

Einfluss des Klimawandels auf das Produktionsrisiko in der Weizenproduktion unter Berücksichtigung des CO₂-Effekts sowie von Beregnung

Climate change impact on winter wheat production with a focus on production risk- considering CO₂-effects and irrigation

Markus GANDORFER und Kurt-Christian KERSEBAUM

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf das Produktionsrisiko in der Weizenproduktion an drei bayerischen Standorten unter Berücksichtigung von CO₂-Effekten sowie von Feldberegnung. Ertragseffekte und resultierende ökonomische Größen werden mit Hilfe eines Pflanzenwachstumsmodells unter Verwendung von regionalisierten Klimaszenarien abgeschätzt und mit Hilfe von Produktionsfunktions- und Risikoanalysen weiter ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen bei Annahme des Zukunfts-Szenarios „trocken“, dass an allen Standorten mit einem steigenden Produktionsrisiko bzw. sinkenden Erträgen und Deckungsbeiträgen gerechnet werden muss. Eine zusätzliche Beregnung wäre für dieses Szenario zum einen wirtschaftlich und zum anderen risikoreduzierend, vorausgesetzt die Wasserverfügbarkeit ist gegeben. Für das Zukunfts-Szenario „normal“ zeigen die Modellergebnisse für alle drei Standorte stabile bzw. steigende Erträge, respektive Deckungsbeiträge. Wohingegen keine einheitlichen Aussagen für das Zukunfts-Szenario „feucht“ getätigt werden können.

Schlagerworte: Klimawandel, Produktionsrisiko, Weizen, Pflanzenwachstumsmodell, Risikoanalyse

Summary

The presented paper shows climate change impacts on wheat production considering CO₂-Effects and irrigation at three locations in Bavaria. To estimate yield and economic effects, regional climate scenarios and a crop growth model are used along with production function- and risk-analysis. Results show for the future scenario "dry" decreasing average gross margins and higher production risk at all evaluated locations. Assuming the future-scenario "dry" irrigation seems to be profitable and risk reducing, provided that irrigation water is available. A more stable situation, respectively a positive impact can be shown for the future scenario "normal". For the future scenario "humid" no consistent conclusions can be drawn.

Keywords: Climate Change, Production Risk, Winter Wheat, Crop Growth Model, Risk Analysis

1. Einleitung

Zu den prognostizierten Folgen des Klimawandels in Deutschland gehören eine Zunahme von Niederschlägen im Winter sowie eine Abnahme der Niederschläge im Sommer mit oft ungünstigen Verteilungen und Starkregenereignissen, sowie eine Zunahme extremer Wetterereignisse. Diese Entwicklungen können das ökonomische Risiko im Ackerbau signifikant erhöhen. Die speziell für Deutschland verfügbaren Studien (ZEBISCH et. al., 2005; SCHALLER und WEIGEL, 2008) zeigen im Durchschnitt mittelfristig positive Auswirkungen des Klimawandels im Nord-Westen, wohingegen die Situation im Süd-Osten eher stabil und im Nord-Osten und Süd-Westen eher negativ für die Pflanzenproduktion sein wird. Diese für größere Gebiete durchschnittliche Betrachtung von Klimafolgen ist beispielsweise für Aussagen bezüglich der Nahrungsmittelsicherheit von größter Bedeutung. Stehen jedoch einzelbetriebliche Auswirkungen des Klimawandels sowie mögliche betriebliche Anpassungsoptionen im Zentrum des Interesses, so ist eine kleinräumigere Betrachtung angebracht, was auch das Ziel dieser Studie ist. Denn es ist durchaus möglich, dass es trotz des insgesamt leicht positiven Trends auch Verlierer-Regionen innerhalb des untersuchten Gebiets gibt. Im Folgenden werden nun zunächst die verwendete Datengrundlage sowie die angewandten Methoden

beschrieben. Im Anschluss werden die Ergebnisse präsentiert. Der Beitrag endet dann mit Schlussfolgerungen und einem Ausblick.

