

Institut für Lebensmittel- und Ressourcenökonomik  
der  
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

---

**Wetterderivate als Instrument im Risikomanagement  
landwirtschaftlicher Betriebe**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften

(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am

7. Februar 2007

von

Bernhard Schmitz

aus

Bedburg

D 98

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn [http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online) elektronisch publiziert.

Erscheinungsjahr 2007

Referent:	Prof. Dr. Ernst Berg
1. Korreferent:	Prof. Dr. Martin Odening
2. Korreferent:	Prof. Dr. Thomas Heckelei
Tag der mündlichen Prüfung:	25.05.2007

---

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Problemstellung und Zielsetzung .....	1
1.2	Vorgehensweise .....	2
<b>2</b>	<b>Risiko und Risikomanagement</b> .....	<b>4</b>
2.1	Definition Risiko .....	4
2.1.1	Der Begriff Risiko .....	4
2.1.2	Arten und Quellen von Risiken in der Landwirtschaft .....	5
2.2	Wetter und Klima .....	7
2.2.1	Definition Wetterrisiko .....	7
2.2.2	Systematisierung des Wetterrisikos .....	8
2.3	Risikomanagement .....	10
2.3.1	Risikoidentifikation und –wahrnehmung .....	12
2.3.2	Risikoanalyse und -bewertung .....	13
2.3.3	Risikobewältigung .....	15
2.3.4	Risikokontrolle .....	19
2.4	Quantitative Methoden der Risikobeurteilung .....	19
2.4.1	Konzept der stochastischen Dominanz .....	20
2.4.1.1	Stochastische Dominanz ersten Grades .....	20
2.4.1.2	Stochastische Dominanz zweiten Grades .....	21
2.4.2	Das Erwartungsnutzenkonzept .....	22
2.4.3	Verteilungsmomente .....	28
2.4.4	Lower Partial Moments .....	33
<b>3</b>	<b>Wetterderivate</b> .....	<b>36</b>
3.1	Grundlagen von Wetterderivaten .....	36
3.1.1	Mögliche Basisvariablen .....	37
3.1.2	Derivative Instrumente .....	40
3.1.2.1	Bedingte Termingeschäfte .....	41
3.1.2.2	Unbedingte Termingeschäfte .....	45
3.2	Marktüberblick .....	46
3.3	Abgrenzung von Wetterderivaten gegenüber Versicherungen .....	50
3.4	Bewertungsverfahren von Wetterderivaten .....	52

---

3.5	Voraussetzungen für die Wirksamkeit von Wetterderivaten .....	54
3.6	Anwendungsbeispiele von Wetterderivaten in der Landwirtschaft .....	57
3.7	Fazit.....	61
<b>4</b>	<b>Wetter und Ertrag.....</b>	<b>62</b>
4.1	Die Beziehungen zwischen Umweltfaktoren und Ertrag .....	62
4.2	Datengrundlage .....	64
4.2.1	Relevante Kulturen.....	64
4.2.2	Datenquellen.....	66
4.2.2.1	Wetterdaten .....	66
4.2.2.2	Ertragsdaten.....	67
4.2.3	Datenaufbereitung und -analyse.....	67
4.3	Der Einfluss des Wetters auf Getreideerträge .....	68
4.3.1	Literaturüberblick.....	68
4.3.2	Ergebnisse der Korrelationsanalyse .....	71
4.4	Der Einfluss des Wetters auf Hackfrüchterträge.....	75
4.4.1	Literaturüberblick.....	75
4.4.2	Ergebnisse der Korrelationsanalyse .....	76
4.5	Der Einfluss des Wetters auf Gemüseerträge.....	80
4.5.1	Speisezwiebeln.....	80
4.5.2	Möhren .....	82
4.5.3	Weißkohl .....	84
4.5.4	Weitere Gemüsearten im Freilandanbau .....	85
4.6	Klimaänderungen und Ertrag .....	88
4.7	Ausblick und Fazit .....	89
<b>5</b>	<b>Die stochastische Modellierung von Niederschlag und Temperatur.....</b>	<b>92</b>
5.1	Temperatur .....	92
5.2	Niederschlag.....	99
5.2.1	Ereignisprozess.....	100
5.2.2	Mengenprozess an nassen Tagen .....	103
<b>6</b>	<b>Wetterderivate in landwirtschaftlichen Betrieben.....</b>	<b>107</b>
6.1	Ein Wetterderivat zur Absicherung des Energiekostenrisikos im Unterglasanbau	107
6.1.1	Gewächshausbetrieb.....	108

---

6.1.2	Datengrundlage .....	108
6.1.3	Schätzung des Heizenergiebedarfs .....	109
6.1.4	Simulation der Heizenergiekosten .....	112
6.1.5	Ergebnisse .....	114
6.2	Ein Wetterderivat zur Absicherung des Ertragsrisikos im Kartoffelanbau .....	115
6.2.1	Datengrundlage .....	115
6.2.2	Schätzung des Kartoffelertrages .....	116
6.2.3	Simulation des Kartoffelerlöses .....	117
6.2.4	Ergebnisse .....	121
6.3	Einsatz eines Wetterderivats in einem auf den Zwiebelanbau spezialisierten Modellbetrieb .....	123
6.3.1	Aufbau des Modellbetriebs .....	123
6.3.2	Modellierung der Zwiebelpreiszeitreihe .....	128
6.3.3	Konstruktion des Wetterderivats .....	131
6.3.4	Ergebnisse .....	133
6.4	Fazit .....	136
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>138</b>

---

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1: Systematik von Unternehmensrisiken.....	6
Abbildung 2: Prozess des Risikomanagements.....	12
Abbildung 3: Instrumente der aktiven Risikobewältigung .....	16
Abbildung 4: Systematik des Instrumentariums der Risikofinanzierung.....	18
Abbildung 5: Risikoprofile für drei Alternativen.....	21
Abbildung 6: Risikonutzenfunktion, Erwartungsnutzen und Sicherheitsäquivalent .....	24
Abbildung 7: Linkssteile (rechtsschiefe) und rechtssteile (linksschiefe) Dichtefunktionen....	32
Abbildung 8: Dichtefunktionen mit unterschiedlichen Kurtosen .....	33
Abbildung 9: Dichtefunktion mit Zielwert.....	34
Abbildung 10: Systematik von Termingeschäften .....	41
Abbildung 11: Auszahlungsstrukturen einer Put- und einer Calloption .....	43
Abbildung 12: Auszahlungsstruktur eines Straddle und eines Strangles.....	44
Abbildung 13: Gewinnfunktion mit und ohne Swap .....	46
Abbildung 14: Verteilung des Gesamterlöses je Hektar mit und ohne Option bei unterschiedlichen Korrelationen zwischen Wetterindex und Ertrag.....	56
Abbildung 15: Die Beziehung zwischen Pflanze, Boden, menschlichen Eingriffen und Klima .....	63
Abbildung 16: Tagestemperaturen am Flughafen Berlin Tegel im Zeitraum von 1999-2003.	95
Abbildung 17: Folge der Autokorrelationen und der partiellen Autokorrelationen für die Zeitverschiebungen von 1 bis 16.....	96
Abbildung 18: Geschätzte und tatsächliche Standardabweichung eines jeden Tages im Jahr	97
Abbildung 19: Folge der Autokorrelationen des Restfehlers.....	98
Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung des Restfehlers .....	98
Abbildung 21: Trockene (0) und regnerische (1) Tage in Magdeburg im Jahr 2002 .....	100
Abbildung 22: Wahrscheinlichkeiten für eine unterschiedliche Anzahl aufeinander folgender Regentage aus historischen Werten, aus der Simulation der einfachen Tagesregenwahrscheinlichkeiten und aus dem Markovkettenmodell erster Ordnung...	103
Abbildung 23: Geschätzter und historischer Erwartungswert der Tagesniederschlagsmengen .....	104
Abbildung 24: Vergleich von historischen und simulierten Monatswerten anhand verschiedener stochastischer Parameter .....	105
Abbildung 25: Vergleich der empirischen, simulierten und kombinierten Häufigkeitsverteilung der Durchschnittstemperatur von November bis März .....	109

---

Abbildung 26: Heizölverbrauch des Gewächshausbetriebs in Hannover und Durchschnittstemperatur in Berlin .....	111
Abbildung 27: Geschätzter und tatsächlicher Heizölverbrauch in Abhängigkeit von der Durchschnittstemperatur .....	112
Abbildung 28: Risikoprofile der Heizenergiekosten bei unterschiedlichen Strike Levels des Wetterderivats .....	114
Abbildung 29: Entwicklung des Kartoffelertrags und der Niederschlagssumme von Mai bis September am Standort Bremervörde von 1980 bis 2002.....	115
Abbildung 30: Zusammenhang zwischen Kartoffelertrag und Niederschlagssumme von Mai bis September von 1980 bis 2002 .....	117
Abbildung 31: Dichtefunktionen (schraffiert) oberhalb von K abgeschnittener Dreiecksverteilungen.....	120
Abbildung 32: Kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilungen bei unterschiedlichen Verteilungsannahmen mit und ohne Option.....	122
Abbildung 33: Entwicklung des Zwiebelertrages von 1991 bis 2004 .....	124
Abbildung 34: Verlauf der Zwiebelpreise [€/dt] von 1993 bis 2005 .....	129
Abbildung 35: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Niederschlagssumme von Mai bis Juli .....	132
Abbildung 36: Auszahlungsstruktur der niederschlagsbasierten Putoption zur Absicherung des Zwiebelertrages in € .....	133
Abbildung 37: Kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Gewinns für den Modellbetrieb mit und ohne Wetterderivat .....	134
Abbildung 38: Kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilung des Zwiebeldeckungsbeitrags je Hektar für den Modellbetrieb mit und ohne Wetterderivat sowie bei fixem und stochastischem Preis.....	135

---

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 1: Risikoquellen in der Landwirtschaft .....	7
Tabelle 2: Beispiel für das Unabhängigkeitsaxiom.....	27
Tabelle 3: Wettereinflüsse auf verschiedene Branchen .....	49
Tabelle 4: Anbauflächen, Erträge und Erntemengen landwirtschaftlicher, pflanzlicher Produkte in Deutschland .....	65
Tabelle 5: Anbaufläche, Hektarerträge und Erntemengen wichtiger Gemüsearten im Freiland in Deutschland.....	66
Tabelle 6: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Winterweizenertrag an verschiedenen Standorten.....	73
Tabelle 7: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Wintergerstenertrag an verschiedenen Standorten.....	74
Tabelle 8: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Zuckerrübenenertrag an verschiedenen Standorten.....	77
Tabelle 9: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Kartoffelertrag unterschiedlicher Reifegruppen (RG) an verschiedenen Standorten.....	79
Tabelle 10: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und der Trendabweichung des Zwiebelertrages an verschiedenen Standorten.	81
Tabelle 11: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und der Trendabweichung des Möhrenertrages an verschiedenen Standorten.	83
Tabelle 12: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme und Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden und der Trendabweichung des Weißkohlertrages an verschiedenen Standorten .....	85
Tabelle 13: Historische und geschätzte Übergangswahrscheinlichkeiten des Markovkettenmodells erster Ordnung.....	102
Tabelle 14: Schätzparameter für die Koeffizienten der Funktionen von Erwartungswert und Standardabweichung .....	104
Tabelle 15: Korrelation der Niederschlagssummen zwischen hamburg und Bremervörde...	123
Tabelle 16: Planungsdaten zur Deckungsbeitragsberechnung für den Modellbetrieb.....	125
Tabelle 17: Korrelationsmatrix der Erträge, Preise und Niederschlagssumme von Mai bis Juli .....	127
Tabelle 18: Autoregressions- und Saisonparameter des Zwiebelpreisprozesses .....	130



---

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

a	Jahr
AFSC	Agricultural Financial Service Corporation
AR	Autoregression
ARCH	Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
ART	Alternativer Risikotransfer
C	Celsius
CA	controlled atmosphere
CARA	Constant Absolute Risk Aversion
CDD	Cooling Degree Day
CME	Chicago Mercantile Exchange
d.h.	das heißt
DARA	Decreasing Absolute Risk Aversion
DB	Deckungsbeitrag
dt	Dezitonne
DWD	Deutscher Wetterdienst
EDD	Energy Degree Day
et al.	et alii
F	Fahrenheit
f.	folgende
ff.	fortfolgende
GARCH	Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
GDD	Growing Degree Day
ha	Hektar
HDD	Heating Degree Day
IARA	Increasing Absolute Risk Aversion
IAS	International Accounting Standard
KonTraG	Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
LIFFE	London International Future and Financial Exchange
ln	logarithmus naturalis
LPM	Lower Partial Moment
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
MAMDA	Mutuelle Agricole Marocaine D' Assurance
MGDD	modifizierter Growing Degree Day
Mio.	Millionen
mm	Millimeter
Mrd.	Milliarden
MWh	Megawattstunden
o.S.	ohne Seite
o.S.	ohne Seite
Okt	Oktober
OTC	Over The Counter
S.	Seite
s.o.	siehe oben
SÄ	Sicherheitsäquivalent
t	Tonne
THI	temperature-humidity-index

u.a.	unter anderem
US-GAAP	United States Generally Accepted Accounting Principles
Var	Varianz
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik 2003 wird als Meilenstein in der europäischen Landwirtschaftspolitik gesehen. Durch die darin beschlossene Entkopplung der Direktzahlungen hängt die Gewährung von Zahlungen weitestgehend nicht mehr davon ab, welches Produkt in welcher Menge produziert wird. Landwirte können sich bei ihren Produktionsentscheidungen an den jeweiligen Marktbedingungen orientieren. Eine zunehmende Marktliberalisierung und der damit verbundene Abbau von Preisstützungen führen tendenziell zu einer Erhöhung des Preisrisikos. Risikomindernd wirken die entkoppelten Direktzahlungen, die definitionsgemäß preis- und ertragsunabhängig sind. Jedoch ist ihre Auszahlung an so genannte Cross Compliance Vorschriften gekoppelt, die aufgrund ihres Eingriffs in die Produktionstechnik eine Vergrößerung der Ertragsvariabilität zur Folge haben können. Zurzeit wird eine kontroverse Diskussion darüber geführt, ob die neuen Rahmenbedingungen zu einer Erhöhung des Einkommensrisikos für die Landwirte führen.

Allgemein ist festzustellen, dass jedes wirtschaftliche Handeln aufgrund der Unfähigkeit in die Zukunft zu blicken mit Risiko behaftet ist. In der Landwirtschaft stellt das Wetter einen beachtlichen Risikofaktor dar. Dies wurde in den Sommern 2002 und 2003 besonders deutlich, als starke Niederschläge (2002) bzw. eine anhaltende Dürre (2003) zu Ertragsdepressionen führten. Der Staat bietet für besonders betroffene Betriebe häufig eine finanzielle Unterstützung an. In Deutschland wurden insgesamt ca. 90 Mio. € an dürrebeschädigte Betriebe ausgezahlt. Ein rechtlicher Anspruch besteht allerdings nicht. In diesem Zusammenhang wurden Stimmen laut, die Absicherungsmöglichkeiten für solche Ereignisse forderten.

Neben den USA und Kanada existieren mittlerweile auch in einigen europäischen Ländern Ertragsausfallversicherungen, deren Einführung in Deutschland immer wieder diskutiert wird. Da sie dazu dienen, ein systematisches Risiko abzusichern, funktionieren solche Versicherungslösungen nur, wenn die Prämien subventioniert werden.

Als neues Absicherungsinstrument gegen Wetterrisiken rückten Wetterderivate in die Diskussion. Zum ersten Mal wurde ein Wetterderivat 1996 im Energiesektor der USA abgeschlossen. Laut zahlreicher Studien umfasst das Einsatzpotential von Wetterderivaten als Risikomanagementinstrument eine Vielzahl von Branchen, wobei die Landwirtschaft als

besonders wettersensitiv angesehen wird. Es scheint, dass die Landwirtschaft ein ideales Anwendungsgebiet für Wetterderivate ist. Seit dem ersten Wetterderivat im Jahre 1996 bis heute sind einige Fallstudien zu Wetterderivaten im landwirtschaftlichen Sektor angefertigt worden. Ein wirklicher Abschluss ist allerdings nur in äußerst seltenen Fällen bekannt. Eine genaue Analyse des Anwendungspotentials für verschiedene Bereiche der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion in Deutschland wurde noch nicht durchgeführt.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, das Anwendungspotential für die Landwirtschaft aus einzelbetrieblicher Sicht einzuschätzen. Es wird nicht versucht, das Marktpotential von Wetterderivaten im Einzelnen zu quantifizieren. Es wird geklärt, für wen und unter welchen Bedingungen welche Art von Wetterderivat ein zweckmäßiges Instrument zur Absicherung gegen wetterbedingte Produktionsrisiken in der Landwirtschaft sein kann. Die Analyse wird anhand konkreter Beispiele durchgeführt. Es wird untersucht, inwieweit bestimmte temperatur- und niederschlagsbasierte Wetterderivate geeignet sind, um Mengenrisiken in verschiedenen landwirtschaftlichen Betriebstypen zumindest teilweise zu kompensieren. Als Maßgröße wird die Wahrscheinlichkeitsverteilung gesamtbetrieblicher Erfolgsgrößen im Kontext des gesamten Portfolios risikopolitischer Maßnahmen quantifiziert. Die Ergebnisse der Studie sind nicht nur für Landwirte, sondern auch für potentielle Anbieter von Wetterderivaten (z.B. Versicherungen, Banken, Warenterminbörse) und agrarpolitische Entscheidungsträger von Interesse, für die die Stabilität landwirtschaftlicher Einkommen ein Ziel darstellt.

## **1.2 Vorgehensweise**

In einem ersten Schritt werden in Kapitel 2 der in der Arbeit verwendete Begriff Risiko und die verschiedenen Arten von Risiko unter besonderer Berücksichtigung des Wetterrisikos erläutert. Wetterderivate stellen ein Instrument im Risikomanagement dar. Deshalb wird der Prozess des Risikomanagements erläutert und ein Überblick über verschiedene Methoden der Risikobeurteilung gegeben.

Kapitel 3 beschreibt das Konzept der Wetterderivate und liefert gleichzeitig eine Übersicht über ihre verschiedenen Ausgestaltungsmöglichkeiten. Dadurch ergeben sich einige Vorteile gegenüber den vielfach diskutierten Ertragsausfallversicherungen. Anhand eines Beispiels aus der Weizenproduktion wird die Grundvoraussetzung für die Wirksamkeit von Wetterderivaten dargelegt. Das Kapitel schließt mit einem Ausschnitt von verschiedenen Studien, die sich bereits mit Wetterderivaten in der Landwirtschaft beschäftigt haben.

---

Eine Analyse des Zusammenhangs zwischen Ertrag und Wetter erfolgt in Kapitel 4. Da das Wetter nicht die einzige Komponente ist, die den Ertrag einer Pflanze determiniert, werden zu Beginn verschiedene ertragsbestimmende Faktoren skizziert. Für wichtige, in Deutschland angebaute Kulturen wird zunächst ein Literaturüberblick gegeben, die sich mit dem Einfluss des Wetters auf den Ertrag befasst. Anschließend werden die Ergebnisse eigener Korrelationsrechnungen vorgestellt. Expertengespräche mit Gemüseanbauberatern dienen dazu, Wetterrisiken im Gemüsebereich zu identifizieren. Abschließend wird der Einfluss einer möglichen Klimaänderung auf den Ertrag diskutiert.

Kapitel 5 beschreibt zwei Modelle zur Simulation von Temperatur und Niederschlag. Diese finden in Kapitel 6 Anwendungen, wo anhand verschiedener Modelle, die aus Kapitel 4 abgeleitet werden, eine Wirkungsanalyse von Wetterderivaten durchgeführt wird. Um das Preisrisiko eines auf den Zwiebelanbau spezialisierten Betriebes abzubilden, wird ein Preisprozess entwickelt.

In Kapitel 7 werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst.

## 2 Risiko und Risikomanagement

In diesem Abschnitt wird zunächst der Risikobegriff systematisiert. Anschließend wird eine Definition zu Wetterrisiken gegeben und erläutert, wie sie sich von anderen Risiken unterscheiden. Darauf erfolgt eine Darstellung des Ablaufs des Risikomanagementprozesses. Im Abschnitt Methoden der Risikobeurteilung werden verschiedene Konzepte zur Risikoquantifizierung dargestellt, die im weiteren Verlauf der Arbeit eine Rolle spielen.

### 2.1 Definition Risiko

#### 2.1.1 Der Begriff Risiko

In der Literatur aber auch im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff Risiko unterschiedlich verwendet. Zwar gibt es die DIN-Norm 31000 zum Risikobegriff. Dabei ist Risiko definiert als Höhe des Schadensumfangs multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit des Eintretens. Diese Definition trifft so allerdings nur auf die Naturwissenschaft, Technik und Versicherungswirtschaft zu (GREIVING, 2002, S.12). Deshalb kategorisiert LIEKWEG (2003, S. 59 ff.) die in der betriebswirtschaftlichen Literatur gebräuchlichen Definitionen des Risikobegriffs in drei grundlegende Verständnisformen<sup>1</sup>:

- Risiko als mögliche (negative) Zielverfehlung
- Risiko als spezieller Informationsstand
- Verbindende Sichtweise.

Die erstgenannte Verständnisform zielt auf die ökonomische Wirkung von Risiko. Die entsprechenden Definitionen haben eine (negative) Ergebniswirkung als Gemeinsamkeit von Risiko. Dies ist eine Konsequenz von Unsicherheit bzw. unvollkommener Voraussicht. Häufig wird dabei Risiko als mögliche Zielverfehlung verstanden. Andere Autoren, die einen ähnlichen Ansatz haben, sich aber auf das Gewinnziel beschränken, definieren Risiko als Verlust- oder Schadensgefahr. Dazu zählen die Gefahr des Gewinnentgangs und die Insolvenzgefahr. Das Gegenstück zur negativen Zielverfehlung wird meist als Chance bezeichnet.

---

<sup>1</sup> Weitere Klassifikationen bzw. eine ähnliche Systematik sind u.a. aufgeführt bei FRANKEMÖLLE (1986, S. 15 ff.), WITTMANN (1959, S. 35) und der dort angegebenen Literatur.

Die zweite Verständnisform fasst Risiko zu einem speziellen (Nicht-)Informationszustand zusammen. Risiko wird als messbare Ungewissheit verstanden, die in statistischen oder a-priori Wahrscheinlichkeiten über mögliche künftige Zustände vorliegen. Diese Risikointerpretation geht auf KNIGHT zurück (1971, S. 232 ff.). Dem Risiko steht Unsicherheit gegenüber, bei der keine oder nur ungenügende subjektive Wahrscheinlichkeitsurteile vorliegen. Die Auffassung von Risiko, dass das Maß an Quantifizierbarkeit der Prognose als Charakteristikum von Risiko und Unsicherheit zu sehen ist, ist umstritten, konnte sich aber vor allem in der Entscheidungstheorie durchsetzen. Es kann keine eindeutige Aussage über die ökonomische Wirkung von Risiko und Unsicherheit getroffen werden.

Die verbindende Sichtweise stellt eine Kombination der beiden vorangehenden Klassen dar. Sie baut auf Überlegungen der informationsorientierten Sichtweise auf, betont jedoch, dass für ein Risiko zusätzlich eine wirkungsbezogene Komponente nötig ist. Dies ist eine negative Auswirkung auf die künftige Vermögens-, Finanz- oder Ertragslage. In der landwirtschaftlichen Betriebslehreliteratur kann das Begriffsverständnis von Risiko häufig in diese Kategorie eingeordnet werden (HARDAKER ET AL., 1997, S. 5).

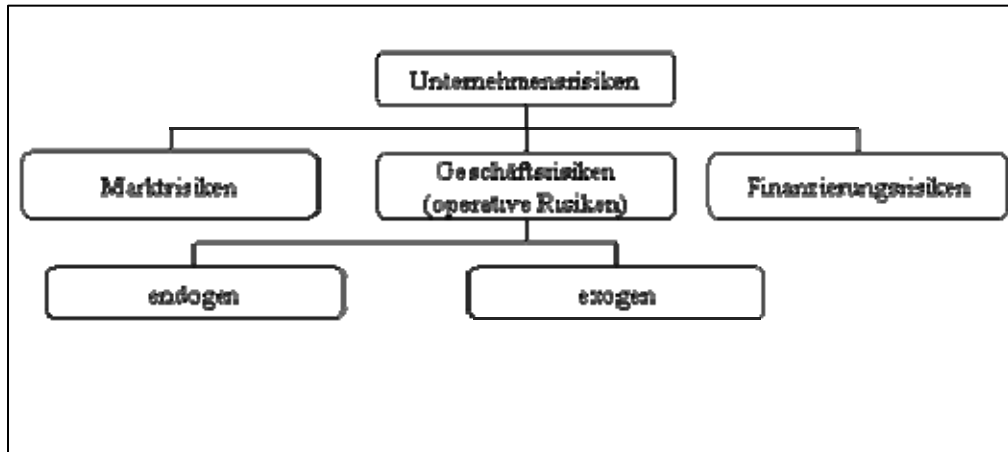
Das Begriffsverständnis von Risiko in dieser Arbeit basiert auf der letzten Kategorie. Als Ursache für ein Risiko ist also stets die mögliche Veränderung mindestens eines Einflussfaktors, über dessen künftige Ausprägung keine Sicherheit besteht. Diese Faktoren sind recht vielseitig. Deren Wahrscheinlichkeitsverteilung kann entweder diskret (z.B. der Erfolg oder Misserfolg eines Projektes) oder stetig (z.B. Weizenpreis, Ertrag) sein (LIEKWEG, 2003, S. 64).

### **2.1.2 Arten und Quellen von Risiken in der Landwirtschaft**

Ebenso wie der Begriff des Risikos sehr vielseitige Interpretationen erfährt, ist auch die Systematisierung von Risiko sehr vielgestaltig. HÖLSCHER (2000, S. 304) differenziert zunächst in reine und spekulative Risiken. Bei jeglichem unternehmerischen Handeln werden Risiken bewusst eingegangen, um daraus einen Nutzen zu ziehen. Reine Risiken, die sich grundsätzlich nur negativ auf die Erreichung von Unternehmenszielen auswirken, lassen sich dabei nicht vermeiden. Demgegenüber können spekulative Risiken sowohl positive als auch negative Auswirkungen haben.

Eine andere, in der agrarökonomischen Literatur gängige und für diese Arbeit zweckmäßige ist die Unterscheidung in Finanzierungsrisiken und Geschäftsrisiken (HARDAKER et al., 1997, S. 6; NABRADI ET AL., 2004, S. 6; STARP, 2006, S. 17). Zu den Finanzierungsrisiken zählen

Finanzmarktrisiken (z.B. Schwankungen von Zinsniveaus) und Liquiditätsrisiken, bei denen Zahlungsverpflichtungen nicht fristgerecht nachgegangen werden kann oder Forderungen ausfallen. Im Rahmen der Systematisierung von Wetterrisiken unterteilen einige Autoren (BERG ET AL., 2005, S. 163; SCHIRM, 2001, S.13; COOPER, 1999, S. 6) die Geschäftsrisiken in endogene und exogene Risiken. Exogene Geschäftsrisiken entziehen sich dem Einfluss vom Unternehmen. Dazu zählen Wetterrisiken, sonstige natürliche Risiken aber auch institutionelle Risiken, wie z.B. Politikänderungen oder Ein-/Ausfuhrbeschränkungen. Demgegenüber können endogene Geschäftsrisiken vom Unternehmen selbst beeinflusst werden. Hierunter werden technologische Risiken, Leistungsrisiken und persönliche Risiken subsumiert (Abbildung 1). In diesem Zusammenhang stellen die Autoren Marktrisiken neben die Geschäfts- und Finanzierungsrisiken, wohingegen diese sonst zu den Geschäftsrisiken gezählt werden. Andere Autoren wiederum unterteilen Geschäftsrisiken in operative Risiken und strategische Risiken (ROMEIKE, 2005, S. 22). Operative Risiken stehen in Verbindung mit häufig wiederkehrenden Produktionsentscheidungen. Als strategisches Risiko wird die Gefahr bezeichnet, dass eine Geschäftsstrategie nicht den erhofften Erfolg bringt. Operative Risiken sind von kurz- bis mittelfristiger, strategische Risiken von langfristiger Natur.



**Abbildung 1: Systematik von Unternehmensrisiken**

Quelle: BERG ET AL. (2005, S. 163)

Die verschiedenen in der Landwirtschaft vorkommenden Risikoquellen können den in Tabelle 1 dargestellten Risikokategorien zugeordnet werden. Deren Umfang ist sehr groß; bei Befragungen von Landwirten wurden 22 (MEUWISSEN ET AL., 1999, S. 9) bzw. 35 (NABRADI ET AL., 2004, S. 15) Risikoquellen identifiziert. Die Wahrnehmung der Landwirte für die einzelnen Risikoquellen variiert je nach Produktionszweig (HARWOOD, 1997, S. 5).



**Tabelle 1: Risikoquellen in der Landwirtschaft**

Marktrisiken	endogene Geschäftsrisiken	exogene Geschäftsrisiken	Finanzierungsrisiken
Produktpreise	Feldertrag	Wetter	Forderungsausfall
Produktionsmittelkosten	Tierische Leistungen	Seuchen	Liquidität
Absatzmengen	Krankheiten	Tierschutzauflagen	Zinsen
Pachtkosten	Reparaturen	Umweltauflagen	
	Soziale Risiken	Wert von Produktionsrechten	
		Prämienzahlungen	
		Produkthaftung	

## 2.2 Wetter und Klima

Mit dem Zitat „Climate is what we expect, weather is what we get“<sup>2</sup> versucht Mark Twain den Sachverhalt von Klima und Wetter auf eine ironische Art und Weise darzustellen. Die Begrifflichkeit lässt sich wie folgt darstellen: Wetter beschreibt den Zustand und die Vorgänge in der Atmosphäre an einem Ort zu einer bestimmten Zeit (EIMERN und HÄCKEL, 1984). Die geläufigsten meteorologischen Parameter<sup>3</sup> zur Beschreibung des Wetters sind die Temperatur, der Niederschlag, die Luftfeuchtigkeit, der Luftdruck, die Strahlung, die Windstärke und die Windrichtung. Das Wetter ist wechselhaft und kann sich täglich ändern. Dauert ein ähnliches Wetter über mehrere Tage an, so wird von Witterung gesprochen. Wetter und Witterung können im Zeitablauf sehr unterschiedlich sein. Daher beschreibt der Begriff Klima „die gemittelten Werte der Zustandsbeschreibung der physikalischen und chemischen Parameter der Atmosphäre über einen längeren Zeitraum von mindestens 30 Jahren unter Berücksichtigung verschiedener statistischer Kenngrößen“ (BARTH, 2002, S. 14). Klima wird in Großklima (globale Klimazonen) und Lokalklima unterteilt, das u.a. durch die Faktoren Relief, Exposition und Hangneigung beeinflusst wird.

Ausgehend von dieser Definition kann im Folgenden der Begriff Wetterrisiko näher dargestellt werden.

### 2.2.1 Definition Wetterrisiko

Gemäß Kapitel 2.1.2 werden Wetterrisiken zu den exogenen Geschäftsrisiken gezählt, da die Eintrittswahrscheinlichkeiten möglicher Wettersituationen nicht beeinflussbar sind. CLEMMONS (2002, S. 3) versteht unter Wetterrisiko das finanzielle Gefahrenpotenzial, das einem Unternehmen aus Wetterereignissen wie Hitze, Kälte, Schnee, Regen oder Wind

<sup>2</sup> <http://www.brainyquote.com/quotes/quotes/m/marktwain134885.html>

<sup>3</sup> Eine ausführliche Liste von meteorologischen Parametern findet sich auf den Seiten des Deutschen Wetterdienstes (<http://www.dwd.de>).

erwächst. Durch die Vielzahl verschiedener Wetterparameter und deren Einflüsse ist das Wetterrisiko bezüglich seines Aggregationsgrades<sup>4</sup> ein sekundäres Risiko, das in elementare Wetterrisiken untergliedert werden kann.

Eine exaktere Definition von Wetterrisiken liefert SCHIRM (2001, S. 13). Sie versteht „unter Wetterrisiken ... Schwankungen einer den Geschäftserfolg eines Unternehmens beeinflussenden Wettervariablen ..., die mittels der Maßgrößen Varianz und Standardabweichung quantifiziert werden können. Art und Anzahl der relevanten Wettervariablen hängen ... von den jeweiligen Geschäftsfeldern des Unternehmens ab.“ In dieser Arbeit wird im landwirtschaftlichen Sinne auf diese Definition zurückgegriffen, wobei in dem Kontext der Geschäftserfolg über den Ertrag der untersuchten Kulturen bestimmt wird.

### 2.2.2 Systematisierung des Wetterrisikos

Wetterrisiken können sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf den Gewinn eines Unternehmens haben. Als klassisches Beispiel für einen positiven Effekt wird der Umsatz eines Eiskremverkäufers genannt, der bei einem lang anhaltenden, warmen, sonnigen und trockenen Sommer gesteigert wird. Demgegenüber leidet bei solch einem Wetter der Umsatz eines Regenschirmverkäufers, der eher von einem regnerischen Sommer profitiert. Insofern zählen Wetterrisiken zu spekulativen Risiken. In der Landwirtschaft werden auf der Kostenseite u.a. erhöhte Aufwandsmengen beim Pflanzenschutz angeführt. Auf der Erlösseite sind dies z.B. verringerte tierische Leistungen und geringe Erträge (CHEN ET AL., S. 2, 2003). AUTIER (2000, S. 10 f) unterscheidet allgemein den Einfluss von Wetterrisiken auf

- Die mengenmäßige Produktion,
- Den mengenmäßigen Absatz,
- Den Preis der umgesetzten Güter oder Dienstleistungen,
- Den mengenmäßigen Einkauf,
- Den Preis eingekaufter Güter und Dienstleistungen,
- Zusatzkosten aufgrund schlechter Wetterbedingungen.

Aus der Auflistung ist ersichtlich, dass Wetterrisiken sowohl Mengen als auch Preise beeinflussen. Auf welche Komponente sie einen größeren Einfluss haben, ist von Branche zu Branche unterschiedlich und muss individuell geklärt werden. So wird der Speiseeispreis bei

---

<sup>4</sup> Hölscher (2000, S. 300) systematisiert Risiken hinsichtlich ihres Aggregationsgrades in primäre und sekundäre Risiken. Primäre Risiken sind dabei die eigentlichen Ursachen von Zielverfehlungen. Sekundäre stellen eine Aggregation mehrerer primärer Risiken dar.

einer starken Nachfrage in heißen Sommern nicht steigen. In solchen Branchen, die durch niedrige Preiselastizitäten gekennzeichnet sind, wird der Umsatz durch Verkaufsschwankungen bestimmt. Es liegt ein Mengenrisiko vor.

In anderen Branchen kommt das Wetterrisiko durch starke Preisvolatilitäten zum Ausdruck. Der Strommarkt in den USA reagierte im Sommer 1998 als eine Folge der Markt deregulierung auf ein verknapptes Angebot mit Großhandelsstrompreisen von bis zu 7500 \$/MWh in der Spitze.

Bei der Bodenerzeugung in der Landwirtschaft<sup>5</sup> äußert sich das Wetterrisiko sowohl in Mengen- als auch in Preisschwankungen (MEYER, 2002, S. 23). Dabei ist zu beachten, dass je nach Produktmarkt ein „natural hedge“<sup>6</sup> vorliegen kann. Bei Märkten, deren Produktion geographisch in einem Gebiet konzentriert ist, ist der Zusammenhang aufgrund von gleichen Bodenbedingungen und Wettereinflüssen höher als bei Gütern die weltweit angebaut werden (SAAK, 2004, S. 1). Der Angebotsrückgang des in einem geographisch begrenzten Gebiet produzierten Gutes wirkt sich also stärker auf die Preisentwicklung aus als auf ein weltweit produziertes Gut. Neben den Preis- und Mengenschwankungen kann gerade in der Landwirtschaft eine ungünstige Wetterentwicklung zu Qualitätseinbußen führen. Als Beispiel sei hier der Braugerstenanbau genannt. Herrscht eine trockene Wetterlage während der Kornfüllungsphase vor, so sind kleine Körner und hohe Eiweißgehalte die Folge. Die Braugerste ist aufgrund der Sortierung nur noch als Futtergetreide, also zu geringeren Preisen, zu vermarkten. Qualitätseinbußen gehören somit zu den Markt- oder Preisrisiken (SKEES, 2001, o.S.).

Bestimmt das Wetterrisiko die Volatilität der Marktpreise, so handelt es sich um ein Markt- bzw. Preisrisiko. Solche Risiken können in der Landwirtschaft bereits für viele Güter über Warenterminbörsen (z.B. Hannover, Amsterdam) abgesichert werden. Nach SCHIRM (2001, S. 15) ist das Hedging von Marktrisiken mittels Warentermingeschäften zu bevorzugen, „da diese eine direkte Reduktion oder Eliminierung des Preisrisikos von Beschaffungs- und Absatzgütern ermöglichen.“ Deshalb beschränkt sich der Begriff des Wetterrisikos in dieser Arbeit auf das Mengenrisiko, dessen Steuerung eine neue Entwicklung im Risikomanagement darstellt.

Weiterhin werden in dieser Arbeit Wetterrisiken als nicht-katastrophale Wetterschwankungen verstanden, die vom langjährigen Mittel abweichen. Sie führen also zu geringen Schäden und treten regelmäßig auf. Sie werden daher als „high frequency – low severity events“

---

<sup>5</sup> Viele weitere Branchen sind vom Wetterrisiko betroffen. Eine detaillierte Auflistung findet sich u.a. bei GLAS und SCHOLAND (2001, S. 3ff.), MEYER (2002, S. 38 ff.) und in dieser Arbeit in Tabelle 3.

<sup>6</sup> Eine negative Preis-Ertrags-Korrelation wird als „natural hedge“ bezeichnet (SAAK, 2004, S. 1).

systematisiert. Demgegenüber sind katastrophale Wetterrisiken durch eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit und ein hohes Schadensmaß gekennzeichnet; es sind also „low frequency – high severity events“. Solche Ereignisse sind typischerweise Hurrikans oder Fluten, für die im nicht landwirtschaftlichen Bereich Versicherungslösungen entwickelt wurden (BECKER und BRACHT, 1999, S. 5). Entsprechend der Systematisierung ist die erste Gruppe von Wetterrisiken geeignet, um über Derivate abgesichert zu werden, während für die zweite Gruppe Versicherungen geeignet sind.

## 2.3 Risikomanagement

Banken können als Pioniere des Risikomanagements gesehen werden, da sie bereits seit Jahrzehnten nicht nur interne Risikoüberwachungssysteme erstellen, sondern auch regulatorischen Anforderung der Bankenaufsicht unterliegen (KRUMNOV, 2000, S. 684). Nicht zuletzt aufgrund des Gesetzes zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich (KonTraG)<sup>7</sup> aber auch durch die fortschreitende Globalisierung<sup>8</sup>, Deregulierung und Liberalisierung<sup>9</sup> vieler Branchen und Märkte rückte in den neunziger Jahren Risikomanagement immer mehr in den Fokus des betriebswirtschaftlichen Interesses.

Unter Risikomanagement wird allgemein der planvolle Umgang mit Risiken verstanden. Es umfasst die Prognose, Bewertung und Steuerung zukünftiger Ereignisse und „damit eine der Kernfragen der Betriebswirtschaftslehre überhaupt.“ (RUDOLPH und JOHANNING, 2000, S. 16) Eine genaue Definition des Begriffs ist allerdings kaum möglich, da es verschiedene konzeptionelle Ansätze gibt. Auf der einen Seite wird Risikomanagement als ganzheitliches Konzept, auf der anderen Seite pragmatisch als Handhabung verschiedener Risiken verstanden (WEISHAUPT, 1999, S. 34 ff.).

Das moderne Risikomanagement basiert auf einem integrativen Ansatz, bei dem das Unternehmen als Ganzes betrachtet wird (HÖLSCHER, 2000, S. 306), d.h. es erfolgt eine simultane Erfassung und Steuerung der wesentlichen Risikoquellen unter Einbeziehung der vorhandenen Steuerungsinstrumente des Unternehmens, da die Einzelrisiken eines Unternehmens nicht einfach addiert werden können (FRANKE, 2000, S. 54 ff.; DOHERTY, 2000, S. 10). Durch Diversifikationseffekte ist das gesamtbetriebliche Risiko immer kleiner

---

<sup>7</sup> Das KonTraG wurde 1998 eingeführt. Es schreibt Aktiengesellschaften vor, Risikomanagement, das bis dahin lediglich freiwilliger Natur war, als Überwachungsinstrument zu etablieren.

<sup>8</sup> Hier sind vor allem die Internationalisierung der Kapitalmärkte, die daraus resultierende Umstellung auf den International Accounting Standard (IAS) oder den Generally Accepted Accounting Principles (US-GAAP) und internationale Fusionen zu nennen (BALDES und DEVILLE, 2000, S. 1052).

<sup>9</sup> Durch die grundlegende Reform der europäischen Agrarpolitik und dem damit verbundenen Wegfall der Preisstützung haben sich die Rahmenbedingungen im Hinblick auf das unternehmerische Risiko stark verändert.

als die Summe der Einzelrisiken des Unternehmens, solange die Korrelation zwischen den Einzelrisiken ungleich 1 ist<sup>10</sup>. Das gesamtbetriebliche Risikoexposure lässt sich nur dann bestimmen und mit dem gesamtbetrieblichen Gewinn ein Risikolimit aufstellen, wenn alle Beziehungen der Einzelrisiken bekannt sind. Eine ausschließliche Betrachtung bzw. Minimierung der Einzelrisiken kann dazu führen, dass „zu viel“ abgesichert wird und das gesamtbetriebliche Risiko steigt.

Das Ziel des Risikomanagements ist nicht, sämtliche Risiken auszuschalten, sondern sich bewusst mit dem Eingehen von Risiken auseinanderzusetzen. Risiken müssen eingegangen werden, um einen angemessenen Gewinn zu erwirtschaften. Unter Berücksichtigung einer bestimmten Risikoeinstellung bedeutet Risikomanagement, Risiken unter dem Einsatz geeigneter risikopolitischer Instrumente dort zu reduzieren, wo das Verhältnis aus erwartetem Gewinn zu Risiko gering ist, und dort zu erhöhen, wo das Verhältnis aus Gewinn zu Risiko hoch ist. Wird ein Unternehmen in diesem Sinne als ein Portfolio von Risiken interpretiert, so besteht die Kernkompetenz von Unternehmen in dem Management der von ihnen übernommenen Risiken. „Risikomanagement ist somit Kernbestandteil unternehmerischen Handelns und ein wesentlicher Erfolgsfaktor.“ (PFENNIG, 2000, S.1296)

Wirtschaftliche Unternehmen sind einem sich permanent ändernden Umfeld unterworfen. Die Risikosituation wie auch die Risikosteuerungsmöglichkeiten ändern sich laufend. Deshalb muss Risikomanagement als fortlaufender, dynamischer Prozess stattfinden, der sich aus den Prozessphasen Risikoidentifikation, Risikoanalyse und –bewertung<sup>11</sup>, Risikobewältigung<sup>12</sup> sowie Risikokontrolle zusammensetzt (siehe Abbildung 2). Diese werden nachfolgend näher betrachtet.

---

<sup>10</sup> Eine Korrelation von 1 kommt in der Realität selten vor.

<sup>11</sup> Auch Risikoquantifizierung genannt.

<sup>12</sup> Auch Risikosteuerung genannt.

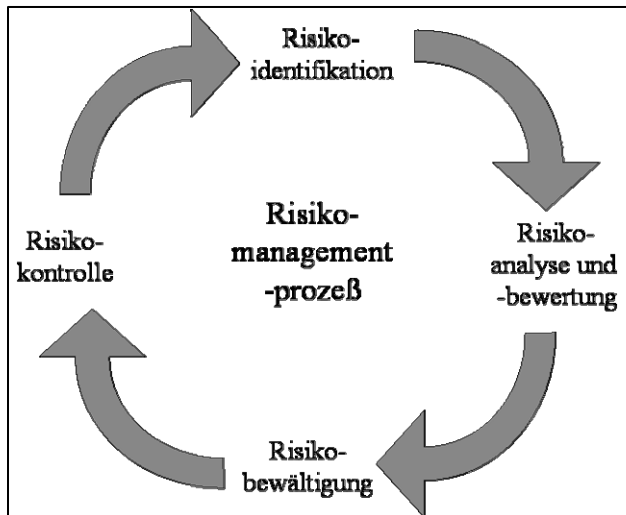


Abbildung 2: Prozess des Risikomanagements

### 2.3.1 Risikoidentifikation und –wahrnehmung

Die erste Phase des Risikomanagements besteht aus der Risikoidentifikation, d.h. das bewusste Suchen nach Risiken. Hier werden die Aufgabenpakete geschaffen, auf die sich die weiteren operativen Tätigkeiten beziehen. Daher wirkt sich eine unzureichende oder fehlerhafte Risikoidentifikation negativ auf den gesamten nachfolgenden Risikomanagementprozess aus. Die Feststellung einer vollständigen Risikoidentifikation<sup>13</sup> ist jedoch schwer möglich. Bleibt ein Risiko unerkannt, so kann dies dazu führen, dass die getroffenen Maßnahmen ineffizient sind (HÖLSCHER, 2000, S. 317). Risiken, die sehr kaum wahrgenommen werden bzw. deren Bedrohungspotential teilweise geleugnet wird, müssen ständig neu untersucht und überdacht werden.

Die Wahrnehmung und Identifikation von Risiken ist ein subjektiver Prozess, der nur schwer zu objektivieren ist. Der Wahrnehmungsprozess wird grundsätzlich in eine situative und in eine personale Komponente gegliedert. In der kognitionspsychologischen Literatur wird die Verbindung dieser Komponenten als Reiz-Reaktions-Mechanismus charakterisiert und diskutiert.<sup>14</sup>

Determinanten der Risikowahrnehmung können sowohl quantitative wie auch qualitative Faktoren sein. Zu den quantitativen Faktoren zählen die Wahrscheinlichkeit des Eintritts und sein Schadensausmaß. Qualitative Faktoren sind die Eigenschaften der Risikoquelle, der

<sup>13</sup> Zur Risikoidentifikation werden verschiedene Formen der Fehleranalyse verwendet. Diese dienen ursprünglich dazu, Fehlerquellen in technischen Systemen aufzudecken. Zwei bekannte Methoden der Fehleranalyse sind die Ausfalleffektanalyse und die Fehlerbaumanalyse. Eine ausführliche Erklärung zur Funktionsweise der beiden Methoden findet sich bei HÖLSCHER (2000, S. 318 ff.).

<sup>14</sup> MAIER (2002, S. 74) und die dort angegebene Literatur.

Risikokonsequenz sowie personenspezifische Eigenschaften. Charakteristiken der Risikoquelle sind die sinnliche Erfahrbarkeit, die räumliche Distanz, das technische Sicherheitsniveau und die Verantwortlichkeit. Eigenschaften der Risikokonsequenz sind die Irreversibilität, die persönliche Betroffenheit, der Bekanntheitsgrad, die zeitlich verzögerte Auswirkung, die Kontrollierbarkeit, die Freiwilligkeit der Risikoübernahme und die alternativen Risikolagen. Personenspezifische Eigenschaften sind die Risikobereitschaft von Individuen und Gruppen sowie soziodemographische Faktoren<sup>15</sup> (MATTEN, 1998, S. 127).

Die Wahrnehmung speziell von Wetterrisiken in der Landwirtschaft ist durch den direkten Einfluss des Wetters im Freilandanbau relativ ausgeprägt (HEYLAND, 1996, S. 128). Das Auftreten von extremen Wetterereignissen macht diese Abhängigkeit immer wieder deutlich. Das letzte Extremereignis war die Trockenheit im Sommer 2003, von der Landwirte in Osten Deutschlands stark betroffen waren (AGRARBERICHT 2003, S. 58). In Abhängigkeit von der Betroffenheit werden Forderungen nach alternativen Risikotransferinstrumenten häufig vorgebracht. Eine ausführliche Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Wetter- und Ertragsschwankung erfolgt in Kapitel 4.

### 2.3.2 Risikoanalyse und -bewertung

Der Risikomanager hat nicht nur Probleme bei exogenen Risiken auf der Ebene der Risikoidentifikation- und -wahrnehmung im Allgemeinen, sondern auch bei der Analyse der unternehmensspezifischen Risikopotenziale und ihrer Bewältigung. Grundlage der Risikoanalyse bildet die Entscheidungstheorie. Das Risikomanagement trägt – ähnlich wie die Planung – zur Entwicklung von Präferenzen bei (MAIER, 2002, S. 76). Die zuvor wahrgenommenen und identifizierten Risiken werden bei der Risikoanalyse quantifiziert. Dabei müssen sowohl den Ursachen des Risikos mögliche Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet als auch das Ausmaß der Zielabweichung (Risikowirkung)<sup>16</sup> ermittelt werden.

In der Landwirtschaft ist jedes Produktionsverfahren durch ein konkretes Input-Output-System definiert (KUHLMANN, 2003, S. 151), so dass die Konsequenzen veränderter Inputgrößen auf den Deckungsbeitrag und somit Gewinn modelliert werden können. Ebenso lässt sich der Wirkungsmechanismus von risikopolitischen Maßnahmen durch funktionale

---

<sup>15</sup> Das Vorhandensein von Zurechenbarkeit und Verantwortlichkeit, Irreversibilität der Risikofolgen, persönliche Betroffenheit sowie alternative Risikolagen führen zu einer erhöhten Risikowahrnehmung. Das Vorhandensein der anderen Eigenschaften führt zu einer reduzierten Risikowahrnehmung.

<sup>16</sup> Die Auswahl der geeigneten Maßgröße für das Risikopotential ist von der Art des Risikos abhängig. So kommt z.B. bei Sachschäden der Wiederbeschaffungswert bzw. bei Personenschäden die Höhe des Versorgungsbedarfs in Frage (HERTEL, 1991, S. 53).

Zusammenhänge ableiten. Dabei ist für jede Inputgröße zu entscheiden, ob es sich um eine stochastische Größe handelt oder ob sie als deterministisch angesehen werden kann. Ist eine Variable risikobehaftet, so sind Wahrscheinlichkeitsverteilungen notwendig, deren Bestimmung numerische Wahrscheinlichkeitsaussagen voraussetzt. Nominal skalierte Aussagen, bei denen lediglich unterschieden wird, ob ein Ereignis „wahrscheinlich“ oder „unwahrscheinlich“ ist oder ordinal skalierte Aussagen, die darüber hinaus gehend eine Rangordnung liefern, reichen hierfür nicht aus.

Die ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Inputvariablen können objektiv oder subjektiv sein. Objektive Wahrscheinlichkeiten sind intersubjektiv nachprüfbar und damit unabhängig von personenspezifischen Einschätzungen. Dazu zählen logische Wahrscheinlichkeiten nach Laplace. Diese gehen von einem endlichen Ereignisraum aus, bei dem jedes Ereignis mit der gleichen Wahrscheinlichkeit eintritt. Als Beispiel sind Glücksspiele wie Würfel, Münze oder Lotterie zu nennen, bei denen die Wahrscheinlichkeiten von Ereigniskombinationen deduktiv ermittelt werden. Weiterhin gehören aus Vergangenheit ableitbare, statistische Wahrscheinlichkeiten zu den objektiven Wahrscheinlichkeiten. Statistiken erweisen sich allerdings nur dann als wirksames Mittel, wenn eine genügend große und vergleichbare Anzahl von Fällen vorliegt und die Dynamik und Diskontinuität der Umweltfaktoren nicht zu groß ist (ANDERSON ET AL., 1977, S. 17). Gegenüber objektiven Wahrscheinlichkeiten lassen subjektive Wahrscheinlichkeiten keine intersubjektive Nachprüfbarkeit zu. Diese werden durch Befragungen von Experten und Entscheidungsträgern gewonnen, die aufgrund ihres Informationsstandes als glaubhaft eingestuft werden. Jedoch stellen subjektive gegenüber objektiven Wahrscheinlichkeiten nur eine zweitbeste Lösung dar. Subjektive Erwartungen sind jedoch vielfach notwendig, da objektive Wahrscheinlichkeiten in der reinen Form in wirtschaftlichen Entscheidungssystemen selten vorkommen (STARP, 2006, S. 21).

Zur Risikoquantifizierung von Preisen bieten sich Zeitreihenanalysen an, da Preiszeitreihen für die wichtigsten landwirtschaftlichen Produkte existieren. Ebenso kann für im Ackerbau erzielte Hektarerträge die Zeitreihenanalyse verwendet werden. Dabei ist zu beachten, ob sich die Ertragszeitreihe auf einen einzelnen Betrieb bezieht oder ob es sich um eine Aggregation von Erträgen handelt; denn durch Durchschnittsbildung können die Erträge beträchtlich von betrieblichen Erträgen durch unterschiedliche natürliche Standortvoraussetzungen, Intensität und Management des Betriebsleiters abweichen. Aggregierte Werte weisen deshalb häufig eine geringere Streuung auf.



Die Einzelrisiken können mittels analytischer Methode, historischer Simulation und Monte-Carlo-Simulation zusammengefasst werden. Bei der analytischen Methode wird das Gesamtrisiko mit einer Formel berechnet. Dies bietet sich an, wenn die Einzelrisiken normalverteilt sind, da dann auch die Summe der Einzelrisiken normalverteilt ist. Die historische Simulation nutzt die in der Vergangenheit beobachteten Werte als Variablen. Dabei sind keine Annahmen über die Verteilungen der Einzelrisiken und der Korrelationen notwendig. Kritisch zu sehen ist die Tatsache, dass ein großer Datenumfang notwendig ist und inwieweit diese Daten zum Entscheidungszeitpunkt noch Gültigkeit besitzen. Nachteilig ist auch, dass subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen nicht integriert werden können. Demgegenüber können mit der Monte-Carlo-Simulation auch komplexe Interaktionen zwischen den Variablen erfasst werden. Ungünstig zu beurteilen ist der hohe Rechen- und Zeitaufwand.

### 2.3.3 Risikobewältigung

Sind die Risiken identifiziert und analysiert, so schließt sich die Frage an, wie mit diesen umgegangen werden soll. Dem Entscheidungsträger stehen dabei verschiedene Handlungsalternativen zur Verfügung. Er hat die Wahl zwischen „Nichtstun“<sup>17</sup>, einem aktiven oder passiven Risikomanagement.

Bei der aktiven Bewältigung von Risiken handelt es sich um eine ursachenbezogene Risikosteuerung. Es wird Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit und / oder das Schadenspotential genommen. Als Maßnahmen stehen dabei die Risikovermeidung, die Risikominderung und die Risikodiversifikation zur Verfügung (siehe Abbildung 3).

---

<sup>17</sup> Als Beispiel dafür, dass Nichtstun durchaus eine zweckmäßige handlungsalternative ist, gibt HERTEL (1991, S. 65) das Beispiel eines Unternehmers an, der ein Betriebsgelände mit möglichen Bodenverunreinigungen besitzt. Gibt er eine Bodenuntersuchung in Auftrag, die eine Gefährdung des Grundwassers ergibt, so ist er zum handeln gezwungen. Er muss die Behörde informieren und unverzüglich Maßnahmen zur Sanierung ergreifen, die teuer sein können. Verschweigt er das Ergebnis der Bodenuntersuchung, so macht er sich strafbar. Manch einer könnte also solange mit der Analyse warten, bis er die Kosten budgetiert und entsprechende Rückstellungen getroffen hat.

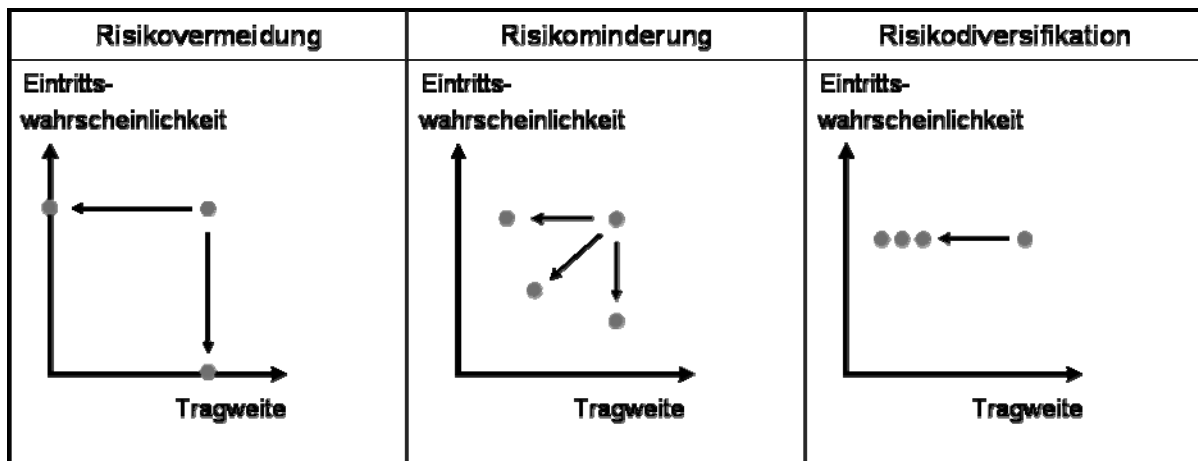


Abbildung 3: Instrumente der aktiven Risikobewältigung

Quelle: HÖLSCHER (2000, S. 327)

Die Risikovermeidung stellt die radikalste Form des aktiven Risikomanagements dar. Das Risiko wird komplett ausgeschaltet, indem entweder die Eintrittswahrscheinlichkeit oder die Tragweite des Risikos auf Null gesetzt wird. Im Extremfall bedeutet dies, dass ein riskantes Produktionsverfahren eingestellt wird. Die Tragweite eines Risikos kann durch den Umbau eines Produktionsverfahrens auf Null gesetzt werden. In der Landwirtschaft kann dies z.B. den Verzicht auf Sekundärrohstoffdünger bedeuten, in dem teilweise Schwermetalle enthalten sind. Diese können sich im Boden anreichern und zu einer Kontaminierung führen.

Eine weit weniger radikale Form des aktiven Risikomanagements ist die Risikominderung. Hier werden die Tragweite und die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Risikos auf ein akzeptables Maß verringert. D.h. gegenüber der Risikovermeidung verbleibt bei der Risikominderung ein Restrisiko. So lässt sich die Tragweite des Risikos in der pflanzlichen Produktion durch Pflanzenschutzapplikationen verringern. HÖLSCHER (2000, S. 328) unterscheidet drei Arten von Maßnahmen zur Risikominderung:

- Personelle Maßnahmen (Schulung, Personalauswahl usw.),
- Technische Maßnahmen (konstruktive Verbesserung des Sicherheitsniveaus, technische Sicherungseinrichtungen usw.) und
- Organisatorische Maßnahmen (Verbesserung von Arbeitsabläufen, Qualitätsmanagement usw.).

Neben der Risikominderung reduziert die Risikodiversifikation ebenfalls die Tragweite eines Risikos. Dabei ähnelt die Funktionsweise der Risikodiversifizierung einer Versicherung, bei

der das Risiko in mehrere, voneinander unabhängige Teilrisiken mit gleicher Eintrittswahrscheinlichkeit aber geringerer Tragweite aufgeteilt wird. Drei Wege der Risikodiversifikation werden unterschieden:

- Regionale Diversifikation; die Produktion bzw. Produktionsstätten wird an verschiedenen Orten betrieben,
- Objektbezogene Diversifikation; es sind Objekte mehrfach vorhanden, deren Kapazität nur dann benötigt wird, wenn die z.B. sonst genutzte Maschine ausfällt,
- Personenbezogene Diversifikation; hier soll der komplette Ausfall wichtiger Personengruppen verhindert werden.

Im Unterschied zum aktiven Risikomanagement bleiben beim passiven Risikomanagement die Risikostrukturen bestehen, d.h. es wird kein Einfluss auf die Tragweite oder die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Risikos genommen, sondern es werden die finanziellen Folgen<sup>18</sup> eintretender Risiken gedeckt. Das passive Risikomanagement kann grundsätzlich auf alle Risiken angewendet werden, so auch auf die Risiken, die vom aktiven Risikomanagement nicht vollständig eliminiert werden bzw. wurden. Als Instrumente der passiven Risikobewältigung werden die Risikostreuung, der Risikotransfer und die Risikoübernahme genannt. Die Portfoliotheorie wird bei der Risikostreuung genutzt. Sie basiert auf der Tatsache, dass das Gesamtrisiko eines Portfolios geringer ist als die Summe der Einzelrisiken. Je geringer die Korrelation zwischen den einzelnen Risikopositionen ist, desto höher ist das Ausmaß der Risikoreduktion.

Beim Risikotransfer wird das Risiko auf einen Vertragspartner übertragen. Dabei ist Versichern die dominierende Maßnahme der Risikobewältigung. Versicherungen bieten sich dann an, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit für den Schaden gering und der potentielle Schaden hoch ist, wie dies z.B. bei Haftpflicht- und Feuerversicherungen der Fall ist. Der Versicherungsnehmer überträgt individuell unsichere und diskontinuierlich anfallende Schadenszahlungen durch regelmäßige Zahlung einer Versicherungsprämie an den Versicherer. Korrelierte Risiken mit vergleichsweise hohen Eintrittswahrscheinlichkeiten werden häufig auf Kapital- bzw. Finanzmärkte transferiert. Beispiele hierfür sind Zinsen oder

---

<sup>18</sup> In diesem Zusammenhang wird passives Risikomanagement häufig auch als Risikofinanzierung bezeichnet. Ursache ist die bevorzugte monetäre Bewertung von Unternehmen, also die Interpretation von Risiko als Gefahr eines Verlustes oder einer Gewinnminderung (HÖLSCHER, 2000, S. 330). Die Instrumente der passiven Risikobewältigung sind wirkungsbezogene Maßnahmen.

Preise (Öl, Agrargüter usw.). Risiken können auch durch Bildung von Rückstellungen<sup>19</sup> oder aus dem laufenden Cash-Flow selbst getragen werden.

Versicherungen, Finanzmärkte und Rücklagenbildung sind traditionelle Formen der Risikofinanzierung (vgl. Abbildung 4). Daneben haben seit einigen Jahrzehnten sich hybride Formen entwickelt, so genannte Alternative Risiko Transfer Produkte (ART). Sie zielen darauf ab, die Effizienz des Risikotransfers zu erhöhen, die Grenzen der Versicherbarkeit zu erweitern und zusätzliche Deckungskapazitäten zu erschließen (SWISS RE, 1999, S. 4). Somit ermöglichen sie im Gegensatz zu standardisierten Versicherungsprodukten individuelle Lösungen für unterschiedliche Absicherungsprobleme.

