
Auswirkungen der Klimaänderung auf Naturalerträge

Thomas Felbermeir

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ländliche Strukturentwicklung,
Betriebswirtschaft und Agrarinformatik

Zusammenfassung

Klima und Boden stellen neben weiteren Faktoren wesentliche Einflussgrößen auf den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturpflanzen dar. Eine Veränderung des Witterungsgeschehens im Zuge des Klimawandels wirkt sich auf Wachstumsbedingungen und somit letztendlich auf die Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen aus.

Zur Beurteilung der zu erwartenden Klimaänderung können die Ergebnisse von Klimamodellen genutzt werden. Trotz der damit verbundenen Unsicherheiten liefern sie ein differenziertes Bild darüber, wie sich einzelne für das Pflanzenwachstum wichtige Klimaparameter zukünftig entwickeln werden.

Für die Abschätzung von Auswirkungen der Klimaänderung auf Naturalerträge ist es notwendig, einen Blick auf die physiologischen Reaktionsmuster von Pflanzen auf ausgewählte Klimaparameter zu werfen. Im Fokus der Untersuchung stehen die Parameter Strahlung, Temperatur, Niederschlag und Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre. Dabei zeigt sich, dass insbesondere der aus dem zunehmenden Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre resultierende CO₂-Düngungseffekt ausschlaggebend für die Höhe zukünftiger Erträge sein könnte. Um jedoch von den Auswirkungen eines höheren Kohlendioxidgehaltes profitieren zu können, müssen auch die anderen Parameter, insbesondere das Wasser, in ausreichendem Maße für das Pflanzenwachstum zur Verfügung stehen.

Bei der Bewertung von Ergebnissen zu Auswirkungen des Klimawandels sind die damit verbundenen Unsicherheiten zu berücksichtigen. Letztendlich stellen die Ergebnisse eine Orientierung dar, in welche Richtung sich die Naturalerträge landwirtschaftlicher Kulturpflanzen unter den Bedingungen des Klimawandels in Bayern entwickeln könnten.

1 Einleitung

Zahlreiche Faktoren beeinflussen den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturpflanzen im Ackerbau. Dabei besteht das Ziel des Pflanzenbaus darin, die Umweltbedingungen eines Standortes so zu gestalten, dass die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen ihr genetisch fixiertes umweltunabhängiges Ertragspotential bestmöglich in Ertrag umsetzen können. Die Auswahl geeigneter Sorten im Rahmen der Fruchtfolge bildet folglich die Grundlage zur Erreichung dieser Zielstellung. Sowohl biotische Faktoren wie Krankheiten und Schädlinge als auch abiotische Faktoren wie Klima und Boden wirken auf das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen ein. An den Standort angepasste Kulturmaßnahmen wie Düngung und Pflanzenschutz gewährleisten schließlich Höhe und Stabilität der Erträge (vgl. Abbildung 1).

Der Prozess der Ertragsbildung durchläuft während des Wachstums eines Pflanzenbestandes mehrere Entwicklungsphasen. Neben inneren Wachstumsfaktoren (Phytohormone) steuern auch äußere Wachstumsfaktoren (Licht, Luft, Wasser, Wärme, Nährstoffe) das Wachstum sowie die Entwicklung einer Pflanze und schlagen sich auf diese Weise in deren Ertragsleistung nieder. [1]