2. Datengrundlage und methodische Vorgehensweise

2.1 Datengrundlage

Als Treibhausgas-Emissionsszenario wurde das IPPC-Szenario A1B ausgewählt. Weiterhin wird die auf diesem Szenario basierende Simulation des Globalen Klimamodells ECHAM5 bis zum Jahr 2100 für die Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes betrachtet. Die Daten des globalen Klimamodells wurden mit Hilfe des WETTREG Verfahrens (SPEKTAT et al., 2007) räumlich und zeitlich höher aufgelöst. Die simulierten Datenreihen für das Referenzszenario der Jahre 1970-1989 wurden anstelle der Messdaten für diesen Zeitraum verwendet, um einen entsprechenden Modellfehler für die vergangene Periode im Vergleich zur Zukunftsprognose zu gewährleisten. Als zukünftige Periode wurde ein Zeitraum von 2031-2050 gewählt. Für unsere Berechnungen wurden eine sogenannte Normalrealisation sowie jeweils eine feuchtere und eine trockenere Realisation herangezogen, die sich aus den unterschiedlichen statistisch generierten Wetterlagenabfolgen ergeben. Die Analysen wurden für drei Standorte durchgeführt. Der Untersuchungsstandort Weihenstephan liegt im Tertiärhügelland, das durch ein mittleres Ertragspotenzial gekennzeichnet ist. Bei Metten handelt es sich um einen Standort mit hohem Ertragspotenzial, wohingegen der Standort Hof als ertragsschwächer zu charakterisieren ist. Aus unterschiedlichen Bodenkarten für Bayern wurden für die drei Standorte Bodenprofile definiert, die als repräsentativ für die jeweilige Region angenommen wurden.

2.2 Methodische Vorgehensweise

Modellierung mit dem Pflanzenwachstumsmodell HERMES

Zur Simulation der Stickstoffdynamik und des Pflanzenwachstums wurde das Modell HERMES (KERSEBAUM, 1995) verwendet. Das Modell beschreibt auf der Basis täglicher Witterungsdaten (Niederschlag, Temperatur, Einstrahlung, Sättigungsdefizit der Luft)

den Wasserhaushalt des Bodens, die Netto-N-Mineralisation von organischer Bodensubstanz und eingebrachten Pflanzenresiduen, die Denitrifikation, den Transport von Nitrat in der Bodenlösung sowie das Wachstum und die N-Aufnahme durch Pflanzen. Für die Simulation wurde ein Düngungsschema für Winterweizen mit einer Gesamtgabe von 258 kg N ha⁻¹, aufgeteilt in 4 Gaben, zugrunde gelegt, um auch in optimalen Wachstumsjahren einen Mangel an Stickstoff auszuschließen. Davon ausgehend wurde die Düngungsmenge in 18 Schritten um jeweils 5% gesenkt, um auf diese Weise die Reaktion des Pflanzenwachstums auf unterschiedliche Mangelsituationen abbilden zu können. Diese Düngungsvarianten wurden für die beiden Vergleichszeiträume 1970-1989 und 2031-2050 mit den jeweils drei Realisationen simuliert. Zur Berechnung der Bewässerung wurde eine automatische Auffüllung des durchwurzelter Bodenprofils bis zur Feldkapazität berechnet, wenn an einem Tag der Wasservorrat über 60% der nutzbaren Feldkapazität nicht größer ist als das 1,5-fache der für den Tag berechneten potenziellen Verdunstung und die Niederschlagsmenge der nächsten 2 Tage weniger als 3 mm betrug. Die maximale Beregnungsmenge wurde dabei auf 25 mm pro Einzelgabe begrenzt. Für das Ist-Szenario wird eine CO₂-Konzentration der Atmosphäre von 350 ppm, für die Zukunfts-Szenarien von 550 ppm angenommen. Im Modell wird sowohl der direkte CO₂-Düngungseffekt auf die Photosynthese als auch der indirekte Effekt der Transpirationsreduktion dynamisch simuliert.