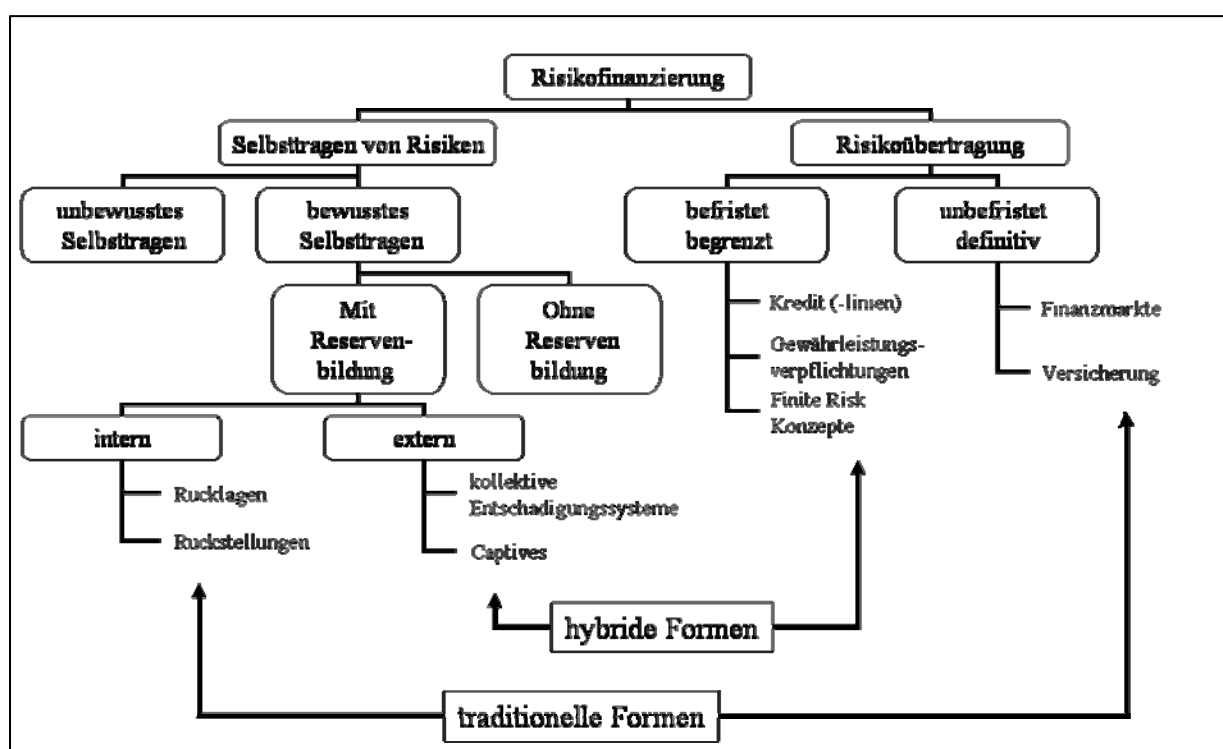


Abbildung 4: Systematik des Instrumentariums der Risikofinanzierung

Quelle: RÜCKER (2000, S. 367)

ART-Produkte führen dazu, dass die Versicherungs- und Kapitalmärkte in einer gewissen Weise konvergieren. Neben Katastrophenschuldverschreibungen tragen auch Wetterderivate zu dieser Entwicklung bei. So ist Wetterrisikomanagement als Teil vom ART zu sehen (BECKER und BRACHT, 1999, S. 66 f.).

<sup>19</sup> Rückstellungen zur Risikofinanzierung sind nach deutschem Bilanzrecht faktisch ausgeschlossen. Sie können allenfalls aus Rücklagen aufgebaut werden. Dies verteuert das Selbsttragen von Risiken, da Rücklagen aus bereits versteuerten Unternehmensgewinnen gebildet werden.

### **2.3.4 Risikokontrolle**

Die Risikokontrolle ist die letzte Phase im Risikomanagementprozess bzw. von hier aus beginnt der Kreislauf von neuem. Zunächst muss der ausgewählte Maßnahmen-Mix überwacht werden und geprüft werden, ob das Unternehmen tatsächlich den geforderten Sicherheitsgrad erreicht. Jedoch bedürfen sich im Zeitablauf ändernde Umweltzustände eine ständige Überprüfung der Entscheidung über die Instrumentenvariablen. Bezogen auf das Wetterrisikomanagement müssen klimatische Trends bzw. Extremereignisse beobachtet werden (KRAUS und EBEL, 2003, S. 6 ff.).

## **2.4 Quantitative Methoden der Risikobeurteilung**

Methoden zur Beurteilung von Risiken bieten dem Entscheidungsträger Bewertungsmaßstäbe für alternative Handlungsmöglichkeiten. Der Entscheidungsträger muss zunächst eine Zielgröße festlegen. Häufig ist die Zielgröße der zu erzielende Gewinn, der aufgrund von unsicheren Umwelteinflüssen nicht deterministisch vorhersehbar ist. Neben dem Gewinn können auch die Kosten als Zielgröße gewählt werden. Im Gegensatz zum Gewinn sollen die Kosten möglichst niedrig sein. Die Stochastik des Gewinns bzw. der Kosten wird durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen quantifiziert, die auf verschiedene Weise durch das Zusammenwirken von nicht beeinflussbaren Umwelteinflüssen und Steuerungsinstrumenten zu Stande kommen.

Bei einer Beurteilung risikopolitischer Instrumente muss die Risikoeinstellung des Entscheidungsträgers berücksichtigt werden. Im Allgemeinen wird von risikoaversen Verhalten ausgegangen. In diesem Zusammenhang bedeutet Risikoaversion, dass die zufallsbedingten Schwankungen der Handlungsergebnisse als negativ empfunden werden, so dass für ihre Beseitigung bzw. Minderung die Bereitschaft vorhanden ist, „Opfer“ zu bringen (BERG, 2002, S. 111). Dies ist meist der Fall, wenn die Streuungen so groß sind, dass sie die wirtschaftliche Existenz nachhaltig gefährden. Grundlage der Risikobeurteilung bildet die Entscheidungstheorie, die auf Überlegungen von Daniel Bernoulli aus dem Jahr 1738 sowie von Neumann und Morgenstern aus dem Jahr 1947 basiert und bis heute weiterentwickelt wurde. Nachfolgend werden verschiedene Entscheidungsregeln vorgestellt, die zur Risikobeurteilung herangezogen werden.

### 2.4.1 Konzept der stochastischen Dominanz

Die Anwendung dieser Entscheidungsregel führt zu einer Differenzierung zwischen effizienten und ineffizienten Handlungsmöglichkeiten. Die Vorteilhaftigkeit der stochastischen Dominanz gegenüber dem Erwartungsnutzen-Kriterium liegt in den geringen notwendigen Annahmen hinsichtlich der Risikonutzenfunktion des Entscheidungsträgers (HANF, 1986, S. 92 f.). Demgegenüber steht die in vielen Fällen unzureichende Selektion effizienter Alternativen. Das Konzept der stochastischen Dominanz ist daher oft nicht eindeutig. Aus diesem Grunde werden drei verschiedene Grade stochastischer Dominanz festgelegt, wobei mit weiterer Abstufung eine schärfere Auswahl erfolgt und zusätzliche Annahmen bezüglich der Risikonutzenfunktion getroffen werden (BRANDES und ODENING, 1992, S. 205).

#### 2.4.1.1 Stochastische Dominanz ersten Grades

Die Beurteilung verschiedener Handlungsalternativen nach dem Konzept der stochastischen Dominanz erfolgt unter Berücksichtigung der Ergebnisverteilungen der Zielgrößen. Die Vorgehensweise bei der stochastischen Dominanz ersten Grades beruht auf der Annahme einer monoton steigenden Nutzenfunktion des Entscheidungsträgers (BRANDES und ODENING, 1992, S. 205). Ausgangspunkt der Dominanzprüfung sind die kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Handlungsmöglichkeiten. Diese Verteilungsfunktionen stellen das bestimmte Integral über die jeweiligen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen dar. Für eine Handlungsalternative F mit der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion  $f(x)$  des Gewinnes  $x$  mit der unteren Grenze  $a$  und der oberen Grenze  $b$  folgt somit für die Verteilungsfunktion  $F(x)$ :

$$F(x) = \int_a^b f(x) dx \quad (2.1)$$

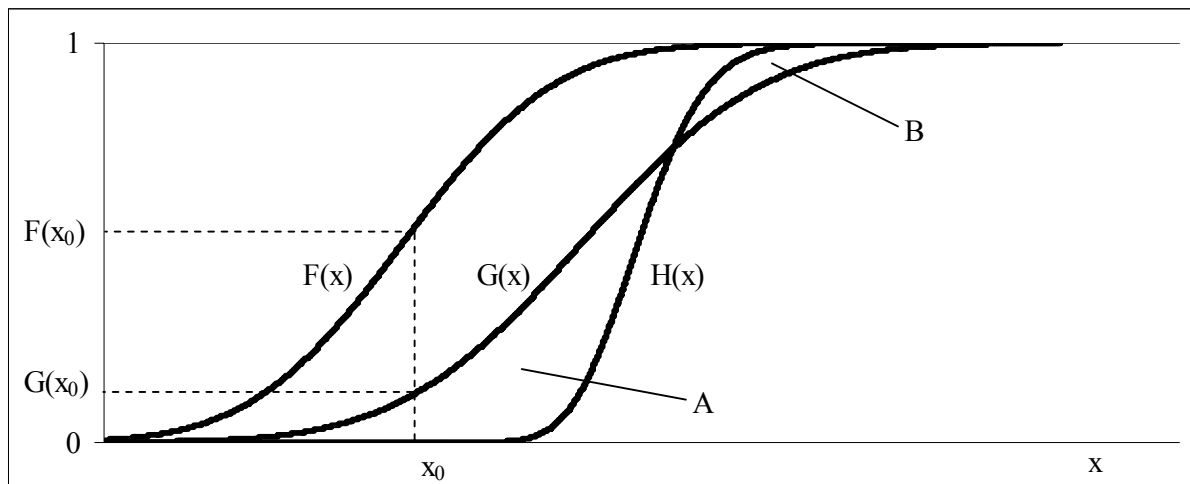
Die Bildung der Verteilungsfunktion für eine Alternative G erfolgt analog (HANF, 1986, S. 92-96). Die Handlungsmöglichkeit G ist dann gegenüber der Alternative F stochastisch dominant ersten Grades, wenn gilt:

$$G(x) \leq F(x) \quad (2.2)$$

für alle  $x$  und für mindestens ein  $x$  aus dem Wertebereich:

$$G(x) < F(x) \quad (2.3)$$

In einer grafischen Darstellung liegt die Verteilung  $G(x)$  bei stochastischer Dominanz ersten Grades damit rechts von der Verteilung der Alternative  $F$  (BRANDES und ODENING, 1992, S. 205; HANF, 1986, S. 98).



**Abbildung 5: Risikoprofile für drei Alternativen**

Quelle: eigene Darstellung nach EISENFÜHR und WEBER (1994, S. 247)

Für einen beliebigen Wert, der kleiner oder gleich  $x_0$  ist, ist die Wahrscheinlichkeit bei der Verteilung  $F(x)$  größer als für  $G(x)$ . Umgekehrt bedeutet dies, dass die Alternative  $G$  mit höherer Wahrscheinlichkeit als  $F$  zu einem höheren Wert als  $x_0$  führt. Im Fall eines Schnittpunktes von  $F(x)$  und  $G(x)$  ist keine Aussage über stochastische Dominanz ersten Grades möglich und eine Prüfung auf stochastische Dominanz zweiten Grades erforderlich (BRANDES und ODENING, 1992, S. 206).

### 2.4.1.2 Stochastische Dominanz zweiten Grades

Die stochastische Dominanz zweiten Grades setzt neben der bereits eingangs getroffenen Annahme einer monoton steigenden Nutzenfunktion des Entscheidungsträgers zusätzlich einen abnehmenden Grenznutzen voraus. Diese Annahme impliziert Risikoaversion, die in der Realität bei Entscheidungen unter Unsicherheit in den meisten Fällen anzutreffen ist. Zur Prüfung auf stochastische Dominanz erfolgt eine erneute Integration der Verteilungsfunktion:

$$G_2(x) = \int_a^b G(x) dx \quad (2.4)$$

Die Alternative H ist stochastisch dominant zweiten Grades gegenüber der Handlung G, wenn gilt:

$$H_2(x) \leq G_2(x) \quad (2.5)$$

für alle x aus dem Wertebereich und für mindestens ein x:

$$H_2(x) < G_2(x) \quad (2.6)$$

In Abbildung 5 stellt die Fläche A den Vorteil der Verteilung H(x) im unteren Bereich dar, während G(x) im oberen Bereich der Kurve H(x), ausgedrückt durch die Fläche B, überlegen ist. Bei einer positiven Differenz zwischen A und B gilt die Verteilung H(x) stochastisch dominant gegenüber G(x), da ein risikoaverser Entscheidungsträger aufgrund des abnehmenden Grenznutzens Vorteile im unteren Bereich stärker gewichtet als im oberen Wertebereich. Ist die Differenz der beiden Flächen nicht mehr positiv, muss auf stochastische Dominanz dritten Grades überprüft werden. Dieses Kriterium soll hier nicht vorgestellt werden, da die notwendige Annahme der abnehmenden Risikoaversion bei steigendem Vermögen bzw. Gewinn als umstritten gilt (HANF, 1986, S. 99f.).

## 2.4.2 Das Erwartungsnutzenkonzept

Das Erwartungsnutzenkonzept<sup>20</sup> besagt, dass Individuen nicht nach dem monetären Erwartungswert eines Glückspiels<sup>21</sup> entscheiden. Es ist eher so, dass jedem möglichen monetären Ergebnis ein subjektiver Nutzen zugeordnet wird. Beim Erwartungsnutzenkonzept wird eine monoton steigende Nutzenfunktion  $u(x)$  auf der Menge der Ergebnisse  $x$

<sup>20</sup> Synonyme Bezeichnungen sind „Bernoulli-Nutzen“ und „von-Neumann-Morgenstern-Nutzen“.

<sup>21</sup> Besonders deutlich wird dies beim so genannten St. Petersburg Paradoxon. Dies ist ein Glückspiel, bei dem eine „faire“ Münze so lange geworfen wird, bis zum ersten Mal das Ereignis „Kopf“ erscheint. Die Auszahlung richtet sich danach, beim wievielten Wurf „Kopf“ zum ersten Mal erscheint, also  $x=2^n$ . Richtet sich ein Spieler nach dem Erwartungswert, müsste er sein ganzes Vermögen anbieten, da der Erwartungswert der Auszahlung unendlich ist.



unterstellt.<sup>22</sup> Auf der Basis dieser Nutzenfunktion kann dann an einem Vergleich der Erwartungswerte  $EU$  der Alternativen gemäß der Präferenzfunktion

$$EU(a) = \sum_{i=1}^n p(s_i) u(a_i) \quad (2.6)$$

die relative Vorzüglichkeit unter Berücksichtigung des Wert- und Risikoaspekts<sup>23</sup> durch

$$a \succ b \Leftrightarrow EU(a) > EU(b) \quad (2.7)$$

abgelesen werden, wobei  $a_i$  die Ausprägung der Alternative  $a$  im Zustand  $s_i$  mit  $1 \leq i \leq n$  und  $p$  die Wahrscheinlichkeit darstellt. Wenn eine kontinuierliche Zielgröße mit bekannter Dichtefunktion  $P'(a)$  im Intervall  $[x^-, x^+]$  vorliegt, kann auch geschrieben werden:

$$EU(a) = \int_{x^-}^{x^+} u(x) P'(x) dx \quad (2.8)$$

Zur Veranschaulichung des Erwartungsnutzenkonzeptes ist in Abbildung 6 eine konkave Risikonutzenfunktion dargestellt, die risikoaverses Verhalten widerspiegelt. Sei  $x$  eine Zufallsvariable, die zwei Werte  $\{x_1, x_2\}$  annehmen kann, und sei  $p$  die Wahrscheinlichkeit, dass  $x_1$  eintritt, sowie  $1-p$  die Wahrscheinlichkeit, dass  $x_2$  eintritt. Somit ist die erwartete Zielgröße  $E(x) = p \cdot x_1 + (1-p) \cdot x_2$ , die in Abbildung 6 auf der Abszisse als Linearkombination von  $x_1$  und  $x_2$  abgetragen ist. Der Erwartungsnutzen  $E(u) = p \cdot u(x_1) + (1-p) \cdot u(x_2)$  wird durch den Punkt C auf der Strecke  $AB$  bestimmt. Die Position von Punkt C auf der Sehne  $AB$  hängt von den Wahrscheinlichkeiten  $p$ ,  $(1-p)$  ab. Der konkave Funktionsverlauf impliziert, dass der Nutzen der erwarteten Zielgröße,  $u(E(x))$ , größer ist als der Erwartungsnutzen  $E(u)$ :

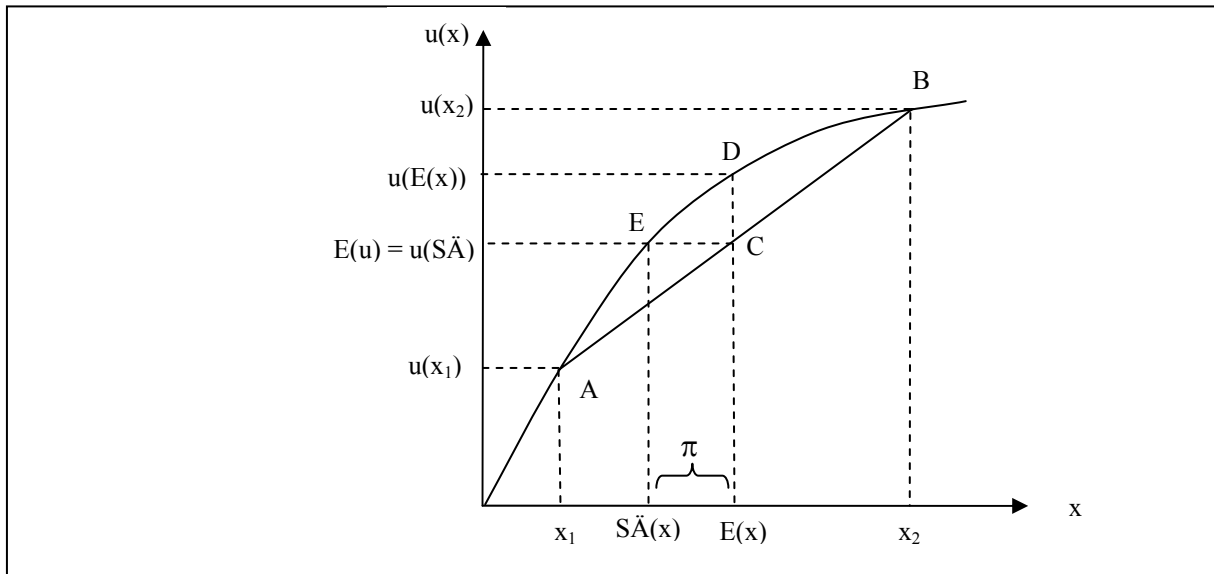
$$U(p \cdot x_1 + (1-p) \cdot x_2) > p \cdot u(x_1) + (1-p) \cdot u(x_2) \quad (2.9)$$

Dieser Zusammenhang stellt den abnehmenden Nutzen unter Risiko dar. Kann ein Entscheidungsträger zwischen zwei Alternativen wählen, bei der die eine ein Einkommen  $E(x)$  mit Sicherheit erreicht und die andere Alternative  $x_1$  oder  $x_2$  mit den

<sup>22</sup> Hierzu müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, die weiter unten erläutert werden.

<sup>23</sup> Dem Erwartungsnutzenkonzept liegt ein kardinaler Nutzenbegriff zugrunde. Der Nutzen wird auf einer Intervallskala gemessen, die frei wählbar ist.

Wahrscheinlichkeiten  $(p, 1-p)$  erreicht. Der Nutzen der ersten Alternative beträgt nach von Neumann und Morgenstern  $U(E(x)) = u(E(x))$ , da das Ereignis sicher ist. Der Nutzen der zweiten Alternative beträgt  $U(x_1, x_2; p, 1-p) = p \cdot u(x_1) + (1-p) \cdot u(x_2)$ . Die erwartete Zielgröße ist die gleiche bei beiden Alternativen. Wird ein risikoaverser Entscheidungsträger unterstellt, so würde er  $E(x)$  mit Sicherheit gegenüber  $E(x)$  unter Unsicherheit bevorzugen. In diesem Beispiel würde er also die erste Alternative gegenüber der zweiten bevorzugen. In Abbildung 6 ist dies als  $u(E(x)) > E(u)$  dargestellt.



**Abbildung 6: Risikonutzenfunktion, Erwartungsnutzen und Sicherheitsäquivalent**

Quelle: Brandes, Odening, 1992, S. 198

Eine weitere Möglichkeit, den abnehmenden Nutzen bei Risiko darzustellen, kann durch die Bestimmung des Sicherheitsäquivalents erfolgen. D.h. es wird eine dritte Alternative gesucht, die mit Sicherheit die Zielgröße  $S\ddot{A}(x)$  erreicht. Der Nutzen an dieser Stelle ist gleich dem Erwartungsnutzen der zufälligen Alternative:

$$u(S\ddot{A}(x)) = E(u) \quad (2.10)$$

Der Entscheidungsträger ist also indifferent zwischen dem sicheren Ergebnis  $S\ddot{A}(x)$  und  $E(x)$  mit Unsicherheit. Die Differenz zwischen beiden ist der maximale Betrag, den der Entscheidungsträger bereit ist zu zahlen, um eine risikolose Alternative zu erhalten. Diese Differenz wird als Risikoprämie bezeichnet:

$$\pi(x) = E(x) - S\ddot{A}(x) \quad (2.11)$$

Allgemein wird angenommen, dass die die Nutzenfunktion steigend und somit die erste Ableitung  $u'(x) > 0$  ist, d.h. ein höherer Gewinn stiftet auch einen höheren Nutzen. handelt es sich um eine konkave Nutzenfunktion (risikoscheuer Entscheidungsträger), so ist die zweite Ableitung  $u''(x) < 0$  und das Sicherheitsäquivalent liegt unterhalb vom Erwartungswert. Die Risikoprämie  $\pi$  ist also positiv (siehe Abbildung 6). Bei einer konvexen Nutzenfunktion (risikofreudigen Entscheidungsträger) ist die zweite Ableitung  $u''(x) > 0$ . Das Sicherheitsäquivalent ist für alle  $x$  größer als der Erwartungswert. Dementsprechend ist die Risikoprämie negativ. Ein risikoneutraler Entscheidungsträger wird durch eine linear steigende Nutzenfunktion abgebildet, so dass das Sicherheitsäquivalent dem Erwartungswert entspricht. Er ist also nicht bereit eine Risikoprämie zu zahlen, wenn er zwischen einer unsicheren Zahlung und deren (sicheren) Erwartungswert wählen kann.

Sowohl die erste als auch die zweite Ableitung stellen kein brauchbares Risikoaversionsmaß dar. Deshalb wurde von ARROW (1965, S. 94) und PRATT (1964, S. 122) unabhängig voneinander ein Maß für die „absolute Risikoaversion“ definiert<sup>24</sup>:

$$R(x) = \frac{-u''(x)}{u'(x)} \quad (2.12)$$

Dieses Maß für absolute Risikoaversion führt auf positive Werte für risikoscheue ( $u''(x) < 0$ ;  $u'(x) > 0$ ) und negative Werte für risikofreudige Entscheidungsträger ( $u''(x) > 0$ ;  $u'(x) > 0$ ). Je größer also  $R(x)$  ist, desto stärker ist die Risikoaversion. Dabei führt Risikoaversion zu typischen Absicherungsmaßnahmen wie z.B. Versicherungsabschlüsse, Absatzsicherung über Lieferverträge oder Risikostreuung durch Investmentfonds. Je nach Vorzeichen der ersten Ableitung des absoluten Risikoaversionskoeffizienten  $R'(x)$  lassen sich Nutzenfunktionen mit konstanter absoluter Risikoaversion ( $R'(x) = 0$ , Constant Absolute Risk Aversion (CARA)), steigender absoluter Risikoaversion ( $R'(x) > 0$ , Increasing Absolute Risk Aversion (IARA)) und sinkender absoluter Risikoaversion ( $R'(x) < 0$ , Decreasing Absolute Risk Aversion (DARA)) unterscheiden (ROBISON und BARRY; 1987, S. 33).

Eine CARA Nutzenfunktion wird durch eine negative Exponentialfunktion dargestellt (z.B.:  $u(z) = 1 - e^{-\beta z}$ ). Eine Konstante ( $\beta$ ) ist dann der absolute Risikoaversionskoeffizient. Dies bedeutet, dass die Risikoaversion eines Entscheidungsträgers nicht von seinem Vermögen abhängt. Deshalb wird die CARA Nutzenfunktion von einigen agrarökonomischen Studien

<sup>24</sup> Voraussetzung ist eine zweifach differenzierbare und streng monoton steigende Nutzenfunktion.

(POPE und JUST, 1991; CHAVAS und HOLT, 1996) abgelehnt. Eine IARA Nutzenfunktion impliziert, dass bei einem Entscheidungsträger bei steigendem Vermögen die Risikobereitschaft sinkt. Dies kann durch eine quadratische Nutzenfunktion ausgedrückt werden. Da das Verhalten, das einer IARA Nutzenfunktion entspricht, empirisch kaum nachgewiesen wurde, findet sich in der Literatur selten eine quadratische Nutzenfunktion. Landwirtschaftliche Entscheidungsträger folgen meist einer DARA Nutzenfunktion (CHAVAS und HOLT, 1996; SAHA ET AL., 1994). Bei steigendem Vermögen nimmt die Risikobereitschaft also zu.<sup>25</sup> Die DARA Nutzenfunktion kann durch eine Logarithmus- oder Potenzfunktion abgebildet werden.

Auf dem absoluten Risikoaversionsmaß aufbauend hat PRATT (1964, S. 122) einen approximativen Ausdruck<sup>26</sup> für die Risikoprämie  $\pi$  entwickelt:

$$\pi \approx \frac{1}{2} R(E(x)) \sigma^2 \quad (2.13)$$

Die Risikoprämie ist also die Hälfte des Produktes aus dem absoluten Risikoaversionskoeffizienten an der Stelle des Erwartungswertes und der Varianz  $\sigma^2$  der Ergebnisse. Durch Einsetzen von (8) in die nach dem Sicherheitsäquivalent umgeformte Formel (6) ergibt sich für dieses:

$$S\ddot{A} = E(x) - \pi = E(x) - \frac{1}{2} R(E(x)) \sigma^2 \quad (2.14)$$

Die Existenz von Nutzenfunktionen ist an bestimmte Bedingungen geknüpft, die meist Axiome genannt werden und als Grundannahmen rationalen Verhaltens angesehen werden.

Das Axiom der **vollständigen Ordnung** verlangt, dass beliebige Alternativen miteinander verglichen werden können und dass die Präferenzrelationen bezüglich der Alternativen transitiv sind:

Vollständigkeit: Für jedes Paar von Alternativen  $a, b \in A$  gilt:  $a \succeq b$  oder  $b \succeq a$ .

Transitivität: Für alle Alternativen  $a, b, c \in A$  gilt: Aus  $a \succeq b$  und  $b \succeq c$  folgt  $a \succeq c$ .

<sup>25</sup> Folgendes Beispiel verdeutlicht diesen Zusammenhang: eine Person, die 1 Mio. € besitzt ist eher bereit an einem Glücksspiel teilzunehmen, bei dem sie 100 € verlieren kann als eine Person, die nur 2000 € besitzt (MAKKI et al., 2004, S. 37).

<sup>26</sup> Sofern eine Normalverteilung vorausgesetzt wird, ist das Ergebnis exakt. Lediglich bei einer schiefen Verteilung von  $x$  ist das Ergebnis approximiert.

Das **Stetigkeitsaxiom** (Archimedische Axiom) postuliert, dass es für beliebige drei Alternativen  $a \succeq b \succeq c$  eine Wahrscheinlichkeit  $p$  geben muss, so dass

$$b \sim pa + (1-p)c .$$

Der Ausdruck  $pa + (1-p)c$  stellt eine zusammengesetzte Alternative dar, bei der die Alternative  $a$  mit der Wahrscheinlichkeit  $p$  und die Alternative  $c$  mit der Wahrscheinlichkeit  $1-p$  eintritt. Aus dem Stetigkeitsaxiom folgt, dass für jede Alternative  $b$ , die zwischen  $a$  und  $c$  liegt, immer eine Kombination von  $a$  und  $c$  gefunden werden kann, die genauso gut wie  $b$  ist.

Das **Unabhängigkeitsaxiom** besagt, dass wenn für zwei Alternativen  $a, b$  die Bedingung  $a \succeq b$  gilt, dann muss auch für alle Alternativen  $c$  and alle Wahrscheinlichkeiten  $p$  gelten, dass  $p \cdot a + (1-p) \cdot c \succeq p \cdot b + (1-p) \cdot c$ . Die Präferenz zwischen zwei Alternativen soll sich also nicht ändern, wenn beide Alternativen mit einer gleichen Alternative verknüpft werden. Da das Unabhängigkeitsaxiom dem Risikoentscheidungskalkül von von Neumann und Morgenstern seine besondere Ausprägung gibt und für das einfache, additive Modell des Erwartungsnutzenkonzepts verantwortlich ist, soll es an einem Beispiel erläutert werden (siehe Tabelle 2).

**Tabelle 2: Beispiel für das Unabhängigkeitsaxiom**

<b>a</b>		<b>b</b>		<b>c</b>		<b>r = 0,4a + 0,6c</b>		<b>s = 0,4b + 0,6c</b>	
p(a <sub>i</sub> )	a <sub>i</sub>	p(b <sub>i</sub> )	b <sub>i</sub>	p(c <sub>i</sub> )	c <sub>i</sub>	p(r <sub>i</sub> )	r <sub>i</sub>	p(s <sub>i</sub> )	s <sub>i</sub>
0,5	50	0,7	30	1	25	0,2	50	0,28	30
0,5	0	0,3	10			0,6	25	0,6	25
						0,2	0	0,12	5

Ein Entscheidungsträger bevorzugt die Alternative  $a = (50 \text{ €}, 0,5; 0 \text{ €}, 0,5)$  gegenüber der Alternative  $b = (30 \text{ €}, 0,7; 5 \text{ €}, 0,3)$ . Diese Präferenz muss weiterhin bestehen bleiben, wenn er die Alternativen  $a$  und  $b$  mit der Alternative  $c = (25 \text{ €}, 1)$  für beliebige Wahrscheinlichkeiten  $p$  mischt. Das Unabhängigkeitsaxiom ist auch als Substitutionsaxiom bekannt, da eine Alternative genau dann substituiert werden darf, wenn der Entscheidungsträger zwischen beiden Alternativen indifferent ist. Somit hat die Substitution keine Auswirkung auf die Präferenz des Entscheidungsträgers. Das Unabhängigkeitsaxiom ist die kritische Existenzvoraussetzung für eine Nutzenfunktion, da es hohe Anforderungen an

die Rationalität des Entscheidungsträgers stellt. Es ist daher verwunderlich, wenn Entscheidungsträger dieses Axiom intuitiv nicht verletzen.

Dieser Sachverhalt ließ das Erwartungsnutzenkonzept nicht ohne Kritik. So hat ALLAIS (1953) Beispiele geliefert, die das Unabhängigkeitsaxiom verletzen. Weiterhin scheint es unmöglich, Rationalität objektiv zu beschreiben, da rationales Entscheiden meist von subjektiven Vorstellungen abhängt. Ein weiterer Nachteil ist die mangelnde praktische Anwendbarkeit, die aus dem hohen Aufwand zur empirischen Bestimmung der Risikonutzenfunktion<sup>27</sup> resultiert. In Ermangelung alternativer Konzepte wird dennoch das Erwartungsnutzenkonzept in der Wissenschaft aufgrund seiner Einfachheit und Geschlossenheit anerkannt.

Bei konkreten anwendungsorientierten Problemen werden häufig eine oder mehrere statistische Parameter der Verteilungsfunktion einer unsicheren Handlungsalternative ausgewählt und miteinander verglichen.<sup>28</sup> Statistische Parameter können z.B. Erwartungswert, Varianz oder auch Perzentile sein, die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden. Dieses Vorgehen steht meist nicht im Widerspruch zur Anwendung des Erwartungsnutzenkonzepts und führt zur gleichen Rangfolge bei der Alternativenbewertung.

### 2.4.3 Verteilungsmomente

Das gebräuchlichste Mittel Risiken quantitativ darzustellen, ist die Angabe von Momenten bzw. Parametern der Wahrscheinlichkeitsverteilungen. In der Statistik werden die vier Momente Erwartungswert, Varianz, Schiefe und Kurtosis unterschieden. Mit Hilfe dieser vier Parameter kann jede begrenzte Verteilung hinreichend genau beschrieben werden (ANDERSON ET AL., 1977, S. 97). Wenn also Verteilungen nur mit Erwartungswert und Varianz charakterisiert werden, können sicher dahinter Verteilungen mit unterschiedlichen Schiefen und Kurtosen verbergen, die unterschiedliche Risikopotentiale implizieren.

Das erste Moment einer Verteilung ist der **Erwartungswert**  $E(Z)$ . Er wird aus der Summe der mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten  $P$  gewichteten Ergebnisse, die die Zufallsgröße  $z$  annehmen kann, gebildet. Für diskrete Zufallsgrößen mit der Menge aller möglichen Ergebnisse  $R$  ist der Erwartungswert folgendermaßen definiert:

$$E(Z) = \sum_{z \in R} z \cdot P(Z = z) \quad (2.15)$$

<sup>27</sup> Bei EISENFÜHR und WEBER (1994, S. 220 ff.) und VON NITZSCH (1996, S. 103 ff.) finden sich Methoden zur Ermittlung von Nutzenfunktionen.

<sup>28</sup> Solche Vergleiche werden meist in so genannten Risiko-Wert-Modellen dargestellt. Eines der bekannteren Modelle baut auf dem Erwartungswert-Varianz-Kriterium auf.

Bei stetigen Zufallsgrößen mit der Dichtefunktion  $f(z)$  ergibt sich:

$$E(Z) = \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot f(z) dz \quad (2.16)$$

Das zweite Moment einer Verteilung ist die **Varianz**  $Var(Z)$ . Sie wird auch als Streuungsparameter bezeichnet. Sie resultiert aus der mittleren quadratischen Abweichung der möglichen Realisationen einer Zufallsgröße vom Erwartungswert.

$$Var(Z) = E(Z - E(Z))^2 \quad (2.17)$$

Bei diskreten Verteilungen ergibt sich:

$$Var(Z) = \sum_{z \in R} (z - E(Z))^2 \cdot P(Z = z) \quad \text{bzw.} \quad Var(Z) = \sum_{z \in R} z^2 \cdot P(Z = z) - (E(Z))^2 \quad (2.18)$$

Bei einer stetigen Zufallsgröße berechnet sich die Varianz wie folgt:

$$Var(Z) = \int_{-\infty}^{\infty} (z - E(Z))^2 \cdot f(z) dz \quad \text{bzw.} \quad Var(Z) = \int_{-\infty}^{\infty} z^2 \cdot f(z) dz - (E(Z))^2 \quad (2.19)$$

Die jeweils an zweiter Stelle angegebene Formel, ergibt sich aus dem Verschiebungssatz (PODDIG ET AL., 2003, S. 50).

Die Varianz ist umso größer, je weiter die Realisationen vom Erwartungswert entfernt liegen. Durch die Quadrierung der Abweichungen erfahren große Abweichungen eine stärkere Gewichtung als kleine Abweichungen. Wenn alle Realisationen identisch sind, d.h. die möglichen Werte der Zufallsvariablen besitzen keine Streuung, so ist die Varianz gleich Null. Neben der Varianz werden in der Literatur noch weitere modifizierte Parameter von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die sich aus der Varianz ableiten lassen, zur Darstellung von Risiken genutzt.

Die Varianz hat den Nachteil, dass sie eine andere Dimension als die Zufallsvariable und der Erwartungswert besitzt. Deshalb wird häufig die Quadratwurzel aus der Varianz gezogen, um

die gleiche Dimension zu erhalten. Dieses Maß wird als Standardabweichung  $\sigma(Z)$  oder Streuung bezeichnet:

$$\sigma(Z) = \sqrt{\text{Var}(Z)} \quad (2.20)$$

Häufig werden aus pragmatischen Gründen nur die ersten beiden Verteilungsmomente zur Darstellung von Verteilungen genutzt, wobei die Varianz das Risikomaß angeben soll. Dieses Vorgehen ist jedoch problematisch, da eine normalverteilte Grundgesamtheit unterstellt wird. Zudem führt das Zusammenfassen von Wahrscheinlichkeit und Ausmaß der Abweichung dazu, dass häufigere kleine Abweichungen mit selteneren starken Abweichungen gleich bewertet werden. Im landwirtschaftlichen Bereich werden allerdings seltene größere Abweichungen als risikoreicher erachtet (FRANKEMÖLLE, 1984, S. 35).

Mit der Streuung kann kein Risikovergleich verschiedener stochastischer Größen erfolgen. So wird eine bestimmte Streuung bei einem niedrigen Erwartungswert ein höheres Risiko bedeuten als bei einem höheren Erwartungswert. Um diese Problematik zu umgehen, wird die Streuung zum Erwartungswert ins Verhältnis gesetzt. Dieser Quotient wird Variationskoeffizient genannt:

$$Vk = \frac{\sigma(Z)}{E(Z)} \quad (2.21)$$

Eine weitere modifizierte Form der Varianz stellt die Semivarianz dar. Sie wurde entwickelt, um der Kritik entgegen zu wirken, dass die Varianz als negative Abweichung von einem Zielwert und nicht als Gesamtabweichung, also als positive und negative Abweichung von einem Zielwert, angesehen wird. Die Semivarianz, die zu den Downside Risikomaßen gehört, unterscheidet sich nur geringfügig von der Varianz. So werden nur die negativen Abweichungen vom Erwartungswert berücksichtigt. Die positiven Abweichungen vom Erwartungswert werden außer Acht gelassen. Während die Summe in der empirischen Semivarianz nicht über alle, sondern nur über die Anzahl der negativen Abweichungen geht, werden für den Erwartungswert alle zur Verfügung stehenden Daten verwendet. Die Summe der quadrierten Abweichungen wird durch die Anzahl aller Abweichungen geteilt.

$$\text{Var}_{SV}(Z) = \left( \sum_{z \in R} 1 \right)^{-1} \cdot \sum_{z \in R^-} (z^- - E(Z))^2 \quad (2.22)$$



Einen Informationszuwachs bietet das Konzept der Semivarianz als alternative Risikoquantifizierung nur bei asymmetrischen Verteilungen. Im Falle von symmetrischen Verteilungen ist die empirische Semivarianz gerade halb so groß wie die Varianz.

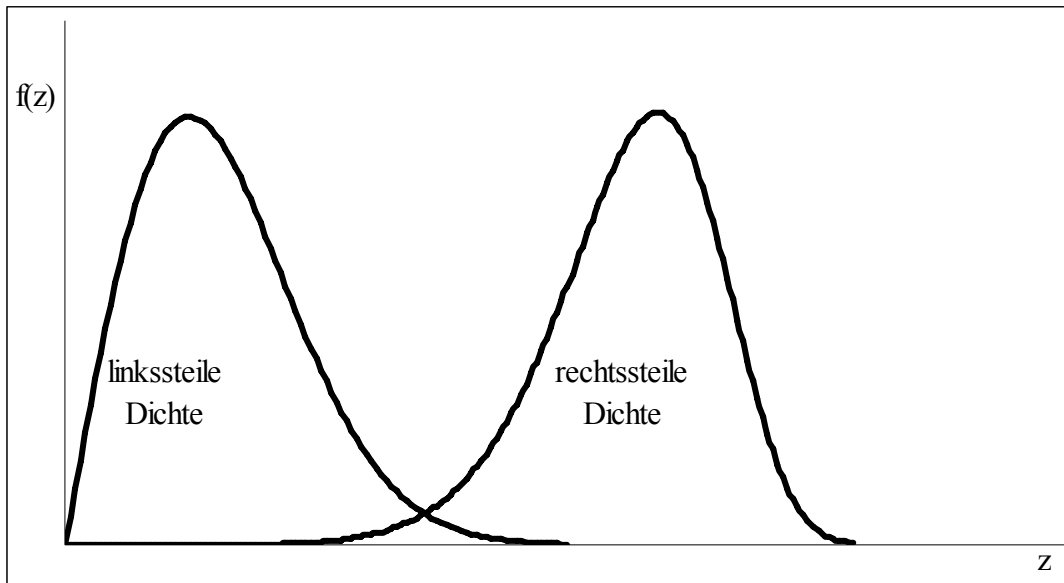
Da die Betrachtung von Erwartungswert und Varianz nur ausreichend ist, wenn es sich um Normalverteilungen handelt, müssen für andere Verteilungen weitere Verteilungseigenschaften betrachtet werden. Das dritte Verteilungsmoment ist die **Schiefe**. Sie gibt an, wie groß der Grad der Asymmetrie einer Verteilung ist. Normalverteilungen sind symmetrisch und haben daher einen Schiefewert von Null. Je weniger symmetrisch eine Verteilung ist, desto weniger ähnelt sie einer Normalverteilung und desto größer ist der Absolutbetrag der Schiefe:

$$\gamma = \frac{E((Z - E(Z))^3)}{\sigma^3} \quad (2.23)$$

Positive Werte von  $\gamma$  deuten auf eine rechtsschiefe bzw. linkssteile Verteilung hin, während negative Werte von  $\gamma$  eine linksschiefe bzw. rechtssteile Verteilung kennzeichnen (vgl. Abbildung 7). Handelt es sich bei der Dichtefunktion um eine Gewinnverteilung, so kann der Wert der Schiefe als Risikoparameter interpretiert werden. Rechtsschiefe Verteilungen weisen bei gleichem Erwartungswert ein geringeres Verlust-Risiko auf. Bei linksschiefen Verteilungen sind negative Extremwerte wahrscheinlicher als bei rechtsschiefen Verteilungen, bei denen positive Extremwerte wahrscheinlicher sind.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> Ein risikoaverser Entscheidungsträger würde also eine rechtsschiefe Gewinnverteilung bevorzugen.



**Abbildung 7: Linkssteile (rechtsschiefe) und rechtssteile (linksschiefe) Dichtefunktionen**

Nicht normalverteilte Dichten unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich ihrer Schiefe, sondern auch durch unterschiedliche Konzentrationen der Ereignisse um den Erwartungswert und an den Rändern. Darauf aufbauend gibt das vierte Moment einer Verteilung die Stärke der **Wölbung** (Kurtosis) einer Verteilung an:

$$W(Z) = \frac{E((Z - E(Z))^4)}{\sigma^4} \quad (2.24)$$

Durch das Potenzieren mit 4 werden große Abweichungen stärker gewichtet als kleine Abweichungen. Die Wölbung gibt also die Konzentration um den Mittelwert an. Die Wölbung der Normalverteilung hat den Wert 3. Liegt Kurtosis unterhalb von 3, so hat die betrachtete Dichte eine niedrigere Konzentration um den Erwartungswert als die Dichte einer Normalverteilung. Bei gleicher Varianz liegt das Maximum also unterhalb des Maximums einer Normalverteilung (siehe Abbildung 8). Entsprechend liegt das Maximum einer Dichte mit einer Kurtosis von größer 3 oberhalb des Maximums der Normalverteilung und liegt eine höhere Konzentration um den Erwartungswert vor.

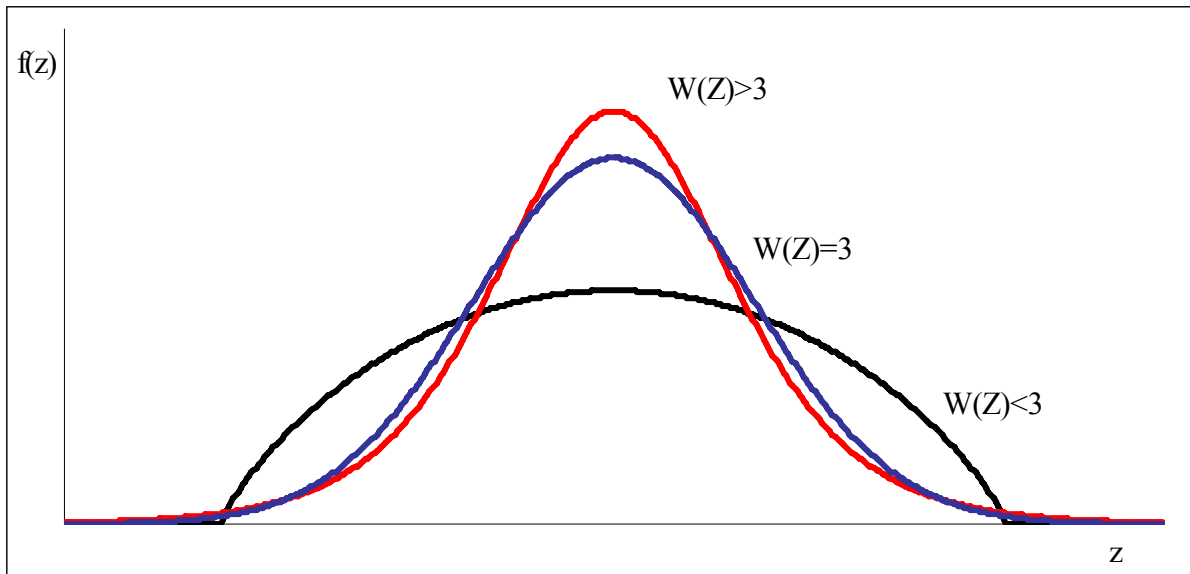


Abbildung 8: Dichtefunktionen mit unterschiedlichen Kurtosen

#### 2.4.4 Lower Partial Moments

Lower Partial Moments (LPM-Maße) gehören wie die Semivarianz zu den Downside Risikomaßen. Sie besitzen den Vorteil gegenüber anderen Risikomaßen, dass keine Annahme bezüglich der exakten Verteilung der Zufallsvariable vorausgesetzt werden muss. Im Unterschied zur Semivarianz, die die negativen Abweichungen vom Erwartungswert misst, erfassen die LPM-Maße die negativen Abweichungen von einem Zielwert oder Target. In Abbildung 9 ist der Zusammenhang dargestellt.  $z_T$  ist der Zielwert. Es wird also der grau markierte Bereich als Risiko interpretiert. Der obere Teil fließt nicht in die LPM-Maße mit ein.

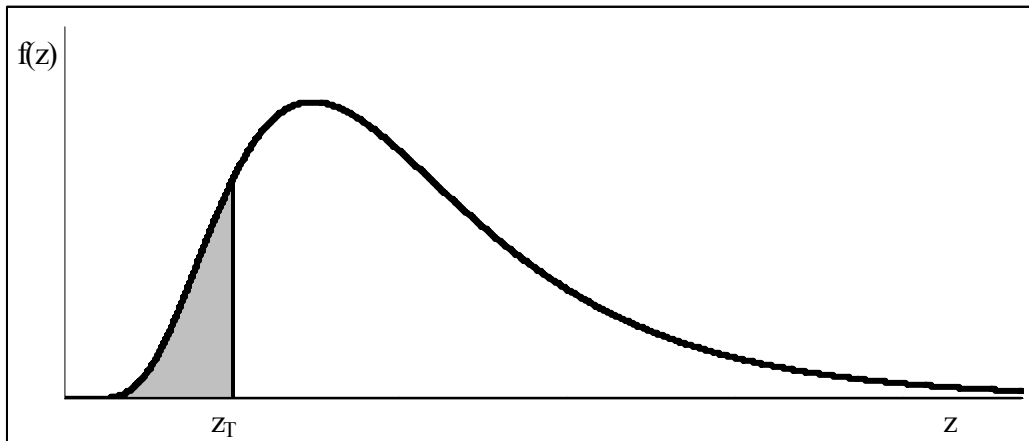


Abbildung 9: Dichtefunktion mit Zielwert

In der allgemeinen Form lautet ein LPM-Maß der k-ten Ordnung bei diskreten Zufallsvariablen:

$$LPM_k = \sum_{i=1}^{\tilde{n}} p_i \cdot (z_T - z_i^-)^k \quad (2.25)$$

Dabei ist  $z_T$  der Zielwert,  $z^-$  die Ereignisrealisation, die kleiner als der Zielwert ist,  $p_i$  die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Ereignisses  $z^-$ , und  $\tilde{n}$  ist die Anzahl der Ereignisse, die kleiner als der Zielwert sind. Für stetige Zufallsvariablen ergibt sich für die LPM-Maße:

$$LPM_k = \int_{-\infty}^{z_T} (z_T - z_i^-)^k \cdot f(z) dz \quad (2.26)$$

Das LPM-Maß der Ordnung null gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der der Zielwert unterschritten wird. Sie wird als Ausfallwahrscheinlichkeit bezeichnet, die bei diskreten Zufallsvariablen der Summe der einzelnen Wahrscheinlichkeiten entspricht, falls der Zielwert unterschritten wird:

$$LPM_0(z_T) = \sum_{i=1}^{\tilde{n}} p_i \cdot (z_T - z_i^-)^0 = \sum_{i=1}^{\tilde{n}} p_i \quad (2.27)$$

Bei stetigen Zufallsvariablen ist die Ausfallwahrscheinlichkeit gleich der kumulierten Wahrscheinlichkeit an der Stelle des Zielwertes:

$$LPM_0(z_T) = F(z_T) \quad (2.28)$$

Zwischen dem LPM-Maß 0-ter Ordnung und den Perzentilen einer Verteilung besteht eine reziproke Beziehung. Bei den Perzentilen wird eine Ausfallwahrscheinlichkeit und beim LPM 0-ter Ordnung wird ein Zielwert vorgegeben. Beide Ergebnisse sind ineinander überführbar. Das LPM-Maß 0-ter Ordnung bewertet nur die Anzahl der Ereignisse, die den Zielwert unterschreiten; die Größe der Abweichungen wird außer Acht gelassen. Diese finden Berücksichtigung in den LPM-Maßen erster und zweiter Ordnung. Sie beurteilen also auch, wie weit die Ereignisse unterhalb des Zielwertes liegen.

Das LPM-Maß erster Ordnung (Ausfallerwartung) gibt den bedingten Erwartungswert an, falls der Zielwert unterschritten wird:

$$LPM_1(z_T) = \sum_{i=1}^{\tilde{n}} p_i \cdot (z_T - z_i^-)^1 \quad (2.29)$$

Beim LPM-Maß zweiter Ordnung fließt die Größe der Abweichungen quadratisch ein. Große Abweichungen werden also stärker gewichtet als kleine Abweichungen:

$$LPM_2(z_T) = \sum_{i=1}^{\tilde{n}} p_i \cdot (z_T - z_i^-)^2 \quad (2.30)$$

Ein Sonderfall des LPM-Maß zweiter Ordnung stellt die Semivarianz dar, bei der der Zielwert dem Erwartungswert der gesamten Verteilung entspricht.

### 3 Wetterderivate

Wetterderivate stellen in der Literatur ein innovatives Finanzinstrument dar. Deshalb wird in diesem Kapitel das Konzept der Wetterderivate vorgestellt. Es wird erläutert, was ein Wetterderivat auszeichnet, aus welcher Notwendigkeit heraus sie entstanden sind und wie diese gegenüber Versicherungen abgegrenzt werden können. Abschließend werden exemplarisch die Voraussetzungen für die Wirksamkeit von Wetterderivaten erläutert. Anhand von Fallbeispielen wird die Funktionsweise von Wetterderivaten in der Landwirtschaft aufgezeigt.

#### 3.1 Grundlagen von Wetterderivaten

Ein Wetterderivat wird als ein Finanzinstrument definiert, dessen Auszahlung von der Entwicklung eines Wetterparameters bzw. von einem Wetterereignis abhängt. Allgemein wird ein Finanzinstrument, dessen Wert sich von einem anderen Wert, der so genannten Basisvariable, ableiten<sup>30</sup> lässt, als Derivat bezeichnet. Meist sind die Basisvariablen Preise von handelbaren Gütern, aber auch andere Basisvariablen sind möglich. So bezieht sich die Basisvariable eines Wetterderivates auf einen Wetterparameter wie z.B. Temperatur oder Niederschlag. Eine Besonderheit solcher Basisvariablen ist, dass sie „keinerlei Verbindung zu Finanz- oder Gütermärkten aufweisen“<sup>31</sup> (SCHIRM, 2001, S. 3). Generell ist ein Wetterderivat durch folgende Parameter bestimmt (nach CAO und WEI, 2002, S. 2):

- Die Basisvariable (Underlying), die ein Index auf Basis von bestimmten Wetterparametern oder einer Kombination von diesen darstellt.
- Der Derivattyp.
- Die Wetterstation, an der die Wetterparameter, die die Basisvariable bestimmen, gemessen werden.
- Die Laufzeit (Akkumulationsperiode), über die die Basisvariable akkumuliert wird oder der Durchschnitt gebildet wird.
- Der Strike (Strike Level) ist der Wert des Index, ab dem eine Auszahlung generiert wird.

---

<sup>30</sup> Lateinisch: derivare

<sup>31</sup> Diese Aussage steht allerdings im Widerspruch zur Aussage, dass der Geschäftserfolg vieler Wirtschaftssubjekte von Wetterparametern beeinflusst wird (MEYER, 2002, S. 28). Dieser wirkt sich wiederum auf den Kapitalmarkt aus.

- Die Tick Size gibt den zu zahlenden Geldbetrag je Indexpunkt an.
- Das Limit ist optional. Es beschränkt die Auszahlung bis zu / ab einem bestimmten Indexwert.
- Die Prämie, die je nach Derivattyp und -ausgestaltung für den Wetterkontrakt zu zahlen ist.

Im Folgenden werden die einzelnen Kontraktparameter näher spezifiziert.

### 3.1.1 Mögliche Basisvariablen

Prinzipiell kann jeder Wetterparameter als Basisvariable genutzt werden. Jedoch zeigt eine Studie von PricewaterhouseCoopers aus dem Jahr 2005, dass sich etwa 85 % aller Wetterkontrakte<sup>32</sup>, die nicht an der Börse gehandelt werden, auf die Temperatur beziehen. Bezogen auf das geschätzte Umsatzvolumen<sup>33</sup> inklusive der an der Börse gehandelten Wetterkontrakte sind dies sogar 98 %.<sup>34</sup> Die 17 befragten Unternehmen gaben der Studie zur Folge an, dass 4057 Kontrakte abgeschlossen wurden, wobei sich 1928 auf die Sommerperiode und 2129 auf die Winterperiode bezogen. An der Chicago Mercantile Exchange (CME) wurden mehr als drei Viertel der Kontrakte in der Winterperiode abgeschlossen (STELL, 2005).

Die beiden Basisvariablen, die in Wetterkontrakten am häufigsten unterlegt wurden, waren zwischen dem 1. April 2004 und dem 31. März 2005 die so genannten Heating Degree Days (*HDD*) mit 56 % und die Cooling Degree Days (*CDD*) mit 35 %. Die Entwicklung dieser beiden Temperaturindices hängt mit der Einschätzung des Energiebedarfs für Wohnraum zusammen. So wird in den USA angenommen, dass Verbraucher unterhalb einer Temperatur von 65° Fahrenheit<sup>35</sup> (F) ihre Heizungen einschalten und bei einer Temperatur oberhalb von 65° F Klimaanlage nutzen. Der Wert von 65° Fahrenheit muss nicht fix sein, sondern kann von Region zu Region unterschiedlich festgelegt werden. Ein *HDD* ist also definiert als die positive Differenz zwischen einer Referenztemperatur  $K$  und der Tagesdurchschnittstemperatur. Umgekehrt wird bei einem *CDD* die positive Differenz zwischen Tagesdurchschnittstemperatur und einer Referenztemperatur  $K$  gebildet. In der Regel werden die *HDD* bzw. *CDD* nicht nur für einen Tag, sondern für einen längeren

---

<sup>32</sup> Im Folgenden werden Wetterderivat und Wetterkontrakt synonym verwendet.

<sup>33</sup> Dies lag bei ca. 8,3 Mrd. US-Dollar.

<sup>34</sup> Dies liegt darin begründet, dass an der Börse bis jetzt nur standardisierte Wetterderivate mit der Temperatur als Basisvariable gehandelt werden.

<sup>35</sup> In Kanada, Europa und Asien wird die Temperatur in ° Celsius gemessen. Somit liegt hier die Referenztemperatur bei 18° C.

Zeitraum gebildet, d.h. die täglichen *HDDs* bzw. *CDDs* werden über eine Periode summiert (CORBALLY und DANG, 2002, S. 90):

$$HDD = \sum_{i=1}^n \max\left[0, K - \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2}\right] \quad (3.1)$$

$$CDD = \sum_{i=1}^n \max\left[0, \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} - K\right] \quad (3.2)$$

wobei  $i$  der erste Tag der Akkumulationsperiode und  $n$  der letzte Tag der Akkumulationsperiode ist. Das Konzept der Energy Degree Days (*EDD*) ist die Summe aus *HDDs* und *CDDs*. Die *EDD* können für Unternehmen interessant sein, die ihre Erlöse ganzjährig gegen kalte Sommer und warme Winter absichern wollen.

Problematisch beim Konzept der Degree Day Indices ist, dass Informationen verloren gehen, da durch die Festlegung einer Referenztemperatur beim *HDD* nur Temperaturen einfließen, die unterhalb der Referenztemperatur liegen, und beim *CDD* nur Temperaturen einfließen, die oberhalb der Referenztemperatur liegen.<sup>36</sup> Um den Informationsverlust zu verhindern, werden Average-Temperature Indices genutzt. Sie werden aus dem Mittelwert der Tagesdurchschnittstemperatur über eine Periode gebildet:

$$AT = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \quad (3.3)$$

Im Gegensatz zu den *HDDs*, *CDDs* und *EDDs*, die im Energiesektor weit verbreitet sind, kann das Konzept der Growing Degree Days (*GDD*) im landwirtschaftlichen Bereich Anwendung finden. Ein *GDD* wird gemäß Formel (3.2) berechnet. Die Referenztemperatur wird dort festgelegt, wo das Pflanzenwachstum<sup>37</sup> einsetzt. Der *GDD* vernachlässigt allerdings, dass die Pflanze bei zu hohen Temperaturen das Wachstum einstellt. Der modifizierte *GDD* berücksichtigt diesen Zusammenhang:

$$MGDD = \sum_i^n \min\left[\left(K_2 - K_1\right), \max\left[0, \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} - K_1\right]\right] \quad (3.4)$$

<sup>36</sup> „The concept of average temperature requires little explanation, whereas the concept of degree-days sometimes raises eyebrows.“ (DISCHEL, 2002, S. 9)

<sup>37</sup> Der *GDD* kann sich auch auf das Wachstum bzw. Vermehrung von Schadinsekten beziehen. Agrochemische Unternehmen könnten dadurch ihren Umsatz absichern (ENRONONLINE, 2001).



Dabei ist  $K_1$  die untere und  $K_2$  die obere Temperaturschwelle, ab der die Pflanze das Wachstum einstellt. Ein modifizierter  $GDD$  wird in Deutschland zur Bestimmung des Erntezeitpunktes bei Mais genutzt. Bei dieser Wärmesumme beträgt die untere Temperaturschwelle  $6^\circ\text{C}$  und die obere  $30^\circ\text{C}$  (KLEIN, 2005, o.S.).

Die Luftfeuchtigkeit kann ebenfalls zur Herleitung einer Basisvariablen genutzt werden. Mit steigender relativer Luftfeuchtigkeit verändert sich das Verhalten, so dass mehr Elektrizität für Klimaanlage benötigt wird, der Getränkeverbrauch steigt oder Freizeitaktivitäten eingeschränkt werden. Allerdings muss bei dieser Betrachtung die Temperatur berücksichtigt werden, denn nur bei hohen Temperaturen macht sich eine hohe Luftfeuchtigkeit bemerkbar. Daher wurde von der National Oceanic and Atmospheric Administration ein temperature-humidity index ( $THI$ ) entwickelt, der sich wie folgt berechnet (CHEN ET AL., 2003, S. 2):

$$THI = T - (0,55 - 0,55RF)(T - 58) \quad (3.5)$$

$RF$  ist die relative Luftfeuchtigkeit und  $T$  die Temperatur. Der  $THI$  wird manchmal auch als „discomfort“ oder misery“ Index bezeichnet (CORBALLY und DANG, 2002, S. 96).

Nach der Temperatur ist der Niederschlag der zweithäufigste Wetterparameter, der Wetterderivaten unterliegt. Gemessen an der Anzahl der Kontrakte werden etwa 7 % aller Wetterderivate auf Niederschlag bezogen. Der Anteil am geschätzten Umsatzvolumen beträgt ca. 2 %. Die Messung von Niederschlag ist komplex, da Niederschlag in sowohl flüssiger (Regen) als auch fester (Schnee, Hagel) Form vorkommen kann. Kommt Niederschlag in fester Form vor, so wird er in flüssige Niederschlagsäquivalente umgerechnet, indem er eingeschmolzen wird. Der Niederschlag wird in der Regel in Liter pro Quadratmeter oder in Millimeter gemessen.

Energieunternehmen zeigen wenig Interesse am niederschlagsbasierten Wettermarkt, da ein Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Niederschlag selten gegeben ist.<sup>38</sup> Es werden meist die Landwirtschaft und die Unterhaltungsbranche als potentielle Nutzer von

---

<sup>38</sup> Lediglich vom Elektrizitätswerk Dahlenburg ist bekannt, dass es ein niederschlagsbasiertes Wetterderivat im Jahr 2001 abgeschlossen hat. Es profitiert nämlich von trockenen Sommern, da viele Bauern mit Beregnungsmaschinen zu den Kunden zählen. Regnet es während der Anbauperiode ausreichend, so müssen die Bauern nicht beregnen und der Umsatz des Elektrizitätswerks geht zurück. Dies war das erste Wetterderivat in Deutschland, bei dem es zu einer Auszahlung kam (FINANCIAL TIMES DEUTSCHLAND, 2001).

niederschlagsbasierten Wetterderivaten genannt. Inwieweit dies für die deutsche Landwirtschaft zutrifft, wird ausführlich in Kapitel 4 behandelt.

Wintersportgebiete benötigen eine ausreichende Schneehöhe, um ideale Skibedingungen zu bieten. Ein Schneefallindex könnte ihre Umsätze stabilisieren. Demgegenüber gibt es Unternehmen wie z.B. Flughäfen, die von wenig oder keinem Schnee profitieren, da dadurch das Reinigen der Start- und Landebahn entfällt.

