



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 91 | Ausgabe 3

Dezember 2013

AGRARWISSENSCHAFT
FORSCHUNG
—
PRAXIS



Ökonomische Auswirkungen des Klimawandels auf die niedersächsische Milchproduktion

Von MARIA MARTINSOHN und HEIKO HANSEN, Braunschweig

1 Einleitung

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft sind bereits seit mehr als zwei Jahrzehnten ein wichtiger Bestandteil der (agrar-)wissenschaftlichen Forschung. Der Großteil dieser Studien im Bereich der sogenannten Klimafolgenforschung konzentriert sich dabei auf den Ackerbau, für den die Bedeutung des Klimawandels offensichtlich ist. Doch auch in der Tierhaltung führen das Klima oder der Klimawandel zu direkten und indirekten Auswirkungen für die Produktion und Wirtschaftlichkeit (32, 19). Dies gilt im Besonderen für die Milchviehhaltung, in welcher die hofeigene und daher standortgebundene Grundfutterproduktion, Außenklimaställe und teilweise die Weidehaltung typisch sind. Dennoch existieren bisher vergleichsweise wenige Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Milchviehhaltung (27). Der vorliegende Beitrag soll helfen, diese Forschungslücke etwas weiter zu schließen.

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Wissenschaftliche Studien belegen, dass sich eine globale Erwärmung der Atmosphäre vollzieht, welche auch auf regionaler Ebene einen Klimawandel verursacht (20). Diese Veränderungen betreffen die Milchproduktion in Europa in vielerlei Hinsicht. Direkte Auswirkungen können vermehrt längere Perioden mit ungewöhnlich hohen Temperaturen im Sommer sein, welche zu Hitzestress bei den Milchkühen führen. Zu den wichtigsten Folgen in dem Zusammenhang zählen ein Rückgang der Milchleistung, eine verminderte Fruchtbarkeit und eine Beeinträchtigung des Immunsystems (36). Im Futterbau besteht außerdem die Gefahr, dass es durch zunehmende Extreme in der Niederschlagsverteilung (Trockenheit, Starkregenereignisse) zu qualitativ und quantitativ schlechteren Ernten und zum Zuwachs bestimmter Unkräuter kommt (30, 16, 19). Schließlich können sowohl Tiere als auch Pflanzen unter einem durch die klimatischen Veränderungen verstärkten Druck durch Schaderreger leiden (30, 26, 10, 4), was ebenfalls in der Regel mit Ertrags- und Qualitätseinbußen einhergeht.

Indirekte Auswirkungen durch den Klimawandel können auftreten, wenn die Milch- oder Futterproduktion in anderen Regionen positiv oder negativ beeinflusst wird und dadurch Angebots- und Preiseffekte entstehen. So kann der Milchpreis auf dem Weltmarkt ansteigen, wenn sich in wichtigen Erzeugungsregionen die Milcherzeugung aufgrund extremer Trockenheit stark reduziert. Des Weiteren können die Kosten für zugekaufte Futtermittel, wie Sojaextraktionsschrot, ansteigen (sinken), wenn sich die klimatischen Bedingungen in wichtigen Anbauregionen verschlechtern (verbessern).

Für die nordwesteuropäischen Milcherzeuger sind im Speziellen viele Auswirkungen des Klimawandels denkbar, welche gegebenenfalls auch Vorteile mit sich bringen. Beispielsweise kann eine verlängerte Vegetationsperiode das Pflanzenwachstum fördern und damit die Grundfuttererträge steigern. Ferner können milde Winter einen besseren Luftaustausch im Stall ermöglichen oder intensivere Trockenzeiten das Absterben von Weideparasiten mit sich bringen.

Die genannten Beispiele zeigen, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf die Milchproduktion offensichtlich vielfältig und komplex sind. Positive und negative, direkte und indirekte Effekte treten (meist) gleichzeitig auf, sodass der Gesamteffekt nicht unmittelbar ersichtlich ist. Außerdem lassen sich große Unterschiede zwischen Ländern und Regionen beobachten, die generelle Schlussfolgerungen nur bedingt erlauben. Vor diesem

Hintergrund geht der vorliegende Beitrag der Frage nach, welchen wirtschaftlichen Einfluss der Klimawandel auf die niedersächsische Milchproduktion hat.

Niedersachsen wurde als Untersuchungsregion aufgrund der großen Bedeutung der Milchproduktion auch für Deutschland ausgewählt. Die Milchwirtschaft trägt etwa ein Fünftel zum Produktionswert der Landwirtschaft in Niedersachsen bei. Ebenfalls wird in Niedersachsen etwa ein Fünftel der in Deutschland erzeugten Milch gemolken (31). Gemäß den Klimamodellen werden in Niedersachsen trockenere, heißere Sommer und feuchtere, mildere Winter, Herbst und Frühjahre erwartet (21, 28). Insgesamt sind die Veränderungen durch den Klimawandel jedoch moderat im Vergleich zu Regionen in Süddeutschland oder gar Südeuropa.

1.2 Vorgehensweise

Die Frage nach den wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Milchproduktion soll im vorliegenden Beitrag mit Hilfe einzelbetrieblicher Analysen für vier verschiedene Regionen Niedersachsens beantwortet werden. Hierfür werden, anlehnend an die sogenannte *agri benchmark*-Methode, typische Betriebe gebildet (Abbildung 1; 9, 33). Bei dieser Methodik werden die Betriebskosten über die Arbeitsprozesse berechnet. Dies ermöglicht, dass alle ermittelten Klimaveränderungen, aber auch die Maßnahmen zur Anpassung an diese Änderungen, in die Berechnung eingearbeitet werden können.

Anschließend werden auf der Basis von Klimamodelldaten sowie dreier Wachstums- und Leistungsmodelle (im Folgenden auch als bio-physikalische Wirkmodelle bezeichnet) die Veränderungen im Hinblick auf die Erträge im Futterbau und die Milchleistung simuliert. Die ermittelten Gras- und Maiserträge und die Milchleistung gehen in die einzelbetrieblichen Analysen ein, und der Betriebsgewinn wird unter den neuen Rahmenbedingungen berechnet. Schließlich wurden die Ergebnisse mit Milchviehaltern und Beratern aus drei der vier ausgewählten Regionen im Rahmen von Fokusgruppensitzungen eingeordnet. Im vorliegenden Beitrag sind jedoch die Ergebnisse dieser Diskussionsrunden zur Eingrenzung kein expliziter Teil. Stattdessen werden sie genutzt, um an verschiedenen Stellen einzelne Schlussfolgerungen zu unterstützen. In einem letzten Abschnitt wird auf die Bedeutung extremer Wetterereignisse näher eingegangen.

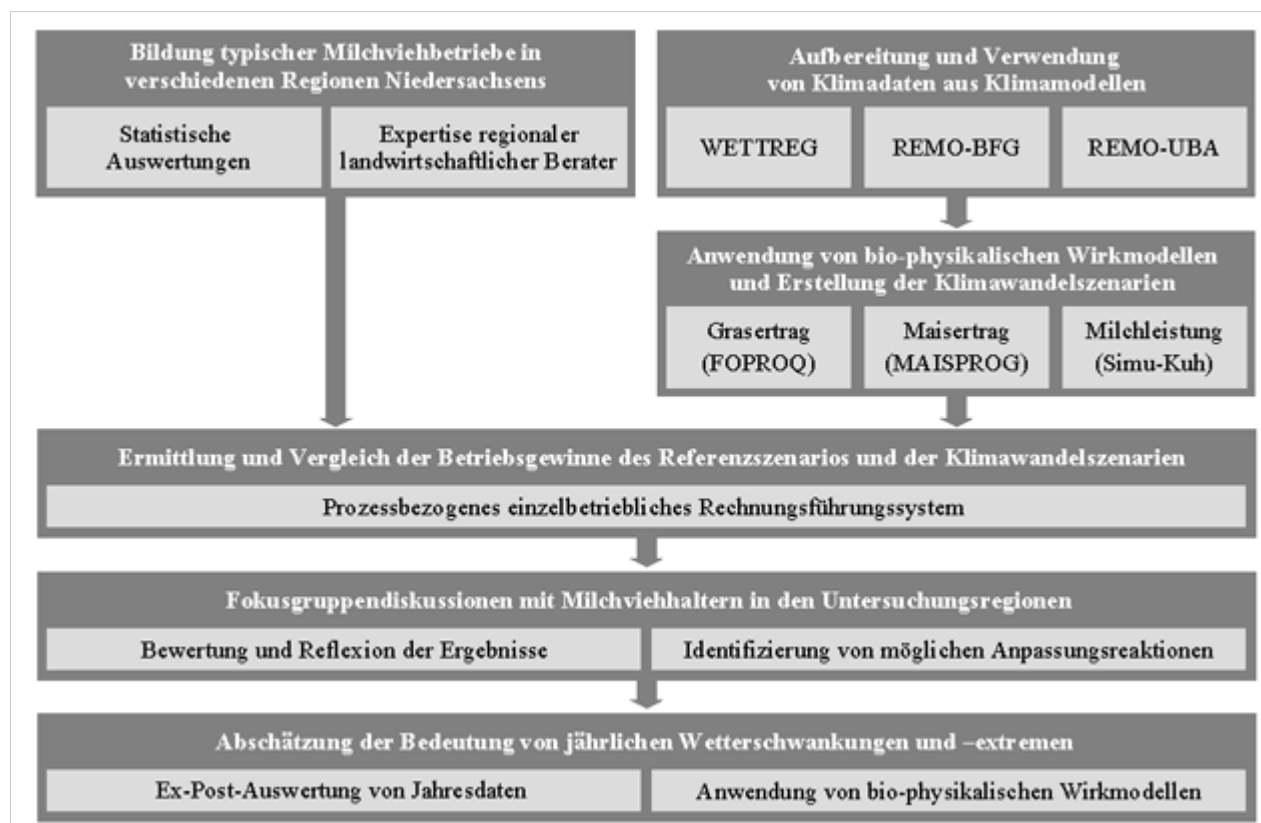


Abbildung 1: Methodische Vorgehensweise der Studie

Quelle: eigene Darstellung.

2 Methodik

Die in Abschnitt 1.2 skizzierte Vorgehensweise soll in diesem Kapitel näher beschrieben werden. Zum einen wird dargestellt, wie die der Analyse zugrundeliegenden typischen Betriebe gebildet werden. Zum anderen wird die Ermittlung des klimawandelbedingten veränderten Betriebsgewinns beschrieben und das dafür entwickelte Rechnungsführungssystem erläutert. Schließlich werden die in der Analyse verwendeten Klimadaten und bio-physikalischen Wirkmodelle vorgestellt. Hierbei wird auch auf die besonderen Herausforderungen im Hinblick auf die benötigten Daten eingegangen.

2.1 Bildung typischer Betriebe

Für die Bildung typischer Betriebe wurde Niedersachsen anhand der folgenden naturräumlichen und wirtschaftsgeografischen Variablen in sechs verschiedene Regionen der Milcherzeugung unterteilt (siehe Abbildung 2):

- Nutzbare Feldkapazität,
- Pachtpreisniveau für Acker- und Grünland aus dem Jahr 2003,
- Milchkühe je 100 Hektar (ha) landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) (2003),
- Milch in Kilogramm (kg) je 100 Hektar LF (2003),
- Veränderung der erzeugten Milchmenge in der Periode 1999 bis 2003 (jährliche Veränderungsrate) in Prozent und
- Anteil der Betriebe mit Herden größer 100 Milchkühe im Landkreis (größer oder kleiner 30 Prozent) (2003).

Hierbei ist zu anmerken, dass die Angaben zur Milcherzeugung und die Anzahl der Milchkühe aus den umfangreichen Daten des sogenannten Milchatlases aus dem Jahr 2004 stammen (25).

Die sechs Regionen sind in der Abbildung 2 dargestellt und werden bezeichnet als:

- Westlich der Weser (WW),
- Östlich der Weser (ÖW),
- Heide (HE),
- Südwestniedersachsen (SW),
- Südniedersachsen (SN) und
- Hildesheimer Börde (BÖ).

Da in der Hildesheimer Börde die Milchviehhaltung nur eine untergeordnete Bedeutung hat und die Region östlich der Weser jener westlich der Weser relativ ähnlich, lediglich etwas kleinstrukturierter ist, werden diese beiden Regionen zur Eingrenzung in der folgenden Analyse nicht weiter betrachtet.

Nach der Identifizierung von unterschiedlichen Milcherzeugungsregionen in Niedersachsen wurden mithilfe der Daten des Testbetriebsnetzes des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) jeweils Quantile für ausgewählte Variablen, wie beispielsweise "Herdengröße" oder "Dauergrünlandanteil", berechnet. Diese Angaben dienen dazu, die Charakteristika eines typischen Betriebes in den einzelnen Regionen möglichst genau zu ermitteln (9 und 33).