Produktionsfunktionsanalysen und Deckungsbeitragsrechnung

Auf Grundlage der mit HERMES berechneten Ertragswirkungen werden jährlich quadratisch-plateau Stickstoffproduktionsfunktionen für die verschiedenen Standorte sowie Zeitscheiben geschätzt. Zur Schätzung der jährlichen Produktionsfunktionen werden die modellierten Weizenerträge für 19 Stickstoffintensitäten herangezogen. Gleichung (1) zeigt den Naturalertrag von Winterweizen im Jahr j als Funktion F_j der Stickstoffdüngedichte N_j . Bei $F_j(N_j)$ handelt es sich um eine Stickstoff-Produktionsfunktion, die für jedes der zwanzig Jahre des Ist-Szenarios und der drei Zukunfts-Szenarien geschätzt wird.

$$F_j(N_j) = \begin{cases} a_j + b_j N_j + c_j N_j^2 & \text{für } N_j \leq N_{j\max} = -\frac{b_j}{2c_j} \\ a_j + b_j N_{j\max} + c_j N_{j\max}^2 & \text{für } N_j > N_{j\max} \end{cases} \quad (1)$$

a_j , b_j sowie c_j stellen die geschätzten Regressionsparameter der Stickstoffproduktionsfunktion im Jahr j dar, wobei $c_j < 0$ und $b_j > 0$ ist. Die einzelnen Schätzergebnisse werden hier nicht dargestellt, da sie den vorgegeben Rahmen sprengen würden. In Gleichung (2) wird die Kalkulation des Deckungsbeitrages im Jahr j als Funktion der Stickstoffdüngemenge auf Basis der in (1) beschriebenen Produktionsfunktion dargestellt.

$$DB_j(N_j) = F_j(N_j) \cdot P_w - P_N \cdot N_j - (VK + FK)_{\text{Bewässerung}} - VK_{\text{Rest}} \quad (2)$$

Dabei ist DB_j der Deckungsbeitrag im Jahr j , P_w der Preis von Winterweizen und P_N der Preis von Stickstoff. Der hier angenommene Stickstoffpreis beträgt $1 \text{ € kg}^{-1} \text{ N}$. Der Winterweizenpreis wird mit 20 € dt^{-1} veranschlagt. Es wird ein deterministischer Weizenpreis angenommen, da in dieser Studie die Unterschiede des witterungsbedingten Produktionsrisikos aufgrund der prognostizierten klimatischen Veränderungen isoliert betrachtet werden sollen. Die variablen und fixen Kosten der Bewässerung werden mit $(VK+FK)_{\text{Bewässerung}}$ beschrieben. In Anlehnung an FRICKE (2006) wird von einer Beregnungsanlage mit Tiefbrunnen und Stromantrieb ausgegangen, die fixe Kosten von 126 € ha^{-1} verursacht und variable Kosten von $1,10 \text{ € mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. VK_{Rest} sind die variablen Kosten der Weizenproduktion, jedoch ohne die Stickstoffdüngerkosten, da diese bereits berücksichtigt und an das jeweilige Ertragsniveau angepasst wurden. In Anlehnung an das für die Modellstandorte vorherrschende Intensitätsniveau unter Annahme einer mittleren Ertragsersparnis werden für VK_{Rest} 580 € ha^{-1} angenommen (vgl. LFL, 2008). Die in diesem Beitrag aufgezeigten Natural- sowie Deckungsbeiträge sowie die darauf basierenden kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen sind immer für den Fall dargestellt, dass die Stickstoffdüngung im jährlichen Optimum stattfindet. Dies erlaubt den Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Szenarien auf Basis einer einheitlichen Grundlage. Ein weiterer Vorteil dieser Methodik ist darin zu sehen, dass bereits eine Anpassung der Intensität an die veränderten Rahmenbedingungen durch den Landwirt unterstellt wird. Ein Nachteil ist, dass das jährliche Optimum nur ex post bestimmt werden kann. Die

