AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
http://ageconsearch.umn.edu
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

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

Mußhoff, O., Odenin, M., Wei, X.: Zur Quantifizierung des Basisrisikos von Wetterderivaten. In: Kuhlmann, F., Schmitz, P.M.: Good Governance in der Agrar- und Ernährungswirtschaft. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 42, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (2007), S. 381-393.

Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Bd. 42, 2007: 381-393

ZUR QUANTIFIZIERUNG DES BASISRISIKOS VON WETTERDERIVATEN

Oliver Mußhoff, Martin Odening und Wei Xu[*]

Zusammenfassung

Es ist seit langem bekannt, dass das Wetter den Hauptunsicherheitsfaktor in der pflanzlichen Produktion darstellt. Seit einiger Zeit wird der Einsatz von Wetterderivaten zur Absicherung gegen wetterbedingte Ertragsschwankungen diskutiert. In diesem Beitrag wird am Beispiel eines getreideproduzierenden Betriebes in Brandenburg unter Verwendung von realen Ertrags- und Wetterdaten mit Hilfe einer stochastischen Simulation die risikomindernde Wirkung quantifiziert, die durch den Einsatz von Niederschlagsoptionen erzielt werden kann. Dabei wird die Hedging-Effektivität durch das Kontraktdesign (Index, Strike-Preis, Tick-Size) gesteuert. Das Basisrisiko der Produktion und das geografische Basisrisiko verbleiben jedoch in jedem Fall beim Landwirt. Ziel ist es, beide Basisrisiken zu separieren und in ihrer Höhe auszuweisen. Dies erlaubt Rückschlüsse für die Gestaltung von Wetterderivaten. Somit ist die hier behandelte Fragestellung sowohl für Landwirte als auch für potenzielle Anbieter von Wetterderivaten relevant.

Keywords

Wetterderivate, Niederschlag, Hedging-Effektivität, Basisrisiko der Produktion, geografisches Basisrisiko

1 Einleitung

Die Getreideproduktion im Nordosten Deutschlands, speziell in Brandenburg, ist in hohem Maße vom Niederschlagsrisiko betroffen. In den wachstumsrelevanten Monaten April, Mai und Juni sind in Brandenburg (gemessen an der Wetterstation Berlin-Tempelhof) in den letzten 20 Jahren zwischen 63,6 und 257,9 mm Niederschlag gefallen (bei einem Mittelwert von 141,3 mm und einer Standardabweichung von 45,6 mm). Die Getreideerträge schwanken ähnlich stark, weil die sandigen Böden nur eine geringe Wasserspeicherkraft besitzen und Möglichkeiten zur künstlichen Beregnung fehlen. Angesichts der extremen Ernteausfälle in den Dürrejahren 2000 und 2003, in denen eine staatliche Katastrophenhilfe gewährt werden musste, um Betriebe vor der Illiquidität zu bewahren, ist der Wunsch nach einer Absicherung wetterbedingter Risiken bei den betroffenen Landwirten ausgeprägt. Zur Reduzierung wetterbedingter Risiken wurden von Produzenten in den letzten Jahren vor allem Ertragsausfallversicherungen eingesetzt. Die Möglichkeit, sich gegen niederschlagsbedingte Ertragseinbußen zu versichern, besteht derzeit aber zumindest in Deutschland nicht.

Seit Mitte der 90er Jahre werden sog. „Wetterderivate“ als neues Instrument zur Steuerung des wetterbedingten Mengenrisikos diskutiert (vgl. SCHIRM, 2001; TIGLER und BUTTE, 2001; CAO et al., 2003; JEWSON et al., 2005). Wetterderivate sind Finanzmarktprodukte, wie z. B. Futures, Optionen oder Swaps, die dem Austausch von Wetterrisiken dienen. Sie beziehen sich auf objektiv messbare Wettervariablen (Temperatur, Niederschlag, Windstärke etc.). Wetterderivate werden bislang vor allem von Energieunternehmen eingesetzt. Außerdem

[*] Dr. Oliver Mußhoff, Prof. Dr. Martin Odening und Wei Xu, Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin (Fachgebiet Allgemeine Betriebslehre des Landbaus), Luisenstr. 56, 10117 Berlin, oliver.musshoff@agrar.hu-berlin.de.
Für hilfreiche Kommentare, Anregungen und Kritik danken wir zwei anonymen Gutachtern. Oliver Mußhoff dankt der Klaus-Tschira-Stiftung, gemeinnützige GmbH, und Martin Odening der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung.

findet der Handel von Wetterderivaten überwiegend am Over-the-Counter (OTC)-Markt statt. Das bedeutet, dass die Vertragsparteien die Kontraktspezifikation bilateral festlegen müssen. Als Vertragspartner für einen Landwirt, der sich gegen zu niedrige Niederschlagsmengen in der Wachstumsphase pflanzlicher Produkte absichern möchte, kommt bspw. die Tourismusindustrie in Betracht, die mit Blick auf den Niederschlag eine entgegengesetzte Risikostruktur aufweist. Wetterderivate bieten aber auch für institutionelle Investoren wie Versicherungen oder Banken attraktive Möglichkeiten zur Diversifizierung eines Portfolios, da die mit dem Wetter verbundenen Risiken nur relativ schwach mit dem systematischen Risiko einer Volkswirtschaft korreliert sind.

Während traditionelle Versicherungen überwiegend der Abwehr von Schäden aus katastrophenähnlichen Ereignissen (z. B. Hagel) dienen, lassen sich Wetterderivate so gestalten, dass Zahlungen auch bei weniger drastischen Ereignissen (z. B. bei unzureichenden Niederschlägen) ausgelöst werden. Außerdem muss ein Versicherungsnehmer den entstandenen Schaden nachweisen, um Versicherungsleistungen zu erhalten. Wetterderivate führen im Unterschied dazu in Abhängigkeit vom Wert für die objektiv messbare Wettervariable zu einer mehr oder weniger hohen Auszahlung und weisen somit gegenüber klassischen Versicherungspolicen administrative Vorteile auf. Darüber hinaus sind Wetterderivate im Gegensatz zu Versicherungskontrakten nicht von der Moral-Hazard-Problematik betroffen.

