): 45–53.
 GJOLBERG, O. and A. G. GUTTORMSEN (2002): Real Options in the Forest: What if Prices are Mean-reverting? *Forest Policy and Economics* **4** (1): 13–20.
 GROSSE, W., D. LANDGRAF, V. SCHOLZ and J. BRUMMACK (2008): Ernte und Aufbereitung von Plantagenholz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* **159** (6): 140–145.
 HAUG, E. G. (1998): *The Complete Guide to Option Pricing Formulas*. McGraw-Hill, New York.
 HAWLICZEK, I. (2001): Verbraucherpreise für Kraftstoffe und Heizöl von 1970 bis 2000. *Statistische Monatshefte Rheinland-Pfalz* **3**: 50–57.
 HUDSON, D., K. COBLE and J. LUSK (2005): Consistency of Risk Premium Measures. *Agricultural Economics* **33** (1): 41–49.
 HULL, J. C. (2009): *Options, Futures, and Other Derivatives*. 7th edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River.
 IBANEZ, A. und F. ZAPATERO (2004): Monte Carlo Valuation of American Options through Computation of the Optimal Exercise Frontier. *Journal of Financial and Quantitative Analysis* **39** (2): 253–275.
 IHK (2006): Inflationsraten 1975 bis 2005. Industrie- und Handelskammer Nord Westfalen. http://www.docfin.de/admin/files/file_27_1.pdf.
 INSLEY, M. (2002): A Real Options Approach to the Valuation of a Forestry Investment. *Journal of Environmental Economics and Management* **44** (3): 471–492.
 IWO (2010): Vergleich der jährlichen Brennstoffkosten für Heizöl EL und Erdgas (1995–2004). Institut für wirtschaftliche Ölheizung. http://www.gastarife-online.de/highlights/gasinformationen/20_zehn-jahresvergleich_erdgas_deutlich_teurer_als_heizoel.html.
 KAHNT-RALLE, E. (2010): Erster Energiewald wurde geerntet. *Land & Forst*. <http://www.landundforst.de/?redid=327371>.
 KNUST, C. (2009): Kurzumtriebsplantagen – Stand des Wissens. In: REEG, T., A. BEMMANN, W. KONOLD, D. MURACH und H. SPIECKER (Hrsg.): *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. WILEY-VCH Verlag, Weinheim: 3–9.
 KTBL (2008): *Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09*. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. Lokay, Reinheim.
 KUMINOFF, N. V. and A. WOSSINK (2005): Valuing the Option to Convert from Conventional to Organic Farming. Paper presented at the AAEA Annual Meeting, Providence.
 LUENBERGER, D. G. (1998): *Investment Science*. Oxford University Press, New York.
 MARCHANT, M. A., C. P. MURRELL and J. ZHUANG (2004): Investment Analysis of Replacing Endophyte-infected with Endophyte-free Tall Fescue Pastures. Paper presented at the Annual Meeting of the Southern Agricultural Economics Association, Tulsa.

- MCDONALD, R. and D. SIEGEL (1986): The Value of Waiting to Invest. *Quarterly Journal of Economics* **101** (4): 707–728.
- MÖHRING, B., U. RÜPING, G. LEEFKEN und M. ZIEGELER (2006): Die Annuität – ein „missing link“ in der Forstökonomie? *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* **177** (2): 21–29.
- MÜHLHAUSEN, C. (2010): Kein Buch mehr mit sieben Siegeln. *Land & Forst* **14/10**: 64–65.
- MURACH, D. (2009): Tiefwurzler mit Potenzial. *Bauernzeitung* **50/09**: 32–33.
- MURACH, D., H. HARTMANN und P. WALOTEK (2008): Ertragsmodelle für landwirtschaftliche Dendromasse. *In*: MURACH, D., L. KNUR und M. SCHULTZE (Hrsg.): *DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse*. Endbericht des Projektes Dendrom. Kessel Verlag, Remagen-Oberwinter: 93–116. <http://dendrom.de/daten/downloads/DendromFinSmall1.pdf>.
- MUSSHOFF, O. and N. HIRSCHAUER (2008): Adoption of Organic Farming in Germany and Austria – An Integrative Dynamic Investment Perspective. *Agricultural Economics* **39** (1): 135–145.
- ODENING, M., O. MUSSHOFF and A. BALMANN (2005): Investment Decisions in Hog Finishing: An Application of the Real Options Approach. *Agricultural Economics* **32** (1): 47–60.
- PALLAST, G., T. BREUER und K. HOLM-MÜLLER (2006): Schnellwachsende Baumarten – Chance für zusätzliches Einkommen im ländlichen Raum? *Berichte über Landwirtschaft* **84** (1): 144–159.