Alternative, sich bei der Düngung auf die Ertragserwartung in der jeweiligen Zeitscheibe zu beziehen, hätte jedoch den Nachteil, dass in jedem Jahr einer Zeitscheibe dieselbe N-Menge ausgebracht würde, was nicht der pflanzenbaulichen Praxis entspräche. Als Ausreißerkorrektur wurde weiterhin bei der Darstellung der kumulierten Verteilungsfunktionen sowie bei der Berechnung der Erwartungswerte der jeweils niedrigste und höchste Wert eines Szenarios nicht berücksichtigt.

3. Ergebnisse

3.1 Veränderung pflanzenbaulich relevanter Klimagrößen

Am Standort Hof nehmen gegenüber dem Referenzzeitraum die jährlichen Niederschläge im Durchschnitt der drei Szenarien um 26 mm ab. Gleichzeitig nimmt hier die Jahresdurchschnittstemperatur um etwa 0,7°C zu. Der aufgrund seiner Höhenlage kühlere Standort Hof wird daher für die Pflanzenproduktion günstigere Wachstumsbedingungen bieten, da die Temperatur bislang einen limitierenden Faktor darstellt. Für Metten ergibt sich eine geringere Streuung zwischen den Szenarien. Hier nehmen in allen drei Zukunftsszenarien die jährlichen Niederschläge um durchschnittlich 36 mm ab (28-46 mm). Die Jahresdurchschnittstemperatur steigt um 0,6°C, wobei die Zahl der Sommertage um ca. 18% zunimmt. Am stärksten wird der Niederschlagsrückgang mit durchschnittlich 47 mm (41-59 mm) für den Standort Weihenstephan prognostiziert. Hier zeigt sich im Mittel eine Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur von 0,7 bis 1°C.

3.2 Auswirkungen der prognostizierten klimatischen Veränderungen auf den mittleren Deckungsbeitrag von Winterweizen

Wie sich die prognostizierten klimatischen Veränderungen auf die mittlere Ertragserwartung sowie die mittleren Deckungsbeiträge an den untersuchten Standorten auswirken werden ist in Tabelle 1 dargestellt. Es wird ersichtlich, dass an allen drei Standorten ausgehend vom Zukunfts-Szenario „normal“ mit einer Steigerung der mittleren Erträge sowie Deckungsbeiträge gerechnet werden kann,

wohingegen für das Zukunfts-Szenario „trocken“ an den Standorten Metten und Weihenstephan mit größeren Einbußen gerechnet werden muss. Im Vergleich der drei Standorte scheint Hof von den prognostizierten klimatischen Veränderungen auf mittlere Sicht mit und ohne CO₂ Effekt überwiegend zu profitieren. Die anderen Standorte weisen ohne Berücksichtigung des CO₂ Effektes meist negative Ertragstrends für die Szenarien auf. Im Durchschnitt der Standorte sowie der Zukunfts-Szenarien führt die Berücksichtigung des CO₂-Effekts zu ca. 16% höheren Deckungsbeiträgen.

Tab. 1: Modellierte mittlere Deckungsbeiträge (€/ha) und Naturalerträge (dt/ha) von Winterweizen für verschiedene Klima- und Bewässerungsszenarien mit Berücksichtigung des direkten und indirekten CO₂-Effekts

Szenario	Hof		Metten		Weihenstephan	
	DB	Ertrag	DB	Ertrag	DB	Ertrag
ohne Bewässerung						
Ist	578	66	949	84	832	78
Zukunft „normal“	843	79	968	85	915	82
Zukunft „feucht“	836	79	888	81	841	79
Zukunft „trocken“	564	65	751	74	699	72
mit Bewässerung						
Zukunft „normal“	704	81	855	88	807	86
Zukunft „feucht“	742	84	799	89	796	87
Zukunft „trocken“	669	81	840	88	785	88