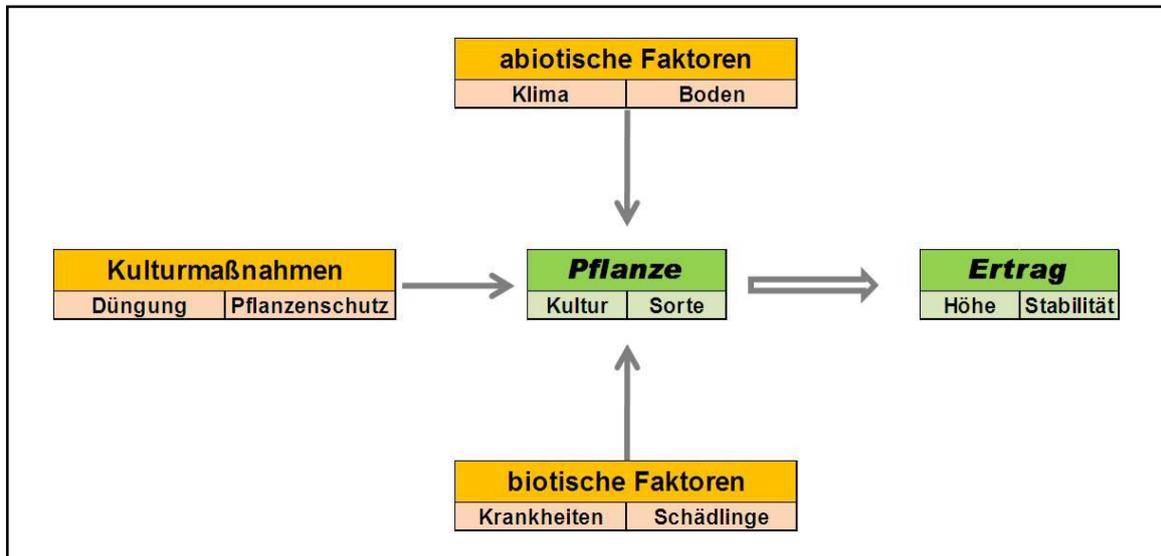


Abbildung 1: Einflussfaktoren auf den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturpflanzen

Neben dem Ertragspotential der Kulturpflanze spielt die natürliche Fruchtbarkeit des Anbauortes eine entscheidende Rolle für die Ertragsleistung eines Pflanzenbestandes. In erster Linie prägen Klima und Boden sowie die Wechselbeziehungen zwischen diesen beiden Faktoren die natürlichen Verhältnisse an einem Standort. Aufgrund der Ortsgebundenheit der pflanzlichen Produktion stellen Klima und Boden daher die wichtigsten natürlichen Einflussfaktoren bei der Bewirtschaftung eines Standortes dar. Eine Veränderung des Witterungsgeschehens im Zuge des prognostizierten Klimawandels wirkt sich somit auf die Wachstumsbedingungen und letztendlich auf die Erträge landwirtschaftlicher Ackerkulturen aus. [2]

Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden die zu Grunde liegenden Wirkungszusammenhänge zwischen ausgewählten Klimaparametern und der Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen aufgezeigt, um auf diese Weise die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Höhe von Naturalerträgen abzuschätzen. Zunächst werden die Vorgehensweise sowie ausgewählte Ergebnisse zur Prognose zukünftiger Klimaparameter erläutert, da sie den Ausgangspunkt für Klimafolgenabschätzungen bilden. Danach wird die Bedeutung ausgewählter Klimaparameter für die Ertragsbildung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen beschrieben. Unter Berücksichtigung ausgewählter Forschungsergebnisse erfolgt somit eine tendenzielle Abschätzung der zu erwartenden Auswirkungen der Klimaänderung auf Naturalerträge.

2 Prognose und zukünftige Entwicklung ausgewählter Klimaparameter

Ändern sich im Zuge des Klimawandels einzelne Klimaparameter in ihrer bisherigen Ausprägung, sind hiervon auch essentielle Wachstumsfaktoren landwirtschaftlicher Kulturpflanzen wie Licht, Luft, Wärme und Wasser betroffen. Diese Faktoren wirken auf das Wachstums-, Entwicklungs- und Reproduktionsvermögen der Pflanzen und haben somit Einfluss auf die Höhe und Stabilität der Erträge einerseits sowie die Qualität des Erntegutes andererseits. [2]

Durch den Klimawandel ändern sich sowohl physikalische als auch chemische Klimaparameter. Die für die Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen wichtigsten Einflussfaktoren sind dabei die Parameter Temperatur, Niederschlag und Strahlung sowie der Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre. Prognosen zur zukünftigen Ausprägung dieser Parameter beruhen auf den Ergebnissen von „Klimaszenarien“, die anhand sogenannter „Klimamodelle“ errechnet werden. [3]

Modelle zur Prognose zukünftiger Klimaparameter

„Klimamodelle“ bestehen aus einer Vielzahl komplexer mathematischer Gleichungssysteme, die versuchen, das Klimasystem der Erde auf der Grundlage physikalischer Gesetzmäßigkeiten zu beschreiben. Regionale „Klimaszenarien“ stellen die Ergebnisse eines Klimamodells auf kleinräumiger Ebene dar.