- PIETOLA, K. S. and H. H. WANG (2000): The Value of Price and Quantity Fixing Contracts. *European Review of Agricultural Economics* **27** (4): 431–447.
- PILIPOVIC, D. (1998): *Energy Risk: Valuing and Managing Energy Derivatives*. McGraw-Hill, New York.
- PINDYCK, R. S. and D. L. RUBINFELD (1998): *Econometric Models and Economic Forecasts*. 4th edition. McGraw-Hill, Singapore.
- PLANTINGA, A. J. (1998): The Optimal Timber Rotation: An Option Value Approach. *Forest Science* **44** (2): 192–202.
- POSTALI, F. A. S. and P. PICCHETTI (2006): Geometric Brownian Motion and Structural Breaks in Oil Prices: A Quantitative Analysis. *Energy Economics* **28** (4): 506–522.
- RÖHLE, H., K.-U. HARTMANN, C. STEINKE und D. MURACH (2009): Leistungsvermögen und Leistungserfassung von Kurzumtriebsbeständen. *In*: REEG, T., A. BEMMANN, W. KONOLD, D. MURACH und H. SPIECKER (Hrsg.): *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. WILEY-VCH Verlag, Weinheim: 41–55.
- RÖHLE, H., K.-U. HARTMANN, D. GEROLD, C. STEINKE und J. SCHRÖDER (2006): Aufstellung von Biomassefunktionen für Kurzumtriebsbestände. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* **177** (10/11): 178–187.
- SCHAEFF, A. (2007): Betriebswirtschaftliche Fragen des Anbaus schnellwachsender Baumarten auf Ackerland. Folien zum Vortrag im Rahmen der Fachtagung „Schnellwachsende Baumarten“, Köllitsch. http://landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/SWB_KUP_170407_Schaeff_2_Kennwortschutz.pdf.
- SCHATTENBERG, G. (2010): Schnell Holz ernten. *Bauernzeitung* **10/10**: 50–52.
- SCHULTZE, M. (2009): Holzbrennstoffe – Scheitholz-Holzhackschnittel-Holzpellets. Informationsbroschüre des Kompetenzzentrums HessenRohstoffe (HeRo) e.V.
- SCHULTZE, M., P. FIEDLER und D. BRÄKOW (2009): Logistische Bereitstellung von Agrarholz für regionale Nutzungen am Beispiel von Brandenburg. *In*: REEG, T., A. BEMMANN, W. KONOLD, D. MURACH und H. SPIECKER (Hrsg.): *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. WILEY-VCH Verlag, Weinheim: 113–124.
- SPIEGEL ONLINE (2008): Teures Tanken – Benzin-Preisschub heizt Inflation an. <http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,556088,00.html>.
- STÜRMER, B. und E. SCHMID (2007): Wirtschaftlichkeit von Weide und Pappel im Kurzumtrieb unter österreichischen Verhältnissen. *Ländlicher Raum*. <http://www.laendlicher-raum.at/filemanager/download/25360/>.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2010): Verbraucherpreisindex für Deutschland. www.destatis.de.
- STOLTE, H. (2009): Energieholz und Agroforstsysteme – Forschungsförderung durch die FNR e.V. Vortragsfolien. http://www.tll.de/ainfo/pdf/afs/afs04_09.pdf.
- TOEWS, T. (2009): Wald – Flächennutzungsansprüche durch die Landwirtschaft. *vTI Agriculture and Forestry Research, Sonderheft* **327**: 123–130.
- TRIGEORGIS, L. (1996): *Real Options*. MIT-Press, Cambridge.
- VASICEK, O. (1977): An Equilibrium Characterization of the Term Structure. *Journal of Financial Economics* **5** (2): 177–188.
- Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates vom 19. Januar 2009 mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1290/2005, (EG) Nr. 247/2006, (EG) Nr. 378/2007 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003.
- WAGNER, P., J. HEINRICH, M. KRÖBER, J. SCHWEINLE und W. GROSSE (2009): Ökonomische Bewertung von Kurzumtriebsplantagen und Einordnung der Holzherzeugung in die Anbaustruktur landwirtschaftlicher Unternehmen. *In*: REEG, T., A. BEMMANN, W. KONOLD, D. MURACH und H. SPIECKER (Hrsg.): *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. WILEY-VCH Verlag, Weinheim: 135–145.
- WIEMERS, E. and J. BEHAN (2004): Farm Forestry Investment in Ireland under Uncertainty. *Economic and Social Review* **35** (3): 305–320.