Durch die Förderung von alternativen Energien sind vor allem in Deutschland viele Windenergieparks entstanden. Diese sind natürlich stark vom Wind bzw. von der Windstärke abhängig. Bei Windstille drehen sich nicht die Windräder und es wird kein Strom erzeugt. Windbasierte Wetterderivate können die durch den Wind induzierten Erlösschwankungen ausgleichen. Jedoch können sie einen ungeeigneten Windradstandort nicht verbessern. Problematisch ist hier wiederum die Messung der Windstärke, da die Windverhältnisse lokal recht unterschiedlich sein können.<sup>39</sup>

Neben den Windparks sind durch das Erneuerbare Energie Gesetz auch Solaranlagen gefördert worden. Hier kann analog zum Wind die Sonneneinstrahlung als Basisvariable genutzt werden. Sie wird in kW/m<sup>2</sup> gemessen. Die beiden letztgenannten Wetterparameter, Wind und Sonneneinstrahlung, können für die Landwirtschaft von Bedeutung sein, da viele landwirtschaftliche Unternehmer in Windräder und Solaranlagen investiert haben.

Die hier vorgestellten möglichen Basisvariablen haben die größte Bedeutung von bis jetzt abgeschlossenen Wetterderivaten. Selbstverständlich sind auch weitere Wetterparameter oder eine Kombination aus mehreren Wetterparametern wie beim *THI* möglich. Diese stellen allerdings eher exotische Basisvariablen dar, die nur in individuell ausgehandelten Kontrakten vorkommen.

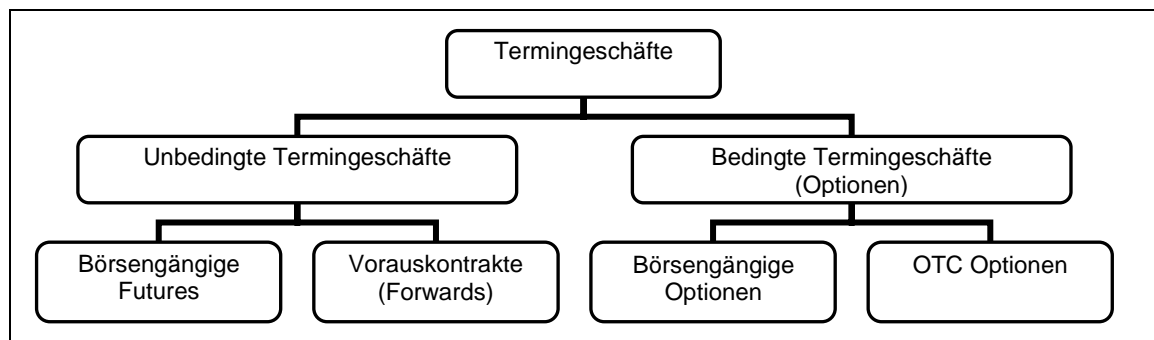
### 3.1.2 Derivative Instrumente

Bei Finanzinstrumenten handelt es sich vorwiegend um Termingeschäfte, die dadurch gekennzeichnet sind, dass der Verkauf eines Gutes oder Rechts zum gegenwärtigen Zeitpunkt vereinbart und später zu den bei Vertragsabschluß vereinbarten Konditionen ausgeführt wird. Sind weitere Bedingungen an ein Termingeschäft geknüpft, wird von einem unbedingten

---

<sup>39</sup> Die EUROWIND GMBH (2006) berechnet deshalb über ein dreidimensionales Strömungsmodell für jeden Standort einen speziellen Windindex.

Termingeschäft gesprochen (vgl. Abbildung 10). Sie kommen auf jeden Fall zustande, sofern sie vorher nicht annulliert werden oder eine Vertragsseite ihren Verpflichtungen nicht nachkommen kann. Bedingte Termingeschäfte sind Optionsgeschäfte, bei denen ein Recht verkauft wird. Dieses Recht kann der Käufer einlösen; er muss es jedoch nicht. Entwickelt sich die Basisvariable zu seinen Ungunsten, so wird er sein Recht nicht einlösen.



**Abbildung 10: Systematik von Termingeschäften**

Termingeschäfte können entweder am organisierten Markt (Börsenhandel) oder Over The Counter (OTC) stattfinden. An der Börse werden standardisierte Kontrakte gehandelt. Auf deren Ausgestaltung haben die beiden Vertragsparteien im Einzelfall keinen Einfluss. OTC-Geschäfte sind weniger reguliert. Käufer und Verkäufer können die einzelnen Kontraktparameter selbst festlegen. Unbedingte Termingeschäfte lassen sich also noch mal in an der Börse gehandelte Futures und frei gestaltbare Vorauskontrakte (Forwards) unterteilen. Bei bedingten Termingeschäften wird ebenfalls zwischen börsengängigen und OTC Optionen unterschieden.

Wetterderivate werden überwiegend am OTC-Markt gehandelt. Für Degree-Day Derivate gibt es in den USA seit 1999 an der Chicago Mercantile Exchange einen institutionalisierten Handel mit wachsenden Umsatzzahlen. An der London International Future and Financial Exchange (LIFFE) wurden eine Zeit lang Wetterindices notiert. Dieser Service ist mittlerweile wieder eingestellt worden.

Etwa 75 % aller abgeschlossenen Wetterkontrakte gehören zu den bedingten Termingeschäften. Die restlichen 25 % sind unbedingte Termingeschäfte, die häufig in Form von Swaps auf bilateraler Ebene abgeschlossen werden.

### 3.1.2.1 Bedingte Termingeschäfte

Allgemein befinden sich Käufer und Verkäufer bei einem Optionsgeschäft in folgender Situation: Der Käufer (long position) erwirbt ein Recht und zahlt dafür eine Prämie. Der

Verkäufer (Schreiber, Stillhalter, short position) übernimmt eine Pflicht und erhält dafür die Prämie. Nach dem Inhalt dieses Rechts unterscheidet man zwischen zwei Grundtypen von Optionen: Bei der **Call-Option** (Kaufoption) erwirbt der Käufer das Recht auf den Kauf einer Basisvariable zu einem bestimmten Preis (Basispreis, strike price) an einem bestimmten Verfalls- bzw. Fälligkeitsdatum. Bei der **Put-Option** (Verkaufsoption) hingegen erwirbt der Käufer das Recht auf den Verkauf eines Underlyings zu einem bestimmten Preis (Basispreis, strike price) an einem bestimmten Fälligkeitsdatum.

Der Käufer einer Call-Option sichert sich gegen steigende Kurse eines Basisobjekts ab, das er in Zukunft erwerben möchte. Liegt der Kurswert über dem Basispreis, wird die Option ausgeübt. Demgegenüber bietet die Put-Option eine Absicherung gegen sinkende Kurse eines Basisobjekts, das zu einem künftigen Zeitpunkt verkauft werden soll. In diesem Fall wird die Option ausgeübt, wenn der Kurswert unter den Basispreis fällt. In beiden Fällen bildet die Differenz zwischen dem Marktpreis und dem Basispreis die Auszahlung (Payoff) des Optionsgeschäfts.

Wetterderivate besitzen als Basisvariable die oben beschriebenen Witterungskennwerte. Da Witterungsvariablen keine Vermögensgegenstände darstellen, sind sie weder lager- noch handelbar und deshalb als vergleichsweise exotische Basisvariablen einzustufen (SCHIRM, 2000, S. 722). Gleichwohl sind diese Größen objektiv messbar, so dass die Payoffs von Derivaten an ihre Realisation geknüpft werden können.

Aus der Kombination der genannten Optionstypen Call und Put mit den möglichen Positionen Long bzw. Short resultieren die klassischen Grundpositionen Long/Short Call sowie Long/Short Put. Deren Auszahlungsstrukturen zum Ausübungszeitpunkt der Option sind in Abbildung 11 wiedergegeben, wobei die Positionen Long und Short jeweils diejenigen des Käufers bzw. des Schreibers der Option widerspiegeln.  $K$  markiert den Strike Level, der konzeptionell dem Basis- oder Ausübungspreis bei Optionen auf klassische Basisobjekte (z.B. Aktien) entspricht.  $P$  ist die zu entrichtende Prämie bzw. der Preis der Option.

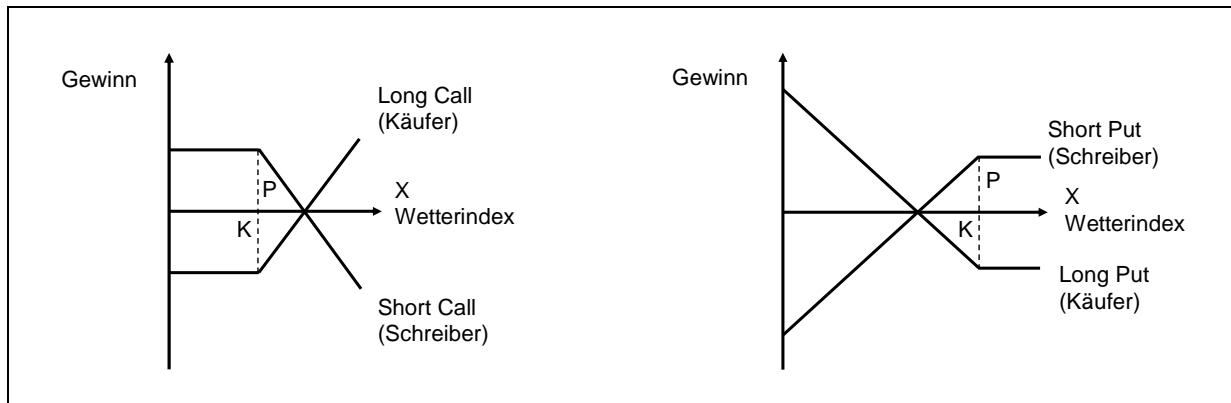


Abbildung 11: Auszahlungsstrukturen einer Put- und einer Calloption

Zur Ermittlung der Höhe des Payoffs wird die positive Differenz zwischen dem zum Ausübungszeitpunkt realisierten Wert des Wetterindex  $x$ , der in Analogie zu Finanzderivaten als Kurs des Basisobjekts interpretiert werden kann, und dem Strike Level  $K$  bestimmt. Diese wird mit der Größe  $V$  multipliziert, die üblicherweise als Tick Size bezeichnet wird und dem Geldbetrag je Indexpunkt entspricht. Subtrahiert man hiervon die Prämie  $P$ , so erhält man den Gewinn (Verlust) aus dem Optionsgeschäft. Für den Käufer (Long Position) einer Call-Option beträgt demnach der Gewinn:

$$G_C^L(V, x, K) = V \cdot \text{Max}[0, (x - K)] - P \quad (3.6)$$

Für die Put-Option beläuft sich dieser auf:

$$G_P^L(V, x, K) = V \cdot \text{Max}[0, (K - x)] - P \quad (3.7)$$

Der Gewinn der korrespondierenden Short Positionen ergibt sich symmetrisch dazu:

$$G_C^S(V, x, K) = -V \cdot \text{Max}[0, (x - K)] + P \quad (3.8)$$

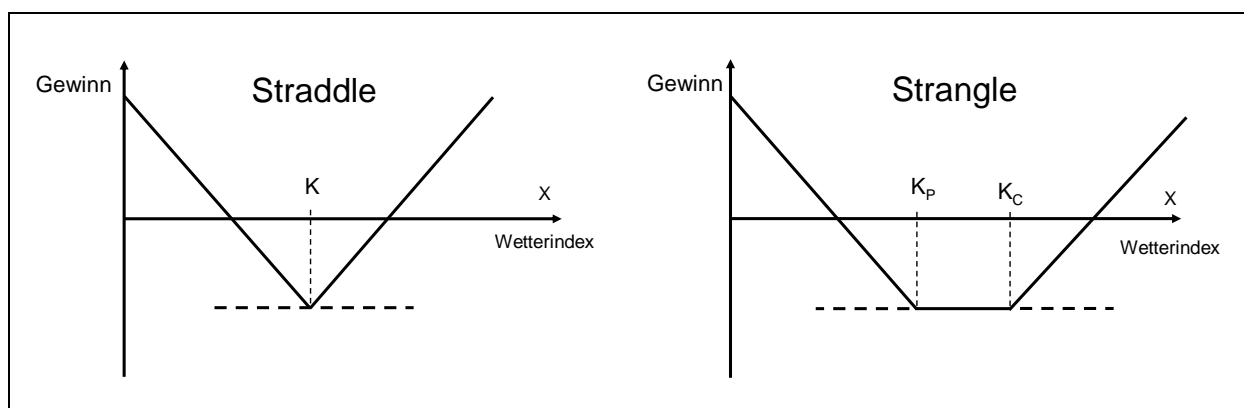
$$G_P^S(V, x, K) = -V \cdot \text{Max}[0, (K - x)] + P \quad (3.9)$$

In der Landwirtschaft führen extreme Witterungsverläufe (z.B. sehr niedrige und sehr hohe Niederschlagsmengen) zu Ertragseinbußen, Daher bieten sich für diesen Bereich Kombinationen aus Put- und Call-Optionen auf dieselbe Basisvariable an. Abbildung 12

kennzeichnet die Auszahlungsstruktur derartiger Konstrukte aus der Sicht des Käufers.<sup>40</sup> Die Kombination einer Put- und einer Call-Option mit gleichem Strike Level ( $K$ ) und gleicher Laufzeit wird **Straddle** genannt. Dabei kommt es immer dann zu einer Auszahlung, wenn der Wert des Index zum Ausübungszeitpunkt vom Strike Level  $K$  abweicht. Die Höhe des Ausgleichs errechnet sich durch Multiplikation des Absolutbetrags der Indexabweichung  $|K-x|$  mit der Ticksizze  $V$ . Unter Berücksichtigung der Optionsprämie  $P$  ergibt sich der Gewinn des Straddle demzufolge als

$$G_{SD}^L(V, x, K) = V \cdot |K - x| - P \quad (3.10)$$

Unter der Annahme, dass der Strike Level  $K$  die Ausprägung des Index (z.B. die Niederschlagssumme in der Wachstumsperiode) wiedergibt, bei welcher der höchste Ertrag zu erwarten ist, führen Abweichungen nach oben und unten zu Mindererträgen. In diesem Fall erhält der Käufer des Straddle für die geringeren Erträge einen Ausgleich durch die Auszahlung aus dem Kontrakt, und zwar bei niedrigen Indexwerten durch die Put-Option und bei hohen Indexwerten durch die Call-Option des Konstrukts. Der Preis für die so erreichte Verminderung der Variabilität des Umsatzes ist die zu entrichtende Optionsprämie  $P$ .



**Abbildung 12: Auszahlungsstruktur eines Straddle und eines Strangles**

Führen nur extreme Ereignisse (z.B. starke Trockenheit bzw. sehr hohe Niederschläge) zu Ertragseinbußen, so kann dies durch Kombination einer Put- und einer Call-Option mit gleicher Laufzeit aber unterschiedlichen Strike Levels berücksichtigt werden. Ein solches Konstrukt, bei dem der Strike Level für die Call-Option ( $K_c$ ) höher ist als der für die Put-

<sup>40</sup> Für einen Überblick über die verschiedenen Derivattypen und handelsstrategien vgl. HULL (2003, S. 185 ff.).

Option ( $K_p$ ), bezeichnet man als **Strangle** (vgl. Abbildung 12). Seine Auszahlungsstruktur lässt sich formal folgendermaßen kennzeichnen:

$$G_{sg}^L(V, x, K_p, K_c) = V \cdot (Max[0, (K_p - x)] + Max[0, (x - K_c)]) - P \quad (3.11)$$

Liegt der Indexwert zum Ausübungszeitpunkt zwischen  $K_p$  und  $K_c$ , so erfolgt keine Auszahlung. Bei Indexwerten unterhalb  $K_p$  und oberhalb  $K_c$  errechnet sich die Auszahlung durch Multiplikation der Abweichung vom betreffenden Strike Level mit der Ticksiz  $V$ . Das Konstrukt des Strangle eignet sich vor allem, um nichtlineare Zusammenhänge zwischen Ertrag und Wetterindex zu erfassen.

### 3.1.2.2 Unbedingte Termingeschäfte

Die meisten unbedingten Termingeschäfte werden in Form eines Swaps abgeschlossen. Ein Swap ist eine Vereinbarung zwischen zwei Unternehmen, zu einem zukünftigen Zeitpunkt Zahlungsströme auszutauschen. D.h. abhängig vom Strike und dem am Ende der Vertragslaufzeit realisierten Indexwert leistet entweder die eine oder die andere Partei eine Auszahlung. Die Ausgleichszahlung eines Swaps ergibt sich aus der Differenz zwischen dem vereinbarten Strike  $K$  und dem realisierten Indexwert, die mit der Tick Size  $V$  multipliziert wird. Bei einem Swap wird nicht zwischen Käufer und Verkäufer unterschieden, sondern zwischen der Long Position und der Short Position. Die Auszahlungsstruktur für beide Positionen sieht folgendermaßen aus:

$$G_s^L(V, x, K) = V \cdot (K - x) \quad (3.12)$$

$$G_s^S(V, x, K) = V \cdot (x - K) \quad (3.13)$$

Vorstellbar ist ein Swap zwischen einem Eiskremproduzenten und einem Reiseunternehmen. Bei hohen Temperaturen im Sommer wird mehr Eis konsumiert, was den Umsatz des Eisproduzenten positiv beeinflusst, wohingegen bei niedrigen Temperaturen der Umsatz zurückgeht und mehr Reisen gebucht werden. Dies wirkt sich positiv auf den Umsatz des Reiseunternehmens aus. Nun müssen sich beide Unternehmen auf eine Basisvariable festlegen. Dies kann z.B. die Durchschnittstemperatur von Mai bis August sein. Der Strike, ab

dem eine Auszahlung stattfindet, wird auf 15 °C festgelegt. Der Swap aus der Sicht des Eiskremproduzenten ist schematisch in Abbildung 13 dargestellt.

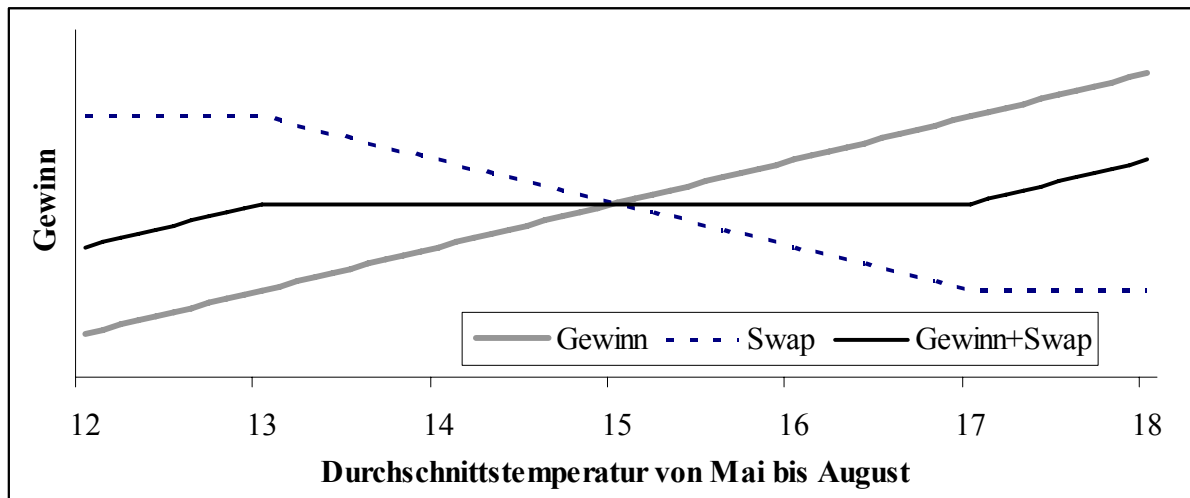


Abbildung 13: Gewinnfunktion mit und ohne Swap

Beide Unternehmen haben sich auf ein unteres Limit von 13°C und ein oberes Limit von 17°C geeinigt. Liegt die realisierte Durchschnittstemperatur von Mai bis August zwischen 13 und 15°C, so zahlt das Reiseunternehmen an den Eiskremproduzenten den Betrag der Abweichung vom Strike multipliziert mit der Tick Size. Umgekehrt verhält es sich, wenn die realisierte Durchschnittstemperatur zwischen 15 und 17°C liegt. In diesem Fall erhält das Reiseunternehmen den Betrag der Abweichung vom Strike multipliziert mit der Tick Size.

### 3.2 Marktüberblick

Wetterderivate gehören zu den neuen alternativen Risikotransferinstrumenten. Ähnlich den Feuerversicherungen, die nach dem großen Londoner Brand von 1666 aufgekommen sind (SHILLER, 2003, S. 30), wurden Wetterderivate infolge der Strommarktliberalisierung in den USA im Jahre 1996 eingeführt<sup>41</sup> (AQUILA, 2000; CLEMMONS et al, 1999; S. 179). Durch die daraus resultierende Orientierung zum Shareholder value mussten Energiekonzerne von dieser Zeit an ihre Unternehmensstrategie neu ausrichten. Wetterderivate wurden aufgrund der Temperatursensitivität des Energieverbrauchs zur Mengenabsicherung genutzt. Dadurch konnten die temperaturbedingt schwankenden Umsätze abgesichert werden. Die ersten

<sup>41</sup> Häufig wird auch der September 1997 als Termin der ersten bekannt gewordenen Transaktion angeführt (ELLITHORPE und PUTNAM, 1999, S.166; KIM, 2000; SCHIRM, 2001, S. 9; TIGLER u. BUTTE, 2001, S.2; BECKER und HÖRTER, 1998, S.701), während andere Quellen den Beginn ins Jahr 1996 legen (VB INVESTMENTBANK AG 2002).



Wetterderivate waren individuelle OTC Vereinbarungen. Die ersten börsennotierten Wetterderivate wurden am 22. September 1999 an der Chicago Mercantile Exchange (CME) gehandelt. Der erste Handelsplatz in Europa für standardisierte Wetterderivate startete am 10. Dezember 2001 an der London International Financial and Future Exchange (LIFFE). Dort wurden Wetterindices, die auf Durchschnittstemperaturen für die Städte London, Berlin und Paris, notiert. Durch die Übernahme der LIFFE durch die Euronext wurde die Notierung dieser Indices eingestellt. Zurzeit werden fünf temperaturbasierte Wetterindices für Frankreich angeboten. Es ist geplant, die Wetterindices für die Niederlande und später für ganz Europa anzubieten (EURONEXT, 2006).

Etwa zwei Drittel aller nicht an der CME gehandelten Wetterkontrakte werden in Nordamerika abgeschlossen, der Rest entfällt auf Asien und Europa. Andere Regionen spielen keine Rolle.

Bis heute sind **Energieunternehmen** auf der Anbieterseite die Hauptakteure am Wetterderivatmarkt geblieben. Führende Energieunternehmen gelten als „market-maker“. **Versicherungen** und **Rückversicherungen** fungieren immer stärker als Wetterrisikoträger, um ihre Funktion als Risikovermittler zu festigen (CORBALLY und DANG, 2002b, S. 56). Dieses Vorgehen steht im Einklang mit ihrem klassischen Versicherungsgeschäft, bei dem sie nach einer Diversifikation ihres Risikoportfolios streben. **Banken** treten ebenfalls zunehmend am Wetterrisikomarkt auf. Ihr Auftreten am Wetterrisikomarkt kann als Marketingaktivität gewertet werden, um mit den Endverbrauchern Überkreuzgeschäfte zu tätigen. Mit zunehmender Liquidität des Wetterderivatmarktes werden **Spekulanten** angezogen, die die Shortposition eines Wetterkontraktes eingehen. Sie hoffen auf eine für sie günstige Entwicklung des Wetterindex. In gleicher Weise können Unternehmen beliebiger Sektoren am Wetterderivatmarkt auftreten, um das Risiko ihres Portfolios zu reduzieren. SCHIRM (2001, S. 19) unterscheidet dabei drei Fälle:

Die Korrelation zwischen der Rendite des Wetterderivats und des Unternehmensportfolios beträgt genau Null. Durch den Diversifikationseffekt ist eine deutliche Risikoreduktion des Unternehmensportfolios zu erwarten.

Im Falle einer positiven Korrelation verringert sich der Diversifikationseffekt gegenüber dem ersten Fall. Bei einer schwachen Korrelation würde sich trotzdem das Portfoliorisiko geringfügig verringern.

Eine negative Korrelation erhöht den Diversifikationseffekt in Relation zur Korrelation von Null.

Aus der historischen Entwicklung im Energiesektor sind noch immer ca. 90 % aller gehandelten bzw. abgeschlossenen Wetterkontrakte temperaturbezogen. Der Markt öffnet sich allerdings zunehmend für andere Bereiche. So gaben die in einer Studie von PricewaterhouseCoopers (Stell, 2005) befragten Anbieter von Wetterderivaten an, dass 69 % der Anfragen für Wetterderivate aus dem Energiesektor, 7 % aus der Landwirtschaft, 5 % aus dem Handel, 4 % aus der Bauwirtschaft und 2 % aus dem Transportwesen kommen.<sup>42</sup> Tabelle 3 zeigt einen Überblick über Fallstudien zu Wetterderivaten bzw. bereits abgeschlossenen Wetterkontrakten.

Wie der Tabelle 3 zu entnehmen ist, finden sich in der Literatur bereits viele verschiedene Anwendungsmöglichkeiten von Wetterderivaten in der Landwirtschaft, jedoch ist von den wenigsten Fallstudien ein tatsächlich abgeschlossener Kontrakt bekannt. In Kapitel 3.6 wird noch einmal genauer auf die verschiedenen Fallstudien zu Wetterderivaten in der Landwirtschaft eingegangen.

---

<sup>42</sup> Die restlichen 13 % entfallen auf andere Sektoren.

**Tabelle 3: Wettereinflüsse auf verschiedene Branchen**

Geschäftsbereich und Wettereinfluss	Kontrakt <sup>43</sup>	Quelle
<b>ENERGIEWIRTSCHAFT</b>		
Energieversorger: Stromnachfrage für Heizung bzw. Klimaanlage ist temperaturabhängig	Ja, z.B. Enron, Aquila, Bewag, Elektrizitätswerk Dahlenburg	ELLITHORPE u. PUTNAM, 1999; JAIN u. FOSTER, 2000 u.a.
Gaswerke: Warmer Winter mindert Nachfrage	Ja	ESSER, 2000 JENKIN u. IVES, 2002
Wasserkraftwerke: Langanhaltende Trockenheit senkt Wasserstand	Ja	BRADFORD, 2001
Windparks: Ohne Wind keine Stromerzeugung	n.b.	PRIERMEIER, 2003
<b>LANDWIRTSCHAFT</b>		
Allgemein: Trockenschäden bei Feldfrüchten; Auswinterung bei starkem Frost	n.b.	SKEES, 2000 ENRONONLINE, 2001
Obstbau: Bienenflug zur Blüte ist temperaturabhängig; Verregnen/erfrieren der Blüten; ausreichende Anzahl an Vernalisationstagen nötig	n.b.	DISCHEL, 2001 Guaranteedweather.com BYRNE u. BACON
Geflügelwirtschaft: Hohe Abgangsraten bei extremer Sommerhitze	n.b.	Raiffeisen.com News, 18.09.2003
Milchproduktion: Abfall der Milchleistung bei Hitzestress	n.b.	Chen et al., 2003
Bewässerungswirtschaft: Ausbleibender Winterregen lässt Grundwasserspiegel absinken	n.b.	AGARWAL, 2002
Weinbau: Sonniger Spätsommer lässt Oechslegrade steigen	n.b.	JAIN u. FOSTER, 2000
Grünland: Aufwuchs ist stark vom Niederschlag abhängig	Ja, Agricultural Financial Services Corp. in Kanada	STOPPA u. HESS, 2003, MEYER, 2002
Gartenbau: Heizenergiebedarf in Gewächshäusern absichern	n.b.	ASSELDONK u. LANSINK, 2002; SCHMITZ u. STARP, 2004
Ernteversicherung: Ungünstiges Wetter führt zu Mindererträgen, Versicherer nützt Wetterderivat zur Rückversicherung	Ja, Agroasemex in Mexiko	Stoppa u. Hess, 2003
Agrarchemie: Wetterverlauf bestimmt Schädlingspopulation	n.b.	MEYER, 2002
<b>GETRÄNKE &amp; NAHRUNGSMITTELINDUSTRIE</b>		
Brauereien: Biernachfrage ist bei warmen Sommer größer	n.b.	SZ Nr.163, 18.07.2003
Speiseeisproduzenten: Absatz steigt mit der Temperatur	n.b.	TIGLER u. BUTTE, 2001
Kartoffelverarbeitung: Verarbeiter müssen bei Unterlieferung in Folge von ungünstigem Wetter Kartoffeln zukaufen	n.b.	MEUWISSEN, ASSELDONK u. HUIRNE, 2002
<b>TEXTILWIRTSCHAFT/EINZELHANDEL</b>		
Bade- und Sommermode: Bei kühlem Wetter in Mai/Juni geringer Absatz	n.b.	ADETUNJI, 2003
Winterjacken: Bei warmen „Vorweihnachtswetter“ geringe Nachfrage	n.b.	
<b>BAUWIRTSCHAFT</b>		
Anlagenbau: Frosttage verhindern termingerechte Fertigstellung	Ja	CONNORS, 2003
<b>TOURISMUS und FREIZEIT</b>		
Ost-/Nordseebäder: Profitieren von Warmen Sommer in Deutschland	n.b.	
Mittelmeerranrainer: Profitieren von kaltem Sommer in Deutschland	n.b.	
Skigebiete: Benötigen ausreichend Schnee bzw. Kälte, da bei > 0° C auch kein Kunstschnee	n.b.	
Freizeitparks: Bei Regen weniger Besucher	n.b.	
Golfclub: Bei Regen kein Betrieb	Ja	SACHS u. TROST, 2002
Schwimmbäder: An Sonntagen mehr Besucher, Umsatzrückgang bei Regen	n.b.	AUER, 2003
<b>GASTRONOMIE</b>		
Volksfeste, Open Air Events: Bei kühlem Regenwetter bleiben Besucher aus	Ja, z.B. Münchner Oktoberfest	ESSER, 2001
Gaststätten: Bei kühlem Regenwetter bleiben Besucher aus	Ja, Pub-Kette in GBR	ALDRED, 2000 u. 2001
<b>SONSTIGE</b>		
Fluglinien: Wetterbedingte Verspätungen, Kosten für Schneeräumen und Tragflächenenteisung	n.b.	MEYER, 2002
Spediteure: Straßenverhältnisse, insb. Schnee und Eis verhindern Termineinhaltung	n.b.	MEYER, 2002
Kommunen: In schneereichen Wintern erhöhte Räumungskosten	n.b.	AUER, 2003
Kfz-Versicherungen: Höhere Schadensquote bei Regen, Schnee und Eis	n.b.	MEYER, 2002
Fernsehsender: Zuschauerzahl sinkt bei sonnigem Wetter	n.b.	ROTT u. SCHMITT, 2000

<sup>43</sup> n.b. = Vertragsabschluss nicht bekannt

### 3.3 Abgrenzung von Wetterderivaten gegenüber Versicherungen

Allgemein dienen Versicherungen dem Versicherungsnehmer dazu, bestimmte Risiken, denen er ausgesetzt ist, mit einem größeren Kollektiv von Versicherten zu teilen. Durch die Zahlung einer tragbaren, kontinuierlichen Zahlungsverpflichtung überträgt der Versicherungsnehmer das Risiko eines erheblichen Verlustes an einen Versicherer. Ein risikoaverser Versicherungsnehmer ist dabei bereit, eine Prämie zu zahlen, die deutlich über dem Erwartungswert des Schadens<sup>44</sup> liegt. BERG (2002, S. 95) legt nachfolgend Bedingungen dar, damit ein Risiko versicherbar ist:

- Ein Schaden muss eindeutig bestimmbar und messbar sein.
- Die Versicherungseinheiten müssen homogen und unabhängig sein und in großer Zahl vorkommen, damit ein Ausgleich im Kollektiv möglich ist.
- Die Schäden müssen zufällig und unbeeinflussbar sein.
- Es dürfen keine systematischen Risiken vorkommen, d.h. die Schäden dürfen nicht positiv korreliert sein. Sofern sie es doch sind, funktioniert der Ausgleich im Kollektiv nicht mehr. Dies kann eine enorme Gefahr für den Versicherer bedeuten.
- Damit der Versicherer einen Prämienatz festlegen kann, muss es dem Versicherer möglich sein, die Häufigkeit und die Höhe eines Schadensereignisses zu quantifizieren.
- Die Versicherungsprämie muss für den Versicherungsnehmer wirtschaftlich tragbar sein. Treten Schäden häufig mit einem geringen Schadenpotential auf, so wird eine Versicherung aufgrund relativ hoher Transaktionskosten durch eine häufige Schadensabwicklung unrentabel.

In der Realität werden die hier angeführten Bedingungen bei den wenigsten Versicherungen vollständig erfüllt. Je nach Risikoart ist die Kalkulierbarkeit des Schadenseintritts und –umfangs unterschiedlich. Vielfach sind in der Realität versicherbare Risiken nicht zufällig, sondern Schadensumfang und –häufigkeit stehen in Zusammenhang mit dem Verhalten der Versicherungsnehmer. Spezielle Anreizsysteme wie Bonus-Malus-Systeme können Abhilfe schaffen, jedoch verbleiben häufig die Probleme der adversen Selektion und des moralischen Risikos, die durch asymmetrische Verteilung von Informationen entstehen.

---

<sup>44</sup> Dies ist notwendig, da mit jedem Versicherungsgeschäft Transaktionskosten verbunden sind. Diese müssen ebenfalls durch die Prämie gedeckt werden.

Adverse Selektion tritt dann auf, wenn aufgrund unvollständiger Information eine Prämienberechnung nach durchschnittlichen Schadenswahrscheinlichkeiten erfolgt, die erheblich von denen der Versicherungsnehmer abweicht. Versicherungsnehmer mit einem relativ niedrigen Schadensrisiko empfinden dann die Prämie als unfair, wohingegen Versicherungsnehmer mit einem hohen Schadensrisiko eine solche Versicherung bevorzugt nachfragen, da die erwarteten Auszahlungen aus der Versicherung die Prämienzahlung übersteigen. Die Folge ist, dass sich die aus dem Gesamtdurchschnitt errechnete Prämie als zu niedrig erweist. Eine Erhöhung der Prämie führt im weiteren Verlauf zu einer Verschärfung des Problems der adversen Selektion.

Moralisches Risiko erwächst aus der Tatsache, dass es dem Versicherer nicht möglich ist, alle Handlungen des Versicherungsnehmers zu beobachten. Nach Vertragsabschluss kann es zu Verhaltensänderungen seitens des Versicherungsnehmers kommen, indem er versucht, Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder die Schadenshöhe zu nehmen. Eine Folge aus diesem Verhalten ist eine Prämienhöhung, was wiederum zu adverser Selektion führt (SCHLIEPER, 1997, S. 63ff.).

Wetterderivate weisen gegenüber Versicherungen den Vorteil auf, dass die oben beschriebenen Voraussetzungen nicht vollkommen erfüllt sein müssen bzw. die dargestellten Probleme der adversen Selektion und des moralischen Risikos nicht auftreten. So muss der entstandene Schaden nicht messbar und nachweisbar sein, da die Auszahlung aus einem Wetterderivat nur auf dem an einer Wetterstation objektiv gemessenen Wetterindex basiert (ALATON ET AL., 2002, S. 5). Es besteht kein Anreiz, die Schäden in irgendeiner Form zu beeinflussen. Der daraus resultierende Wegfall der Schadenskontrolle verringert die Transaktionskosten.

Der Ausgleich im Kollektiv ist nicht mehr notwendig, da über den Kapitalmarkt nicht nur ein, sondern verschiedene Kontraktpartner gefunden werden. Möglich sind auch Kontraktpartner, die eine genau entgegengesetzte Position beziehen (MUBHOFF ET AL., 2005, S. 197). Der Anbieter eines Wetterderivates benötigt nicht die genaue Schadenshöhe und -häufigkeit, um den Prämienatz festzulegen, sondern er braucht lediglich Informationen über den entsprechenden Wetterindex. Die Festlegung der Prämie eines Wetterderivates stellt eine eigene Fragestellung dar und wird im folgenden Abschnitt näher erläutert.

Eine eindeutige Abgrenzung zwischen Wetterderivaten und Versicherungen ist nicht möglich. So wird gerade im Kontext von Absicherungsinstrumenten für Landwirte in Entwicklungsländern häufig von „weather index insurances“ gesprochen. Diese stellen de facto Wetterderivate dar, da deren Auszahlung wie beim Wetterderivat ausschließlich vom

Wetterindex abhängig ist. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass bei „weather insurances“ wirklich ein Verlust eingetreten sein muss, der durch die versicherte Wettervariable verursacht wurde, damit eine Auszahlung stattfindet. Das „Office of the General Counsel for the New York Insurance Department“ stellte 2000 fest, dass rechtlich gesehen, ein Wetterderivat keine Versicherung darstellt (RASPE, 2002, S. 225).

### 3.4 Bewertungsverfahren von Wetterderivaten

Für die Prämienberechnung eines Wetterderivats hat sich bisher noch kein allgemein anerkanntes Bewertungsverfahren herausgebildet, obwohl mittlerweile verschiedene Möglichkeiten in der Literatur diskutiert wurden (z.B. DISCHEL, 1998; CAO und WEI, 1999; SCHIRM, 2001) Grundsätzlich lassen sich die Bewertungsverfahren in versicherungsmathematische und kapitalmarkttheoretische Modelle unterscheiden.<sup>45</sup>

Basis versicherungsmathematischer Modelle bildet die Entscheidungstheorie (Vgl. Kap. 2.4). Zentrales Element ist die faire Prämie, die aus dem diskontierten Erwartungswert der Auszahlung aus einem Wetterderivat berechnet wird:

$$P_f = e^{-r \cdot h} E(A) \quad (3.14)$$

Dabei bezeichnet  $A$  den erwarteten Rückfluss aus dem Wetterderivat und  $e^{-r \cdot h}$  den Diskontierungsfaktor mit dem risikolosen Zinssatz  $r$  über die Laufzeit  $h$ .

Diese Formel unterstellt Risikoneutralität. Unter Berücksichtigung von Risikoaversion muss noch die Risikoprämie  $\pi$  mit einbezogen werden:

$$P = e^{-r \cdot h} E(A) + \pi \quad \text{mit } \pi > 0 \quad (3.15)$$

Die Risikoprämie stellt den Betrag dar, den der Käufer eines Wetterderivats zur Risikoüberwälzung bereit ist zu zahlen. Die einfachste Lösung eines versicherungsmathematischen Modells stellt die Burn-Rate-Methode dar, bei der die hypothetischen Rückflüsse eines Derivats mit dem risikolosen Zinssatz diskontiert werden.

SCHIRM (2001) unterscheidet kapitalmarkttheoretische Modelle in No-Arbitrage-Modelle und Gleichgewichtsmodelle. Die Bewertung von Derivaten bei No-Arbitrage-Modellen erfolgt

---

<sup>45</sup> Mußhoff et al. (2005, S. 200) stellen verschiedene Bewertungsverfahren für Wetterderivate vergleichend gegenüber.

durch Nachbildung des durch das Derivat ausgelösten Zahlungsstromes. Die Derivate müssen dabei bereits am Markt notiert sein, und es wird unterstellt, dass keine Arbitragemöglichkeiten vorhanden sind. Die Methode für dieses Modell wird Index Value Simulation Methode genannt. Die Preise für Derivate sind also Inputfaktoren. Der zugrunde gelegte Wetterindex wird nur am Ende der Akkumulationsperiode modelliert. Es stellt allerdings eine hohe Anforderung an den Entwicklungsstand des Wettermarktes. Demgegenüber werden bei Gleichgewichtsmodellen exogene Annahmen über die betrachteten Märkte und das Verhalten der Wirtschaftssubjekte aufgestellt. Im Modell werden also Preise für am Markt gehandelte Derivate berechnet. Ein Gleichgewichtsmodell wird mit der so genannten Daily Simulation Methode gebildet, bei der die stochastische Entwicklung eines Wetterindex modelliert wird.

Der Derivatmarkt hat sich in den letzten 30 Jahren aufgrund des allgemein anerkannten Bewertungsverfahrens von Black und Scholes (1973) rapide entwickelt. Das No-Arbitrage-Modell steht dem Black-Scholes-Ansatz konzeptionell nahe. Dieser Ansatz ist jedoch aus verschiedenen Gründen zur Bewertung von Wetterderivaten problematisch (GORT, 2003, S. 46). Erstens stellen die Basisvariablen von Wetterderivaten keine gehandelten Anlagen dar. Die Black-Scholes-Formel basiert hingegen auf der Konstruktion eines risikolosen Portfolios mit Positionen in einem gehandelten Finanztitel und einer Option. Sie bedingt eine Normalverteilungsannahme. Somit ist der Black-Scholes-Ansatz in einem risikolosen Portfolio mit Wetterderivaten nicht anwendbar. Zweitens sind die Verteilungen der Basisvariablen zum Fälligkeitstermin in der Regel nicht normalverteilt. Drittens unterliegen die Basisvariablen von Wetterderivaten anderen stochastischen Prozessen als die von Aktienkursen oder Zinssätzen. So weisen Verteilungen von Wetterparametern tages- oder monatspezifische Merkmale auf. Viertens ist der Wetterparameter bzw. die daraus abgeleitete Basisvariable abhängig vom Standort der Wetterstation und deren Messmethodik, wohingegen der Wert von herkömmlichen Derivaten aus Börsenkursen abgeleitet wird.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Wirksamkeit von Wetterderivaten in landwirtschaftlichen Betrieben zu analysieren. In Anbetracht der Tatsache, dass noch kein einheitlich anerkanntes Bewertungsverfahren für Wetterderivate existiert, wird im Folgenden von einer fairen Prämie ausgegangen. Somit entfällt die Risikoprämie. Die faire Prämie dient zur Preisfeststellung für ein Wetterderivat. Zur Bestimmung wird die Basisvariable simuliert und die erwartete, diskontierte Auszahlung bestimmt. In Kapitel 5 werden zwei Prozesse zur Simulation von Temperatur und Niederschlag vorgestellt.

### 3.5 Voraussetzungen für die Wirksamkeit von Wetterderivaten

Entscheidende Voraussetzung für einen sinnvollen Einsatz von Wetterderivaten in der Landwirtschaft ist eine hohe Korrelation zwischen dem Ertrag und dem Wetterindex. Dies wird an folgendem Beispiel verdeutlicht:

Es wird angenommen, dass der Ertrag normalverteilt mit einem Erwartungswert von 80 dt/ha und einer Standardabweichung 10 dt/ha sei, wie dies bei Weizen der Fall sein kann. Der Preis betrage 10 € je dt und sei durch ein Warentermingeschäft oder einen Abnahmekontrakt abgesichert. Die Verteilungsfunktion des Erlöses je ha entspricht dann der schwarzen, durchgezogenen Kurve (ohne Option) in Abbildung 14. Erwartungswert und Standardabweichung der Verteilung liegen bei 800 bzw. 100 €/ha.

Um die Streuung zu verringern, wird eine Put-Option auf einen Wetterindex (im Beispiel ist das die Niederschlagssumme über einen definierten Zeitraum) gekauft. Der Wetterindex sei normalverteilt mit dem Mittelwert  $E(x)=100$  mm der Standardabweichung  $\sigma=12,5$  mm. Der Strike Level  $K$  wird auf den Mittelwert festgelegt. Die Ticksizes  $V$  betrage 8 € je Indexpunkt. In Analogie zu Gleichung (3.7) errechnet sich dann die stochastische Auszahlung<sup>46</sup>  $\tilde{A}$  aus dem Kontrakt als

$$\tilde{A} = V \cdot \text{Max}[0, (K - \tilde{x})] \quad (3.16)$$

Die faire Prämie<sup>47</sup> für die Option entspricht dem diskontierten Erwartungswert der Auszahlung  $E(A)$ . Dieser errechnet sich durch Multiplikation der Ticksizes  $V$  mit dem Erwartungswert der negativen Abweichungen des Niederschlagsindex  $\tilde{x}$  vom Strike Level  $K$ . Der Faktor  $e^{-r \cdot h}$  zinst die Zahlung über die Laufzeit  $h$  mit dem Zinssatz  $r$  ab:

$$P_f = e^{-r \cdot h} E(A) = e^{-r \cdot h} V E(\text{Max}[0, (K - \tilde{x})]) \quad (3.17)$$

Der Erwartungswert der Maxfunktion  $E(\text{Max}[.])$  kann als gewichteter Durchschnitt für die Zahlungen aufgefasst werden, die jeweils anfallen, wenn der Strike Level überschritten bzw. unterschritten wird:

<sup>46</sup> Die stochastische Größen werden nachfolgend mit  $\sim$  gekennzeichnet.

<sup>47</sup> Die faire Prämie ist vom Optionskäufer mindestens zu entrichten. Die zusätzlich in der Realität zu erwartenden Transaktionskosten und die Risikoprämie für den Schreiber der Option bleiben hier unberücksichtigt. SCHIRM diskutiert in ihrer Arbeit (SCHIRM, 2001) im Hinblick auf Wetteroptionen verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Risikoprämie.



$$E(\text{Max}[0, (K - \tilde{x})]) = H(K) \cdot ((K - E(x | x \leq K)) + (1 - H(K)) \cdot 0 \quad (3.18)$$

In obiger Formel kennzeichnet  $H$  die Wahrscheinlichkeit, dass  $\tilde{x}$  kleiner ist als  $K$ , so dass  $(1-H(K))$  die Wahrscheinlichkeit dafür angibt, dass  $K$  überschritten wird. Bei stetigen Zufallsvariablen entspricht die Wahrscheinlichkeit  $H$  der Fläche unterhalb der Dichtefunktion  $h(x)$  bis zur Grenze  $K$ .

$$H(K) = \int_{-\infty}^K h(x) dx \quad (3.19)$$

Da  $K$  bekannt ist, muss in (9) noch der Erwartungswert von  $\tilde{x}$  unter der Bedingung bestimmt werden, dass  $K$  unterschritten wird. Dieser wird durch den Ausdruck  $E(x | x \leq K)$  symbolisiert. Er entspricht dem Erwartungswert der oberhalb von  $K$  gestutzten Verteilung der Zufallsvariablen  $\tilde{x}$ .

Da für  $\tilde{x}$  eine Normalverteilung angenommen wurde, lässt sich die Wahrscheinlichkeit dafür, dass  $K$  unterschritten wird durch

$$H(K) = \Phi(z) \quad \text{mit} \quad z = \frac{K - E(x)}{\sigma} \quad (3.20)$$

und der Erwartungswert der oberhalb von  $K$  gestutzten Normalverteilung durch

$$E(x | x < K) = E(x) + \sigma \frac{-\phi(z)}{\Phi(z)} \quad (3.21)$$

angeben (HARTUNG, 1998, S. 149). Dabei kennzeichnet  $\Phi(\cdot)$  die Standardnormalverteilung und  $\phi(\cdot)$  deren Dichtefunktion.

Mit den oben genannten Annahmen für den Mittelwert und die Standardabweichung des Wetterindex errechnet sich für  $H(100)$  die Wahrscheinlichkeit 0,5 und für  $E(x | x < K)$  ein Wert von 90 mm. Eingesetzt in (3.18) ergibt sich ein Betrag von 5 mm für die durchschnittlichen negativen Abweichungen des Index von  $K$ . Multipliziert man diesen mit der Ticksiz von 8 €/mm, so errechnet sich eine faire Prämie von 40 €/ha<sup>48</sup>.

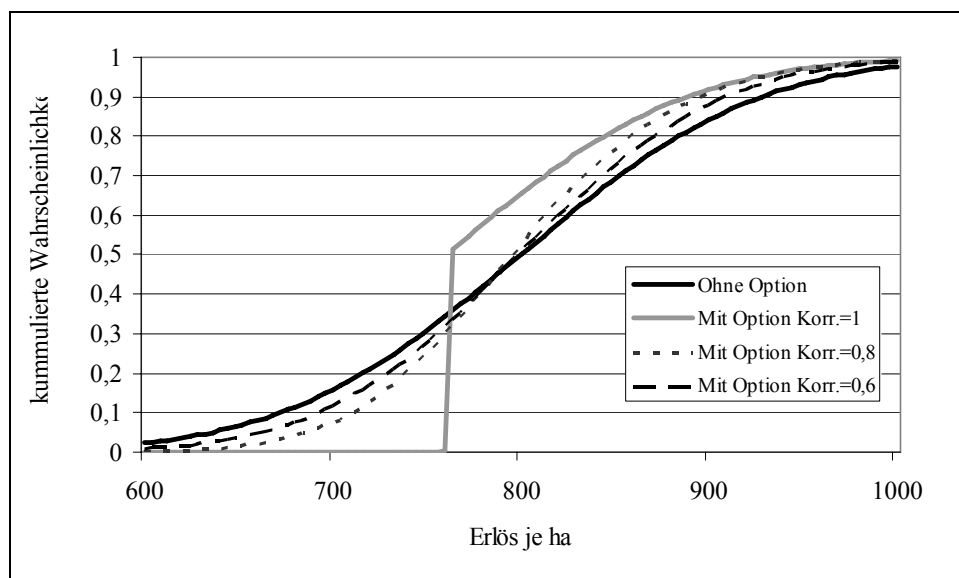
<sup>48</sup> Aus Vereinfachungsgründen wird an dieser Stelle auf die Diskontierung verzichtet.

Nachfolgend wird anhand von Modellrechnungen dargestellt, wie sich unterschiedliche Korrelationen zwischen dem Ertrag und dem Wetterindex auf den Gesamterlös pro ha ( $\tilde{W}_p$ ) auswirken, der sich aus dem Markterlös zuzüglich der Auszahlung aus der Option und abzüglich der fairen Prämie  $P$  ergibt:

$$\tilde{W}_p = \tilde{y} p_y + V \cdot \text{Max}[0, (E(x) - \tilde{x})] - P_f \quad (3.22)$$

In (3.22) kennzeichnet  $\tilde{y}$  den Ertrag und  $p_y$  den Produktpreis. Die stochastischen Größen  $\tilde{y}$  und  $\tilde{x}$  sind gemäß den oben genannten Annahmen normalverteilte und positiv miteinander korrelierte Zufallsvariablen. Mit diesen Grundannahmen lässt sich Gleichung (3.22) als stochastisches Simulationsmodell formulieren, dessen Ergebnisse ebenfalls in Abbildung 14 wiedergegeben sind.<sup>49</sup>

Bei einer Korrelation von +1 werden Markterlöse unterhalb von 800 €/ha durch die Zahlung aus der Put-Option vollständig kompensiert. Da im Gegenzug die faire Prämie in Höhe von 40 €/ha zu entrichten ist, wird Verteilung des Gesamterlöses unterhalb 760 €/ha gänzlich abgeschnitten. Ein geringerer Erlös als der Erwartungswert abzüglich der fairen Prämie tritt nicht auf. Der Erwartungswert selbst bleibt in allen Fällen gleich.



**Abbildung 14: Verteilung des Gesamterlöses je Hektar mit und ohne Option bei unterschiedlichen Korrelationen zwischen Wetterindex und Ertrag**

<sup>49</sup> Die Simulationen wurden mit dem Excel AddIn @Risk von Palisade durchgeführt. Das Programm ermöglicht es, Korrelationen zwischen Zufallsvariablen zu berücksichtigen.

Liegt die Korrelation nur bei 0,8, so ist nicht mehr auszuschließen, dass ein sehr niedriger Erlös eintritt. Zwar ist gegenüber der Situation ohne Option die Wahrscheinlichkeit dafür geringer, aber es kann durchaus vorkommen, dass der Ertrag niedrig ist, eine Kompensation durch das Optionsgeschäft jedoch ausbleibt. Wird als Maß für das Downside-Risiko beispielsweise das 10 % Perzentil genommen, dann liegt dies ohne Option bei 672 €. Mit der Option erhöht es sich immerhin auf 712 €. Bei einer Korrelation von 0,6 beträgt das 10 % Perzentil nur noch 696 €/ha. Bei noch geringeren Korrelationen hilft das Optionsgeschäft nur noch unwesentlich zur Risikovorsorge.

In Kapitel 4 werden aufbauend auf diesen theoretischen Vorüberlegungen Kulturen identifiziert, die bei denen eine möglichst hohe Korrelation zwischen dem Ertrag und den Wetterparametern Temperatur und Niederschlag vorliegt.

### **3.6 Anwendungsbeispiele von Wetterderivaten in der Landwirtschaft**

Eines der ersten Wetterderivate<sup>50</sup>, das in der Landwirtschaft angewendet wurde, ist das „Ontario Forage Program“ der Agricorp, ein staatliches Versicherungsunternehmen in Kanada. Dieses Wetterderivat soll Landwirte gegen Mindererträge von Grünfutter über einen niederschlagsbasierten Index, der an lokalen Wetterstationen gemessen wird, absichern. Die Prämien sind zu etwa 50 % subventioniert (STOPPA und HESS, 2003, S. 6). Das Programm startete als Pilotprojekt in einigen ausgewählten Gebieten von Ontario und wird 2006 trotz einiger Probleme<sup>51</sup> auf ganz Ontario ausgedehnt (MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND RURAL AFFAIRS, 2006, o.S.).

In Alberta, Kanada, bietet die Agricultural Financial Service Corporation (AFSC) ebenfalls für Grünfutter eine „Lack of Moisture Option“ an. Es kommt zu einer Auszahlung, falls die kumulierte Feuchtigkeit an einer bestimmten Wetterstation den Durchschnittswert um 20 % unterschreitet. Die kumulierte Feuchtigkeit setzt sich zusammen aus der Niederschlagssumme von Mai bis Juli und der halben Frühjahrsfeuchtigkeit. Die Prämie für die Versicherungsprogramme der AFSC wird nur teilweise vom Landwirt gezahlt. Je nach Abdeckungsgrad zahlt die Bundes- bzw. Provinzregierung zwischen 50 % und 80 % der Prämie (AFSC, 2003, o.S.).

---

<sup>50</sup> Agricorp bezeichnet es als „rainfall insurance“.

<sup>51</sup> 1649 Landwirte, die in 2005 am Programm teilgenommen hatten, hätten eine höhere Auszahlung erhalten, wenn sie eine andere Wetterstation ausgewählt hätten. Agricorp will den Landwirten ermöglichen, nachträglich eine andere Wetterstation zuzuweisen.

Das mexikanische landwirtschaftliche Versicherungsprogramm (Agroasemex) nutzte Wetterindices, um verschiedene Ernteversicherungsprogramme rückzuversichern. Es wurde ein Wetterindex auf Basis von Temperatur und Niederschlag in den Hauptanbaugebieten entwickelt, der mit den Verlusten aus der Ernteversicherung hoch korreliert war, so dass diese Art der Rückversicherung effizienter war als eine traditionelle Rückversicherung (STOPPA und HESS, 2003, S. 6).

STOPPA und HESS (2003, S. 10) schlagen in einer Fallstudie<sup>52</sup> der Weltbank für Meknes, Marokko, einen niederschlagsbasierten Wetterindex zur Absicherung des Weizenertrages vor. In Marokko wird Weizen Mitte November gesät und zwischen Ende Mai und Ende Juni geerntet. Außer in der Ernte haben Niederschläge einen positiven Einfluss auf das Pflanzenwachstum. Zur Entwicklung des niederschlagsbasierten Wetterindex wird der Zeitraum von November bis März in Dekaden eingeteilt, die unterschiedlich gewichtet werden. Es ergibt sich eine Korrelation von 0,92. Als Optionsschreiber wird die Mutuelle Agricole Marocaine D'Assurance (MAMDA) vorgeschlagen, die bereits als Versicherer für Feuer und Hagel in den ländlichen Gebieten tätig ist.

DISCHEL (2001, S. 24 ff.) entwickelt ein Wetterderivat für die Mandelproduktion in Kalifornien (San Joaquin Tal). Im Februar blühen die Mandelbäume und sind in diesem Abschnitt wettersensitiv. Zum einen werden zu dieser Zeit die Blüten durch Bienen bestäubt. Falls es regnet, fliegen die Bienen jedoch nicht. Zum anderen reagieren die Bäume mit verringerten Erträgen, falls die Temperaturen über einen kritischen Wert steigen. Eine Produktionsgenossenschaft legte die Strikes auf 3 Inch (=7,6 mm) Niederschlag und 52° Fahrenheit (=11,1°C). Die Tick Size sollte pro hundertstel Inch Niederschlag und pro hundertstel Grad Fahrenheit 5000 \$ betragen. Die Genossenschaft berechnete die Prämie mittels Burn-rate Methode und war bereit 300.000 \$ für eine so konstruierte Calloption zu zahlen. Jedoch fand sie nur einen Versicherer (Settlement Re), der bereit war die Calloption für 400.000 \$ anzubieten. Das Geschäft kam also nicht zu Stande.

FLEEGE ET AL. (2004) führen eine quadratische Regression zwischen den Erträgen von Nektarinen, Trauben und Mandeln in Abhängigkeit von Cooling Degree Days von Mai bis

---

<sup>52</sup> In einer weiteren Fallstudie von SKEES ET AL. (2001) werden für verschiedene Standorte in Marokko die Korrelationen zwischen den Erträgen und der Niederschlagssumme von Oktober/November bis März berechnet.

Juli durch. Darauf aufbauend prüften sie verschiedene Hedgingstrategien basierend auf einer Calloption, einer Putoption oder einem Straddle.

Unter Hitzestress verringert sich die Milchleistung bei Kühen. Landwirte können dem entgegenwirken, indem sie Technologien zur Verringerung des Hitzestresses nutzen. Diese sind mit Investitionskosten verbunden. CHEN ET AL. (2003) konstruieren für den Standort Ohio auf Basis des Temperature-Humidity Index ein Wetterderivat, um den Erlösrückgang aufgrund der hitzebedingten Milchmengenreduktion auszugleichen.

Ein ähnliches Ziel verfolgen HOU ET AL. (2004). Da in Rumänien nach 1990 die Bewässerungseinrichtungen aufgegeben wurden, wären ein Wiederaufbau und die Entwicklung eines neuen Bewässerungsnetzes mit hohen Ausgaben verbunden. Für ein „Entwicklungsland“ wie Rumänien stellt dies eine große Belastung dar. Deshalb untersuchen sie, ob eine wetterindizierte Versicherung eine günstigere risikoreduzierende Lösung ist.<sup>53</sup>

NUPPENAU (2003, S. 281 ff.) schlägt Wetterderivate zur Absicherung des Ertragsrisikos bei Großbetrieben<sup>54</sup> mit Fremdarbeitskräften vor. Die Ausgestaltung der Arbeitsverträge soll dabei so gestaltet sein, dass die Fremdarbeitskräfte ebenfalls von den Auszahlungen aus den Wetterderivaten profitieren, damit sie weniger Arbeit zu Hause verrichten. Durch mehr Arbeit im Großbetrieb könnten höhere Erträge erzielt.

„Eine Versicherung gegen den Hunger“ (FTD, 2006) hat die UNO mit der französischen Rückversicherung Axa Re für die Bauern in Äthiopien abgeschlossen. Als Basisvariable dient die Niederschlagsmenge von 26 Wetterstationen in ganz Äthiopien zwischen März und Oktober.

MEUWISSEN ET AL. (2000) analysieren die Möglichkeit von Derivaten für die Kartoffel verarbeitende Industrie in den Niederlanden. Sie führen Regressionsanalysen zwischen Preis und Ertrag, Preis und Wetter sowie Ertrag und Wetter durch. Die Berechnungen werden auf den durchschnittlichen Ertrag in den Niederlanden bezogen und die Wetterparameter werden

---

<sup>53</sup> Die Landwirtschaftskammer Hannover hat am Standort Nienwohlde über 10 Jahre Bewässerungsversuche im Kartoffelanbau durchgeführt. Dabei lag der Erwartungswert ohne Bewässerung bei 408 dt/ha mit einem Variationskoeffizient von 38,4 %. Wurden Beregnungsmaßnahmen ab einer nutzbaren Feldkapazität von unter 30 % durchgeführt, so betrug der Erwartungswert 526 dt/ha und der Variationskoeffizient 13,5 %. Wurde ab einer nutzbaren Feldkapazität von unter 50 % beregnet, lag der Erwartungswert bei 545 dt/ha und der Variationskoeffizient bei 12,3 % (NITSCH, 2003, S. 299 ff; FRICKE, 2005, o.S.).

<sup>54</sup> Gemeint sind Großbetriebe in mittel- und osteuropäischen Ländern.

ebenfalls aus Durchschnittswerten von verschiedenen Wetterstationen gebildet. Niederschläge im Sommer von über 550 mm oder unter 200 mm führen zu einem Ertragsrückgang bei Verarbeitungskartoffeln. Mit dem Modell werden bis zu 59 % der Ertragsschwankungen durch das Wetter erklärt.

ASSELDONK und LANSINK (2002) analysieren Wetterderivate zur Absicherung des Heizenergieverbrauchs von Gewächshausbetrieben. Als Basisvariable nutzen sie Heating-Degree-Days.

In Deutschland beschränken sich Wetterderivate auf wenige landwirtschaftliche Anwendungsbeispiele. Ein tatsächlicher Abschluss in der Landwirtschaft ist nicht bekannt. Zwar hat das Elektrizitätswerk Dahlenburg aufgrund seines schwankenden Stromabsatzes, der durch unterschiedliche Bewässerungsintensität je nach Niederschlagsmengen von den umliegenden Landwirten verursacht wird, in 2001 ein Wetterderivat<sup>55</sup> gezeichnet, allerdings waren die Landwirte dabei nicht direkt beteiligt (FTD, 2001). Die Hypovereinsbank (2003) stellt in ihrer Broschüre über Wetterderivate ein Fallbeispiel zum Spargelbau<sup>56</sup> vor. Kühle Witterung im April verzögert das Spargelwachstum. Durchschnittlich sind im April 5 Tage mit einer Durchschnittstemperatur von unter 14 °C zu erwarten. Der Spargelbauer erhält eine Auszahlung aus dem Wetterderivat, falls an mehr als 7 im April Tagen die Durchschnittstemperatur unterhalb der kritischen Schwelle liegt.

Einen „Weekly-Dryness-Index“ entwickelt POTTEBAUM (2003, S. 88) am Standort Teterow für Winterweizen. Dabei betrachtet er den Zeitraum vom 29. April bis zum 30. Juni. Der Weekly-Dryness-Index wird gebildet aus der Summe der positiven, wöchentlichen Differenz zwischen der Referenzniederschlagsmenge von 10 mm und der tatsächlichen wöchentlichen Niederschlagsmenge, gewichtet mit einem Gewichtungsfaktor.