Die Erstellung solcher regionaler Klimaszenarien geschieht in drei Schritten: den Ausgangspunkt bilden sogenannte „Emissionsszenarien“, die in ein „globales Klimamodell“ eingespeist werden. Die Ergebnisse der globalen Klimamodelle dienen wiederum „regionalen Klimamodellen“ als Voraussetzung zur Berechnung kleinräumiger Veränderungen des Klimas.

Die „Emissionsszenarien“ stellen verschiedene Szenarien dar, die das Verhalten des Menschen in der Zukunft umschreiben. Je nach gewähltem Emissionsszenario (A1B / A1T / A1FI / A2 / B1 / B2) ergeben sich unterschiedliche Konsequenzen für die Höhe an Treibhausgasemissionen wie zum Beispiel Kohlendioxid. „Globale Klimamodelle“ übersetzen das gewählte Emissionsszenario in entsprechende Klimaparameter, indem sie die wichtigsten Bereiche des globalen Klimasystems in vereinfachter Form abbilden. Da die Ergebnisse globaler Klimamodelle in ihrer räumlichen Auflösung jedoch zu grobmaschig für die Untersuchung regionaler Klimafolgen sind, wurden „regionale Klimamodelle“ entwickelt. Anhand verschiedener Regionalisierungsverfahren übertragen sie die Ergebnisse der globalen Modelle auf den kleinräumigen Maßstab regionaler Klimaszenarien.

Bei der Bewertung regionaler Klimaszenarien gilt es, verschiedene Unsicherheitsfaktoren zu beachten. Zum einen sind die einzelnen Schritte bei der Erstellung der regionalen Klimaszenarien mit Unsicherheiten behaftet (Unsicherheit der zukünftigen Treibhausgasemissionen, Ungenauigkeiten in den globalen und regionalen Klimamodellen, Sampling-Unsicherheit). Zum anderen können die einzelnen Parameter der Klimaszenarien nur mit unterschiedlicher Sicherheit bestimmt werden: Temperaturen können zuverlässiger simuliert werden als Niederschläge, Mittelwerte können wiederum mit größerer Sicherheit prognostiziert werden als Extremwerte. Aussagen zur zukünftigen Klimaentwicklung und darauf aufbauende Klimafolgenabschätzungen sind somit stets vor diesem Hintergrund zu interpretieren. [4]

Gleichzeitig dienen Klimamodelle aber auch der Eingrenzung der genannten Unsicherheiten. Zudem stellen Klimamodelle das einzige Hilfsmittel dar, das komplexe Wirkungsgefüge des Klimasystems in seiner Gesamtheit zu beschreiben. Die damit verbundenen Möglichkeiten machen Klimamodelle unter gegenwärtigem Kenntnisstand zur besten Grundlage bei der Abschätzung von Klimafolgen. [5]

Entwicklung ausgewählter Klimaparameter bis 2050

Regionale Szenarien zur zukünftigen Klimaentwicklung wurden für Bayern im Rahmen des Kooperationsvorhabens „KLIWA“ (Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft) erarbeitet. An diesem Projekt sind die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz sowie der Deutsche Wetterdienst als Kooperationspartner beteiligt. Ziel des Projektes ist es, Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt abzuschätzen, um entsprechende Vorsorgekonzepte zu entwickeln. Das Untersuchungsgebiet des KLIWA-Projektes erstreckt sich über die Fläche der beteiligten Bundesländer. Zur Erstellung der Klimaprojektionen kamen sowohl verschiedene globale Klimamodelle als auch mehrere Regionalisierungsverfahren zum Einsatz. [6]

In Tabelle 1 sind Ergebnisse des KLIWA-Projektes hinsichtlich der für den Pflanzenbau wichtigsten Klimaparameter Temperatur und Niederschlag aufgeführt. Im Einzelnen zeigt die Abbildung die über das Untersuchungsgebiet gemittelten Temperatur- und Niederschlagsveränderungen verschiedener Projektionen für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber der Referenzperiode 1971-2000. Die Tabelle zeigt für die beiden Parameter Temperaturänderung und Niederschlagsänderung deren Ausprägung in Abhängigkeit der verwendeten Emissionsszenarien A1B, A2 und B1. Als globales Klimamodell kam das Modell ECHAM 5 (European Centre Hamburg Model 5) zum Einsatz. Dabei wurden die beiden Parameter anhand des statistischen Regionalmodells WETTREG sowie des dynamischen Regionalmodells REMO ermittelt.