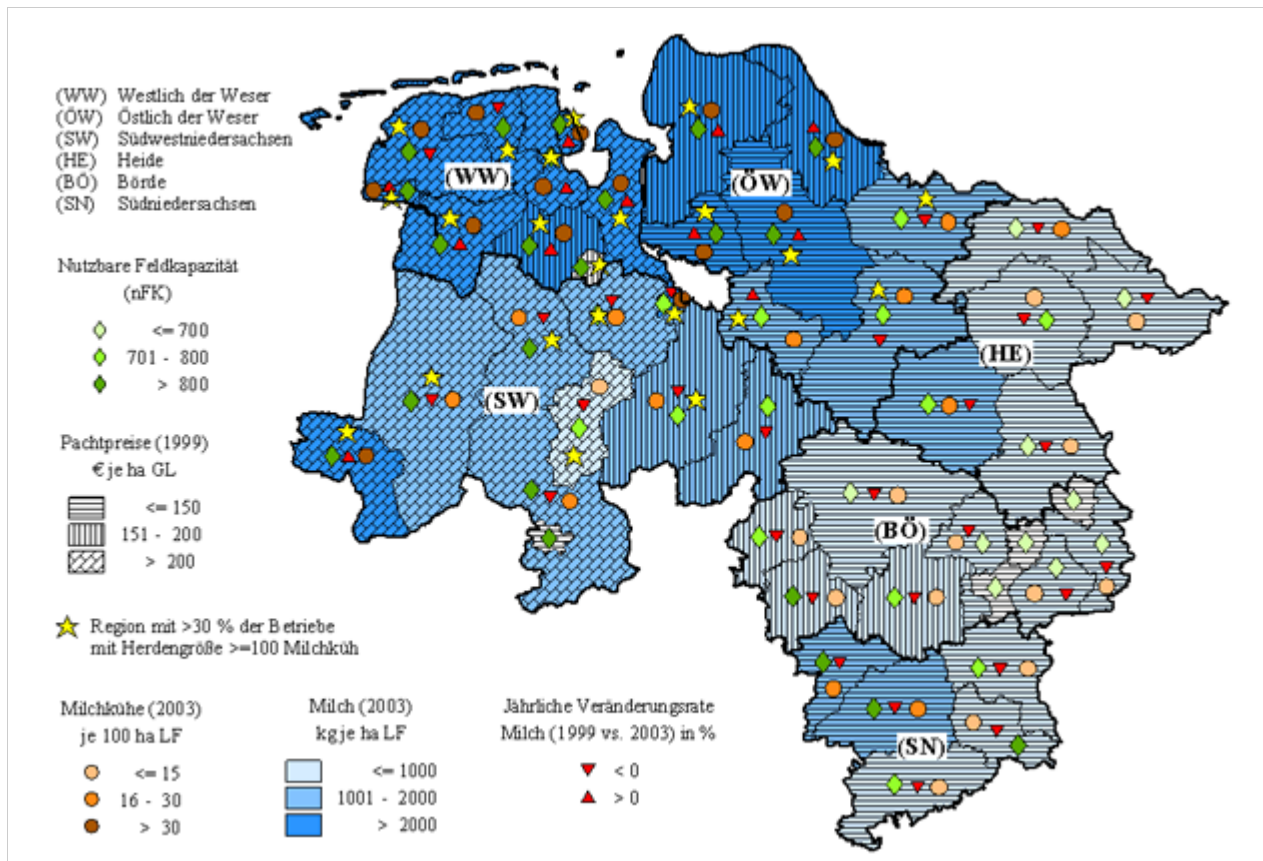


Abbildung 2: Darstellung der ermittelten Milcherzeugungsregionen in Niedersachsen

Quelle: (25, 24, 7); eigene Darstellung.

In den folgenden Analysen wurde die Annahme getroffen, dass größere Betriebe aufgrund des Strukturwandels eher zukunftsorientierte Betriebe widerspiegeln (10). Für die Definition der typischen Betriebe wurden daher nur die Daten der Betriebe betrachtet, deren Herdengröße über dem 0,50-Quantil liegt. Für diese Betriebe wurden anschließend die Variablen "Grünlandanteil an der LF" und "Maisanteil an der Ackerfläche" analysiert, wobei jeweils das 0,25- und 0,75-Quantil als Unter- und Obergrenze eines typischen Betriebs ermittelt wurden. Die Auswahl der beiden Variablen folgte der Überlegung, die typische Struktur und Wirtschaftsweise der Milchviehbetriebe zu erfassen. Bei weiteren Variablen beispielsweise zum Grad der Spezialisierung, wie zum Beispiel "Anteil des Einkommens aus dem Betriebszweig Milch", und dem Grad der Intensivierung, wie zum Beispiel "Großvieheinheiten je Hektar", waren die Milchviehbetriebe einer Region zu homogen, um die Quantilanalyse zu verwenden. Für die typischen Betriebe in den einzelnen Regionen ergeben sich die in der Tabelle 1 dargestellten Charakteristika.

Tabelle 1: Charakteristika von Milchviehbetrieben in den Untersuchungsregionen

Kriterien	Westlich der Weser (WW)	Südwestniedersachsen (SW)	Heide (HE)	Südniedersachsen (SN)
Gesamtstichprobe				
Herdengröße (Median)	67	33	37	41
Herdengröße 0,75-Quantil	84	59	66	67
Grünlandanteil an der LF in Prozent (Spanne des 0,25- bis 0,75-Quantil)	68 bis 90	19 bis 43	19 bis 38	21 bis 45
Milchviehbetriebe der Gesamtstichprobe oberhalb des Medians für das Kriterium "Herdengröße"				
Grünlandanteil an der LF in Prozent (Median)	82	30	26	33
Maisanteil an der Ackerfläche in Prozent (Spanne des 0,25- bis 0,75-Quantil)	70 bis 100	23 bis 59	10 bis 25	15 bis 25
Maisanteil an der Ackerfläche in Prozent (Median)	100	38	18	21

Quelle: eigene Berechnung anhand der Daten des BMELV-Testbetriebsnetzes.

In den ersten beiden Zeilen wird der Median oder das 0,75-Quantil der Gesamtstichprobe dargestellt. Dies bedeutet, dass beispielsweise in der Heide 50 Prozent der Betriebe über 37 Kühe haben.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurde versucht, vor Ort einen existierenden Betrieb zu finden, der den statistisch ermittelten Charakteristika weitestgehend entspricht und dessen Betriebsleiter sich zu einer Betriebserhebung bereit erklärt. Die auf diese Weise erhobenen Daten der Betriebe wurden in Zusammenarbeit mit einem landwirtschaftlichen Berater aus den jeweiligen Regionen überprüft. Dabei wurden auch besondere betriebsindividuelle Charakteristika, wie beispielsweise der Anbau einer Sonderkultur, eine bestimmte Bewässerungstechnik oder Ähnliches identifiziert. Derartige "untypische" Charakteristika wurden für die Bildung eines typischen Betriebes nicht berücksichtigt. Im Gegenzug wurden für die Region typische Mengenverhältnisse (zum Beispiel Anteile des Futterbaus am Ackerbau, Anteile Gras- und Maissilage in der Futtermischung) und Maschinenausstattungen dem typischen Betrieb zugeordnet. Einige wichtige Charakteristika der so erstellten typisierten Betriebe zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: Charakteristika der analysierten typischen Betriebe

Charakteristika	Westlich der Weser (WW)	Südwestniedersachsen (SW)	Heide (HE)	Südniedersachsen (SN)
Herdengröße (Tiere)	100	77	80	70
Größe der eigenen Aufzucht (Tiere)	117	90	75	65
Ackerland (in Hektar)	9	50	81	118
Maisanteil am Ackerland (in Prozent)	100	30	37	16
Grünland (in Hektar)	81	10	15	12
Grünlandanteil am Land (in Prozent)	90	17	16	9
Marktfrüchte	-	Weizen	Triticale	Weizen, Gerste, Raps

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung.

Die Tabelle macht deutlich, dass ein typischer Milchviehbetrieb nicht den Durchschnitt aller Milchviehbetriebe einer Region widerspiegelt. Letzteres würde dazu führen, dass der Milchviehbetrieb sehr komplex wäre und eine Vielzahl von Betriebszweigen aufweisen würde. Das Ziel der dargestellten Vorgehensweise ist es, einen typischen Milchviehbetrieb zu bilden, mit dem sich möglichst viele Milchviehhalter identifizieren können.

Interessanterweise weichen die am Ende ermittelten typischen Betriebe in ihren Charakteristika von jenen, die sich aus der deskriptiv-statistischen Analyse ergeben, mehr oder weniger stark ab. Ein wesentlicher Grund hierfür ist die Einschätzung der landwirtschaftlichen Beraterinnen und Berater. Sie ist geprägt von den Betrieben, die innerhalb einer Region betreut werden. Außerdem stellen diese Betriebe nur eine (nicht repräsentative) Stichprobe aller Betriebe einer Region dar. Abschließend ist anzumerken, dass Gespräche mit Landwirten in den Untersuchungsregionen eine hohe Übereinstimmung mit den ermittelten Charakteristika der typischen Betriebe ergaben.

2.2 Berechnung des Betriebsgewinns

Wie bereits im Kapitel 1.2 beschrieben, wurde eine prozesskostenorientierte Berechnung des Betriebsgewinns in Anlehnung an die *agri benchmark*-Vorgehensweise verwendet. Zu diesem Zweck wurde ein Rechnungsführungssystem in Microsoft Excel erarbeitet. Die Berechnung der ökonomischen Kenngrößen ist anhand eines Betriebszweiges in Tabelle 3 dargestellt und orientiert sich an den Schemata der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft e. V. (DLG) und des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (1,11).

Tabelle 3: Schema der verwendeten Betriebszweigabrechnung am Beispiel des Betriebszweiges Milch

	Pagatorisch	Kalkulatorisch
Leistung	Milch, Altkuh (Schlachtrind), Färsenkalb, Bullenkalb	
Direktkosten	Futtermittel (selbst erzeugt, zugekauft), Tierarzt, Klauenpflege und Medikamente, Besamung, Tierzukauf	Zinsen Umlaufvermögen/ Viehvermögen
Direktkostenfreie Leistung (Variable Maschinenkosten)	Diesel, Stromumlage	
Deckungsbeitrag (Fixe Maschinen- kosten)	Abschreibung, Erhaltung	Kalkulatorischer Zins
Direkt- und arbeitskostenfreie Leistung (Gebäude, bauliche Anlagen)	Abschreibung, Erhaltung	Kalkulatorischer Zins
Einzelkostenfreie Leistung (Gemeinkosten)	Bürokosten, Versicherungen, Verbandsbeiträge	
Kalkulatorischer Gewinnbeitrag (kalkulatorischer Lohnansatz, Familienarbeitskräfte)		Stundenlohn pro Familienarbeitskraft
Unternehmergewinn		

Quelle: eigene Erarbeitung und Darstellung.

Anmerkungen: Die Kosten für die Fläche, auf der Futtermittel für die Milchkühe erzeugt werden, gehen über die Futtermittel ein. Dienstleistungen gibt es im Acker- und Futterbau, jedoch nicht typischerweise im Tierbereich.

Die durchgeführten Betriebserhebungen dienen auch der Schätzung der Kosten für Lohnunternehmer, benötigter Arbeitskraftstunden pro Arbeitsprozess und der Menge der eingesetzten Betriebsmittel (zum Beispiel Düngemittel, Futtermittel) durch den Landwirt. Die Fixkosten der Maschinen und Anlagen wurden aufgeteilt nach ihrer Verwendung und Arbeitszeit, die Gebäudekosten nach ihrer Verwendung im Hinblick auf die einzelnen Produktionsverfahren. Abschreibungen erfolgten auf den Wiederbeschaffungswert, während der Energie- und Dieselverbrauch auf Daten des KTBL basiert (1). Die Bewertung der Arbeitskraftstunden erfolgte pauschal mit 15 Euro je Stunde. Der innerbetriebliche Austausch von Gütern erfolgte auf Grundlage der Vollkosten des jeweiligen Gutes. Dieses ist der Fall, wenn beispielsweise selbst erzeugte Triticale aus dem Ackerbau für die Fütterung des Milchviehs verwendet wird. Die Verteilung der Gemeinkosten sowie die Höhe des Zinsansatzes auf das eingesetzte Kapital sind beides häufig diskutierte Themen in der Betriebswirtschaft. Erstere orientierte sich an der Höhe der monetären Leistung der einzelnen Produktionsverfahren, letzterer wurde auf vier Prozent festgesetzt. Milchquoten wurden nicht bewertet, da sie in absehbarer Zeit keine Bedeutung mehr besitzen werden (Verordnung (EG) Nr. 72/2009, [2]). Direktzahlungen werden ebenfalls nicht in die Analyse einbezogen, da es sich hierbei um einen kosten- und gewinnneutralen Posten handelt.

Durch verschiedene Funktionen innerhalb des entwickelten Rechnungsführungssystems können die kalkulatorischen Kosten wahlweise mit berücksichtigt werden. Außerdem ist die Aggregation aller

Betriebszweigabrechnungen für eine gesamtbetriebliche Übersicht und die Ausweisung des Betriebsgewinns möglich. Der Betriebsgewinn entspricht dabei dem kalkulatorischen Gewinnbeitrag ohne kalkulatorische Kosten und wird im Folgenden als Kennzahl für den betrieblichen Erfolg verwendet.