Die agro team GmbH (2004) entwickelt Wetterderivate für Wintergetreide auf Basis eines komplexen Witterungswertes. Dieser setzt sich aus den fünftägigen Durchschnittstemperaturen, Niederschlagssummen und Sonnenscheinstunden zusammen, die je nach phänologischer Phase unterschiedlich gewichtet werden. Dieser Wert wird je nach

---

<sup>55</sup> Das Wetterderivat wurde zwischen dem US-Rückversicherer Element Re und dem Elektrizitätswerk abgeschlossen. Bei diesem Derivat kam es tatsächlich zu einer Auszahlung. Im folgenden Jahr wurde jedoch nicht erneut ein Wetterderivat abgeschlossen, da die Prämie angehoben worden war (ESSER, 2004, o.S.)

<sup>56</sup> Es handelte sich tatsächlich um eine Anfrage, wurde jedoch nicht weiter verfolgt (WENDEL, 2005, o.S.)

Bodensubstrat mit einem Korrekturfaktor multipliziert. Dieses Konzept wurde der Deutschen Bank vorgelegt, die letztendlich jedoch kein Interesse zeigte, da sie sich nur auf zwei Wetterstationen festlegen wollte, für die Berechnung der komplexen Witterungswerte jedoch ein Netz von Wetterstationen notwendig ist (JUNG, 2006, o.S.).

### 3.7 Fazit

Wetterderivate können durch ihre freie Ausgestaltung zur Absicherung verschiedenster Wetterrisiken dienen. Die Basisvariable kann prinzipiell jede Wettervariable oder eine Kombination aus verschiedenen Parametern sein, die an einer Wetterstation erfasst werden. Der am häufigsten als Basisvariable verwendete Wetterparameter ist die Temperatur. Niederschlag ist die zweithäufigste genutzte Variable, spielt aber mit den anderen Wetterparametern am Wetterderivatmarkt nur eine untergeordnete Rolle.

Durch die Wahl eines entsprechenden Derivattyps können sich Unternehmen sowohl gegen fallende als auch gegen steigende Wetterindices absichern. Kombinationen aus Derivattypen sind möglich, damit sich Unternehmen gegen sowohl fallende als auch steigende Wetterindices absichern können. Die am häufigsten verwendeten Derivattypen sind Optionen. Bei Unternehmen mit genau entgegengesetzten Wetterrisiken bieten sich Swaps an, die auf bilateraler Ebene abgeschlossen werden.

Bedingt durch den engen Zusammenhang zwischen Temperatur und Energieverbrauch sind Energieunternehmen die Hauptakteure am Wetterderivatmarkt. Versicherungen, Rückversicherungen und Banken treten zunehmend als Wetterrisikoträger in Erscheinung. Das Interesse von Wetterderivaten in der Landwirtschaft ist zwar vorhanden, jedoch ist es trotz der Vorteile von Wetterderivaten gegenüber Versicherungslösungen in den seltensten Fällen zu einem Abschluss gekommen. In den Fällen, in denen es zu einem Abschluss gekommen ist, sind die Prämien zu einem großen Teil subventioniert worden. Entscheidend für die Wirksamkeit eines Wetterderivats ist eine genügend hohe Korrelation zwischen Wetterindex und Ertrag. Signifikante Auswirkungen auf verschiedene Risikomaße sind bei einer Korrelation von größer 0,6 festzustellen.

## 4 Wetter und Ertrag

In diesem Kapitel wird der Einfluss des Wetters auf den Ertrag verschiedener Kulturen in Deutschland untersucht. Zunächst erfolgt eine Beschreibung über die Einflüsse verschiedener Umweltfaktoren auf den Pflanzenertrag. Anschließend werden die Kulturen identifiziert, die hinsichtlich des Anbauumfangs und der Erlös Komponente in der deutschen Landwirtschaft eine wichtige Rolle spielen. Es wird ein Überblick über die Herkunft des Datenmaterials und die Methodik der Datenauswertung gegeben. Daran schließen sich die Ergebnisse mit einem Literaturüberblick über bereits durchgeführte Analysen zum Zusammenhang zwischen Ertrag und Wetter an.

### 4.1 Die Beziehungen zwischen Umweltfaktoren und Ertrag

Neben dem Wetter beeinflusst eine Reihe weiterer Umweltfaktoren den Ertrag. Dabei steht das Ertragspotential einer Pflanze in Wechselbeziehung zum Produktionspotential. Das Ertragspotential der Pflanzen ist weitgehend genetisch fixiert, es ist also endogen. REINHARDT (1975, S. 388) analysierte Ertragsschwankungen von Winterweizen über 100 Jahre. Nach theoretischen Überlegungen stellte er fest, dass relativ ungünstige Witterungsbedingungen, die früher bei wenig ertragreichen Sorten noch die volle Ausschöpfung des Ertragspotentials ermöglichten, bei den heutigen Hochleistungssorten bereits deutlich den maximal möglichen Ertrag begrenzen. Demgegenüber führten in der Vergangenheit günstige Witterungsbedingungen aufgrund des begrenzten genetischen Potentials zu geringen Ertragsabweichungen nach oben, wohingegen heute eher das Klima als die genetische Veranlagung den maximal erzielbaren Weizenertrag begrenzt.

Unter Produktionspotential werden die von außen einwirkenden Umweltfaktoren gezählt, die exogene Größen darstellen. Dazu gehören die Bereiche der „menschlichen Eingriffe“, des Klimas, des Bodens und der Schadorganismen (GEISLER, 1981, S. 34).

In Anlehnung an FRANKENBERG (1984, S. 13) ist in Abbildung 15 das Wechselwirkungsgefüge zwischen Ertrag und den verschiedenen Umweltfaktoren dargestellt. Die Stärke der Pfeile gibt die Höhe des Zusammenhangs an. Der Boden hat dabei eine zentrale Rolle; in ihm wachsen die Pflanzen und fast alle klimatischen Einwirkungen, vor allem von der hygrischen Seite, erreichen die Pflanze indirekt über ihn. Die Steuerung des Ertrages durch den Landwirt erfolgt ebenfalls größtenteils über den Boden durch z.B. Düngung oder Bodenbearbeitung. Darüber hinaus befällt eine Vielzahl von Schädlingen und



Krankheiten die Pflanzen aus dem Boden heraus. Jedoch ist der Boden selbst eine zeitlich wenig variable Größe, so dass er bei Zeitreihenanalysen von Wetter und Ertrag nicht berücksichtigt werden muss (FRANKENBERG, 1984, S. 14).

Das Klima ist abhängig von der geographischen Lage und dem Relief. So entscheidet z.B. die Hanglage über den Strahlungsgenuss eines Pflanzenbestandes. Die Bestandesdichte hängt zusammen mit der dem Pflanzenbestand zugeführten Lichtintensität, wobei die Bestandesdichte über die Saatstärke vom Landwirt gesteuert werden kann. Die klimatischen Faktoren Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind beeinflussen die Verdunstung und somit die Transpiration der Pflanze. Diese ist eng mit der pflanzlichen Stoffproduktion korreliert. Entscheidend geprägt wird die Verdunstung vom niederschlagsbedingten Wasserangebot (LIETH UND WHITTAKER, 1975). Die klimatischen Faktoren beeinflussen den Landwirt darüber hinaus bei der Arten- und Sortenwahl.

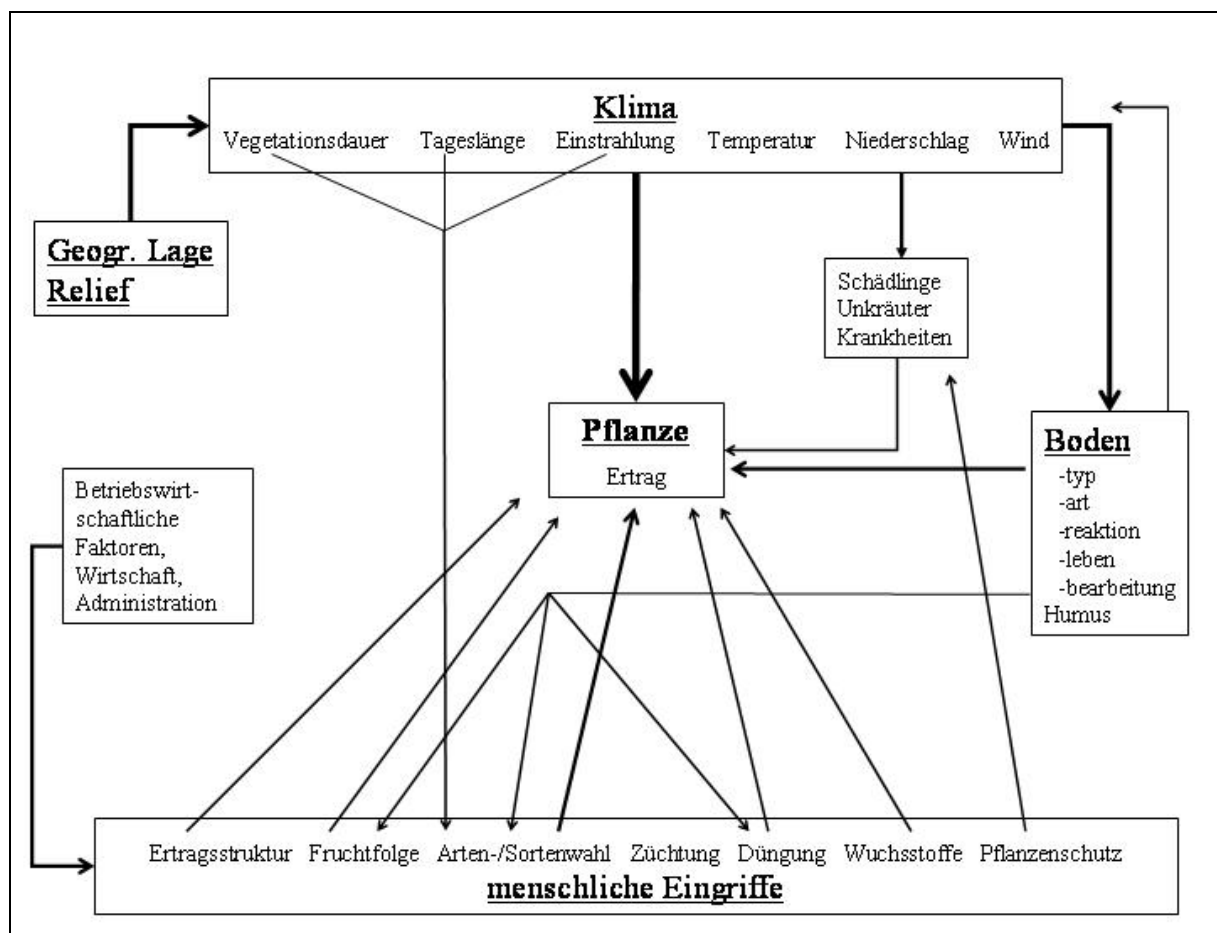


Abbildung 15: Die Beziehung zwischen Pflanze, Boden, menschlichen Eingriffen und Klima

Quelle: Frankenberg, 1984, S. 13

Umgekehrt kann der Landwirt das Klima nicht beeinflussen. Vielmehr kann er nur auf das Klima reagieren bzw. auf Erfahrungswissen zurückgreifen. Die Handlungen des Landwirts sind stark geprägt durch betriebswirtschaftliche Notwendigkeiten, die allgemeine Marktlage und agrarpolitische Beschlüsse. So muss der Landwirt unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten sein Produktionsprogramm so steuern, dass er einen maximalen Gewinn erzielt. Durch z.B. Marktregulierungen und Reformen der gemeinsamen Agrarpolitik nimmt der Staat Einfluss auf die Entscheidungen im landwirtschaftlichen Betrieb. Neben der Auswahl des Saatgutes entscheiden das Saatverfahren (z.B. Mulchsaat) und die Saatedichte den Ertrag. Dabei ist das optimale Verhältnis zwischen Ertrag der Einzelpflanze und dem Ertrag des Bestandes zu finden. Dies kann jedoch nicht vollständig im Voraus gewusst werden, da die Bestandsdichte noch während der Vegetationsperiode vom zum Saatzeitpunkt unbekanntem Witterungsverlauf beeinflusst wird.

Die Höhe des Ertrages wird außerdem von Pflanzenschutzmaßnahmen gegen Unkräuter mitbestimmt. „Regelt die Bestandsdichte die intraspezifische Konkurrenz, so die Unkrautbekämpfung die interspezifische Konkurrenz.“ (FRANKENBERG, 1984, S. 15) Neben der Unkrautbekämpfung determinieren auch die Pflanzenschutzmaßnahmen gegen Schädlinge und Krankheitserreger den Ertrag. Das Auftreten von Unkräutern, Schädlingen und Krankheitserregern wird von der Witterung beeinflusst. Zudem bestimmen die Ernteverfahren den Ertrag. Bei der maschinellen Ernte wird ein Teil der Ernte beschädigt oder verbleibt auf dem Acker. Über die Vorfruchtwirkung innerhalb einer Fruchtfolge steuert der Landwirt ebenfalls den Ertrag.

## **4.2 Datengrundlage**

### **4.2.1 Relevante Kulturen**

Eine Vielzahl an verschiedenen Ackerkulturen wird in Deutschland angebaut. Um einen liquiden Markt für Wetterderivate zu erhalten, muss die Kultur, für die eine Absicherung mittels Wetterderivat erfolgen soll, eine relativ hohe Bedeutung bezüglich des Anbauumfangs aber auch des Ertrags pro Hektar besitzen. Getreide besitzt den größten Anbauumfang in Deutschland. Mit ca. 3 Mio. ha ist Winterweizen die flächenmäßig stärkste Getreideart (vgl. Tabelle 4). Im Jahr 2004 wurden durchschnittlich 82 dt/ha geerntet. Im Jahrhundertsommer 2003 wurden hingegen lediglich 65,5 dt/ha geerntet. Dies entspricht einem Rückgang von 37 %. Auf ca. 1,4 Mio. ha wird Wintergerste angebaut. Sie ist somit die flächenmäßig

zweitstärkste Kultur. Ihr durchschnittlicher Ertrag lag 2003 bei 53 dt/ha und 2004 bei 71 dt/ha. Mais wird zukünftig durch seine Verwendung als nachwachsender Rohstoff flächenmäßig an Bedeutung gewinnen.

**Tabelle 4: Anbauflächen, Erträge und Erntemengen landwirtschaftlicher, pflanzlicher Produkte in Deutschland**

Produkt	Anbauflächen in 1 000 ha		Erträge in dt/ha		Erntemengen in 1 000 t		Veränd. in % 2004 zu 2003
	2003	2004 <sup>1)</sup>	2003	2004 <sup>1)</sup>	2003	2004 <sup>1)</sup>	
Getreide insgesamt	6 839	6 916	57,7	73,5	39 426	50 813	+ 28,9
dav. Winterweizen	2 833	3 046	65,5	82,1	18 566	25 007	+ 34,7
Sommerweizen	124	46	53,2	62,5	659	290	- 55,9
Hartweizen	7	8	47,2	61,0	35	49	+ 40,9
Roggen	531	621	42,9	61,3	2 277	3 809	+ 67,2
Wintermenggetreide	12	10	65,5	60,8	53	58	+ 9,8
Wintergerste	1 323	1 360	53,2	70,6	6 979	9 602	+ 37,6
Sommergerste	751	613	47,2	54,9	3 617	3 365	- 7,0
Hafer	262	227	42,9	52,0	1 202	1 179	- 1,8
Sommermenggetreide	33	25	41,8	46,2	137	113	- 17,0
Triticale	500	505	49,6	64,9	2 480	3 277	+ 32,1
Körnermais, Corn-Cob-Mix	463	454	74,7	89,4	3 422	4 062	+ 18,7
Futtererbsen	136	122	28,8	38,2	392	464	+ 18,5
Ackerbohnen	20	16	30,4	41,3	61	64	+ 5,3
Kartoffeln	287	293	345,2	430,7	9 916	12 613	+ 27,2
dav. Frühkartoffeln	16	16	284,6	322,4	453	519	+ 14,5
Spätkartoffeln	271	277	348,7	437,0	9 463	12 094	+ 27,8
Zuckerrüben	446	441	533,1	615,6	23 756	27 120	+ 14,2
Runkelrüben	6	5	803,9	.	487	.	.
Raps und Rübsen	1 266	1 279	28,7	41,1	3 634	5 258	+ 44,7
Körnersonnenblumen	37	32	19,7	24,3	73	77	+ 4,6
Freilandgemüse <sup>2)</sup>	91	.	273,6	.	2 477	.	.
Marktoftsbau <sup>3)</sup>	48	.	206,1	.	991	.	.
dar. Äpfel	31	31	262,5	264,8	818	825	+ 0,9
Birnen <sup>4)</sup>	3	3	19,8	25,3	53	68	+ 27,8
Weinmost <sup>5)</sup>	98	98	84,3	108,3	8 289	10 648	+ 28,5
Hopfen	18	18	17,6	.	32	.	.
Tabak	5	4	22,7	.	11	.	.

Quelle: BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2005, S. 86

In Deutschland werden ca. 300.000 ha Kartoffeln angebaut. Ihr durchschnittlicher Ertrag betrug 2003 345 dt/ha und 2004 431 dt/ha. In 2004 wurden somit ca. 12 Mio. t Kartoffeln geerntet. Die mengenmäßig bedeutendste Kultur ist die Zuckerrübe. In 2004 wurden 27 Mio. t auf einer Fläche von 450.000 ha und einem durchschnittlichen Ertrag von 615 dt/ha geerntet. Freilandgemüse wird auf ca. 100.000 ha angebaut. Die von der Gesamterntemenge wichtigsten Gemüsearten sind Weißkohl, Möhren und Zwiebeln (vgl. Tabelle 5). Diesen Gemüsearten ist gemein, dass sie leicht zu mechanisieren sind und überwiegend in

landwirtschaftlichen Betrieben angebaut werden. Den größten Anbauumfang hat Spargel mit ca. 15.000 ha in 2003.

Der Anbauumfang von Freilandgemüse ist bei weitem nicht so hoch wie bei anderen Kulturen, jedoch liegt der Produktionswert wesentlich höher; in 2003 betrug der Anteil von Sonderkulturen an der Ackerfläche 2,7 %, ihr Produktionswert an der pflanzlichen Erzeugung lag bei rund 43 % (KUHLMANN, 2006, S. 168 f.). Die Preise haben dabei eine Hebelwirkung. Wetterderivate könnten hier das mengenmäßige Erlörisiko verringern.

**Tabelle 5: Anbaufläche, Hektarerträge und Erntemengen wichtiger Gemüsearten im Freiland in Deutschland**

	Anbaufläche (ha)			Hektarerträge (dt/ha)			Erntemengen (1.000 t)		
	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003
Weißkohl	6.487	6.449	7.173	744	635	681	483	409	488
Möhren u. Karotten	8.879	8.961	9.255	501	463	460	444	415	426
Speisezwiebeln	7.197	6.911	7.865	399	424	345	287	293	272
Gurken zus.	3.224	3.068	3.340	507	621	533	164	191	178
Blumenkohl	5.030	5.123	5.491	260	250	249	131	128	137
Rotkohl	2.361	2.407	2.646	571	496	499	135	119	132
Eissalat	4.031	4.596	4.519	223	252	232	90	116	105
Kopfsalat	2.993	3.017	2.918	257	262	255	77	79	75
Spargel, ertragsfähig	12.904	14.222	15.106	41	40	43	52	57	65
Spinat	3.525	3.257	3.433	169	169	166	60	55	57
Kohlrabi	2.108	2.087	2.140	269	278	266	57	58	57
Wirsing	1.346	1.312	1.299	348	323	313	47	42	41
<b>Gemüse im Ertrag insgesamt</b>	<b>94.249</b>	<b>96.740</b>	<b>102.365</b>	<b>285</b>	<b>272</b>	<b>262</b>	<b>2.695</b>	<b>2.635</b>	<b>2.680</b>

Quelle: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2004, S. 129

In den folgenden Abschnitten wird der Zusammenhang zwischen Temperatur, Niederschlag und Ertrag von Winterweizen, Wintergerste, Kartoffeln, Zuckerrüben, Zwiebeln, Möhren und Weißkohl analysiert. Weiterhin wird für einige Gemüsearten<sup>57</sup> der Zusammenhang zwischen Wetter und Ertrag qualitativ erfasst, da keine entsprechenden Ertragszeitreihen vorlagen.

## 4.2.2 Datenquellen

### 4.2.2.1 Wetterdaten

Die in der Analyse verwendeten Wetterdaten stammen von der jeweils nächstgelegenen Wetterstation. Sofern keine Wetterstation am Versuchsstandort vorhanden war, wurde auf die nächstgelegene Wetterstation des Deutschen Wetterdienst (DWD) zurückgegriffen. Vom DWD wurden tägliche Niederschlagssummen und Tagesdurchschnittstemperaturen zur Verfügung gestellt. Wurden von den einzelnen Versuchsstandorten Wetterdaten zur Verfügung gestellt, handelte es sich meist um monatliche Niederschlagssummen bzw.

<sup>57</sup> Das Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau in Großbeeren ist an einem internationalen Projekt beteiligt, bei dem u.a. ein Modell zur Vorhersage des Ertrags in Abhängigkeit von der Witterung entwickelt wird (FINK, 2005, o.S.).

Durchschnittstemperaturen. Die Daten des DWD wurden ebenfalls zu monatlichen Werten aggregiert.

#### 4.2.2.2 Ertragsdaten

Folgende Institutionen haben im Rahmen dieser Arbeit Daten zur Verfügung gestellt:

- Landwirtschaftskammer Niedersachsen,
- Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, Baden-Württemberg,
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft,
- Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Mecklenburg-Vorpommern,
- Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Rheinland-Pfalz,
- Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein,
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft,
- Bundessortenamt,
- Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e.V., Müncheberg,
- Institut für Pflanzenbau, Bonn,
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

Grundlage für die Auswahl der Ertragszeitreihen ist eine ausreichende Länge. Ertragszeitreihen von unter zehn Jahren wurden nicht berücksichtigt. Da Wetterderivate ein Absicherungsinstrument für den Einzelbetrieb sind, wurden keine über mehrere Standorte aggregierten Ertragsdaten verwendet, sondern nur Daten von einzelnen Standorten. Die Bewirtschaftungsmaßnahmen und Fruchtfolgen sollten im Zeitablauf unverändert bleiben. Falls es sich an einem Standort um Sortenversuche handelt, so wurde der Durchschnitt über die verschiedenen Sorten gebildet, um dem Sortenwechsel im Zeitablauf Rechnung zu tragen.

#### 4.2.3 Datenaufbereitung und -analyse

In den meisten verwendeten Ertragsdaten ist eine Zunahme der Erträge festzustellen. Dieser ist ausschließlich auf technologische Einflüsse zurückzuführen (vgl. HANUS, 1978). Deshalb werden die Ertragsdaten zunächst um einen linearen Trend bereinigt. Die verbleibende trendbereinigte Schwankung ist letztlich nur noch von den Wetterschwankungen abhängig, da in der Regel keine Änderung der Bewirtschaftungsweise vorgelegen hat. Der Zusammenhang wurde zwischen Trendabweichung des Ertrags und den monatlichen

Durchschnittstemperaturen und Niederschlagssummen mittels **Korrelationsanalyse** untersucht. Der Korrelationskoeffizient wurde nach Bravais-Pearson<sup>58</sup> berechnet (HARTUNG, 1998, S. 73):

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

Der Korrelationskoeffizient ist eine Maßzahl für die Stärke des Zusammenhangs zwischen bestimmten Variablen. Er kann dabei Werte zwischen -1 und +1 annehmen. Das Vorzeichen ergibt sich aus der Steigung der Geraden. Liegt eine positive Korrelation vor, so führt eine Zunahme des Wertes der Variable  $X$  zu einer Zunahme des Wertes der Variable  $Y$ . Umgekehrt nimmt der Wert von  $Y$  bei einer Zunahme von  $X$  bei einem negativen Korrelationskoeffizienten ab. Bei einer vollkommenen Korrelation von  $\pm 1$  liegen alle Datenpunkte auf der Geraden. Bei der Korrelationsanalyse ist zu beachten, dass lediglich lineare Zusammenhänge untersucht werden. Eine Korrelation von Null bedeutet also nicht, dass gar kein Zusammenhang zwischen den Variablen vorhanden ist. Dieser kann auch nichtlinear sein. Dies wird bei der Korrelationsanalyse nicht berücksichtigt. Ein weiteres Problem stellt die so genannte Scheinkorrelation<sup>59</sup> dar. Diese liegt genau dann vor, wenn zwei Messreihen hoch korreliert sind, bei diesen aber in Wirklichkeit keine Abhängigkeit besteht.

### 4.3 Der Einfluss des Wetters auf Getreideerträge

#### 4.3.1 Literaturüberblick

Eine Analyse des Zusammenhangs zwischen Wetter und Ertrag wurde erst mit der Einführung regelmäßiger Klimaaufzeichnungen und Ertragsstatistiken möglich. Die ersten wissenschaftlichen Arbeiten, die sich mit dem Zusammenhang zwischen Wetter und Ertrag auseinandersetzen, stellen meist eine rein qualitative Ertragsanalyse dar. Dies änderte sich in den 1960er Jahren mit der Einführung statistischer Methoden und entsprechender Datenverarbeitung.

---

<sup>58</sup> Der Bravais-Pearsonsche Korrelationskoeffizient ist nur für gemessene Werte anwendbar.  $\bar{x}$  und  $\bar{y}$  sind die jeweiligen Mittelwerte der Datenreihen.

<sup>59</sup> Ein häufig genanntes Beispiel in diesem Zusammenhang ist die Korrelation zwischen der Geburtenrate eines Landes und der Storchpopulation.

BERKNER (1951) nimmt eine reine Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Wetter und Ertrag für ein schlesisches Gut vor. Durch den Vergleich extremer Erntejahre, bei dem er den Witterungsverlauf des Höchstertragsjahres als Optimum ansah, stellte er fest, dass für alle Getreidearten zum Zeitpunkt der Bestockung und des Ährenschiebens kühles Wetter günstig ist. Er sieht dabei die Bauernregel „Ist der Mai kühl und nass, füllt er dem Bauern Scheun und Fass“ bestätigt.

THRAN (1948) nahm an, dass der höchste Ertrag einer Zeitreihe auf einen optimalen Witterungsablauf zurückzuführen sei. So bedeuten alle Abweichungen von diesem Ablauf geringere Erträge. Darauf aufbauend entwickelte er einen „Wetterschadensfaktor“, der aus der Quersumme der Abweichungen der Witterung eines Jahres von dem optimalen Witterungsverlauf des Höchstertragsjahres gebildet wird, wobei die einzelnen Monate unterschiedlich gewichtet werden.

BAUMANN (1959) teilt die Ertragsdaten von Winterweizen des Dikopshofer Dauerdüngungsversuch in gute mittlere und schlechte Ertragsgruppen ein und sucht anschließend mittels Rangkorrelationen signifikante Witterungsdifferenzen zwischen den guten und schlechten Ertragsjahren. Für den Winterweizen stellt er eine Unempfindlichkeit gegenüber der Herbstwitterung und eine bedeutsame Wirkung der Frühjahrs- und Vorsommerwitterung fest. Einen positiven Einfluss übt trockene Novemberwitterung aus. Hohe Winterniederschläge (November bis März  $> 250$  mm) sind als ungünstig zu werten (BAUMANN, 1949, S. 31; JUDEL und KÜR TEN, 1968). Weizen reagiert in der ersten Blühpentade empfindlich auf zu hohe Temperaturen. Zudem benötigt Winterweizen mindestens 55 mm Niederschlag im Mai, wohingegen im Juni bei über 70 mm Niederschlag bereits Nässeschäden auftreten können. In einer weiteren Studie analysierte BAUMANN (1961) mit der gleichen Methode den Einfluss des Wetters auf den Gerstenertrag. Er stellte den größten Einfluss bei der Winterkälte und beim Übergang von Herbst zum Winter und vom Winter zum Frühjahr fest. Ebenso war ein ansteigender Temperaturverlauf im Erntemonat Juli für gute Wintergerstenerntejahre kennzeichnend.

Über eine Wetterwertzahl, in die die Witterung von Pentaden einfließt, versucht TAMM (1950) den Ertrag zu quantifizieren. Er teilt die Wetterparameter Lufttemperatur, Bodentemperatur, Niederschlag, Verdunstung, Sonnenscheindauer ihrer Höhe nach in fünf Klassen ein. Die daraus gebildete Wetterwertzahl setzt er in Beziehung zum Ernteertrag. Diese Methode wurde von VON ASTER (1961) weiterentwickelt und vereinfacht.

Das Ertragsprognosemodell für Winterweizen und Wintergerste von Schulzke (AGRO TEAM, 2004) beruht auf Boden-Klima-Regionen (siehe Anhang), die sich durch ökologische

Faktoren und den jahresspezifischen Witterungsverlauf unterscheiden. Die Jahreswitterung wird in vier so genannte Compartments eingeteilt, wobei nur der Zeitraum von der Saat bis zum Schoßtermin erfasst wird, da bereits 90 % der Ertragspotentials in dieser Zeitspanne festgelegt würden. Für die einzelnen Compartments werden getrennte Witterungswerte gebildet, die sich aus dem Pentadendurchschnitt der Temperatur und den Summen von Niederschlagsmengen und Sonnenscheinstunden zusammensetzen. Je nach Bodensubstrat wird ein Korrekturfaktor eingeführt, mit dem der korrigierte Witterungswert entsteht.

Den oben genannten Methoden zur Quantifizierung des Ertrages ist gemein, dass sie auf individuell entwickelten Index-Verfahren und teilweise auf subjektiven Einschätzungen der Wirkung von Wetter auf Ertrag beruhen. Obwohl ihre Ergebnisse realistisch erscheinen, ist die Konstruktion der Indices nicht immer objektiv nachvollziehbar. Bei statistisch abgesicherten Verfahren besteht dieses Problem nicht.

WILHELM (1936) nutzte die Rangordnungsmethode nach Holdefleiß zur qualitativen Ertragsanalyse. Dabei werden jeweils die Erträge und Wetterparameter der Größe nach geordnet, wobei der jeweilige Maximalwert den Wert 1 und der Minimalertrag den Wert  $n$  (= Anzahl Jahre) erhält. Die Summe der Rangordnungsdifferenz von Ertrag und Wetterparameter gibt dann die Stärke des Zusammenhangs zwischen den Variablen an. Dieses Vorgehen ähnelt der Berechnung von Rangkorrelationen nach Spearman.

HANUS (1969) führte multiple Regressionsanalysen zur Ertragsvorausschätzung für das Versuchsgut Dikopshof zwischen Wetterparametern und Ertrag durch. Er nutzte eine 14 jährige Ertragszeitreihe. Er konnte also maximal 12 Wetterparameter in die Regression einbeziehen. Er nutzte die monatlichen Wetterparameter Maximal-, Minimal-, Durchschnittstemperatur, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer, Niederschläge und relative Luftfeuchte von Januar bis Juli. Aus diesen 49 Wetterparametern bildete er mit Hilfe der linearen Korrelation zwischen Wetterparameter und Ertrag eine Rangordnung nach der Höhe der Korrelationskoeffizienten. Die zwölf Wetterparameter mit den höchsten Korrelationen wurden zur Berechnung der multiplen Korrelation genutzt. Variablen, die das multiple Bestimmtheitsmaß nicht signifikant verringerten, schieden aus und wurden durch die nächsten Parameter in der Rangordnung ausgetauscht. Nach diesem Vorgehen kam HANUS zu dem Schluss, dass aus der Höhe des Bestimmtheitsmaßes nicht ohne weiteres auf die Brauchbarkeit der Regressionsgleichungen geschlossen werden kann; die Ertragsvorausschätzung wird stark durch zufällige Merkmalskombinationen beeinflusst; bei der Vorausschätzung wirken sich auch die Merkmale aus, die keine signifikante Erhöhung des Bestimmtheitsmaßes liefern.



Deshalb schätzte er in einem zweiten, zweistufigen Verfahren den Ertrag mit multiplen Regressionsgleichungen für jeden einzelnen Monat. Darauf aufbauend führte er mit den einzelnen Ergebnissen erneut eine multiple Regression durch, um zu untersuchen, welchen Beitrag die einzelnen Monate zum endgültigen Ertrag liefern. Zur Überprüfung dieses Verfahrens nahm er nacheinander einzelne Jahre aus den Rechnungen zur Bestimmung der Regressionsrechnungen heraus und schätzte anschließend den Ertrag des entsprechenden Jahres. Dabei kamen erhebliche Abweichungen heraus.

In einer Studie für die EG überprüfte HANUS (1978), ob seine Schätzverfahren zur Ertragsprognose für andere europäische Länder anwendbar waren. Er nahm keine regionale Differenzierung vor. Den Ertragstrend führte er ausschließlich auf technologische Einflüsse zurück und eliminierte ihn dadurch, dass er die Zeit als Konstante in die multiplen Regressionsgleichungen einführte. Er kam zu dem Schluss, dass die Witterungsdaten für die Ertragsbildung wesentlichen Witterungselemente umfassen müssen; die Vegetationszeit muss in für die Ertragsbildung relevante Zeitabschnitte eingeteilt werden; zur Prognose der Erträge von größeren Regionen müssen mehrere Wetterstationen einbezogen werden; zur Quantifizierung des Witterungseinflusses auf den Ertrag muss die Datenreihe entsprechend lang sein; als Rechenverfahren eignet sich am besten eine lineare, multiple Regressionsanalyse; zur Unterteilung der Vegetationsabschnitte reichen Kalenderabschnitte.

Auch HÜNICKEN (1978) kommt in seiner Arbeit zum Schluss, dass sich statistische Verfahren der Korrelations- und Regressionsanalyse zur Erfassung witterungsbedingter Ertragsvariabilität bewährt haben. Bei seinen Analysen war nur ein geringer Teil der Korrelationskoeffizienten statistisch gesichert. Deshalb nutzt er multiple Regressionsansätze. Um den Datenumfang nicht zu erhöhen, nutzt er wie HANUS (1969) Monatsmittelwerte.

LINKE (1977) untersuchte den Einfluss meteorologischer Elemente auf den Ertrag von Winterroggen am Standort Müncheberg. Sie unterteilte die Witterungsabschnitte entsprechend der phänologischen Phasen. Dabei stellte sie eine enge Korrelation zwischen der Niederschlagssumme der gesamten Vegetationsperiode und dem Ertrag fest.

#### **4.3.2 Ergebnisse der Korrelationsanalyse**

In Tabelle 6 sind die Korrelationskoeffizienten für verschiedene Standorte und über verschiedene Perioden zwischen der Niederschlagssumme und der Trendabweichung des **Winterweizen**ertrags dargestellt. Die Korrelationskoeffizienten der Einzelmonatsniederschläge der Brandenburger Standorte Manschow, Nuhnen, Prenzlau und Dedelow unterscheiden sich deutlich von den Korrelationskoeffizienten der anderen

Standorte. Es liegen fast ausnahmslos positive Korrelationen zwischen der monatlichen Niederschlagssumme und der Trendabweichung des Winterweizenertrags vor. Der höchste Korrelationskoeffizient beträgt 0,66 für den Standort Nuhnen. Relativ schwache Korrelationen über alle untersuchten Standorte sind ab Juli zu verzeichnen.

Wird die Korrelationsanalyse zwischen der Niederschlagssumme von mehreren Monaten und der Trendabweichung durchgeführt, so sind die Brandenburger Standorte wiederum durch positive Korrelationen gekennzeichnet. Die höchste Korrelation von 0,74 wird für die Niederschlagssumme von April und Mai für den Standort Prenzlau erreicht. Insgesamt sind für die Brandenburger Standorte die Korrelationen zwischen April und Juni am höchsten. Die Korrelationskoeffizienten am Dikopshof und in Kiel sind relativ schwach. Dies spricht für eine sehr geringe Abhängigkeit des Winterweizenertrags vom Niederschlag. In Olvenstedt wie auch in Düsse sind Korrelationen negativ. Hier scheint der Niederschlag einen negativen Einfluss auf die Ertragsbildung des Winterweizens zu haben.

**Tabelle 6: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Winterweizenertrag an verschiedenen Standorten**

	Dikopshof	Olvenstedt	Manschow	Nuhn	Prenzlau	Dedelow	Düsse	Kiel
Jan	0,08	0,17				-0,09	0,23	0,23
Feb	-0,21	-0,25				0,18	-0,33	0,23
Mrz	-0,10	0,14	0,34	-0,26	-0,09	-0,54	-0,21	0,54
Apr	-0,20	0,07	0,43	0,37	0,62	0,56	-0,12	0,15
Mai	0,36	-0,40	0,29	0,66	0,48	0,41	-0,07	-0,54
Jun	0,05	-0,43	0,34	0,39	0,25	0,35	-0,53	0,29
Jul	-0,04	-0,18	-0,26	0,01	0,09	0,11	0,01	0,35
Aug	-0,19	-0,43	0,35	0,06	-0,14	0,13	-0,11	-0,17
Sep	-0,14	-0,09	0,00	0,31	-0,01	0,19	0,00	0,31
Mrz-Apr	-0,19	0,13	0,42	-0,10	0,24	-0,02	-0,25	0,36
Mrz-Mai	0,14	-0,14	0,61	0,33	0,68	0,33	-0,25	-0,19
Mrz-Jun	0,13	-0,32	0,72	0,45	0,69	0,46	-0,46	-0,06
Mrz-Jul	0,09	-0,42	0,45	0,47	0,53	0,46	-0,44	0,18
Mrz-Aug	0,01	-0,52	0,55	0,40	0,52	0,48	-0,42	0,07
Mrz-Sep	-0,07	-0,55	0,49	0,50	0,48	0,49	-0,36	0,17
Apr-Mai	0,23	-0,29	0,54	0,65	0,74	0,58	-0,12	0,21
Apr-Jun	0,20	-0,44	0,55	0,67	0,60	0,60	-0,42	-0,25
Apr-Jul	0,15	-0,49	0,24	0,54	0,53	0,56	-0,36	0,12
Apr-Aug	0,06	-0,62	0,38	0,47	0,51	0,56	-0,34	0,00
Apr-Sep	-0,03	-0,67	0,34	0,57	0,47	0,55	-0,30	0,12
Mai-Jun	0,30	-0,53	0,40	0,68	0,42	0,46	-0,43	0,16
Mai-Jul	0,22	-0,53	0,11	0,46	0,39	0,43	-0,35	0,45
Mai-Aug	0,12	-0,67	0,27	0,45	0,36	0,45	-0,32	0,21
Mai-Sep	0,02	-0,75	0,23	0,55	0,32	0,45	-0,28	0,32
Jun-Jul	0,01	-0,42	0,00	0,25	0,26	0,28	-0,39	0,35
Jun-Aug	-0,08	-0,65	0,20	0,26	0,23	0,32	-0,31	0,13
Jun-Sep	-0,16	-0,80	0,16	0,38	0,19	0,33	-0,28	0,26
Jul-Aug	-0,15	-0,48	-0,02	0,05	0,01	0,15	-0,06	0,29
Jul-Sep	-0,22	-0,59	-0,02	0,23	0,00	0,21	-0,05	0,06
Aug-Sep	-0,22	-0,47	0,22	0,26	-0,06	0,21	-0,08	0,13

Quelle: eigene Berechnungen

Beim Vergleich der Korrelationskoeffizienten zwischen der Durchschnittstemperatur und der Trendabweichung des Winterweizenertrags (Tabelle A 1 im Anhang) sind fast ausschließlich negative Korrelationskoeffizienten festzustellen. Dabei ergeben sich für die Brandenburger Standorte wiederum die höchsten Koeffizienten. Die höchste Korrelation von -0,88 liegt in Prenzlau mit der Durchschnittstemperatur im Juni. Dieses Ergebnis und die Niederschlagskorrelationen sprechen für eine relativ starke Wettersensitivität des

Winterweizens in dieser Region. Auf dem Dikopshof und in Olvenstedt sind die Temperaturkorrelationen relativ gering.

In Tabelle 7 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme und der Trendabweichung des **Wintergerstenertrags** für verschiedene Standorte dargestellt. Die Ergebnisse verhalten sich ähnlich zu den Ergebnissen der Korrelationsrechnungen des Winterweizens. In Olvenstedt und in Düsse sind die Korrelationen negativ. In Kiel sind Niederschläge im März als ungünstig zu bezeichnen. Bei den Brandenburger Standorten Dürrenhofe, Nuhnen, Zehdenick, und Dedelow liegen positive Beziehungen zwischen den Niederschlägen in der Vegetationsperiode und dem Wintergerstenertrag vor. Die höchste Korrelation beträgt am Standort Zehdenick 0,69 zwischen der Niederschlagssumme von Juni und Juli und dem Wintergerstenertrag

**Tabelle 7: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Wintergerstenertrag an verschiedenen Standorten**

	Olvenstedt	Dürrenhofe	Nuhnen	Zehdenick	Dedelow	Düsse	Kiel
Jan	0,17				0,05	-0,44	0,51
Feb	0,00				0,06	0,15	0,07
Mrz	0,42	0,45	0,13	-0,02	0,17	-0,17	-0,56
Apr	-0,10	0,32	0,45	0,17	0,36	-0,17	-0,21
Mai	-0,39	0,12	0,44	0,17	0,24	-0,21	-0,06
Jun	-0,30	0,16	-0,01	0,61	0,32	0,05	0,47
Jul	0,12	-0,17	-0,49	0,33	-0,19	-0,21	0,64
Mrz-Apr	0,24	0,46	0,34	0,06	0,36	-0,24	-0,54
Mrz-Mai	-0,04	0,53	0,46	0,20	0,49	-0,35	-0,48
Mrz-Jun	-0,18	0,50	0,35	0,54	0,49	-0,26	-0,06
Mrz-Jul	-0,10	0,29	0,11	0,68	0,22	-0,36	0,29
Apr-Mai	-0,37	0,28	0,55	0,28	0,38	-0,26	-0,20
Apr-Jun	-0,43	0,28	0,36	0,61	0,41	-0,20	0,28
Apr-Jul	-0,31	0,05	0,06	0,67	0,16	-0,30	0,55
Mai-Jun	-0,45	0,19	0,23	0,58	0,33	-0,14	0,40
Mai-Jul	-0,28	-0,03	-0,13	0,59	0,08	-0,26	0,68
Jun-Jul	-0,09	-0,08	-0,39	0,69	0,01	-0,14	0,74

Quelle: eigene Berechnungen

Die Korrelationskoeffizienten zwischen Durchschnittstemperatur und der Trendabweichung des Wintergerstenertrags (Tabelle A 2 im Anhang) sind bei den Brandenburger Standorten ausgeprägter als bei den übrigen. Im Juni liegt für diese Standorte die höchste negative Korrelation vor. Hitzestress scheint den Abreifeprozess bei der Gerste negativ zu beeinflussen. Für Olvenstedt liegen nur schwache Korrelationen vor. Die Standorte Düsse und Kiel sind

ebenfalls negativ mit der Durchschnittstemperatur korreliert, allerdings schwächer als die Brandenburger Standorte.

## 4.4 Der Einfluss des Wetters auf Hackfrüchterträge

### 4.4.1 Literaturüberblick

Im Gegensatz zu Wintergetreide ist die Vegetationsperiode von den in Deutschland angebauten Hackfrüchten kürzer. So beginnt die Vegetationsperiode für Zuckerrüben und Kartoffeln im März/April und endet im September/Okttober.

MORTAZAWI ET AL. (1973) untersuchten den Einfluss von Standortfaktoren und Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Ertrag und Qualität von Zuckerrüben. Sie nutzten Daten von 32 Standorten aus den Jahren 1960 bis 1967. Aus der Korrelationsanalyse zwischen Witterungsdaten und Rübenenerträgen ergaben sich Schwerpunkte des Witterungseinflusses in den Monaten April, Mai und Juli, die meist auf der Sonnenscheindauer und der relativen Luftfeuchtigkeit beruhen. Die höchste Korrelation war zwischen dem Ertrag und der Durchschnittstemperatur im Juli. Teilweise bestätigten und teilweise widersprachen die Ergebnisse anderen Studien. So stellte HANUS (1969) auf dem Dikopshof positive Beziehungen zwischen Niederschlägen und Rübenenerträgen fest. Aus den Anbauversuchen konnten MORTAZAWI ET AL. nicht ableiten, dass der Rübenenertrag außer durch Saat- und Erntezeitpunkt sowie Stallmist- und Kalidüngung nicht durch Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst werden kann.

FRECKLETON ET AL. (1999) analysieren mittels multipler Regressionen den Zusammenhang vom Rübenenertrag zum Wetter am Standort Broom's Barn in England. Sie stellen fest, dass der Effekt der Niederschlagsschwankungen auf den Ertrag meist in den Monaten Juli und August auftritt. Bei der Temperatur sind dies die Monate April, Juli und August. Die höchsten Zuckerrübenenerträge werden also in kühlen und nassen Sommern erreicht. Zudem stellen sie fest, dass mit einer zunehmenden Nährstoffversorgung der Einfluss des Wetters auf den Ertrag zunimmt. Demgegenüber stellt VON MÜLLER (1962) für den Standort Göttingen fest, dass sich für den Zuckerzuwachs im Untersuchungszeitraum eine „feucht-kühle“ Wetterkonstellation eher als ungünstig und eine „trocken-warme“ als günstig erwiesen hat.

EISELE (1931, S. 35) stellt in seinen „Untersuchungen über die Ernteschwankungen der Kartoffeln“ fest, dass Kartoffeln im höheren Maße als Wintergetreide auf die Niederschläge in den Sommermonaten angewiesen sind. Der Witterungsverlauf im Juli und August ist von

grundlegender Bedeutung, da in diesem Zeitraum die Knollen ansetzen. Zudem ist eine gleichmäßige Wasserversorgung günstig.

KOLBE (1994, S.26 ff.) führte Gefäßversuche mit Kartoffeln durch. Im Gegensatz zu älteren Studien (BAUMANN, 1961), bei denen mit zunehmender Wasserversorgung der Knollenertrag zunimmt, leitet Kolbe aus seinen Gefäß- und Feldversuchen ab, dass die Knollenerträge mit steigenden Niederschlägen stark (in Feldversuchen;  $r=-0,69$ ) und mäßig (in Gefäßversuchen;  $r=-0,19$ ) abnehmen. Er vermutet, dass die Ertragsdepression durch Nährstoffverlagerung zustande gekommen sein kann. Für die Sonnenscheindauer gelangt Kolbe zu keinem einheitlichen Ergebnis. Aus den Gefäßversuchen erhält er eine negative Korrelation von -0,14, aus den Feldversuchen eine positive von 0,58. In den Versuchen nehmen die Knollenerträge parallel zur Verkürzung der Vegetationsperiode mit steigenden Temperaturen ab.

NITSCH (2003, S. 120) leitet aus Daten der ZMP und der Landwirtschaftskammer Hannover ab, dass Jahre mit guter, gleichmäßiger Niederschlagsverteilung die ertragreichen sind und niederschlagsarme Jahre bzw. Jahre mit Trockenperioden in der Hauptwachstumsphase zu Ertragsdepressionen führen. Er fasst zusammen: „Je gleichmäßiger die Pflanzen ihren Wasserbedarf decken können, je höher die Ertragsleistungen sind und je höher die Austauschkapazitäten der Nährböden sind, um so höher sind auch die Stärkeeinlagerungen in den Knollen.“ Staunässe ist allerdings zu vermeiden.

#### 4.4.2 Ergebnisse der Korrelationsanalyse

Es wurde an fünf Standorten die Korrelation zwischen der Niederschlagssumme verschiedener Perioden und der Trendabweichung des **Zuckerrüben**ertrags analysiert. Es zeigen sich meist positive Korrelationen zwischen den Niederschlagssummen und dem Zuckerrüben ertrag. Negative Korrelationen in den Monaten März und April können durch eine verzögerte/verspätete Aussaat aufgrund feuchter Bodenverhältnisse und damit einer verkürzten Vegetationsdauer erklärt werden. Bis auf einzelne Ausreißer sind bei den einzelnen Monatsniederschlägen die Korrelationen relativ niedrig. Durch die Bildung von Niederschlagssummen über mehrere Monate werden keine höheren Korrelationen erzielt. Es lassen sich jedoch die Ergebnisse von FRECKLETON ET AL. (1999) und HANUS (1969) bestätigen.

**Tabelle 8: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Zuckerrübenenertrag an verschiedenen Standorten**

	Dikopshof	Olvenstedt	Dedelow	Düsse	Kiel
Jan	-0,33	-0,28	0,19	0,03	0,26
Feb	-0,16	-0,16	0,10	-0,09	0,17
Mrz	0,18	-0,28	-0,32	-0,16	0,79
Apr	-0,14	-0,39	-0,08	0,28	0,11
Mai	-0,01	0,12	-0,13	-0,21	-0,11
Jun	0,24	0,18	0,33	-0,33	0,07
Jul	0,33	0,00	0,50	-0,20	-0,06
Aug	0,20	-0,22	0,09	0,00	0,26
Sep	0,16	-0,38	0,28	-0,12	-0,11
Okt	0,62	-0,09	-0,01	0,02	0,64
Nov	0,12	-0,26	0,16	-0,32	0,08
Mrz-Apr	0,07	-0,38	-0,36	0,00	0,66
Mrz-Mai	0,06	-0,25	-0,35	-0,14	0,51
Mrz-Jun	0,22	-0,12	-0,02	-0,28	0,48
Mrz-Jul	0,36	-0,12	0,39	-0,37	0,37
Mrz-Aug	0,44	-0,20	0,40	-0,32	0,41
Mrz-Sep	0,48	-0,34	0,46	-0,32	0,34
Apr-Mai	-0,09	-0,11	-0,13	-0,03	0,01
Apr-Jun	0,12	0,02	0,10	-0,23	0,09
Apr-Jul	0,31	0,01	0,43	-0,32	0,04
Apr-Aug	0,39	-0,10	0,43	-0,26	0,13
Apr-Sep	0,40	-0,26	0,48	-0,28	0,07
Mai-Jun	0,19	0,19	0,14	-0,40	0,01
Mai-Jul	0,36	0,15	0,48	-0,47	-0,03
Mai-Aug	0,42	0,01	0,50	-0,36	0,09
Mai-Sep	0,43	-0,16	0,53	-0,37	0,02
Jun-Jul	0,39	0,11	0,59	-0,43	0,01
Jun-Aug	0,42	-0,06	0,61	-0,28	0,13
Jun-Sep	0,48	-0,32	0,62	-0,31	0,06
Jul-Aug	0,37	-0,18	0,51	-0,14	0,12
Jul-Sep	0,41	-0,48	0,54	-0,18	0,02
Aug-Sep	0,25	-0,51	0,27	-0,10	0,07

Quelle: eigene Berechnungen

Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Durchschnittstemperatur und den Trendabweichungen des Zuckerrübenenertrags sind an den Standorten Dikopshof und Dedelow negativ, d.h. hohe Temperaturen wirken sich negativ auf den Ertrag aus. Die höchste negative Korrelation lag in Dedelow bei -0,78 für die Periode Juli bis September. Demgegenüber wirken sich in Düsse und Kiel hohe Temperaturen positiv aus. Außer in Düsse sind auf den übrigen Standorten im August negative Korrelationen zwischen Durchschnittstemperatur und Ertrag.

In der Tabelle 9 sowie Tabelle A 4 bis Tabelle A 6 im Anhang sind die Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Ertrag von **Kartoffeln** der Reifegruppen 1 bis 4 und Stärkekartoffeln abgetragen. In der Reifegruppe 1 werden sehr früh abreifende Kartoffeln, in Reifegruppe 2 frühe, in Reifegruppe 3 mittelfrühe und in Reifegruppe 4 mittelspäte bis späte Kartoffeln zusammengefasst. Unterschiede zwischen den Standorten werden deutlich. Einige Standorte haben nur sehr geringe positive oder negative Korrelationen. Der berechnete Sortenversuch in Neustadt hat relativ hohe negative Korrelationen über die gesamte Vegetationsperiode. Für die Reifegruppen 1 bis 3 liegen in Weißenstephan ebenfalls negative Korrelationen vor; die Koeffizienten für die Stärkekartoffeln sind schwach negativ. Die niederschlagsreichen Standorte in Bayern und Baden-Württemberg weisen bei den Korrelationen der Einzelmonate bis Juli negative Koeffizienten auf. Erhöhte Niederschläge führen dort in dieser Periode also zu Ertragsdepressionen. Ab Juli bzw. August sind die Koeffizienten der meisten Standorte positiv. Dies spricht für eine hohe Wasserbedürftigkeit der Kartoffelpflanze in diesem Zeitraum. Umgekehrt sind an vielen Standorten relativ hohe negative Korrelationen im März/April festzustellen. Überdurchschnittliche Niederschläge in dieser Periode führen zu nassen Bodenverhältnissen, durch die sich der Pflanztermin verzögert. Eine verkürzte Vegetationsperiode ist die Folge.

In Gülzow sinken mit zunehmender Reifegruppe die Korrelationskoeffizienten. Da dort die verschiedenen Reifegruppen den gleichen Pflanztermin haben, scheint mit zunehmender Vegetationsdauer die Niederschlagsabhängigkeit zu sinken.



**Tabelle 9: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Kartoffelertrag unterschiedlicher Reifegruppen (RG) an verschiedenen Standorten**

	Leiter- kofen	Weihen- stephan	Olven- stedt	Zehdenick	Gülzow	Krauchen- wies	Olven- stedt	Dürren- hofe	Münche- berg
RG	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Jan	-0,35	-0,30	-0,09		0,13	-0,24	-0,46		-0,07
Feb	0,07	-0,26	-0,08		0,37	-0,20	0,15		0,40
Mrz	-0,52	0,15	0,12	-0,34	-0,47	-0,26	0,14	-0,74	-0,25
Apr	-0,23	-0,26	0,37	-0,50	0,26	-0,07	0,17	-0,41	0,20
Mai	-0,28	-0,13	0,29	0,28	-0,18	-0,28	0,21	0,19	-0,04
Jun	0,32	-0,52	0,61	0,80	0,36	-0,08	0,67	0,38	0,34
Jul	0,34	0,22	0,27	0,40	0,44	0,37	0,24	0,78	0,70
Aug	-0,35	-0,12	-0,01	0,16	0,30	0,20	0,15	-0,23	0,04
Sep	0,00	0,50	-0,17	0,62	0,33	-0,38	-0,19	0,07	0,36
Okt	0,12	0,48	0,39	0,01	0,09	0,31	0,38	-0,10	-0,17
Mrz-Apr	-0,55	-0,09	0,26	-0,44	-0,14	-0,25	0,17	-0,76	-0,07
Mrz-Mai	-0,65	-0,18	0,39	-0,39	-0,23	-0,38	0,28	-0,56	-0,07
Mrz-Jun	-0,52	-0,52	0,61	0,76	0,02	-0,42	0,55	-0,28	0,20
Mrz-Jul	-0,25	-0,34	0,76	0,92	0,30	-0,24	0,63	0,53	0,51
Mrz-Aug	-0,38	-0,43	0,59	0,67	0,38	-0,10	0,55	0,40	0,43
Mrz-Sep	-0,37	-0,11	0,53	0,72	0,51	-0,22	0,50	0,32	0,44
Apr-Mai	-0,37	-0,32	0,44	-0,05	0,02	-0,24	0,27	-0,08	0,07
Apr-Jun	-0,14	-0,65	0,66	0,79	0,23	-0,33	0,58	0,18	0,32
Apr-Jul	0,17	-0,38	0,76	0,82	0,47	-0,11	0,61	0,74	0,60
Apr-Aug	-0,09	-0,46	0,60	0,73	0,55	0,02	0,55	0,64	0,52
Apr-Sep	-0,08	-0,15	0,55	0,76	0,61	-0,14	0,52	0,59	0,51
Mai-Jun	0,02	-0,51	0,58	0,84	0,15	-0,37	0,57	0,42	0,28
Mai-Jul	0,28	-0,25	0,63	0,81	0,44	-0,08	0,56	0,84	0,62
Mai-Aug	0,01	-0,30	0,51	0,77	0,55	0,06	0,53	0,76	0,50
Mai-Sep	0,01	-0,03	0,48	0,79	0,60	-0,12	0,50	0,75	0,48
Jun-Jul	0,43	-0,25	0,62	0,85	0,71	0,14	0,59	0,83	0,70
Jun-Aug	0,18	-0,31	0,51	0,74	0,80	0,22	0,58	0,77	0,58
Jun-Sep	0,18	0,03	0,49	0,77	0,61	0,04	0,57	0,75	0,54
Jul-Aug	0,00	0,14	0,21	0,34	0,55	0,41	0,28	0,58	0,42
Jul-Sep	0,00	0,38	0,11	0,63	0,55	0,12	0,17	0,60	0,41
Aug-Sep	-0,32	0,38	-0,13	0,52	0,36	-0,11	0,01	-0,10	0,16

Quelle: eigene Berechnungen

In Tabelle A 7 bis Tabelle A 10 sind die Korrelationen der Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden mit der Trendabweichung des Kartoffelertrages für verschiedene Standorte und Reifegruppen dargestellt. In Gülzow sind in den Monaten Juni, Juli und August relativ hohe negative Korrelationen. Die Durchschnittstemperatur beeinflusst die verschiedenen Reifegruppen sehr ähnlich. Außer in Weihenstephan und Olvenstedt sind alle

Korrelationen zwischen der Trendabweichung des Ertrages und der Durchschnittstemperatur im Juli negativ. Insgesamt überwiegen negative Korrelationen. Auch der Kartoffelertrag des berechneten Versuchs in Neustadt weist negative Korrelationskoeffizienten auf. Der Ertrag wird also negativ durch hohe Temperaturen – vor allem im Juli – beeinflusst.

## **4.5 Der Einfluss des Wetters auf Gemüseerträge**

### **4.5.1 Speisezwiebeln**

In Deutschland ist die Zwiebelanbaufläche in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen. Wurden 1993 erst 5.263 ha angebaut, waren es im Jahre 2004 bereits 9.111 ha (GOLDHOFER und DUNST, 2005, S.21). In Deutschland wird das Zwiebelwachstum durch einen warmen Vorsommer und ausreichenden Niederschlägen in der Hauptwachstumsperiode (Juni und Juli) sowie durch warme, trockene Witterung im Spätsommer, die das Ausreifen von Speisezwiebeln begünstigen (VOGEL, 1996, S. 714).

Die in Tabelle 10 errechneten Korrelationskoeffizienten stammen von Prüfstellen des Bundessortenamtes. Außer in Olvenstedt wurden die Sortenversuche der anderen Prüfstellen berechnet. An diesen Standorten sind die Korrelationen der Einzelmonate und über mehrere Monate meist negativ. Demgegenüber stimmen die Ergebnisse der Korrelationsrechnung aus Olvenstedt mit denen von VOGEL (1996) überein. Es liegt eine relativ hohe Korrelation von 0,72 zwischen der Niederschlagssumme von Mai bis Juli und der Trendabweichung des Zwiebelertrages vor.

**Tabelle 10: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und der Trendabweichung des Zwiebelertrages an verschiedenen Standorten**

	Hannover	Lemgrabe	Olvenstedt	Quedlinburg
Beregnung	1	1	0	1
Jan	-0,39	0,27	-0,05	-0,73
Feb	-0,14	-0,28	0,16	0,24
Mrz	0,05	0,20	-0,35	-0,13
Apr	-0,05	-0,34	-0,04	-0,15
Mai	-0,43	-0,21	0,60	-0,03
Jun	-0,53	-0,40	0,22	-0,12
Jul	-0,17	-0,39	0,57	0,59
Aug	0,21	-0,48	-0,01	0,22
Sep	-0,33	0,08	-0,09	-0,24
Mrz-Apr	0,02	0,03	-0,29	-0,16
Mrz-Mai	-0,19	-0,07	0,28	-0,14
Mrz-Jun	-0,44	-0,26	0,30	-0,17
Mrz-Jul	-0,41	-0,44	0,58	0,15
Mrz-Aug	-0,31	-0,50	0,50	0,21
Mrz-Sep	-0,59	-0,40	0,50	0,13
Apr-Mai	-0,32	-0,52	0,58	-0,10
Apr-Jun	-0,61	-0,62	0,48	-0,14
Apr-Jul	-0,43	-0,66	0,70	0,22
Apr-Aug	-0,33	-0,71	0,62	0,28
Apr-Sep	-0,55	-0,53	0,62	0,20
Mai-Jun	-0,65	-0,44	0,52	-0,11
Mai-Jul	-0,41	-0,54	0,72	0,29
Mai-Aug	-0,33	-0,64	0,63	0,35
Mai-Sep	-0,60	-0,47	0,64	0,27
Jun-Jul	-0,34	-0,53	0,63	0,36
Jun-Aug	-0,24	-0,62	0,48	0,45
Jun-Sep	-0,58	-0,42	0,50	0,39
Jul-Aug	-0,05	-0,51	0,42	0,63
Jul-Sep	-0,39	-0,34	0,40	0,59
Aug-Sep	-0,19	-0,19	-0,11	0,03

Quelle: eigene Berechnungen

In Tabelle A 11 im Anhang sind die Korrelationen zwischen der Durchschnittstemperatur und der Trendabweichung des Zwiebelertrages dargestellt. Für die Prüfstelle Hannover ergibt sich eine positive Korrelation von 0,6 zwischen Trendabweichung und Durchschnittstemperatur von März bis September. In Lemgrabe sind die Korrelationskoeffizienten nur gering. Im Gegensatz zu den bei VOGEL (1996) beschriebenen Temperaturansprüchen sind in Olvenstedt und Quedlinburg die Korrelationen meist negativ. Die höchste negative Korrelation beträgt

zwischen der Durchschnittstemperatur von April bis September und der Trendabweichung - 0,83.

#### **4.5.2 Möhren**

Wie der Zwiebelanbau ist auch der Möhrenanbau kontinuierlich gewachsen. 1993 wurden 6130 ha Möhren angebaut, 2004 waren es 10504 ha (GOLDHOFER und DUNST, 2005, S. 69). Der Möhrenanbau in gemäßigten bis in die subtropischen Klimagebiete verbreitet. Die günstigsten Wachstumsbedingungen erreichen sie jedoch bei Tagesdurchschnittstemperaturen von 16 bis 18 °C (VOGEL, 1996, S. 960). Die berechneten Standorte haben meist negative Korrelationen zwischen Trendabweichung und Niederschlagssumme. In Hannover sind diese relativ hoch. In Olvenstedt sind die meisten Korrelationen positiv. Die höchste Korrelation ist - wie bei den Zwiebeln – zwischen der Niederschlagssumme von Mai bis Juli und der Trendabweichung. Sie beträgt 0,69.

**Tabelle 11: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und der Trendabweichung des Möhrenertrages an verschiedenen Standorten**

	Hannover	Bardowick	Lemgrabe	Olvenstedt
Beregnung	1	1	1	0
Jan	-0,56	-0,84	0,08	-0,02
Feb	0,26	-0,29	-0,23	0,00
Mrz	-0,03	-0,69	-0,06	-0,56
Apr	-0,14	-0,45	-0,05	-0,20
Mai	-0,46	-0,41	0,14	0,43
Jun	-0,54	0,27	-0,19	-0,02
Jul	-0,43	0,36	-0,02	0,49
Aug	0,34	0,01	-0,38	-0,38
Sep	-0,50	-0,02	0,46	-0,07
Mrz-Apr	-0,13	-0,71	-0,07	-0,47
Mrz-Mai	-0,60	-0,83	-0,02	-0,12
Mrz-Jun	-0,73	-0,66	-0,15	-0,12
Mrz-Jul	-0,77	-0,64	-0,12	0,23
Mrz-Aug	-0,60	-0,44	-0,23	-0,03
Mrz-Sep	-0,85	-0,39	0,03	-0,06
Apr-Mai	-0,51	-0,56	0,06	0,24
Apr-Jun	-0,75	-0,28	-0,11	0,21
Apr-Jul	-0,82	-0,12	-0,09	0,57
Apr-Aug	-0,58	-0,08	-0,21	0,28
Apr-Sep	-0,78	-0,07	0,05	0,20
Mai-Jun	-0,73	-0,01	-0,10	0,36
Mai-Jul	-0,70	0,22	-0,07	0,69
Mai-Aug	-0,53	0,21	-0,22	0,40
Mai-Sep	-0,75	0,15	0,07	0,31
Jun-Jul	-0,54	0,48	-0,13	0,54
Jun-Aug	-0,25	0,39	-0,26	0,16
Jun-Sep	-0,62	0,33	0,04	0,07
Jul-Aug	0,07	0,25	-0,23	0,12
Jul-Sep	-0,49	0,20	0,15	0,06
Aug-Sep	-0,29	0,00	0,19	-0,37

Quelle: eigene Berechnungen

Die Korrelationen der Durchschnittstemperaturen mit den Trendabweichungen der Möhrenerträge (Tabelle A 12 im Anhang) sind positiv für den Standort Hannover. Die höchste Korrelation von 0,69 liegt in der Periode von März bis September vor. Für die Standorte Olvenstedt und Bardowick sind die Korrelationen relativ stark negativ, für Lemgrabe relativ schwach negativ.

### 4.5.3 Weißkohl

Im Gegensatz zu Zwiebeln und Möhren ist die Anbaufläche von Weißkohl von 7.644 ha im Jahr 1992 auf 7.025 ha im Jahr 2004 zurückgegangen (VOGEL, 1996, S. 244; GOLDHOFER und DUNST, 2005, S. 38). Für das vegetative Wachstum sind Temperaturen von 16 bis 20 °C optimal. Bei Temperaturen von weniger als 10 °C oder über 25 °C über einen längeren Zeitraum treten nachteilige physiologische Veränderungen in der Pflanze auf. Kopfkohlarten benötigen viel Wasser und reagieren auf Wasser- und Beregnungsdefiziten empfindlich. Bei lang andauernder Trockenheit kann sich ein Tabakblatt in der Mitte des Kohls bilden. Dies hat zur Folge, dass die Ware nicht mehr zu vermarkten ist. Frostschäden können im Frühjahr auftreten, falls der Kohl zu früh gepflanzt wird. Nach starken Einzelniederschlagsereignissen können beim Weißkohl wie auch beim Rotkohl oder Wirsing Wachstumsrisse auftreten (WEßLER, 2005, o.S.).

Die beiden berechneten Sortenversuche in Lemgrabe und Roda (Tabelle 12) weisen negative Korrelationen zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und der Trendabweichung auf. Zusätzlicher Niederschlag neben der Bewässerung führt also zu Ertragsdepressionen. Die relativ hohen Korrelationen im Mai lassen wieder auf verzögerte Pflanztermine durch hohe Niederschlagsmengen schließen. Die Korrelationen zwischen Durchschnittstemperatur und Trendabweichung sind relativ gering, so dass ein besonderer Einfluss von der Durchschnittstemperatur auf die Erntemengen ausgeschlossen werden kann. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Aussage von JOACHIMI (2005, o.S.), nach der die Temperaturen im Weißkohlanbau zu vernachlässigen sind.

**Tabelle 12: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme und Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden und der Trendabweichung des Weißkohlertrages an verschiedenen Standorten**

	Niederschlag		Temperatur	
	Lemgrabe	Roda	Lemgrabe	Roda
Beregnung	1	1	1	1
Jan	0,03	0,28	0,19	-0,25
Feb	0,07	-0,47	0,10	0,29
Mrz	0,55	0,01	0,08	-0,02
Apr	-0,15	-0,14	0,12	0,16
Mai	-0,54	-0,46	-0,09	0,26
Jun	0,10	-0,12	-0,40	0,47
Jul	-0,34	-0,38	0,00	-0,33
Aug	-0,10	0,12	-0,27	0,33
Sep	0,24	0,22	0,22	-0,52
Okt	-0,44	0,22	0,65	0,01
Apr-Mai	-0,61	-0,42	0,00	0,25
Apr-Jun	-0,28	-0,36	-0,18	0,39
Apr-Jul	-0,35	-0,44	-0,18	0,23
Apr-Aug	-0,32	-0,28	-0,26	0,30
Apr-Sep	-0,15	-0,17	-0,15	0,05
Mai-Jun	-0,21	-0,39	-0,28	0,42
Mai-Jul	-0,32	-0,45	-0,25	0,20
Mai-Aug	-0,31	-0,28	-0,30	0,26
Mai-Sep	-0,12	-0,16	-0,18	0,01
Jun-Jul	-0,16	-0,29	-0,25	0,13
Jun-Aug	-0,17	-0,15	-0,29	0,23
Jun-Sep	0,00	-0,02	-0,17	-0,07
Jul-Aug	-0,27	-0,11	-0,15	-0,04
Jul-Sep	-0,05	0,04	-0,03	-0,32
Aug-Sep	0,16	0,20	-0,04	-0,24

Quelle: eigene Berechnungen

#### 4.5.4 Weitere Gemüsearten im Freilandanbau

Der **Spargelanbau** in Deutschland wuchs von 8.200 ha im Jahr 1992 auf 16.730 ha im Jahr 2004 (GOLDHOFER und DUNST, 2005, S. 78). Durch seine Mehrjährigkeit existieren beim Spargel zwei kritische Wetterphasen. Die erste liegt während der Hauptvegetationszeit von Juni bis August. Tagesdurchschnittstemperaturen bis 19 °C fördern das Wachstum und steigern den Ertrag im folgenden Jahr. Bei Durchschnittstemperaturen über diesem Wert sinkt der Ertrag wieder. Zudem steigern in der Phase Juli und August Niederschläge von über 160 mm den Ertrag der Sortierung 16-26 mm (VOGEL, 1996, S. 784). Ausreichende Niederschläge

im Herbst (September – November) beeinflussen die Knospenbildung an den Rhizomen positiv. Aus den Knospen entwickeln sich im Folgejahr die Spargelstangen. Durch Hagel oder Starkniederschläge wird der Spargelaufwuchs verletzt bzw. er bricht ab, so dass das Assimilationsvermögen der Rhizome verringert wird (MUB, 2005, o.S.).

Die zweite kritische Wetterphase liegt im Mai. Nach ELLINGER und HENTSCHEL (1988, S. 22) besteht in Deutschland eine positive Korrelation von 0,93 zwischen der Ertragsmenge eines Jahres und der Durchschnittstemperatur im Mai. Eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur um 0,5 °C führt zu einer Ertragssteigerung von 2 dt/ha. Es ist jedoch zu beachten, dass bei extremer Hitze ein deutlicher Preisverfall festzustellen ist (ZIEGLER, 2005, o.S.). Gegenmaßnahmen gegen kühle Witterung sind schwarze Folien, die eine Dammerwärmung begünstigen.

Die Anbaufläche von **Gurken** betrug in 2003 3.340 ha. Die Saat erfolgt im Mai. Die Ernte erstreckt sich von Ende Juni bis September oder Oktober. Die Gurke benötigt zum Keimen eine Bodentemperatur von 15 bis 18 °C und für das Wachstum eine Lufttemperatur von mindestens 12 °C. Die optimale Lufttemperatur für das Wachstum beträgt 22 °C bis 30 °C. Bei bereits kurzzeitig einwirkenden Lufttemperaturen von 3 bis 5 °C können physiologische Schäden an der Pflanze auftreten. Ebenso schädlich sind über mehrere Tage andauernde Nachttemperaturen zwischen 6 und 12 °C. Als besonders ungünstig erweist sich kalte und gleichzeitig feuchte Witterung, die zum Faulen der Pflanzen führen kann. In Deutschland hat sich als Maßnahme gegen niedrige Temperaturen der Anbau unter Folie oder Vlies etabliert. Die Gurke bevorzugt feuchte Wärme. In der Vegetations-/Erntezeit benötigt die Gurke 60 – 80 mm Niederschlag pro Woche. Durch Tröpfchenberegnung, die zu 98 % in der Gurkenproduktion im Rheinland eingesetzt wird, verringert sich der Bedarf auf 20 – 30 mm (JOACHIMI, 2005, o.S.; VOGEL, 1996, S. 442).

In Deutschland ist die Anbaufläche von **Blumenkohl** von 6.700 ha im Jahre 1993 auf 5.500 ha im Jahr 2003 zurückgegangen. Blumenkohl wird von Anfang März bis Anfang Juni gesät. Der spätere Anbau ist zurückgegangen, da hierzulande keine günstigen klimatischen Bedingungen herrschen. Die idealen Wachstumsbedingungen findet Blumenkohl in maritimen Klimagebieten mit Temperaturen um 15 bis 20 °C, da sich dann die generative Entwicklung und das vegetative Wachstum im Gleichgewicht befinden. Im Gegensatz zu anderen Kohlarten, die nicht in die generative Phase wechseln dürfen, muss Blumenkohl in die generative Phase wechseln, um die Blume zu entwickeln. Der Blumenansatz erfolgt nicht in Perioden, in denen die Nachttemperaturen über 23 °C verharren, sondern die Nachttemperaturen müssen unter 15 °C sinken. Durch nächtliche Beregnung kann eine



Abkühlung des Bestands erreicht werden. Dadurch erhöht sich aber auch der Krankheitsdruck.

Durch die Stickstoffmobilisierung im Boden nach starken Niederschlägen nach dem Blumenansatz verursachen einen Wachstumsschub. Innerhalb kürzester Zeit reifen Pflanzen verschiedener Setzzeitpunkte. Die Folge ist eine gestörte Marktbelieferung, die so genannte „weiße Woche“, bei der das Überangebot an Blumenkohl nicht zu vermarkten war. In solchen Fällen griff eine Interventionsregelung der EU, die den Markt stützte. Dieser Interventionsmechanismus wurde allerdings zurückgefahren (WEBLER, 2005, o.S.; VOGEL, 1996, S. 270).

**Gartensalate** erhalten eine immer größere wirtschaftliche Bedeutung mit mittlerweile 7.500 ha Anbaufläche in Deutschland (1993: ca. 4.000 ha). Die Vegetationsdauer von der Pflanzung bis zur Ernte beträgt 50 bis 70 Tage. Die erste Pflanzung findet in wärmebegünstigten Gebieten wie der Vorderpfalz und dem Rheinland zwischen Mitte bis Ende Februar statt. Zwischen der 8. und 34. Kalenderwoche wird wöchentlich ein Satz gepflanzt. Zum Pflanztermin muss es trocken sein und unmittelbar nach dem Pflanzen dürfen keine extremen Niederschläge auftreten. Zwischen der 20. und 30. Kalenderwoche kann infolge starker Sonneneinstrahlung Innenbrand auftreten. Dies ist ein Calciummangel in der Pflanze, der auch bei Nachttemperaturen von über 25 °C auftritt. Eine Gegenmaßnahme ist die Beregnung während der Nacht.

Bis etwa zur 18. Kalenderwoche werden die Salatpflanzen mit Vlies oder Folien abgedeckt. Diese Bestände sind durch Starkniederschläge gefährdet, da die Feuchtigkeit unter den Folien nicht abgeleitet werden kann. Die Pflanzen werden durch Krankheitserreger wie Botrytis oder falschem Mehltau befallen. Zur Vermeidung müssen die Abdeckungen entfernt werden und Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt werden. Die Ernte verzögert sich. Ohne Abdeckungen sind die Salatpflanzen anfällig gegenüber Hagelschlag. Starkniederschläge bringen Bodenpartikel auf die Salatpflanzen auf. Die verschmutzten Salate sind im Extremfall nicht mehr zu vermarkten bzw. bei Kopfsalat sind nur noch die Salatherzen zu vermarkten (WEBLER, 2005, o.S.).

In Deutschland werden ca. 2.100 ha **Kohlrabi** angebaut. Der erste Pflanztermin liegt um die 8. Kalenderwoche. Die Vegetationsdauer vom Pflanzen bis zur Ernte beträgt etwa 60 Tage. 20 Tage nach dem Pflanzen verdickt sich das Hypokotyl. Treten danach starke Niederschläge auf, so entstehen Wachstumsrisse, die eher bei den neuen, dünnhäutigen und zartfleischigen Sorten auftreten. Bei sortenabhängig unterschrittenen Temperaturgrenzen kann Kohlrabi schossen, d.h. die Pflanze überspringt die vegetative und wechselt in die generative Phase.

Knollenwachstum und Laubentwicklung werden bei Bodentemperaturen bis zu 25 °C gefördert, bei Temperaturen unterhalb von 15 °C ist mit deutlichen Ertragsverlusten zu rechnen (WEBLER, 2005, o.S.; VOGEL, 1996, S. 308 f.).

Der **Porreeanbau** hat in Deutschland durch den züchterischen Fortschritt stark zugenommen. Er hat sich von einem Wintergemüse zu einem Ganzjahresgemüse (Juni bis April) entwickelt. Eine kritische Phase beim Spätporree ist die 6. bis 9. Kalenderwoche. Falls die Temperaturen im Januar und Februar ansteigen und anschließend wieder eine Frostphase eintritt, so kann der Porree während der Frostphase nicht geerntet werden und wechselt anschließend in die generative Phase. Der erste Porree wird im März gesät bzw. gepflanzt. Der gepflanzte Porree wird im Mai/Juni geerntet, der gesäte im August. Das sehr feine Saatgut ist nach der Saat durch Niederschläge gefährdet, da es zu Bodenverkrustungen kommen kann. Das optimale Wachstum findet im Temperaturbereich zwischen 20 und 23 °C statt (WEBLER, 2005, o.S.).

#### **4.6 Klimaänderungen und Ertrag**

In den letzten 100 Jahren hat sich die Atmosphäre in Bodennähe um etwa 0,6 °C erwärmt. Infolge dessen könnte damit gerechnet werden, dass der Wasserdampfgehalt zunimmt und es somit zu mehr und stärkeren Niederschlägen kommt. Trotz langjähriger Messdaten können derartige Auswirkungen nicht bewiesen werden, da die vorhandenen Daten teilweise spärlich und inhomogen sind (KRAUS und EBEL, 2003, S. 8). CHMIELEWSKI (2001, S. 92 ff.) weist für Europa zwischen 1969 und 1998 eine verfrühten Beginn der Blattentfaltung von ca. 8 Tagen nach. Im gleichen Zeitraum wurde eine schwache Tendenz (3 Tage) zur Verlängerung der Vegetationsperiode festgestellt.

Auf globaler Ebene werden sich wahrscheinlich kaum Veränderungen für die landwirtschaftliche Produktion ergeben, weil sich landwirtschaftlich nutzbare Gebiete über verschiedene Klimazonen erstrecken und in jeder Region unterschiedliche Kulturarten vorkommen, die an die Klimazone angepasst sind. Vermutlich wird sich die landwirtschaftliche Produktivität in einigen Gebieten verbessern oder nicht ändern und in anderen verschlechtern. Dabei ist es in niederen Breitengraden wahrscheinlicher, dass sich die Produktionsbedingungen verschlechtern werden als in mittleren bis hohen Breitengraden.

CHMIELEWSKI (2001, S. 94) geht für den Berlin-Brandenburger Raum davon aus, dass bei einer Erwärmung Wintergetreide den Sommergetreidearten überlegen sein wird, da sich die phänologischen Phasen verkürzen, in denen die ertragsrelevanten Merkmale ausgebildet werden. Problematisch erscheint ihm jedoch ein Anstieg der Lufttemperatur im Winterhalbjahr um mehrere Grad. Dies könnte dazu führen, dass die Vernalisation des

Wintergetreides nicht stattfindet. Für Zuckerrüben bedeutet eine längere Vegetationsperiode sowohl eine frühere Aussaat als auch eine spätere Rübenernte. Sofern sich die Wachstumsbedingungen in den übrigen Zeiträumen nicht verschlechtern, kann dies zu einem Ertragsanstieg führen. Jedoch steigen bei einem stärkeren Anstieg der Minimumtemperaturen gegenüber den Maximaltemperaturen im September und Oktober die Veratmungsverluste, die den Zuckergehalt negativ beeinflussen.

Allgemein können sich landwirtschaftliche Betriebe in Industrieländern auf moderate Klimaänderungen durch ein angepasstes Betriebsmanagement (Fruchtfolge, Sortenwahl, Bodenbearbeitung) einstellen. Auf zunehmende Trockenheit kann durch Beregnungsmaßnahmen in wettersensitiven Phasen reagiert werden. Höhere Produktionskosten werden die Folge sein. Dadurch wird zunächst auf Standorten mit leichten Böden die Anbauwürdigkeit in Frage gestellt. Nach Einschätzung von CHMIELEWSKI (2001, S. 96) würde eine Erhöhung der jährlichen Wettervariabilität die landwirtschaftliche Produktion schwer treffen, da eine Anpassung schwer möglich erscheint.

#### **4.7 Ausblick und Fazit**

Die Ertragsbildung bei Nutzpflanzen steht in einer interaktiven Wechselbeziehung zu den Faktoren Klima, Boden und Mensch. Die klimatischen Parameter Temperatur und Niederschlag stellen einen Teil des Klimas dar. Die hier verwendete Korrelationsanalyse stellt eine Möglichkeit zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Wetterparametern und Ertrag dar. Grundlage sind genügend lange Zeitreihen, aus denen empirische Regressionsmodelle abgeleitet werden. Die Berücksichtigung linearer Zusammenhänge erleichtert die Konstruktion eines Wetterderivats auf einen bestimmten Wetterparameter. Vorteil dieses Ansatzes ist die einfache Anwendbarkeit, wobei sich die Gültigkeit auf die jeweilige Region oder Klimabedingung beschränkt, für die die Modelle entwickelt wurden. VANDENDRIESSCHE und VAN ITTERSUM (1995, S.272) sehen in solchen empirischen Modellen lediglich eine statistische Analyse der Pflanze-Witterungs-Beziehungen, da sie keine Erklärungen für den Einfluss von Umweltfaktoren auf den Naturalertrag liefern.

Ein weiteres mögliches Vorgehen sind dynamische Pflanzenwachstumsmodelle. Diese bilden physiologische Prozesse wie Photosynthese und Transpiration sowie ihre Wechselwirkung detailliert ab. Sie werden in Modelle mit Zeitschritten von kleiner einem Tag oder gleich einem Tag unterteilt. Zu letzteren gehören die Wachstumsmodelle AGROSIM (AGROökosystem Simulation) und CERES (Crop Environment RESOURCE Synthesis). Diese beiden Modelle können für Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Zuckerrüben, Mais,

Raps sowie für verschiedene Zwischenfrüchte das Wachstum nachbilden. Sind die betriebsspezifischen Bodenparameter und Managementdaten bekannt, kann das Pflanzenwachstum und daraus abgeleitet der Ertrag eines Jahres mit den entsprechenden meteorologischen Daten simuliert werden (MIRSCHER ET AL., 2002, S. 137). Es lassen sich Ertragszeitreihen generieren, die dann allerdings mit einem Schätzfehler behaftet sind. Demgegenüber liefern empirische Modelle ebenso exakte Ergebnisse wie Pflanzenwachstumsmodelle, die durch die Kombination aller detailliert nachgebildeten Prozesse und ihrer jeweiligen Fehler beeinflusst werden (EBERS, 2006, S. 98). Aufgrund der guten Datenverfügbarkeit der in dieser Arbeit betrachteten Produktionsprozesse wird daher auf empirische Daten zurückgegriffen.

Wichtige pflanzliche Produkte in Deutschland sind Winterweizen, Wintergerste, Zuckerrüben und Kartoffeln aufgrund ihrer flächenmäßigen und auf die Gesamterntemenge bezogenen Bedeutung. Die Versuchstationen im Raum Brandenburg zeigten die höchsten Korrelationen zwischen der Niederschlagssumme und der Durchschnittstemperatur zum Winterweizen- und Wintergerstenertrag. Ein Zusammenhang zwischen der jährlichen Niederschlagssumme und den Korrelationen konnte jedoch nicht festgestellt werden. Für Zuckerrüben ergaben sich bei den Niederschlagskorrelationen relativ niedrige Werte. Hohe Temperaturen in den Sommermonaten wirken sich negativ auf den Ertrag aus. Eine hohe Wasserbedürftigkeit haben Kartoffeln ab Juli. Einen negativen Einfluss auf den Kartoffelertrag haben über nahezu alle untersuchten Standorte hohe Temperaturen.

Durch die relativ kurze Vegetationszeit ergeben sich für viele Gemüsearten einige Besonderheiten.<sup>60</sup> Ein Niederschlagsmangel spielt für Gemüsebaubetriebe kaum eine Rolle, da mittlerweile nahezu alle mit Beregnungsanlagen ausgestattet sind. Vor allem im Frühjahr ist eher Trockenheit erwünscht, um eine frühe Befahrbarkeit des Ackers und somit eine frühe Pflanzung zu erreichen. Umgekehrt stellen Starkniederschläge ein Risiko dar, da sich der Pflanztermin verschiebt und sich somit die Vegetationszeit verzögert. Es kann kein regelmäßiger Pflanzrhythmus und folglich keine regelmäßige Marktbeschickung eingehalten werden. Erntereifes Gemüse kann durch Starkniederschlag verschmutzt werden, so dass eine Vermarktung schwierig oder sogar unmöglich wird. Frisch gesäte oder gepflanzte Bestände können verschlammten. Eine Neusaat oder Neupflanzung ist die Folge.

---

<sup>60</sup> Die im Folgenden genannten Punkte stammen unter anderem aus den Ergebnissen einer Befragung von 239 Gemüsebauern und 67 Gemüsebauberatern zum Thema Mehrgefahrenversicherung. Die Befragung wurde von der Vereinigten Hagel durchgeführt (HORN, 2005, o.S.).

Bei niedrigen Temperaturen bzw. Frosteinwirkung können Vernalisationsschäden vor allem bei Porree, Sellerie und Kohlrabi auftreten. Hohe Temperaturen unter Langtagbedingungen vor allem im Juli und August rufen ebenfalls Vernalisationsschäden oder auch Innenbrand hervor.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass je kürzer die Vegetationsperiode einer Kultur (kleiner 3 Monate) ist, desto höher ist der Einfluss einzelner, extremer Wetterereignisse auf die Ertragsbildung. Bei Kulturen, die eine längere Vegetationszeit (größer 3 Monate) haben, kann eine für die Pflanzenvegetation nachteilige Witterung in einem bestimmten Stadium in einem anderen Vegetationsabschnitt wieder ausgeglichen werden. Dies kann entweder durch eine für die Pflanze günstige Witterung oder durch Anpassungsmechanismen der Pflanze geschehen.

## 5 Die stochastische Modellierung von Niederschlag und Temperatur

In diesem Kapitel wird jeweils eine Möglichkeit der Modellierung von Temperatur und Niederschlag vorgestellt.

Grundsätzlich lassen sich zwei Vorgehensweisen zur Gewinnung der Verteilung der Basisvariablen, bzw. des von der Basisvariablen abgeleiteten Index bei Fälligkeit unterscheiden. Zum einen kann aus historischen Daten für jedes Jahr der Index berechnet werden (SCHIRM, 2001, S. 25; TURVEY, 2001, S. 5; DORNIER und QUERUEL, 2000, S. 1; BRODY ET AL., 2002, S. 189). Da es sich bei dem Index in der Regel um eine stetige Zufallsvariable handelt, kann aus den historischen Realisationen eine Verteilung des Index geschätzt werden. Diese statische Methode, die auch Burn-Rate Methode genannt wird, ist besonders einfach in der Handhabung. Sie setzt allerdings voraus, dass sich die Vertragspartner vor Beginn der Laufzeit auf einen Preis einigen und ein Handel innerhalb der Vertragslaufzeit nicht in Betracht kommt. Diese Einschränkung ist im Hinblick auf die in dieser Arbeit angestrebte Konstruktion betriebsspezifischer Indices hinnehmbar. Infolge der teilweise hohen Spezifität ist nämlich ohnehin nicht mit einem liquiden Markt zu rechnen. Problematisch ist allerdings, dass für diese Methode eine große Anzahl von Jahren notwendig ist, um die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Index zur Fälligkeit hinreichend genau schätzen zu können, da jedes Jahr nur ein Indexwert berechnet werden kann.

Die zweite Vorgehensweise besteht darin, die Entwicklung der Basisvariablen über die Laufzeit zu simulieren. Aus den Werten, die sich am Ende der Laufzeit ergeben, lässt sich dann der Index ableiten. Für die Simulation ist ein stochastisches Modell der Wettervariablenentwicklung notwendig. Liegen Wetterdaten auf Tagesbasis vor, ergeben sich 365 Daten pro Jahr, die zur Auswertung herangezogen werden können.

Im Folgenden wird nun jeweils ein Verfahren zur Modellierung eines Temperatur- und Niederschlagsverlaufs vorgestellt. Die zugrunde gelegten Wetterdaten zur Temperaturmodellierung stammen von der Wetterstation Berlin Tegel, die zur Niederschlagsmodellierung von der Wetterstation Magdeburg.

### 5.1 Temperatur

Der stochastische Prozess, der die Temperaturdynamik im Zeitablauf widerspiegelt, hat folgende Eigenschaften:

Tagestemperaturen weisen ausgeprägte Saisoneinflüsse auf, die durch den Jahreszeitenrhythmus bedingt sind. Diese Funktion der Zeit wird in der Regel ergänzt um einen positiven linearen Trend. Die ermittelte Trendsteigung ist jedoch im Allgemeinen sehr gering und wird auf die Erderwärmung und/oder auf die zunehmende Urbanisierung zurückgeführt.

Die Tagestemperaturen sind positiv autokorreliert mit den Vortageswerten. D.h. die Wahrscheinlichkeit einer hohen Tagestemperatur ist höher, wenn am Vortag ebenfalls eine hohe Tagestemperatur zu verzeichnen war. CAO und WEI (2001) berücksichtigen darüber hinaus Korrelationen von bis zu vier zurückliegenden Tagen.

Die Tagestemperaturen folgen einem Mean-Reversion-Prozess. Es ist unmöglich, dass die Abweichung der Tagestemperaturen vom langfristigen Mittel beispielsweise über mehrere Monate oberhalb des Trends liegt oder gar anwächst. Tagestemperaturen können nur kurze Zeitperioden vom langfristigen Saisonmittel abweichen und kehren dann zurück, woraus sich der Name erklärt.

Die Standardabweichung der Temperaturzeitreihen verändert sich im Jahresablauf (Heteroskedastizität). Sie ist im Winter höher als im Sommer. Dies kann durch die gesonderte Bestimmung der Streuung einzelner Zeitabschnitte berücksichtigt werden. z.B. Standardabweichung für die einzelnen Monate (ALATON, 2002, S. 8). Innerhalb dieser Zeitabschnitte wird hierbei von konstanter Streuung ausgegangen. Daneben ist es auch möglich, die Streuung einer sinusoiden Funktion über den Jahresablauf anzupassen (CAO und WEI, 2001, S. 9). GARCH-Modelle sind darüber hinaus in der Lage Autokorrelationen der Varianzen zu berücksichtigen, Dies wird notwendig, falls unabhängig vom Jahresabschnitt großen absoluten Zufallsfehlern große folgen (RICHARDS ET AL., 2004, S. 1012).

Grundsätzlich ist die Temperatur eine zeitstetige Größe. Folglich ist der Prozess eigentlich ebenfalls als zeitstetiger Diffusionsprozess zu modellieren. Es liegen aber nur Tagesmittelwerte vor, so dass die Schätzung der Parameter mit diskreten Variablen erfolgen muss. Darüber hinaus verlangt die anschließende Simulation diskrete Größen. Schließlich ermöglichen einfaktorielle Diffusionsprozesse nicht die Berücksichtigung von Autokorrelationen für mehr als eine Zeitverschiebung (CAO und WEI, 2001, S. 9). Zur Bestimmung der Parameter des stochastischen Prozesses werden zunächst die zeitabhängigen Variablen Trend und Saison mit der Methode der kleinsten Quadrate herausgefiltert. Die trend- und saisonbereinigten Temperaturen werden mit  $U_t$  bezeichnet:

$$U_t = Y_t - \bar{Y}_t \quad (5.1)$$

Anschließend wird der übrige stochastische Teil des Prozesses bestimmt. Unter Berücksichtigung der oben getroffenen Annahmen folgt die trend- und saisonbereinigte Zeitreihe einem autoregressiven Prozess k-ter Ordnung.

$$U_t = \sum_{i=1}^k \phi_i U_{t-i} + \sigma_s \cdot \varepsilon_t \quad (5.2)$$

dabei stellen die  $\phi_i$  die Autoregressionskoeffizienten des Prozesses dar.  $\varepsilon_t$  kennzeichnet die Zufallsvariable für den Schätzfehler.  $\sigma_s$  kennzeichnet die Standardabweichung dieses Fehlers. Der Index s weist daraufhin, dass die Standardabweichung eine von der Saison abhängige Größe ist.

Zur Bestimmung des Temperaturmodells werden die Zeitreihenwerte vom 1. Januar 1980 bis 13. Februar 2004 herangezogen. Um Verzerrungen beim Trend zu vermeiden, werden nur die vollen Jahre seit 1980 genutzt, d.h. die Tage in 2004 bleiben unberücksichtigt. Bereits aus der Temperaturzeitreihe von 1999 bis 2003 (unregelmäßige Kurve) in Abbildung 16 ist der saisonale Charakter zu erkennen, der durch eine Sinusfunktion wiedergegeben werden kann. Darüber hinaus kann ein leichter Trendanstieg beobachtet werden. Diese Beziehungen können durch folgende Funktion zusammengefasst werden:

$$\bar{Y} = a_0 + a_1 t + c \sin(\omega t + d) = a_0 + a_1 t + a_2 \sin(\omega t) + a_3 \cos(\omega t) \quad (5.3)$$

Mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate werden die Parameter  $a_0, a_1, a_2$  und  $a_3$  so angepasst, dass die Summe der Abweichungsquadrate zwischen der Schätzung und den tatsächlichen Werten minimal wird. Da die Periodenlänge 365 Tage beträgt (Schaltjahre bleiben unberücksichtigt), ergibt sich für  $\omega = 2\pi / 365$ .

$a_0$  gibt den Achsenabschnitt und  $a_1$  die Steigung der Trendgeraden wieder. Die Amplitude c der Sinusschwingung errechnet sich durch  $c = \sqrt{a_2^2 + a_3^2}$  und die Phasenverschiebung d durch

$$d = \arctan\left(\frac{a_3}{a_2}\right) - \pi \quad (\text{ALATON, 2002, S. 9}).$$



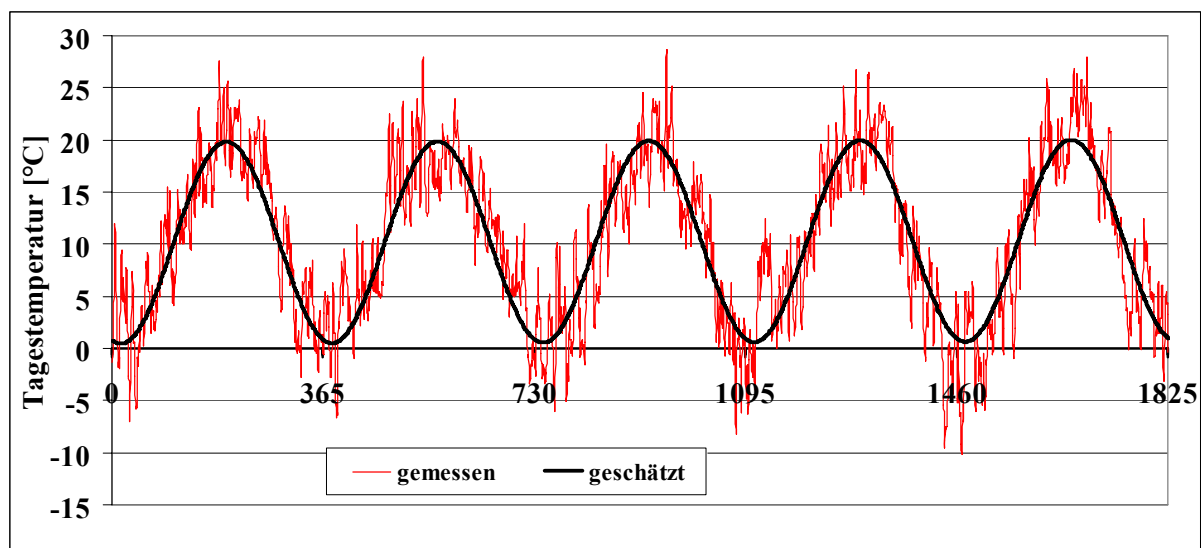


Abbildung 16: Tagestemperaturen am Flughafen Berlin Tegel im Zeitraum von 1999-2003

Für die Koeffizienten in (3) ergeben sich nach der Regression folgende numerischen Werte und Standardfehler, die in Klammern darunter angegeben sind:

$$\bar{Y} = 9,2552 + 0,0001t - 3,3337 \sin(\omega t) - 9,0748 \cos(\omega t) \quad (5.4)$$

(0,082)
(0,0001)
(0,058)
(0,058)

Alle Parameter sind signifikant von 0 verschieden; auch die Trendsteigung, obwohl der Koeffizient sehr gering erscheint. Über den Zeitraum von 1980 bis Februar 2003 (8810 Tage) ist ein Anstieg von insgesamt 1,1 °C zu verzeichnen. Für die Amplitude der sinoiden Funktion ergibt sich  $c=9,67$  °C, so dass sich eine absolute Differenz zwischen einem typischen Sommer- und einem typischen Wintertag von 19,3 °C ergibt. Die Phasenverschiebung beträgt  $d = -1,93$ . Der niedrigste Wert ist also nicht am 1. Januar, sondern am 21. Januar.

Nach Abzug dieses deterministischen saisonalen Trends ergeben sich nach (5.2) die bereinigten Temperaturen  $U_t$ , für die zunächst die Autoregressionskoeffizienten  $\phi_i$  zu bestimmen sind. Mit Hilfe der Autokorrelationsfolge und der partiellen Autokorrelationsfolge wird zunächst die Anzahl der Autoregressionskoeffizienten festgelegt. Die Ordnung eines reinen autoregressiven Prozesses AR(k) zeichnet sich dadurch aus, dass die partiellen Autokorrelationen für die Zeitverschiebungen  $\text{Lag } l > k$  verschwinden. Möglich ist auch das Vorliegen eines Moving Average Prozesses. Hierbei verschwinden die Autokorrelationen für  $k > p$ . Aus den Abbildungen für Autokorrelationen und partiellen Autokorrelationen

(Abbildung 17) wird deutlich, dass es sich um einen reinen autoregressiven Prozess der Residuen handelt, weil signifikante partielle Autokorrelationskoeffizienten bis zum Time-Lag von  $k = 3$  bestehen. Deshalb wird ein AR(3) Modell geschätzt. Gleichung (5.2) ergibt dann:

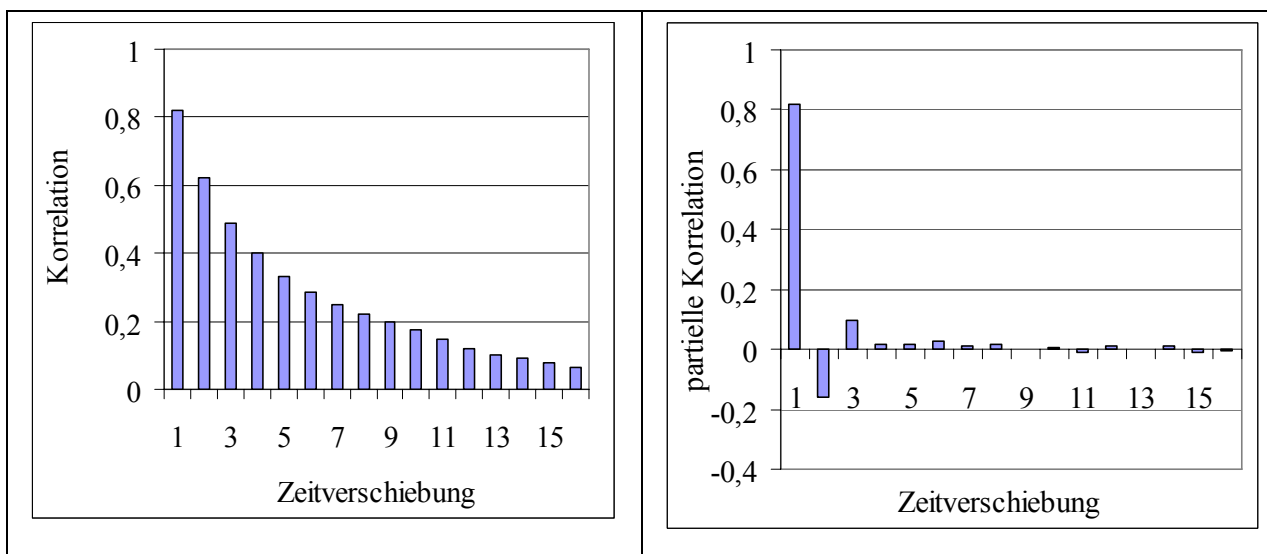
$$U_t = \phi_1 U_{t-1} + \phi_2 U_{t-2} + \phi_3 U_{t-3} + \sigma_s * \varepsilon_t. \quad (5.5)$$

Mit Hilfe der Methode kleinsten Quadrate werden die Autoregressionskoeffizienten geschätzt. Daraus ergeben sich folgende Koeffizienten und Standardfehler in Klammern:

$$U_t = 0,966U_{t-1} - 0,251U_{t-2} + 0,095U_{t-3} + \sigma_s * \varepsilon_t \quad (5.6)$$

(0,011)      (0,015)      (0,011)

Alle Koeffizienten sind signifikant von Null verschieden. Bei Überprüfung der Autokorrelationsfolge und partiellen Autokorrelationsfolge für die nach der Regression verbliebenen Residuen konnten keine signifikanten Korrelationen mehr festgestellt werden.



**Abbildung 17: Folge der Autokorrelationen und der partiellen Autokorrelationen für die Zeitverschiebungen von 1 bis 16**

Nach Abzug wird nun geprüft, ob sich die Standardabweichung im Laufe des Jahres ändert und sich saisonale Schwankungen ergeben. Dazu wird für jeden Tag  $s$  für  $s = 1 \dots 365$  die Wurzel aus dem Mittel der quadratischen Abweichungen von Null  $\sigma_s$  gebildet. Im Gegensatz zur Standardabweichung wird davon ausgegangen, dass der mittlere Fehler gerade Null beträgt:

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n e_{i,s}^2} . \quad (5.7)$$

Hierbei beschreibt  $n$  die Anzahl Jahre, in denen für den Tag  $s$  die Temperatur ermittelt werden konnte. Für die Tage bis zum 13. Februar ist  $n=25$ , für die anderen Tage 24. In der folgenden Abbildung 18 ist die Entwicklung von  $\sigma_s$  wiedergegeben. Es wird deutlich dass die Standardabweichung in den Wintermonaten größer ist als in den Sommermonaten. Dies wird durch eine datumsabhängige sinoide Kurve angepasst:

$$\sigma_t = \sigma_0 + b_1 \sin(\omega t) + b_2 \cos(\omega t). \quad (5.8)$$

Nach der Autoregression ergeben sich folgende Koeffizienten:

$$\sigma_t = 2,132 + 0,125 \sin(\omega t) + 0,112 \cos(\omega t) \quad (5.9)$$

(0,019) (0,026)                      (0,026)

Die Funktion ist ebenfalls in der Abbildung 18 wiedergegeben. Die mittlere Standardabweichung beträgt  $2,13 \text{ }^\circ\text{C}$ . Die Amplitude (für die Berechnung siehe oben) ist  $0,17 \text{ }^\circ\text{C}$  und Phasenverschiebung beträgt  $d=-1,93$ . Dies bedeutet, dass am 231. Tag eines Jahres mit  $\sigma_s=1,98 \text{ }^\circ\text{C}$  die geringsten Zufallsschwankungen während am 49. Tag mit  $\sigma_s=2,3 \text{ }^\circ\text{C}$  die größten Zufallsschwankungen zu erwarten sind.

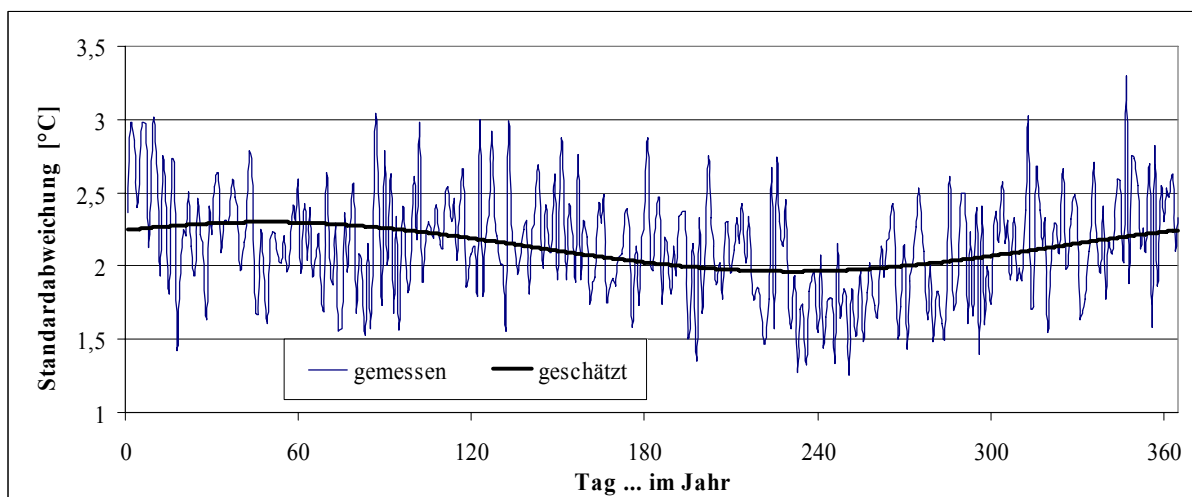


Abbildung 18: Geschätzte und tatsächliche Standardabweichung eines jeden Tages im Jahr

Schließlich ist zu prüfen ob bei den Varianzen des Restfehlers  $\varepsilon_t$  Autokorrelationen vorliegen. Diese unabhängig von der Saison in Betracht kommende Heteroskedastizität kann durch ARCH Modelle abgebildet werden. Durch den autoregressiven Prozess dritter Ordnung sind die Autokorrelation von  $\varepsilon_t^2$  nur sehr schwach ausgeprägt.

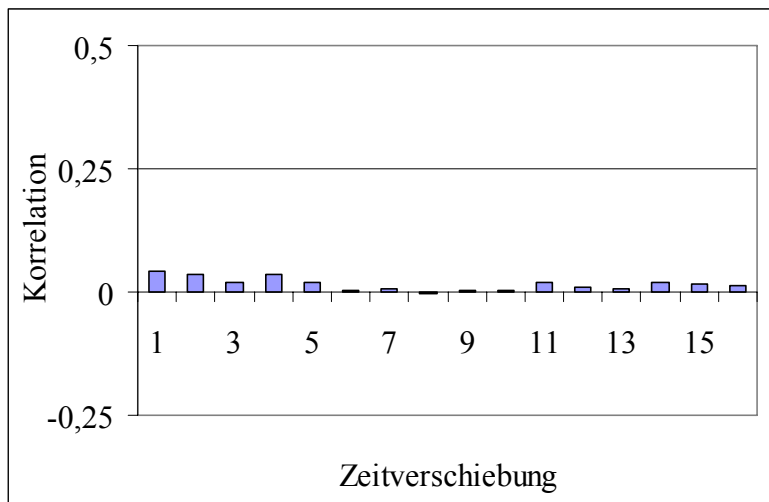


Abbildung 19: Folge der Autokorrelationen des Restfehlers

Die Verteilung des Restfehlers ist im folgenden Diagramm dargestellt. Er ist in guter Näherung normalverteilt mit einem Mittelwert von Null und einer Standardabweichung von 1.

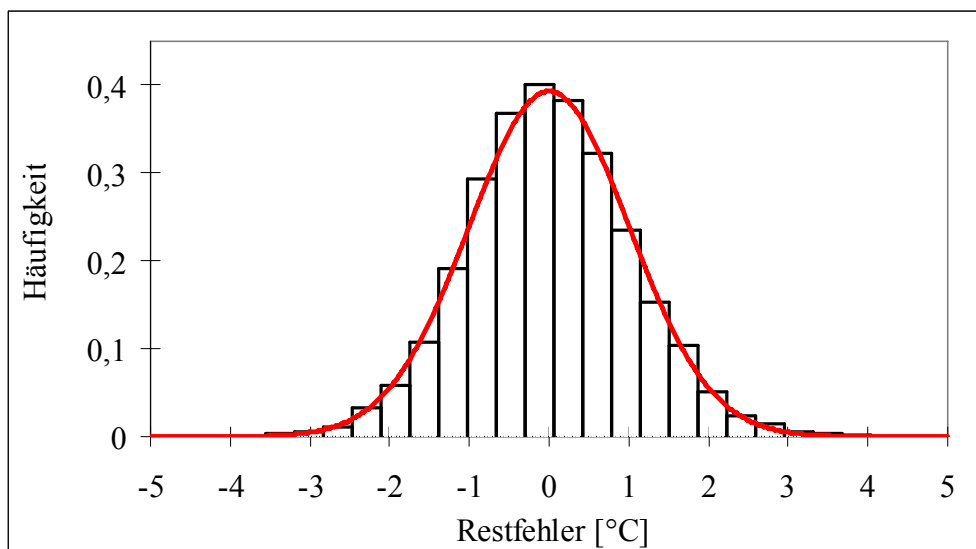


Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung des Restfehlers

Zusammengefasst werden die Tagesdurchschnittstemperaturen mit folgender Formel berechnet:

$$Y_t = \bar{Y}_t + U_t + \sigma_t \varepsilon_t \quad (5.10)$$

## 5.2 Niederschlag

Stochastische Simulationsmodelle des Niederschlagsprozesses werden zur Lösung zahlreicher wasserwirtschaftlicher Probleme benutzt. Daher existieren mittlerweile einige – auch ältere – Modelle zur Beschreibung des Niederschlags (vgl. KLUGE, 1981; FINKE und GRÜNEWALD, 1982). In seinen Untersuchungen zur Abfolge von trockenen und nassen Tage in Brüssel bemerkte Quet  let bereits 1852 das Phänomen der Persistenz: die Wahrscheinlichkeit, an einem Tag Regen zu erhalten, ist gr  oer als an einem beliebigen anderen Tage, falls es am Tag vorher auch schon geregnet hat (OHLMER, 1999, S. 3).

MUBHOFF ET AL. (2005) stellen folgende Forderungen an ein Modell zur Niederschlagssimulation:

Es müssen saisonale Veränderungen der Niederschlagswahrscheinlichkeit berücksichtigt werden. In Europa ist die Wahrscheinlichkeit im Winter höher als im Sommer (vgl. MORENO, 2002, S. 8).

Beim Prozess der Niederschlagswahrscheinlichkeiten liegen Autokorrelationen vor (s.o. Persistenz).

Die täglichen Niederschlagsmengen sind saisonabhängig. In Europa sind sie im Winter geringer und im Sommer höher.

Die Volatilität der Niederschläge ist ebenfalls saisonabhängig. Wie die Niederschlagsmengen ist sie im Winter geringer und im Sommer höher.

Das im Folgenden vorgestellte Modell zur Niederschlagssimulation erfolgt in Anlehnung an die Arbeiten von OHLMER (1999) und MORENO (2002). Der Niederschlagsprozess wird zunächst in einen Ereignisprozess, dass es am Tag  $t$  regnet, und einen Mengenprozess unterschieden. Im Mengenprozess wird die Niederschlagshöhe des Tages  $t$  bestimmt, falls es am Tag  $t$  regnet.

### 5.2.1 Ereignisprozess

Zur Bestimmung des Ereignisprozesses wird ein Markovkettenmodell verwendet. Dabei ist  $Z_{t,n}$  der Zustand des Ereignisprozesses des täglichen Regens an Tag  $t$  im Jahr  $n$ .

$$Z_{t,n} = \begin{cases} 1, & \text{falls Tag } t \text{ in Jahr } n \text{ naß ist} \\ 0, & \text{falls Tag } t \text{ in Jahr } n \text{ trocken ist} \end{cases} \quad \text{für } t = 1, \dots, 365 \text{ und } n = 1, \dots, N \quad (5.11)$$

Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 21 der Ereignisverlauf für trockene und nasse Tage im Jahr 2002 am Standort Magdeburg aufgezeichnet. Die Wahrscheinlichkeit, dass es an einem Tag  $t$  regnet, berechnet sich wie folgt:

$$P_1(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Z_{t,n} \quad (5.12)$$

Entsprechend ergibt sich für die Wahrscheinlichkeit, dass es am Tag  $t$  trocken ist:

$$P_0(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (1 - Z_{t,n}) \quad (5.13)$$

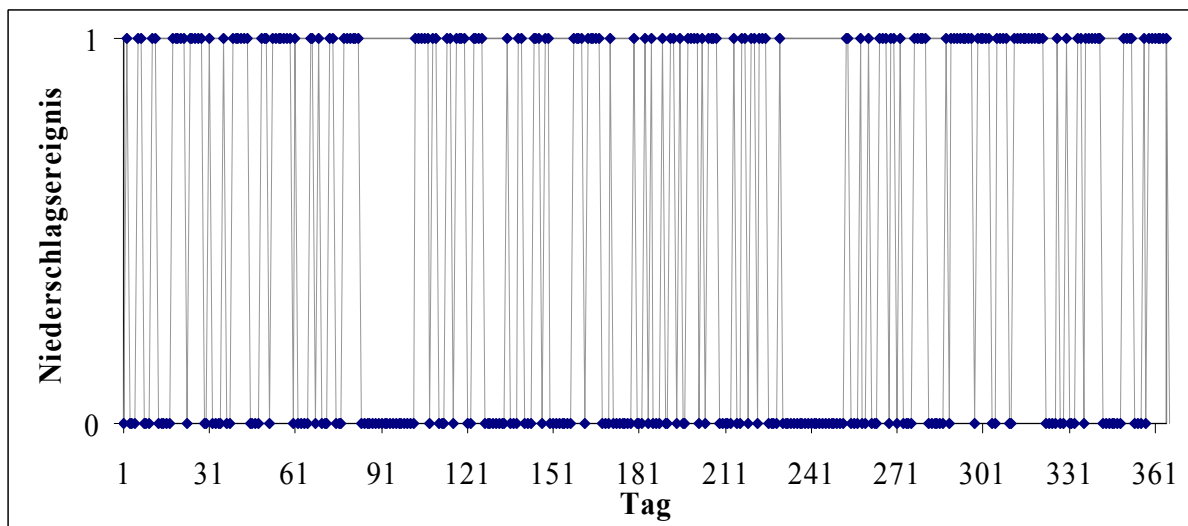


Abbildung 21: Trockene (0) und regnerische (1) Tage in Magdeburg im Jahr 2002

Es wird unterstellt, dass  $Z_{t,n}$  einer Markovkette erster Ordnung folgt:

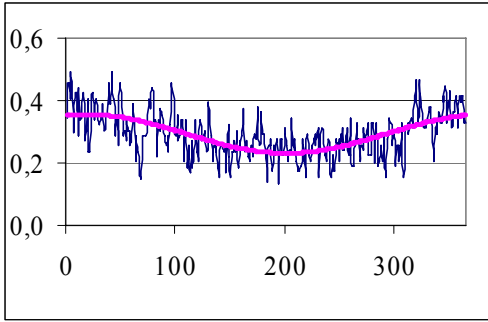
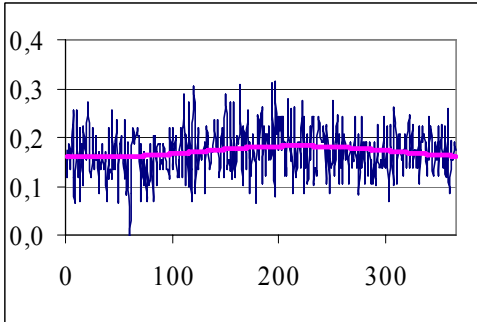
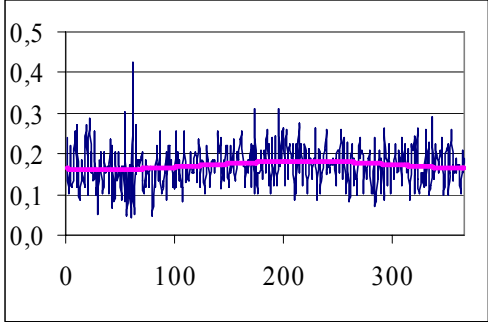
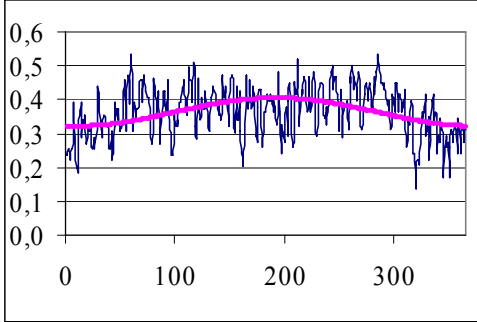
$$\Pi = \begin{pmatrix} \pi_{11} & \pi_{10} \\ \pi_{01} & \pi_{00} \end{pmatrix} \quad (5.14)$$

Die zunächst empirisch bestimmten Übergangswahrscheinlichkeiten sind in Tabelle 13 dargestellt. Um die Anzahl der Variablen im Modell möglichst gering zu halten und der saisonalen Veränderung der Niederschlagswahrscheinlichkeit Rechnung zu tragen, wurden die verschiedenen Übergangswahrscheinlichkeiten durch folgende Funktion approximiert:

$$\pi_{mm}(t) = a_0 + a_1 \sin(\omega t) + a_2 \cos(\omega t) \quad \text{mit} \quad \omega = \frac{2\pi}{365} \quad (5.15)$$

Die Kurven sowie die dazugehörigen Funktionen sind in Tabelle 13 dargestellt. Die Standardfehler sind in den Klammern unter den entsprechenden Werten angegeben. Es ist ersichtlich, dass die Wahrscheinlichkeit von zwei aufeinander folgenden Tagen Regen in den Sommermonaten geringer ist als im Winter (Tabelle oben links). Zudem nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass es an zwei aufeinander folgenden Tagen trocken bleibt, in den Sommermonaten zu. Ebenso steigt – wenn auch nur schwach – die Wahrscheinlichkeit, dass, falls es am Tag  $t-1$  geregnet hat, am Tag  $t$  trocken ist, und umgekehrt.

**Tabelle 13: Historische und geschätzte Übergangswahrscheinlichkeiten des Markovkettenmodells erster Ordnung**

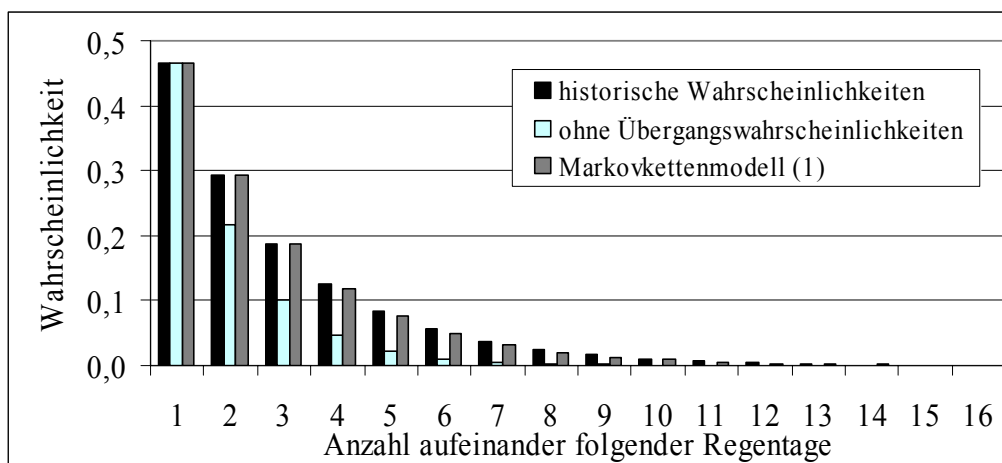
	$Z_{t,n} = 1$	$Z_{t,n} = 0$
$Z_{t-1,n} = 1$	 $\pi_{11}(t) = 0,293 + 0,019 \sin(\omega t) + 0,059 \cos(\omega t)$	 $\pi_{10}(t) = 0,171 - 0,006 \sin(\omega t) - 0,009 \cos(\omega t)$
$Z_{t-1,n} = 0$	 $\pi_{01}(t) = 0,171 - 0,006 \sin(\omega t) - 0,008 \cos(\omega t)$	 $\pi_{00}(t) = 0,364 - 0,007 \sin(\omega t) - 0,041 \cos(\omega t)$

Die Wahrscheinlichkeit für Regen am Tag t ergibt sich folgendermaßen:

$$P_1(t) = \frac{Z_{t-1,n} \cdot \pi_{11}(t)}{\pi_{11}(t) + \pi_{10}(t)} + \frac{(1 - Z_{t-1,n}) \cdot \pi_{01}(t)}{\pi_{01}(t) + \pi_{00}(t)} \tag{5.16}$$

Der Ereignisprozess des Niederschlags wird mit und ohne Übergangswahrscheinlichkeiten simuliert. Zur Überprüfung des Prozesses werden in Abbildung 22 die Wahrscheinlichkeiten für eine unterschiedliche Anzahl aufeinander folgender Regentage aus den historischen Werten, aus der Simulation der einfachen Tagesregenwahrscheinlichkeiten sowie aus dem Markovkettenmodell erster Ordnung gegenübergestellt (vgl. MORENO, 2002, S. 10).





**Abbildung 22: Wahrscheinlichkeiten für eine unterschiedliche Anzahl aufeinander folgender Regentage aus historischen Werten, aus der Simulation der einfachen Tagesregenwahrscheinlichkeiten und aus dem Markovkettenmodell erster Ordnung**

Die Wahrscheinlichkeit für einen Regentag ist bei den drei Alternativen gleich. Jedoch verringert sich die Wahrscheinlichkeit beim Prozess ohne Übergangswahrscheinlichkeiten nach einigen Tagen im Vergleich zu den historischen Wahrscheinlichkeiten relativ schnell. Demgegenüber sind die Wahrscheinlichkeiten des Markovkettenmodells denen der historischen Werte nahezu identisch. Es wird eine gute Näherung mit dem oben beschriebenen Markovkettenmodell zur Beschreibung des Ereignisprozesses erreicht.

### 5.2.2 Mengenprozess an nassen Tagen

Nachdem der Ereignisprozess des Niederschlags festgelegt ist, werden anschließend die Niederschlagsmengen bestimmt, sofern es am Tag  $t$  regnet. In Abbildung 23 und Abbildung A 2 im Anhang sind der Erwartungswert und die Standardabweichung für die Tage  $t = 1, \dots, 365$  abgetragen. Es ist deutlich eine Saisonalität zu erkennen. Sowohl der Erwartungswert als auch die Standardabweichung sind im Sommer größer als im Winter. Dieser Zusammenhang wird durch eine Fourierapproximation nachgebildet. Für den Erwartungswert ergibt sich:

$$\mu(t) = a_0 + \sum_{k=1}^2 (a_{1,k} \sin(\omega_k t) + a_{2,k} \cos(\omega_k t)) \quad (5.17)$$

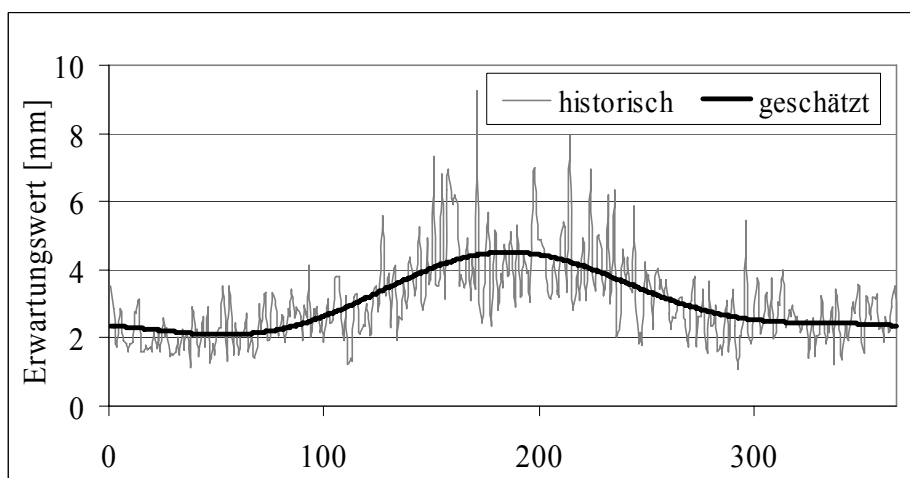
Die gleiche Vorgehensweise wird für die Standardabweichung angewendet:

$$\sigma(t) = b_0 + \sum_{k=1}^2 (b_{1,k} \sin(\omega_k t) + b_{2,k} \cos(\omega_k t)) \quad \text{mit } \omega_k = \frac{2\pi}{T} k \quad (5.18)$$

Die geschätzten Parameter sind in folgender Tabelle wiedergegeben:

**Tabelle 14: Schätzparameter für die Koeffizienten der Funktionen von Erwartungswert und Standardabweichung**

$a_0$	$a_{1,1}$	$a_{2,1}$	$a_{1,2}$	$a_{2,2}$	$b_0$	$b_{1,1}$	$b_{1,2}$	$b_{2,1}$	$b_{2,2}$
3,042	-0,196	-1,076	-0,032	0,394	4,142	-0,278	-1,800	-0,107	0,635



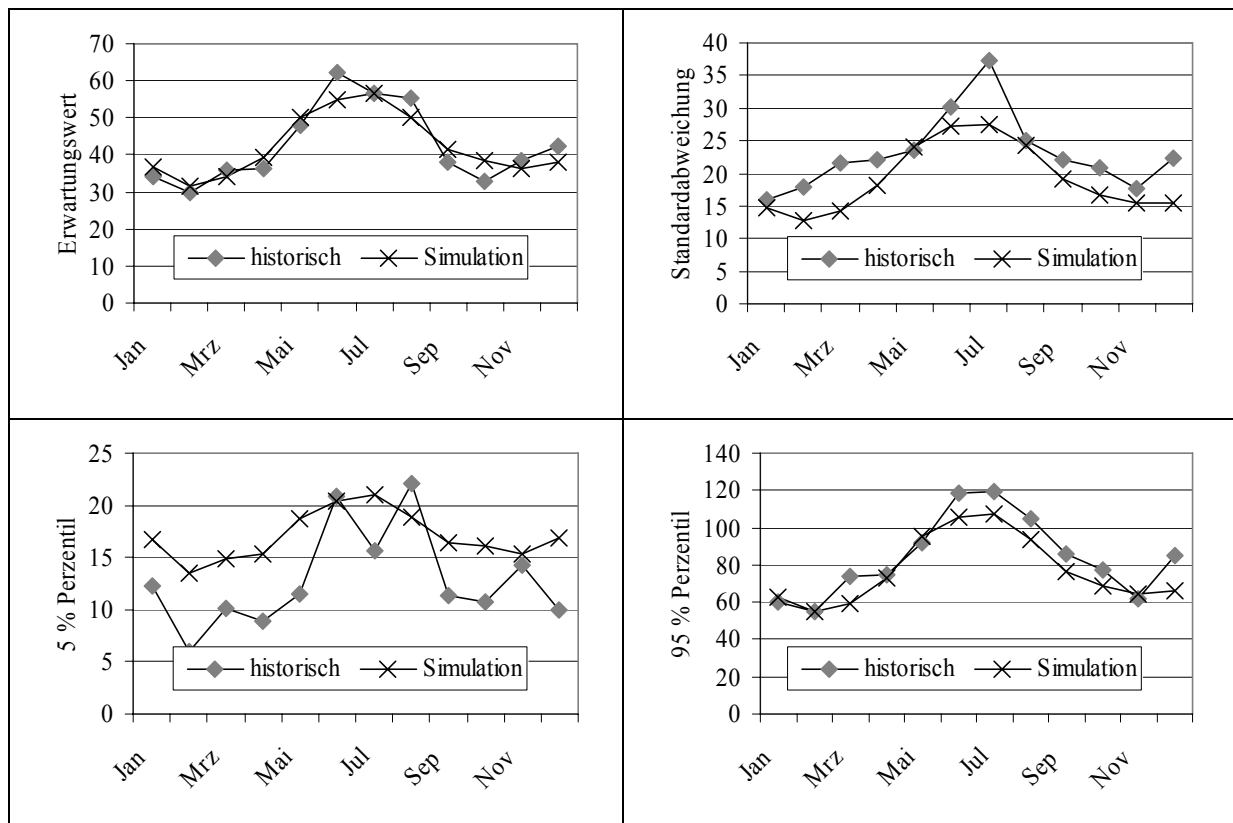
**Abbildung 23: Geschätzter und historischer Erwartungswert der Tagesniederschlagsmengen**

Die Modellierung der Niederschlagsmenge  $x_t$  erfolgt unter der Annahme, dass sie eine unabhängige Folge von Zufallsvariablen mit einer stetigen Verteilung ist. In der Literatur werden verschiedene Verteilungsannahmen bezüglich der täglichen Niederschlagsmengen getroffen. Es werden Exponentialverteilungen, Gammaverteilungen, Weibull- und Lognormalverteilungen diskutiert. Im Folgenden wird die letztgenannte Verteilung verwendet, da bei ihr keine zusätzlichen Verteilungsparameter geschätzt werden müssen. Es genügen Erwartungswert und Standardabweichung. Die Dichtefunktion lautet:

$$f(x_t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(t)} \frac{1}{x_t} \exp\left(-\frac{(\ln x_t - \mu(t))^2}{2\sigma^2(t)}\right) & \text{für } x > 0 \\ 0 & \text{für } x \leq 0 \end{cases} \quad (5.19)$$

Durch multiplikative Verknüpfung des Ereignis- und Mengenprozesses wird der gemessene, tägliche Niederschlag über 10.000 Jahre simuliert. Das Niederschlagsmodell wird anhand von

monatlichen Niederschlagssummen validiert (siehe Abbildung 24), da im weiteren Verlauf der Arbeit Wetterderivate mit monatlichen Niederschlagssummen als Basisvariable konstruiert werden. Das Modell bildet den Erwartungswert der Monatsniederschläge gut ab. Lediglich im Juni ist eine Abweichung von 7 mm festzustellen. Die Standardabweichung des Modells liegt außer im Juni und August mit ca. 5 mm immer unterhalb der empirisch ermittelten Werte. Im Juli beträgt die Differenz sogar 10 mm. Die empirisch ermittelten 5 % Perzentile liegen außer im Juni und August um etwa 5 mm unter den Werten des Modells. Zudem sind die Schwankungen der empirisch ermittelten 5 % Perzentile zwischen den Monaten größer als im Modell. Das 95 % Perzentil wird durch das Modell um etwa 7 mm unterschätzt.



**Abbildung 24: Vergleich von historischen und simulierten Monatswerten anhand verschiedener stochastischer Parameter**

Das oben beschriebene Niederschlagsmodell ist in der Lage die monatlichen Niederschlagssummen erwartungstreu nachzubilden. Jedoch zeigen sich in der Varianz und den Randbereichen der Verteilung einige Unterschiede. Zum einen kann dies in der gewählten Funktion für die Standardabweichung begründet sein, zum anderen könnte die gewählte Lognormalverteilung die Werte im Randbereich der Funktion fehlerhaft spezifizieren. Die

Überschätzung des 5 % Perzentils und die Unterschätzung des 95 % Perzentils deuten darauf hin.

## 6 Wetterderivate in landwirtschaftlichen Betrieben

In diesem Kapitel werden drei Anwendungsbeispiele von Wetterderivaten in landwirtschaftlichen Betrieben gegeben. Zunächst wird das Energiekostenrisiko eines Gewächshausbetriebes bestimmt. Darauf aufbauend wird ein temperaturbasiertes Wetterderivat konstruiert. Im zweiten Beispiel werden die Ertragsschwankungen von Stärkekartoffeln am Versuchsstandort Bremervörde der Landwirtschaftskammer Niedersachsen untersucht. Zur Reduzierung der mengeninduzierten Erlösschwankungen wird ein niederschlagsbasiertes Wetterderivat konstruiert. Abschließend wird für einen Modellbetrieb, der im Zwiebelanbau spezialisiert ist, ebenfalls ein niederschlagsbasiertes Wetterderivat konstruiert. Im Gegensatz zu den ersten beiden Anwendungsbeispielen wird hier zusätzlich der gesamtbetriebliche Effekt eines Wetterderivats und das Preisrisiko der über das Wetterderivat abzusichernden Kultur untersucht.

### 6.1 Ein Wetterderivat zur Absicherung des Energiekostenrisikos im Unterglasanbau

Gewächshäuser sollen die erforderlichen Wachstumsbedingungen für eine ganzjährige Pflanzenproduktion sicherstellen. Ziel ist ein möglichst geringer Aufwand für Investition und Unterhaltung bei optimaler Bereitstellung der Wachstumsfaktoren Licht, Temperatur, Feuchte und Luftzusammensetzung. Liegt die Außentemperatur unterhalb der gewünschten Innentemperatur, so müssen Gewächshäuser beheizt werden, wobei möglichst wenig Wärme durch die lichtdurchlässige Außenhülle verloren gehen soll. Diese soll aber auch vor allem während der kalten Jahreszeit mit niedrigem Sonnenstand einen maximalen Lichteinfall gewährleisten. Zur Verminderung der Wärmeenergieverluste können Energieschirme eingebaut und/oder zusätzliche Isoliermaßnahmen an der Außenhülle vorgenommen werden (ZABELTITZ und TANTAU, 1988, S. 2).

Trotz der Maßnahmen zur Verringerung der Wärmeverluste ist der Unterglasanbau durch einen hohen Energieverbrauch gekennzeichnet. Vor allem in der Winterperiode muss bei niedrigen Außentemperaturen je nach Produktionsprogramm dem Gewächshaus viel Wärme zugeführt werden. Schwankende Außentemperaturen und somit schwankende Energieverbräuche führen zu beträchtlichen Veränderungen der Energiekosten.

### 6.1.1 Gewächshausbetrieb

Der Betrieb, der zur Berechnung des Energieverbrauchs zugrunde gelegt wird, umfasst 10 Abteilungen des Typs Venlo von jeweils 1000 m<sup>2</sup>. Die Stehwandhöhe beträgt 4 m. Die Außenwände bestehen aus Isoglas und die Dachflächen aus einer Einfachverglasung. Zusätzlich ist ein einlagiger Energieschirm installiert, der während der Nachtzeit ausgefahren wird. Als Energieträger wird Heizöl verwendet. Die Hauptkulturen stellen Begonien und Poinsettien dar. In diesem so genannten Warmhaus werden für das ganze Jahr eine Tagestemperatur von 18 °C und eine Nachttemperatur von 16 °C festgelegt (LANGE ET AL., 2002). Da die zur Verfügung stehenden Wetterdaten vom Institut für Gemüse- und Obstbau in Hannover stammen, liegt der Modellbetrieb ebenfalls dort.

### 6.1.2 Datengrundlage

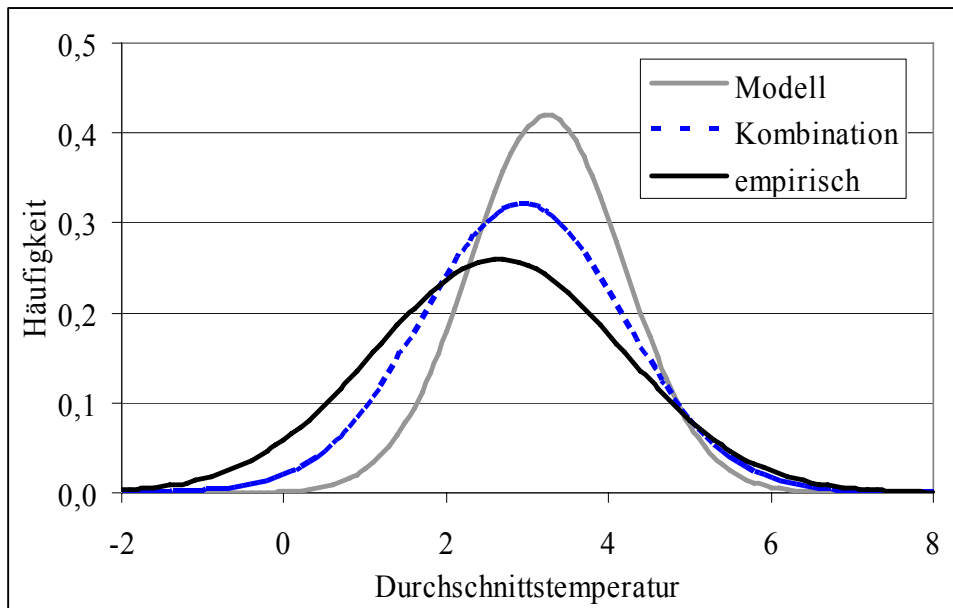
Die zur Verfügung stehenden Klimaaufzeichnungen stammen von der Messstation Herrenhausen des Instituts für Obst- und Gemüsebau<sup>61</sup> in Hannover. Die stündlichen Daten reichen zurück bis ins Jahr 1987.

Die Wetterstation, auf die sich das Wetterderivat bezieht, ist Berlin Tempelhof. Die Modellierung der Temperatur an dieser Station wurde im vorhergehenden Kapitel beschrieben. Zur Absicherung des Energiekostenrisikos wird die Laufzeit des Wetterderivats vom 1. November ( $i=1$ ) bis zum 31. März ( $i=N$ ) des Folgejahres festgelegt. Die Basisvariable  $x$  ist die Durchschnittstemperatur in diesem Zeitraum, die in diesem Fall aus dem Mittelwert von Tageshöchst- und Tagesminimaltemperatur gebildet wird:

$$x = \frac{1}{N} \sum_{t=i}^N \frac{T_{\max t} + T_{\min t}}{2} \quad (6.1)$$

Mit Hilfe von Formel 5.10 wird die Durchschnittstemperatur vom 1. November bis 31. März simuliert. Der Erwartungswert beträgt 3,24 °C, die Standardabweichung 0,95 °C. Demgegenüber beträgt der aus den empirischen Werten geschätzte Erwartungswert 2,65 °C, die Standardabweichung 1,54 °C (Abbildung 25). Es wurde eine Normalverteilung mit der Maximum Likelihood Methode als best angepasste Verteilung bestimmt.

<sup>61</sup> An dieser Stelle sei Herrn Dr. A. Fricke gedankt, der die Daten zur Verfügung gestellt hat.



**Abbildung 25: Vergleich der empirischen, simulierten und kombinierten Häufigkeitsverteilung der Durchschnittstemperatur von November bis März**

Der niedrigere Erwartungswert der empirischen Verteilung kann durch den Trendanstieg und Ausreißer bei den Beobachtungswerten erklärt werden. Einerseits lässt der durch das Modell ermittelte Erwartungswert Zweifel an der Symmetrieeigenschaft der empirischen Verteilung zu, andererseits könnten die Abweichungen durch Fehlspezifikationen im Temperaturmodell erklärt werden. Da nicht abschließend geklärt werden kann, welche Verteilungsannahme die „Richtige“ ist, wird im weiteren Verlauf eine Normalverteilung verwendet, deren Mittelwert und Standardabweichung zwischen den Momenten der empirischen und modellierten Verteilung liegt. Es ergeben sich also ein Erwartungswert von  $\mu = 2,95 \text{ }^\circ\text{C}$  und eine Standardabweichung von  $\sigma_1 = 1,25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Die Funktion der Basisvariablen sieht folgendermaßen aus:

$$x = \mu + \sigma_1 \varepsilon_1 \quad (6.2)$$

### 6.1.3 Schätzung des Heizenergiebedarfs

Zur Abschätzung des Heizenergieverbrauchs wird Hortex-Light, ein computergestütztes Beratungssystem für die Planung und den Betrieb von Gewächshausheizungsanlagen, genutzt. Der Wärmebedarf wird mit arithmetischen Gleichungen bestimmt. Die Berechnungen basieren auf einem flächenbezogenen  $k^2$ -Modell. Der Energieverbrauch resultiert aus der

Energie, die notwendig ist, um die Innentemperatur des unbeheizten Gewächshauses auf den gewünschten Sollwert anzuheben (RATH, 1992, S. 76):

$$Q_{\text{Seg}} = \sum_{n=1}^{8760} \left( \left( (v_{i,n} - v_{i,0H,n} - \Delta v_{\text{Sp},n}) \cdot k'_a \cdot \sum_{r \in \text{HF}_a} A_r \cdot (1 - EE_{\text{ES},n}) - \dot{Q}_{\text{IW},n} \right) \cdot t_{\text{Si}} \right) \quad (6.3)$$

Dabei ist

$Q_{\text{Seg}}$  = Jahresheizenergieverbrauch des Gewächshaussegmentes [Wh]

$n$  = Stunde des Jahres

$v_{i,n}$  = tatsächliche Innentemperatur des Gewächshaussegmentes zur Stunde  $n$  [°C]

$v_{i,0H,n}$  = fiktive Innentemperatur des Gewächshaussegmentes zur Stunde  $n$  ohne Heizung [°C]

$\Delta v_{\text{Sp},n}$  = Innentemperaturanhebung bedingt durch Tag-Nachtspeicherung in einem beheiztem Gewächshaus [°C]

$k'_a$  = Wärmeverbrauchscoeffizient der Außenflächen  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$

$\text{HF}_a$  = Hüllfläche außen [m<sup>2</sup>]

$EE_{\text{ES}}$  = Energieeinsparung durch Energieschirmeinsatz [-]

$\dot{Q}_{\text{IW}}$  = Durch Innenwände zu-/abgeführte Wärmenergie [W]

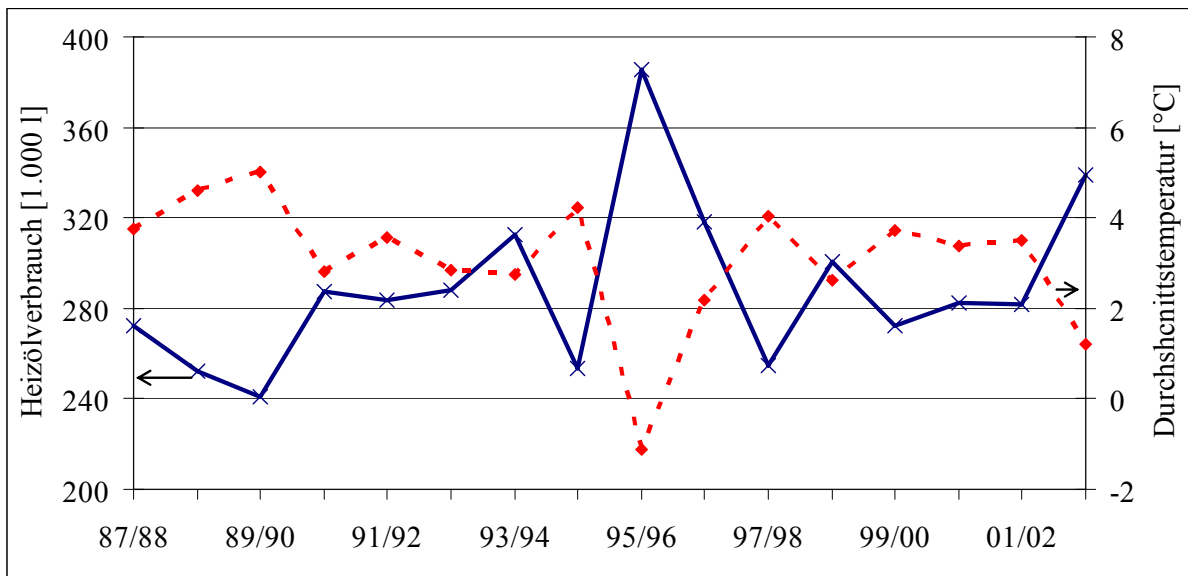
$t_{\text{Si}}$  = Zeitinkrement

Wie aus Formel 6.3 ersichtlich ist, benötigt das System zur Simulation des Heizenergiebedarfs als Inputvariablen stündliche Werte der Innen- und Außentemperatur sowie der Globalstrahlung. Die Werte fließen in die oben angeführte Formel über die fiktive Innentemperatur des Gewächshaussegmentes ohne Heizung ein. Als Output liefert das Programm den stündlichen Heizölverbrauch. Dieser ist der Quotient aus Heizenergieverbrauch und Heizwert von Heizöl. Ein Kilogramm Heizöl liefert ungefähr 10 kWh. Bei Vergleichen des Modells zwischen simuliertem und tatsächlichem Verbrauch lag die relative Abweichung unter 10 % (RATH, 1992, S. 132).

Abbildung 26 zeigt den winterlichen Heizölverbrauch des Gewächshausbetriebes in Hannover von November bis März und die Durchschnittstemperatur in Berlin über die gleiche Periode. Es ist deutlich die negative Korrelation zwischen beiden Werten zu erkennen. Sie beträgt -0,983. Die Globalstrahlung, die mit ins Wärmebedarfsmodell einfließt, hat in den



Wintermonaten nahezu keinen Einfluss auf den Energiebedarf, so dass im weiteren Verlauf der Untersuchung die Temperatur als einzige erklärende Variable angenommen wird.



**Abbildung 26: Heizölverbrauch des Gewächshausbetriebs in Hannover und Durchschnittstemperatur in Berlin**

Mit den berechneten Heizölverbrauchswerten und der Durchschnittstemperatur wird eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt, bei der der Heizölverbrauch  $H$  die abhängige und die Durchschnittstemperatur  $x$  von November bis März die unabhängige Variable ist:

$$H = m_0 + m_1 x \quad (6.4)$$

Dabei gibt  $m_0$  den Schnittpunkt mit der Ordinate,  $m_1$  die Steigung der Regressionsgeraden und  $x$  nach (6.2) die Durchschnittstemperatur an. Aus der Regressionsanalyse folgt  $m_0 = 364.713$  und  $m_1 = -24.654$  (Abbildung 27). Dies bedeutet, dass der Unterglasbetrieb bei einer Durchschnittstemperatur von  $0\text{ °C}$  im Zeitraum von November bis März einen Heizölverbrauch von  $364.713\text{ l}$  hat. Für jedes Grad über der Durchschnittstemperatur von  $0\text{ °C}$  ergibt sich eine Heizöleinsparung von jeweils  $24.654\text{ l}$ .

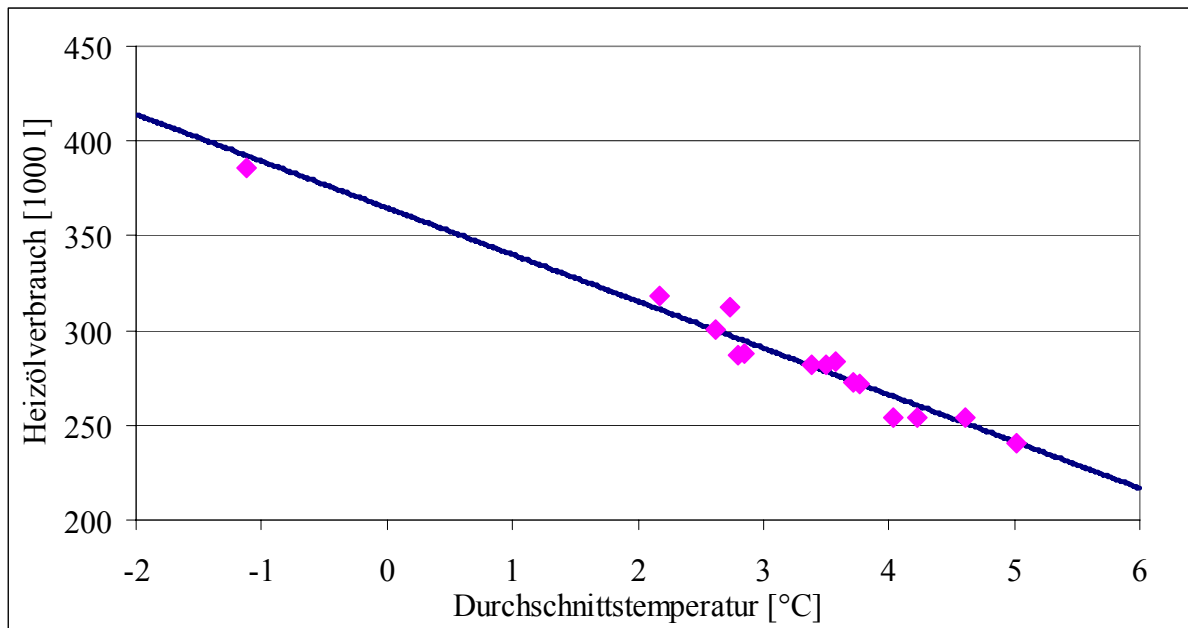


Abbildung 27: Geschätzter und tatsächlicher Heizölverbrauch in Abhängigkeit von der Durchschnittstemperatur

#### 6.1.4 Simulation der Heizenergiekosten

Mit Hilfe der Regressionsgleichung (6.4) und der Funktion (6.2) für die Basisvariablen wird der Heizölverbrauch  $H$  simuliert, um mit einer genügend großen Anzahl an Heizölverbrauchswerten eine stetige Verteilung zu erhalten:

$$H = m_0 + m_1 x + \sigma_2 \varepsilon_2 \quad (6.5)$$

Dabei stellt  $m_0$  die Konstante und  $m_1$  die Steigung der Regression des Heizölverbrauchs bezüglich der Basisvariablen  $x$  dar.  $\sigma_1$  gibt den Standardfehler der Regression und  $\varepsilon_2$  eine standardnormalverteilte Zufallsvariable an. Der Standardfehler der Regression beträgt 6.981. Da mit dem Energiebedarfsmodell der Energieverbrauch nicht exakt bestimmt werden kann, wird aus Vergleichen des Modells mit empirischen Werten ein Schätzfehler mit der Standardabweichung  $\sigma_3$  von 5 % berücksichtigt. Der Heizölpreis  $k$  betrage 0,35 €. Die Energiekostenverteilung lautet:

$$C = (1 + \sigma_3 \varepsilon_3) H k \left(1 - \frac{rT}{2}\right) \quad (6.6)$$

Der Term  $(1 - \frac{rT}{2})$  drückt die Annahme aus, dass die Heizkosten kontinuierlich anfallen und somit das durchschnittlich gebundene Kapital auf den Anfangszeitpunkt diskontiert wird. Die Energiekostenverteilung nach Abschluss eines Wetterderivates ergibt sich durch Subtraktion des Gewinns aus dem Wetterderivat (vgl. Formel (3.7)) von der Kostenverteilung ohne Wetterderivat (vgl. Formel (6.6)):

$$C_{Put} = C - G_P^L = (1 + \sigma_3 \varepsilon_3) H k (1 - \frac{rT}{2}) - V \cdot \text{Max}[0, (K - x)] e^{-rT} + P_P \quad (6.7)$$

Die Auszahlungen aus dem Wetterderivat werden wie die Heizölkosten mit dem Faktor  $e^{-rT}$  auf den Anfangszeitpunkt diskontiert. Die Tick Size  $V$  wird über den Regressionskoeffizienten des Heizölverbrauchs in Abhängigkeit von der Durchschnittstemperatur  $m_1$  und dem Heizölpreis  $k = 0,35 \text{ €/l}$  bestimmt:

$$V = -m_1 \cdot k = 8.629 \text{ €} \quad (6.8)$$

Der Strike Level  $K$  wird variabel gehalten, so dass der optimale Strike Level davon abhängt, wie stark der Unterglasbetrieb sein Energiekostenrisiko reduzieren möchte. In Anlehnung an MARTIN ET AL. (2001) werden die Risikoprofile für verschiedene Strike Level angegeben.

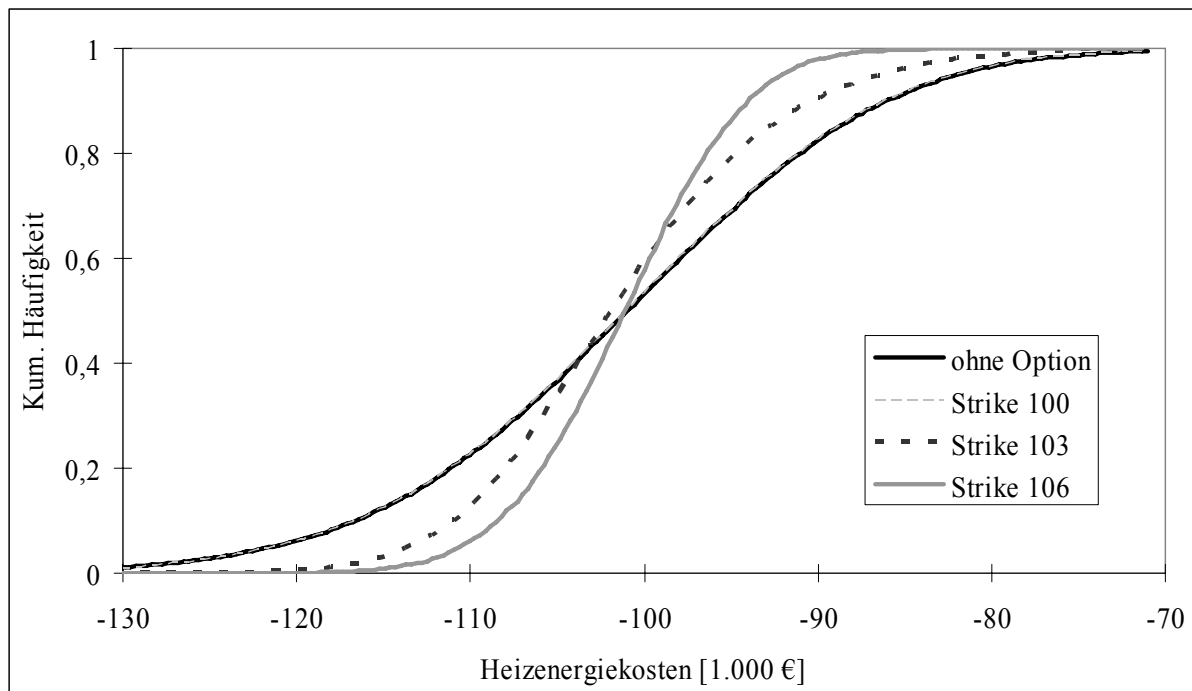
Die faire Prämie  $P_P$  der Putoption entspricht der diskontierten Differenz aus Strike Level und dem bedingten Erwartungswert, falls der Index unterhalb des Strike Levels liegt, multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit, dass der Index unterhalb des Strike Levels liegt und der Tick Size  $V$ .

$$P_P = [(K - E(x | x < K)) \varpi(x < K) V] e^{-rT} \quad (6.9)$$

Da es sich bei der Verteilung des Index um eine Normalverteilung handelt, werden der bedingte Erwartungswert und die Wahrscheinlichkeit analog zu Formel 3.20 und 3.21 in Abschnitt 3.6 berechnet.

### 6.1.5 Ergebnisse

In Abbildung 28 sind die kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Heizenergiekosten des Modellbetriebes ohne Wetterderivat und bei Abschluss eines Wetterderivates bei einem Strike von 0, 3 sowie 6 dargestellt. Die dazugehörigen Risikoparameter sind in Tabelle A 13 im Anhang aufgeführt.



**Abbildung 28: Risikoprofile der Heizenergiekosten bei unterschiedlichen Strike Levels des Wetterderivats**

Der Erwartungswert für alle Heizenergiekostenverteilungen mit und ohne Wetterderivat beträgt  $-101.167 \text{ €}$ , da von einer fairen Prämie ausgegangen wird und somit keine Transaktionskosten die Option anfallen, die die erwarteten Heizkosten erhöhen. Aus Abbildung 28 wird ersichtlich, dass mit steigendem Strike Level die Standardabweichung sinkt. Bei einem Strike Level von 0 beträgt sie  $11.925 \text{ €}$ , bei einem Strike Level von 6 ist sie mit  $5.648 \text{ €}$  nur noch halb so groß. Gleichzeitig steigt mit steigendem Strike Level die Auszahlungswahrscheinlichkeit und somit nach Formel (6.9) ebenfalls die Prämie. Sie beträgt bei einem Strike Level von Null  $32 \text{ €}$  mit einer Auszahlungswahrscheinlichkeit von  $1 \%$ . Bei einem Strike Level von 3 liegt die Prämie bei  $4.434 \text{ €}$ , wobei es in  $52 \%$  der Fälle zu einer Auszahlung kommt. Schließt der Betriebsleiter ein Wetterderivat mit einem Strike Level von 6 ab, so müsste er bei einer Auszahlungswahrscheinlichkeit von  $99 \%$  eine Prämie von  $25.842 \text{ €}$  bezahlen.

Neben der Standardabweichung weisen auch die Semistandardabweichung und die Perzentile ein verringertes Risiko aus. So steigt das 5 % Perzentil von -121.513 € ohne Wetterderivat auf -110.609 € mit Wetterderivat bei einem Strike Level von 6. Würde der Betriebsleiter festlegen, dass er nicht mehr als -110.000 € für die Heizenergiekosten ausgeben möchte, so würde er diese Grenze ohne Wetterderivat in 23 % der Fälle unterschreiten. Mit Wetterderivat ab einem Strike Level von 4 unterschreitet er diese Grenze nur noch halb so häufig. Es ist ersichtlich, dass selbst bei dem maximalen Strike Level eine vollständige Absicherung nicht möglich ist.

## 6.2 Ein Wetterderivat zur Absicherung des Ertragsrisikos im Kartoffelanbau

### 6.2.1 Datengrundlage

Der Standort, für den das Wetterderivat konstruiert werden soll, ist der Versuchsstandort Bremervörde der Landwirtschaftskammer Hannover. Es liegt eine Ertragszeitreihe für Stärkekartoffeln von 1980 bis 2002 vor. Am Versuchsstandort ist eine Wetterstation vorhanden, von der monatliche Niederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen vorliegen. Für die Ertragsentwicklung liegt ein positiver, linearer Trendanstieg von 6,6 dt/ha\*a vor. Im Jahr 2004 liegt der Trendwert bei 530 dt/ha. In den Jahren 1982, 1983, 1992 und 1999 waren die negativen Trendabweichungen jeweils größer als 20 %.

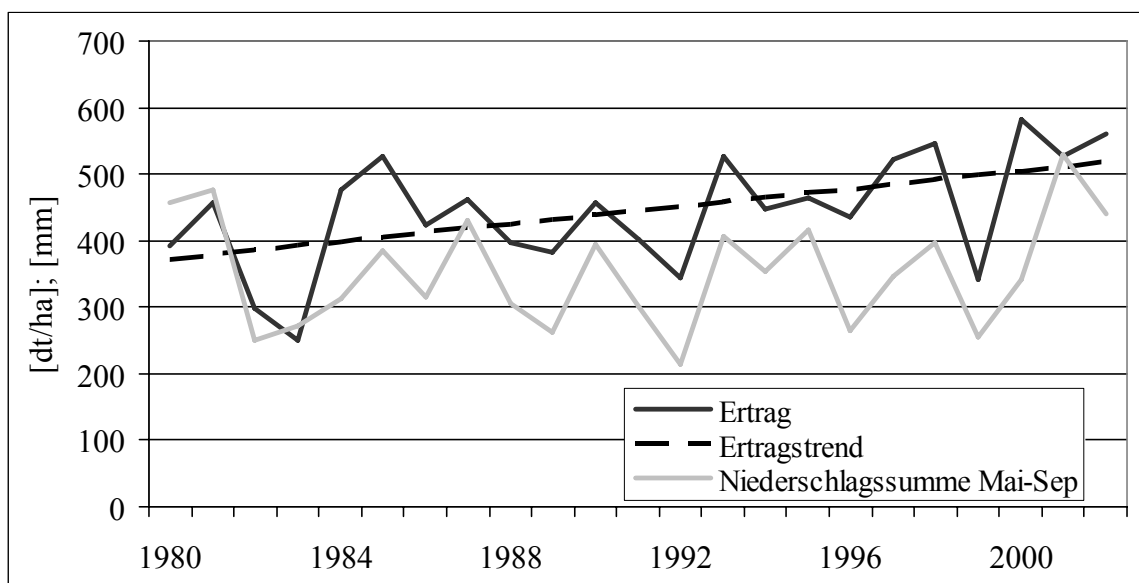
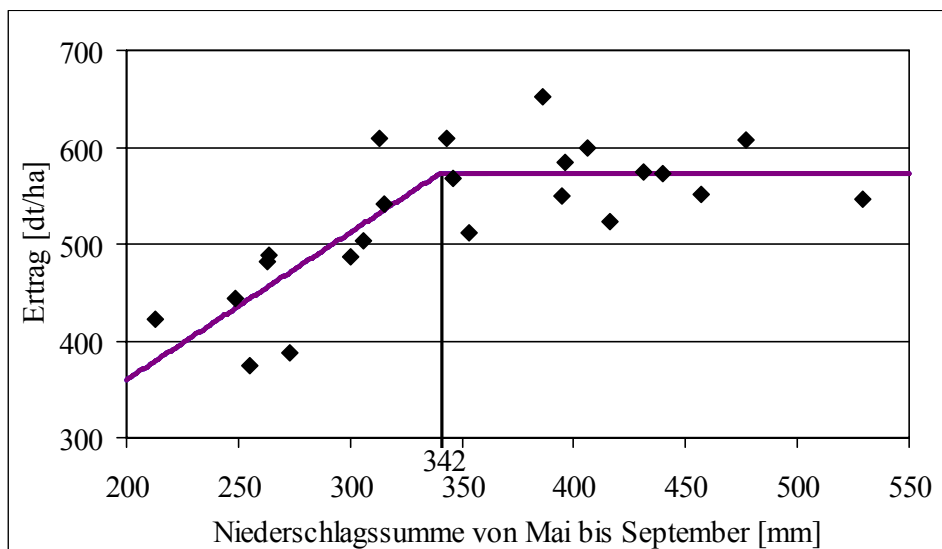


Abbildung 29: Entwicklung des Kartoffelertrags und der Niederschlagssumme von Mai bis September am Standort Bremervörde von 1980 bis 2002

Eine ausführliche Korrelationsanalyse zwischen den Temperatur- und Niederschlagswerten von verschiedenen Perioden und der Trendabweichung des Ertrages wurde bereits in Kapitel 4 durchgeführt. Die Ergebnisse für den Standort Bremervörde sind in Tabelle A 6 des Anhangs dargestellt. Die positiven Korrelationen zwischen Niederschlag in den Monaten Juni bis September lassen auf einen hohen Wasserbedarf der Kartoffelpflanzen am Standort Bremervörde in dieser Periode schließen. Erhöhte Niederschläge im April führen zu einem verspäteten Pflanztermin und dadurch zu einer kürzeren Vegetationsperiode, was die negative Korrelation im April erklären kann. Ebenfalls sind die Durchschnittstemperaturen von Juni bis August negativ mit der Trendabweichung korreliert. Eine der höchsten Korrelationen ist zwischen der Niederschlagssumme von Mai bis September und der Trendabweichung festzustellen. Sie beträgt 0,67 und ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01 signifikant. Der gleichgerichtete Verlauf der Ertrags- und Niederschlagssummenkurve in Abbildung 29 unterstreicht diesen Zusammenhang. Da dieser Zeitraum nahezu die gesamte Vegetationsperiode der Kartoffeln abbildet, wird im weiteren Verlauf diese Niederschlagssumme als Basisvariable für das zu konstruierende Wetterderivat herangezogen.

### 6.2.2 Schätzung des Kartoffelertrages

In Abbildung 30 sind die Erträge der Jahre 1980 bis 2002 in Abhängigkeit von der Niederschlagssumme mit Rauten eingezeichnet. Die geringsten Erträge sind in Jahren zu erwarten, in denen die Niederschlagssumme von Mai bis September unterhalb von 340 mm liegt. Oberhalb dieses Wertes sind keine systematischen Niederschlagseinflüsse mehr erkennbar.



**Abbildung 30: Zusammenhang zwischen Kartoffelertrag und Niederschlagssumme von Mai bis September von 1980 bis 2002**

Dieser Zusammenhang wird durch eine linear-limitationale (siehe Abbildung 30) Ertragsfunktion abgebildet, die mit der Methode der kleinsten Quadrate angepasst wird:

$$\hat{y} = \text{Min} [(a + b x), \hat{y}_{\max}] \quad (6.10)$$

Diese Schätzfunktion setzt sich aus zwei Teilfunktionen zusammen. Der erste Term spiegelt den linear ansteigenden Ertragsverlauf wieder. Der Schätzwert für das absolute Glied  $a$  beträgt 55,3 dt/ha. Dies ist der theoretische Ertrag bei keinem Niederschlag von Mai bis September. Die Gerade steigt um  $b = 1,52$  dt/ha je Liter Niederschlag/m<sup>2</sup>. Die Konstante  $\hat{y}_{\max}$  repräsentiert den zweiten Teil der Schätzfunktion. Die Anpassung ergab einen Schätzwert von 573 dt/ha. Dies ist die Ertragserwartung, falls die Niederschlagssumme von Mai bis September oberhalb des Bereichs liegt, in dem mit zunehmender Niederschlagsmenge zunehmende Erträge zu erwarten sind.

### 6.2.3 Simulation des Kartoffelerlöses

In diesem Fallbeispiel wird die Niederschlagssumme nicht modelliert, sondern es werden mit der Maximum Likelihood Methode<sup>62</sup> aus der empirischen Häufigkeitsverteilung der Jahre 1980 bis 2002 zwei Dichtefunktionen geschätzt, die vom Chi<sup>2</sup>-Anpassungstest, Anderson-Darling-Test und Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nicht abgelehnt werden können. Beim Chi<sup>2</sup>-Anpassungstest hat die Dreiecksverteilung einen besseren Testwert als die Normalverteilung, bei den beiden letztgenannten Tests ist es umgekehrt. Um den Effekt der unterschiedlichen Verteilungsannahmen zu analysieren, wird mit beiden Verteilungsannahmen weitergearbeitet. Für die Normalverteilung ergibt sich ein Erwartungswert von  $E(x) = 353$  mm Niederschlag bei einer Standardabweichung von  $\sigma_x = 82$  mm. Die angepasste Dreiecksverteilung hat das Minimum bei 199 mm, den Modus bei 263 mm und das Maximum bei 570 mm. Der Erwartungswert liegt bei 344 mm.

Ähnlich wie beim Gewächshausbetrieb niedrige Durchschnittstemperaturen erhöhte Heizenergiekosten verursachen, führen zu geringe Niederschläge zu Mindererträgen. Es bietet sich wiederum eine Putoption zur Reduzierung des Niederschlagsrisikos an. Deren Parameter

---

<sup>62</sup> Die Funktionsanpassung erfolgte mit dem MS Excel AddIn @Risk.

werden im Folgenden festgelegt. Der optimale Strike Level entspricht der Niederschlagssumme, ab der kein Ertragszuwachs mehr zu erwarten ist. Aus (6.10) folgt:

$$K = \frac{\hat{y}_{\max} - a}{b} \quad (6.11)$$

Niedrigere Niederschlagssummen als der Erwartungswert führen zu Ertragsdepressionen. Durch Einsetzen in (6.11) der vorher bestimmten Parameter ergibt sich für den Strike Level  $K = 342$  mm. Durch Multiplikation der Steigung  $b$  mit dem Produktpreis  $p$  wird die Tick Size berechnet:

$$V = b p_y \quad (6.12)$$

Durch die Marktordnung bei Stärkekartoffeln und die niedrigen Qualitätsanforderungen wird der Marktpreis  $p_y$  als deterministisch angesehen (STARK ET AL., 2002, S. 19). Die Preisbildung ist vornehmlich abhängig vom Stärkegehalt. Bei einem unterstellten Stärkegehalt von 19 % beläuft sich der Bruttoerzeugerpreis  $p_y$  auf 6,55 €/dt (STARK ET AL., 2002, S. 32).

Das Ertragsrisiko wird in diesem Fallbeispiel aus der Summe der niederschlagsbedingten Streuung und dem (unerklärten) Basisrisiko bestimmt. Das Basisrisiko  $e_B$  ergibt sich aus den Abweichungen des empirischen Ertrages von der Schätzfunktion. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % kann bei 4 Freiheitsgraden die Normalverteilungshypothese nicht abgelehnt werden. Mit der Maximum Likelihood Methode wird ein Erwartungswert von 0 und eine Standardabweichung von  $\sigma_B = 43$  dt/ha geschätzt.

Die Kartoffelerlösverteilung ohne Wetterderivat ( $\tilde{W}_0$ ) ergibt sich durch Multiplikation des Stückpreises mit der Schätzgleichung des Ertrages:

$$\tilde{W}_0 = p_y \tilde{y} = p_y \left( \text{Min} [a + b(E(x) + \tilde{e}_x), \hat{y}_{\max}] + \tilde{e}_B \right) \quad (6.13)$$

Die Ertragsschwankungen werden einerseits durch die Niederschlagsschwankungen  $\tilde{e}_x$  und andererseits durch die aus der linear-limitationalen Schätzgleichung nicht erklärbaren Restschwankungen bestimmt. Da für die Niederschlagssumme  $\tilde{x}$  sowohl eine Normal- als



auch eine Dreiecksverteilung angenommen werden, ergeben sich für den Erlös  $\tilde{W}_0$  zwei unterschiedliche Verteilungen.

Die Kartoffelerlösverteilung mit Wetterderivat  $\tilde{W}_p$  setzt sich aus der Erlösverteilung ohne Wetterderivat  $\tilde{W}_0$  und dem Gewinn aus der Putoption zusammen. Die Tick Size  $V$  und der Strike Level  $K$  werden durch die Formeln (6.11) und (6.12) ersetzt. Die Umformung ergibt:

$$\begin{aligned}
 \tilde{W}_p &= \tilde{W}_0 + G_p^L = p_y \left( (\text{Min}[a + b \tilde{x}, \hat{y}_{\max}] + \tilde{e}_B) + V \cdot \text{Max}[0, (K - \tilde{x})] - P_f \right) \\
 &= p_y \left( \hat{y}_{\max} + \text{Min}[a + b \tilde{x} - \hat{y}_{\max}, 0] + \tilde{e}_B \right) + p_y b \cdot \text{Max}[0, (K - \tilde{x})] - P_f \\
 &= p_y \left( \hat{y}_{\max} + \text{Min}[a + b \tilde{x} - (a + b K), 0] + \tilde{e}_B + \text{Max}[0, b(K - \tilde{x})] \right) - P_f \\
 &= p_y \left( \hat{y}_{\max} + \text{Min}[b(\tilde{x} - K), 0] + \tilde{e}_B - \text{Min}[0, b(\tilde{x} - K)] \right) - P_f \\
 &= p_y \left( \hat{y}_{\max} + \tilde{e}_B \right) - P_f
 \end{aligned} \tag{6.14}$$

Das Risiko der stochastischen Niederschlagssumme ist durch Absicherung mit dem Wetterderivat nicht mehr vorhanden. Es verbleibt das unerklärte Basisrisiko. Dafür ist jedoch die faire Prämie  $P_f$  zu entrichten. Die Laufzeit der Putoption beträgt 5 Monate, der Zinssatz  $r$  wird auf 5 % festgelegt. Die faire Prämie für die Normalverteilung wird analog zu (3.17) berechnet. Der bedingte Erwartungswert für eine Dreiecksverteilung wird im folgenden Exkurs hergeleitet.

### Exkurs

Bestimmung des bedingten Erwartungswertes einer Dreiecksverteilung in Abhängigkeit des Strike Levels  $K$

Sei  $A$  der Minimalwert,  $B$  der Maximalwert und  $M$  der Modus, dann gilt für die Verteilungsfunktion der Dreiecksverteilung (BERG und KUHLMANN, 1993, S. 245):

$$\int_{-\infty}^K h(x) dx = H(K) = \begin{cases} 0 & , \text{für } K < A \\ \frac{(K - A)^2}{(B - A)(M - A)} & , \text{für } A \leq K \leq M \\ \left( 1 - \frac{(B - K)^2}{(B - A)(B - M)} \right) & , \text{für } M \leq K \leq B \\ 1 & , \text{für } K > B \end{cases} \tag{6.15}$$

Der Erwartungswert der Dreiecksverteilung ist:

$$E(x) = \frac{(A + M + B)}{3} \tag{6.16}$$

Der Erwartungswert  $E(x | x \leq K)$  einer Verteilung unter der Bedingung, dass  $K$  unterschritten wird, entspricht dem Erwartungswert der oberhalb von  $K$  abgeschnittenen Verteilung der Zufallsvariablen  $x$ . Ebenso wie die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten  $H(K)$  muss bei der Dreiecksverteilung unterschieden werden, ob  $K$  unterhalb oder oberhalb des Modus  $M$  liegt (vgl. Abb. 31). Ist  $K \leq M$  (linke Hälfte von Abb. 31), dann kann der bedingte Erwartungswert gemäß (6.16) berechnet werden. In diesem Fall sind sowohl der Modus als auch der Maximalwert gleich  $K$ :

$$E(x | x \leq K) = \frac{(A + 2K)}{3} \quad \text{für } A \leq K \leq M \quad (6.17)$$

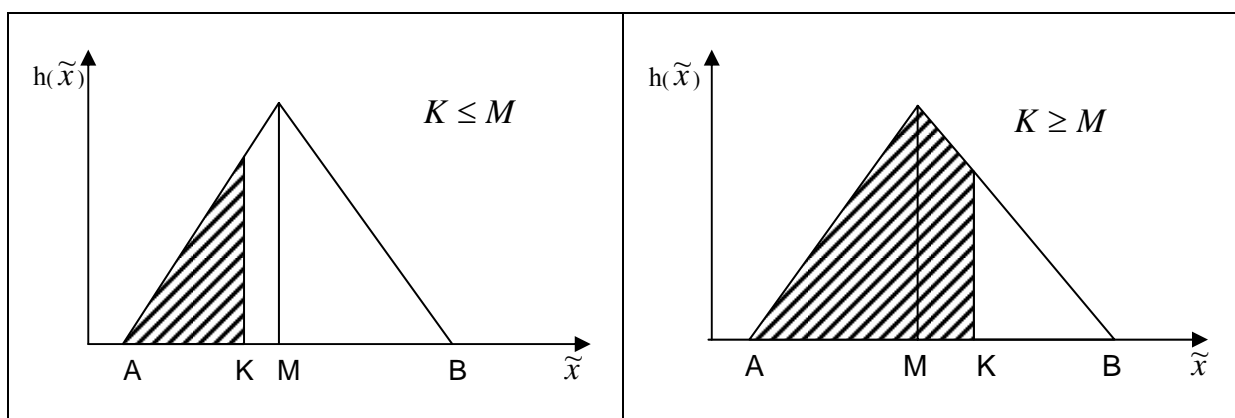


Abbildung 31: Dichtefunktionen (schraffiert) oberhalb von  $K$  abgeschnittener Dreiecksverteilungen

Hingegen ergibt die Dichtefunktion der oberhalb des Modus abgeschnittenen Verteilung kein Dreieck (rechte Hälfte in Abb. 31). Der (unbedingte) Erwartungswert des gesamten Dreiecks entspricht aber dem mit der Wahrscheinlichkeit  $H(K)$  bzw.  $(1-H(K))$  gewichteten Durchschnitt der bedingten Erwartungswerte der partiellen Verteilungen unterhalb und oberhalb von  $K$ :

$$E(x) = H(K) \cdot E(x | x \leq K) + (1 - H(K)) \cdot E(x | x > K) \quad (6.18)$$

Da die Dichte der oberhalb von  $K$  gestutzten Verteilung wieder eine Dreiecksverteilung ist, bietet es sich an, zunächst den bedingten Erwartungswert  $E(x | x \geq K)$  (nicht schraffierter Teil) mit

$$E(x | x \geq K) = \frac{(2K + B)}{3} \quad \text{für } M \leq K \leq B \quad (6.19)$$

sowie den unbedingten Erwartungswert nach (6.16) zu berechnen.

Durch Auflösen von (6.18) nach dem gesuchten  $E(x | x \leq K)$  und Einsetzen von (6.16) und (6.19) ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 E(x|x \leq K) &= \frac{E(x) - (1-H) E(x|x \geq K)}{H} \\
 &= \frac{(A+M+B)/3 - (1-H)(2K+B)/3}{H} \quad \text{für } M \leq K \leq B
 \end{aligned} \tag{6.20}$$

Für  $K < A$  ist  $E(x|x \leq K) = 0$  und für  $K > B$  entspricht  $E(x|x \leq K)$  dem unbedingten

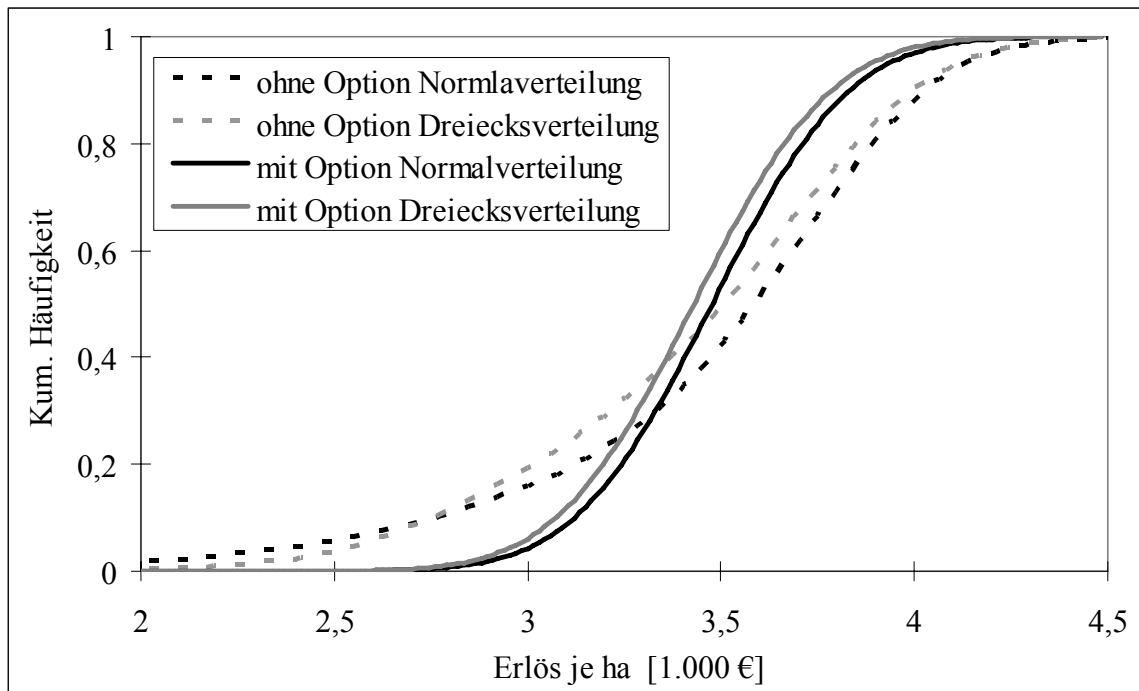
Erwartungswert der Dreiecksverteilung  $E(x) = \frac{(A+M+B)}{3}$ .

## Exkurs Ende

### 6.2.4 Ergebnisse

Die faire Prämie beträgt bei der Normalverteilungsannahme für die Niederschläge 273 €. Die Unterstellung dreiecksverteilter Niederschläge führt zu einer fairen Prämie von 320 €. Ursache ist die unterschiedliche Wahrscheinlichkeit, dass der Strike Level unterschritten wird. Für die Normalverteilungsannahme liegt sie bei 44 %; bei der Dreiecksverteilungsannahme beträgt sie 54 %.

Die kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Hektarerlöse mit und ohne Wetterderivat sind in Abbildung 32 dargestellt, die entsprechenden Parameter befinden sich in Tabelle A 14 des Anhangs. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Standardabweichung durch das Wetterderivat sowohl bei der Normalverteilungs- als auch bei der Dreiecksverteilungsannahme reduziert wird. Das 5 % Perzentil erhöht sich bei der Normalverteilungsannahme von 2457 € ohne Wetterderivat auf 3023 € mit Wetterderivat. Bei der unterstellten Dreiecksverteilung steigt das 5 % Perzentil um 400 € von 2578 € auf 2976 €. Da die Niederschlagssumme nur im unteren Niederschlagsbereich Einfluss auf den Ertrag hat, sind die Ausgangsverteilungen (gestrichelte Linie) linksschief. Wegen des symmetrischen Basisrisikos wird in den Fällen mit Option die Schiefe vollständig beseitigt. Der Mittelwert des Gesamterlöses ist mit Option erwartungsgemäß geringfügig niedriger, was auf die Zinskosten für die Prämie zurückzuführen ist. Mit Optionsgeschäft ist die Verteilung des Erlöses bei Annahme einer Dreiecksverteilung für die Niederschlagssumme im Vergleich zur Annahme der Normalverteilung etwas nach links verschoben. Dies liegt darin begründet, dass die geschätzten Erwartungswerte des Ertrags beider Verteilungen unterschiedlich sind.



**Abbildung 32: Kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilungen bei unterschiedlichen Verteilungsannahmen mit und ohne Option**

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Verteilungsannahmen der Niederschlagssummen zeigen, dass die positiven Optionseffekte bei der Normalverteilung im extremen Bereich stärker ausfallen, während bei der mittleren negativen Abweichung des Niederschlagsindex vom Mittelwert bei Annahme der Dreiecksverteilung größere Effekte zu erwarten sind. Der Optionseffekt fällt geringer aus, wenn der Preis und/oder die Standardabweichung des abzusichernden Ertrages oder die Korrelation geringer sind. Die hohe Korrelation folgt im vorliegenden Fall aus dem Umstand, dass die Wetterstation betriebsnah ist. Im Gegensatz zur Temperatur ist beim Niederschlag ein größeres geografisches Basisrisiko zu erwarten. In Tabelle 15 sind die Korrelationen der einzelnen Niederschlagssummen zwischen der Wetterstation der Versuchsstation Bremervörde und der DWD Wetterstation Hamburg in ca. 50 km Entfernung dargestellt. Die Korrelationen fallen unterschiedlich zwischen den Monaten aus. Für die im vorliegenden Beispiel verwendete Niederschlagssumme von Mai bis September beträgt die Korrelation 0,84. In der Regel kann nicht jede Wetterstation als Basisstation für ein Wetterderivat herangezogen werden. Unter der Annahme, dass sich das Wetterderivat auf die Wetterstation in Hamburg bezieht, fällt der Effekt des Wetterderivates geringer aus. MUBHOFF ET AL. (2005b) entwickeln eine Dekorrelationsfunktion für das Land Brandenburg. Danach beträgt die Korrelation für die Niederschlagssumme zwischen zwei 200 km entfernt liegenden Standorten noch 0,5.

**Tabelle 15: Korrelation der Niederschlagssummen zwischen Hamburg und Bremervörde**

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe	Mai-Sep
0,93	0,87	0,92	0,81	0,64	0,88	0,76	0,64	0,95	0,83	0,86	0,91	0,89	0,84

Die positive Wirkung der Option wird auch dadurch gemindert, dass der Käufer im Allgemeinen mehr als die faire Prämie zahlen muss, was sich in einer Linksverschiebung der kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilung äußert.

### **6.3 Einsatz eines Wetterderivats in einem auf den Zwiebelanbau spezialisierten Modellbetrieb**

Die in diesem Fallbeispiel verwendeten Ertragsdaten – außer Winterraps – stammen von der Prüfstation des Bundessortenamtes in Olvenstedt. Die Wetterdaten wurden an der DWD Station in Magdeburg aufgenommen. Als Grundlage für den Modellbetrieb dienen Daten einer in der Nähe von Magdeburg ansässigen Agrargenossenschaft, die sich auf den Zwiebelanbau spezialisiert hat.

#### **6.3.1 Aufbau des Modellbetriebs**

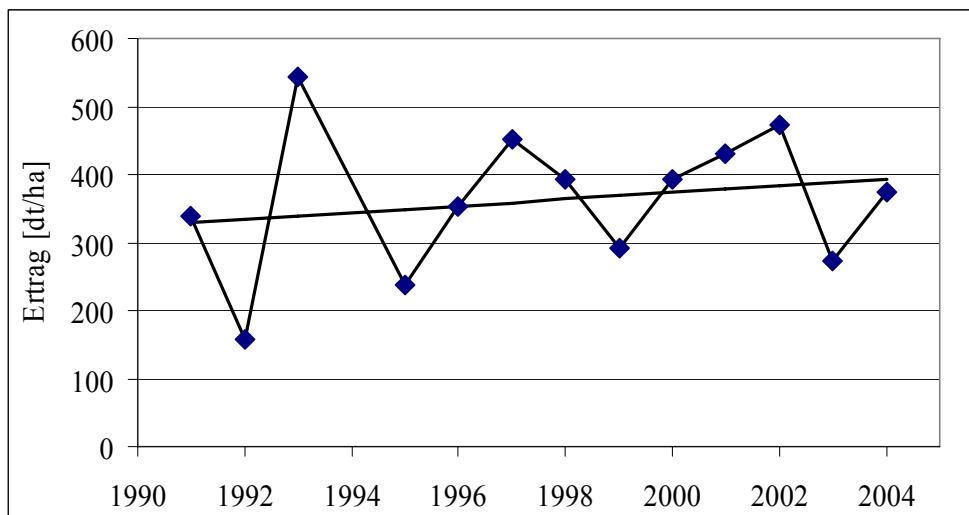
Der Modellbetrieb umfasst eine landwirtschaftliche Nutzfläche von 3.540 ha. Davon entfallen 2.265 ha auf den Anbau von Winterweizen, 219 ha auf Wintergerste, 220 ha Winterraps, 252 ha Zuckerrüben und 265 ha auf den Zwiebelanbau. 319 ha werden stillgelegt. Vom Betriebsleiter wurden die durchschnittlichen Erträge der jeweiligen Kulturen angegeben. Diese lagen unterhalb der durchschnittlichen Erträge der Bundessortenversuche.<sup>63</sup> Im weiteren Verlauf werden die vom Betriebsleiter angegebenen Mittelwerte und die aus den Sortenversuchen ermittelten Standardabweichungen verwendet. Da am Standort Olvenstedt keine Rapsortenversuche durchgeführt werden, wird die Standardabweichung aus Breustedt (2004, S. 113) übernommen. Der dort angegebene Erwartungswert stimmt mit dem vom Betriebsleiter angegebenen Mittelwert überein. In Anlehnung an STARP (2006, S. 142) werden für die Erträge Normalverteilungen unterstellt. Der Betrieb besitzt ein Zuckerrübenlieferrecht von 92.308 dt A-Quote und 27.692 dt B-Quote.

<sup>63</sup> Nach Angabe von Hüging (2004, o.S.) kann der Ertrag von Versuchen um mehr als 20 % über dem Durchschnittsertrag einer Region liegen.

Die Zwiebelerträge und der dazugehörige Trend sind in Abbildung 33 dargestellt. Es liegt ein Trendanstieg von 4,8 dt/(ha·a) vor. Für die Zwiebelerträge liegen relativ hohe Korrelationen mit den Niederschlagssummen vor. Die höchste Korrelation von 0,72 liegt in der Periode von Mai bis Juli vor.<sup>64</sup> Deshalb soll der Zwiebelertrag<sup>65</sup> mit Hilfe des Niederschlags geschätzt werden. Die dazugehörige Regressionsgleichung lautet:

$$y_{Zw} = 137,81 + 1,55x \quad (6.21)$$

wobei  $x$  die Niederschlagssumme von Mai bis Juli darstellt. D.h. mit jedem zusätzlichen mm Niederschlag zwischen Mai und Juli steigt der Ertrag um 1,55 dt/ha. Der Standardfehler des Schätzwertes beträgt 71 dt/ha.



**Abbildung 33: Entwicklung des Zwiebelertrages von 1991 bis 2004**

Sämtliche Mähdruschfrüchte werden in der Ernte verkauft. Etwa ein Drittel der Weizenmenge wird vor der Ernte zu einem Preis von 9,50 €/dt kontraktiert. Für die Preise wird eine Normalverteilung unterstellt, deren Erwartungswert und Standardabweichung aus Preiszeitreihen während der Ernte geschätzt wurden. Für den Zuckerrübenpreis ergibt sich aufgrund des Quotensystems eine gesonderte Preisbestimmung. Der so genannte Mischpreis wird in Abhängigkeit von der Quotenerfüllung bestimmt.

<sup>64</sup> Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant.

<sup>65</sup> Der Zwiebelertrag entspricht der marktfähigen Ware.

$$p_{ZR} = \frac{A_{Menge} \cdot A_{Preis} + B_{Menge} \cdot B_{Preis} + C1_{Menge} \cdot C1_{Preis} + C2_{Menge} \cdot C2_{Preis}}{a_{ZR} \cdot y_{ZR}} \quad (6.22)$$

mit

$$A_{Menge} = \text{Min}[a_{ZR} \cdot y_{ZR}; A_{Quote}]$$

$$B_{Menge} = \text{Min}[a_{ZR} \cdot y_{ZR} - A_{Menge}; B_{Quote}]$$

$$C1_{Menge} = \text{Min}[a_{ZR} \cdot y_{ZR} - A_{Menge} - B_{Menge}; C1_{Quote}]$$

$$C2_{Menge} = a_{ZR} \cdot y_{ZR} - A_{Menge} - B_{Menge} - C1_{Menge}$$

wobei  $a_{ZR}$  der Anbauumfang der Zuckerrüben und  $y_{ZR}$  der Zuckerrübenenertrag je Hektar ist. Der A-Quotenpreis beträgt 5,02 €/dt und der B-Preis 3,23€/dt. Der C1-Preis folgt einer Lognormalverteilung mit einem Erwartungswert von 1,74 €/dt, einer Standardabweichung von 0,54 €/dt und einem Shift von 0,65 €/dt. Der C2-Preis folgt ebenfalls einer Lognormalverteilung mit dem Erwartungswert von 1,41 €/dt und der Standardabweichung von 0,39 €/dt (STARP, 2006, S. 96).

Der Zwiebelpreis wird in Abschnitt 6.3.2 gesondert behandelt, da die Zwiebeln gelagert werden und ein regelmäßiger Verkauf erfolgt.

**Tabelle 16: Planungsdaten zur Deckungsbeitragsberechnung für den Modellbetrieb**

		Winter- weizen	Winter- gerste	Winter- raps	Zucker- rüben	Zwiebeln	Stilllegung
A-Quote	dt				92308		
B-Quote	dt				27692		
Anbauumfang	ha	2265	219	220	252	255	319
<b>Ertrag (normalvert.)</b>							
Erwartungswert	dt/ha	70	75	31	480	360	
Standardabweichung	dt/ha	12,1	9,3	6,4	100	105	
<b>Preis (normalvert.)</b>							
Erwartungswert	€/dt	9,64	8,82	19,40			
Standardabweichung	€/dt	0,9	0,7	2,4			
Flächenprämie	€/ha	317	317	317	317	317	317
Saatgut	€/ha	55	45	40	190	500	55
Pflanzenschutz	€/ha	127	111	103	223	480	
Düngung	€/ha	158	153	133	145	140	
var. Maschinenkosten	€/ha	104	104	104	181	669	20
<b>Σ var. Kosten</b>	€/ha	444	413	379	739	1789	75

Die variablen Kosten beruhen auf Angaben des Betriebsleiters und auf den Schlagkarteiauswertungen des Arbeitskreis 1 der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Auf Basis dieser Werte lässt sich der Gesamtdeckungsbeitrag des Betriebes berechnen:

$$DB_{Ges} = \sum_{k=1}^n a_k (p_k y_k - KV_k) \quad (6.23)$$

Dabei ist  $k$  der Index für die jeweilige Kultur,  $a$  der Anbauumfang,  $p$  der Preis,  $y$  der Ertrag und  $KV$  die variablen Kosten.

Zur Bestimmung des Unternehmensgewinns müssen neben den Deckungsbeiträgen noch die Fixkosten und staatliche Zahlungen berücksichtigt werden. Dazu zählen:

- Maschinen- und Gebäudekosten
- Kosten für Fremdarbeitskräfte
- Pacht
- Zinsaufwand
- Allgemeine Kosten.
- Betriebsprämie

In Anlehnung an das KTBL (2004, S. 159 ff.) belaufen sich die Maschinen- und Gebäudekosten auf 630.000 €, bei einem Fremdarbeitslohn von 15 €/h ergeben sich Kosten in Höhe von 550.000 €. Der Pachtpreis orientiert sich am landesüblichen Durchschnittspachtpreis von 187 €/ha (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT SACHSEN-ANHALT (2006, S. 14). Da es sich um eine Agrargenossenschaft handelt, wird eine Pachtquote von 100 % unterstellt.

Zu den allgemeinen Kosten zählen Steuern sowie Beiträge, für Versicherungen, Verbände, Kammer, Buchführung und Berufsgenossenschaft. Diese belaufen sich auf 285.000 €. Als Zinsaufwand fallen 120.000 € an.

Die nach der Agrarreform ab dem Jahr 2005 erlöste Flächenprämie beträgt in Sachsen-Anhalt 317 €. Der Stilllegungssatz beläuft sich auf 8,95 %. Diese ist unabhängig von der angebauten Kultur. Es können also Zahlungen in Anspruch genommen werden, wenn ihnen eine entsprechende Bewirtschaftungseinheit zu Grunde liegt. In dem hier beschriebenen Modellbetrieb ist die bewirtschaftete Fläche vorgegeben, so dass die Höhe der Betriebsprämie fix ist. Zur Förderung der ländlichen Räume wird die Betriebsprämie im Jahr 2005 um 3 %



gekürzt. Davon ausgenommen sind die ersten 5000 € der Betriebsprämie (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2005, S. 91 ff.; BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2006, S. 118). Die Betriebsprämie beträgt 1.085.604 €.

Die Korrelationskoeffizienten zwischen den Erträgen, den Preisen und der Niederschlagssumme von Mai bis Juli sind in Tabelle 10 aufgelistet. Die Ertragskorrelationen wurden außer für Winterraps aus den Ertragsdaten des Bundessortenamtes bestimmt. Die Werte stimmen weitestgehend mit den Ergebnissen von RASMUSSEN (1990, S. 94) überein.

In Anlehnung an BERG (2002, S. 117) und KING ET AL. (1988, S. 170) wird unterstellt, dass außer bei Zwiebeln kein statistischer Zusammenhang zwischen den Preisen und den betrieblichen Erträgen besteht. D.h. lokale Ertragsschwankungen haben keinen Einfluss auf das globale Angebot eines landwirtschaftlichen Gutes. Bei Zwiebeln wird zwar eine Ertrags-Preiskorrelation angenommen, diese ist allerdings mit -0,10 sehr niedrig. Dies ist darin begründet, dass nur etwa 60 % der in Deutschland konsumierten Zwiebeln auch in Deutschland produziert werden. Der Rest ist Importware (GOLDHOFER und DUNST, 2005, S. 29). Abbildung A 3 im Anhang zeigt die Korrelationen von verschiedenen Standorten zwischen Ertrag und Wochenpreis. Zwischen den Standorten sind teilweise gegenläufige Korrelationen festzustellen. Es kann also nur von einem schwachen „natural hedge“ im Zwiebelmarkt ausgegangen werden.

**Tabelle 17: Korrelationsmatrix der Erträge, Preise und Niederschlagssumme von Mai bis Juli**

		Ertrag					Preis						Nied.
		WW	WG	WR	ZR	Zw	WW	WG	WR	C1-ZR	C2-ZR	Zw	Mai-Jul
Ertrag	WW	1,00	0,67	0,30	0,25	-0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,30
	WG	0,67	1,00	0,30	0,05	-0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,28
	Wraps	0,30	0,30	1,00	0,30	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ZR	0,25	0,05	0,30	1,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
	Zw	-0,30	-0,19	0,20	0,40	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,10	0,72
Preis	WW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,97	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00
	WG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	1,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00
	Wraps	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,36	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C1-ZR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,90	0,00	0,00
	C2-ZR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	1,00	0,00	0,00
	Zw	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Nied.	Mai-Jul	-0,30	-0,28	0,00	0,20	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

mit WW = Winterweizen, WG = Wintergerste, WR = Winterraps, ZR = Zuckerrüben, Zw = Zwiebeln

Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme von Mai bis Juli und den Erträgen wird aus den Daten des DWD und des Bundessortenamtes bestimmt. Zwischen der Niederschlagssumme und den Preisen liegt keine Korrelation vor.

Der Zwiebelertrag wird über die in 6.21 aufgeführte Regressionsgleichung bestimmt, bei der die Niederschlagssumme die exogene Größe ist. Somit bleiben die in der Korrelationsmatrix aufgeführten Korrelationen zwischen dem Zwiebelertrag und dem Ertrag der übrigen Kulturen unberücksichtigt. Um diese Korrelationen zu berücksichtigen, wird zunächst der Zwiebelertrag bestimmt und anschließend die bedingten Verteilungen der restlichen Erträge. Der bedingte Erwartungswert der Kultur  $i$  in Abhängigkeit vom Zwiebelertrag ist (SACHS, 1992, S. 500):

$$E(Y_i | y_{Zw}) = \mu_i + \frac{\sigma_{iZw}}{\sigma_{Zw}^2} (y_{Zw} - \mu_{Zw}) = \mu_i + \rho \frac{\sigma_i}{\sigma_{Zw}} (y_{Zw} - \mu_{Zw}) \quad (6.24)$$

Für die bedingte Varianz ergibt sich:

$$\sigma^2(Y_i | y_{Zw}) = \sigma_i^2 - \frac{\sigma_{iZw}^2}{\sigma_{Zw}^2} = \sigma_i^2 (1 - \rho^2) \quad (6.25)$$

mit

$\sigma_{iZw}$  = Kovarianz zwischen dem Ertrag der  $i$ -ten Kultur und Zwiebelertrag

$\mu_i$  = Erwartungswert der  $i$ -ten Kultur

$\sigma_i^2$  = Varianz der  $i$ -ten Kultur

$\rho$  = Korrelationskoeffizient

Die so bestimmten bedingten Verteilungen werden anschließend zur Ziehung der Erträge der übrigen Kulturen unter Berücksichtigung der in der Korrelationsmatrix aufgeführten Korrelationskoeffizienten verwendet.

### 6.3.2 Modellierung der Zwiebelpreiszeitreihe

Die Vermarktung der Zwiebeln des Modellbetriebs erfolgt über eine Erzeugergemeinschaft. Die Erzeugergemeinschaft vermarktet die heimischen Zwiebeln von Anfang August bis Ende

Mai. Anfang August werden zunächst Steckzwiebeln vermarktet, ab April kommen die Zwiebeln aus CA-Lagern<sup>66</sup>. Der Modellbetrieb liefert die aufbereiteten Zwiebeln in Big Bags an die Erzeugergemeinschaft.

Datengrundlage zur Modellierung der Zwiebelpreiszeitreihe bilden die Kalenderwochenpreise für deutsche Speisezwiebeln von 1993 bis 2005 (Abbildung 34). Es werden keine Preise im Mai und Juni notiert. Importware erreicht den deutschen Markt zunehmend ab Mitte März (BEHR, 2005, o.S.).

In Anlehnung an STARP (2006, S. 91) wird für die Zwiebelpreiszeitreihe ein ARIMA-Prozess spezifiziert, da die Zwiebelpreise der neuen Saison mit der vorhergehenden Saison nicht korrelieren, die Korrelation im Verlauf einer Saison aber hoch ist. Es ergibt sich eine typische Saisonkurve, die mit hohen Notierungen Ende Juni beginnt und in der Regel Anfang September ihr Minimum erreicht. Danach steigen die Preise wieder.

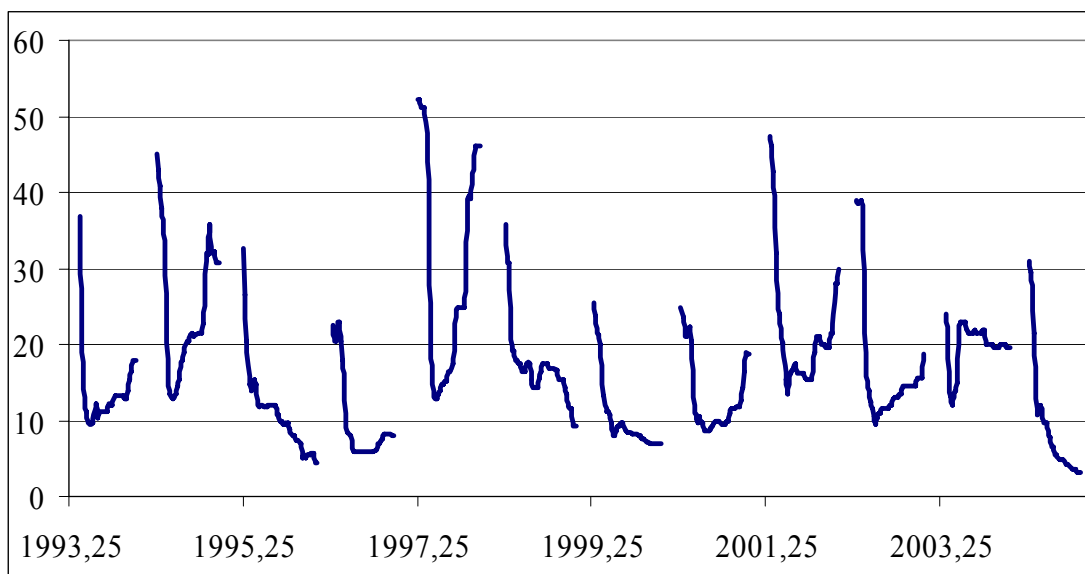


Abbildung 34: Verlauf der Zwiebelpreise [€/dt] von 1993 bis 2005

Zunächst werden für jede Saison ausgehend von der jeweils ersten Preisnotierung die Differenzen der logarithmierten Preise gebildet:

$$r_t = \ln p_t - \ln p_{t-1} = \ln \left( \frac{p_t}{p_{t-1}} \right) \quad (6.26)$$

<sup>66</sup> Ein CA-Lager (engl. controlled atmosphere) ist ein Lagerungssystem mit geregelter Atmosphäre.

Dabei ist  $p_t$  der Zeitreihenwert in der Woche  $t$ , wobei  $t$  in der 35. Kalenderwoche den Wert 1 erhält. Die Logarithmierung bewirkt den Übergang von einer absoluten zu einer relativen Preisänderung. Negative Preise werden dadurch bei der Simulation verhindert. Folgender Prozess wird bestimmt, um den saisonalen Verlauf und die Autokorrelationen der relativen Preisänderungen zu berücksichtigen:

$$\hat{r}_t = \begin{cases} S_t + e_t & \text{für } t = 1 \\ S_t + \phi_1(r_{t-1} - S_{t-1}) + e_t & \text{sonst} \end{cases} \quad (6.27)$$

Die Saisonfigur lautet:

$$S_t = \sum_{i=0}^2 a_i t^i \quad (6.28)$$

Der erste Wert des Preisprozesses für jedes Jahr wird über eine Lognormalverteilung mit dem Erwartungswert 7,19 €/dt, der Standardabweichung 3,13 €/dt und dem Shift von 5,57 €/dt ermittelt. Ab der Folgewoche wird bei der Prognose zusätzlich die Abweichung der vorausgehenden Änderung gegenüber dem Saisonmittel multipliziert mit dem Autoregressionskoeffizienten  $\phi_1$  berücksichtigt. Da die quadrierten Restfehler noch autokorreliert sind, wird für diese noch einmal ein autoregressiver Prozess geschätzt:

$$\hat{e}_t^2 = S_{2,t} + \phi_2(e_{t-1}^2 - S_{2,t-1}) + e_{2,t} \quad (6.29)$$

mit der Saisonfigur:

$$S_{2,t} = b_0 + b_1 e_t^2 \quad (6.30)$$

Die Autokorrelationskoeffizienten und die Saisonparameter werden mit der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 dargestellt.

**Tabelle 18: Autoregressions- und Saisonparameter des Zwiebelpreisprozesses**

Parameter	$\phi_1$	$\phi_2$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$b_0$	$b_1$
Schätzung	0,38953	0,12951	-0,19305	0,01395	-0,00023	0,01309	-0,00029

Durch Division des Schätzfehlers durch die Standardabweichung ergeben sich die normierten Residuen:

$$\varepsilon_t = \frac{e_t}{\sigma_t} \quad (6.31)$$

Für die normierten Residuen wird mittels Maximum-Likelihood Methode eine stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung angepasst. Dabei erreichte die die logistische Verteilung mit einem Erwartungswert von 0 und einer Standardabweichung von 0,515 eine gute Näherung an die Häufigkeitsverteilung der normierten Residuen.

Mit Hilfe dieses Zwiebelpreismodells werden im weiteren Verlauf die wöchentlichen Verkaufspreise für den Modellbetrieb geschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass der Betrieb seine Zwiebeln kontinuierlich von der 35. Kalenderwoche bis zur 22. Kalenderwoche des Folgejahres verkauft. Eine vertragliche Absicherung ist nicht möglich (GOLDHOFER und DUNST, 2005, S. 29)

### 6.3.3 Konstruktion des Wetterderivats

Das zu konstruierende Wetterderivat soll die niederschlagsbedingten Erlösschwankungen im Zwiebelanbau reduzieren. Deshalb wird auf Regressionsgleichung (6.21) zurückgegriffen. Die Tick Size lässt sich nach (6.21) durch Multiplikation der Steigung der Regressionsgeraden mit dem Preis bestimmen. Da der Preis nicht deterministisch ist, sondern dem oben beschriebenen Prozess folgt, wird für das Wetterderivat der Durchschnittspreis von 1993 bis 2005 gewählt. Dieser beträgt 14,36 €/dt. Daraus folgt für die Tick Size  $V = 22,26$  €/mm.

Der Strike Level wird auf 162 mm festgelegt und entspricht dem Erwartungswert der Niederschlagssumme von Mai bis Juli. Die Niederschlagssumme wird mit Hilfe des Modells aus Abschnitt 5.2 simuliert und ist lognormalverteilt (siehe Abbildung 35). Die Standardabweichung beträgt 45 mm. Somit werden negative Abweichungen des Ertrags vom Erwartungswert durch das Wetterderivat ausgeglichen. Eine Derivatart, die diesen Zusammenhang absichern kann, ist die Putoption. Ein Limit wird bei 100 mm Niederschlag gesetzt.

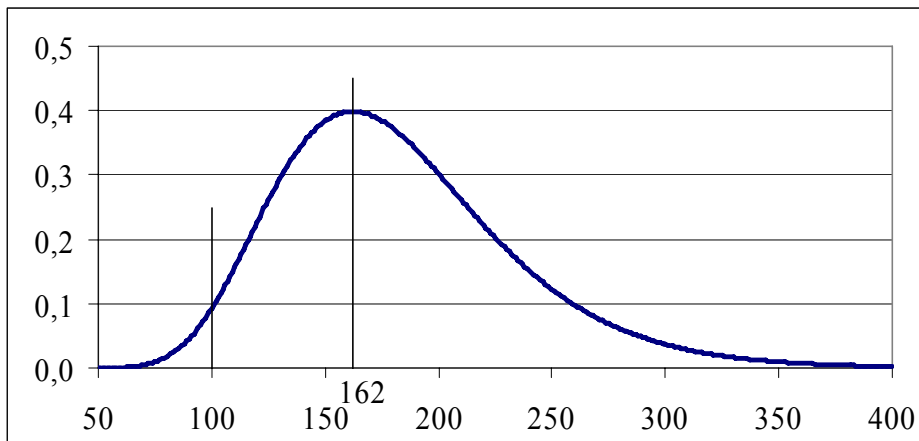


Abbildung 35: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Niederschlagssumme von Mai bis Juli

Die faire Prämie berechnet sich nach Formel (3.17) und nach BRIX ET AL. (2002, S. 130), indem zunächst die bedingten Erwartungswerte berechnet werden:

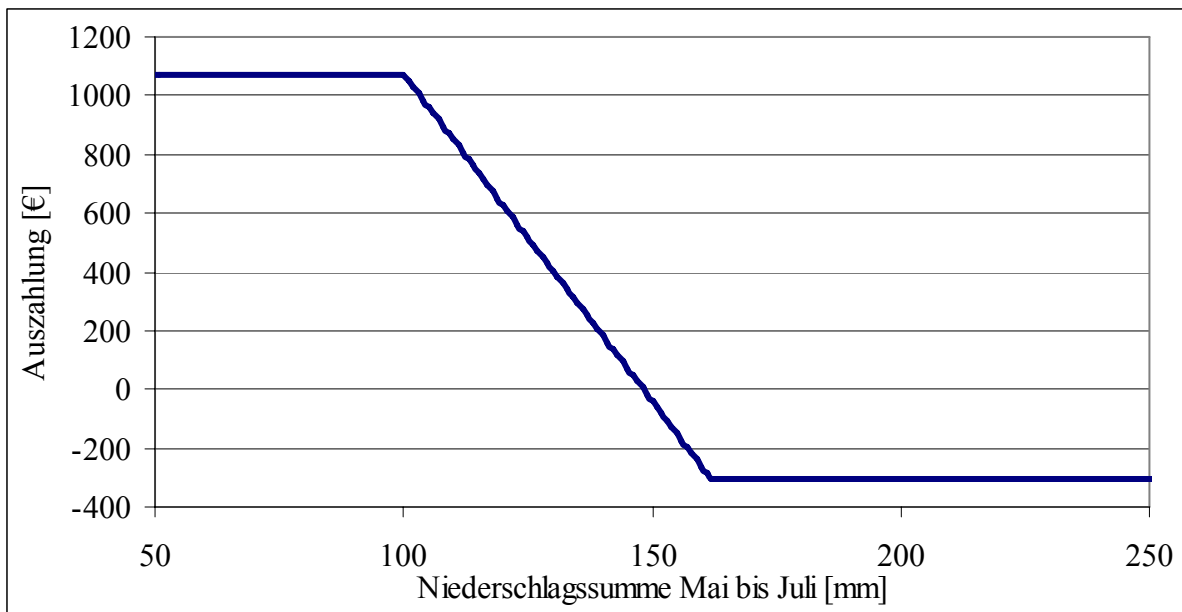
$$E(x | x < K) = \exp\left(\mu - \sigma \frac{\phi(z_1)}{\Phi(z_1)}\right) \quad \text{mit } z_1 = \frac{\ln(K) - \mu}{\sigma} \quad (6.32)$$

$$E(x | x < L) = \exp\left(\mu - \sigma \frac{\phi(z_2)}{\Phi(z_2)}\right) \quad \text{mit } z_2 = \frac{\ln(L) - \mu}{\sigma} \quad (6.33)$$

wobei  $\phi$  die Dichtefunktion und  $\Phi$  die kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilung der Standardnormalverteilung darstellen. Die faire Prämie für die Putoption mit Limit lautet:

$$P_p = [((K - E(x | x < K))\varpi(x < K)) - ((L - E(x | x < L))\varpi(x < L))]V e^{-rT} \quad (6.34)$$

Zunächst wird jeweils die Differenz aus Strike Level, Limit und den jeweiligen bedingten Erwartungswerten gebildet. Die Differenzen werden mit der jeweiligen Wahrscheinlichkeit, dass der Strike Level oder Limit unterschritten wird, multipliziert. Die faire Prämie ergibt sich durch Multiplikation mit der Tick Size  $V$  und dem Diskontierungsfaktor  $e^{-rT}$ . Der Zinssatz  $r$  betrage 5 % und die Laufzeit  $T$  3 Monate. Daraus resultiert eine faire Prämie mit Limit von 336,72 €. Ohne Limit liegt sie bei 347,15 €. Die geringe Differenz resultiert aus der geringen Wahrscheinlichkeit von 4,4 %, dass das Limit von 100 unterschritten wird. Die Auszahlungsstruktur sieht folgendermaßen aus:



**Abbildung 36: Auszahlungsstruktur der niederschlagsbasierten Putoption zur Absicherung des Zwiebelertrages in €**

Wie aus Abbildung 36 ersichtlich ist, beginnt die Auszahlung bei einem Strike Level von 162 mm. Es findet eine Auszahlung je Indexpunkt von 22,26 €/mm bis zum Limit von 100 mm statt. Daher beträgt der maximale Auszahlungsbetrag aus dem Wetterderivat 1.021 €.

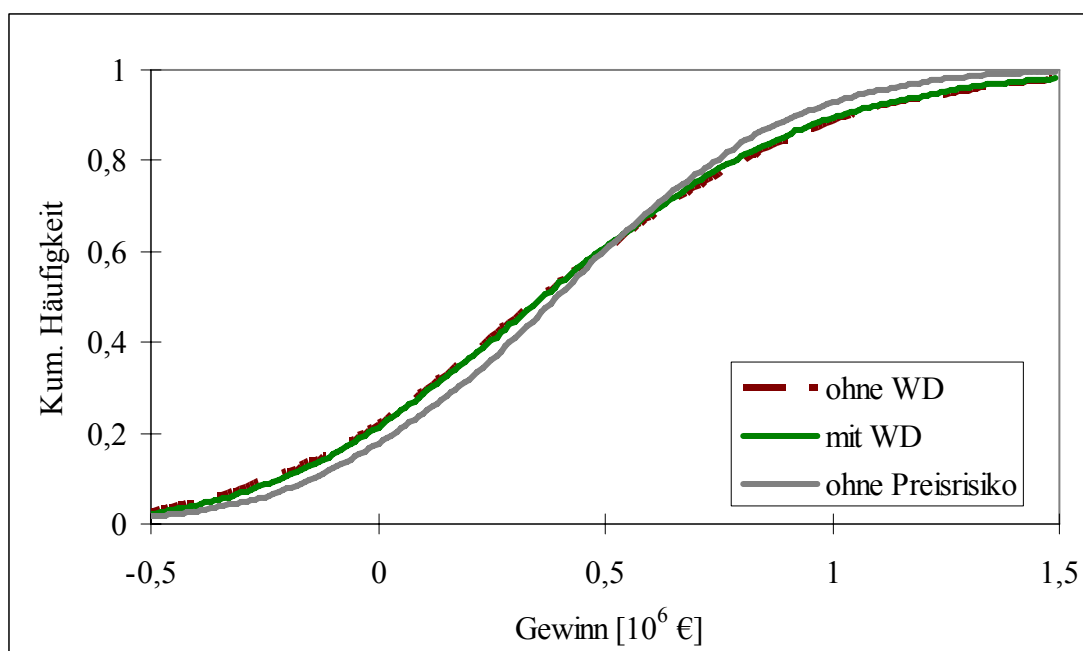
### 6.3.4 Ergebnisse

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse stellen den Effekt von Wetterderivaten dar. Auf einen Optimierungsansatz nach bestimmten Risikomaßen wurde bewusst verzichtet, da der unterstellte Betrieb hoch spezialisiert ist. Eine Ausdehnung des Zwiebelanbaus ist aufgrund endlicher Marktabsatzmöglichkeiten limitiert. Die niedrigen C-Zuckerpreise machen den Zuckerrübenanbau über die Quotenmengen hinaus unwirtschaftlich.

Für den Modellbetrieb wurden 10.000 Simulationen durchgeführt. Zunächst wird der Gewinn ohne Wetterderivat mit dem Gewinn mit Wetterderivat verglichen. In Abbildung 37 sind die kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Gewinns mit und ohne Wetterderivat sowie die Verteilung bei vollkommener Preissicherheit dargestellt.

Im unteren Bereich liegt die kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilung mit Wetterderivat nur geringfügig unterhalb der Ausgangsverteilung ohne Wetterderivat. Der Erwartungswert für beide Verteilungen beträgt ca. 392.000 € (vgl. Tabelle A 16 im Anhang). Die Standardabweichung kann durch das Wetterderivat von 511.931 € auf 492.436 € gesenkt werden. Das 5 % Perzentil erhöht sich von -393.000 € auf -364.146 €. Die positive Schiefe

deutet auf eine rechtsschiefe Verteilung hin. Der Unterschied zwischen den Schiefen der beiden Verteilungen ist nur sehr gering. Durch die Optionsprämienzahlungen verringert sich das 95 % Perzentil von 1,280 Mio. € auf 1,235 Mio. €. Zur Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeit wird der Zielwert des Lower Partial Moments der Ordnung Null auf 0 gesetzt. Durch dieses Risikomaß wird die Wahrscheinlichkeit eines negativen Gewinns ausgedrückt. Diese liegt im Referenzszenario ohne Wetterderivat bei 22 %. Durch Abschluss eines Wetterderivats verringert sich dieses auf 21,3 %. Die Verlusterwartung, d.h. der bedingte Erwartungswert, falls der Zielwert 0 unterschritten wird, wird um ca. 11.000 € auf -243.029 € gesenkt.



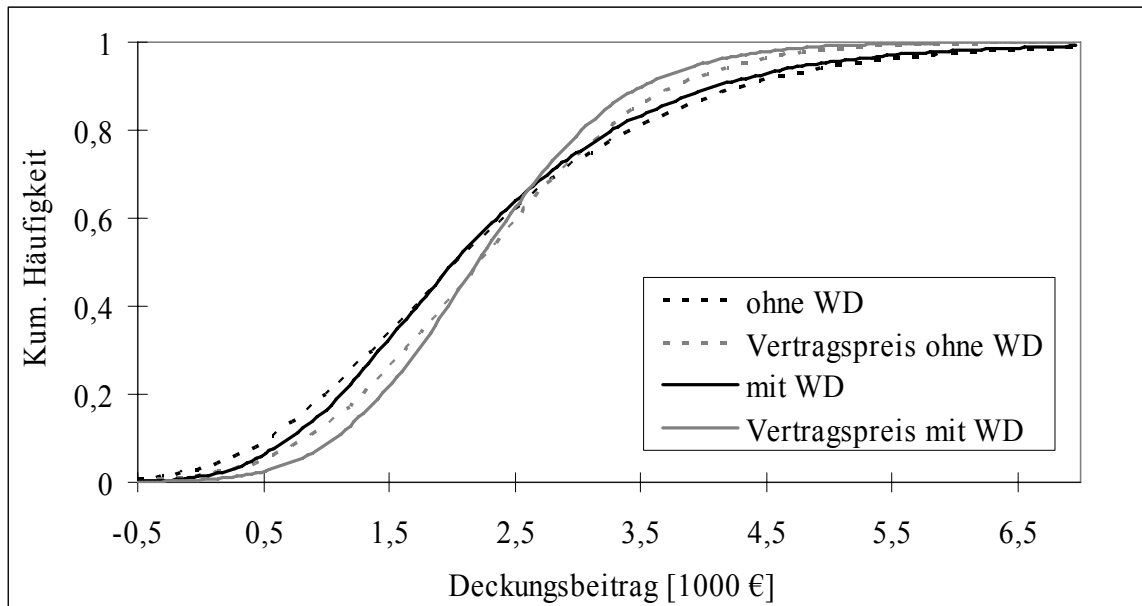
**Abbildung 37: Kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Gewinns für den Modellbetrieb mit und ohne Wetterderivat**

Werden die Preisschwankungen eliminiert, d.h. es werden konstante Preise unterstellt, die dem Erwartungswert der Preisverteilungen entsprechen, so führt dies zu einer stärkeren Risikoreduzierung, wobei der Erwartungswert geringfügig sinkt, da der Erwartungswert der Winterweizenpreisverteilung 0,14 €/dt oberhalb des Kontraktpreises liegt. Die Standardabweichung sinkt um ca. 100.000 €. Die Schiefe wird fast vollständig eliminiert. Die Verlustwahrscheinlichkeit in diesem Szenario beträgt 17,7 %. Der erwartete Verlust liegt bei -221.333 €.

Insgesamt hat der Abschluss eines Wetterderivats speziell im Zwiebelanbau einen geringen Einfluss auf die Risikoparameter des Gesamtdeckungsbeitrages für den Modellbetrieb.



Deshalb wird im Folgenden der Deckungsbeitrag des Zwiebelanbaus mit und ohne Wetterderivat untersucht. Zusätzlich wird durch die Annahme eines Vertragspreises untersucht, inwieweit die Preisschwankungen den Deckungsbeitrag der Zwiebeln beeinflussen.



**Abbildung 38: Kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilung des Zwiebeldeckungsbeitrags je Hektar für den Modellbetrieb mit und ohne Wetterderivat sowie bei fixem und stochastischem Preis**

In Abbildung 38 stellen die schwarzen Kurven die kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Zwiebeldeckungsbeitrages bei einem freien Marktpreis dar. Mit einem Wetterderivat verringert sich die Standardabweichung von 1.491 € auf 1.359 € (vgl. Tabelle A 17 im Anhang). Das 5 % Perzentil steigt von 468 € auf 703 €. Die grauen Kurven zeigen die kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen bei einem hypothetischen Vertragspreis von 11,22 €/dt an. Bei einem Vergleich zwischen freiem Marktpreis und Vertragspreis liegt die Standardabweichung des Vertragspreises mit 1.037 € deutlich unterhalb des Deckungsbeitrages bei freiem Marktpreis. Ebenso ist das 5 % Perzentil bei einem hypothetischen Vertragspreis signifikant höher. Das höchste 5 % Perzentil wird bei einer Preisabsicherung und einer Mengenabsicherung mittels Wetterderivat erreicht.

## 6.4 Fazit

Die hier vorgestellten Wetterderivate können nützlich sein, um das spezifische Wetterrisiko, dem eine Kultur unterliegt, zu reduzieren. Jedoch ist zu bedenken, dass keine Absicherung gegen Existenz gefährdende Einzelrisiken aufgrund der mangelnden perfekten Korrelation zwischen Ertrag und dem zu Absicherung herangezogenen Wetterindex möglich ist. Ebenso verringert sich der Effekt des Wetterderivats durch ein diversifiziertes Anbauprogramm, bei dem die Erträge der einzelnen Kulturen nur schwach miteinander korrelieren.

Die relativ hohen Korrelationen zwischen den niederschlagsbasierten Wetterindices und den Erträgen von Kartoffeln und Zwiebeln sind teilweise auf die unmittelbare Nähe der Wetterstationen zu den Versuchsstationen zurückzuführen. In Bremervörde war die Wetterstation direkt auf der Versuchsstation, der Olvenstedter Modellbetrieb lag nur 5 km von der Wetterstation in Magdeburg entfernt. Falls es zu einem liquiden Markt für Wetterderivate kommen sollte, ist davon auszugehen, dass nur wenige zentrale Wetterstationen als Referenzstation herangezogen werden. Im Falle vom Standort Bremervörde wäre dies die DWD-Station in Hamburg. Diese liegt Luftlinie ca. 50 km entfernt. Für die im o.a. Beispiel gewählte Laufzeit von Mai bis September liegt die Korrelation der Niederschlagssumme zwischen beiden Standorten nur noch bei 0,84. Dies reduziert zusätzlich den Effekt des Wetterderivats.

In diesem Zusammenhang wird der Vorteil von temperaturbasierten Wetterderivaten deutlich. Das geographische Basisrisiko ist wesentlich geringer. So liegt für die Durchschnittstemperatur von November bis März zwischen Hannover, wo der Modellbetrieb liegt, und Berlin eine Korrelation von 0,96 vor. Da die meisten Wetterderivate temperaturbasiert sind und viele Akteure, die am Wetterderivatmarkt agieren, der Energiebranche angehören, ist ein solches Derivat einfach zu realisieren. Zudem haben Energieversorgungsunternehmen eine genau entgegengesetzte Position. Falls sich ein liquider Markt für Wetterderivate in Deutschland etabliert, wären temperaturbasierte Indices die ersten, die an einer Börse gehandelt werden. Demgegenüber bleiben niederschlagsbasierte Derivate aufgrund ihrer hohen Spezifität an bilaterale OTC-Geschäfte gebunden.

Der Heizmaterialaufwand bei intensiv geführten Gewächshäusern kann bis zu 20 % des Betriebsertrags ausmachen (LANGE ET AL., 2002, S. 8). Durch die in der letzten Zeit stark angestiegenen Energiepreise nimmt dieser Anteil zu. Der Preis wirkt dabei über Tick Size als

Hebel. Ebenso können die Kosten für Heizöl, Erdgas und Flüssiggas ansteigen, falls die dafür vorgesehene staatliche Beihilfemaßnahme<sup>67</sup> abgeschafft wird.

In den hier vorgestellten Anwendungsbeispielen wurde eine faire Prämie für die Wetterderivate unterstellt, die während der Kontraktlaufzeit nicht handelbar sind (Europäische Option). Dies ist jedoch nur ein vereinfachter Ansatz. Falls es zu einem liquiden Markt für Wetterderivate kommt, ist eine Handelbarkeit während der Laufzeit wahrscheinlich (Amerikanische Option). Kapitalmarkttheoretische und versicherungsmathematische Ansätze können dabei als Bewertungsverfahren herangezogen werden, die aber im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt wurden.

Die Preise für Heizöl und Stärkekartoffeln wurden als konstant angenommen. Durch Vorauskontrakte ist dies bei Heizöl problemlos möglich. Da der Stärkekartoffelmarkt einer Kontingentierung unterliegt, ist es nicht möglich, die volle Erntemenge zum Garantiepreis abzusetzen. Die geringeren Erlöse für die über die Stärkequote hinaus produzierte Kartoffelmenge senken den Effekt des Wetterderivats. Bei vollkommen frei handelbaren, landwirtschaftlichen Gütern wie den im oben genannten Modellbetrieb angebauten Zwiebeln sind Preisabsicherungen kaum möglich. Wie oben dargestellt würde das Erlösrisko im Zwiebelanbau durch einen Preishedge deutlich stärker sinken als durch einen Mengenhedge. Die Qualität von Stärkekartoffeln spielt für die Vermarktung eine untergeordnete Rolle, da nur der Stärkegehalt Preis bestimmend ist. Bei anderen Kulturen – insbesondere Gemüse und Sonderkulturen – entscheiden Qualitätsparameter über Vermarktungsmöglichkeiten. Die im o.a. Zwiebelbeispiel gewählten Erntemengen entsprechen der vermarktungsfähigen Ware.

---

<sup>67</sup> Die Beihilfemaßnahme besteht in einem ermäßigten Steuersatz für Heizöl, Erdgas und Flüssiggas zur Beheizung von Gewächshäusern. Diese Steuerbefreiung wurde 2001 eingeführt. Die EU-Kommission prüft zurzeit, ob diese Maßnahme mit den Wettbewerbsregeln und dem reibungslosen Funktionieren des Binnenmarktes vereinbar ist (EU-KOMMISSION, 2005, o.S.).

## 7 Zusammenfassung

Die grundlegende Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik aus dem Jahr 2003 führt dazu, dass sich die Risikosituation in landwirtschaftlichen Betrieben erheblich verändert. Einerseits führen die durch WTO-Verhandlungen eingeleiteten Marktliberalisierungen zum Abbau von Marktordnungen und Preisstützungsmaßnahmen. Umweltauflagen und Cross Compliance Vorschriften können darüber hinaus zu einer erhöhten Ertragsvariabilität führen. Andererseits wirken von der landwirtschaftlichen Produktion entkoppelte Direktzahlungen risikomindernd. Inwieweit eine Risikoerhöhung stattgefunden hat, kann nicht abschließend geklärt werden. Diese ist allerdings zukünftig gewiss infolge der obligatorischen Modulation und der EU-Osterweiterung zu erwarten.

Im landwirtschaftlichen Bereich wird zwischen Markt-, Geschäfts- und Finanzierungsrisiken unterschieden. Wetterrisiken zählen zu den exogenen Geschäftsrisiken. Im Gegensatz zu den endogenen Geschäftsrisiken können exogene von einem Unternehmen nicht beeinflusst werden. Wetterrisiken äußern sich durch Schwankungen in der Produktion, im Absatz und im Einkauf von Produktionsmitteln. Ebenso beeinflussen sie die Erzeuger- und Betriebsmittelpreise. In der Landwirtschaft ist dies allerdings nur bei Erzeugnissen festzustellen, die in einem geographisch eng begrenzten Gebiet angebaut werden. Im Rahmen dieser Arbeit beschränkt sich der Begriff Wetterrisiko auf das Mengenrisiko.

Risikomanagement stellt den planvollen Umgang mit Risiken dar. Der Prozess des Risikomanagements umfasst die vier Phasen Identifikation, Bewertung, Bewältigung und Kontrolle von Risiko. Die Risikobewältigung kann entweder aktiv oder passiv erfolgen. Aktive Strategien sind die Risikovermeidung, Risikominderung oder Risikodiversifikation. Möglichkeiten des passiven Risikomanagements sind die Risikostreuung, der Risikotransfer oder die Risikoübernahme. Wetterderivate zählen zu den Alternativen Risiko Transfer Instrumenten und erweitern die Grenzen der Versicherbarkeit. Gängige Methoden zur Risikobeurteilung sind die stochastische Dominanz und das Erwartungsnutzenkonzept. Eine quantitative Darstellung von Risiko erfolgt häufig mittels Verteilungsmomenten oder Lower Partial Moments. Im Gegensatz zu Verteilungsmomenten besitzen Lower Partial Moments den Vorteil, dass sie keine exakte Verteilungsannahme der Zufallsvariable benötigen.

Wetterderivate bieten durch die frei gestaltbaren Kontraktparameter ein weites Anwendungsfeld. Um signifikante Wirkungen auf Risikoparameter zu erhalten, wird eine Korrelation von mindestens 0,6 zwischen der Basisvariable und der abzusichernden Variable

benötigt. Wetterderivate werfen im Gegensatz zu klassischen Versicherungslösungen nicht das Problem der adversen Selektion und des moral hazard auf. Da die Auszahlung aus einem Wetterderivat nur von der Basisvariable abhängig ist, entfällt die Schadenskontrolle. Jedoch besteht aufgrund des Basisrisikos die Gefahr, dass im Schadensfall keine ausreichende Kompensation stattfindet. Hauptakteure am Wetterderivatmarkt sind Energienunternehmen. Abschlüsse in der Landwirtschaft sind bis auf wenige Ausnahmen nicht bekannt.

Der Zusammenhang zwischen pflanzlichen Erträgen und Niederschlag und Temperatur wird in dieser Arbeit mittels Korrelationsanalyse untersucht. Flächenmäßig bedeutsame Nutzpflanzen sind Winterweizen und Wintergerste. Aufgrund ihrer hohen Hektarerträge besitzen Kartoffeln und Zuckerrüben hohe Gesamterntemengen. Sonderkulturen weisen einen flächenmäßig geringen Anteil auf, haben aber aufgrund ihres hohen Produktionswertes eine starke Bedeutung. Die Literatur zur Ertrags-/Wetteranalyse kann prinzipiell in zwei Kategorien eingeteilt werden; zum einen die Index-Verfahren, die teilweise auf subjektiven Einschätzungen beruhen und nicht immer objektiv nachvollziehbar sind; zum anderen gibt es statistisch abgesicherte Verfahren, bei denen dieses Problem nicht besteht.

Die höchsten Ertrags-/Wetterkorrelationen liegen bei Winterweizen und Wintergerste im Raum Brandenburg. Zuckerrüben reagieren kaum auf schwankende Niederschlagsmengen. Lediglich hohe Temperaturen in den Sommermonaten wirken sich negativ auf den Ertrag aus. Dies ist auch bei Kartoffeln der Fall. Diese haben allerdings einen hohen Wasserbedarf ab Juli. Durch Beregnungsanlagen in den meisten Gemüsebaubetrieben beeinflusst Niederschlagsmangel kaum den Ertrag. Es sind eher Starkniederschläge, die eine Vermarktung durch Verschmutzung oder neu gepflanzte/gesäte Bestände gefährden. Hohe Temperaturen können Vernalisationsschäden hervorrufen.

Die Verteilung einer Basisvariablen für ein Wetterderivat kann prinzipiell auf zwei verschiedenen Wegen erfolgen. Einerseits kann die Verteilung aus historischen Daten geschätzt werden. Nachteil dieser Methode ist, dass eine genügend große Anzahl an Jahren vorhanden sein muss. Andererseits kann die Entwicklung der Basisvariablen mit Hilfe eines stochastischen Modells über die Laufzeit simuliert werden.

Das hier vorgestellte Temperaturmodell folgt einem autoregressiven Prozess dritter Ordnung. Die Saisonalität des Temperaturverlaufs wird durch eine sinoide Funktion dargestellt. Die Standardabweichung unterliegt ebenfalls einer Saisonalität, die durch eine sinoide Kurve angepasst wird; sie ist in den Wintermonaten größer als in den Sommermonaten.

Das Niederschlagsmodell wird in einen Ereignis- und einen Mengenprozess, die multiplikativ miteinander verknüpft werden, unterteilt. Für den Ereignisprozess wird ein Markovkettenmodell erster Ordnung verwendet. Die Übergangswahrscheinlichkeiten ändern sich im Zeitablauf; in den Sommermonaten ist es wahrscheinlicher, dass es an zwei aufeinander folgenden Tagen trocken bleibt höher als in den Wintermonaten; umgekehrt ist in den Wintermonaten die Wahrscheinlichkeit höher, dass es an zwei aufeinander folgenden Tagen regnet. Im Mengenprozess werden die täglichen Niederschlagsmengen bestimmt, sofern es an einem beliebigen Tag  $t$  regnet. Dabei unterliegen der Erwartungswert und die Standardabweichung einer Saisonalität; sie sind in den Sommermonaten größer als in den Wintermonaten. Dieser Zusammenhang wird mit einer Fourierapproximation nachgebildet.

Die Überprüfung der Anwendungsmöglichkeiten von Wetterderivaten wird anhand von drei unterschiedlichen Modellen durchgeführt. Dabei werden jeweils faire Prämien unterstellt, bei denen keine Transaktionskosten anfallen.

Im ersten Modell werden die Heizenergiekosten eines in Hannover liegenden Gewächshausbetriebes mit einem flächenbezogenen  $k^2$ -Modell simuliert. Ein Wetterderivat, das auf der Durchschnittstemperatur von November bis März in Berlin basiert, wird zur Absicherung des jährlich schwankenden Heizenergieverbrauchs konstruiert. Es zeigt sich, dass je höher der Strike gewählt wird, desto kleiner werden die Risikoparameter. Allerdings verringert sich die relative Änderung der Risikoparameter bei steigenden Prämienzahlungen.

Das zweite Modell untersucht die Wirkung von Wetterderivaten im Stärkekartoffelanbau. Das Wetterderivat basiert auf der Niederschlagssumme von Mai bis September. Im Modell wird eine Regression auf Basis einer linear-limitationalen Ertragsfunktion durchgeführt, d.h. überschreitet die Niederschlagssumme einen bestimmten Wert, so äußert sich dies nicht mehr in einem Ertragszuwachs. Durch die besondere Form der Ertragsfunktion kann das Niederschlagsrisiko komplett eliminiert werden. Es bleibt das Basisrisiko aufgrund der nicht perfekten Korrelation. Die dem Wetterderivat zugrunde gelegte Wetterstation bezieht sich auf den Versuchsstandort Bremervörde. Das Basisrisiko würde sich vergrößern, falls die DWD-Wetterstation im 50 km entfernten Hamburg gewählt wird. Zur Untersuchung des Effekts der Verteilungsannahme der Basisvariablen werden einerseits eine Normalverteilung und andererseits eine Dreiecksverteilung unterstellt. Für die Dreiecksverteilung ergibt sich ein niedrigerer Erwartungswert als für die Normalverteilung. Die relative Änderung der Risikoparameter ist bei der Normalverteilung größer.

---

Zur Untersuchung des gesamtbetrieblichen Effekts eines Wetterderivats wird im dritten Modell ein auf den Zwiebelanbau spezialisierter Betrieb herangezogen. Die Zwiebelvermarktung zeichnet sich dadurch aus, dass eine vertragliche Absicherung kaum möglich ist. Die Preisentwicklung wird mit einem ARIMA-Prozess spezifiziert. Die Niederschlagssumme von Mai bis Juli ist die Basisvariable des Wetterderivats, bei dem zusätzlich ein Limit gesetzt wird. Es zeigt sich, dass der Abschluss eines Wetterderivats einen geringen Einfluss auf die gesamtbetriebliche Risikostruktur hat. Eine isolierte Betrachtung der Erlösverteilung des Zwiebelanbaus weist einen stärkeren Effekt auf. Bei Unterstellung eines fixen Marktpreises zeigt sich, dass Preisschwankungen einen größeren Einfluss auf die Erlössituation im Zwiebelanbau haben als witterungsbedingte Ertragsschwankungen.

## Literaturverzeichnis

- Adetunji, L. (2003): Sales boosted as warm weather brings out shoppers. In: Financial Times, 15.07.2003.
- AFSC Insurance (2003): Canada – Alberta Crop Insurance, Contract of Insurance, February 2003. Download von [www.afsc.ca](http://www.afsc.ca) am 12.01.2004.
- Agarwal, A. (2002): A new approach & model for weather derivative instrument based on water table for floods, droughts and rainfall. In: Finance India, Vol.XVI No.3, September 2002, S. 877 – 914.
- Agro team (2004): Strategiepapier zur Etablierung von Wetterderivaten im landwirtschaftlichen Bereich auf Grundlage der Ertragsbewertungs- und Optimierungssysteme EBOS.
- Alaton, P.; Djehiche, B.; Stillberger, D. (2002): On modelling and Pricing Weather Derivatives. In: Applied Mathematical Finance, Band 9, S. 1-20.
- Aldred, C. (2000): Weather risk hedge to keep bars' business from drying up. In: Business Insurance, Vol.34, Issue 27. S.31.
- Aldred, C. (2001): British pub covered for bad weather. In: Business Insurance, Vol.35, Issue 1, S.17.
- Anderson, J.R.; Dillon, J.L.; Hardaker, B. (1977): Agricultural Decision Analysis. Ames, Iowa State University Press.
- Aquila (Hrsg.) (2000): Aquila Energy wins weather contract with Sacramento municipal utility. News Release – September 21, 2000, [http://www.corporate-ir.net/ireye/ir\\_site.zhtml?ticker=ila&script=410&layout=0&item\\_id=118447](http://www.corporate-ir.net/ireye/ir_site.zhtml?ticker=ila&script=410&layout=0&item_id=118447), download am 17.07.2003.
- Asseldonk, M.A.P.M., Oude Lansink, A.G.J.M. v. (2002): Designing weather derivatives to hedge heating energy demand in greenhouse horticultural firms. In: Risk and uncertainty in environmental and resource economics, Proceedings, Wageningen University.
- Aster, E.A. v. (1961): Die Erfassung von Witterungskonstellation und ihrer Beziehungen zur Ertragsleistung. In: Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Band 112, S. 399-412.
- Auer, J. (2003): Wachstumsmarkt Wetterderivate. In: Deutsche Bank Research, Nr.255, 07.02.2003, Frankfurt.
- Autier, D. (2000): The main characteristics of weather derivatives. In: Risk 13, Nr. 9, S. 10-11.
- Baldes, A.; Deville, V. (2000): Risikocontrolling im Bereich der Kapitalanlagen einer globalen Versicherungsgruppe. In: Johanning, L.; Rudolph, B. (Hrsg.): Handbuch Risikomanagement. Uhlenbruch Verlag, Bad Soden S. 1052-1070.



- Bart, H.-J. (2002): Klima – Eine Einführung in die Dynamik der Atmosphäre. University Press, Paderborn.
- Baumann, H. (1949): Wetter und Ernteertrag, Schriftenreihe Deutscher Bauernverlag, Berlin.
- Baumann, H. (1959): Die Beziehungen zwischen Witterungsverlauf und Ernteertrag bei Winterweizen und Winterroggen im Dikopshofer Dauerdüngungsversuch 1906-1957 - Ein ökologischer Vergleich. In: Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Band 110, Heft 4, S. 345-363.
- Baumann, H. (1961): Witterungslehre für die Landwirtschaft. Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2004): Agrarmärkte 2004. In: [http://www.lfl.bayern.de/publikationen/datenerfassung/schriftenreihe\\_url\\_1\\_25.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/datenerfassung/schriftenreihe_url_1_25.pdf), download am 17.10.2005
- Becker, A.H.; Bracht, Andrea (1999): Katastrophen- und Wetterderivate – Finanzinnovationen auf der Basis von Naturkatastrophen und Wettererscheinungen. Bank Verlag, Wien.
- Becker, H.A.; Hörter S. (1998): Risikomanagement mit „Wetter-Derivaten“? – Finanzinnovationen für das Hedging exogener Geschäftsrisiken. In: Österreichisches Bank-Archiv: Zeitschrift für das gesamte Bank und Börsenwesen, Vol. 46, No.9, September 1998, Wien, S. 693 – 701.
- Berg, E. (2002): Das System der Ernte- und Einkommensversicherungen in den USA – Ein Modell für Europa? Berichte über Landwirtschaft 80 (1), S. 94 – 133.
- Berg, E.; Kuhlmann, F. (1993): Systemanalyse und Simulation. Ulmer, Stuttgart.
- Berg, E.; Schmitz, B.; Starp, M.; Trenkel, H. (2005): Wetterderivate: Ein Instrument im Risikomanagement für die Landwirtschaft? In: Agrarwirtschaft (2005), Heft 3 von 8, S. 158-170.
- Berkner, (1951): Die Beziehungen zwischen Pflanzenbau und Witterungsverlauf. In: Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Band 93, S. 22-32.
- Bleymüller, J.; Gehlert, G.; Gülicher, H. (1996): Statistik für Wirtschaftswissenschaftler. 10. Auflage, Verlag Vahlen, München.
- Bradford, M. (2001): Weather risk hedge market sees improved climate. In: Business Insurance, Vol. 35, Issue 46, S. 14 –15.
- Brandes, W.; Odening, M. (1992): Investition, Finanzierung und Wachstum in der Landwirtschaft. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Breustedt, G. (2004): Effiziente Reduktion des Produktionsrisikos im Ackerbau durch Ertragsversicherungen. Dissertation Kiel.

- Brix, A.; Jewson, S.; Ziehmann, C. (2002): Weather Derivative Modelling and Valuation: A Statistical Perspective. In: Climate Risk and the Weather Market, Risk Books, London, S. 127-150.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2006): Die EU-Agrarreform – Umsetzung in Deutschland. Bonifatius, Paderborn.
- Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2004): Ernährungs- und agrarpolitischer Bericht 2004 der Bundesregierung.
- Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2005): Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung 2005.
- Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2005): Meilensteine der Agrarpolitik – Umsetzung der europäischen Agrarreform in Deutschland. Frank Druck GmbH und Co. KG, Preetz.
- Busenkell, J. (2004): Beurteilung von Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz – Einzelbetriebliche Analyse der Programme im Ackerbau. Dissertation Bonn.
- Byrne, D. H.; Bacon, T.A.: Chilling Accumulation: its Importance and Estimation. <http://aggie-horticulture.tamu.edu/StoneFruit/chillac.htm>, download 20.06.2003.
- Cao M.; Wei, J. (1999): Pricing Weather Derivative: An Equilibrium Approach. Working Paper, Queen's University, Kingston, Ontario.
- CAO, M.; WEI, J. (2001): Equilibrium Valuation of Weather Derivatives. working paper, Queens's University Kingston, Ontario.
- Chavas, J.P.; Holt, M.T. (1996): Economic Behavior Under Uncertainty: A Joint Analysis of Risk Preferences and Technology. In: Review of Economics and Statistics, Band 78, S. 329-335.
- Chen, G., Roberts, M.C.; Thraen, C. (2003): Managing Dairy Profit Risk Using Weather Derivatives. Paper presented at the NCR-134 Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting, and Market Risk Management, April 21-22, St. Louis, Missouri.
- Chmielewski, (2001): Sensitivität von Pflanzen gegenüber klimatischen Veränderungen – dargestellt an Ergebnissen des agrarmeteorologischen Ertragsfeldes in Berlind-Dahlem und an Daten der Internationalen Phänologischen Gärten Europas. Habilitation Berlin.
- Clemmons, L. (2002): Introduction to Weather Risk Management. In: Banks, E. (Hrsg.) Weather Risk Management – Markets, products and applications, Palgrave, New York.
- Clemmons, L.; Kaminski, V; Hrgovcic, J.H. (1999): Weather derivatives: Hedging mother nature. In: GEMAN, H. (ed.) (1999): Insurance and weather derivatives – From exotic options to exotic underlyings. London, S.179 - 182.
- Connors, R.B. (2003): Weather derivatives allow construction to hedge weather risk. In: Cost Engineering, Vol.45/No.3, März 2003, Morgantown, S. 21 – 24.

- Cooper, L. (1999): The Struggle to Define and Measure Goes on. In: Operational Risk Special Report: S. 6-7.
- Corbally, M.; Dang, P. (2002): Underlying Markets and Indexes. In: Banks, E. (Hrsg.) Weather Risk Management – Markets, products and applications, Palgrave, New York, S. 87-104.
- Corbally, M.; Dang, P. (2002b): Providers. In: Banks, E. (Hrsg.) Weather Risk Management – Markets, products and applications, Palgrave, New York, S. 87-104.
- Dischel, R. (1998): Black – Scholes won't do. In: Weather Risk Special Report, Heft 10.
- Dischel, R. (2001): Double trouble: hedging rainfall and temperature. In: Weather Risk, a special report from Risk Magazine and Energy & Power Risk Management, August 2001, S. 24 – 26.
- Dischel, R. (2001): Double trouble: hedging rainfall and temperature. In: Weather Risk, a special report from Risk Magazine and Energy & Power Risk Management, August 2001, S.24 – 26.
- Dischel, R. (2002): Introduction To The Weather Market: Dawn to Mid-Morning. In: Climate Risk and the Weather Market, S. 3-24.
- Doherty, N. A. (2000): Integrated Risk Management – Techniques and Strategies for reducing Risk. McGraw-Hill, New York.
- Dornier, F.; Queruel (2000): Caution to the wind. In: Energy & Power Risk Management, August, S. 30-32.
- Ebers, H. (2006): Konzeption und Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems für das Integrierte Nematodenmanagement im Zuckerrübenanbau. Dissertation Bonn.
- Eimern ; Häckel, H. (1984): Wetter- und Klimakunde. Stuttgart.
- Eisele, H. (1931): Untersuchungen über die Ernteschwankungen der Kartoffeln. Dissertation, Berlin.
- Eisenführ, F.; Weber, M. (1994): Rationales Entscheiden. Springer Verlag, Heidelberg.
- Ellinger, W.; Hentschel, G. (1988): Der Spargelmarkt Europa. Gemüse 24, S. 220-225.
- Ellithorpe, D.; Putnam, S. (1999): Weather derivatives and the new power markets. In: RISK BOOKS: The new power markets – Corporate strategies for Risk and Reward. London, S. 165 – 181.
- Enrononline (2001): Agriculture Industry Study. In: [http://64.125.144.31/librarydocs/bc51\\_wrma/public/file154.pdf](http://64.125.144.31/librarydocs/bc51_wrma/public/file154.pdf), download am 20.08.2003.

- Esser, H. (2001): Keine Chance dem Wetter. [www.finanstrainer.com/presse\\_index/presse\\_index\\_wetterderivate.html](http://www.finanstrainer.com/presse_index/presse_index_wetterderivate.html), download am 12.01.2004.
- Esser, H. (2001): Keine Chance dem Wetter. [www.finanstrainer.com/presse\\_index/presse\\_index\\_wetterderivate.html](http://www.finanstrainer.com/presse_index/presse_index_wetterderivate.html), download am 12.01.2004.
- EU-Kommission (2005): EU-Kommission leitet Prüfverfahren wegen Steuerbefreiung für deutsche Unterglasanbaubetriebe ein. Pressemitteilung IP/05/1319 vom 20.10.2005.
- Euronext (2006): <http://www.euronext.com>, download am 20.01.2006.
- EuroWind GmbH (2006): Europaweiter Windindex zur klimatologischen Einschätzung des Ertrags von Windenergieanlagen. In: <http://www.windprognose.de/Loesungen/eurowindindex.html>.
- Financial Times Deutschland (2001): Erstmals kommt ein Wetterderivat in Deutschland zur Auszahlung. 27.09.2001.
- Financial Times Deutschland (2006): Die Versicherung gegen den Hunger. In: <http://www.ftd.de/unternehmen/versicherungen/54729.html>, download am 21.03.2006.
- Finke, W.; Grünewald, U. (1982): Ein einfaches stochastisches Modell zur Simulation von Niederschlagstagesummen an einer Station. In: Acta Hydrophysica, Band XXVII, Heft 1, S. 23-44.
- Fleege, T.A.; Richards, T.J.; Manfredo, M.R.; Sanders, D.R. (2004): The Performance of Weather Derivatives in Managing Risks of Specialty Crops. Paper presented at the NCR-134 Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting and Market Risk Management, St. Louis, Missouri, April 19-20, 2004.
- Franke, G. (2000): Gefahren kurzfristigen Risikomanagements durch Value-at-Risk. In: Johannig, L.; Rudolph, B. (Hrsg.): Handbuch Risikomanagement. Uhlenbruch Verlag, Bad Soden S. 53-83.
- Frankemölle, H. (1986): Identifikation und Abwehr existenzgefährdender Risiken in landwirtschaftlichen Unternehmen anhand eines stochastischen Simulationsmodells. Dissertation, Bonn.
- Frankenberg, P. (1984): Ähnlichkeitsstrukturen von Ernteertrag und Witterung in der Bundesrepublik Deutschland. In: Erdwissenschaftliche Forschung Band XVII.
- Freckleton, R.P.; Watkinson, A.R.; Webb, D.J.; Thomas, T.H. (1999): Yield of sugar beet in relation to weather and nutrients. In: Agricultural and Forest Meteorology, Band 93, S. 39-51.
- Geisler, G. (1981): Ertragsbildung von Kulturpflanzen. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Glas, D.; Scholand, M. (2001): Wetterderivate – Eine kurze Einführung.

- Goldhofer, H.; Dunst, A. (2005): Feldgemüsebau in Bayern – Ökonomik wichtiger Kulturen. Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Gort, C. (2003): Der Markt für Wetterderivate in Europa. Lizenziatsarbeit an der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern, Institut für Finanzmanagement, Bern, <http://www.ifm.unibe.ch/download/forschung/lizentiat/2003Gort.pdf>, download am 20.08.2005.
- Greiving, S. (2002): Räumliche Planung und Risiko. Gerling Akademie Verlag, München.
- GuaranteedWeather (Hrsg.): Chilling degree hours, case studie. [www.guaranteedweather.com/industries/ag/casestudies/chillinghours.html](http://www.guaranteedweather.com/industries/ag/casestudies/chillinghours.html), download am 17.07.2003.
- Hanf, C. (1986): Entscheidungslehre – Einführung in Informationsbeschaffung, Planung und Entscheidung unter Unsicherheit. München.
- Hanus (1969): Ein Verfahren zur frühzeitigen Vorausschätzung von Ernteerträgen aus Witterungsdaten. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Band 129, S. 101-111.
- Hanus, H. (1978): Vorhersage von Ernteerträgen aus Witterungsdaten in den Ländern der EG. In: Agrarstatistische Studien, Band 21, Kiel.
- Hardaker, J.B.; Huirne, R.B.M.; Anderson, J.R. (1997): Coping with risk in Agriculture. Cab International, Wallingford.
- Hartung J. (1998): Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. Oldenbourg, München.
- Harwood, Joy; Heifner, Richard; Coble, Keith; Perry, Janet; Somwaru, Agapi (1997): Managing Risk in Farming. Agricultural Economic Report Number 774.
- Hertel, Achim (1991): Risk Management in der Praxis. Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln.
- Heyland, K.-U. (1996): Allgemeiner Pflanzenbau. 2. Auflage, Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Hölscher, R. (2000): Gestaltungsformen und Instrumente des industriellen Risikomanagements. In: Schierenbeck, H. (Hrsg.): Risk Controlling in der Praxis, Stuttgart, S. 297-363.
- Hou, J.; Skees, J.; Veeranami, V. (2004): Potential Analysis of Rainfall-Indexed Insurance in Romania. Selected Paper for the presentation at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Denver, Colorado, August 1-4, 2004.
- Hünicken, C. (1978): Beziehungen zwischen Witterungsverlauf und Erträgen landwirtschaftlicher Nutzpflanzen sowie Möglichkeiten einer frühzeitigen Ertragsprognose. Dissertation Berlin.

- Hypovereinsbank (2003): Wetterderivate. In: [http://www.hypovereinsbank.de/media/pdf/fk\\_fima\\_wett\\_Wetterderivate.pdf](http://www.hypovereinsbank.de/media/pdf/fk_fima_wett_Wetterderivate.pdf), download am 26.04.2004.
- Jain, G.; Foster, D. (2000): Come rain, come shine. In: Energy and Power Risk Management – Weather Risk Special Report, S.16 – 17.
- Jenkin, T.; Ives, D. (2002): Weather risk management for regulated utilities. In: Public Utilities Fortnightly; Arlington, October 1, 2002, S. 36 – 42.
- Judel, G.K.; Kürten, P.W. (1968): Einfluss der Winter- und Frühjahrsniederschläge auf die Stickstoffversorgung und den Ertrag von Winterroggen. In: Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Band 127, S. 303-316.
- Kim, T. (2000): Weather hedging goes online in Europe. In: Euromoney, September 2000, S. 18 – 19.
- King, R.P.; Black, J.R.; Benson, F.J.; Pavkov, P.A. (1988): The Agricultural Risk Management Simulator Microcomputer Program. In: Southern Journal of Agricultural Economics (12/1988), S. 165-171.
- Kluge, C. (1981): Stochastische Simulationsmodelle des Niederschlagsprozesses bei unterschiedlicher Zeitdiskretisierung. In: Acta Hydrophysica, Band XXVI, Heft 2, S. 149-161.
- Knight, F.H. (1971): Risk, Uncertainty and Profit. Chicago und London.
- Kolbe, H. (1994): Einfluß des Wetters auf Ertrag und Zusammensetzung der Kartoffel. Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel.
- Kraus, H.; Ebel, U. (2003): Risiko Wetter – Die Entstehung von Stürmen und anderen atmosphärischen Gefahren. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Krumnov, J. (2000): Zur strategischen Bedeutung des Risikomanagements für die Kreditinstitute. In: Johannig, L.; Rudolph, B. (Hrsg.): Handbuch Risikomanagement. Uhlenbruch Verlag, Bad Soden S. 683-700.
- KTBL (2004): Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- Kuhlmann, F. (2003): Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft. 2. Auflage, Frankfurt am Main.
- Kuhlmann, F. (2006): Wettbewerbsfaktor Staat – Wie viel müssen wir uns leisten, auf was können wir verzichten? In: Strategien für die Landwirtschaft – Zukunftsstandort Deutschland, DLG-Verlag, Band 100, S. 161-187.
- Lange, D.; Hack, G.; Belker, N.; Brockmann, M.; Domke, O.; Krusche, S.; Sennekamp, W.; Viehweg, F.J. (2002): Rationelle Energienutzung im Gartenbau. Vieweg, Braunschweig.

- Liekweg, A. (2003): Risikomanagement und Rationalität. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Lieth, H.; Whittaker, R.H. (1975): Primary productivity of the biosphere. Ecological Studies, Band 14, Berlin.
- Linke, M. (1977): Der Einfluss meteorologischer Elemente auf den Ertrag von Winterroggen – Ein Beitrag zur meteorologischen Ertragsanalyse und Ertragsprognose. Dissertation Berlin.
- Maier, B. (2002): Klimaänderungen und betriebswirtschaftliches Risikomanagement. Josef Eul Verlag, Lohmar.
- Makki, Shiva; Somwaru, Agapi; Vandever, M. (2004): Decoupled Payments and Farmers' Production Decisions Under Risk. In: United States Department of Agriculture (Hrsg.): Decoupled Payments in a Changing Policy Setting. Agricultural Economic Report No. 838, download am 04.01.2006, <http://www.ers.usda.gov/publications/aer838/aer838.pdf>.
- Martin, S.; Barnett, B.; Coble, K. (2001): Developing and Pricing Precipitation Insurance. In: Journal of Agricultural and Resource Economics 26 (1), S. 261-274.
- Matten, D. (1998): Management ökologischer Unternehmensrisiken: zur Umsetzung von sustainable development in der reflexiven Moderne. Stuttgart.
- Meuwissen, M.P.M.; Huirne, R.B.M.; Hardaker, J.B. (1999): Perceptions of risks and risk management strategies; an analysis of Dutch livestock farmers. AAEA Annual Meeting, August 8-11, Nashville, Tennessee.
- Meuwissen, M.P.M.; van Asseldonk, M.A.P.M.; Huirne, R.B.M. (2000): The Feasibility of a Derivative for the Potato Processing Industry in the Netherlands. Paper presented in "Meeting of Southern Association of Economics and Risk Management in Agriculture, 23-25 March 2000, Gulf Shores, Alabama."
- Meyer, N. (2002): Risikomanagement von Wetterrisiken. Bibliothek Deloitte & Touche.
- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (2006): Bericht zur Lage der Land-, Ernährungs- und Forstwirtschaft und Tierschutzbericht des Landes Sachsen-Anhalt. <http://www.mlu.sachsen-anhalt.de>, download am 02.12.2006.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (2006): Ontario Canada Agricultural Policy Framework Business Risk Management. [http://www.omafra.gov.on.ca/english/policy/apf/apf\\_riskmgmnt.htm](http://www.omafra.gov.on.ca/english/policy/apf/apf_riskmgmnt.htm), download am 24.03.2006.
- Moreno, M. (2002): Rain Risk. Research Paper. Speedwell Weather Derivatives, London.
- Mortazawi, M.; Hanus, H.; Fischbeck, G. (1973): Einfluß von Standortfaktoren und Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Ertrag und Qualität der Zuckerrübe. In: Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Band 138, S. 239-259.

- Müller, A. v. (1962): Über die Zuckerertragsbildung der Zuckerrübe in Göttingen in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf 1953-1962. In: Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Band 116, Heft 4, S. 331-340.
- Mußhoff, O.; Odening, M.; Xu, W. (2005): Zur Bewertung von Wetterderivaten als innovative Risikomanagementinstrumente in der Landwirtschaft. In: Agrarwirtschaft, Jahrgang 54, Heft 4, S. 197-209.
- Mußhoff, O.; Odening, M.; Xu, W. (2005b): Zur Reduzierung niederschlagsbedingter Produktionsrisiken mit Wetterderivaten. Working Paper 73/2005.
- Nabradi, A.; M dai, H.; Nemessalyi, Z. (2004): Risk and Risk Management in Hungarian Livestock Production with a Special Regard to Sheep Production. Selected Paper for presentation at the American Agricultural Economic Association Annual Meeting, Denver, Colorado.
- Nitsch, A. (2003): Kartoffelbau. Agrimedia Verlag.
- Nuppenau, E.-A. (2003): Weather derivatives to hedge production risk and labour arrangements: how risk and livelihood strategies impact on decisions of large farms. In: Balmann, A. and Lissitsa, A.: Large Farm Management, Halle, S. 280-300.
- Ohlmer, U. (1999): Ein stochastisches Modell zur Beschreibung stündlichen Niederschlags. Dissertation Göttingen.
- Pfennig, M. (2000): Shareholder Value durch unternehmensweites Risikomanagement. In: Johanning, L.; Rudolph, B. (Hrsg.): Handbuch Risikomanagement. Uhlenbruch Verlag, Bad Soden S. 1295-1332.
- Poddig, T.; Dichtl, H.; Petersmeier, K. (2003): Statistik, Ökonometrie, Optimierung – Methoden und ihre praktischen Anwendungen in Finanzanalyse und Portfoliomanagement. Uhlenbruch Verlag, Bad Soden.
- Pope, R.D.; Just, R.E. (1991): On Testing the Structure of Risk Preferences in Agricultural Supply Analysis. In: American Journal of Agricultural Economics, Band 73, S. 743-748.
- Pottebaum, P. (2003): Der Einsatz von Wetterderivaten zur Risikosteuerung. Diplomarbeit an der Fachhochschule Münster, Fachbereich Wirtschaft.
- Priermeier, T. (2003): Risikomanagement bei der Finanzierung von Windparks. In: Die Bank – Zeitschrift für Bankpolitik und Bankpraxis, Nr.5/2003, S. 330 – 335.
- Rasmussen, S. (1990): Yield and Price Variability in Danish Agriculture - An Empirical Analysis. Kopenhagen.
- Raspe, A. (2002): Legal and Regulatory Issues. In: Banks, E. (Hrsg.): Weather Risk Management – Markets, products and applications, Palgrave, New York, S. 224-245.



- Rath, T. (1992): Einsatz wissensbasierter Systeme zur Modellierung und Darstellung von gartenbautechnischem Fachwissen am Beispiel des hybriden Expertensystems HORTEX. Dissertation Hannover.
- Reinhardt, H. (1975): Möglichkeiten zur Vorschätzung von Ertragshöhe und Ertragsschwankungen im Körnermaishbau. In: Berichte über Landwirtschaft, Band 53, S. 368-397.
- Richards, T.J.; Manfredo, M.R.; Sanders, D.R. (2004): Pricing Weather Derivatives. In: American Journal of Agricultural Economics, Band 86, S. 1005-1017.
- Rinne, H.; Specht, K. (2002): Zeitreihen – Statistische Modellierung, Schätzung und Prognose. Verlag Vahlen, München.
- Robison, L.J.; Barry, P.J. (1987): The Competitive Firm's Response to Risk. Verlag Macmillan, New York.
- Romeike, F. (2005): Modernes Risikomanagement. Wiley-VCH, Weinheim.
- Rott, A. und S. Schmitt (2000): Wochenende und Sonnenschein...Determinanten der Zuschauernachfrage auf dem deutschen Fernsehmarkt, in: Medien & Kommunikationswissenschaft, 48 Jg., Heft 4, S.537 – 553.
- Rücker, U. (2000): Finite Risk Konzepte als Beispiel hybrider Instrumente der Risikofinanzierung. In: Schierenbeck, H. (Hrsg.): Risk Controlling in der Praxis, Stuttgart, S. 365-412.
- Rust, I. (2006): Aktualisierung der Bodenschätzung unter Berücksichtigung klimatischer Bedingungen. Dissertation, Göttingen.
- Saak, A.E. (2004): Spatial Production Concentration under Yield Risk and Risk Aversion. Working Paper 04-WP 362.
- Sachs, L. (1992): Angewandte Statistik. Springer-Verlag, Berlin.
- Sachs, S.; Trost, W. (2002): Beim Golfclub Gut Apeldör scheint jeden Tag die Sonne. In: Financial Times Deutschland, 22.05.2002, S.19.
- Saha, A.; Shumway, C.R.; Talpaz H. (1994): Joint Estimation of Risk Preference Structure and Technology Using Expo-Power Utility. In: American Journal of Agricultural Economics, Band 76, S. 173-184.
- Schirm, A. (2000): Wetterderivate – Finanzprodukte für das Management wetterbedingter Geschäftsrisiken. In: Finanz Betrieb 11/2000, S. 722-730.
- Schirm, A. (2001): Wetterderivate – Einsatzmöglichkeiten und Bewertung. In: Research in Capital Markets and Finance, 2001-2, München.
- Schlenker, W.; Roberts, M.J. (2006): Nonlinear Effects of Weather on Corn Yields. In: Review of Agricultural Economics, Band 28, S. 391-398.

- Schlieper, P. (1997): Ertragsausfallversicherung und Intensität pflanzlicher Produktion. Gabler, Wiesbaden.
- Shiller, R. (2003): The New Financial Order – Risk in the 21st century. Princeton University Press, Princeton and Oxford.
- Skees, J. (2001): The Potential Role of Weather Markets for U.S. Agriculture. In: The Climate report, Vol. 2, Nr. 4.
- Skees, J.; Gober, S.; Varangis, P.; Lester, R.; Kalavakonda, V. (2001): Developing Rainfall-Based Insurance in Morocco. Policy Research Working Paper 2577.
- Skees, J.R. (2000): A role for capital markets in natural disasters: a piece of the food security puzzle. In: Food Policy 25 (2000), S. 365 – 378.
- Stark, G.; Dunst, A.; Reisenweber, J. (2002): Marktfruchtbericht Bayern – Daten, Fakten, Analysen und Schlagkarteiergebnisse 2001/2002. Hrsg: Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, München.
- Starp, M. (2006): Integriertes Risikomanagement im landwirtschaftlichen Betrieb. Dissertation, Bonn, im Druck.
- Stell, J. (2005): Results of the 2005 PwC Survey. Presentation to the Weather Risk Management Association. In: <http://www.wrma.org/wrma/library/PwCSurveyPresentationNov92005.ppt>, download am 29.03.2006.
- Stoppa, A.; Hess, U. (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, Italy 23-26.06.2003.
- Tamm, E. (1950): Über Beziehungen zwischen Witterungsverlauf und Ertragsleistung bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen im Land Brandenburg, 2. Beitrag: Sommer- und Wintergetreide. In: Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Band 92, S. 100-124.
- Thran, P. (1948): Eine Methode zur quantitativen Erfassung der Zusammenhänge zwischen Wetterablauf und Ernteertrag. In: Annalen der Meteorologie, S. 326-338.
- Tigler, J.; Butte, T. (2001): Weather derivatives: A quantitative analysis. [www.weatherderivatives.de](http://www.weatherderivatives.de), download am 29.04.03.
- Turvey, C. (2001): The Pricing of Degree Day Weather Options, Working Paper 02/05.
- Vandendriessche, H.; van Ittersum, M. K. (1995): Crop models and decision support systems for yield forecasting and management of the sugar beet crop. In: European Journal of Agronomy, 4. Jahrgang, Nr. 3, S. 269-279.
- VB Investmentbank AG (2002): Wetterderivate. In: [http://www.vbib.at/pub/vbib/vbib.nsf/v\\_op](http://www.vbib.at/pub/vbib/vbib.nsf/v_op), download am 26.05.2003.
- Vogel, G. (1996): Handbuch des speziellen Gemüsebaues. Ulmer-Verlag, Stuttgart.

- Weishaupt, J. (1999): Risk Management – Realisierungskonzepte für die unternehmerische Praxis. Laupheim.
- Wilhelm, F. (1936): Die Abhängigkeit der Ernteerträge vom Wetter in der Goldenen Aue, dem Eichsfeld und dem Thüringer Becken. Dissertation Halle (Saale).
- Wittmann, W. (1959): Unternehmung und unvollkommene Information – Unternehmerische Voraussicht – Ungewissheit und Planung. Köln & Opladen, Westdeutscher Verlag.
- Zabeltitz, C. v.; Tantau, H.-J. (1988): Wirtschaftlicher Energieeinsatz im Gemüsebau. In: Zentralverband Gartenbau (Hrsg.): Blickpunkt, S. 1-8.

**Mündliche Auskunft:**

- Behr, C. (2005): Zentrale Markt und Preisberichtsstelle. Telefonische Auskunft am 25.02.2005.
- Esser, H. (2004): Finanztrainer.com. Persönliche Mitteilung am 08.04.2004.
- Fink, M. (2005): Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V. Telefonische Auskunft am 09.03.2005.
- Fricke, E. (2005): Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Telefonische Auskunft am 13.01.2005.
- Hüging, H. (2005): Universität Bonn. Telefonische Auskunft am 07.12.2004.
- Joachimi, A. (2005): Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Persönliche Mitteilung am 02.03.2005.
- Jung, R. (2006): Geschäftsführer agro team GmbH. Telefonische Auskunft am 10.02.2006.
- Klein (2005): Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Zweigstelle Bremervörde. Telefonische Auskunft am 25.02.2005.
- Köhler, J. (2005): Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Persönliche Mitteilung am 28.02.2005.
- Muß, P. (2005): Provinzialverband rheinischer Obst- und Gemüsebauern e.V. Persönliche Mitteilung am 23.02.2005.
- Wendel (2005): Hypovereinsbank. Telefonische Auskunft am 23.02.2005.
- Weßler, M. (2005): Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Persönliche Mitteilung am 11.02.2005.
- Ziegler, J. (2005): Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz, Telefonische Auskunft am 17.03.2005.



Anhang

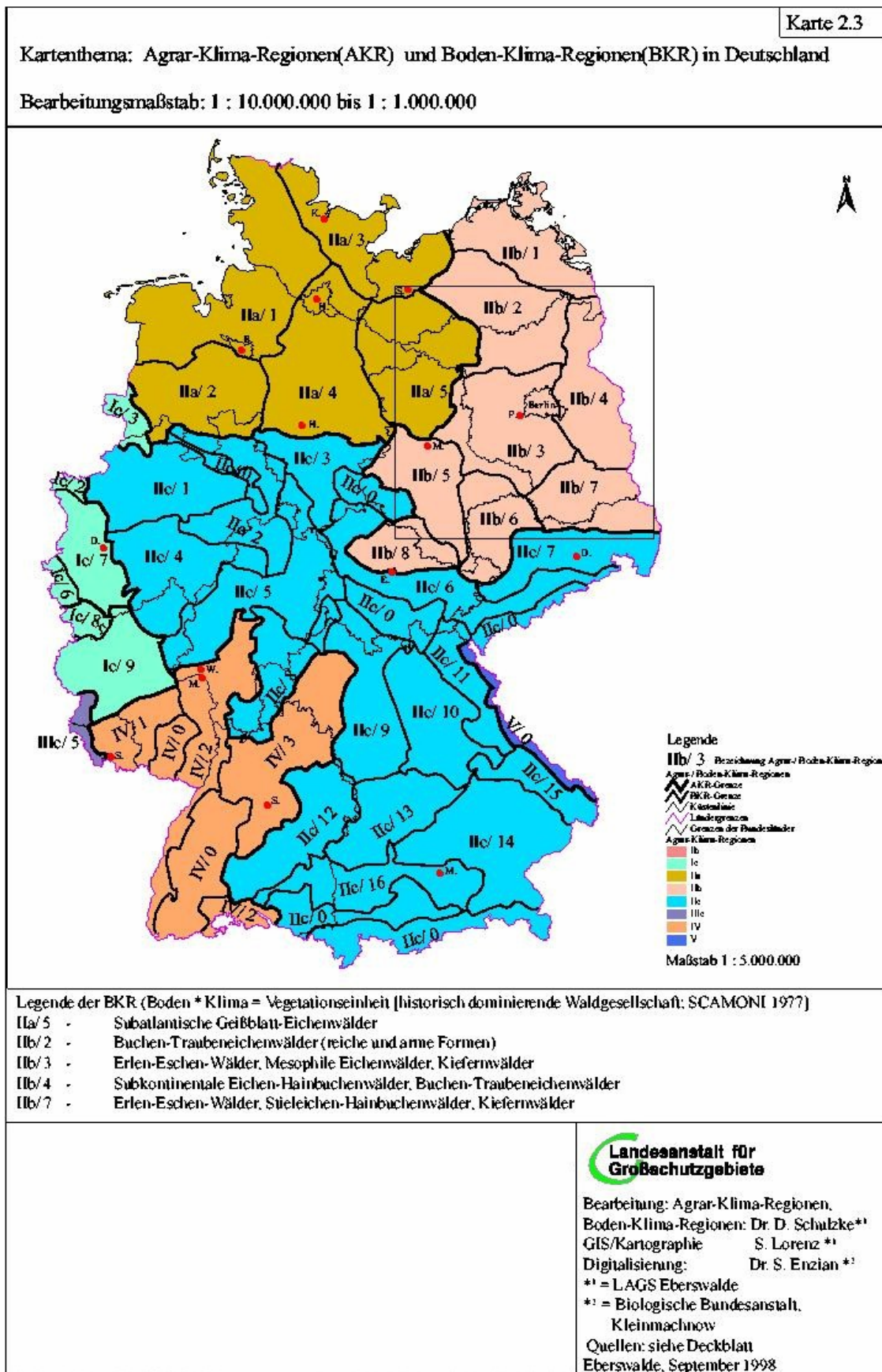


Abbildung A 1: Boden-Klima Regionen in Deutschland

**Tabelle A 1: Korrelationskoeffizienten zwischen der Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden und dem Winterweizenertrag an verschiedenen Standorten**

	Dikopshof	Olvenstedt	Manschow	Nuhn	Prenzlau	Dedelow	Düsse	Kiel
Jan	0,04	-0,06				-0,25	-0,09	-0,11
Feb	-0,21	-0,01				0,01	-0,44	-0,11
Mrz	-0,07	0,12	-0,32	-0,07	-0,23	-0,07	-0,04	-0,12
Apr	-0,05	-0,03	-0,23	0,21	-0,07	-0,49	-0,12	-0,05
Mai	-0,13	-0,23	-0,51	-0,28	-0,59	-0,40	-0,39	0,01
Jun	0,22	-0,11	-0,68	-0,21	-0,88	-0,48	-0,46	-0,34
Jul	-0,05	0,16	-0,48	0,05	-0,19	0,05	0,00	-0,64
Aug	-0,05	-0,03	-0,59	-0,21	-0,22	0,12	-0,28	0,31
Sep	0,17	0,45	-0,14	-0,05	0,04	-0,12	-0,06	-0,41
Mrz-Apr	-0,10	0,07	-0,35	-0,17	-0,22	-0,29	-0,11	0,11
Mrz-Mai	-0,13	-0,06	-0,44	-0,16	-0,44	-0,40	-0,28	-0,04
Mrz-Jun	-0,02	-0,09	-0,56	-0,14	-0,67	-0,46	-0,37	-0,19
Mrz-Jul	-0,04	0,00	-0,62	-0,09	-0,64	-0,41	-0,30	-0,37
Mrz-Aug	-0,04	-0,01	-0,65	-0,14	-0,61	-0,34	-0,32	-0,19
Mrz-Sep	0,01	0,11	-0,58	-0,14	-0,60	-0,33	-0,29	-0,41
Apr-Mai	-0,12	-0,17	-0,42	-0,02	-0,43	-0,57	-0,35	-0,39
Apr-Jun	0,01	-0,18	-0,60	-0,04	-0,74	-0,62	-0,44	-0,23
Apr-Jul	-0,01	-0,06	-0,69	0,01	-0,71	-0,56	-0,34	-0,45
Apr-Aug	-0,03	-0,07	-0,71	-0,08	-0,69	-0,45	-0,38	-0,24
Apr-Sep	0,03	0,10	-0,60	-0,22	-0,58	-0,42	-0,33	-0,55
Mai-Jun	0,03	-0,19	-0,67	-0,31	-0,85	-0,50	-0,47	-0,47
Mai-Jul	0,00	-0,05	-0,71	-0,25	-0,70	-0,42	-0,34	-0,55
Mai-Aug	-0,01	-0,05	-0,70	-0,28	-0,62	-0,29	-0,36	-0,27
Mai-Sep	0,04	0,10	-0,60	-0,22	-0,58	-0,29	-0,32	-0,58
Jun-Jul	0,09	0,07	-0,68	-0,06	-0,59	-0,23	-0,22	-0,53
Jun-Aug	0,05	0,04	-0,67	-0,14	-0,49	-0,10	-0,27	-0,12
Jun-Sep	0,11	0,19	-0,56	-0,12	-0,41	-0,13	-0,24	-0,49
Jul-Aug	-0,06	0,10	-0,58	-0,09	-0,23	0,26	0,00	-0,53
Jul-Sep	0,04	0,27	-0,46	-0,08	-0,18	0,27	-0,05	-0,18
Aug-Sep	0,09	0,28	-0,40	-0,14	-0,13	0,10	-0,20	-0,10

**Tabelle A 2: Korrelationskoeffizienten zwischen der Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden und dem Wintergerstenertrag an verschiedenen Standorten**

	Olvenstedt	Dürrenhofe	Nuhnen	Zehdenick	Dedelow	Düsse	Kiel
Jan	0,03				-0,19	-0,02	-0,03
Feb	0,18				-0,28	0,17	0,04
Mrz	0,37	0,24	0,26	0,28	-0,06	0,33	0,01
Apr	-0,34	0,41	-0,17	-0,32	-0,46	-0,65	-0,10
Mai	0,13	0,09	-0,53	-0,42	-0,30	-0,14	-0,20
Jun	0,09	-0,51	-0,33	-0,48	-0,56	-0,16	-0,41
Jul	0,32	-0,02	0,63	-0,07	0,29	-0,16	-0,33
Mrz-Apr	0,05	0,49	0,03	0,04	-0,26	-0,12	-0,04
Mrz-Mai	0,09	0,38	-0,22	-0,18	-0,33	-0,16	-0,12
Mrz-Jun	0,11	0,18	-0,28	-0,30	-0,43	-0,18	-0,28
Mrz-Jul	0,24	0,16	-0,04	-0,29	-0,29	-0,21	-0,41
Apr-Mai	-0,13	0,33	-0,42	-0,42	-0,47	-0,51	-0,18
Apr-Jun	-0,05	0,10	-0,47	-0,46	-0,57	-0,44	-0,33
Apr-Jul	0,16	0,10	-0,18	-0,43	-0,39	-0,42	-0,52
Mai-Jun	0,12	-0,23	-0,57	-0,47	-0,46	-0,17	-0,32
Mai-Jul	0,30	-0,19	-0,12	-0,40	-0,23	-0,21	-0,50
Jun-Jul	0,31	-0,32	0,32	-0,36	-0,08	-0,20	-0,53

**Tabelle A 3: Korrelationskoeffizienten zwischen der Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden und dem Zuckerrübenenertrag an verschiedenen Standorten**

	Dikopshof	Olvenstedt	Dedelow	Düsse	Kiel
Jan	0,00	0,20	-0,18	0,26	0,75
Feb	-0,02	-0,16	-0,08	0,04	0,32
Mrz	-0,16	0,20	-0,42	0,39	0,86
Apr	-0,03	0,30	0,09	0,11	0,34
Mai	-0,15	0,54	0,11	0,23	0,49
Jun	-0,04	0,16	-0,30	-0,02	0,18
Jul	-0,48	-0,33	-0,44	0,01	0,49
Aug	-0,22	-0,43	-0,58	0,08	-0,43
Sep	-0,04	0,37	-0,32	0,39	0,04
Okt	-0,19	-0,22	-0,15	0,06	-0,42
Nov	-0,08	-0,28	-0,47	-0,14	-0,44
Mrz-Apr	-0,18	0,35	-0,30	0,42	0,88
Mrz-Mai	-0,19	0,49	-0,18	0,42	0,83
Mrz-Jun	-0,16	0,44	-0,23	0,33	0,74
Mrz-Jul	-0,33	0,23	-0,37	0,27	0,89
Mrz-Aug	-0,33	0,07	-0,48	0,25	0,77
Mrz-Sep	-0,31	0,16	-0,51	0,31	0,70
Apr-Mai	-0,12	0,54	0,13	0,23	0,49
Apr-Jun	-0,10	0,47	-0,02	0,16	0,43
Apr-Jul	-0,32	0,21	-0,26	0,13	0,71
Apr-Aug	-0,33	0,02	-0,44	0,14	0,50
Apr-Sep	-0,31	0,14	-0,49	0,23	0,42
Mai-Jun	-0,11	0,39	-0,07	0,13	0,40
Mai-Jul	-0,35	0,10	-0,34	0,10	0,67
Mai-Aug	-0,35	-0,08	-0,50	0,11	0,41
Mai-Sep	-0,33	0,05	-0,55	0,22	0,38
Jun-Jul	-0,38	-0,17	-0,54	0,00	0,53
Jun-Aug	-0,36	-0,31	-0,63	0,03	0,15
Jun-Sep	-0,33	-0,12	-0,64	0,18	0,19
Jul-Aug	-0,44	-0,46	-0,65	0,21	-0,21
Jul-Sep	-0,37	-0,21	-0,78	0,12	-0,39
Aug-Sep	-0,17	-0,04	-0,68	0,06	-0,02



**Tabelle A 4: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Kartoffelertrag der Reifegruppe 3 (RG) an verschiedenen Standorten**

	Neustadt	Mayen	Mainz	Gülzow	Krauchen- wies	Emmen- dingen	Unter- maxfeld	Utten- kofen
Beregnung	1	0	0	0	0	0	0	0
RG	3	3	3	3	3	3	3	3
Jan	-0,55	-0,01	-0,16	0,37	-0,26	-0,39	-0,31	-0,35
Feb	0,11	0,51	0,80	0,38	-0,18	0,18	-0,32	0,00
Mrz	-0,12	0,36	0,48	-0,29	-0,17	-0,30	-0,08	0,16
Apr	-0,36	0,17	0,26	0,32	-0,16	-0,46	-0,45	-0,05
Mai	-0,49	0,17	-0,26	-0,08	-0,30	-0,34	-0,14	-0,46
Jun	0,52	0,14	0,20	0,65	0,03	-0,19	-0,46	0,24
Jul	-0,51	0,69	0,55	0,13	0,14	0,39	0,33	0,54
Aug	-0,59	0,22	0,39	0,28	0,22	0,18	0,30	0,09
Sep	-0,24	0,25	-0,10	0,47	-0,34	-0,12	0,33	0,10
Okt	0,23	0,13	-0,12	-0,08	0,26	0,27	0,38	0,28
Mrz-Apr	-0,30	0,29	0,46	0,01	-0,25	-0,51	-0,20	0,12
Mrz-Mai	-0,64	0,43	0,39	-0,04	-0,40	-0,58	-0,22	-0,09
Mrz-Jun	-0,46	0,36	0,45	0,36	-0,36	-0,59	-0,42	0,04
Mrz-Jul	-0,56	0,66	0,65	0,47	-0,29	-0,45	-0,32	0,32
Mrz-Aug	-0,71	0,65	0,67	0,53	-0,13	-0,37	-0,10	0,28
Mrz-Sep	-0,68	0,61	0,52	0,72	-0,23	-0,32	0,06	0,28
Apr-Mai	-0,73	0,32	0,05	0,13	-0,31	-0,55	-0,27	-0,45
Apr-Jun	-0,49	0,29	0,20	0,49	-0,31	-0,57	-0,56	-0,17
Apr-Jul	-0,56	0,68	0,60	0,55	-0,21	-0,41	-0,38	0,32
Apr-Aug	-0,70	0,65	0,64	0,61	-0,06	-0,31	-0,08	0,29
Apr-Sep	-0,71	0,59	0,47	0,75	-0,19	-0,28	0,14	0,28
Mai-Jun	-0,16	0,34	-0,11	0,44	-0,26	-0,39	-0,58	-0,15
Mai-Jul	-0,38	0,69	0,50	0,50	-0,14	-0,19	-0,29	0,32
Mai-Aug	-0,61	0,65	0,59	0,61	0,03	-0,11	0,05	0,30
Mai-Sep	-0,69	0,59	0,45	0,73	-0,13	-0,14	0,26	0,30
Jun-Jul	-0,21	0,66	0,67	0,71	0,10	0,11	-0,12	0,55
Jun-Aug	-0,55	0,61	0,73	0,78	0,20	0,18	0,14	0,49
Jun-Sep	-0,59	0,58	0,54	0,69	0,04	0,02	0,35	0,47
Jul-Aug	-0,70	0,60	0,61	0,26	0,27	0,37	0,36	0,43
Jul-Sep	-0,70	0,55	0,46	0,50	0,02	0,12	0,52	0,43
Aug-Sep	-0,55	0,30	0,18	0,47	-0,07	-0,04	0,43	0,13

**Tabelle A 5: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Kartoffelertrag der Reifegruppen (RG) 3 und 4 an verschiedenen Standorten**

	Weihen- stephan	Nossen	Dikops- hof	Dürren- hofe	Zehde- nick	Gülzow	Zehde- nick
Berechnung	0	0	0	0	0	0	0
RG	3	3	3	3	3	4	4
Jan	-0,15	-0,32	-0,17			0,37	
Feb	-0,19	0,34	-0,32			0,40	
Mrz	0,10	-0,44	0,02	-0,67	-0,40	-0,08	0,05
Apr	-0,03	-0,59	0,05	-0,12	-0,58	0,32	-0,64
Mai	-0,16	-0,24	-0,31	0,42	0,12	-0,09	0,33
Jun	-0,52	-0,03	0,39	-0,14	0,59	0,52	-0,18
Jul	-0,17	0,62	0,22	0,80	0,61	0,00	0,54
Aug	0,24	0,01	0,16	0,30	0,48	0,21	0,38
Sep	0,07	-0,28	-0,13	-0,04	0,32	0,28	0,01
Okt	0,19	0,41	-0,08	0,16	0,07	-0,07	0,51
Mrz-Apr	0,05	-0,59	0,04	-0,56	-0,53	0,15	-0,28
Mrz-Mai	-0,11	-0,63	-0,24	-0,24	-0,66	0,07	-0,02
Mrz-Jun	-0,41	-0,53	0,12	-0,32	0,29	0,36	-0,19
Mrz-Jul	-0,53	-0,25	0,22	0,51	0,69	0,40	0,23
Mrz-Aug	-0,40	-0,18	0,28	0,69	0,66	0,44	0,34
Mrz-Sep	-0,38	-0,22	0,17	0,47	0,55	0,52	0,20
Apr-Mai	-0,17	-0,43	-0,26	0,23	-0,35	0,13	-0,09
Apr-Jun	-0,48	-0,27	0,12	0,09	0,47	0,40	-0,21
Apr-Jul	-0,55	0,03	0,24	0,69	0,69	0,39	0,17
Apr-Aug	-0,42	0,02	0,30	0,81	0,74	0,44	0,31
Apr-Sep	-0,37	-0,06	0,16	0,69	0,61	0,50	0,19
Mai-Jun	-0,47	-0,14	0,10	0,17	0,60	0,33	0,05
Mai-Jul	-0,52	0,18	0,22	0,70	0,74	0,31	0,32
Mai-Aug	-0,38	0,14	0,27	0,84	0,79	0,39	0,41
Mai-Sep	-0,32	0,02	0,14	0,77	0,65	0,46	0,26
Jun-Jul	-0,53	0,36	0,44	0,58	0,82	0,47	0,22
Jun-Aug	-0,42	0,25	0,44	0,75	0,81	0,53	0,34
Jun-Sep	-0,33	0,09	0,31	0,67	0,65	0,45	0,20
Jul-Aug	-0,01	0,38	0,26	0,86	0,69	0,11	0,57
Jul-Sep	0,03	0,14	0,10	0,81	0,60	0,28	0,32
Aug-Sep	0,26	-0,12	-0,03	0,18	0,42	0,29	0,17

**Tabelle A 6: Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagssumme über verschiedene Perioden und dem Stärkekartoffelertrag an verschiedenen Standorten**

	Gerst- hofen	Hatzen- reuth	Köfering	Unter- maxfeld	Utten- kofen	Weihen- stephan	Weiß- feld	Bremer- vörde
Jan	-0,46	-0,13	-0,15	-0,09	-0,36	-0,33	0,07	-0,06
Feb	-0,19	-0,10	0,15	0,25	0,05	0,08	-0,38	-0,10
Mrz	-0,28	-0,22	0,11	0,03	0,26	0,08	-0,13	-0,11
Apr	-0,07	-0,37	-0,33	-0,30	-0,07	0,17	-0,24	-0,30
Mai	0,23	0,30	0,17	0,34	-0,29	0,13	0,13	-0,17
Jun	-0,55	-0,03	-0,05	-0,19	0,23	-0,31	-0,55	0,57
Jul	0,32	-0,13	0,21	0,42	0,59	0,03	0,04	0,47
Aug	0,42	0,17	0,43	0,17	0,14	0,36	0,29	0,35
Sep	0,28	0,11	0,20	0,18	0,07	0,08	0,39	0,27
Okt	0,36	-0,02	0,31	0,06	0,21	-0,31	0,47	0,21
Mrz-Apr	-0,26	-0,37	-0,06	-0,06	0,20	0,17	-0,29	-0,25
Mrz-Mai	-0,04	-0,11	0,05	0,12	0,05	0,23	-0,04	-0,28
Mrz-Jun	-0,31	-0,14	0,03	0,04	0,19	0,02	-0,35	0,06
Mrz-Jul	-0,12	-0,19	0,18	0,23	0,45	0,05	-0,35	0,29
Mrz-Aug	0,11	-0,05	0,33	0,25	0,41	0,22	-0,11	0,38
Mrz-Sep	0,19	-0,01	0,39	0,28	0,39	0,26	0,07	0,46
Apr-Mai	0,14	0,08	-0,06	0,00	-0,30	0,19	0,02	-0,33
Apr-Jun	-0,18	0,05	-0,12	-0,13	-0,08	-0,02	-0,33	0,19
Apr-Jul	0,02	-0,06	0,10	0,11	0,42	0,00	-0,28	0,46
Apr-Aug	0,23	0,06	0,35	0,19	0,39	0,16	-0,06	0,52
Apr-Sep	0,31	0,08	0,40	0,26	0,36	0,19	0,11	0,56
Mai-Jun	-0,16	0,24	0,13	0,17	-0,04	-0,10	-0,20	0,43
Mai-Jul	0,06	0,09	0,27	0,46	0,41	-0,07	-0,17	0,62
Mai-Aug	0,27	0,17	0,45	0,46	0,42	0,09	0,02	0,65
Mai-Sep	0,34	0,17	0,50	0,50	0,39	0,12	0,16	0,67
Jun-Jul	-0,14	-0,16	0,12	0,14	0,58	-0,21	-0,33	0,68
Jun-Aug	0,23	0,03	0,36	0,24	0,55	-0,01	-0,09	0,68
Jun-Sep	0,32	0,06	0,42	0,32	0,50	0,04	0,12	0,67
Jul-Aug	0,51	0,04	0,47	0,31	0,50	0,27	0,22	0,53
Jul-Sep	0,54	0,07	0,57	0,38	0,48	0,23	0,38	0,60
Aug-Sep	0,44	0,16	0,47	0,24	0,16	0,34	0,47	0,41

**Tabelle A 7: Korrelationskoeffizienten zwischen der Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden und dem Kartoffelertrag der Reifegruppen (RG) 1 und 2 an verschiedenen Standorten**

	Leiter- kofen	Weihen- stephan	Olven- stedt	Zehdenick	Gülzow	Krauchen -wies	Olven- stedt	Dürren- hofe	Münche- berg
RG	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Jan	-0,37	0,00	0,42		0,13	-0,24	0,40		-0,65
Feb	-0,16	-0,09	0,12		0,46	-0,18	0,03		0,01
Mrz	-0,01	0,35	0,23	-0,03	-0,12	-0,16	0,13	-0,70	-0,65
Apr	0,01	-0,06	-0,32	-0,10	0,28	0,03	-0,47	0,14	0,14
Mai	0,02	0,23	0,36	0,21	0,30	0,30	0,44	-0,21	-0,15
Jun	-0,11	0,10	-0,05	-0,22	-0,18	0,04	0,06	-0,67	-0,45
Jul	-0,48	-0,37	0,17	-0,18	-0,87	-0,71	0,19	-0,53	-0,43
Aug	-0,11	0,02	-0,06	-0,20	-0,53	-0,25	-0,01	-0,22	-0,61
Sep	-0,05	0,08	0,08	-0,47	-0,36	-0,06	0,12	-0,44	-0,08
Okt	-0,24	-0,19	-0,32	0,20	0,31	-0,18	-0,29	0,18	0,11
Mrz-Apr	0,00	0,27	-0,04	-0,07	0,06	-0,15	-0,15	-0,34	-0,49
Mrz-Mai	0,01	0,31	0,14	0,03	0,18	0,08	0,11	-0,32	-0,42
Mrz-Jun	-0,04	0,30	0,10	-0,05	0,06	0,07	0,10	-0,50	-0,51
Mrz-Jul	-0,20	0,10	0,17	-0,10	-0,33	-0,17	0,19	-0,74	-0,57
Mrz-Aug	-0,19	0,09	0,14	-0,14	-0,48	-0,20	0,18	-0,78	-0,62
Mrz-Sep	-0,18	0,10	0,14	-0,21	-0,49	-0,21	0,17	-0,76	-0,59
Apr-Mai	0,02	0,12	0,03	0,07	0,35	0,27	0,06	-0,01	-0,04
Apr-Jun	-0,04	0,13	0,00	-0,05	0,14	0,20	0,07	-0,27	-0,23
Apr-Jul	-0,23	-0,06	0,12	-0,12	-0,38	-0,13	0,20	-0,66	-0,40
Apr-Aug	-0,22	-0,05	0,08	-0,16	-0,56	-0,18	0,18	-0,75	-0,49
Apr-Sep	-0,21	-0,03	0,09	-0,24	-0,55	-0,20	0,18	-0,74	-0,46
Mai-Jun	-0,06	0,21	0,20	-0,03	0,04	0,22	0,30	-0,54	-0,35
Mai-Jul	-0,28	-0,06	0,27	-0,11	-0,48	-0,16	0,37	-0,83	-0,53
Mai-Aug	-0,24	-0,04	0,20	-0,15	-0,59	-0,20	0,30	-0,73	-0,60
Mai-Sep	-0,24	-0,02	0,18	-0,24	-0,59	-0,22	0,28	-0,74	-0,55
Jun-Jul	-0,39	-0,24	0,12	-0,26	-0,73	-0,45	0,20	-0,79	-0,58
Jun-Aug	-0,31	-0,18	0,06	-0,24	-0,73	-0,42	0,14	-0,65	-0,63
Jun-Sep	-0,28	-0,13	0,08	-0,33	-0,71	-0,40	0,16	-0,69	-0,54
Jul-Aug	-0,36	-0,27	0,09	-0,21	-0,82	-0,62	0,14	-0,47	-0,41
Jul-Sep	-0,31	-0,21	0,10	-0,32	-0,78	-0,52	0,16	-0,56	-0,44
Aug-Sep	-0,11	0,07	0,01	-0,34	-0,57	-0,20	0,08	-0,44	-0,38

**Tabelle A 8: Korrelationskoeffizienten zwischen der Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden und dem Kartoffelertrag der Reifegruppe (RG) 3 an verschiedenen Standorten**

	Neustadt	Mayen	Mainz	Gülzow	Krauchen- wies	Emmen- dingen	Unter- maxfeld	Utten- kofen
Beregnung	1	0	0	0	0	0	0	0
RG	3	3	3	3	3	3	3	3
Jan	-0,22	-0,27	-0,14	0,16	-0,35	-0,22	-0,22	-0,14
Feb	-0,36	0,66	0,65	0,28	0,12	-0,11	0,06	0,29
Mrz	0,14	0,14	-0,12	-0,28	-0,09	-0,13	-0,16	-0,19
Apr	-0,36	-0,30	-0,18	0,26	-0,02	0,29	0,36	0,13
Mai	0,06	0,11	0,05	-0,04	0,25	0,08	-0,05	0,24
Jun	-0,14	-0,33	-0,62	-0,61	0,13	0,01	0,42	-0,12
Jul	-0,46	-0,47	-0,26	-0,74	-0,57	-0,62	-0,91	-0,37
Aug	-0,05	0,02	-0,40	-0,55	-0,06	-0,03	0,06	0,01
Sep	0,51	-0,19	0,15	-0,45	-0,22	0,13	-0,11	-0,13
Okt	0,00	0,51	0,53	0,58	-0,06	-0,36	0,06	0,04
Mrz-Apr	-0,05	-0,02	-0,21	-0,07	-0,11	0,05	0,07	-0,13
Mrz-Mai	0,00	0,04	-0,11	-0,07	0,07	0,07	0,03	0,05
Mrz-Jun	-0,07	-0,11	-0,35	-0,30	0,10	0,06	0,24	-0,01
Mrz-Jul	-0,32	-0,32	-0,44	-0,57	-0,09	-0,14	-0,11	-0,15
Mrz-Aug	-0,28	-0,27	-0,47	-0,71	-0,09	-0,12	-0,07	-0,12
Mrz-Sep	-0,10	-0,28	-0,37	-0,69	-0,15	-0,08	-0,09	-0,15
Apr-Mai	-0,15	-0,07	-0,07	0,11	0,20	0,23	0,21	0,25
Apr-Jun	-0,19	-0,25	-0,42	-0,26	0,20	0,16	0,40	0,12
Apr-Jul	-0,52	-0,50	-0,52	-0,64	-0,07	-0,11	-0,05	-0,07
Apr-Aug	-0,43	-0,40	-0,54	-0,78	-0,07	-0,10	-0,02	-0,05
Apr-Sep	-0,19	-0,40	-0,41	-0,75	-0,15	-0,04	-0,06	-0,10
Mai-Jun	-0,07	-0,17	-0,42	-0,41	0,24	0,06	0,32	0,08
Mai-Jul	-0,41	-0,46	-0,51	-0,73	-0,07	-0,23	-0,21	-0,13
Mai-Aug	-0,34	-0,35	-0,52	-0,79	-0,07	-0,18	-0,13	-0,10
Mai-Sep	-0,11	-0,36	-0,40	-0,78	-0,15	-0,14	-0,15	-0,14
Jun-Jul	-0,48	-0,58	-0,61	-0,87	-0,29	-0,38	-0,22	-0,35
Jun-Aug	-0,39	-0,44	-0,60	-0,84	-0,23	-0,27	-0,13	-0,25
Jun-Sep	-0,14	-0,46	-0,46	-0,82	-0,30	-0,23	-0,15	-0,28
Jul-Aug	-0,41	-0,36	-0,40	-0,75	-0,42	-0,39	-0,65	-0,26
Jul-Sep	-0,09	-0,39	-0,26	-0,76	-0,44	-0,26	-0,47	-0,27
Aug-Sep	0,36	-0,13	-0,15	-0,64	-0,20	0,10	-0,06	-0,09

**Tabelle A 9: Korrelationskoeffizienten zwischen der Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden und dem Kartoffelertrag der Reifegruppen (RG) 3 und 4 an verschiedenen Standorten**

	Weihen- stephan	Nossen	Dikops- hof	Dürren- hofe	Zehde- nick	Gülzow	Zehde- nick
Beregnung	0	0	0	0	0	0	0
RG	3	3	3	3	3	4	4
Jan	0,39	-0,14	-0,46			0,20	
Feb	-0,06	-0,11	-0,18			0,44	
Mrz	0,33	-0,25	-0,36	-0,53	-0,13	-0,05	-0,22
Apr	0,05	0,07	0,50	0,02	0,36	0,22	0,35
Mai	0,47	0,11	0,08	-0,42	0,59	-0,14	0,23
Jun	0,05	0,19	-0,16	-0,59	0,16	-0,49	0,43
Jul	-0,02	-0,62	0,08	-0,34	-0,49	-0,67	-0,45
Aug	0,14	0,13	-0,31	-0,07	-0,24	-0,45	-0,19
Sep	-0,36	-0,05	0,15	-0,60	-0,44	-0,30	-0,72
Okt	-0,01	-0,03	-0,14	0,05	0,20	0,50	-0,04
Mrz-Apr	0,34	-0,12	-0,02	-0,34	0,07	0,08	0,00
Mrz-Mai	0,47	-0,04	0,03	-0,40	0,29	-0,01	0,09
Mrz-Jun	0,42	0,05	-0,03	-0,55	0,26	-0,21	0,20
Mrz-Jul	0,35	-0,12	0,00	-0,68	0,09	-0,46	0,08
Mrz-Aug	0,34	-0,08	-0,07	-0,68	-0,01	-0,57	0,01
Mrz-Sep	0,27	-0,07	-0,03	-0,72	-0,09	-0,54	-0,13
Apr-Mai	0,35	0,11	0,32	-0,19	0,51	0,03	0,30
Apr-Jun	0,31	0,16	0,15	-0,41	0,40	-0,25	0,37
Apr-Jul	0,24	-0,06	0,17	-0,66	0,17	-0,59	0,22
Apr-Aug	0,25	-0,01	0,05	-0,68	0,04	-0,70	0,10
Apr-Sep	0,16	-0,02	0,09	-0,69	-0,15	-0,64	-0,18
Mai-Jun	0,36	0,17	-0,04	-0,63	0,39	-0,38	0,35
Mai-Jul	0,27	-0,10	0,01	-0,75	0,09	-0,67	0,14
Mai-Aug	0,26	-0,04	-0,09	-0,60	-0,04	-0,71	0,02
Mai-Sep	0,16	-0,04	-0,03	-0,69	-0,15	-0,66	-0,18
Jun-Jul	0,00	-0,23	-0,03	-0,58	-0,23	-0,76	0,04
Jun-Aug	0,06	-0,10	-0,15	-0,44	-0,24	-0,72	-0,08
Jun-Sep	-0,07	-0,09	-0,07	-0,58	-0,32	-0,67	-0,30
Jul-Aug	0,05	-0,34	-0,11	-0,27	-0,39	-0,65	-0,36
Jul-Sep	-0,11	-0,24	-0,01	-0,46	-0,44	-0,63	-0,56
Aug-Sep	-0,16	0,04	-0,09	-0,45	-0,36	-0,48	-0,49

**Tabelle A 10: Korrelationskoeffizienten zwischen der Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden und dem Stärkekartoffelertrag an verschiedenen Standorten**

	Gerst- hofen	Hatzen- reuth	Köfering	Unter- maxfeld	Utten- kofen	Weihen- stephan	Weiß- feld	Bremer- vörde
Jan	-0,23	0,09	-0,40	-0,05	-0,24	0,19	-0,07	-0,12
Feb	-0,24	-0,48	-0,04	0,15	0,23	0,10	-0,28	0,24
Mrz	-0,18	-0,23	-0,32	-0,14	-0,28	0,00	-0,14	-0,19
Apr	0,17	0,14	-0,14	0,68	0,22	0,12	0,36	-0,01
Mai	-0,21	0,24	-0,14	0,03	0,21	-0,25	0,07	0,11
Jun	0,44	-0,09	-0,07	0,01	-0,14	-0,47	0,64	-0,20
Jul	-0,58	-0,48	-0,41	-0,71	-0,41	0,05	-0,40	-0,57
Aug	-0,20	-0,32	-0,37	-0,25	-0,10	-0,21	0,06	-0,24
Sep	-0,11	-0,24	-0,17	0,28	-0,07	0,09	-0,24	0,07
Okt	-0,38	0,09	0,03	0,44	0,06	-0,16	-0,42	-0,01
Mrz-Apr	-0,11	-0,13	-0,37	0,10	-0,16	0,07	0,04	-0,14
Mrz-Mai	-0,18	0,03	-0,32	-0,04	0,01	-0,07	0,06	-0,05
Mrz-Jun	0,07	0,01	-0,26	-0,09	-0,05	-0,22	0,26	-0,10
Mrz-Jul	-0,16	-0,16	-0,38	-0,35	-0,20	-0,17	0,10	-0,21
Mrz-Aug	-0,18	-0,21	-0,40	-0,36	-0,19	-0,19	0,09	-0,23
Mrz-Sep	-0,21	-0,26	-0,40	-0,23	-0,21	-0,16	0,02	0,00
Apr-Mai	-0,05	0,23	-0,17	0,47	0,28	-0,09	0,30	0,08
Apr-Jun	0,26	0,16	-0,15	0,28	0,13	-0,29	0,52	-0,03
Apr-Jul	-0,08	-0,07	-0,32	-0,16	-0,08	-0,21	0,29	-0,21
Apr-Aug	-0,14	-0,14	-0,36	-0,20	-0,10	-0,24	0,24	-0,24
Apr-Sep	-0,17	-0,21	-0,37	-0,04	-0,12	-0,20	0,13	0,02
Mai-Jun	0,20	0,13	-0,13	0,02	0,05	-0,45	0,42	-0,03
Mai-Jul	-0,16	-0,16	-0,33	-0,45	-0,18	-0,31	0,13	-0,24
Mai-Aug	-0,19	-0,23	-0,37	-0,41	-0,17	-0,30	0,11	-0,26
Mai-Sep	-0,22	-0,30	-0,38	-0,21	-0,19	-0,24	0,00	0,02
Jun-Jul	-0,06	-0,47	-0,33	-0,51	-0,39	-0,19	0,11	-0,43
Jun-Aug	-0,13	-0,47	-0,37	-0,47	-0,32	-0,22	0,10	-0,38
Jun-Sep	-0,17	-0,50	-0,37	-0,24	-0,32	-0,16	-0,03	0,01
Jul-Aug	-0,49	-0,52	-0,47	-0,70	-0,35	-0,06	-0,24	-0,43
Jul-Sep	-0,46	-0,52	-0,45	-0,30	-0,31	-0,02	-0,32	0,02
Aug-Sep	-0,22	-0,41	-0,35	0,10	-0,13	-0,10	-0,14	0,05

**Tabelle A 11: Korrelationskoeffizienten zwischen der Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden und der Trendabweichung des Zwiebelertrages an verschiedenen Standorten**

	Hannover	Lemgrabe	Olvenstedt	Quedlinburg
Beregnung	1	1	0	1
Jan	0,32	0,02	0,00	-0,48
Feb	0,17	-0,33	0,01	0,00
Mrz	0,61	-0,10	-0,05	-0,59
Apr	0,40	0,20	0,12	-0,12
Mai	-0,18	0,03	0,08	-0,30
Jun	0,14	-0,02	-0,37	-0,50
Jul	0,16	0,00	-0,60	-0,63
Aug	-0,21	-0,24	-0,38	-0,29
Sep	0,82	-0,20	-0,34	-0,76
Mrz-Apr	0,68	0,01	0,04	-0,53
Mrz-Mai	0,53	0,02	0,07	-0,49
Mrz-Jun	0,42	0,01	-0,09	-0,55
Mrz-Jul	0,52	0,01	-0,34	-0,77
Mrz-Aug	0,41	-0,06	-0,43	-0,79
Mrz-Sep	0,60	-0,10	-0,45	-0,80
Apr-Mai	0,08	0,14	0,11	-0,28
Apr-Jun	0,12	0,08	-0,08	-0,44
Apr-Jul	0,22	0,07	-0,38	-0,78
Apr-Aug	0,13	-0,03	-0,48	-0,81
Apr-Sep	0,41	-0,08	-0,52	-0,83
Mai-Jun	-0,02	0,01	-0,16	-0,45
Mai-Jul	0,08	0,01	-0,47	-0,78
Mai-Aug	0,00	-0,09	-0,51	-0,73
Mai-Sep	0,34	-0,14	-0,54	-0,77
Jun-Jul	0,25	-0,01	-0,73	-0,82
Jun-Aug	0,11	-0,11	-0,65	-0,74
Jun-Sep	0,48	-0,16	-0,65	-0,81
Jul-Aug	0,03	-0,14	-0,59	-0,60
Jul-Sep	0,45	-0,19	-0,60	-0,75
Aug-Sep	0,50	-0,27	-0,50	-0,60



**Tabelle A 12: Korrelationskoeffizienten zwischen der Durchschnittstemperatur über verschiedene Perioden und der Trendabweichung des Möhrenertrages an verschiedenen Standorten**

	Hannover	Bardowick	Lemgrabe	Olvenstedt
Beregnung	1	1	1	0
Jan	0,63	-0,51	-0,41	-0,22
Feb	0,45	0,01	-0,16	0,24
Mrz	0,74	-0,06	-0,51	-0,42
Apr	-0,21	-0,38	0,05	0,34
Mai	0,43	-0,13	-0,06	0,42
Jun	0,35	-0,46	-0,06	0,20
Jul	0,27	-0,51	-0,02	-0,63
Aug	0,42	-0,60	-0,16	-0,29
Sep	0,40	0,25	-0,35	-0,37
Mrz-Apr	0,57	-0,20	-0,46	-0,12
Mrz-Mai	0,59	-0,23	-0,34	0,16
Mrz-Jun	0,56	-0,33	-0,28	0,19
Mrz-Jul	0,65	-0,46	-0,26	-0,12
Mrz-Aug	0,67	-0,52	-0,27	-0,20
Mrz-Sep	0,69	-0,44	-0,32	-0,28
Apr-Mai	0,22	-0,36	-0,01	0,44
Apr-Jun	0,32	-0,46	-0,04	0,41
Apr-Jul	0,48	-0,64	-0,04	0,05
Apr-Aug	0,52	-0,72	-0,10	-0,06
Apr-Sep	0,59	-0,60	-0,18	-0,19
Mai-Jun	0,44	-0,30	-0,06	0,36
Mai-Jul	0,57	-0,54	-0,07	-0,09
Mai-Aug	0,58	-0,64	-0,11	-0,18
Mai-Sep	0,68	-0,54	-0,20	-0,29
Jun-Jul	0,48	-0,61	-0,05	-0,44
Jun-Aug	0,51	-0,69	-0,11	-0,44
Jun-Sep	0,62	-0,53	-0,20	-0,51
Jul-Aug	0,37	-0,63	-0,10	-0,60
Jul-Sep	0,52	-0,43	-0,22	-0,63
Aug-Sep	0,59	-0,21	-0,32	-0,47

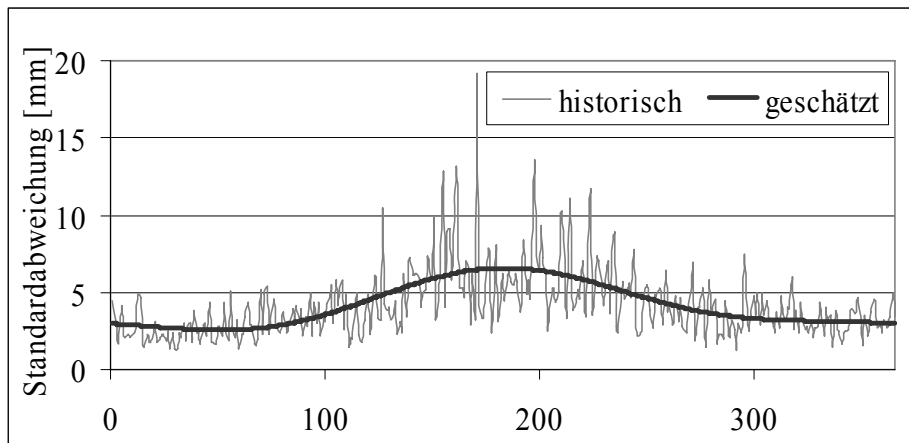


Abbildung A 2: Geschätzte und historische Standardabweichung der Tagesniederschlagsmengen

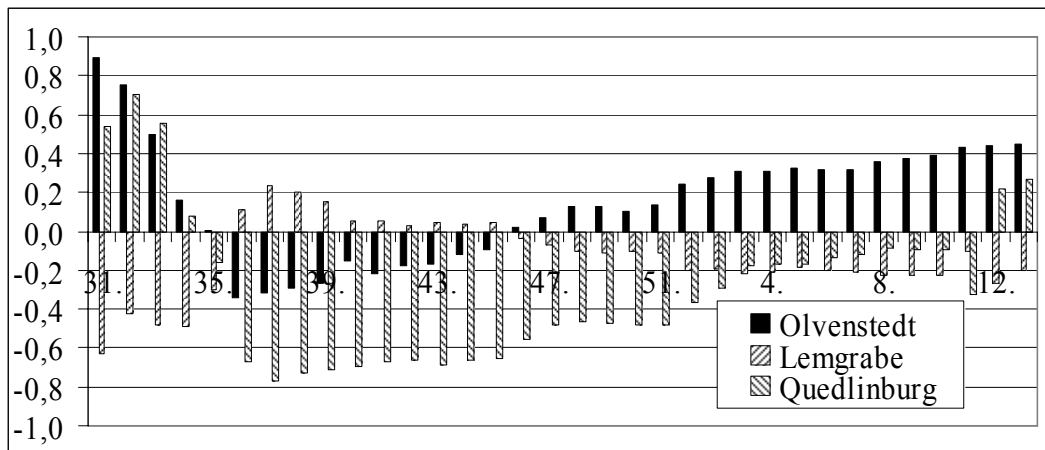
Tabelle A 13: Auswirkungen verschiedener Strike Level auf die Risikoparameter der Energiekostenverteilung des Gewächshausmodellbetriebes

Strike Level	Auszahlungswahrsch.	Prämie	Stabw	Semi-stabw	5 % Perzentil	10 % Perzentil	Zielwert -110.000
-	0%	0	12.000	8.759	-121.513	-116.560	23%
0	1%	32	11.925	8.663	-121.324	-116.587	23%
1	6%	267	11.532	8.221	-120.050	-116.109	23%
2	22%	1.359	10.301	7.042	-116.917	-113.905	20%
3	52%	4.434	8.259	5.494	-113.526	-111.005	13%
4	80%	10.078	6.505	4.494	-111.514	-109.254	8%
5	95%	17.584	5.790	4.136	-110.727	-108.542	6%
6	99%	25.842	5.648	4.062	-110.609	-108.427	6%

Tabelle A 14: Vergleich der Risikoparameter der Kartoffelerlösverteilungen

	Normalverteilung		Dreiecksverteilung	
	Ohne Option	mit Option	Ohne Option	mit Option
Erwartungswert	3.483 €	3.477 €	3.437 €	3.430 €
Standardabweichung.	521 €	278 €	476 €	278 €
5 % Perzentil	2.457 €	3.023 €	2.578 €	2.976 €
10 % Perzentil	2.762 €	3.124 €	2.759 €	3.078 €
90 % Perzentil	4.023 €	3.839 €	3.998 €	3.791 €
95 % Perzentil	4.137 €	3.935 €	4.118 €	3.893 €
Schiefe	-1,14	0,00	-0,48	0,00





**Abbildung A 3: Korrelationen zwischen den Zwiebelerträgen verschiedener Standorte und den wöchentlichen Zwiebelpreisen**

**Tabelle A 16: Gewinn [€] des Modellbetriebes mit und ohne Wetterderivat**

	Gewinn ohne Wetterderivat	Gewinn mit Wetterderivat	Gewinn ohne Preisrisiko
Minimum	-1.349.198	-1.322.385	-1.197.889
Erwartungswert	394.155	390.850	391.786
Maximum	3.583.078	3.505.058	2.538.870
Standardabweichung	511.931	492.436	416.895
Schiefe	0,44	0,43	0,01
Kurtosis	3,71	3,74	3,05
5 % Perzentil	-392.999	-364.146	-285.975
95 % Perzentil	1.280.339	1.235.707	1.075.968
LPM0(0)	0,220	0,213	0,177
LPM1(0)	-254.228	-243.029	-221.333

**Tabelle A 17: Deckungsbeitrag [€] des Zwiebelanbaus mit und ohne Wetterderivat sowie Vertragspreis und freiem Preis**

Wetterderivat	freier Preis		Vertragspreis	
	nein	ja	nein	ja
Minimum	-913	-495	-654	48
Erwartungswert	2369	2367	2360	2358
Maximum	13523	13218	7823	7517
Standardabweichung	1419	1358	1037	837
Schiefe	1,34	1,34	0,52	0,50
Kurtosis	6,5	7,23	3,51	4,02
5 % Perzentil	468	702	821	1184
95 % Perzentil	5127	4907	4196	3890