Tabelle 1: Temperatur- und Niederschlagsänderung in den KLIWA-Regionen im Zeitraum 2021-2050 gegenüber 1971-2000; Quelle: [7] (Darstellung geändert)

Klimamodell	Temperaturänderung [°C]			Niederschlagsänderung [%]		
	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1
WETTREG-2006						
Jahr	0.8	0.8	0.7	-2.0	-1.3	0.9
hydrologisches Sommerhalbjahr	0.7	0.8	0.5	-7.7	-6.3	-3.5
hydrologisches Winterhalbjahr	0.9	1.0	0.9	5.2	4.8	6.3
REMO-2006						
Jahr	1.0	0.8	0.5	5.9	3.2	9.1
hydrologisches Sommerhalbjahr	1.0	0.8	0.4	2.4	3.7	8.0
hydrologisches Winterhalbjahr	1.0	0.9	0.7	11.0	2.8	12.4

Die Ausprägungen der in der Tabelle aufgeführten Parameter sind dargestellt als Durchschnittswert für das gesamte Jahr sowie als Durchschnittswert für das hydrologische Sommer- bzw. Winterhalbjahr. Dabei gilt es zu beachten, dass das hydrologische Sommerhalbjahr von Mai bis Oktober dauert, das Winterhalbjahr demzufolge von November bis April. Obwohl die Tabelle lediglich Ergebnisse zu den beiden Parametern Temperatur

und Niederschlag enthält, zeigen sich schon hier die zuvor geschilderten Unsicherheiten und Einflüsse der eingesetzten Modelle und zu berechnenden Parameter. Beispielsweise zeigt sich bei der Temperaturänderung über alle Szenarien hinweg eine Zunahme der ermittelten Werte. Dagegen ergeben sich bei der Niederschlagsänderung der REMO-Szenarien ausschließlich Zunahmen der Niederschläge, während sich bei den WETTREG-Szenarien in Abhängigkeit vom gewählten Emissionsszenario entgegengesetzte Aussagen ableiten lassen.

Eine Darstellung weiterer, über Temperatur und Niederschlag hinausgehender Parameter zur künftigen Entwicklung des Klimas in Bayern kann den Fachveröffentlichungen des KLIWA-Projektes entnommen werden [7].

3 Auswirkungen ausgewählter Klimaparameter auf die Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen

Trotz der mit der Prognose von Klimaänderungen verbundenen Unsicherheiten lassen sich die Auswirkungen einzelner Klimaparameter auf die Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen zumindest in ihrer Wirkungsrichtung abschätzen. Hierfür ist es notwendig, einen Blick auf die physiologischen Reaktionsmuster von Pflanzen auf die ausgewählten Parameter zu werfen.

Im Fokus der Betrachtung steht die Photosynthese als zentraler Prozess der Biomassebildung. Pflanzen wandeln dabei die Energie des Sonnenlichtes in organische Verbindungen um, die anschließend für Stoffwechselfvorgänge zur Verfügung stehen. Den größten Teil der Stoffwechselaktivitäten einer Pflanze beanspruchen Wachstums- und Entwicklungsvorgänge. Diese wiederum sind entscheidend für die Ertragsbildung. [1]

Zum einen haben Klimaparameter einen direkten Einfluss auf die Photosyntheseleistung einer Pflanze. Zum anderen tragen sie aber auch wesentlich zur Steuerung der Wachstums- und Entwicklungsphasen der Pflanze bei. Unter diesem Blickwinkel wird im Folgenden die Bedeutung der Parameter Strahlung, Temperatur, Niederschlag und Kohlendioxid für die Ertragsbildung untersucht. Bei der Beurteilung, wie sich eine Veränderung dieser Parameter im Zuge des Klimawandels auf Naturalerträge auswirkt, spielt jedoch nicht nur die isolierte Betrachtung der Parameter eine Rolle sondern auch deren kombinierte Wirkung. Schließlich werden auch die Auswirkungen von Extremereignissen auf die Ertragsleistung kurz dargestellt.

Bei der Beurteilung der Bedeutung der genannten Parameter für die Ertragsbildung gilt es, zwei grundsätzliche Typen von Kulturpflanzen zu unterscheiden: C_3 -Pflanzen (u.a. Getreide, Hackfrüchte, Gräser) einerseits und C_4 -Pflanzen (u.a. Mais, Hirse, Zuckerrohr) andererseits. Die beiden Typen unterscheiden sich bei der Photosynthese in ihren Stoffwechselwegen. C_4 -Pflanzen reichern im Rahmen der Photosynthese Kohlendioxid in bestimmten Zellen an. Im Vergleich zu C_3 -Pflanzen, die diesen Prozess nicht durchführen, sind sie auf diese Weise unabhängiger vom Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre. Allerdings benötigen sie für diesen Prozess zusätzliche Strahlungsenergie, so dass sich C_4 -Pflanzen unter natürlichen Bedingungen bevorzugt in den wärmeren Gebieten der Erde ansiedeln. [2]

Die folgende Beschreibung der Wirkungsweise ausgewählter Klimaparameter beruht im Wesentlichen auf den Ausführungen von Eitzinger et al. [8]

Strahlung

Die Energie des Sonnenlichtes erreicht die Pflanzen in Form elektromagnetischer Strahlung. Diese Energie benötigen die Pflanzen im Rahmen der Photosynthese zum Aufbau organischer Verbindungen aus Kohlendioxid und Wasser (Assimilation). Mit steigender Sonneneinstrahlung nimmt somit auch die Photosyntheseleistung zu. Ab einer gewissen Lichtintensität kann die Photosyntheseleistung jedoch nicht mehr weiter gesteigert werden (Lichtsättigung). C₄-Pflanzen erreichen bei Lichtsättigung eine höhere Photosyntheseleistung als C₃-Pflanzen.

Darüber hinaus steuert die Lichtintensität entscheidende Wachstums- und Entwicklungsprozesse wie beispielsweise die Keimung (Licht-/ Dunkelkeimer) oder den Eintritt der generativen Entwicklungsphase. [1]

Temperatur

Sowohl die Photosynthese als auch die Atmung stellen von der Temperatur abhängige Prozesse dar. Sie sind gekennzeichnet durch Minimum-, Optimum- und Maximumtemperaturen, die jedoch für die Photosynthese in niedrigeren Temperaturbereichen liegen als für die Atmung. Hieraus ergibt sich ein Temperaturbereich, bei der die Nettoassimilation, also die Differenz zwischen Photosynthese und Atmung, ihr Maximum erreicht. Für C₄-Pflanzen liegen die Optimumtemperaturen für die Photosynthese und somit auch für die Nettoassimilation in einem höheren Bereich als für C₃-Pflanzen.

Des Weiteren unterliegen wichtige Wachstums- und Entwicklungsschritte dem Einfluss der Temperatur. So bestimmt der Temperaturverlauf innerhalb eines Jahres Anfang und Ende der Vegetationsperiode und somit den Zeitraum, der für Wachstum potentiell zur Verfügung steht. Daneben sind für den Beginn des Keimungsprozesses je nach Kulturart bestimmte Mindesttemperaturen erforderlich. Die Dauer der einzelnen Entwicklungsstadien (Phänologie) wird u.a. von Temperatursummen gesteuert. Höhere Temperaturen bewirken dabei eine Verkürzung einzelner Entwicklungsphasen. Schließlich müssen manche Arten bestimmte Kältesummen erfüllen (Vernalisation), um in die generative Phase eintreten zu können.

Niederschlag

Höhe und Verteilung der Niederschläge prägen den Wasserhaushalt einer Pflanze. In diesem Zusammenhang kommt auch die enge Verknüpfung zwischen Klima und Boden zum Tragen, da die Aufnahme des Wassers über die Wurzeln aus dem im Boden gespeicherten pflanzenverfügbaren Wasser erfolgt.

Da das Wasser in der Pflanze zahlreiche essentielle Funktionen wie zum Beispiel Transport und Wärmeregulierung übernimmt, sind ausreichende Niederschläge Voraussetzung für die Ertragsbildung. Im Rahmen der Photosynthese wandeln Pflanzen Kohlendioxid und Wasser in Kohlenhydrate um.

Kohlendioxid

Auch die chemische Zusammensetzung der Luft spielt für die Ertragsbildung der Pflanzen eine Rolle. Neben Wasser stellt Kohlendioxid den wesentlichen Baustein zur Bildung organischer Verbindungen im Prozess der Photosynthese dar. Unter den gegenwärtigen

Kohlendioxidkonzentrationen der Atmosphäre erreichen C₄-Pflanzen eine höhere Photosyntheseleistung als C₃-Pflanzen.

Durch eine Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre würde sich die Kohlenstoffversorgung der Pflanzen entscheidend verbessern. Dieser „CO₂-Düngungseffekt“ würde insbesondere C₃-Pflanzen zu Gute kommen. Seit Beginn der industriellen Revolution hat der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre von ca. 280 ppm (parts per million) auf mittlerweile ca. 380 ppm zugenommen. In Abhängigkeit des zukünftigen Verhaltens des Menschen werden für Mitte dieses Jahrhunderts Konzentrationen von ca. 550 ppm erwartet.

Kombinationswirkungen

Hinsichtlich der prognostizierten Veränderungen des Klimas scheinen C₄-Pflanzen in erster Linie von höheren Temperaturen und höheren Lichtintensitäten zu profitieren, da sie eine Zunahme dieser Parameter besser in Ertrag umsetzen als C₃-Pflanzen. Jedoch können Hitzestress und fehlende Niederschläge, insbesondere in empfindlichen Entwicklungsstadien wie der Blüte, sowohl bei C₄ als auch bei C₃-Pflanzen zu deutlichen Ertragsverlusten führen. Dagegen nützen erhöhte Kohlendioxidgehalte in der Atmosphäre vor allem den C₃-Pflanzen.

Da die untersuchten Parameter in ihrer Wirkung auf die Pflanzen jedoch nicht isoliert voneinander auftreten, müssen auch Kombinationseffekte zwischen den Parametern in Betracht gezogen werden. Insbesondere die Auswirkungen des CO₂-Düngungseffektes auf Temperatur und Wasserhaushalt sind dabei von Interesse. Durch die Erhöhung des Kohlendioxidgehaltes in der Atmosphäre verbessert sich die Kohlenstoffversorgung der Pflanzen. Somit können die Pflanzen ihren Gasaustausch mit der Atmosphäre reduzieren, da sie die für die Photosynthese benötigten Mengen an Kohlenstoff aufgrund des höheren Angebotes in der Atmosphäre effizienter aufnehmen können. Damit verringert sich gleichzeitig auch der Austausch von Wasserdampf zwischen Blattinnerem und Umgebungsluft. Hieraus ergeben sich eine geringere Verdunstung (Transpiration) bzw. eine höhere Wassernutzungseffizienz der Pflanzen. Insbesondere bei Wassermangel ist dieser weitere positive Effekt der erhöhten Kohlendioxidkonzentration von Bedeutung. Andererseits geht mit einer geringeren Transpiration auch die Kühlungsfunktion dieses Vorganges zurück. In der Folge können steigende Blatttemperaturen und die damit verbundene Zunahme von Atmungsverlusten einen Teil der positiven Wirkung des CO₂-Düngungseffektes wieder zunichte machen.

Um diese Zusammenhänge unter realen Bedingungen in ihrer Größenordnung abschätzen zu können, werden am Johann Heinrich von Thünen-Institut in Braunschweig Feldversuche durchgeführt. Im Zentrum dieser Versuche stehen dabei die Wirkungen einer erhöhten Kohlendioxidkonzentration der Atmosphäre auf Pflanzen, Agrarökosysteme und die biologische Vielfalt. Diese sogenannten „FACE-Versuche“ (*Free Air Carbon Dioxide Enrichment*) berücksichtigen eine Vielzahl von Wechselwirkungen zwischen einer erhöhten Kohlendioxidkonzentration und anderen Wachstumsfaktoren. Bisherige Ergebnisse der Versuche zeigen höhere Erträge bei allen untersuchten C₃-Pflanzen (Gerste, Weizen, Zuckerrübe) in einer Größenordnung von +7 % bis +15 %. Beim Mais lassen sich Ertragssteigerungen nur bei Trockenheit feststellen. Darüber hinaus zeigt sich, dass die Pflanzenbestände weniger Wasser verbrauchen, gleichzeitig jedoch auch wärmer werden. [9]

Eine weitere Möglichkeit zur Abschätzung von Auswirkungen der Klimaänderung auf Naturalerträge besteht in der Durchführung von Studien auf der Grundlage von Simulationsrechnungen. Zu diesem Zweck werden die Ergebnisse ausgewählter Klimamodelle als Grundlage für Modelle genutzt, die das System Atmosphäre – Pflanze – Boden abbilden (Pflanzenwachstumsmodelle). In Abhängigkeit der eingespeisten Klimadaten errechnen diese Pflanzenwachstumsmodelle die Naturalerträge ausgewählter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Diese von den Modellen simulierten Erträge sind jedoch stets vor dem Hintergrund der den Berechnungen zugrunde liegenden Klima- und Pflanzenwachstumsmodelle zu betrachten. Beispielsweise ergeben sich im Vergleich des Zeitraums 1970-1980 mit dem Zeitraum 2031-2050 bei Winterweizen an ausgewählten Standorten in Süddeutschland Ertragszunahmen von +22 % bei Berücksichtigung des CO₂-Düngungseffektes bis hin zu Ertragsrückgängen von -12 % ohne Berücksichtigung der CO₂-Düngung. [8]

Extremwirkungen

Im Zuge des Klimawandels wird häufig auch die Zunahme von Extremereignissen herausgestellt. Solche Ereignisse haben für betroffene landwirtschaftliche Betriebe kurzfristig eine größere Bedeutung als die stetige Veränderung von Mittelwerten. Denn die mit den Extremereignissen häufig verbundenen Ertragsrückgänge schlagen sich auch in der ökonomischen Bilanz der Betriebe nieder. Gleichzeitig gilt es zu bedenken, dass die Auswirkungen des Klimawandels im Allgemeinen sowie speziell die Folgen von Extremereignissen kleinräumig sehr verschieden sein können. Die Vorhersage von Extremereignissen im Rahmen der Klimafolgenabschätzung gestaltet sich jedoch als schwierig. Oftmals wird der Hitzesommer des Jahres 2003 als Vorausschau auf die künftig zu erwartenden Klimabedingungen herangezogen. [3]

In Bayern führte die ausgeprägte Trockenheit des Jahres 2003 in Verbindung mit einer großen Anzahl an heißen Tagen ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) und Sommertagen ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) [10] zu einem deutlichen Rückgang der Naturalerträge. Dabei erstreckten sich die Ertragsrückgänge von -11 % bei Silomais über -20 % bei Kartoffeln bis hin zu -27 % bei Raps. [3]

Das Beispiel des Jahres 2003 zeigt, dass vor dem Hintergrund des Klimawandels nicht nur die Veränderung von mittleren Klimawerten, sondern auch die erhöhte Klimavariabilität und insbesondere eine mögliche Zunahme von Klimaextremen bei den betroffenen Betrieben eine große Sensibilität für Auswirkungen des Klimawandels hervorrufen. [3]

4 Diskussion und Ausblick

Bereits die Darstellung weniger Klimaparameter als Einflussfaktoren auf die Höhe des Naturalertrages verdeutlicht die vielschichtigen Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Naturalerträgen. Darüber hinaus beeinflusst der Klimawandel ebenso die Stabilität der Erträge, also die Ertragssicherheit über die Jahre hinweg, als auch die Qualität des Erntegutes. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass sich wegen des Klimawandels auch die zur Ertragserzielung notwendigen Maßnahmen ändern werden. Im Rahmen des technischen Fortschritts kann hierbei zum Beispiel die Züchtung durch die Entwicklung trockenheitstoleranter Sorten einen wichtigen Beitrag leisten.

Für die Abschätzung der zu erwartenden Klimaänderung stellen die Ergebnisse regionaler Klimaszenarien die beste Datengrundlage dar. Trotz der damit verbundenen Unsicherheiten ermöglichen sie eine konkrete Vorstellung darüber, wie sich einzelne Klimaparameter in Zukunft entwickeln werden.

Unter Berücksichtigung der Auswirkungen der ausgewählten Klimaparameter auf die Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen erweist sich die Bedeutung des Kohlendioxidgehaltes der Atmosphäre als entscheidender Faktor für die zukünftige Richtung der Naturalerträge. Insbesondere C₃-Pflanzen profitieren von zunehmenden Kohlendioxidkonzentrationen. C₄-Pflanzen ziehen dagegen vorwiegend einen Nutzen aus höheren Temperaturen. Mangelsituationen bei einzelnen Faktoren können das Wachstum und die Ertragsbildung jedoch begrenzen. Vor allem Extremereignisse führen diesen Sachverhalt anschaulich vor Augen.

Zur letztendlichen Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf Naturalerträge stellen Simulationsrechnungen auf der Grundlage von Klima- und Pflanzenwachstumsmodellen ein geeignetes Instrument dar, da sie die wesentlichen Verflechtungen zwischen Klimawandel und Pflanzenwachstum erfassen. Entsprechende Untersuchungen für ausgewählte Standorte in Bayern können dazu beitragen, die Ergebnisse bisheriger Studien auf eine breitere Vergleichsbasis zu stellen. Aufgrund der zentralen Bedeutung des Naturalertrages für die Anbauwürdigkeit und Konkurrenzkraft eines Produktionsverfahrens kann die Simulation von Naturalerträgen unter Bedingungen des Klimawandels auch den Ausgangspunkt für eine ökonomische Betrachtung bilden.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Diepenbrock, W.; Ellmer, F.; Léon, J. (2005): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. 1. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- [2] Chmielewski, F.M. (2007): Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft. In: Endlicher, W.; Gerstengarbe F.W. (Hrsg.) (2007): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. S. 75-85.
- [3] Schaller, M.; Weigel, H.J. (2007): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 316.
- [4] Walkenhorst, O.; Stock, M. (2009): Regionale Klimaszenarien für Deutschland – Eine Leseanleitung. E-Paper der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Nr. 6. <http://shop.arl-net.de/regionale-klimaszenarien-fur-deutschland-eine-lesanleitung.html> (10.08.2011).
- [5] Paeth, H. (2007): Klimamodellsimulationen. In: Endlicher, W., Gerstengarbe, F.W. (Hrsg.) (2007): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. S.44-55.
- [6] Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.) (2010): Was ist KLIWA? <http://www.kliwa.de/index.php?pos=start/kurz/> (12.08.2011).
- [7] Komischke, H.; Weber, H. (2009): Kurzbericht Regionale Klimaszenarien und Wasserhaushaltsmodellierung – Ergebnisse der regionenspezifischen Auswertungen von Klimaprojektionen im Vorhaben KLIWA. http://www.kliwa.de/download/Kurzbericht_RegKS_WHM_2009.pdf (12.08.2011).
- [8] Eitzinger, J.; Kersebaum, K.C.; Formayer, H. (2009): Landwirtschaft im Klimawandel – Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. 1. Auflage. Verlag Agrimedia, Clenze.
- [9] Johann Heinrich von Thünen-Institut (Hrsg.) (2009): Das Braunschweiger FACE-Projekt. http://www.vti.bund.de/fileadmin/dam_uploads/vTI/Bilder/Startseite/Highlights_2010/FACE/pdf-Dateien/FACE-Flyer-dt-final.pdf (16.09.2011).
- [10] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2011): AgrarMeteorologie Statistik (landesweit) – Jahreswetter 2003: Bayern. <http://www.wetter-by.de/> (16.09.2011).