Die Zukunfts-Szenarien, bei denen zusätzlich eine Bewässerung simuliert wird, zeigen zwar höhere Naturalerträge als die Zukunfts-Szenarien ohne Bewässerung, gemessen am Deckungsbeitrag ist die zusätzliche Bewässerung aufgrund der hohen zusätzlichen Kosten jedoch nur im Zukunfts-Szenario „trocken“ wirtschaftlich.

3.3 Auswirkungen der prognostizierten klimatischen Veränderungen auf das Produktionsrisiko

Zur Beurteilung der prognostizierten klimatischen Veränderungen auf das Produktionsrisiko von Winterweizen bedienen wir uns im Folgenden der kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Deckungsbeitrages.

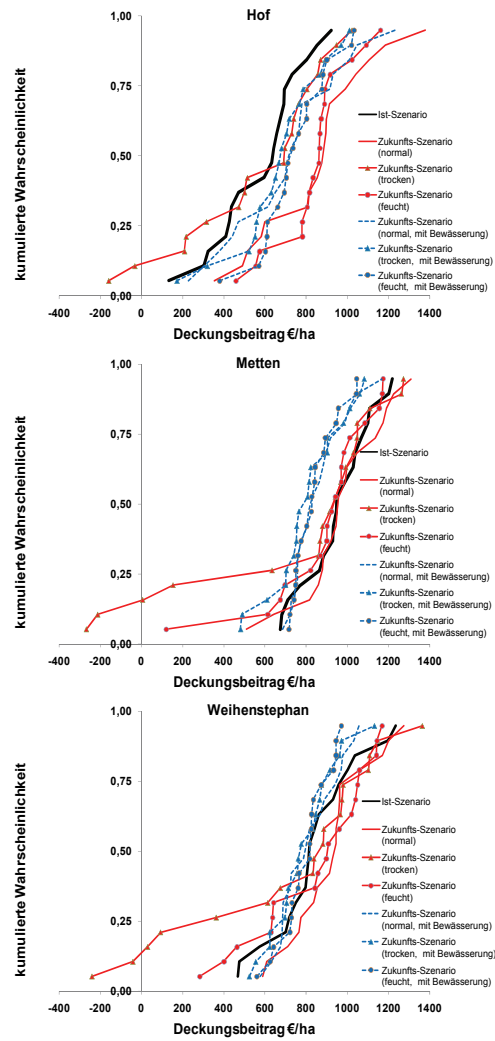


Abb. 1: Modellerte kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Deckungsbeiträge von Winterweizen für verschiedene Standorte und Szenarien
Quelle: eigene Darstellung

Wie Abbildung 1 verdeutlicht, würde ein Eintreten des Zukunfts-Szenarios „trocken“ an allen drei Standorten zu einer erheblichen

Zunahme der Wahrscheinlichkeit niedriger Deckungsbeiträge im Vergleich zum Ist-Szenario führen. Für den Standort Hof zeigen die Ergebnisse, dass für die Zukunfts-Szenarien „normal“ sowie „feucht“ auf jedem Wahrscheinlichkeitsniveau ein höherer Deckungsbeitrag erzielt wird als im Ist-Szenario. Folglich wird dieser Standort auch unter Risikoaspekten durch die Veränderungen begünstigt. Auch der Standort Weihenstephan scheint vor allem bei Eintreten des Zukunfts-Szenarios „normal“ von den klimatischen Veränderungen zu profitieren. Sollte das Zukunfts-Szenario „trocken“ eintreten so würde eine Bewässerung eine aus Risikogesichtspunkten sinnvolle Strategie darstellen, da dadurch, wie Abbildung 1 illustriert, die Wahrscheinlichkeit niedriger Deckungsbeträge enorm reduziert, die negativer Deckungsbeiträge sogar eliminiert werden kann. Für die anderen Zukunfts-Szenarien „normal“ sowie „feucht“ wird ersichtlich, dass zwar die Bewässerung varianzreduzierend wirkt, jedoch aufgrund der relativ hohen Kosten wirtschaftlich nicht effizient ist.