2.3 Die Verwendung von Klimadaten und bio-physikalischen Wirkmodellen

Die Klimafolgenforschung befasst sich mit der Abschätzung der Folgen des Klimawandels für bestimmte Teilbereiche der Wirtschaft und Umwelt. Auf diesem Forschungsgebiet gibt es einige methodische Spezifika, die nachstehend kurz aufgeführt werden. Zunächst müssen immer Annahmen zur Entwicklung der Klimaveränderung getroffen werden. Diese Klimaprojektionen basieren wiederum auf den sogenannten SRES-Szenarien (Special Report on Emission Scenarios) zur Entwicklung der Weltwirtschaft und damit auch der Treibhausgasemissionen (20). Somit stellen Klimaprojektionen, die in komplexen Globalmodellen errechnet werden, lediglich mögliche Entwicklungen des Klimawandels entsprechend des gewählten SRES-Szenarios, nicht jedoch Prognosen oder Vorhersagen dar. Globale Projektionen sind aber zu ungenau, um auf regionaler Ebene, wie zum Beispiel Deutschland oder gar Niedersachsen, Aussagen zu den klimatischen Veränderungen im Zuge des Klimawandels zu treffen (35). Daher werden mithilfe regionaler Klimamodelle globale Klimaveränderungen auf die regionale Ebene skaliert. Hierfür stehen in Deutschland verschiedene Regionalmodelle mit verschiedenen Läufen zur Verfügung (ibid.).

Um die Unsicherheit der Modellergebnisse zu verringern, werden in der Klimafolgenforschung *lege artis* mehrere Modelle verwendet, sodass eine Ergebnisspanne entsteht. Im vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse aus den beiden regionalen Klimamodellen WETTREG und REMO verwendet (28, 21), die auf dem SRES-Szenario A1B basieren, einem Szenario durchschnittlicher und daher moderater Emissionsentwicklung. Für das regionale Klimamodell REMO werden die Ergebnisse aus dem Rechenlauf der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BFG-Rechenlauf) und aus dem Rechenlauf des Umweltbundesamtes (UBA-Rechenlauf) verwendet. Diese unterscheiden sich geringfügig in ihren Ausgangskonfigurationen. Es ist anzumerken, dass es sich bei WETTREG um ein statistisches Klimamodell und bei REMO um ein dynamisches Klimamodell handelt. Der Unterschied besteht im Wesentlichen darin, dass statistische Klimamodelle aus langjährigen Messreihen Beziehungen ableiten, während dynamische Klimamodelle direkt atmosphärische Rückkopplungsprozesse abbilden (35).

Die Klimamodelldaten der beiden REMO-Rechenläufe sind mithilfe real gemessener Wetterdaten um ihren "Bias" korrigiert, das heißt um ihren systematischen Fehler verbessert worden (29). Ein regionales Klimamodell, welches modellimmanent beispielsweise zu viele Niederschläge in einer bestimmten Jahreszeit darstellt, liefert durch die Bias-Korrektur Ergebnisse, die der Realität besser entsprechen, weil sie plausible, realistische Werte liefern. Auf derartige systematische Fehler reagieren die verwendeten bio-physikalische Wirkmodelle sehr anfällig, da sie natürliche Vorgänge simulieren und mit realen Wetterdaten konstruiert, kalibriert und validiert werden.

Im Hinblick auf die Verwendung von Klimadaten in bio-physikalischen Wirkmodellen ist zudem zu beachten, dass das Klima per Definition immer das durchschnittliche Wetter an einem bestimmten Ort über einen bestimmten Zeitraum, meist über 30 Jahre, ist (35). Der Fokus in der Klimamodellierung liegt daher weniger auf dem einzelnen Tag, Monat, der Jahreszeit oder dem Jahr, sondern vielmehr auf der korrekten Projektion eines Durchschnitts über mehrere Zeiteinheiten, oft Jahre. Die bio-physikalischen Prozesse und damit die Wirkmodelle funktionieren aber in der Regel gerade auf der Ebene von Tagen. Bias-korrigierte regionale Klimadaten eignen sich also auch deshalb besser für eine Anwendung in bio-physikalischen Wirkmodellen, weil sie plausible, realistische Tageswerte liefern (29).

Schließlich ist es wichtig, dass die von den Klimamodellen ausgegebenen Daten bezüglich ihrer Variablen und zeitlichen Aggregation mit den von den bio-physikalischen Wirkmodellen benötigten Daten harmonisieren. In der vorliegenden Studie wurde je ein dynamisches Modell zum Gras- und Maiswachstum (FOPROQ und MAISPROG, 17,18) sowie zur Physiologie der Milchkuh verwendet (Simu-Kuh, 36). Tabelle 4 zeigt die Variablen aus den Klimamodellen, die zur Verfügung standen, sowie die benötigten Daten in den Modellen. FOPROQ und MAISPROG benötigen beispielsweise dieselben Wettervariablen (17,18), während Simu-Kuh (36) den Hitzestress und die Milchleistungseinbußen über einen Temperatur-Feuchte-Index (THI) berechnet. Die drei genannten bio-physikalischen Wirkmodelle verwenden Daten auf Tagesbasis, welche aus den Ergebnissen der Klimamodelle vorliegen. Es wird deutlich, dass Simu-Kuh lediglich die Tagestemperatur und Tagesluftfeuchte aus den Klimamodellen benötigt. Für FOPROQ und MAISPROG sind es darüber hinaus noch die Globalstrahlung und die

potenzielle Evapotranspiration, während die relative Luftfeuchte keine Rolle spielt. Die drei Variablen "minimale Tagestemperatur", "mittlere Windstärke" und "Luftdruck" werden in keinem der verwendeten bio-physikalischen Wirkmodelle benötigt.

Tabelle 4: Kongruenz von Klimamodelldaten und Wetterparametern in den bio-physikalischen Wirkmodellen

Daten aus den Klimamodellen	FOPROQ	MAISPROG	Simu-Kuh
Durchschnittliche Tagestemperatur in Grad Celsius	ja	ja	ja
Durchschnittliche relative Tagesluftfeuchte in Prozent	nein	nein	ja
Tägliche Niederschlagssumme in Millimeter	ja	ja	nein
Globalstrahlung in Megajoule pro Quadratmeter pro Tag	ja	ja	nein
Potenzielle Evapotranspiration in Millimeter	ja	ja	nein
Minimale Tagestemperatur in Grad Celsius	nein	nein	nein
Mittlere Windstärke in Kilometer pro Stunde	nein	nein	nein
Luftdruck in Hektopascal	nein	nein	nein

Quelle: (36,17,18, 15), eigene Darstellung.

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Analyse dargestellt. Dafür werden zunächst das Referenzszenario und anschließend zwei Klimawandelszenarien für die Perioden 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 vorgestellt. Ersteres bildet den sogenannten Ist-Zustand ab, letztere zeigen zwei alternative Situationen, wie sie sich aus den in den Klimamodellen projizierten Veränderungen ergeben würden. Alle drei Szenarien basieren auf durchschnittlichen Klimadaten über einen Zeitraum von 30 Jahren. Die sich aus dem Klimawandel ergebenden Auswirkungen auf den Gewinn werden in einem weiteren Abschnitt dargestellt. Abschließend widmet sich dieses Kapitel der Bedeutung von Wetterextremen.

3.1 Das Referenzszenario 1971 bis 2000

Um die Projektionen aus den Klimamodellen und die sich daraus ergebenden Änderungen bewerten zu können, ist es notwendig, ein Referenzszenario zu entwickeln, welches die (Ist-)Situation unter den gegenwärtig vorherrschenden Klimabedingungen abbildet. Das Klima und die Erntemengen des Referenzszenarios basieren in der nachfolgenden Analyse auf dem durchschnittlichen Wetter und den durchschnittlichen Erntemengen im Zeitraum von 1971 bis zum Jahr 2000, das heißt, die modellierten Klima- und Erntedaten werden zu einem 30-Jahresdurchschnitt gemittelt. Jeder Tageswert des Referenzszenarios (zum Beispiel Niederschlagssumme oder geerntete Trockenmasse Grassilage) ist somit der arithmetische Mittelwert aller entsprechenden Tageswerte der Jahre von 1971 bis 2000. Mithilfe des Referenzszenarios können dann relative Veränderungen, zum Beispiel prozentualer Anstieg der Maiserträge oder Anstieg der Temperatur in Grad Celsius, in die Berechnungen der Klimawandelszenarien eingehen (siehe auch Kapitel 3.2). Diese prozentualen Veränderungen können dann den in den typischen Betrieben als aktuelle Erntemengen zugrunde gelegten Mais- und Graserträgen aufgeschlagen und der finanzielle Effekt berechnet werden.

Im Hinblick auf das Mengen- und Preisgerüst, das heißt beispielsweise Erträge im Futterbau, der Einsatz von

Betriebsmitteln sowie aller Input- und Outputpreise, werden für das Referenzszenario nicht die durchschnittlichen Werte aus einem Zeitraum von 30 Jahren berechnet. Zum einen liegen bestimmte Daten, beispielsweise Zukaufs- oder Verkaufspreise für Maissilage, über einen derart langen Zeitraum nicht vor. Zum anderen weichen derart gemittelte Werte teilweise deutlich von den derzeitigen ab, sodass sie für die Darstellung der Ist-Situation nur bedingt geeignet erschienen. Stattdessen wurde das zugrundeliegende Preisgerüst aus dem Durchschnitt der Jahre 2009 bis 2011 der Daten der Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH (AMI) berechnet (3). Dieser Zeitraum wurde bewusst gewählt, da das Jahr 2009 ein Jahr mit besonders niedrigen Milchpreisen und relativ hohen Produktionsmittelpreisen war, während sich dieses Verhältnis 2011 umkehrte. Die Tabelle 1 im Anhang zeigt das verwendete Preisgerüst.

Das Mengengerüst, das heißt die absoluten Erntemengen an Gras- und Maissilage, aber auch an Futtergetreide, sowie die Milchleistung, basiert auf aktuellen Zahlen aus Statistiken und wurde mit Landwirten und Beratern abgestimmt. Die Erntemengen sind in den Regionen aufgrund der unterschiedlichen Standortbedingungen verschieden. Das Mengengerüst wird aus Platzgründen nicht abgebildet, kann aber bei Interesse bei den Autoren erfragt werden.

Der Betriebsgewinn, der sich unter den getroffenen Annahmen für das Referenzszenario bildet, ist in Abbildung 3 aufgeführt. Durch die unterschiedliche Struktur und Größe der typischen Milchviehbetriebe ergeben sich teilweise große Unterschiede. Zudem wird in Abbildung 3 der Betriebsgewinn der typischen Betriebe nach den drei aggregierten Betriebszweigen Milchvieh, Futterbau und Ackerbau aufgeschlüsselt.

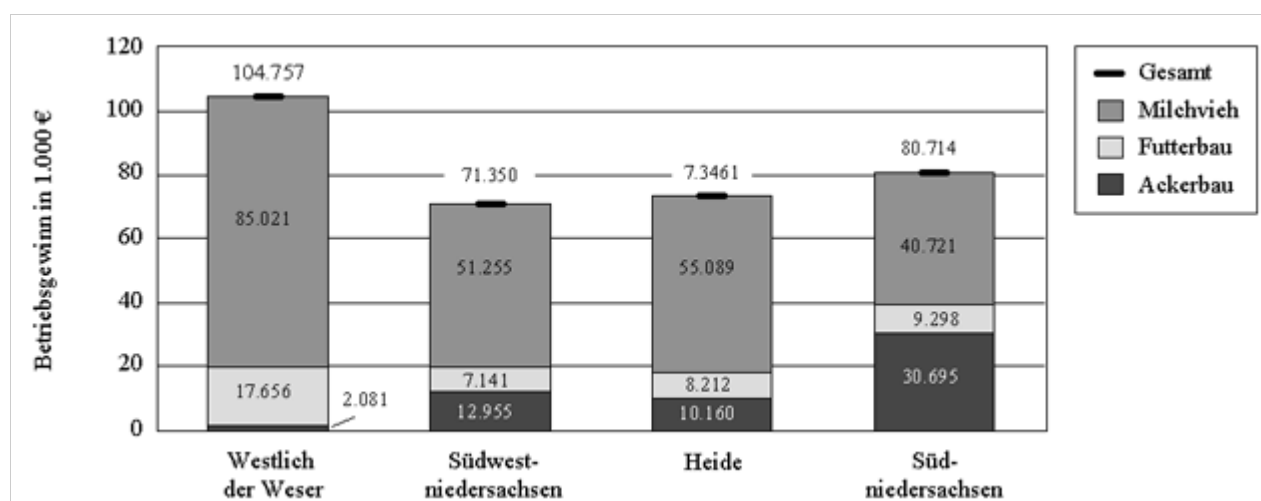


Abbildung 3: Betriebsgewinne der typischen Betriebe im Referenzszenario

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung.

Anmerkungen: Im Ackerbau ist auch der Anbau von Silomais enthalten. Der Futterbau setzt sich im Wesentlichen aus Grassilage und Weide zusammen. Im Milchvieh ist die eigene Aufzucht enthalten.