Obwohl Experten insbesondere aufgrund dieser Vorteile auf zahlreiche potenzielle Anwendungsbereiche hinweisen (vgl. TURVEY, 2001; SKEES, 2002) und es auch schon einige viel versprechende Praxiserfahrungen in den USA und Kanada gibt, ist der Markt für Wetterderivate in der Landwirtschaft derzeit noch relativ klein. Ein mögliches Anwendungshemmnis ist in dem als Basisrisiko bezeichneten Restrisikos zu sehen, das bei der Nutzung von Wetterderivaten beim Landwirt verbleibt und darin besteht, dass Ertragsschwankungen nicht genau durch entsprechende Rückflüsse des Wetterderivats kompensiert werden. Das Basisrisiko liegt bei Versicherungen nicht bzw. in nur abgeschwächter Form vor. Ursächlich für das Basisrisiko ist zum einen, dass individuelle Ertragsschwankungen im Allgemeinen nicht perfekt mit der relevanten Wettervariable korreliert sind (Basisrisiko der Produktion). Beispielsweise könnte sich das Wetterderivat auf die Gesamtniederschlagsmenge am Ort der Produktion im Mai und im Juni beziehen, obgleich z. B. auch die Niederschläge in anderen Perioden, der zeitliche Anfall der Niederschläge und die Temperatur den Ertrag in der Pflanzenproduktion beeinflussen. Zum anderen besteht ein geografisches Basisrisiko. Damit ist in diesem Zusammenhang das nicht versicherbare Risiko gemeint, dass sich aus der Differenz des Wettergeschehens am Referenzpunkt des Derivats und dem Ort der landwirtschaftlichen Produktion ergibt. Während dieser Aspekt bei temperaturbezogenen Derivaten nicht so bedeutend ist, kann er aufgrund der höheren räumlichen Variabilität von Niederschlägen bei der Wirkungsanalyse von Niederschlagsderivaten nicht vernachlässigt werden.

Mit der Frage, inwieweit Wetterderivate ein brauchbares Risikomanagementinstrument im Agribusiness darstellen, beschäftigt sich eine wachsende Zahl von Veröffentlichungen. Der Fokus der bisherigen Arbeiten liegt zum einen auf theoretischen Fragen der Bepreisung von Wetterderivaten und zum anderen auf der Analyse temperaturbezogener Instrumente (vgl. VAN ASSELDONK, 2003; RICHARDS et al., 2004; MANFREDO und RICHARDS, 2005; MUßHOFF et al., 2005; TURVEY, 2005). Für landwirtschaftliche Anwendungen dürften allerdings niederschlagsbezogene Instrumente eine größere Bedeutung aufweisen. Speziell zur Wirkungsanalyse von Niederschlagsderivaten in der Landwirtschaft liegen aber bislang erst sehr wenige Veröffentlichungen vor (vgl. TURVEY, 2001; STOPPA und HESS, 2003; BERG et al., 2005). Bis heute ist daher nicht klar, ob sich Wetterderivate in der Landwirtschaft durchsetzen werden (EDWARDS und SIMMONS, 2004).

Ziel dieses Beitrages ist es, am Beispiel der Weizenproduktion in Nordostdeutschland anhand eines Mit/Ohne-Derivat-Vergleichs den risikomindernden Effekt des Einsatzes von Nieder-

schlagsoptionen zu verdeutlichen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Quantifizierung des Basisrisikos gelegt, das in die zuvor genannten Komponenten (i) Basisrisiko der Produktion und (ii) geografisches Basisrisiko zerlegt wird. Eine solche Separation des Basisrisikos, die in der Literatur bislang nicht behandelt wurde, liefert wichtige Erkenntnisse für die Gestaltung von Wetterderivaten und deren Einsatzpotenzial in der Landwirtschaft.

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: In Abschnitt 2 wird die Datengrundlage und die methodische Vorgehensweise dargestellt. In Abschnitt 3 erfolgt die Wirkungsanalyse von Niederschlagsoptionen für einen exemplarischen Betrieb in Brandenburg. Der Beitrag endet mit Schlussfolgerungen für die Gestaltung von Wetterderivaten (Abschnitt 4).

2 Datengrundlage und methodische Vorgehensweise

Im Folgenden wird exemplarisch ein etwa 850 ha großer Marktfruchtbetrieb betrachtet, der im Bundesland Brandenburg, genauer gesagt in Ketzin, wirtschaftet. Der Betriebsleiter möchte sich gegen Ertragsausfälle in der Weizenproduktion infolge zu geringer Niederschläge absichern. In Ermangelung einer Wetterstation und eines geeigneten Kontraktpartners wird der Landwirt kaum ein Derivat erwerben können, das sich direkt auf den Niederschlag „vor Ort“ bezieht. Es wird allerdings angenommen, dass im OTC-Handel Derivate verfügbar sind, die sich auf die Niederschlagsmessung an der für Berlin-Brandenburg zentral gelegenen Wetterstation Berlin-Tempelhof beziehen. Ketzin ist etwa 39 km westlich von Berlin-Tempelhof gelegen.

Die risikomindernde Wirkung, die durch den Einsatz von Wetterderivaten erzielbar ist, wird durch einen Vergleich der Erlösverteilung im Winterweizen ohne und mit Derivat quantifiziert. Im Fall ohne Derivat entspricht der auf den Zeitpunkt des Derivaterwerbs bezogene Erlös R_0^{ohne} (in €/ha) direkt dem Weizenertrag (in dt/ha) multipliziert mit dem Weizenpreis (in /dt) und dem Diskontierungsfaktor:

$$R_0^{ohne} = Q_T\left(I_T\right) \cdot P \cdot e^{-r \cdot \Delta t} \tag{1}$$

Der Weizenertrag Q_T ist eine Funktion von einer stochastischen Wettervariable I_T. P kennzeichnet den Weizenpreis, r den risikolosen Zinssatz und T den Verfallszeitpunkt bzw. Δt die Laufzeit des Derivats. Da im Folgenden nur Mengenrisiken betrachtet werden sollen, wird davon ausgegangen, dass der Weizenpreis durch einen Lieferkontrakt abgesichert ist und 10 €/dt beträgt. Im Fall mit Derivat ist der Erlös R_0^{mit} wie folgt zu berechnen:

$$R_0^{mit} = \left[Q_T\left(I_T\right) \cdot P + F_T\left(I_T\right)\right] \cdot e^{-r \cdot \Delta t} - F_0 \tag{2}$$

Erwirbt der Landwirt pro Hektar Weizenanbaufläche ein Derivat, kommt er nach der Zahlung des Anschaffungspreises F_0 zusätzlich zum Erlös aus der Weizenproduktion in den Genuss des Rückflusses aus dem Derivat F_T, dessen Höhe von der Wettervariable abhängig ist.

Zur Einschätzung der Hedging-Effektivität von Wetterderivaten muss zunächst eine Produktionsfunktion geschätzt werden, in der der Wettereinfluss nicht - wie sonst üblich - Teil des Störterms ist, sondern ein nicht kontrollierbarer Produktionsfaktor (Punkt 2.1). Anschließend werden Derivate spezifiziert, die sich auf die Wettervariable in der Produktionsfunktion beziehen (Punkt 2.2). Bevor die Vorgehensweise zur Quantifizierung der Hedging-Effektivität von Wetterderivaten unter besonderer Berücksichtigung der unterschiedlichen Basisrisiken erläutert wird (Punkt 2.3), werden die Derivate bepreist (Punkt 2.4).

