

Das Risikoreduzierungspotenzial von Wetterderivaten im Ackerbau: Einfachindizes versus Mischindizes

The Risk Reduction Potential of Weather Derivatives in Crop Production: Simple Indices versus Mixed Indices

Niels Pelka und Oliver Mußhoff
Georg-August-Universität Göttingen

Zusammenfassung

Der Einsatz von Wetterderivaten ist mit einem Basisrisiko behaftet. Dies schmälert das Risikoreduzierungspotenzial und stellt möglicherweise ein Hemmnis bei der Verbreitung dieser Risikomanagementinstrumente in der Landwirtschaft dar. Als ein Ansatz zur Verringerung des Basisrisikos werden Mischindizes vorgeschlagen, die sich aus mehreren Wettervariablen zusammensetzen. Dieser Beitrag vergleicht die risikoreduzierende Wirkung eines temperaturindexbasierten und eines niederschlagsindexbasierten Wetterderivates mit der eines Derivates, das auf einem, aus beiden Wettervariablen gebildeten, Mischindex basiert. Die Grundlage für diesen Vergleich bilden empirische Ertragszeitreihen aus der Winterweizenproduktion von 32 Betrieben in Mitteldeutschland sowie Tagestemperatur- und Tagesniederschlagsdaten ausgewählter Wetterstationen über mehrere Jahre. Die Hedgingeffektivität wird mit Hilfe von Johnsons (1960) Hedging Modell maximiert. Die Ergebnisse belegen empirisch, dass die Verbesserung des Risikoreduzierungspotenzials durch mischindexbasierte Wetterderivate gegenüber Wetterderivaten mit Einfachindizes signifikant ist. Allerdings ist die risikoreduzierende Wirkung eines Wetterderivates basierend auf einem Mischindex nicht signifikant höher als die gleichzeitige Verwendung mehrerer Wetterderivate mit unterschiedlichen einfachen Indizes. Außerdem zeigt der Beitrag, dass betriebsindividuell optimal ausgestaltete Wetterindizes gerade bei Mischindizes ein signifikant höheres Risikoreduzierungspotenzial haben als standardisierte Wetterindizes. Die hier behandelte Fragestellung kann sowohl für Landwirte als auch für potenzielle Anbieter von Wetterderivaten relevant sein.

Schlüsselwörter

Wetterderivate; Hedgingeffektivität; Basisrisiko; Einfachindex; Mischindex

Abstract

Weather derivatives are impaired with a basis risk that reduces the risk reduction potential and possibly hinders the introduction of these risk management instruments in the agricultural sector. A frequently suggested approach to reduce the basis risk is the use of mixed indices composed of several weather variables. The present study compares the risk-reduction potential of a temperature index-based and a precipitation index-based weather derivative to a derivative based on a mixed index including the two weather variables temperature and precipitation. This comparison is based on empirical winter wheat yield data of arable farms in Central Germany as well as on daily weather data of individual weather stations over several years. The hedging effectiveness is maximized using the hedging model by Johnson (1960). The results empirically prove that the improvement of the risk reduction potential of weather derivatives based on a mixed index improves significantly in comparison to single-index derivatives. However, it is more advantageous to use several weather derivatives based on a simple index at the same time than using one derivative based on a mixed index if the weather variables of the mixed index were measured at just one weather station. Hence, providers of weather derivatives would do better by offering different weather derivatives based on a simple index than derivatives that are based on a mixed index. In particular this is worth considering with regard to the fact that weather derivatives based on simple indices will surely attract the interest of other sectors more easily. Furthermore, by showing that farm-individual optimally designed weather indices have a significantly higher risk reduction potential than standardized weather indices, this study provides an important progress for the question about the design of weather derivatives. Hence, providers of weather derivative should better offer different weather derivatives with single index-based, farm-individual, optimally de-

signed indices than a derivative based on a mixed index. The focus of the present study may be relevant for farmers as well as for potential providers of weather derivatives.

Key Words

weather derivatives; hedging effectiveness; basis risk; simple index; mixed index

1 Einleitung

Das Wetter ist ein wesentlicher Produktionsfaktor in der Landwirtschaft und nicht vom Menschen steuerbar. Seit Anbeginn ackerbaulicher Aktivitäten ist das Wetter deshalb maßgeblich für Ertragsschwankungen verantwortlich. Der voranschreitende Klimawandel führt dazu, dass Ertragsschwankungen zukünftig noch zunehmen werden. Hinzu kommt, dass die zunehmende Liberalisierung der Agrarmärkte die Volatilität landwirtschaftlicher Einkommen ansteigen lässt. Dies ist mit Auswirkungen für alle Akteure im Agrarsektor verbunden, von der Agrarpolitik, dem Agrarrohstoffhandel über die praktizierenden Landwirte bis hin zu den vorgelagerten Bereichen der Pflanzenzüchter und den Produzenten von Betriebsmitteln.

Als neuartiges Instrument für das außerbetriebliche Management von Mengenrisiken haben Wetterderivate, die vielfach auch als Wetterindexversicherungen bezeichnet werden, im letzten Jahrzehnt die Aufmerksamkeit der agrarökonomischen Forschung auf sich gezogen (TURVEY, 2001; VEDENOV und BARNETT, 2004; ODENING et al., 2007; BREUSTEDT et al., 2008; NORTON et al., 2013). Seit einiger Zeit werden Wetterderivate in Deutschland flächendeckend angeboten. Auch Landwirte können diese beispielsweise über www.wetterprotect.de, www.celsiuspro.com oder www.cmegroup.com/trading/weather/ erwerben. „Wetterderivate“ stellen einen Vertrag dar, der dem Käufer in Abhängigkeit von meteorologischen Daten Zahlungen garantiert. Die Rückflüsse aus Wetterderivaten werden anhand objektiv messbarer Wettervariablen ermittelt, die den Index des Derivates bilden. Dabei kann es sich z.B. um die Niederschlagssumme in einer wachstumsrelevanten Periode handeln. Ziel des Einsatzes von Wetterderivaten ist die Absicherung gegen wetterbedingte Einkommenschwankungen. Der Grad der Einkommensstabilisierung wird auch als Risikoreduzierungspotenzial oder synonym als Hedgingeffektivität bezeichnet. Diese ermittelt sich aus der relativen Änderung der Standardabweichung des Einkommens mit Wetterde-

rivat gegenüber der Standardabweichung des Einkommens ohne Derivat (vgl. z.B. GOLDEN et al., 2007).

Ein entscheidender Vorteil von Wetterderivaten gegenüber Ertragsausfallsversicherungen liegt – einen funktionierenden Wettbewerb vorausgesetzt – in geringen Transaktionskosten, da sie nicht von adverser Selektion und Moral-Hazard betroffen sind (COBLE et al., 1997; GOODWIN, 2001; BERG und SCHMITZ, 2008). Das Risikoreduzierungspotenzial von Wetterderivaten wird jedoch als Folge einer nicht perfekten Korrelation zwischen Wettervariable und Einkommen geschmälert. Dieses beim Produzenten verbleibende Restrisiko wird als Basisrisiko bezeichnet. Es resultiert zum einen aus der Tatsache, dass neben der versicherungsrelevanten Wettervariable (z.B. Niederschlag im Mai) noch weitere Einflüsse für Ertragsschwankungen verantwortlich sein können (z.B. Temperatur im Mai). Man spricht hier vom Basisrisiko der Produktion. Zum anderen ergibt sich eine nicht zu versichernde Differenz des Wettergeschehens am Ort der Produktion und an der Referenzwetterstation, die als geographisches Basisrisiko bezeichnet wird (DEUBEL, 2009). Zudem sind schwankende Erträge nicht die einzige Risikoquelle in landwirtschaftlichen Unternehmen. Es besteht ein Preisänderungsrisiko bei den Agrarprodukten. Auch unsichere Betriebsmittelpreise und Aufwandsmengen tragen zum unternehmerischen Erfolgsrisiko bei.

Zum Thema „Einsatzpotenzial von Wetterderivaten“ liegt eine Reihe von Arbeiten vor. Beispielsweise bewerten SCHIRM (2001), CAO und WEI (2003), SCHÄFER (2005) sowie HEIDORN und TRAUTMANN (2005) das Einsatzpotenzial von Wetterderivaten für die Absicherung von Wetterrisiken im nicht-landwirtschaftlichen Bereich. VAN ASSELDONK (2003) analysiert die Hedgingeffektivität von Wetterderivaten im niederländischen Ackerbau. BERG et al. (2005) entwickeln ein Wetterderivat mit Niederschlagsindex zur Mengenabsicherung im nordrhein-westfälischen Kartoffelanbau.

Um das Basisrisiko der Produktion zu mindern, wird in der Literatur vielfach gefordert, den Rückfluss eines Wetterderivates auf der Grundlage von Mischindizes zu bestimmen, die aus mehreren Wettervariablen zusammengesetzt sind. VEDENOV und BARNETT (2004) messen das Risikoreduzierungspotenzial von Wetterderivaten mit verschiedenen Mischindizes für unterschiedliche Früchte und Regionen der USA. XU et al. (2008) quantifizieren die Wirkung eines Wetterderivates basierend auf einem Mischindex in der deutschen Getreideproduktion. Weiterhin untersucht

DISCHEL (2001) die Absicherungsmöglichkeiten durch Wetterderivate gegen negative ökonomische Konsequenzen aus bestimmten Temperatur- und Niederschlagsereignissen in der kalifornischen Mandelproduktion.

Der einem Wetterderivat zugrunde liegende Index sollte einen möglichst hohen Erklärungsgehalt für den Produktionserfolg der abzusichernden Frucht liefern. Bei Mischindizes kann dies zu hoch komplexen Konstruktionen führen. Diese „Spezialisierung“ steht jedoch im Widerspruch zur Attraktivität des Wetterderivates für potenzielle Handelspartner anderer Branchen am Markt. Mischindizes können damit die Anzahl potenzieller Handelspartner für Wetterderivate am Markt im besonderen Maße verringern.

Mischindizes werden in der vorliegenden Literatur zwar gefordert und angewandt, eine vergleichende einzelbetriebliche Wirkungsanalyse von Wetterderivaten mit einfachem Index und mit Mischindex für real existierende landwirtschaftliche Betriebe ist unserem Wissen nach bisher aber nicht durchgeführt worden. Ferner unterliegen die angebotenen Wetterderivate am Markt einem mehr oder weniger starken Grad der Standardisierung. Bei einigen Anbietern ist die Wahl individueller Kumulationsperioden und des Strike-Levels möglich. Eine vergleichende einzelbetriebliche Wirkungsanalyse von Wetterderivaten mit einzelbetrieblich optimal zugeschnittenem Index und standardisiertem Index ist unserem Wissen nach bislang ebenfalls nicht durchgeführt worden. Vor diesem Hintergrund verfolgen wir drei Zielsetzungen:

1. Wir bestimmen das Risikoreduzierungspotenzial eines niederschlagsindexbasierten und eines temperaturindexbasierten Wetterderivates. Anschließend wird das Risikoreduzierungspotenzial eines Wetterderivates ermittelt, das auf einem Mischindex aus diesen beiden Wettervariablen basiert. Das Hedging über einen einfachen Index stellt im Prinzip lediglich einen Spezialfall des Mischindex dar, nämlich eine 100-%- zu 0-%-Mischung zweier Wettervariablen. Es ist aus statistischer Sicht nahe liegend, dass durch das Hinzu-nehmen einer zweiten Wettervariablen, die mit dem abzusichernden Ertrag korreliert ist, die Hedgingeffektivität ansteigt. Wir überprüfen empirisch den Grad und die Signifikanz der Verbesserung der Hedgingeffektivität.
2. Wir überprüfen die Höhe und die Signifikanz des Unterschiedes zwischen der risikoreduzierenden Wirkung eines Wetterderivates basierend auf einem Mischindex aus den Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“ und der gleichzei-

tigen Verwendung zweier Wetterderivate mit jeweils einem einfachen Niederschlags- und Temperaturindex.

3. Wir analysieren, wie sich die Hedgingeffektivität verändert, wenn anstelle von Wetterderivaten mit betriebsindividuell optimal ausgestalteten Wetterindizes nur Wetterderivate mit standardisierten Indizes verfügbar sind. Diese Frage ist besonders für Mischindizes interessant, da die Maximierung der Hedgingeffektivität hier besonders von der optimalen Ausgestaltung des Indexes abhängt und nicht zu erwarten ist, dass Anbieter von Wetterderivaten für vergleichsweise kleine landwirtschaftliche Unternehmen Wetterderivate mit betriebsindividuell ausgestalteten (Misch-)Wetterindizes offerieren werden.

Dieser Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Im zweiten Abschnitt erläutern wir unsere Annahmen und die verwendete Datengrundlage. Im dritten Abschnitt beschreiben wir die methodische Vorgehensweise. Im vierten Abschnitt diskutieren wir die Ergebnisse, bevor wir in Abschnitt fünf Schlussfolgerungen ziehen.

2 Annahmen und Datengrundlage

Um zu beurteilen, wie gut Wetterderivate den Unternehmenserfolg stabilisieren, muss man zunächst eine konkrete Größe festlegen, mit der man den Unternehmenserfolg misst. Erträge, Preise oder Kosten sind hierfür in der Regel nicht geeignet. Sie sind lediglich Quellen des unternehmerischen Risikos, aber nicht die relevante Erfolgsgröße, deren Schwankungen man aus Risikosicht reduzieren sollte. In aller Regel sollte vielmehr die Streuung einer Größe betrachtet werden, die den Unternehmenserfolg insgesamt erfasst. Dabei kann es sich um den Gesamtdeckungsbeitrag oder den Cashflow handeln. Eine isolierte Absicherung einer der Zielgröße untergeordneten Größe kann sogar zu einer erhöhten Streuung des Gesamtdeckungsbeitrages führen.

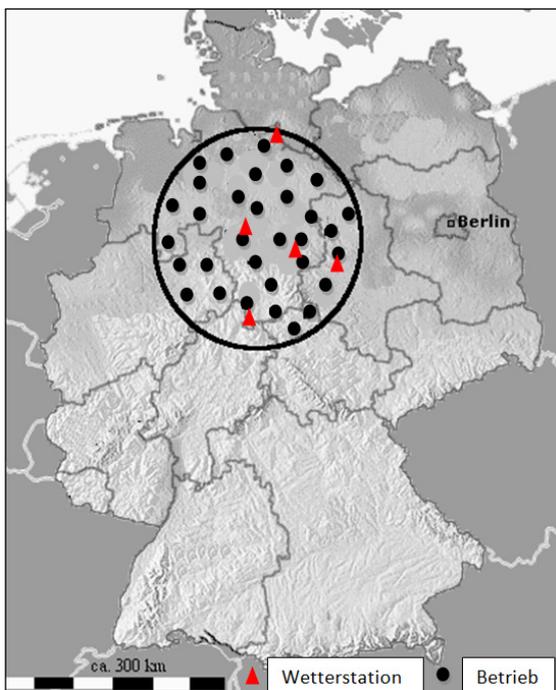
Um die eingangs genannten Zielsetzungen des Beitrages zu verfolgen, nehmen wir vereinfachend an, dass der Weizenpreis durch einen Verkaufskontrakt abgesichert ist und 160 €/t beträgt. Wir unterstellen weiterhin, dass in den betrachteten Betrieben nur Winterweizen produziert wird. Außerdem erfolgt die Berücksichtigung von Produktionskosten nicht, da diese annahmegemäß nicht mehr entscheidungsrelevant sind: Es wird unterstellt, dass zum Zeitpunkt der Entscheidung über den Erwerb eines Wetterderivates die Aussaat des Winterweizens bereits erfolgt ist und der

Landwirt seine Dünger- und Pflanzenschutzstrategie festgelegt hat. Durch diese Annahmen können ersatzweise die Schwankungen der Weizenerlöse genutzt werden, um die Wirksamkeit von Wetterderivaten zum Abbau von Erfolgsschwankungen zu beurteilen.

Wir beschränken uns darauf zu analysieren, wie stark Wetterderivate das Risiko im Betrieb reduzieren können. Die Frage nach der von Landwirt zu Landwirt unterschiedlichen Zahlungsbereitschaft für eine bestimmte Risikoreduzierung sowie den tatsächlichen Kosten (Aufpreisen) von Wetterderivaten auf diesem jungen Markt lassen wir hier gezielt außen vor. Wir unterstellen, dass die untersuchten Wetterderivate einkommensneutral zu beschaffen sind. Das heißt, der angenommene Kaufpreis des Derivates entspricht genau der Zahlung, die der Landwirt durchschnittlich als (Rück-)Zahlung zu erwarten hat.

Grundlage unserer Analyse bilden Winterweizen-ertragsdaten von 32 landwirtschaftlichen Betrieben über einen Zeitraum von 1995 bis 2009, die uns von landwirtschaftlichen Beratungsbüros zur Verfügung gestellt wurden. Die untersuchten Betriebe liegen in den Bundesländern Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Thüringen (vgl. Abb. 1). Die durchschnittliche Betriebsgröße in dem von uns untersuchten Gebiet beträgt rund 60 ha. Circa die Hälfte des kulturfähigen Ackerlandes wird mit Winterweizen bestellt. Durch die räumliche Distanz von 6 bis 226 km zwischen den betrachteten Betrieben

Abbildung 1. Lage der betrachteten Betriebe und Wetterstationen



Quelle: <http://www.deutschland.de/subseiten/deutschland/deutschlandkarte.html> (modifiziert)

werden unterschiedliche Produktionsbedingungen berücksichtigt. Mit Betrieben, die auf den sandigen Böden im Norden von Niedersachsen und Sachsen-Anhalt wirtschaften, und Betrieben aus der Hildesheimer und Magdeburger Börde ist eine große Bandbreite an Bodenqualitäten zwischen 18 und 100 Bodenpunkten vertreten.

Es werden Wetterdaten für fünf Städte genutzt, die in dem von uns untersuchten Gebiet liegen und vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellt wurden. Die Städte Hamburg, Hannover und Göttingen bilden dabei einen Nord-Süd-Gradienten. Die Städte Hannover, Braunschweig und Magdeburg bilden einen West-Ost-Gradienten. Es liegen jeweils Tagesniederschlags- und Tagestemperaturdaten über den Zeitraum von 1995 bis 2009 vor. Die Tagesdaten werden zu Monats- und Mehrmonatstemperatur- und -niederschlagssummen zusammengefasst. Beispielsweise wird zunächst die Temperatursumme für den Monat März, für den Monat April etc. gebildet. Anschließend werden die Monatstemperatursummen zu Mehrmonatstemperatursummen zusammengefasst. Es werden nur zusammenhängende Kumulationsperioden mit einer Länge von bis zu acht Monaten betrachtet.

Wir arbeiten mit trendbereinigten Ertragsdaten, d.h. wir korrigieren den Einfluss des technischen Fortschritts auf das Ertragsniveau des Jahres 2009. Die analysierten Betriebe weisen einen durchschnittlichen Ertragszuwachs von 0,44 dt/ha und Jahr mit einer Schwankungsbreite von 0,10 bis 2,65 dt/ha auf und haben im Durchschnitt der betrachteten Jahre nach der Trendbereinigung einen Winterweizen-ertrag von 91,10 dt/ha erzielt. In den Wetterdaten konnte kein signifikanter Trend identifiziert werden.

3 Methoden

Für die einzelbetriebliche Wirkungsanalyse von Wetterderivaten muss zunächst ein Wetterindex spezifiziert (Abschnitt 3.1) und der Zusammenhang zwischen Wetterindex und Ertrag geschätzt werden (Abschnitt 3.2). Ein möglichst hoher Zusammenhang zwischen Wetterindex und Ertrag ist die Voraussetzung für ein hohes Risikoreduzierungspotenzial von Wetterderivaten. Anschließend werden Derivate konstruiert, die sich auf die gewählten Wetterindizes beziehen (Abschnitt 3.3). Es folgt die Bestimmung des Preises für das Wetterderivat (Abschnitt 3.4), bevor die stochastische Simulation beschrieben (Abschnitt 3.5) und die Hedgingeffektivität quantifiziert wird (Abschnitt 3.6).

3.1 Spezifikation der Wetterindizes

Vorliegende Veröffentlichungen zu Wetterderivaten gehen bei der Spezifizierung der Wetterindizes unterschiedlich vor. Im Bereich der temperaturbasierten Wetterindizes finden häufig die sogenannten „Heating-Degree-Day-“ sowie die „Cooling-Degree-Day-Indizes“ Anwendung (SCHIRM, 2000; TURVEY, 2005). Für die Bildung niederschlagsbasierter Wetterindizes nutzen STOPPA und HESS (2003) sowie BERG et al. (2005) einen Kumulationsindex. Für Mischindizes nutzen VEDENOV und BARNETT (2004) ebenfalls einen Kumulationsindex. Im vorliegenden Beitrag wird auf den Kumulationsindex zurückgegriffen, da die Anwendung zum einen bei allen Wettervariablen problemlos möglich ist und dieser Index zum anderen einfach strukturiert und folglich am Markt gut zu kommunizieren ist. Der Kumulationsindex I_t entspricht der Niederschlagssumme (I_t^R) oder der Temperatursumme (I_t^T) innerhalb einer bestimmten Kumulationsperiode x des Kalenderjahres t :

$$(1) \quad I_t^R = \sum_{d=1}^x R_d$$

$$(2) \quad I_t^T = \sum_{d=1}^x T_d$$

Dabei kennzeichnet R_d den Niederschlag und T_d die Temperatur am Tag d . Die gemessenen Niederschlags- oder Temperaturdaten werden aufsummiert über alle Tage der Kumulationsperiode x , die sich in dem betrachteten Kalenderjahr t ergeben. Wir sprechen im vorliegenden Beitrag bei einem Wetterindex bestehend aus nur einer Wettervariablen von einem sogenannten „Einfachindex“.

Zur Ermittlung eines Mischindex I_t^M aus zwei Wettervariablen schlagen VEDENOV und BARNETT (2004) ein „quadratisches Modell der absoluten Werte“ von Temperatur und Niederschlag vor:

$$(3) \quad I_t^M = a_0 + a_1 \cdot I_t^R + a_2 \cdot I_t^T + a_3 \cdot I_t^{R^2} + a_4 \cdot I_t^{T^2} + a_5 \cdot I_t^R \cdot I_t^T$$

In Gleichung (3) beschreiben a_0 bis a_5 Parameter, die mittels Regressionsanalyse aus dem Zusammenhang der einfachen Indizes und den Winterweizenerträgen ermittelt werden (siehe Gleichung (4)). Dieses quadratische Modell ist zur Ermittlung eines Mischindex aus zwei zuvor jeweils zu einem Kumulationsindex zusammengefassten Wettervariablen besonders geeignet (VEDENOV und BARNETT, 2004) und erlaubt die Vergleichbarkeit des Mischindex mit den Einfachindizes.

Wir führen zwei verschiedene Variantenrechnungen durch: In der ersten Variantenrechnung erfolgt die

Bestimmung der Kumulationsperiode und der Referenzwetterstation betriebsindividuell. Dies bedeutet, dass die Kumulationsperiode und die Wetterstation so gewählt werden, dass sie die höchste Pearson-Korrelation zwischen Wetterindex und Winterweizenertrag für den jeweiligen Betrieb aufweisen. Wir sprechen hier von „maßgeschneiderten“ Wetterindizes mit „optimaler Kumulationsperiode“. In einer zweiten Variantenrechnung wählen wir eine standardisierte Kumulationsperiode aus. Wir sprechen hier von „standardisierten“ Wetterindizes, die sich auf die Kumulationsperiode beziehen, die im Mittel der 32 Betriebe die höchste Korrelation mit den Winterweizenerträgen aufweist. Die Wetterstation wird nicht vorgegeben, vielmehr wird betriebsindividuell die Wetterstation mit dem höchsten Korrelationskoeffizienten in der vorgegebenen Kumulationsperiode ausgewählt. Für die Temperatur ergibt sich im Durchschnitt aller 32 Betriebe die höchste absolute Korrelation mit -0,49 im Juni. Für den Niederschlag gilt das für die Kumulationsperiode Juli bis August mit einem Korrelationskoeffizienten in Höhe von -0,23. Diese Kumulationsperioden sind auch aus agronomischer Sicht für die Ertragsbildung des Winterweizens relevant, sodass die statistischen Ergebnisse plausibel erscheinen:

- Ein wesentliches Risiko in der Winterweizenproduktion in dem von uns analysierten Gebiet besteht in einem zu warmen Juni. Hohe Temperaturen führen hier zu einem zu schnellen Abreifen des Getreides, was Ertragseinbußen nach sich zieht (NEUKAM et al., 2011). Für die Temperatursumme des Monats Juni ergibt sich für die untersuchten fünf Wetterstationen ein Mittelwert von 485 °C (Standardabweichung 37 °C).
- Ein weiteres wesentliches Produktionsrisiko in der Winterweizenproduktion besteht in zu hohen Niederschlägen in der Ernteperiode Juli bis August. Wenn das Korn durch Feuchtigkeit zu häufig aufquillt, verliert es an Hektolitergewicht, sodass die Erträge sinken (KREBS et al., 2009). Ein entsprechendes Wetterderivat könnte die Ertragsverluste einer nicht-termingerechten Ernte kompensieren. Die durchschnittliche Niederschlagssumme in diesem Zeitraum über die fünf von uns untersuchten Wetterstationen beträgt 140 mm (Standardabweichung 53 mm).

Die Gegenüberstellung der ermittelten Hedgingeffektivitäten der beiden Variantenrechnungen mit maßgeschneiderten und standardisierten Wetterindizes erlaubt Rückschlüsse hinsichtlich der Frage, welchen Einfluss die Standardisierung auf die Hedgingeffektivität hat.

3.2 Schätzung des Zusammenhangs zwischen Wetterindex und Ertrag

Für die Art des Zusammenhangs zwischen dem Wetterindex und dem Ertrag nehmen wir in Anlehnung an VEDENOV und BARNETT (2004) ein lineares Modell an:

$$(4) \quad Y_t = I_t + e_t$$

In Gleichung (4) entspricht Y_t dem (trendbereinigten) Winterweizenertrag und I_t einem der Wetterindizes, die in den Gleichungen (1) bis (3) beschrieben sind. e_t ist ein normalverteilter Störterm. In diesem Störterm kommt zum einen das Basisrisiko der Produktion zum Ausdruck, da im jeweiligen den Ertrag erklärenden Wetterindex nur bestimmte Wetterereignisse abgebildet werden. Zum anderen spiegelt sich im Störterm das geografische Basisrisiko wieder, da der jeweilige den Ertrag erklärende Wetterindex an einer Wetterstation gemessen wird, die sich i.d.R. in einem gewissen geografischen Abstand zum Ort der Produktion befindet.

3.3 Konstruktion der Wetterderivate

Für den gewählten Wetterindex wird nun ein Derivat in der Weise konstruiert, dass es Erlösschwankungen durch entsprechende Rückflüsse kompensieren kann. Dies ist grundsätzlich mittels bedingten (z.B. Optionen) und unbedingten Termingeschäften (z.B. Futures) möglich. Bei den Wetterderivaten dominieren optionsartige Kontrakte (BERG et al., 2005). Deshalb betrachten wir im Folgenden die Absicherung mittels Optionen. Eine Auszahlung n_t einer europäischen Put-Option (Call-Option) erfolgt, wenn der Index I_t in dem betrachteten Kalenderjahr t unterhalb (oberhalb) des Strike-Levels S liegt. Andernfalls ist die Auszahlung gleich null:

$$(5) \quad n_t^{put} = \max(S - I_t, 0)$$

$$(6) \quad n_t^{call} = \max(I_t - S, 0)$$

Das Strike-Level S definieren wir als Mittelwert der historischen Indexverteilung. Somit erhält der Landwirt dann eine Auszahlung aus dem Derivat, wenn der Wetterindex vom langjährigen Mittelwert in die für ihn ungünstige Richtung abweicht. Folglich liefert die Option bei ertragsmindernden Wetterereignissen tendenziell eine positive Auszahlung. Bei für die Ertragsbildung günstigem Witterungsverlauf, also einem Indexwert oberhalb (unterhalb) von S , ist die Auszahlung gleich null. Die Auszahlung jeder Option definieren wir in Höhe von 1 € je Indexpunkt, den der Index vom Strike-Level abweicht.

3.4 Bestimmung des Preises für das Derivat

Es muss der Derivatpreis bestimmt werden, den der Landwirt aufwenden muss, wenn er seine Erlöse in der Winterweizenproduktion durch den Einsatz eines Wetterderivates absichern will. Wir ermitteln den Preis des Derivates als „faire Prämie“. Es werden also keine Transaktionskosten berücksichtigt und der Derivatpreis als der mit dem Zinssatz r in Höhe von 5 % diskontierte Erwartungswert der Rückflüsse aus dem Derivat berechnet. Die Bestimmung der fairen Prämie kann grundsätzlich mittels analytischer Verfahren, historischer Simulation, Index-Value-Simulation oder Daily-Simulation erfolgen. Hier kommt die Index-Value-Simulation zur Anwendung (MUBHOFF et al., 2007). Bei der Index-Value-Simulation wird mit Hilfe der stochastischen Simulation eine hohe Anzahl von Zufallszahlen (z.B. 10 000) für den relevanten Wetterindex generiert, um jeweils den Rückfluss aus dem Derivat zu bestimmen (siehe Abschnitt 3.6). Bei der historischen Simulation wird der Optionspreis direkt aus der empirischen Zeitreihe für die Wetterdaten abgeleitet. Kurze Datenreihen können die theoretische Verteilung von Wetterindizes oftmals nicht ausreichend gut approximieren, sodass die bestimmten Optionspreise sehr ungenau sein können (ZENG, 2000). Analytische Verfahren erfordern zu restriktive Annahmen z.B. bzgl. der Verteilung für die Basisvariable (ODENING et al., 2007). Bei der Index-Value-Simulation sind die Annahmen weniger restriktiv. Die auf einem Modell für Tagesniederschläge basierende Daily-Simulation unterschätzt die Volatilität der Wettervariable und damit des Derivatpreises systematisch (DUBROVSKY et al., 2004; ODENING et al., 2007), was bei der Index-Value-Simulation nicht der Fall ist.

3.5 Beurteilung der Hedgingeffektivität

Wir ermitteln die Hedgingeffektivität im vorliegenden Beitrag aus den mittels stochastischer Simulation (siehe Abschnitt 3.6) generierten 10 000 Werten für die Winterweizenerträge und die Wetterindizes. Durch die Multiplikation des Winterweizenertrages Y_t mit dem annahmegemäß über einen Lieferkontrakt abgesicherten Weizenpreis $p = 160$ €/t ergeben sich die Erlöse aus der Winterweizenproduktion ohne Wetterderivat. Um die Erlöse mit Wetterderivat zu ermitteln, werden die Rückflüsse aus dem Derivat in Abhängigkeit des Wetterindexes bestimmt. Diese werden dann den Erlösen aus der Winterweizenproduktion hinzugerechnet. Die Kosten für das Derivat in Form der fairen Prämie $E[n]$ werden abgezogen. Die Erlöse π_t je Hek-

tar Winterweizenproduktion werden in Anlehnung an MIRANDA (1991) für jeden Betrieb wie folgt bestimmt:

$$(7) \quad \pi_t = Y_t \cdot p + z \cdot n_t - z \cdot E[n]$$

z ist die optimale Anzahl an eingesetzten Versicherungskontrakten. Diese ermitteln wir in Anlehnung an JOHNSONS (1960) Hedging Modell (MIRANDA, 1991; SMITH et al., 1994; MAHUL und VERMERSCH, 2000; SKEES et al., 2001; BREUSTEDT et al., 2008), in dem die Anzahl von Versicherungskontrakten so gewählt wird, dass die Hedgingeffektivität maximiert ist. Aus den simulierten Winterweizenerlösen und Rückflüssen des Derivates werden die Standardabweichungen der Erlöse „ohne Derivat“ und „mit Derivat“ ermittelt. Die Hedgingeffektivität ergibt sich aus der relativen Änderung der Standardabweichung der Winterweizenerlöse mit Derivat gegenüber den Erlösen ohne Derivat.

Im Ansatz von JOHNSON (1960) geht es um die Absicherung mit Futures (symmetrische Auszahlungsstruktur). Zur Bestimmung der optimalen Anzahl von Versicherungskontrakten z und zur Maximierung der Hedgingeffektivität adaptiert MIRANDA (1991) JOHNSONS (1960) Hedging-Modell, um regionsspezifische Ertragsversicherungen für mehr als 100 US-amerikanische Sojabohnenfarmen zu beurteilen. MIRANDA (1991) trifft in seinem Modell einige grundlegende Annahmen für die Beurteilung der Hedgingeffektivität von in ihrer Auszahlungsstruktur asymmetrischen Ernteversicherungen. Zunächst setzt er einen risikoaversen Entscheider voraus, der lediglich die Anzahl der Versicherungskontrakte je Flächeneinheit festlegen kann. Produktionsentscheidungen und Kosten sind also exogene Variablen und ein bestimmter Outputpreis p und eine faire Prämie $E[n]$ können angenommen werden. Die Übertragung von JOHNSONS (1960) Hedging-Modell auf Optionen mit asymmetrischer Auszahlungsstruktur ist unter diesen Annahmen ohne Einschränkung möglich. Der Ansatz nach JOHNSON (1960) enthält keinen Parameter für den Grad der Risikoaversion. Die optimale Anzahl der Versicherungskontrakte wird so gewählt, dass die Varianz der Erlöse mit Versicherung minimiert wird.

Sowohl SMITH et al. (1994) als auch MAHUL und VERMERSCH (2000) folgen MIRANDAS (1991) Grundidee und wenden diese für den Einsatz wetterbasierter Indexversicherungen für mehr als 100 weizenproduzierende Betriebe in Montana und Frankreich an. Gleichmaßen verfahren SKEES et al. (2001), die niederschlagsbezogene Versicherungen basierend auf regionalen Erträgen für verschiedene Früchte von 17 marokkanischen Staaten analysieren. Ferner folgen

BREUSTEDT et. al (2008) der Idee MIRANDAS (1991) und ermitteln die Hedgingeffektivität wetterbasierter Indexversicherungen mit asymmetrischer Auszahlungsstruktur in Anlehnung an JOHNSONS (1960) Hedging-Modell für weizenproduzierende Betriebe in Kasachstan.

Die einzelbetrieblichen Daten von 32 Betrieben erlauben die Anwendung des t-Tests, um zu überprüfen, ob die für Wetterderivate mit unterschiedlichen Indizes ermittelten Hedgingeffektivitäten signifikant verschieden voneinander sind. Die Anwendungsvoraussetzung für den t-Test, dass die Hedgingeffektivitäten normalverteilt sein müssen, ist erfüllt.

3.6 Stochastische Simulation

Für die Bestimmung des Derivatpreises (siehe Abschnitt 3.4) und die Beurteilung der Hedgingeffektivität (siehe Abschnitt 3.5) wenden wir die stochastische Simulation an. Mit Hilfe des Chi-Quadrat-, Kolmogorov-Smirnov- und Anderson-Darling-Tests wird geprüft, welche parametrischen Verteilungen die betriebsindividuellen Winterweizenerträge und den jeweiligen Wetterindex am besten abbilden. Dies verbessert die Genauigkeit gegenüber der a-priori-Annahme desselben Verteilungstyps (z.B. die Normalverteilung) für alle Betriebe. Der am häufigsten ermittelte Verteilungstyp für die Winterweizenerträge ist die logistische Verteilung. Sie stellt in 14 der 32 Betriebe den optimalen Verteilungstyp für die Winterweizenerträge dar. Bei den Niederschlagsindizes stellt die log-logistische Verteilung am häufigsten den optimalen Verteilungstyp dar, nämlich in der Variantenrechnung mit den maßgeschneiderten Wetterindizes in 11 der 32 Betriebe. In der Variantenrechnung mit dem standardisierten Niederschlagsindex (Kumulationsperiode Juli-August) ist die log-logistische Verteilung der optimale Verteilungstyp. Bei den Temperaturindizes stellt die Weibullverteilung in der Variantenrechnung mit den maßgeschneiderten Wetterindizes am häufigsten (in 10 der 32 Betriebe) den optimalen Verteilungstyp dar. Auch in der Variantenrechnung mit dem standardisierten Temperaturindex (Kumulationsperiode Juni) ist die Weibullverteilung der optimale Verteilungstyp.

Es erfolgt eine stochastische Simulation des betriebsindividuellen Winterweizenertrages und der Wetterindizes. Dabei wird aus den geschätzten Verteilungen 10 000 Mal ein Wert für den betriebsindividuellen Winterweizenertrag und den Wetterindex gezogen.

4 Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die risikoreduzierende Wirkung von Wetterderivaten mit maßgeschneiderten Wetterindi-

zes. Sie beziehen sich auf die optimale Kumulationsperiode mit dem betriebsindividuell höchsten Korrelationskoeffizienten von Wetterindex und Winterweizenenertrag. In Spalte 1 und Spalte 2 sind die Hedging-

Tabelle 1. Hedgingeffektivität von Wetterderivaten mit optimaler Kumulationsperiode (relative Reduzierung der Standardabweichung)

	Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	
	Eine Wettervariable		Zwei Wettervariablen			
	Niederschlagsindex	Temperaturindex	Mischindex ^{a)} gemessen an potenziell zwei Wetterstationen	Mischindex ^{b)} gemessen an derselben Wetterstation	Zwei Einfachindizes ^{c)}	
Durchschnitt	12,8 %	11,3 %	20,3 %	17,7 %	20,9 %	
Minimum	6,4 %	2,6 %	11,0 %	6,7 %	11,1 %	
Maximum	23,3 %	22,4 %	27,7 %	26,6 %	31,3 %	
Standardabweichung	4,2 %	5,3 %	4,6 %	5,0 %	5,2 %	
Betriebsnummer	1	10,7 %	8,8 %	14,7 %	14,7 %	17,2 %
	2	11,8 %	3,3 %	13,1 %	9,3 %	14,4 %
	3	9,5 %	12,7 %	20,0 %	17,5 %	20,8 %
	4	10,5 %	8,2 %	15,0 %	15,0 %	16,8 %
	5	15,3 %	8,7 %	16,5 %	16,6 %	20,0 %
	6	11,7 %	2,7 %	15,0 %	12,6 %	14,5 %
	7	13,9 %	13,8 %	23,9 %	23,6 %	25,9 %
	8	9,7 %	15,3 %	16,7 %	16,7 %	19,1 %
	9	15,9 %	6,6 %	19,2 %	19,2 %	15,5 %
	10	16,6 %	14,5 %	25,1 %	25,1 %	24,7 %
	11	22,3 %	6,0 %	24,3 %	6,7 %	22,4 %
	12	12,6 %	6,7 %	17,0 %	16,3 %	13,7 %
	13	12,0 %	11,5 %	16,7 %	13,3 %	19,1 %
	14	16,3 %	14,7 %	24,9 %	22,1 %	26,8 %
	15	8,8 %	22,4 %	23,6 %	20,3 %	27,0 %
	16	6,4 %	12,3 %	14,0 %	13,4 %	14,3 %
	17	9,3 %	2,6 %	11,0 %	10,5 %	11,1 %
	18	23,3 %	20,0 %	26,6 %	25,3 %	30,1 %
	19	8,6 %	9,4 %	19,3 %	12,1 %	16,5 %
	20	18,5 %	13,5 %	21,7 %	20,3 %	26,6 %
	21	8,6 %	13,6 %	21,1 %	18,5 %	18,8 %
	22	8,5 %	13,4 %	24,7 %	22,1 %	23,1 %
	23	10,0 %	12,1 %	21,9 %	16,4 %	22,4 %
	24	16,6 %	14,3 %	27,2 %	26,6 %	29,3 %
	25	8,0 %	18,5 %	22,7 %	22,7 %	23,0 %
	26	14,7 %	4,1 %	16,9 %	15,8 %	17,5 %
	27	10,2 %	8,0 %	16,0 %	16,7 %	17,8 %
	28	9,8 %	14,1 %	21,7 %	17,7 %	18,9 %
	29	19,6 %	4,8 %	24,5 %	12,0 %	22,4 %
	30	13,6 %	7,9 %	22,1 %	21,5 %	21,8 %
	31	10,5 %	19,6 %	24,0 %	21,0 %	26,6 %
	32	14,7 %	17,3 %	27,7 %	24,4 %	31,3 %

- a) Mischindex aus den Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“. Messung der beiden Variablen an zwei unterschiedlichen Wetterstationen erlaubt.
- b) Mischindex aus den Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“. Messung der beiden Variablen nur an derselben Wetterstation möglich. Die Wahl fiel jeweils auf die Wetterstation, bei der sich ein größerer mittlerer Korrelationskoeffizient ergab.
- c) Gleichzeitige Verfügbarkeit von Wetterderivaten mit einfachem Index, gebildet aus den Wettervariablen „Niederschlag“ oder „Temperatur“.

Quelle: eigene Berechnungen

effektivitäten von Wetterderivaten mit einem Einfachindex, der nur aus der einen Wettervariablen „Niederschlag“ bzw. „Temperatur“ gebildet wird, angezeigt. Im Mittel aller 32 Betriebe kann durch den Einsatz von Wetterderivaten mit Niederschlagsindex ein Risikoreduzierungspotenzial von 12,8 % und durch den Einsatz von Wetterderivaten mit Temperaturindex eine Hedgingeffektivität von 11,3 % erreicht werden. Betriebsindividuell kann durch den Einsatz von Wetterderivaten, die auf einem Einfachindex basieren, eine Hedgingeffektivität von bis zu 23,3 % erreicht werden (vgl. Spalte 1, Betrieb 18).

Das durchschnittliche Risikoreduzierungspotenzial von niederschlagsindex- und temperaturindex-basierten Wetterderivaten unterscheidet sich gemäß t-Test mit einem p-Wert von 0,246 nicht signifikant voneinander (vgl. Tabelle 2).

Die Verwendung von Wetterderivaten basierend auf einem Mischindex, der aus den beiden Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“ besteht, führt zu einer durchschnittlichen Hedgingeffektivität von 20,3 % (vgl. Spalte 3 der Tabelle 1). Dabei wurden die dem Mischindex zugrunde liegenden Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“ an zwei unterschiedlichen Wetterstationen gemessen, wenn dies zu einem höheren mittleren Korrelationskoeffizienten führt. Die Erhöhung der Hedgingeffektivität gegenüber den Derivaten mit einem Einfachindex ist gemäß

t-Test signifikant (vgl. Tabelle 2). In Betrieben mit vergleichsweise hohen Hedgingeffektivitäten für Wetterderivate basierend auf einfachen Indizes, wie die Betriebe 11 und 18 sie aufzeigen, ist die Erhöhung des Risikoreduzierungspotenzials durch Wetterderivate mit Mischindex gering. Die Summe der Hedgingeffektivitäten der Derivate mit einfachem Index (Spalte 1 und 2) ist größer als die Hedgingeffektivitäten von Derivaten mit Mischindex (Spalte 3). Das ist in einer von Null verschiedenen Korrelation der Variablen „Niederschlag“ und „Temperatur“ begründet. Auch mit Blick auf die Berücksichtigung weiterer Wettervariablen gilt also das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs.

Es ist zu berücksichtigen, dass die dem Mischindex in Spalte 3 der Tabelle 1 zugrunde liegenden Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“ in 26 von 32 Betrieben an zwei unterschiedlichen Wetterstationen gemessen wurden, da dies einen größeren mittleren Korrelationskoeffizienten ergab. Wenn die Messung der Wettervariablen nur an derselben Wetterstation möglich ist (vgl. Spalte 4 der Tabelle 1), verringert sich das durchschnittliche Risikoreduzierungspotenzial von Wetterderivaten mit Mischindex in den 32 von uns untersuchten Betrieben von 20,3 % auf 17,7 %. Diese Absenkung ist gemäß t-Test signifikant (p-Wert <0,001; vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2. t-Test auf Mittelwertgleichheit der durchschnittlichen Hedgingeffektivität von Wetterderivaten mit optimaler Kumulationsperiode (p-Werte des t-Tests)^{a)}

	Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5
	Eine Wettervariable		Zwei Wettervariablen		
	Niederschlagsindex	Temperaturindex	Mischindex ^{b)} gemessen an potenziell zwei Wetterstationen	Mischindex ^{c)} gemessen an derselben Wetterstation	Zwei Einfachindizes ^{d)}
Niederschlagsindex	1,000 (0,500)	0,246 (0,123)	<0,001 (<0,001)	<0,001 (<0,001)	<0,001 (<0,001)
Temperaturindex		1,000 (0,500)	<0,001 (<0,001)	<0,001 (<0,001)	<0,001 (<0,001)
Mischindex ^{b)} gemessen an potenziell zwei Wetterstationen			1,000 (0,500)	<0,001 (<0,001)	<0,119 (<0,059)
Mischindex ^{c)} gemessen an derselben Wetterstation				1,000 (0,500)	<0,001 (<0,001)
Zwei Einfachindizes ^{d)}					1,000 (0,500)

a) Die freistehenden Werte sind die Ergebnisse des zweiseitigen t-Tests; die Werte in Klammern sind die Ergebnisse des einseitigen t-Tests.

b) Mischindex aus den Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“. Messung der beiden Variablen an zwei unterschiedlichen Wetterstationen erlaubt.

c) Mischindex aus den Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“. Messung der beiden Variablen nur an derselben Wetterstation möglich. Die Wahl fiel jeweils auf die Wetterstation, bei der sich ein größerer mittlerer Korrelationskoeffizient ergab.

d) Gleichzeitige Verfügbarkeit von Wetterderivaten mit einfachem Index, gebildet aus den Wettervariablen „Niederschlag“ oder „Temperatur“.

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 3. Hedgingeffektivität von Derivaten mit optimaler und standardisierter Kumulationsperiode (relative Reduzierung der Standardabweichung)

	Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5
	Eine Wettervariable		Zwei Wettervariablen		
	Niederschlagsindex	Temperaturindex	Mischindex ^{a)} , gemessen an potenziell zwei Wetterstationen	Mischindex ^{b)} , gemessen an derselben Wetterstation	Zwei Einfachindizes ^{c)}
Optimale Kumulationsperiode	12,8 %	11,3 %	20,3 %	17,7 %	20,9 %
Standardisierte Kumulationsperiode	3,3 %	9,0 %	11,8 %	9,6 %	11,1 %
p-Wert des t-Tests	<0,001	0,013	<0,001	<0,001	<0,001

- a) Mischindex aus den Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“. Messung der beiden Variablen an zwei unterschiedlichen Wetterstationen erlaubt.
- b) Mischindex aus den Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“. Messung der beiden Variablen nur an derselben Wetterstation möglich. Die Wahl fiel jeweils auf die Wetterstation, bei der sich ein größerer mittlerer Korrelationskoeffizient ergab.
- c) Gleichzeitige Verfügbarkeit von Wetterderivaten mit einfachem Index, gebildet aus den Wettervariablen „Niederschlag“ oder „Temperatur“.

Quelle: eigene Berechnungen

In der Spalte 5 der Tabelle 1 sind die Hedgingeffektivitäten dargestellt, die sich ergeben, wenn der gleichzeitige Einsatz von Wetterderivaten mit einfachem Index aus Niederschlag und Temperatur möglich ist. Dies führt zu einem durchschnittlichen Risikoreduzierungspotenzial von 20,9 %. Mit Blick auf Tabelle 2 wird deutlich, dass die durchschnittliche Hedgingeffektivität der gleichzeitigen Einsatzmöglichkeit von einfachen niederschlagsindex- und temperaturindexbasierten Wetterderivaten nicht signifikant niedriger ist als von Wetterderivaten, die auf einem Mischindex aus Niederschlag und Temperatur basieren. Bei der Messung der Wettervariablen des Mischindex an nur einer Wetterstation zeigt sich sogar, dass die Hedgingeffektivität signifikant niedriger ist, als das Risikoreduzierungspotenzial des gleichzeitigen Einsatzes von Wetterderivaten basierend auf verschiedenen Einfachindizes.¹

Tabelle 3 zeigt das durchschnittliche Risikoreduzierungspotenzial von Wetterderivaten basierend auf Indizes mit standardisierter Kumulationsperiode, d.h. die Temperatursumme des Monats Juni und die Niederschlagssumme in den Monaten Juli und August, im Vergleich zur Hedgingeffektivität von Wetterderivaten basierend auf Indizes mit betriebsindividuell optimal ausgestalteten Kumulationsperioden. Es wird deutlich, dass das durchschnittliche Risikoreduzierungspotenzial von Wetterderivaten basierend auf standardisierten Wetterindizes im Vergleich zu Wetterderivaten basierend auf maßgeschneiderten Wetterindizes absinkt. Diese Reduzierung der durchschnittlichen Hedgingeffektivität ist jeweils hoch signifikant (vgl. Tabelle 3).

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse des t-Tests auf Mittelwertgleichheit des durchschnittlichen Risikoreduzierungspotenzials der Wetterderivate mit standardisierter Kumulationsperiode angezeigt.

Tabelle 4 zeigt, dass sich die durchschnittliche Hedgingeffektivität von standardisierten Mischindizes, bei denen die Messung der Wettervariablen nur an derselben Wetterstation möglich ist (durchschnittliches Risikoreduzierungspotenzial: 9,6 %), mit einem p-Wert von 0,307 nicht signifikant von der Hedgingeffektivität standardisierter Temperaturindizes (durchschnittliches Risikoreduzierungspotenzial: 9,0 %) unterscheidet. Durch den gleichzeitigen Einsatz der einfachen niederschlagsindex- und temperaturindexbasierten Derivate (durchschnittliches Risikoreduzierungspotenzial: 11,1 %) lässt sich hingegen auch bei standardisierter Kumulationsperiode eine signifikante Erhöhung der Hedgingeffektivität gegenüber dem

¹ Variantenrechnungen zeigen, dass es zu einer signifikanten Fehleinschätzung der Hedgingeffektivität kommt, wenn bei der Verwendung eines niederschlagsindexbasierten Wetterderivates bei der stochastischen Simulation für die Verteilungen der Erträge und Wetterindizes für alle Betriebe a priori die Normalverteilung angenommen wird (p-Wert <0,001). Bei Verwendung eines temperaturindexbasierten Wetterderivates wiederum unterscheiden sich die Hedgingeffektivitäten bei der a priori Annahme der Normalverteilung in allen Betrieben mit einem p-Wert von 0,592 nicht signifikant von der durchschnittlichen Hedgingeffektivität, die sich bei der individuellen Schätzung der optimalen Verteilungen der Variablen ergibt.

Tabelle 4. t-Test auf Mittelwertgleichheit der durchschnittlichen Hedgingeffektivität von Wetterderivaten mit standardisierter Kumulationsperiode (p-Werte des t-Tests)^{a)}

	Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5
	Eine Wettervariable		Zwei Wettervariablen		
	Niederschlagsindex	Temperaturindex	Mischindex ^{b)} gemessen an potenziell zwei Wetterstationen	Mischindex ^{c)} gemessen an derselben Wetterstation	Zwei Einfachindizes ^{d)}
Niederschlagsindex	1,000 (0,500)	<0,001 (<0,001)	<0,001 (<0,001)	<0,001 (<0,001)	<0,001 (<0,001)
Temperaturindex		1,000 (0,500)	<0,001 (<0,001)	<0,307 (<0,154)	<0,001 (<0,001)
Mischindex ^{b)} , gemessen an potenziell zwei Wetterstationen			1,000 (0,500)	<0,001 (<0,001)	<0,057 (<0,028)
Mischindex ^{c)} , gemessen an derselben Wetterstation				1,000 (0,500)	<0,014 (<0,007)
Zwei Einfachindizes ^{d)}					1,000 (0,500)

- a) Die freistehenden Werte sind die Ergebnisse des zweiseitigen t-Tests; die Werte in Klammern sind die Ergebnisse des einseitigen t-Tests.
- b) Mischindex aus den Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“. Messung der beiden Variablen an zwei unterschiedlichen Wetterstationen erlaubt.
- c) Mischindex aus den Wettervariablen „Niederschlag“ und „Temperatur“. Messung der beiden Variablen nur an derselben Wetterstation möglich. Die Wahl fiel jeweils auf die Wetterstation, bei der sich ein größerer mittlerer Korrelationskoeffizient ergab.
- d) Gleichzeitige Verfügbarkeit von Wetterderivaten mit einfachem Index, gebildet aus den Wettervariablen „Niederschlag“ oder „Temperatur“.

Quelle: eigene Berechnungen

einzelnen Einsatz der Derivate mit nur einer Wettervariable im Index erzielen. Genau wie bei den Derivaten, basierend auf maßgeschneiderten Wetterindizes, ist auch hier die Hedgingeffektivität des Mischindex, bei dem die Messung der Wettervariablen nur an derselben Wetterstation möglich ist, signifikant niedriger als das Risikoreduzierungspotenzial der gleichzeitige Einsatzmöglichkeit von Wetterderivaten mit verschiedenen Einfachindizes.

5 Schlussfolgerungen

Basisrisiken werden als ein wesentliches Anwendungshemmnis von Wetterderivaten in der Landwirtschaft angesehen. Aus diesem Grund werden vielfach Mischindizes gefordert, um den erklärenden Anteil des Wetters am Ertrag zu steigern und folglich das Basisrisiko beim Einsatz von Wetterderivaten zu senken. Gleichzeitig werden am Markt aber vorwiegend standardisierte Wetterderivate angeboten. Sowohl eine vergleichende einzelbetriebliche Wirkungsanalyse von Wetterderivaten mit einfachen und gemischten Indizes als auch von einzelbetrieblich optimal zuge-

schnittenen und standardisierten Wetterderivaten stellt jedoch zurzeit noch eine Forschungslücke dar. Hier setzt der vorliegende Beitrag an. Es werden die Fragen beantwortet, ob Mischindizes tatsächlich eine Steigerung der Hedgingeffektivität von Wetterderivaten gegenüber Wetterderivaten basierend auf einfachen Indizes bewirken und welchen Einfluss die Standardisierung von Wetterderivaten auf deren Risikoreduzierungspotenzial hat. Grundlage für diese Analyse bilden neben den Winterweizenertragszeitreihen von 32 landwirtschaftlichen Betrieben, die Niederschlags- und Temperaturdaten gemessen an fünf ausgewählten Wetterstationen in Mitteldeutschland.

Die Ergebnisse dieses Beitrages zeigen, dass Wetterderivate einen wichtigen Beitrag zur Stabilisierung des landwirtschaftlichen Einkommens leisten können. Allerdings sollten diese Risikomanagementinstrumente aus folgenden Gründen nicht in Form von Mischindizes angeboten werden:

- Wetterderivate, die auf einem Mischindex basieren, der möglichst gut an die Bedürfnisse des jeweiligen landwirtschaftlichen Betriebes angepasst ist, verlieren für potenzielle Handelspartner anderer Branchen an Attraktivität.

- Die risikoreduzierende Wirkung der gleichzeitigen Verwendung mehrerer Wetterderivate mit einem einfachen Index aus nur einer Wettervariablen ist signifikant höher als die eines Mischindexes, wenn sich die Messung der Wettervariablen des Mischindexes auf dieselbe Wetterstation beschränkt.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass den Landwirten die Möglichkeit gegeben werden sollte, die Wetterindizes möglichst genau ihren betriebsindividuellen Bedingungen entsprechend zusammenstellen zu können:

- Das durchschnittliche Risikoreduzierungspotenzial von Wetterderivaten sinkt mit zunehmender Standardisierung ab. Diese Reduzierung der Hedgingeffektivität ist bei allen betrachteten Indizes hoch signifikant.
- Bei Mischindizes führt die Standardisierung zu einer besonders starken Reduzierung der Hedgingeffektivität von Wetterderivaten.

Bei Verfügbarkeit einer zunehmenden Vielfalt von Derivaten mit standardisierten Indizes unterschiedlicher Kumulationsperioden besteht allerdings die Möglichkeit, sich mit einer geeigneten Mischung der Wirkung maßgeschneiderter Indizes anzunähern. Bei ausreichendem Angebot besteht das eigentliche Problem dann folglich in der Bestimmung des einzelbetrieblich optimalen Portfolios standardisierter Indizes. Somit sollte eine Vielzahl von Wetterderivaten basierend auf unterschiedlichen Einfachindizes angeboten werden, die sich Landwirte individuell zusammenstellen können. Dies kann im Vergleich zu wenigen (standardisierten) Mischindizes zwar zu höheren Verwaltungskosten führen, schafft aber erst die Voraussetzung für eine breite Marktdurchdringung. Dem Landwirt muss zusätzlich eine Beratung angeboten werden, damit ihm die Wirkung von Wetterderivaten verdeutlicht werden kann und er Unterstützung bei der Bestimmung des einzelbetrieblich optimalen Indexportfolios erhält.

Es ist anzumerken, dass innerhalb der EU seit Mitte des Jahres 2012 die EU-Initiative „European Market Infrastructure Regulation“ (EMIR) den außerbörslichen Handel mit Derivaten reguliert. Die Verpflichtung der Marktteilnehmer zur Meldung dieser „over-the-counter-Geschäfte“ an ein Transaktionsregister und die Verpflichtung zum Clearing dieser Derivatgeschäfte über eine sogenannte „Central Counterparty“ sollte die hier diskutierte Individualisierung der Produktstrukturierung zumindest erschweren. In jedem Falle werden die Transaktionskosten für die Abwicklung außerbörslicher Derivatgeschäfte durch diese Marktregulierung zusätzlich ansteigen.

Die hier dargelegten Ergebnisse sind nicht ohne Weiteres zu verallgemeinern; Forschungsbedarf besteht für die Wirkung von Wetterderivaten, basierend auf einfachen Indizes und Mischindizes in anderen Produktionsrichtungen und in anderen Regionen. Weiterhin sollte das Risikoreduzierungspotenzial von Wetterderivaten im gesamtbetrieblichen Kontext (z.B. mit Blick auf die Streuung des Gesamtdeckungsbeitrages) und nicht allein für eine Produktionsrichtung quantifiziert werden. Die Untersuchung des Risikoreduzierungspotenzials von drei und mehr Wettervariablen in einem Index bietet ebenfalls Forschungsbedarf für weiterführende Studien. Aufgrund der Neuartigkeit von Wetterderivaten erscheint außerdem die Frage der Akzeptanz von landwirtschaftlichen Unternehmern für Wetterderivate relevant, die man beispielsweise über Befragungen erfassen könnte.

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.
- BERG, E. und B. SCHMITZ (2008): Weather-based instruments in the context of whole-farm risk management. In: *Agricultural Finance Review* 68 (1): 119-133.
- BREUSTEDT, G., R. BOKUSHEVA und O. HEIDELBACH (2008): Evaluating the potential of index insurance schemes to reduce crop yield risk in an arid region. In: *Journal of Agricultural Economics* 59 (1): 312-328.
- CAO, M. und J. WEI (2003): Weather Derivatives Valuation and Market Price of Weather Risk. Working Paper. Schulich School of Business, York University, Toronto, Ontario, Canada.
- COBLE, K.H., T.O. KNIGHT, R.D. POPE und J.R. WILLIAMS (1997): An Expected-Indemnity Approach to the Measurement of Moral Hazard in Crop Insurance. In: *American Journal of Agricultural Economics* 79 (1): 216-226.
- DEUBEL, A. (2009): Risikomanagement mit Wetterderivaten. Der Handel mit Wetterderivaten. Diplomica Verlag GmbH, Hamburg.
- DISCHEL, R.S. (2001): Double Trouble: Hedging Rainfall and Temperature. In: *Weather Risk Report, Risk Magazine and Energy and Power Risk Management*, Risk Waters Group, August: 24-26.
- 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 (1-2): 145-179.
- GOLDEN, L.L., M. WANG und C. YANG (2007): Handling Weather Related Risks through the Financial Markets: Considerations of Credit Risk, Basis Risk, and Hedging. In: *Journal of Risk and Insurance* 74 (2): 319-346.
- GOODWIN, B.K. (2001): Problems with market insurance in agriculture. In: *American Journal of Agricultural Economics* 83 (3): 643-649.

- HEIDORN, T. und A. TRAUTMANN (2005): Niederschlagsderivate. Working Paper No. 69. HfB-Business School of Finance & Management, Frankfurt.
- JOHNSON, L.L. (1960): The theory of hedging and speculation in commodity futures. In: *Review of Economic Studies* 27 (3): 139-151.
- KREBS, H., S. ZANETTI, E. JENNY, U. ZIHLMANN, H.-R. FORRER, R. TSCHACHTLI und A. NUSSBAUMER (2009): Anbausystemversuch Burgrain: Effekte beim Winterweizen. In: *Agrarforschung* 16 (6): 216-221.
- MAHUL, O. and D. VERMERSCH (2000): Hedging Crop Risk with Yield Insurance Futures and Options. In: *European Review of Agricultural Economics* 27 (2): 109-216.
- MIRANDA, M.J. (1991): Area-yield crop insurance reconsidered. In: *American Journal of Agricultural Economics* 73 (2): 233-242.
- MUBHOFF, O., M. ODENING und W. XU (2007): Management von klimabedingten Risiken in der Landwirtschaft – Zum Anwendungspotenzial von Wetterderivaten. In: *Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie* 01/07: 27-46.
- NORTON, M., D. OSGOOD und C.G. TURVEY (2013): Quantifying spatial basis risk for weather index insurance. In: *The Journal of Risk Finance* 14 (1): 20-34
- NEUKAM, D., U. BÖTTCHER und H. KARGE (2011): Modellierung der Bestandestemperaturen in Winterweizen. In: *Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* (23): 110-111.
- ODENING, M., O. MUBHOFF und W. XU (2007): Analysis of Rainfall Derivatives Using Daily Precipitation Models: Opportunities and Pitfalls. In: *Agricultural Finance Review* 67 (1): 135-156.
- SCHÄFER, H. (2005): Absicherung von Umsatzrisiken mit Hilfe von Wetterderivaten. In: *Betriebswirtschaftliche Blätter* 54 (8): 463-469.
- SCHIRM, A. (2000): Wetterderivate- Finanzmarktprodukte für das Management wetterbedingter Geschäftsrisiken. In: *Finanz Betrieb* 2000 (11): 722-730.
- (2001): Wetterderivate – Einsatzmöglichkeiten und Bewertung. In: *Research in Capital Markets and Finance* 2001 (2). Institut für Kapitalmarktforschung und Finanzierung, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- SKEES, J.R., S. GOBER, P. VARANGIS, R. LESTER und V. KALAVAKONDA (2001): Developing Rainfall-Bases Index Insurance in Marocco. Policy Research Paper 2577. World Bank, Washington, D.C.: 1-44.
- SMITH, V.H., H.H. CHOUINARD und A.E. BAQUET (1994): Almost ideal area yield crop insurance contracts. In: *Review of Agricultural Economics* 23 (1): 75-83.
- 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, June 23-26, 2003.
- TURVEY, C.G. (2001): Weather Derivatives for Specific Event Risks in Agriculture. In: *Review of Agricultural Economics* 23 (2): 333-351.
- (2005): The pricing of degree-day weather options. In: *Agricultural Finance Review* 65 (1): 59-85.
- VAN ASSELDONK, M.A.P.M. (2003): Insurance against Weather Risk: Use of Heating Degree-days from non-local Stations for weather Derivates. In: *Theoretical and Applied Climatology* 74 (1-2): 137-144.
- VEDENOV, D.V. und B.J. BARNETT (2004): Efficiency of Weather Derivatives as Primary Crop Insurance Instruments. In: *Journal of Agricultural Resource Economics* 29 (3): 387-403.
- XU, W., R. WEBER, M. ODENING und O. MUBHOFF (2008): Optimal Design of Weather Bonds for Reinsuring Weather Risk. Paper prepared for presentation at the 108st EAAE Seminar “Income stabilization in a changing agricultural world: policy and tools”, Warsaw, Poland, February 8-9, 2008.
- ZENG, L. (2000): Pricing Weather Derivatives. In: *Journal of Risk Finance* 1 (3): 72-78.

Danksagung

Für hilfreiche Kommentare, Anregungen und Kritik danken wir zwei anonymen Gutachtern und den Herausgebern des „German Journal of Agricultural Economics“. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) danken wir für die finanzielle Unterstützung.

Kontaktautor:

NIELS PELKA

Georg-August-Universität Göttingen

Fakultät für Agrarwissenschaften,

Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung,

Arbeitsbereich Landwirtschaftliche Betriebslehre

Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen

E-Mail: niels.pelka@agr.uni-goettingen.de