Der Schwerpunkt auf dem Betriebszweig Milcherzeugung ist bei allen vier typischen Betrieben klar erkennbar. Für den typischen Betrieb in Südniedersachsen ist ebenfalls der Ackerbau von großer Bedeutung. Der typische Betrieb "Westlich der Weser" fällt auf, da er durch die Herdengröße und der höchsten Rentabilität für den Betriebszweig Milchviehhaltung auch den höchsten Betriebsgewinn aufzeigt. Der Gewinn aus dem Ackerbau ist für alle typischen Milchviehbetriebe eher gering, außer für jenen im Südniedersachsen, weil er nur eine untergeordnete Rolle spielt.

3.2 Die Klimawandelszenarien 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100

Die beiden in der vorliegenden Analyse verwendeten Klimawandelszenarien beziehen sich auf die Jahre 2021 bis 2050 und die Jahre 2071 bis 2100. Auf diese Weise liegen jeweils 20 Jahre zwischen dem Referenzszenario und dem ersten Klimawandelszenario sowie zwischen beiden Klimawandelszenarien. Entsprechend den methodischen Vorgaben der Klima- und Klimafolgenforschung werden die modellierten Klimaszenarien 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 mit den jeweiligen modellierten Daten von 1971 bis 2000 desselben Klimamodells verglichen. Durch die

Verwendung der projizierten Klimadaten in den bio-physikalischen Wirkmodellen erhält man auch die modellierten Ertragsdaten für Mais- und Grassilage, sowie die modellierte Milchleistung für die drei Zeiträume. Indem die Ertrags- und Milchleistungsdaten der beiden Klimawandelszenarien mit den Ertrags- und Milchleistungsdaten des Referenzszenarios verglichen werden, ergeben sich ebenfalls die relativen Veränderungen in den Erträgen und der Milchleistung durch den Klimawandel.

In diesem Zusammenhang ist hervorzuheben, dass die Ergebnisse der bio-physikalischen Wirkmodelle und die daraus resultierenden Veränderungen im Betriebsgewinn für die beiden Klimawandelszenarien 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 keine exakten Projektionen der Realität in eben diesen Zukunftsabschnitten darstellen. So werden politische und marktwirtschaftliche Veränderung, der landwirtschaftliche Strukturwandel und der biologisch-technische Fortschritt nicht betrachtet. Vielmehr wird analysiert, welche Auswirkungen *ceteris paribus* die projizierten Klimaveränderungen auf einen heutigen Betrieb hätten, um deren Ausmaße getrennt von anderen Einflussfaktoren beziehungsweise Entwicklungen abzuschätzen.

Die Ergebnisse aus den beiden bio-physikalischen Wirkmodellen werden, wie beschrieben, in relative Änderungen umgerechnet, sodass der prozentuale Mehr- oder Minderertrag im Vergleich zum Referenzszenario direkt erfasst werden kann. Außer den Klimadaten verlangen FOPROQ und MAISPROG verschiedene Angaben zur Bodengüte, zum Düngemanagement und zur Schnitthäufigkeit. Während im vorliegenden Beitrag angenommen wird, dass das Düngemanagement (Anzahl und Menge der Nährstoffgaben) und die Schnitthäufigkeit (vier Schnitte) in allen Untersuchungsregionen und für alle Szenarien identisch sind, musste für die Regionen jeweils eine pauschale Bodengütekategorie angesetzt werden. Die Marschböden westlich der Weser wurden als "schwer", die Böden in Südwestniedersachsen und der Heide als "leicht" und die sehr heterogenen Böden der Region Südniedersachsen als "mittel" eingestuft.

Abbildung 4 zeigt die durchschnittlichen projizierten Veränderungen des Grasertrages (Primärachse) gemäß dem Graswachstumsmodell FOPROQ (17) als Durchschnitt der Ergebnisse aus den verwendeten Klimamodellen. Die Ergebnisse für die einzelnen Klimamodelle (REMO-BFG, REMO-UBA, WETTREG) sind in der Tabelle 2 im Anhang tabellarisch aufgeführt. In der Abbildung 4 wird sowohl die Veränderung des gesamten Grasertrages als auch die prozentuale Veränderung des Grasertrages für jeden einzelnen Schnitt im Vergleich zu den entsprechenden Erträgen des Referenzszenarios dargestellt. Von der von den Klimamodellen projizierten Verlängerung der Vegetationsperiode profitiert in allen vier Regionen vor allem der vierte Schnitt. Der erste Schnitt zeigt ebenfalls in beiden Klimawandelszenarien Mehrerträge, wenn auch wesentlich geringer als der vierte. Für den zweiten und dritten Schnitt werden von FOPROQ für alle Untersuchungsregionen und beide Klimawandelszenarien fast ausschließlich geringere Graserträge modelliert. Die Ursache hierfür sind im Wesentlichen die von den Klimamodellen projizierten trockeneren Sommer, die negative Auswirkungen für die Entwicklung des Grasaufwuchses haben. Insgesamt gleichen die negativen Tendenzen bei den Schnitten zwei und drei die positiven Signale fast immer aus und die Veränderung der Gesamtmenge geht gegen null. In diesem Zusammenhang ist allerdings anzumerken, dass der vierte Schnitt von der Qualität her meist weniger wertvoll ist und sich normalerweise nicht für eine Verfütterung an das Milchvieh eignet. Die Mehrerträge müssen daher mit Vorsicht interpretiert werden. Abschließend ist anzumerken, dass das Klimamodell WETTREG den Grasertrag im ersten Schnitt deutlich höher für die beiden Klimawandelszenarien ausweist als die beiden Rechenläufe des Klimamodells REMO (siehe Tabelle 2 im Anhang). Diese Differenz ist vermutlich auf die Unterschiede in den Niederschlagsprojektionen zwischen den beiden Modellen zurückzuführen.

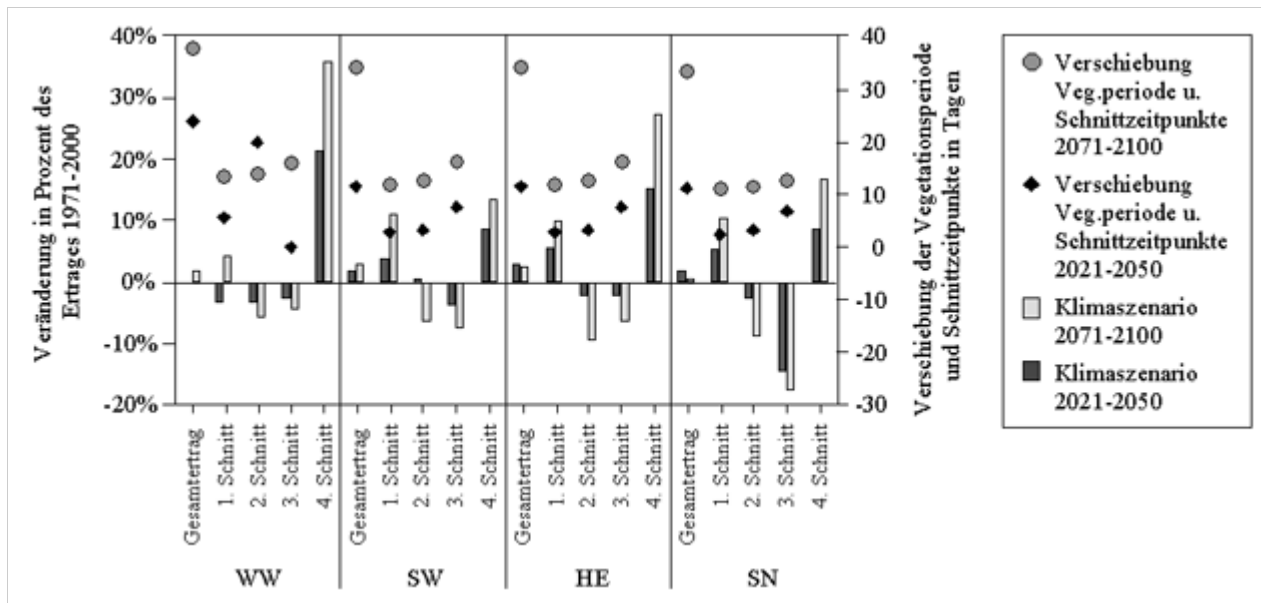


Abbildung 4: Projektion der zukünftigen relativen Entwicklung der Graserträge nach FOPROQ im Durchschnitt der drei Klimamodellläufe REMO-BFG, REMO-UBA, WETTREG

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung.

Anmerkungen: Die dargestellten Veränderungen des Grasertrages sind das arithmetische Mittel der Veränderungen. Der Schnittzeitpunkt des vierten Schnittes wird aus technischen Gründen modellendogen festgelegt und hat damit immer das gleiche Datum.

Generell führen die projizierten Klimaänderungen zu einem früheren Vegetationsbeginn, sodass sich auch die Schnittzeitpunkte verschieben und früher sind. Die Sekundärachse der Abbildung 4 gibt die Anzahl der Tage an, um die sich der jeweilige Schnitt im jeweiligen Szenario den Projektionen zufolge nach vorn verschiebt, das heißt verfrüht. Auch die Verstärkung des in 2021 bis 2050 erkennbaren Trends im späteren Szenario 2071 bis 2100 ist allen drei Klimamodellläufen gemeinsam und zeigt sich somit eindeutig auch im dargestellten Durchschnitt.

Die Abbildung 5 zeigt die projizierte Entwicklung der Maiserträge, ebenfalls als Durchschnitt der Ergebnisse aus den verwendeten Klimamodellen, gemäß dem Modell MAISPROG (18). Durch die bereits erwähnte Verlängerung der Vegetationsperiode wird die Nutzung mittelfrüher und mittelspäter Maissorten attraktiver. Die aktuell in Niedersachsen angebauten frühen Maissorten erreichen nach den Modellberechnungen in den Klimawandelszenarien nur noch geringere Erträge, während die Abreife mittelfrüher und mittelspäter Sorten mit entsprechend höheren Erträgen nun möglich ist. Relativ ist der Zuwachs in der Region "Westlich der Weser" am höchsten, da durch die natürlicherweise kühleren klimatischen Bedingungen an der Küste selbst frühe Maissorten bisher noch keine optimalen Wachstumsbedingungen vorfanden. Im Hinblick auf die einzelnen Ergebnisse der verschiedenen Klimamodelle und Rechenläufe zeigen sich teilweise deutliche Unterschiede. Die Tabelle 3 im Anhang weist die einzelnen Ergebnisse aus. So zeigen sich beispielsweise bei den beiden Rechenläufen des Klimamodells REMO teilweise bedeutende Zuwächse in den Erntemengen von über 30 Prozent. Allen drei Klimamodellläufen ist gemeinsam, dass das spätere Szenario 2071 bis 2100 meist geringere Maiserträge aufweist als das Szenario 2021 bis 2050. Das Temperatur- oder Niederschlagsoptimum für die hier angenommenen Maissorten wird durch die Veränderungen im Klima vermutlich bereits überschritten oder unterschritten.

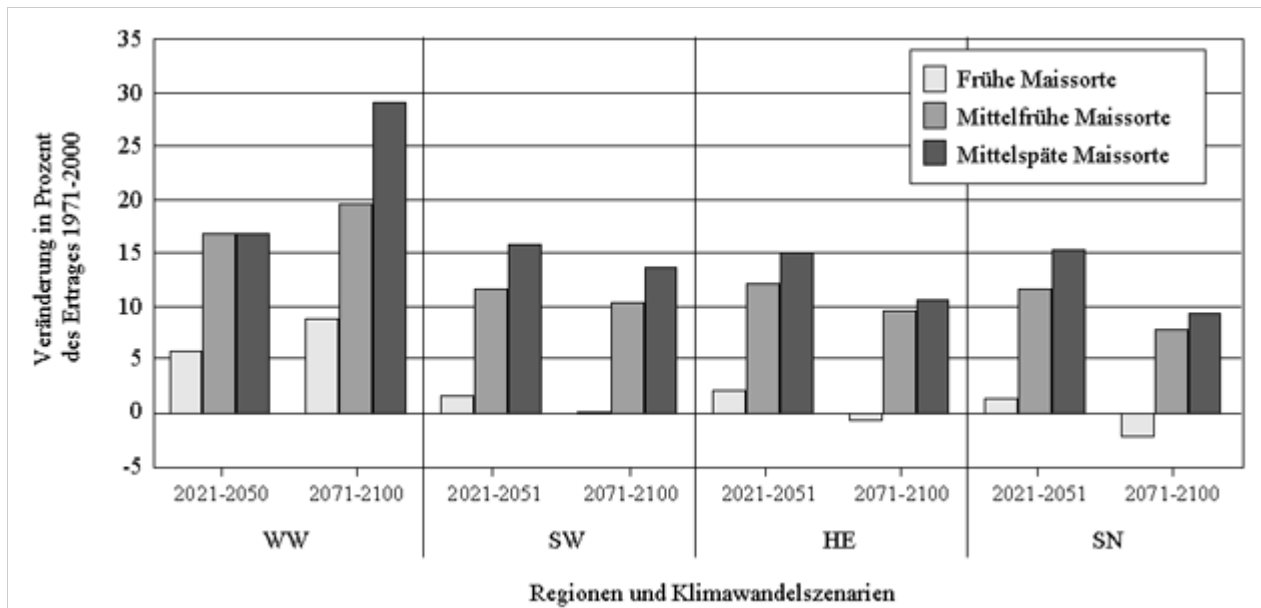


Abbildung 5: Projektion der zukünftigen relativen Entwicklung der Maiserträge nach dem bio-physikalischen Wirkmodell MAISPROG im Durchschnitt der drei Klimamodellläufe REMO-BFG, REMO-UBA, WETTREG
Quelle: eigene Berechnung und Darstellung.