2.1 Zur Schätzung der Produktionsfunktion

Für den betrachteten Marktfruchtbetrieb liegen Ertragsdaten für Winterweizen über einen Zeitraum von 1993 bis 2006 vor[1]. Mittels statistischer Tests ist für die Weizenerträge kein signifikanter Trend nachzuweisen. Diese Weizenerträge werden in Abhängigkeit von zwei Niederschlagsindices erklärt, nämlich einem Kumulationsindex und einem Defizitindex. Der Kumulationsindex I_T^K entspricht der Niederschlagssumme innerhalb eines bestimmten Zeitraums:

$$I_T^K = \sum_{t=1}^{x} y_t \tag{3}$$

Dabei kennzeichnet y_t den Niederschlag am Tag t und x die Länge der Kumulationsperiode. In bislang vorliegenden Veröffentlichungen zu Niederschlagsderivaten wird üblicherweise auf den Kumulationsindex zurückgegriffen (vgl. STOPPA und HESS, 2003; BERG et al., 2005). Als Alternative wird hier der Defizitindex I_T^D vorgeschlagen, in dem neben der Niederschlagsmenge innerhalb eines bestimmten Zeitraums auch der zeitliche Anfall des Niederschlags zum Ausdruck kommt:[2]

$$I_T^D = \sum_{\tau=1}^{z} \min\left(0, \sum_{t=(\tau-1)\cdot s+1}^{\tau\cdot s} y_t - y^{min}\right) \tag{4}$$

Dieser Index misst die über z Perioden kumulierten Differenzen zwischen der Niederschlagssumme an s Tagen und einem Referenzniveau y^{min}.

Da für Ketzin keine Wetterdaten verfügbar sind, werden die beschriebenen Niederschlagsindices für die Jahre 1993 $(T-14)$ bis 2006 $(T-1)$ unter Rückgriff auf Tagesniederschlagsdaten der Messstation in Berlin-Tempelhof berechnet. Zur Spezifizierung des Zusammenhangs zwischen dem beobachteten Kumulations- bzw. Defizitindex in Berlin-Tempelhof I_b und dem beobachteten Weizenertrag des Betriebes in Ketzin $\widetilde{Q}_b$ erscheint eine linear-limitationale Produktionsfunktion am geeignetsten[3]:

$$\widetilde{Q}_b = \begin{cases} a_0 + a_1 \cdot I_b + \varepsilon_b, \text{wenn } I_b < a_2 \\ a_3 + \varepsilon_b, \qquad \text{andernfalls} \end{cases}, \text{ mit } b = T-14, T-12, ..., T-1 \text{ und } \varepsilon_b \sim N[0, \sigma_\varepsilon] \tag{5}$$

„~“ macht deutlich, dass der Ertrag in Ketzin gemeint ist, während sich der Niederschlagsindex auf Wetterdaten in Berlin-Tempelhof bezieht (I_b statt $\widetilde{I}_b$). a_0, a_1, a_2, a_3 beschreiben die zu schätzenden Parameter der Produktionsfunktion und ε_b den normalverteilten Störterm

[1] Im Hinblick auf den geringen Datenumfang sei darauf hingewiesen, dass Ertragsdaten für Betriebe in den neuen Bundesländern aus der „Vorwendezeit“ und den ersten durch große strukturelle Anpassungen geprägten Jahren der „Nachwendezeit“ keine Aussagekraft für die Zukunft besitzen und daher nicht für die Prognose verwendet werden können. Gegen eine Verlagerung der Untersuchungsregion in die alten Bundesländer spricht, dass für den Abschluss eines Derivatgeschäfts eine bestimmte Betriebsgröße notwendig erscheint, die gerade von Betrieben in den neuen Bundesländern erreicht wird. Außerdem ist zu beachten, dass die Erhebung der Ertragsdaten nicht sortenspezifisch erfolgt, obwohl sich bestimmte Weizensorten für niederschlagsärmere Regionen wie Brandenburg besser eignen und dort auch für den Anbau bevorzugt werden.

[2] In dieser Definition nimmt der Defizitindex negative Werte an. Dies ist zwar ungewöhnlich, in der vorliegenden Anwendung aber zweckmäßig, weil dann die Beziehung zwischen Ertrag und Defizitindex der zwischen Ertrag und Kumulationsindex ähnlich ist.

[3] Alternativ wurden eine quadratische und eine logarithmische Produktionsfunktion geschätzt. Allerdings weist die linear-limitationale Produktionsfunktion für beide Niederschlagsindices die beste Anpassung an die empirischen Daten auf. Zu beachten ist, dass dieses Ergebnis nicht verallgemeinerbar ist. VEDENOV und BARNETT (2004) zeigen, dass ein geeignetes Ertrags-Niederschlagsmodell fruchtarten- und regionsabhängig ist.

mit einer Standardabweichung von σ_ε. Offensichtlich sind bei Werten für den Niederschlagsindex unterhalb von a_2 mm dürrebedingte Ertragsrückgänge zu erwarten. Bei Werten für den Niederschlagsindex oberhalb von a_2 mm entspricht der erwartete Weizenertrag a_3 dt/ha.

In Tabelle 1 sind die (signifikanten) Parameterschätzwerte und Bestimmtheitsmaße für ausgewählte Produktionsfunktionen dargestellt. Dabei wurde neben dem Index auch die Kumulationsperiode (und damit x) sowie z und s variiert. Die Referenzniederschlagsmenge beim Defizitindex y^{min} wurde jeweils so gewählt, dass sich eine maximale Korrelation zwischen den Weizenerträgen und den Werten für den Index ergibt. Mit Blick auf die Parameterschätzwerte zeigt sich, dass der erwartete Weizenertrag bei einem höheren Wert für den jeweiligen Niederschlagsindex erwartungsgemäß steigt und zwischen 64 und 76 dt/ha sein Maximum erreicht. Gemessen am Bestimmtheitsmaß R^2 ergibt sich für die Kumulationsperiode Juni der „beste" Kumulationsindex und für die Kumulationsperiode April bis Juni der „beste" Defizitindex. Zu beachten ist, dass das Bestimmtheitsmaß zwischen dem Weizenertrag und dem besten Defizitindex ($R^2 = 0{,}48$) bedeutend höher ist als zwischen dem Weizenertrag und dem besten Kumulationsindex ($R^2 = 0{,}15$).