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die dargestellten Analysen zeigen deutlich, dass sich die zu erwartenden klimatischen Veränderungen in Bayern regional unterschiedlich auf die Weizenproduktion auswirken werden. Gemeinsam für alle drei Standorte muss jedoch für den Fall des Eintretens des Zukunfts-Szenarios „trocken“ mit einem höheren Produktionsrisiko gerechnet werden. In diesem Fall wäre eine zusätzliche Berechnung bei den getroffenen Annahmen zum einen wirtschaftlich und zum anderen risikoreduzierend und somit eine sinnvolle Anpassungsmöglichkeit. Voraussetzung ist eine ausreichende Wasserverfügbarkeit, die jedoch zukünftig vor allem in Trockengebieten nicht immer gegeben sein wird. Bei den hier dargestellten Auswirkungen des Klimawandels wurden außer der Anpassung der Stickstoffdüngerintensität weder weitere Anpassungsmaßnahmen (z.B. Saattermine) noch ein möglicher technischer Fortschritt, die sich positiv auf die Ertragserwartung auswirken könnten, berücksichtigt. Der CO₂-Effekt wirkt positiv auf das Ertragspotenzial. Sein positiver Effekt könnte jedoch durch die hier nicht berücksichtigte mögliche Zunahme der Ozonbelastung sowie der Häufigkeit von Extremwetterereignissen oder des Befallsdrucks von Schädlingen gemindert werden. Es besteht somit noch erheblicher

Forschungsbedarf, um die zuletzt aufgeführten Aspekte zukünftig in ihrer Kombinationswirkung angemessen berücksichtigen zu können (SCHALLER und WEIGEL, 2008). Die Herausforderung besteht jetzt darin, für die stark vom Klimawandel betroffenen Standorte adäquate Anpassungsstrategien zu entwickeln. Neben möglichen Anpassungen des Produktionsmanagements werden versicherungstechnische Lösungen und vor allem züchterische Fortschritte benötigt werden.

Literatur

- FRICKE, E. (2006): Zusatzwasser für mehr Qualität. <http://www.fachverband-feldberegnung.de/pdf/ZusatzwasserfuermehrQualitaet.pdf> (Abrufdatum: 29.07.2008).
- KERSEBAUM, K.C. (1995): Application of a simple management model to simulate water and nitrogen dynamics. *Ecol Model* 81,145–156.
- LFL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2008): Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. <http://www.lfl.bayern.de/ilb/db/14249/index.php> (Abrufdatum: 28.02.2008).
- SCHALLER, M. und WEIGEL, H.-J. (2008): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 316, Bundesforschungsanstalt f. Landwirtschaft, Braunschweig.*
- SPEKTAT, A., ENKE, W. und KREIENKAMP, F. (2007): Neuentwicklung von regional hochaufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. *Publikationen des Umweltbundesamtes, Dessau.*
- ZEBISCH, M., GROTHMANN, T., SCHRÖTER, D., HASSE, C., FRITSCH, U. und CRAMER, W. (2005): Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. *Climate Change 08/05. Umweltbundesamt, Dessau.*

Anschrift der Verfasser

*Dr. Markus Gandorfer
Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues, Technische Universität München
Alte Akademie 14, 85350 Freising-Weihenstephan, Deutschland
eMail: markus.gandorfer@wzw.tum.de*

*PD Dr. Kurt-Christian Kersebaum
Institut für Landschaftssystemanalyse, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.
Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, Deutschland
eMail: ckersebaum@zalf.de*