Eine Einschränkung besitzen die Ergebnisse der Modelle FOPROQ und MAISPROG in der Hinsicht, dass sie nicht den bereits bekannten positiven Effekt des vermehrten CO₂-Gehalts der Luft (34, 13) berücksichtigen. Dieser Effekt hat in Einzelversuchen im Grünland Wachstumshemmnisse durch fehlende Niederschläge häufig ausgeglichen und teilweise sogar übertroffen (22). Eine gewisse Unterschätzung im Hinblick auf den ausgewiesenen Grasertrag ist daher denkbar. Jedoch ist den Autoren kein bio-physikalisches Wirkmodell bekannt, welches den CO₂-Effekt integriert.

Die Berechnung der Milchleistungseinbußen durch Hitzestress erfolgt mit dem Modell Simu-Kuh (36). Simu-Kuh ist ein gewinnoptimierendes Betriebsmodell, welches sowohl für einzelne Kühe als auch für ganze Herden nicht nur die Auswirkungen unterschiedlicher klimatischer Bedingungen abbildet, sondern beispielsweise auch die Auswirkungen alternativer Futterrationen oder eines veränderten Gesundheitszustands. Die zusätzlich zu den Klimadaten benötigten Daten für das Modell Simu-Kuh sind das Körpergewicht, der Body-Condition-Score (eine Beurteilung der körperlichen Verfassung von Tieren, BCS), die Laktationsnummer, die Futterration (Grund- und Kraftfutter; Verfütterung als totale Mischration oder Vorlage von Einzelkomponenten), der Gesundheitszustand (zum Beispiel Lahmheit, Mastitis), die Milchleistung (in Kilogramm pro Laktation) und der Verlauf der Laktationsfunktion (flach, mittel, steil). Außerdem muss bei der Modellierung eine Funktion zur Errechnung der Futteraufnahme sowie eine Funktion zur Errechnung des Temperatur-Feuchte-Index (THI) ausgewählt werden, da es hier in der Literatur und entsprechend in Simu-Kuh mehrere Varianten gibt (siehe auch 36). Tatsächlich sinken bei Hitzestress zunächst die Futteraufnahme und darauffolgend dann die Milchleistung. Eine Einsparung bei der Fütterung aufgrund der reduzierten Futteraufnahme wird zwar durch Simu-Kuh berechnet, in der vorliegenden Analyse jedoch nicht betrachtet. Zum einen ist dieser "Einspareffekt" vergleichsweise gering und zum anderen ist zu erwarten, dass die Anpassungsreaktion des Landwirtes im Hinblick auf die Futtervorlage, wenn überhaupt, nur mit einer zeitlichen Verzögerung geschieht. In der Abbildung 6 ist der Anstieg des Milchverlusts durch Hitzestress im Durchschnitt aller drei Klimawandelszenarien im Vergleich zum Referenzszenario dargestellt. Die Verlustmengen sind mit 0,1 bis 0,4 Prozent in Bezug auf die Gesamtlaktation sehr gering.

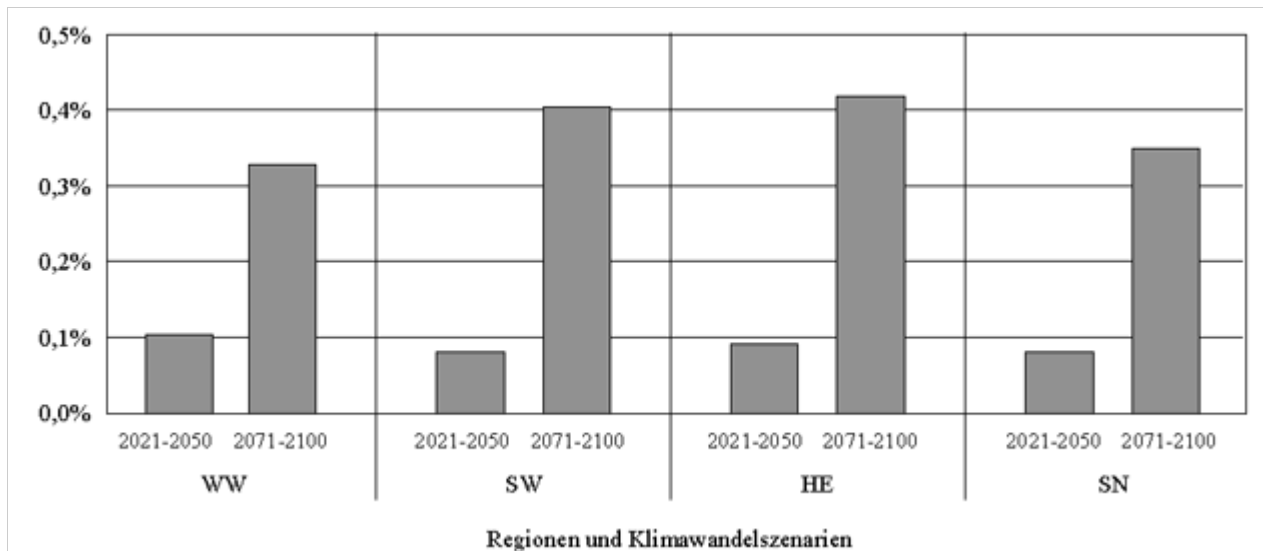


Abbildung 6: Milchleistungseinbußen durch Hitzestress in Prozent der Gesamtmilchleistung des Referenzszenarios

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung.

Den vorliegenden Berechnungen liegt die Annahme zugrunde, dass die Milchkühe im Schatten stehen, aber den Temperaturen und der Luftfeuchte ohne Kühlung durch natürliche oder künstliche Luftbewegung oder anderen Möglichkeiten der Kühlung ausgesetzt sind. Auch wird hier eine gesunde Kuh in der 2. Laktation und im Durchschnitt ihrer Tagesleistung angenommen. In der Realität spielen der Kalbetermin und damit der Abschnitt der Laktationskurve, in welchem sich die Milchkuh befindet, sowie ihr allgemeiner Fütterungs- und Gesundheitszustand eine bedeutende Rolle (36). Hitzestress in den ersten Tagen und Wochen nach der Kalbung sowie während der Laktationsspitze kann eine deutlich negativere Wirkung hervorrufen. Empfindliche Tiere können dann schnell kreislaufbedingte Erkrankungen erleiden, während der Rest der Herde den Hitzestress tolerieren kann. Dieses Phänomen haben die Milcherzeuger in allen Untersuchungsregionen, auch in der sehr "windreichen" Region "Westlich der Weser", während der durchgeführten Fokusgruppendifkussionen geschildert.

3.3 Auswirkungen auf den Betriebsgewinn

Um von den bio-physikalischen Modellergebnissen zu deren Bedeutung für den Betriebsgewinn zu gelangen, müssen eine Reihe weiterer Annahmen getroffen werden. Die wirtschaftlichen Folgen des hitzestressbedingten Milchverlustes lassen sich dabei noch relativ leicht über eine entsprechende Minderung der Milcherlöse berechnen. Allerdings können geringere (höhere) Gras- oder Maiserträge je nach Anpassungsreaktion unterschiedlich bewertet werden. So sind in diesem Fall prinzipiell drei Anpassungsmöglichkeiten denkbar: Der landwirtschaftliche Betrieb kann

- Grundfutter zukaufen (verkaufen),
- die Milchviehherde verkleinern (vergrößern) oder
- mehr (weniger) Fläche dem Gras- oder Maisanbau widmen.

Letzteres ließe sich in der Regel allerdings nur mittelfristig umsetzen. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gras- und Maiserträge immer eine Anpassungsreaktion des Landwirts erfordert.

Angesichts der Größenordnungen in denen sich die Veränderungen bei den Gras- und Maiserträgen bewegen, sind die letzten beiden Anpassungsmöglichkeiten als eher unwahrscheinlich einzuschätzen. Diese Überlegung ist mit den Aussagen der Milcherzeuger in den Fokusgruppendifkussionen konform. So war eine generelle Aussage

in allen vier Untersuchungsregionen, dass ein Aufstocken der Milchviehherde nicht ohne Weiteres möglich sei. Hierfür wären aufwändige Baumaßnahmen notwendig, da die Ställe bereits gegenwärtig maximal ausgelastet sind. Zudem ließe sich eine Aufstockung aufgrund der knappen Flächenverfügbarkeit nur schwer realisieren. Ferner sei Maissilage grundsätzlich ein begehrtes Gut, so eine Grundaussage in den Fokusgruppendifkussionen. Beispielsweise ist Maissilage in der Region "Westlich der Weser" ein knappes Grundfutter zur Mischung mit Grassilage und in den Regionen Südwestniedersachsen und Heide als Substrat und Grundfutter für Biogasanlagen und flächenknappe Milchviehbetriebe begehrt. Daher wurde eine Flächeneinschränkung beim Mais als eher unwahrscheinlich erachtet. Lediglich im ackerbaulich geprägten Südniedersachsen erwogen die an der Fokusgruppendifkussion teilnehmenden Milchviehhalter eine Einschränkung des Maisanbaus, um den Anbau von Marktfrüchten auszudehnen. Allerdings betonten die südniedersächsischen Milchviehhalter auch, dass der Anbau von Mais für den Verkauf an Biogasanlagen durchaus profitabel sei. Eine Herdenvergrößerung hingegen sei auch jetzt schon möglich durch die meist großzügige Flächenausstattung der Betriebe und durch vergleichsweise einfache Stallbaugenehmigungsverfahren.

Die Abbildung 7 stellt zum einen den absoluten Betriebsgewinn des Referenzszenarios den beiden Betriebsgewinnen der Klimawandelszenarien gegenüber. Zum anderen ist die relative Änderung des Betriebsgewinns in den beiden Klimawandelszenarien im Vergleich zum Referenzszenario aufgeführt. Dabei werden der Milchverlust über die geringeren Milcherlöse sowie die höheren oder geringeren Gras- und Maiserträge über den Ver- oder Zukauf der entsprechenden Grundfuttermengen bewertet. Die Preisannahmen basieren auf den in der Tabelle 1 des Anhangs aufgelisteten Preisen.

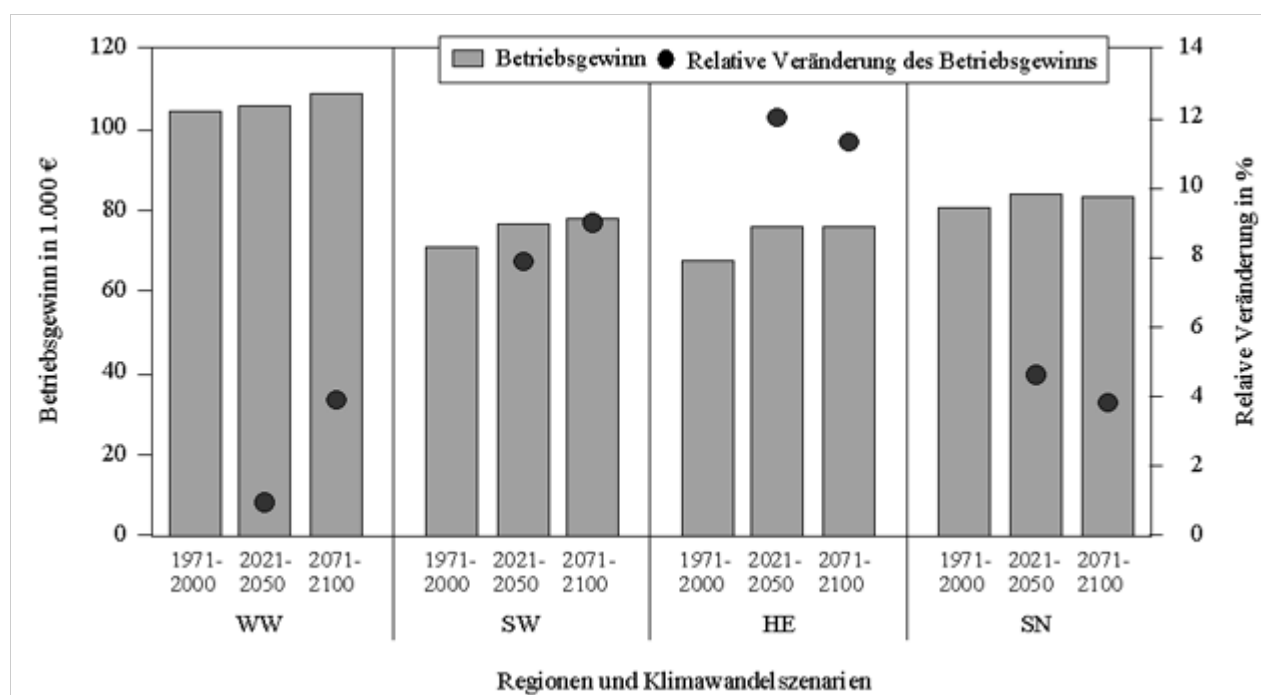


Abbildung 7: Absolute und relative Veränderung des Betriebsgewinns im Durchschnitt der drei Klimamodelle. **Quelle:** eigene Berechnung und Darstellung.