Tabelle 1: Parameterschätzwerte und Bestimmtheitsmaß für die Produktionsfunktion

Periode	Kumulationsindex				Defizitindex				
	Jan. – Juni	April – Juni	Mai – Juni	Juni	Jan. – Juni	April – Juni	April – Juni	April – Juni	Juni
x	181	91	61	30	–	–	–	–	–
z	–	–	–	–	26	19	13	11	4
s	–	–	–	–	7	5	7	9	7
y^{min}	–	–	–	–	7,5	2,9	7,4	22,1	7,5
a_0	0	0	50,9	54,9	88,5	137,9	107,8	87,8	81,8
a_1	0,28	0,58	0,10	0,14	0,38	3,73	1,35	0,22	1,98
a_2	233,1	109,6	220,1	144,3	-39,8	-19,0	-29,4	-53,6	-7,1
a_3	64,6	64,1	73,7	75,5	73,4	67,1	68,0	76,0	67,7
σ_ε	10,2	11,0	11,1	10,9	9,9	8,7	8,7	10,8	9,0
R^2	0,10	0,09	0,13	0,15	0,30	0,47	0,48	0,17	0,43

Quelle: Eigene Berechnungen

Im Folgenden wird die Spezifikation von Derivaten beschrieben, die sich auf den besten Kumulations- bzw. Defizitindex beziehen.

2.2 Zur Spezifikation der analysierten Wetterderivate

Bei den bislang vor allem in Nordamerika gehandelten Wetterderivaten und in der wissenschaftlichen Diskussion überwiegen Optionen. Die Auszahlung einer (europäischen) Put-Option entspricht:

$$F_T = \max\left(S - I_T, 0\right) \cdot V \tag{6}$$

Die Put-Option erbringt am Ende ihrer Laufzeit T eine positive Auszahlung, wenn der Niederschlagsindex I_T unterhalb des Strike-Preises S liegt. Überschreitet der Index den Strike-Preis, so ist die Auszahlung Null. Die Tick-Size V monetarisiert die positive Differenz

zwischen S und I_T. Durch den Kauf einer Put-Option könnte sich der Landwirt also gegen Ertragsausfälle infolge zu geringer Niederschlagsmengen absichern[4].

Tabelle 2: Spezifikation der betrachteten Niederschlagsoptionen

		Option 1	Option 2
Niederschlagsindex	Bezeichnung	Kumulationsindex	Defizitindex
	Bezugspunkt	Niederschlagsdaten an der Wetter-station in Berlin-Tempelhof	Niederschlagsdaten an der Wetter-station in Berlin-Tempelhof
	Kumulationsperi ode	Juni	April – Juni
	Berechnung	$I_T^K = \sum_{t=1}^{30} y_t$	$I_T^D = \sum_{\tau=1}^{13} \min\left(0, \sum_{t=(\tau-1)\cdot 7+1}^{\tau\cdot 7} y_t - 7.4\right)$
Optionstyp		Put	Put
Strike-Preis S		144,3 mm	–29,4 mm
Tick-Size V		1,4 €/Indexpunkt	13,5 €/Indexpunkt
Laufzeit Δt		1 Jahr (01.07.2006 bis 30.06.2007)	1 Jahr (01.07.2006 bis 30.06.2007)
Verfallszeitpunkt T		2007	2007
Auszahlung F_T		$\max\left(144{,}3 - I_T^K, 0\right)\cdot 1{,}4$	$\max\left(-29{,}4 - I_T^D, 0\right)\cdot 13{,}5$
Zinssatz r		5 %	5 %
Optionspreis		108,1 €	56,8 €

Quelle: Eigene Berechnungen

Es werden zwei Put-Optionen betrachtet: Die erste Put-Option, die der Landwirt im Juli 2006 erwerben kann, bezieht sich auf die kumulierten Tagesniederschlagsmengen I_T^K, die im Juni 2007 an der Messstation Berlin-Tempelhof festgestellt werden. Die zweite Put-Option, die der Landwirt ebenfalls im Juli 2006 erwerben kann, bezieht sich auf die kumulierten Defizite I_T^D zwischen der an der Wetterstation Berlin-Tempelhof gemessenen 7-Tage-Niederschlagsmenge und 7.4 mm während des Zeitraums April bis Juni 2007. Der Strike-Preis und die Tick-Size beider Optionen werden in der Weise optimiert, dass die Auszahlung der Optionen vollkommen spiegelbildlich zu den erwarteten Erlösen aus der Weizenproduktion erfolgt (perfekte negative Korrelation). Bei einer linear-limitationalen Produktionsfunktion gilt: $S = a_2$ und $V = a_1 \cdot P$. Die Kontraktspezifikationen für die hier betrachteten Niederschlagsoptionen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

2.3 Zur Bestimmung des Optionspreises

Will der Landwirt seine Erlöse in der Weizenproduktion durch den Einsatz einer Niederschlagsoption absichern, so muss er zunächst den Optionspreis aufwenden. Da die Optionen nicht öffentlich gehandelt werden, muss deren Preis bestimmt werden. Leider können dazu die in der Finanzoptionspreistheorie entwickelten präferenzunabhängigen Verfahren wegen der Nichthandelbarkeit des einer Niederschlagsoption zugrunde liegenden Niederschlagsindexes nicht ohne weiteres angewendet werden (vgl. JEWSON et al., 2005: 28-34; RICHARDS et al., 2004). Um die Schwierigkeiten zu umgehen, die deshalb mit der Bepreisung von Wetterderivaten verbunden sind, wird hier der Preis der beiden Optionen als „faire Prämie“

[4] Eine Call-Option führt im Verfallszeitpunkt zu einer positiven Auszahlung, wenn der stochastische Basiswert den festgelegten Strike-Preis überschreitet. Eine Call-Option könnte dazu beitragen, Qualitäts- und Wartekosten einer nicht termingerechten Ernte in Folge einer lang anhaltenden Regenperiode während der Erntezeit zu kompensieren.

im versicherungsmathematischen Sinn ermittelt. Es wird also davon ausgegangen, dass der erwartete Gewinn aus dem Optionsgeschäft für beide Parteien gerade Null ist und keine Transaktionskosten anfallen. Der Optionspreis entspricht dann dem mit dem risikolosen Zinssatz r diskontierten Erwartungswert des Rückflusses der Option:

$$F_0 = E(F_T) \cdot e^{-r \cdot \Delta t} \tag{7}$$

Als Optionsbewertungsverfahren kommen grundsätzlich analytische Verfahren, die historische Simulation (Burn-Analyse), die stochastische Simulation (Index-Value-Simulation) und die Daily-Simulation in Betracht. Analytische Verfahren erfordern restriktive Annahmen z. B. bzgl. der Verteilung für die Basisvariable (vgl. MUßHOFF und HIRSCHAUER, 2003). Die mittels historischer Simulation als nicht parametrisches Verfahren bestimmten Optionspreise können sehr ungenau sein, weil bspw. die Länge der Datenreihe zu kurz ist, um die theoretische Verteilung gut zu approximieren (ZENG, 2000). Bei Anwendung der Daily-Simulation, die auf einem Modell für die Tagesniederschläge basiert, wird die Volatilität des Niederschlags und damit der Optionspreis systematisch unterschätzt (vgl. DUBROVSKY et al., 2004; ODENING et al., 2006). Deshalb kommt hier die stochastische Simulation zur Anwendung.

Dabei wird ausgehend von Tagesniederschlagsmengen, die in Berlin-Tempelhof zwischen 1948 und 2006 gemessen wurden, für jedes Jahr der jeweilige Wert für den Niederschlagsindex berechnet. Im Ergebnis stehen 59 empirische Beobachtungswerte für den Index zur Verfügung. Mit Hilfe des MS-EXCEL-Add-In BEST-FIT wird getestet, welche Annahme bezüglich der Verteilung des Index zutreffend ist. Gemäß den Standardverfahren Chi-Quadrat-, Kolmogorov-Smirnov- und Anderson-Darling-Test stellt für den Kumulationsindex die Log-Normal-Verteilung und für den Defizitindex die Weibull-Verteilung die beste Anpassung an die empirische Verteilung dar, wobei nur Verteilungen betrachtet wurden, die keinen Vorzeichenwechsel für die Unsicherheitsgröße erlauben. Im Rahmen der Simulation wird aus der geschätzten Verteilung 10 000 Mal ein Wert für den jeweiligen Niederschlagsindex gezogen, jeweils der Rückfluss der Option gemäß (6) bestimmt und mit dem risikolosen Zinssatz in Höhe von 5 % diskontiert. Der Mittelwert der diskontierten Rückflüsse entspricht der fairen Prämie und beläuft sich beim Kumulationsindex auf 108,1 € und beim Defizitindex auf 56,8 €.

2.4 Zur Vorgehensweise bei der Beurteilung der Hedging-Effektivität

Zu beachten ist, dass im Störterm der Produktionsfunktion (5) sowohl das Basisrisiko der Produktion als auch das geografische Basisrisiko zum Ausdruck kommen: Zum einen werden nur die Niederschläge in der Kumulationsperiode des Index berücksichtigt. Zum anderen wird die Produktionsfunktion basierend auf Ertragsdaten am Ort der Produktion und dem Wettergeschehen an der Referenzmessstation bestimmt. Um die vom geografischen Basisrisiko und vom Basisrisiko der Produktion ausgehenden Effekte separieren zu können, werden bei der Einschätzung der risikomindernden Wirkung von Niederschlagsoptionen drei Szenarien betrachtet. Da sich die Option immer auf die Niederschläge an der Referenzwetterstation Berlin-Tempelhof bezieht, unterscheiden sich die drei Szenarien nicht bezüglich des Optionspreises F_0 und des Rückflusses der Option F_T, sondern nur in der Bestimmung des Produktionserfolgs in T:

- Im ersten Szenario wird angenommen, dass kein Basisrisiko vorliegt. Es wird unterstellt, dass sich der Ort der landwirtschaftlichen Produktion nicht in Ketzin, sondern in unmittelbarer Nähe der Referenzwetterstation in Berlin-Tempelhof befindet (Q_T statt $\widetilde{Q}_T$) und der Zusammenhang zwischen Ertrag und Niederschlagsindex nicht durch Zufallseffekte beeinflusst wird ($\varepsilon = 0$). Der Weizenertrag in Szenario 1 Q_T^1

wird direkt aus dem jeweiligen Wert für den Niederschlagsindex in Berlin-Tempelhof abgeleitet:

$$Q_T^1 = \begin{cases} a_0 + a_1 \cdot I_T, \text{wenn } I_T < a_2 \\ a_3, \qquad \text{andernfalls} \end{cases} \tag{8}$$

- Im zweiten Szenario wird berücksichtigt, dass die Weizenproduktion in 39 km Entfernung von der Referenzwetterstation stattfindet (geografisches Basisrisiko). Es wird aber weiterhin unterstellt, dass der Zusammenhang zwischen Ertrag und Niederschlagsindex am Ort der Produktion rein deterministisch ist ($\varepsilon = 0$). Der Weizenertrag in Szenario 2 $\widetilde{Q}_T^2$ wird direkt aus dem jeweiligen Wert für den Niederschlagsindex am Ort der Produktion in Ketzin ($\widetilde{I}_T$ statt I_T) abgeleitet:

$$\widetilde{Q}_T^2 = \begin{cases} a_0 + a_1 \cdot \widetilde{I}_T, \text{wenn } \widetilde{I}_T < a_2 \\ a_3, \qquad \text{andernfalls} \end{cases} \tag{9}$$

Der Wert für den Niederschlagsindex in Ketzin $\widetilde{I}_T$ wird unter Berücksichtigung einer noch zu bestimmenden Korrelation aus dem Wert für den Niederschlagsindex in Berlin Tempelhof I_T abgeleitet.

- Im dritten Szenario wird sowohl die räumliche Entfernung zwischen der Referenzwetterstation und dem Ort der Produktion als auch der zufallsbehaftete Zusammenhang zwischen Ertrag und Niederschlag berücksichtigt (geografisches Basisrisiko und Basisrisiko der Produktion). Der Weizenertrag in Szenario 3 $\widetilde{Q}_T^3$ wird aus dem jeweiligen Wert für den Niederschlagsindex an der Referenzwetterstation Berlin-Tempelhof und unter Berücksichtigung des Störterms der Produktionsfunktion ε abgeleitet, in dem beide Basisrisiken zum Ausdruck kommen:

$$\widetilde{Q}_T^3 = \begin{cases} a_0 + a_1 \cdot I_T + \varepsilon_T, \text{wenn } I_T < a_2 \\ a_3 + \varepsilon_T, \qquad \text{andernfalls} \end{cases} \tag{10}$$

Zur Bestimmung der Verteilung für die Erlöse ohne Option (vgl. (1)) und mit Option (vgl. (2)) in den drei Szenarien kommt erneut die stochastische Simulation (10.000 Simulationsläufe) zur Anwendung.

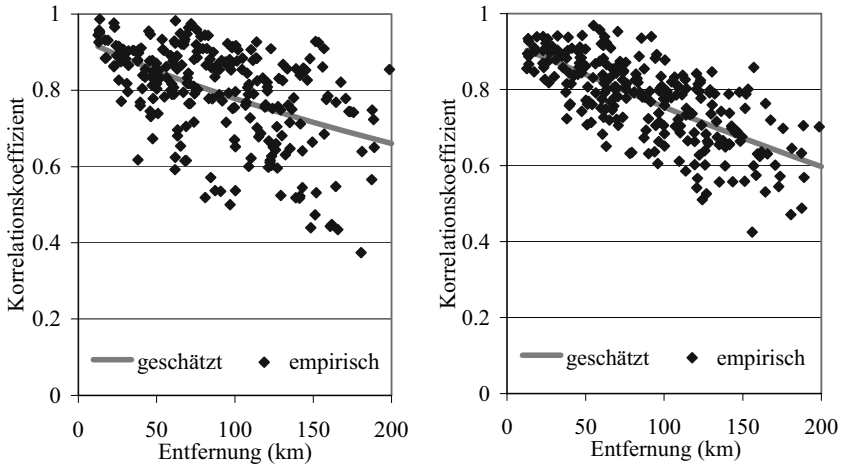
Um die für Szenario 2 benötigte Korrelation zwischen dem Niederschlagsindex am Ort der Produktion und an der Referenzwetterstation zu bestimmen, wird eine Dekorrelationsanalyse durchgeführt. Dazu stehen Daten von 23 Wetterstationen in Berlin und Brandenburg von 1983 bis 2003 zur Verfügung. Die Messstationen befinden sich in einer Entfernung von bis zu 100 km rund um Berlin-Tempelhof und sind relativ gleichmäßig im Raum verteilt. Zunächst werden die Korrelationskoeffizienten $\rho_{i,j}$ zwischen den Werten für den Niederschlagsindex an den Wetterstationen i und j bestimmt. Anschließend werden die Entfernungen $d_{i,j}$ zwischen den einzelnen Wetterstationen ermittelt. Zur Schätzung der sog. Dekorrelationsfunktion können in der hier vorliegenden Anwendung insgesamt 253 Korrelationskoeffizienten und die jeweils dazugehörige Entfernung genutzt werden. RUBEL (1996) schlägt für die Modellierung des raumbezogenen Zusammenhangs von Niederschlägen in Europa folgende nicht-lineare Dekorrelationsfunktion vor[5]:

[5] Die Dekorrelationsfunktion abstrahiert von der Himmelsrichtung, in der man sich von der Messstation entfernt. Dadurch werden topografische Unterschiede vernachlässigt, die Einfluss auf die Niederschlagsmenge haben können. In Brandenburg kommen die topografischen Gegebenheiten der Annahme eines lage- und richtungsunabhängigen Zusammenhangs entgegen.

$$\rho_{i,j} = c_1 \cdot \exp\left(-c_2 \cdot d_{i,j}^{\;c_3}\right) \tag{11}$$

Für den Kumulationsindex ergibt sich $c_1 = 0{,}94$, $c_2 = 0{,}0033$, $c_3 = 0{,}88$ und für den Defizitindex $c_1 = 0{,}92$, $c_2 = 0{,}0012$, $c_3 = 1{,}11$. Das Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt beim Kumulationsindex 0,24 und beim Defizitindex 0,48.

Abbildung 1: Dekorrelationsanalyse für den Kumulationsindex (links) und den Defizitindex (rechts)



Quelle: Eigene Darstellung

Das in Abbildung 1 dargestellte Scatterdiagramm macht allerdings deutlich, dass der Zusammenhang zwischen Entfernung und Korrelation mit zunehmender Entfernung unschärfer wird. Außerdem ist ersichtlich, dass die Korrelation zwischen dem Niederschlagsindex an zwei Wetterstationen mit der Entfernung sinkt. Bei einer Entfernung zwischen Berlin-Tempelhof und Ketzin in Höhe von 39 km weist der Kumulationsindex eine Korrelation von 0,87 und der Defizitindex eine Korrelation von 0,86 auf.

3 Ergebnisse

In Tabelle 3 sind zur Beurteilung der Hedging-Effektivität der beiden oben beschriebenen Niederschlagsoptionen der Erwartungswert, die Standardabweichung sowie ausgewählte Perzentile der Erlösverteilung unter Maßgabe des Kumulations- und Defizitindex für alle drei beschriebenen Szenarien angegeben. Dabei wird jeweils die Situation ohne und mit Absicherung durch eine Niederschlagsoption betrachtet. In Abbildung 2 sind die Erlösverteilungen für ausgewählte Szenarien grafisch veranschaulicht.

Zunächst fällt auf, dass sich die Erwartungswerte für die Erlöse ohne und mit Option nicht unterscheiden. Dies ist darin begründet, dass der Optionspreis als faire Prämie berechnet wurde, also die Option im Mittel „so viel bringt, wie sie kostet“. Mit Blick auf die Hedging-Effektivität einer Option lässt sich Folgendes feststellen:

- Szenario 1: Liegt kein Basisrisiko vor (Ort der Produktion in unmittelbarer Nähe der Referenzwetterstation und Zusammenhang zwischen Ertrag und Index nicht durch Zufallseffekte überlagert), dann kann der Landwirt durch den Erwerb einer Put-Option auf den Kumulations- oder Defizitindex das Erlösrisiko vollständig eliminieren. Dies

ist deshalb möglich, weil die Auszahlung der Option perfekt negativ mit den Erlösen aus der Weizenproduktion korreliert ist.

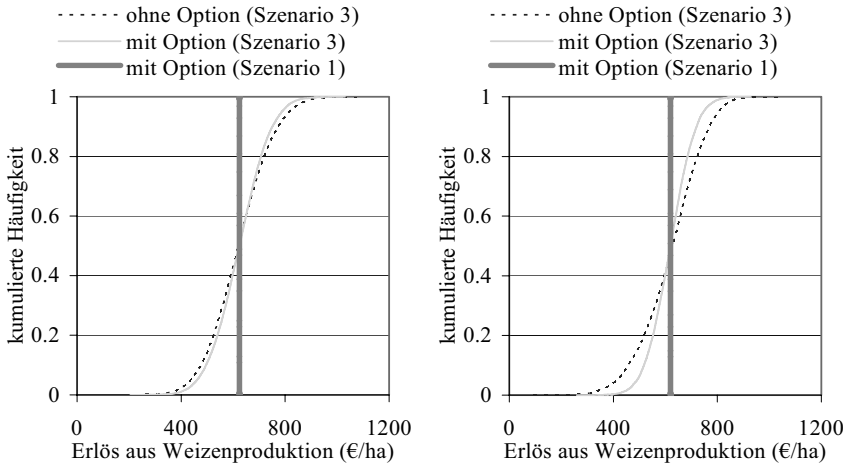
- Szenario 2: Berücksichtigt man allerdings, dass sich der Ort der Produktion in 39 km Entfernung von der Referenzwetterstation befindet, dann bleibt zwar die Verteilung der Erlöse ohne Option im Vergleich zu Szenario 1 unverändert, weil letztlich dem Niederschlagsindex in Ketzin die gleiche Verteilung zugrunde liegt wie in Berlin-Tempelhof (vgl. Fußnote 5). Trotzdem kann die Standardabweichung der Erlöse durch den Einsatz der Put-Option auf den Kumulationsindex (Defizitindex) nur noch um etwa 45 % (40 %) reduziert werden. Schließlich können Fälle auftreten, in denen der Landwirt einen Rückfluss aus der Option erzielt, obwohl kein Ertragsausfall zu verzeichnen war (und vice versa), weil sich der Niederschlag in Ketzin von dem in Berlin-Tempelhof unterscheidet. Im Vergleich zu den Ergebnissen von Szenario 1 zeigt sich, dass die risikomindernde Wirkung der Option mit zunehmender Entfernung von der Referenzwetterstation abnimmt.
- Szenario 3: Berücksichtigt man realistischerweise sowohl das geografische Basisrisiko als auch einen zufallsbehafteten Zusammenhang zwischen Ertrag und Niederschlagsindex, dann kann beim Kumulationsindex die Standardabweichung der Erlöse durch den Erwerb der Put-Option nur noch um 10 % reduziert werden. Beim Defizitindex gelingt durch den Einsatz der Put-Option noch eine Verminderung der Standabweichung um 30 %. Die im Vergleich zu Szenario 2 festzustellende Abnahme der Hedging-Effektivität der Option ist auf die zusätzliche Berücksichtigung des Basisrisikos der Produktion zurückzuführen.

Tabelle 3: Kennzahlen der Erlösverteilungen ohne und mit Option (Angaben in €/ha)

		Szenario 1		**Szenario 2**		**Szenario 3**	
geografisches Basisrisiko		ohne		mit		mit	
Basisrisiko der Produktion		ohne		ohne		mit	
Niederschlagsoption		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Kumulationsindex	Erwartungswert	620	620	620	620	620	620
	Standardabweichung	49	0	49	27	117	104
	Perzentil 5 %	558	620	558	574	429	446
	Perzentil 10 %	565	620	565	588	471	485
	Perzentil 50 %	608	620	608	620	619	620
	Perzentil 90 %	702	620	702	652	771	755
	Perzentil 95 %	728	620	728	666	815	793
Defizitindex	Erwartungswert	599	599	599	599	599	599
	Standardabweichung	84	0	84	51	119	83
	Perzentil 5 %	417	599	417	509	381	461
	Perzentil 10 %	471	599	471	537	441	492
	Perzentil 50 %	656	599	656	599	610	599
	Perzentil 90 %	656	599	656	661	740	706
	Perzentil 95 %	656	599	656	690	773	737

Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 2: Erlösverteilungen ohne und mit Absicherung für den Kumulationsindex (links) und den Defizitindex (rechts)



Quelle: Eigene Berechnungen

Wie die Modellrechnungen verdeutlichen, erodiert die Hedging-Effektivität einer Put-Option auf den (besten) Kumulationsindex nahezu vollständig, wenn man das geografische Basisrisiko und das Basisrisiko der Produktion berücksichtigt. Bei der Option auf den Defizitindex sinkt die von der Put-Option ausgehende risikomindernde Wirkung zwar auch, wenn das geografische Basisrisiko und das Basisrisiko der Produktion berücksichtigt werden. Allerdings kann durch die Option selbst dann noch eine beachtliche Risikoreduzierung erzielt werden. Dieser Unterschied ist darin begründet, dass der Erklärungsgehalt der Produktionsfunktion für den Weizenertrag in Abhängigkeit vom Defizitindex viel höher ist als beim Kumulationsindex.

In Szenario 3 verbleiben sowohl das geografische Basisrisiko als auch das Basisrisiko der Produktion selbst bei Einsatz einer optimal ausgestalteten Option beim Landwirt: Die Standardabweichung der Erlöse entspricht der Volatilität des Störterms in der Produktionsfunktion multipliziert mit dem Produktpreis und dem Diskontierungsfaktor ($10{,}9 \cdot 10 \cdot e^{-5\%} = 104$ beim Kumulationsindex und $8{,}7 \cdot 10 \cdot e^{-5\%} = 83$ beim Defizitindex). Die Standardabweichung der Erlöse in Szenario 2 ergibt sich allein aus dem geografischen Basisrisiko. Unabhängig vom geografischen Basisrisiko und vom Basisrisiko der Produktion würde sich auch bei Einsatz einer optimal ausgestalteten Option ein weiteres Basisrisiko ergeben, wenn die Produktionsfunktion keine lineare oder linear-limitationale Funktionsform aufweist. Schließlich kann dann die Option nicht so designed werden, dass deren Auszahlung perfekt negativ mit den erwarteten Erlösen aus der Produktion korreliert ist. Natürlich könnten mehrere Derivate miteinander kombiniert werden, um komplexe nichtlineare Auszahlungsströme zu erzeugen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Modellrechnungen haben gezeigt, dass (i) die Entfernung zwischen dem Ort der landwirtschaftlichen Produktion und der Referenzwetterstation sowie (ii) das Basisrisiko der Produktion bzw. eng damit verbunden die Spezifikation des Indexes, auf den sich die Niederschlagsoption bezieht, die Hedging-Effektivität von Niederschlagsoptionen in außerordentlich starkem Maße beeinflusst. Befindet sich die Referenzwetterstation in unmittelbarer Nähe des

Ortes der Produktion und besteht ein sehr enger Zusammenhang zwischen Ertrag und Niederschlagsindex, dann ist der Absicherungseffekt, der durch den Einsatz von Niederschlagsoptionen erzielt werden kann, sehr beachtlich. Befindet sich der Ort der landwirtschaftlichen Produktion in auch nur relativ geringer Entfernung zur nächstgelegenen Referenzwetterstation (z. B. 39 km in der hier vorliegenden Anwendung), dann sinkt der Absicherungseffekt schon deutlich. Liegt der Option zudem noch ein Index zugrunde, der nur eine geringe Korrelation zum Ertrag aufweist (wie hier zwischen dem oftmals vorgeschlagenen Kumulationsindex und dem Weizenertrag festgestellt), dann sinkt der Absicherungseffekt noch weiter. Bedenkt man zudem die in diesem Beitrag nicht berücksichtigten Transaktionskosten und eine eventuelle Risikoprämie der das Derivat anbietenden Versicherung oder Bank, dann erscheint der Einsatz von Wetterderivaten als effektives Risikomanagementinstrument in der Getreideproduktion Nordostdeutschlands fraglich. Zu einer abschließenden Beurteilung des Einsatzpotenzials von Wetterderivaten müsste man fragen, ob die Risikoprämie des jeweiligen Landwirts eine Deckung der Transaktionskosten und der Risikoprämie der Versicherung erlaubt.

Aus den Feststellungen folgt, dass potenzielle Anbieter von Niederschlagsoptionen ein möglichst dichtes Netz von Wetterstationen als Referenzpunkte zulassen und ein möglichst breit gefächertes Spektrum an unterschiedlich spezifizierten Wetterderivaten anbieten sollten. Natürlich ist kaum vorstellbar, dass für jede Wetterstation Derivate angeboten werden. Dazu wäre die Nachfrage nach derartigen Produkten sicher zu gering. Ein Kompromiss könnte darin bestehen, das gewogene Mittel aus den Werten eines Niederschlagsindex an mehreren Stationen als Basisvariable zu wählen. Die Empfehlung, unterschiedlich spezifizierte Wetterderivate anzubieten, betrifft zum einen den Derivattyp. Beispielsweise könnte bei einer quadratischen Produktionsfunktion der kombinierte Einsatz einer Put- und Call-Option sowohl eine Absicherung gegen zu geringe als auch zu starke Niederschläge bewirken. Zum anderen betrifft dies aber auch die Gestaltung des Indexes, die Höhe der Tick-Size und die Höhe des Strike-Preises. Viele Referenzwetterstationen und in unterschiedlichster Weise ausgestaltete Wetterderivate führen zwar zu einer Zersplitterung der Nachfrage. Letztlich würde eine individuelle Gestaltung der Wetterderivate aber erst die Voraussetzung für ein Interesse seitens der Landwirte schaffen.

Weiterer Forschungsbedarf besteht bezüglich der wirkungsorientierten Spezifikation der Auszahlungsfunktion einer Option. Die bislang im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Diskussion stehenden kumulierten Niederschläge dürften aus Sicht vieler Produzenten zu wenig zielgerichtet sein. Ein Alternativvorschlag wurde hier in Form eines Defizitindex gemacht. Aus Sicht der Landwirtschaft könnte es aber auch sinnvoll sein, in den der Option zugrunde liegenden Index nicht nur den Niederschlag, sondern auch die Temperatur, die Windstärke etc. einfließen zu lassen. Damit könnte z. B. dem Umstand Rechnung getragen werden, dass geringe Niederschlagsmengen bei hohen Temperaturen zu höheren Ertragseinbußen führen, als bei niedrigeren Temperaturen. Eine weitere Forschungsaufgabe betrifft die Bewertung von Wetterderivaten.

Literatur

BERG, E., B. SCHMITZ, M. STARP und H. TRENKEL (2005): Wetterderivate: Ein Instrument im Risikomanagement für die Landwirtschaft? In: Agrarwirtschaft 54 (3): 158-170.

CAO, M., A. LI und J. WEI (2003): A New Class of Financial Instruments. Working-Paper, University of Toronto.

DUBROVSKY, M., J. BUCHTELE und Z. ZALUD (2004): High-Frequency and Low-Frequency Variability in Stochastic Daily Weather Generator and its Effect on Agricultural and Hydrologic Modelling. In: Climatic Change 63: 145-179.

EDWARDS, M.J. und P. SIMMONS (2004): Preliminary Results for the Measurement of Willingness to Pay for Climate Derivatives. Paper presented at the Australian Agricultural and Resource Economics Society Annual Conference, Melbourne.

JEWSON, S., A. BRIX und C. ZIEHMANN (2005): Weather Derivative Valuation. Cambridge University Press, Cambridge.

MANFREDO, M.R. und T.J. RICHARDS (2005): Hedging Yield with Weather Derivatives: A Role for Options. Paper presented at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Rhode Island.

MUßHOFF, O. und N. HIRSCHAUER (2003): Bewertung komplexer Optionen. PD-Verlag, Heidenau.

MUßHOFF, O., M. ODENING und W. XU (2005): Zur Bewertung von Wetterderivaten als innovative Risikomanagementinstrumente in der Landwirtschaft. In: Agrarwirtschaft 54 (3): 197-209.

ODENING, M., O. MUßHOFF und W. XU (2006): Analysis of Rainfall Derivatives Using Daily Precipitation Models: Opportunities and Pitfalls. In: Agricultural Finance Review (im Druck).

RICHARDS, T.J., M.R. MANFREDO und D.R. SANDERS (2004): Pricing Weather Derivatives. In: American Journal of Agricultural Economics 86: 1005-1017.

RUBEL, F. (1996): Scale Dependent Statistical Precipitation Analysis. Proceedings of the International Conference on Water Resource and Environment Research: 317-324.

SCHIRM, A. (2001): Wetterderivate – Einsatzmöglichkeiten und Bewertung. Working-Paper, Graduiertenkolleg: Allokation auf Finanz- und Gütermärkten, Universität Mannheim.

SKEES, J. (2002): The Potential Role of Weather Markets for U.S. Agriculture. In: Inman, L., L. Williamson und E. Scorsone (eds.): Agricultural Situation and Outlook. University of Kentucky, Kentucky: 77-81.

STOPPA, A. und U. HESS (2003): Design and Use of Weather Derivatives in Agricultural Policies: the Case of Rainfall Index Insurance in Morocco. Paper presented at the International Conference: Agricultural Policy Reform and the WTO: Where are we Heading. Capri.

TIGLER, J. und T. BUTTE (2001): Weather Derivatives: A Quantitative Analysis. Research Thesis, Institute of Finance and Banking, Department of Business Administration, Economics and Law, Darmstadt University of Technology.

TURVEY, C.G. (2001): Weather Derivatives for Specific Event Risks in Agriculture. In: Review of Agricultural Economics 23: 333-351.

TURVEY, C.G. (2005): The Pricing of Degree-Day Weather Options. In: Agricultural Finance Review 65: 59-85.

VAN ASSELDONK, M.A.P.M. (2003): Insurance against Weather Risk: Use of Heating Degree-days from non-local Stations for Weather Derivatives. In: Theoretical and Applied Climatology 74: 137-144.

VEDENOV, D.V. und B.J. BARNETT (2004): Efficiency of Weather Derivatives as Primary Crop Insurance Instruments. In: Journal of Agricultural and Resource Economics 29: 387-403.

ZENG, L. (2000): Pricing Weather Derivatives. In: Journal of Risk Finance 1: 72-78.