Auffallend ist, dass der typische Betrieb in der Heide prozentual die höchste Gewinnsteigerung in den beiden Klimawandelszenarien hat, gefolgt vom südwestniedersächsischen Betrieb. Beide Betriebe profitieren von relativ günstigen Lohnunternehmerkosten und erzielen mit einem Maissilagepreis von 31 Euro je Tonne und darunter liegenden Vollkosten (27 bis 29 Euro pro Tonne) eine positive Gewinnspanne. Dies trifft zwar auch für den südwestniedersächsischen Betrieb zu, aber hier werden auch relativ zur Gesamtbetriebsfläche bedeutend weniger Hektar mit Mais bebaut. Für den typischen Betrieb "Westlich der Weser" liegen die Vollkosten auch bei steigenden Maisernten noch über dem Handelspreis für Maissilage.

Das Ergebnis ist trotzdem erstaunlich, da grundsätzlich davon auszugehen ist, dass der Klimawandel zu Trockenheit und Wasserknappheit führt, vor allem in den Regionen mit leichten Böden. Tatsächlich wird in den

Klimamodellen ein Niederschlagsrückgang nur im Sommer projiziert. In allen anderen Jahreszeiten projizieren die Modelle eine Steigerung der Niederschlagsmenge. Offensichtlich erreicht die sommerliche Regenabnahme nicht das Ausmaß, um den Mais in seiner Entwicklung zu behindern.

Die Effekte der hier untersuchten Einflüsse auf den Betriebsgewinn verdeutlicht die Abbildung 8. Dabei ist auffällig, dass der höhere Maisertrag maßgeblich für die positive Veränderung des Betriebsgewinns verantwortlich ist. Ohne Berücksichtigung der Effekte im Hinblick auf den Maisertrag würde die vorliegende Analyse teilweise zu negativen Veränderungen des Betriebsgewinns kommen.

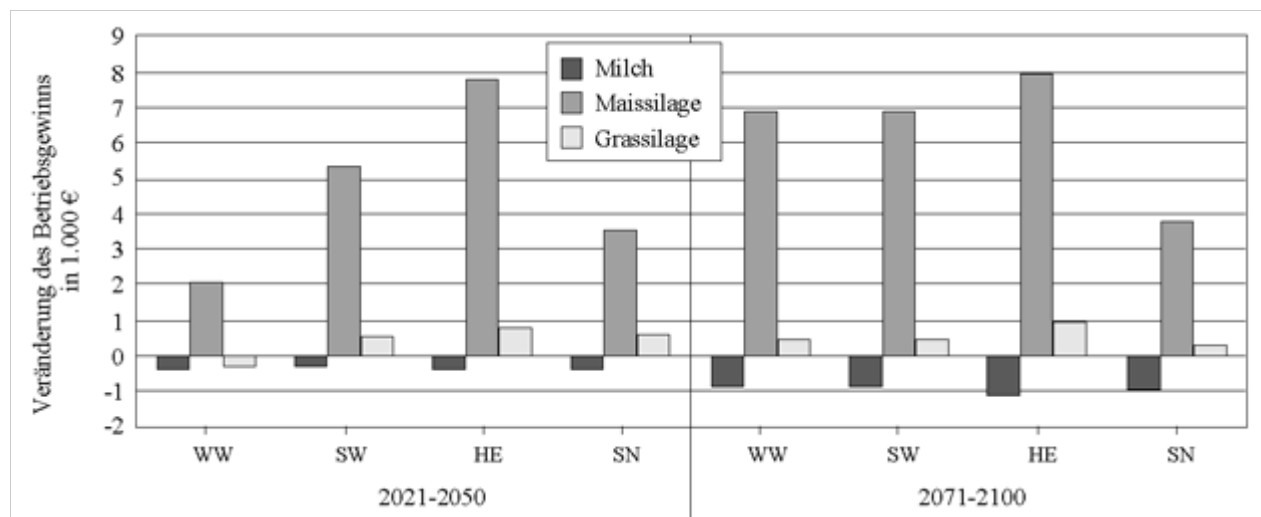


Abbildung 8: Veränderung des Betriebsgewinns im Durchschnitt der drei Klimamodelle, aufgegliedert nach den unterschiedlichen Effekten des Gras- und Maisertrags sowie des hitzestressbedingten Milchverlusts

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass die Annahme eines identischen Preisgerüsts der Realität so nicht standhalten würde. Es ist davon auszugehen, dass als Folge deutlich höherer Maiserträge die Preise für Mais absinken würden. Um diesen Effekt näher zu untersuchen, wurden mit Hilfe des komparativ-statischen Agrarsektormodells FARMIS Berechnungen durchgeführt (6). Sie zeigen, dass unter der vereinfachenden Annahme eines 25-prozentigen Preisrückgangs bei einer 25-prozentigen Steigerung des Maisertrages die entsprechenden Zunahmen im Betriebsgewinn zwar wesentlich moderater ausfallen, aber immer noch höher liegen als der Betriebsgewinn im Referenzszenario.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass ein nordwestdeutscher Milchviehbetrieb grundsätzlich vom Klimawandel profitiert. Diese Ergebnisse basieren auf dem Vergleich zweier 30-Jahresdurchschnitte mit einem 30-Jahresdurchschnitt, der entsprechend als Referenzszenario gilt. In der Realität ist der Milchviehbetrieb jedoch alljährlich schwankenden Wetterbedingungen ausgesetzt. Obendrein warnen Klimaforscher vor zunehmenden Wetterextremen, die jedoch in den Klimamodellen nicht oder nur sehr unsicher projiziert werden (35). Tatsächlich gibt es noch vergleichsweise wenige quantitative Aussagen aus dem Bereich der Klimaforschung zu möglichen zukünftigen extremen Wetterereignissen. Trotzdem soll im folgenden Kapitel auf deren mögliche Auswirkungen, wie beispielsweise Dürren, etwas näher eingegangen werden.

3.4 Jährliche Schwankungen und extreme Wetterereignisse

Extreme Wetterereignisse können in einzelnen Jahren signifikante negative Auswirkungen auf den Betriebsgewinn haben, die bei einer Betrachtung von langjährigen Durchschnitten unbeobachtet bleiben beziehungsweise "geglättet" werden. Jedoch wird in Klimamodellen in der Regel darauf hingewiesen, dass vor allem Regionalmodelle keinerlei Projektionen zur Variabilität des Wetters enthalten oder diese zumindest sehr unsicher sind (35, 5).

Alternativ soll daher in der vorliegenden Analyse die Bedeutung von extremen Wetterereignissen für den Betriebsgewinn auf der Basis von gemessenen Klima- oder Wetterdaten und Wetterextremen der Vergangenheit untersucht werden. Letztere Daten sind für alle vier niedersächsischen Untersuchungsregionen für den Zeitraum

von 1961 bis zum Jahr 2010 verfügbar. Unter Verwendung dieser Daten und mit Hilfe der bio-physikalischen Wirkmodelle wurden die Gras- und Maiserträge sowie die wetterbedingten Milchverluste abgebildet. Die Schwankungen in den Erträgen beziehungsweise in den Milchverlusten zeigt der Variationskoeffizient in der Tabelle 5. Dabei werden teilweise erhebliche Unterschiede zwischen den Untersuchungsregionen deutlich. Auffällig sind die hohen Werte im Hinblick auf die Schwankungen des Maisertrags in den Untersuchungsregionen "Südwestniedersachsen" und vor allem der "Heide".

Sie weisen darauf hin, dass es in diesen Regionen bei ausbleibenden Niederschlägen eher zu Trockenstress für die Pflanzen kommt, da hier leichte Böden vorherrschen. Auch die Schwankungen in den Milchverlusten sind in der Heide am größten. Eine Erklärung könnten verhältnismäßig stabile Wetterlagen sein, sodass es längere Hitzestressperioden ohne abkühlende Zwischenphasen gibt.

Tabelle 5: Variationskoeffizienten der Mais- und Graserträge sowie der Milchverluste auf der Basis der Wetterdaten für den Zeitraum 1961 bis 2010 in Prozent

	Westlich der Weser (WW)	Südwestniedersachsen (SW)	Heide (HE)	Südniedersachsen (SN)
Maisertrag	6,4	17,5	18,5	13,4
Grasertrag	10,6	11,9	12,5	10,9
Milchverlust	13,4	11,1	17,1	9,1

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung.

Neben den Schwankungen in den Erträgen oder Verlusten stellt sich die Frage nach den Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf den Betriebsgewinn. Zu deren Beantwortung sollen im Folgenden am Beispiel der Untersuchungsregion Heide analysiert werden, welche Spanne der Betriebsgewinn in den Jahren mit dem "besten" und dem "schlechtesten" Wetter aufweist. Der Einfachheit halber wurde für den Zeitraum der Jahre 1961 bis 2010 in der Region Heide das Jahr mit dem niedrigsten (1976) und dem höchsten (1967) Maisertrag ermittelt. Der Fokus auf Mais ist damit zu begründen, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf den Maisertrag einen deutlich größeren Einfluss auf den Betriebsgewinn haben als jene Auswirkungen auf den Grasertrag oder die Milchverluste (Abbildung 8). Es sei hier der Vollständigkeit halber erwähnt, dass die Mais- und Graserträge positiv miteinander korreliert sind, jedoch in keiner Beziehung zu den hitzebedingten Milchverlusten stehen. Folglich stellen die beiden ausgewählten Jahre im Hinblick auf die Mais- und Graserträge außergewöhnliche Jahre dar, im Hinblick auf den hitzebedingten Milchverlust jedoch nicht zwangsläufig.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden die prozentualen Abweichungen des Mais- und Grasertrages sowie des Milchverlustes in den beiden "extremen Jahren" (1976 und 1967) vom Mittelwert über die gesamten Jahre berechnet. In dem Jahr mit den für den Maisaufwuchs besten Wetterbedingungen liegt der Ertrag 33 Prozent über dem Mittelwert, im Jahr mit den schlechtesten Wetterbedingungen hingegen 41 Prozent unter dem Mittelwert.

Tabelle 6: Prozentuale Abweichung des Grasertrages und Maisertrages sowie der Milchverluste in Jahren mit extremen Wetterereignissen im Vergleich zum Durchschnitt der Jahre 1971 bis 2010 in der Beispielregion Heide (in Prozent)

	Grasertrag	Maisertrag	Milchleistung
1976 (extrem schlechte Wetterbedingungen bezogen im Hinblick auf den Maisertrag)	-34,0	-41,0	-1,1
1967 (extrem gute Wetterbedingungen bezogen im Hinblick auf den Maisertrag)	+18,0	+33,0	-1,0

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung.

Unter der sehr vorsichtigen Annahme, dass die in der Tabelle 6 dargestellten Abweichungen einzelner extremer Jahre so auch in den Klimawandelszenarien auftreten, würden sich bereits deutliche Schwankungen des Betriebsgewinns ergeben. In der Abbildung 9 sind dem Betriebsgewinn des Referenzszenarios die Betriebsgewinne der beiden Klimawandelszenarien gegenübergestellt. Zusätzlich sind die Betriebsgewinne ausgewiesen, die sich für ein extrem gutes und ein extrem schlechtes Jahr ergeben würden. Die Abbildung zeigt zum einen, welchen starken Einfluss die Wetterbedingungen einzelner Jahre auf den jeweiligen Betriebsgewinn haben können. Zum anderen erlaubt die Abbildung eine bessere Einordnung der Ergebnisse der vorangegangenen Abschnitte.

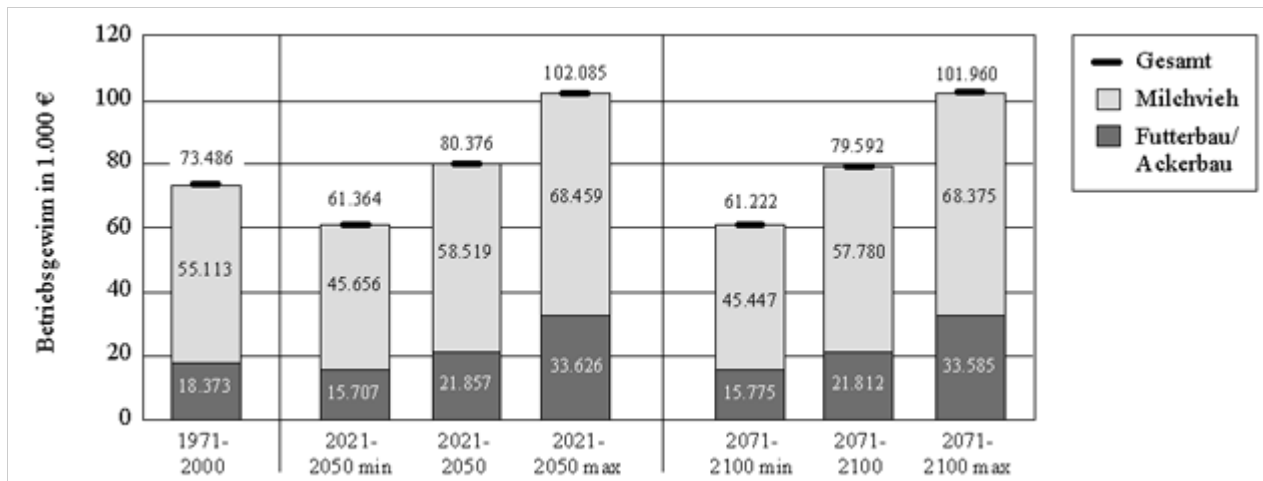


Abbildung 9: Veränderung des Betriebsgewinns durch den Klimawandel und in Jahren mit möglichen Wetterextremen für die Region Heide in den beiden Klimawandelszenarien

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellungen.

Anmerkungen: Biologischer-technischer Fortschritt ist in den Berechnungen nicht berücksichtigt, da der Fokus auf dem Einfluss von extremen Wetterereignissen auf den Betriebsgewinn liegt.

So sind die Auswirkungen des Klimawandels, wenn sie für einen Durchschnitt von 30 Jahren ermittelt werden, auf den Betriebsgewinn vergleichsweise gering im Vergleich zu den Auswirkungen, die einzelne Jahre mit extremen Wetterereignissen haben können. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass die getroffene Annahme, das Ausmaß der extremen Wetterereignisse bewege sich im Bereich jener der vergangenen Jahre, ausgesprochen vorsichtig ist. Da davon auszugehen ist, dass die Anzahl und auch das Ausmaß extremer Wetterereignisse zunehmen werden, kann die dargestellte Spanne der minimalen und maximalen Betriebsgewinne eher als

Untergrenze angesehen werden. Es kann daher gefolgert werden, dass eine Betrachtung des Klimawandels als Veränderung des durchschnittlichen Klimas für den Betriebsgewinn weniger Bedeutung hat als die zukünftige Entwicklung der Variabilität und der extremen Wetterereignisse (23).

4 Diskussion der Ergebnisse

Der vorliegende Beitrag versucht, eine Lücke der Klimafolgenforschung für den Bereich Landwirtschaft weiter zu schließen. Dafür werden die Auswirkungen des Klimawandels auf Milchviehbetriebe nicht nur partiell für die Milchkühe oder den Futterbau betrachtet, sondern die Summe einzelner Auswirkungen (Gras- und Maisertrag sowie Milchleistung) ermittelt. Dennoch ist eine Reihe von Auswirkungen des Klimawandels auf die Milchviehhaltung denkbar, die hier nicht explizit betrachtet wurden. Beispielsweise bleiben Tierkrankheiten, die durch die Klimaerwärmung vermehrt auftreten können, unberücksichtigt. Dieses Forschungsgebiet unterliegt immer noch großen Unsicherheiten und lässt kaum verlässliche Quantifizierungen zu (37). Zudem konnte die potenzielle Entwicklung von Parasitenpopulationen aus Gründen der Umsetzbarkeit nicht in die Analysen eingehen. Dagegen ist der Einfluss von Hitzestress auf die Fruchtbarkeit von Milchkühen, aber auch auf die Gesundheit und Entwicklung der Nachzucht, vergleichsweise gut untersucht (32, 8, 14). Eine Modellierung dieser Wirkungen ist jedoch (noch) nicht möglich, sodass in dem vorliegenden Beitrag keine Übertragung auf Einzelbetriebe auf der Basis von Klimadaten durchführbar war.

Außerdem ist zu beachten, dass in der vorliegenden Analyse zur Eingrenzung *Ceteris-Paribus*-Bedingungen unterstellt werden. Dementsprechend ändern sich ausschließlich die Klimabedingungen und damit einhergehend Grundfuttererträge und die Milchleistung. Das sonstige Mengengerüst und auch das Preisgerüst bleiben dabei unverändert. Auch bleiben die politischen Rahmenbedingungen konstant. Gerade letztere können einen entscheidenden Einfluss auf die Rentabilität der Milchviehhaltung haben, beispielsweise im Hinblick auf mögliche zusätzliche Stallbauvorschriften oder Umweltauflagen.

Als eine weitere Einschränkung der vorliegenden Analyse mag der regionale Fokus oder der fehlende "globale Kontext" aufgeführt werden. Da der Klimawandel selbst ein weltweites Phänomen ist, wirkt er sich auf die Milchproduktion, aber auch beispielsweise auf die Sojaproduktion in anderen Ländern aus und damit auch auf die Milch- und Kraftfutterpreise. Derartige indirekte Effekte können einen viel größeren Einfluss auf den Betriebsgewinn haben als die direkten Effekte einer hitzebedingt niedrigeren Milchleistung oder höherer Gras- und Maiserträge. Eine Berücksichtigung der indirekten Effekte des Klimawandels würde die Analyse der weltweiten Angebots- und Nachfragesituation für Milch und außerdem beispielsweise der Kraftfutterkomponenten sowie die Anwendung globaler Handelsmodelle erfordern. Eine solche Analyse geht weit über den Rahmen des vorliegenden Beitrags hinaus.

Trotz der genannten Einschränkungen und Erweiterungsmöglichkeiten erlauben die Ergebnisse des vorliegenden Beitrages eine Einschätzung über die direkten Folgen des Klimawandels auf Milchviehbetriebe in Niedersachsen. An dieser Stelle ist jedoch die Sensitivität der Ergebnisse im Hinblick auf die getroffenen Annahmen zu betonen. So profitieren insbesondere die typischen Betriebe in den Untersuchungsregionen Heide und Südwestniedersachsen vor allem deshalb mehr vom Klimawandel, weil sie zu vergleichsweise niedrigen Vollkosten Maissilage produzieren. Auf diese Weise ist jede zusätzlich verkaufte Menge an Mais ein reiner Zugewinn. Dieser Vorteil könnte bereits durch etwas höhere Lohnunternehmerkosten für das Häckseln des Maises gemindert werden. Schließlich beeinflusst die vereinfachend angenommene Anpassungsreaktion "Zu- oder Verkauf von Grundfutter" maßgeblich den Betriebsgewinn und damit die Ergebnisse im vorliegenden Beitrag.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse des vorliegenden Beitrags deuten auf positive direkte Auswirkungen des Klimawandels auf die Milchviehbetriebe in Niedersachsen hin. Betriebe in dieser Region profitieren im Durchschnitt von der allgemeinen Erwärmung, da der Mais, als wichtige Futterpflanze, dann bessere Wachstumsbedingungen vorfindet. Durchschnittlich zeigen Grassilage und Milchverlust durch Hitzestress kaum Auswirkungen. Im Hinblick auf die Betriebsgewinne der typischen Betriebe in den Untersuchungsregionen führen die untersuchten Effekte *ceteris paribus* zu Steigerungen von bis zu zwölf Prozent je nach Untersuchungsregion. Diese positive Tendenz für den Betriebsgewinn bleibt auch dann bestehen, wenn unterstellt wird, dass der Mehrertrag bei Mais zu einem Sinken des Maispreises führt (bei einer Preiselastizität von Eins).

Die jährlichen Schwankungen im Wettergeschehen sowie einzelne extreme Jahre können die Folgen des Klimawandels für den Betriebsgewinn übersteigen, auch wenn Schwankungsbreiten und Extreme angenommen werden, die aus der Vergangenheit bekannt sind und die die vermutete Steigerung der Wettervariabilität durch den Klimawandel nicht widerspiegeln.

Diese dargestellten Ergebnisse sind konform mit den Aussagen der Landwirte in den Fokusgruppendifkussionen. Sie erwarten insgesamt keine negativen Auswirkungen durch den Klimawandel, auch da sie sich nach eigener Einschätzung und Erfahrung an langfristige Veränderungen gut anpassen können. Risiken sehen die Landwirte lediglich in den häufiger und stärker auftretenden extremen Wetterereignissen.

Summary: The economic effects of climate change on milk production in Lower Saxony

The results of this contribution indicate that climate change has overall positive direct effects on the dairy farms in Lower Saxony. On average, farms in this area profit from the general warming, as it provides maize, an important forage plant, with better conditions of growth. Grass silage and decreasing milk production are hardly affected by heat stress, on an average. With regard to the operating profits of the typical farms in the regions surveyed, the effects under analysis led to increases of up to twelve per cent, depending on the region. The positive tendency for the operating profit will persist if a price elasticity of one is assumed and the price of maize decreases due to the considerable extra yield.

The annual fluctuations in weather activity as well as individual years with extreme weather can exceed the effects of climate change on the operating profit, even if fluctuation ranges and extremes are taken into account which have occurred in the past and which do not reflect the assumed increase in weather variability due to climate change.

These results fall into line with what farmers stated in the discussions of the focus groups. On the whole, they do not expect to be negatively affected by climate change, not least because their own belief and experience is that they are able to adapt to long-term changes well. What the farmers do see as a risk are extreme weather conditions, which occur more often and more violently.

Résumé: Les répercussions économiques du changement climatique sur la production laitière en Basse-Saxe

Les résultats du présent article font apparaître des répercussions positives du changement climatique sur les exploitations laitières en Basse-Saxe. Les exploitations de cette région profitent en moyenne du réchauffement général car le maïs, plante fourragère importante, bénéficie alors de meilleures conditions de croissance. En moyenne, l'ensilage d'herbe et la perte de lait par stress thermique n'ont pratiquement pas de répercussions. Pour ce qui est du bénéfice d'exploitation des exploitations typiques des régions étudiées, les effets analysés se soldent par des gains allant jusqu'à 12 % selon la région. La tendance reste positive pour le bénéfice d'exploitation quand on suppose une élasticité des prix de un et une baisse du prix du maïs par suite de l'accroissement considérable des rendements.

Les variations des conditions météorologiques d'une année sur l'autre ainsi que les extrêmes de certaines années peuvent toutefois annihiler les conséquences du changement climatique sur le bénéfice d'exploitation, même si l'on suppose des plages de variations et des extrêmes qui sont connus de par le passé et qui ne reflètent pas l'augmentation présumée de la variabilité du temps due au changement climatique.

Ces résultats sont conformes aux déclarations des agriculteurs faites dans les tables rondes. Ils ne s'attendent pas dans l'ensemble à des répercussions négatives en raison du changement climatique, compte tenu également du fait que, de leur avis et par leur expérience, ils sont capables de bien s'adapter à des modifications à long terme. Les agriculteurs voient seulement des risques dans la plus grande fréquence et la plus grande intensité d'occurrence d'événements météorologiques extrêmes.

Anhangstabellen

		Durchschnitt 2009-2011	Preise 2009	Verhältnis 2009 zum Durchschnitt	Preise 2010	Verhältnis 2010 zum Durchschnitt	Preise 2011	Verhältnis 2011 zum Durchschnitt
Weizen*	€/t	159	121	0,76	148	0,93	209	1,31
Gerste*	€/t	143	103	0,72	131	0,92	196	1,36
Triticale*	€/t	142	103	0,72	131	0,92	192	1,35
Raps	€/t	362	277	0,77	347	0,96	461	1,27
Rapsschrot	€/t	179	152	0,85	192	1,07	193	1,08
Sojaschrot	€/t	309	317	1,03	311	1,00	300	0,97
Körnermais	€/t	176	133	0,76	170	0,97	225	1,28
Kälberkorn	€/t	244	227	0,93	228	0,94	277	1,14
MLF 18/3er	€/t	197	178	0,90	180	0,91	234	1,18
MAT (50% MMP)	€/t	1.730	1.543	0,89	1.674	0,97	1.975	1,14
Maissilage	€/t	31	28	0,90	30	0,97	35	1,13
Grassilage	€/t	35	32	0,90	34	0,97	40	1,13
KAS	€/dt	25	23	0,90	22	0,89	30	1,21
AHL	€/dt	22	21	0,96	19	0,86	26	1,17
Triplephosphat	€/dt	39	35	0,91	35	0,90	46	1,19
Diesel**	€/hl	96	83	0,86	95	0,99	111	1,15
Kälber HF	€/Stück	104	99	0,95	100	0,96	114	1,09
Kühe R3	€/kg	2,6	2,4	0,93	2,5	0,95	2,9	1,13
Milch	ct/kg	30	25	0,83	31	1,02	35	1,15

Anhangstabelle 1: Preisgerüst der typischen Betriebe

Quelle: AMI 2012.

Anmerkungen: *Es wurde in den Analysen die vereinfachende Annahme getroffen, dass die Erzeugerpreise auch die Zukaufpreise sind. **Für Diesel waren nur Großhandelspreise in Euro pro Hektoliter verfügbar. Eine Tabelle zum Mengengerüst würde den Rahmen dieses Artikels sprengen. Sie kann bei den Autoren erfragt werden.

			Gesamt	Versch. Veg. Beginn	1. Schnitt	Versch. 1. Schn.	2. Schnitt	Versch. 2. Schn.	3. Schnitt	Versch. 3. Schn.	4. Schnitt
WW	BFG	2021-2050	0%	24	0%	9	-10%	10	-3%	17	45%
		2071-2100	-1%	43	-5%	19	-10%	20	-3%	28	64%
	UBA	2021-2050	-5%	14	-16%	3	1%	4	-2%	8	15%
		2071-2100	-3%	36	-12%	15	-3%	16	-6%	25	38%
	WETTREG	2021-2050	3%	7	10%	0	1%	1	-1%	0	-2%
		2071-2100	11%	35	34%	6	-3%	6	-3%	-6	-8%
SW	BFG	2021-2050	1%	17	3%	6	-3%	7	-7%	17	20%
		2071-2100	-3%	32	0%	15	-11%	16	-14%	22	20%
	UBA	2021-2050	-1%	12	-2%	0	1%	1	-2%	2	1%
		2071-2100	-2%	28	1%	9	-5%	11	-10%	18	12%
	WETTREG	2021-2050	6%	11	12%	1	5%	2	-1%	0	4%
		2071-2100	14%	31	36%	7	-1%	6	3%	-4	6%
HE	BFG	2021-2050	4%	18	5%	7	0%	7	-3%	14	21%
		2071-2100	-1%	37	3%	18	-15%	19	-7%	24	29%
	UBA	2021-2050	-1%	10	3%	1	-6%	2	-4%	6	9%
		2071-2100	-2%	31	9%	10	-16%	12	-13%	24	25%
	WETTREG	2021-2050	5%	7	9%	0	0%	1	2%	2	13%
		2071-2100	13%	36	20%	7	13%	8	3%	1	32%
SN	BFG	2021-2050	1%	17	3%	6	-7%	7	-42%	14	17%
		2071-2100	-3%	36	0%	17	-7%	17	-38%	22	25%
	UBA	2021-2050	1%	10	3%	1	1%	1	-5%	7	7%
		2071-2100	-4%	30	2%	10	-13%	11	-13%	23	19%
	WETTREG	2021-2050	3%	7	10%	0	-2%	1	-1%	0	-1%
		2071-2100	8%	35	29%	6	-5%	6	-4%	-6	0%

Anhangstabelle 2: Projektion der zukünftigen relativen Entwicklung der Graserträge nach FOPROQ gemäß der drei Klimamodellläufe REMO-BFG, REMO-UBA, WETTREG und Verschiebung der Vegetationsperiode und der Schnittzeitpunkte.

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung.

Anmerkung: Die Verschiebung des Vegetationsendes konnte nicht modelliert werden, da sie nicht im Wachstumsmodell enthalten ist. Der vierte Schnitt wird, bedingt durch die Eigenschaften des verwendeten Modells, für alle Szenarien auf einen Kalendertag festgelegt. Die Verschiebungen des Vegetationsbeginns und der Schnittzeitpunkte verstehen sich immer als Vorverschiebungen, also auf frühere Kalendertage. Die in der Tabelle dargestellten Prozentangaben sind die Mengenveränderungen der einzelnen Schnitte im Vergleich zum jeweiligen Schnitt im Referenzszenario der Jahre 1971 bis 2000.

			Ertragsdifferenzen bei Maissilage in % im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000		
			früh	mittelfrüh	mittelspät
WW	BFG	2021-2050	5	19	20
		2071-2100	10	26	41
	UBA	2021-2050	9	15	14
		2071-2100	18	23	37
	WETTREG	2021-2050	3	16	16
		2071-2100	-2	11	9
SW	BFG	2021-2051	3	17	23
		2071-2100	-1	12	17
	UBA	2021-2051	3	7	13
		2071-2100	1	6	10
	WETTREG	2021-2051	-2	11	12
		2071-2100	0	13	14
HE	BFG	2021-2050	3	17	23
		2071-2100	0	13	17
	UBA	2021-2051	1	5	11
		2071-2100	-3	2	6
	WETTREG	2021-2050	3	15	11
		2071-2100	1	13	9
SN	BFG	2021-2051	2	16	24
		2071-2100	1	14	19
	UBA	2021-2050	0	4	10
		2071-2100	-3	2	5
	WETTREG	2021-2050	2	15	12
		2071-2100	-4	8	4

Anhangstabelle 3: Projektion der zukünftigen relativen Entwicklung der Maiserträge nach MAISPROG gemäß der drei Klimamodellläufe REMO-BFG, REMO-UBA, WETTREG

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung.

LITERATUR

- , 2008: Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09, KTBL-Datensammlung, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- Verordnung (EG) Nr. 72/2009 des Rates vom 19. Januar 2009 zur Anpassung der gemeinsamen Agrarpolitik.
- Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, verschiedene Jahrgänge.
- ANDERSON, P.K.; CUNNINGHAM, A.A.; PATEL, N.G.; MORALES, F.J.; EPSTEIN P.R.; DASZAK, P., 2004: Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. Trends in Ecology and Evolution 19 (10): 535-544.
- BENISTON, M.; STEPHENSON, D.B.; CHRISTENSEN, O.B.; FERRO, C.A.T.; FREI, C.; GOYETTE, S.; HALSNAES, K.; HOLT, T.; JYLHÄ, K.; KOFFI, B.; PALUTIKOF, J.; SCHÖLL, R.; SEMMLER, T.; WOTH, K., 2006: Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections, Climatic Change, 81, S. 71-95.
- BERTELSMEIER, M., 2005: Analyse der Wirkungen unterschiedlicher Systeme von direkten Transferzahlungen unter besonderer Berücksichtigung von Bodenpacht- und Quotenmärkten, Dissertation, Münster-Hiltrup.
- Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK1000), Bundesanstalt für

Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2010.

8. CAVESTANY, D.; EL-WISHY, A.B.; FOOTE, R.H., 1985: Effect of season and high environmental temperature on fertility of holstein cattle, *Journal of Dairy Science*, 68, S. 1471-1478.
9. DEBLITZ, C.; ZIMMER, Y., 2005: agri benchmark beef – a standard operating procedure to define typical farms, ► www.agribenchmark.org/fileadmin/freefiles/3_2_1_ab_beef_sop_0512.pdf.
10. DEFRA, 2000: Climate change and agriculture in the United Kingdom, Projektbericht im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Fischerei und Forst des Vereinigten Königreiches, ► <http://archive.defra.gov.uk/foodfarm/landmanage/climate/documents/climate-ag.pdf>, Datum: 23. Juli, 2013.
11. DLG (Hrsg.), 2004: Die neue Betriebszweigabrechnung – ein Leitfaden für Beratung und Praxis, DLG-Verlag GmbH, Frankfurt.
12. Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) vom Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2730) geändert worden ist.
13. FUHRER, J. (Hrsg.), 1997: Klimaänderung und Grünland: eine Modellstudie über die Auswirkungen einer Klimaänderung auf das Dauergrünland in der Schweiz; Nationales Forschungsprogramm 31 Klimaänderungen und Naturkatastrophen, Schlussbericht des Projekts Nr. 4031-033149, Zürich.
14. GARCIA-ISPIERTO, I.; LOPEZ-GATIUS, F.; BECH-SABAT, G.; SANTOLARIA, P.; YANIZ, J.L.; NOGAREDA, C.; DE RENSIS, F.; LOPEZ-BEJAR, M., 2007: Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain, *Theriogenology*, 67, S. 1379-1385.
15. HAUDE, W., 1955: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise, *Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes*, Band 5.
16. HEBEISEN, T.; LÜSCHER, A.; ZANETTI, S.; FISCHER, B.U.; HARTWIG, U.A.; FREHNER, M.; HENDREY, G.R.; BLUM, H.; NÖSBERGER, J., 1997: Growth response of *Trifolium repens* L. and *Lolium perenne* L. as monocultures and bi-species mixture to free air CO₂ enrichment and management, *Global Change Biology*, 3, S. 149-160.
17. HERRMANN, A.; KELM, M.; KORNER, A.; Taube, F., 2004: Performance of grassland under different cutting regimes as affected by sward composition, nitrogen input, soil conditions and weather – a simulation study, *Europ. J. Agronomy*, 22, S. 141-158.
18. HERRMANN, A.; KORNER, A.; TAUBE, F., 2005: A new harvest time prognosis tool for forage maize production in Germany, *Agricultural and Forest Meteorology*, 130, S. 95-111.
19. HOPKINS, A.; DEL PRADO, A., 2007: Implications of climate change for grassland in Europe: impacts, adaptations and mitigation options: a review, *Grass and Forage Science*, 62, S. 118-126.
20. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
21. JACOB, D.; VAN DEN HURK, B.J.J.M.; ANDRAE, U.; ELGERED, G.; FORTELIUS, C.; GRA-HAM, L.P.; JACKSON, S.D.; KARSTENS, U.; KÖPKEN, Chr.; LINDAU, R.; PODZUN, R.; ROCKEL, B.; RUBEL, F.; SASS, B.H.; SMITH, R.N.B.; YANG, X., 2001: A comprehensive model inter-comparison study investigating the water budget during the BALTEX-PIDCAP period, *Meteorological Atmospheric Physics*, 77, S. 19-43.
22. KAMMANN, C.; GRÜNHAGE, L.; GRÜTERS, U.; JANZE, S.; JÄGER, H.-J., 2005: Response of aboveground grassland biomass and soil moisture to moderate long-term CO₂ enrichment, *Basic and Applied Ecology*, 6, S. 351-365.
23. KATZ, R.W.; BROWN, B.G., 1992: Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages, *Climatic Change*, 21, S. 289-302.
24. Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), (2007): Agrarstatistisches Kompendium – Struktur und Entwicklung der niedersächsischen Landwirtschaft in Zahlen und Beiträgen.
25. LASSEN, B.; FRIEDRICH, C.; PRÜBE, H., 2008: Statistische Analysen zur Milchproduktion in Deutschland – Geografische Darstellung (Stand: Januar 2008), in: Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie 2/2008, Johann Heinrich von Thünen-Institut.
26. MANNING, J. W.; V. TIEDEMANN, A., 1995: Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃), and ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases, *Environmental Pollution*, 88, S. 219-245.
27. MARTINSOHN, M.; HANSEN, H., 2012: The impact of climate change on the economics of dairy farming – a review and evaluation, *GJAE*, 61 (2), S. 80-95.
28. Meteo-Research i. A. des Umweltbundesamtes, 2006: WETTREG – Statistisches Regionalisierungsverfahren basierend auf Ergebnissen von ECHAM5.

29. MUDELSEE, M.; CHIRILA, D.; DEUTSCHLÄNDER, Th.; DÖRING, C.; HAERTER, J.; HAGE-MANN, S.; HOFFMANN, H.; JACOB, D.; KRAHÉ, P.; LOHMANN, L.; MOSELEY, Chr.; NILSON, E.; PANFEROV, O.; RATH, Th.; TINZ, B., 2010: Climate model bias correction und die deutsche Anpassungsstrategie, Mitteilung DMG 03/2010.
30. SCHALLER, M.; WEIGEL, H-J., 2007: Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung, Schriftenreihe Völknerode, Sonderheft 316.
31. Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2010: Landwirtschaftliche Gesamtrechnung, ► www.statistik-portal.de/Landwirtschaft/LGR/ DE_PW_y.asp?y=2010#tbl02; Datum: 23. Juli 2013.
32. ST-PIERRE, N.R.; COBANOV, B.; SCHNITKEY, G., 2003: Economic losses from heat stress by US livestock industries. J. Dairy Sci. 86, S. 52-77.
33. THOBE, P.; 2008: Kombination von FADN- und IFCN-Datensätzen in der Politikfolgenanalyse – untersucht am Beispiel der EU-Milchmarktpolitik, Dissertation Universität Göttingen.
34. TOPP, C.F.E.; DOYLE, C. J. 1995: Simulating the impact of global warming on milk and forage production in Scotland: 1. The effects on dry-matter yield of grass and grass-white clover swards. Agricultural Systems 52 (213), S. 243-270.
35. WALKENHORST, O.; STOCK, M., 2009: Regionale Klimaszenarien in Deutschland – eine Leseanleitung, E-Paper der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover.
36. WALTER, K.; LÖPMEIER, F-J., 2010: Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen – 5. Hochleistungskühe und Klimawandel, Landbauforschung vTI Agriculture and Forestry Research, 60, S. 17-34
37. WILSON, K., 2009: Climate change and the spread of infectious ideas, Ecology, 90, S.901-902.

Dank

Der besondere Dank der Autoren gilt Prof. Dr. Oleg Panferov (Georg-August-Universität Göttingen) und Franz-Josef Löpmeier (Deutscher Wetterdienst) für die Bereitstellung der Klimadaten und Hilfe bei deren Aufarbeitung, Dr. Klaus Walter (Thünen-Institut für Agrartechnologie) sowie Prof. Dr. Antje Herrmann und Christoph Kluß (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel) für die Berechnungen zum Hitzestress sowie zu Gras- und Maisaufwuchs, Dr. Frank Offermann (Thünen-Institut für Betriebswirtschaft) für die Berechnungen mit dem Modell FARMIS sowie allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Fokusgruppendifkussionen. Die Ergebnisse dieses Beitrages entstanden im Forschungsverbund KLIFF (Klimafolgenforschung in Niedersachsen) zum Forschungsthema "Tierproduktion". Dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur sei für die finanzielle Förderung gedankt.

Autorenanschrift

M. Sc. MARIA MARTINSOHN, Dr. HEIKO HANSEN,
Thünen-Institut für Betriebswirtschaft, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig