

Simulation von Klimaszenarien und die ökonomische und ökologische Bewertung verschiedener Pflanzenproduktionsverfahren im Marchfeld

Franziska Strauss, Erwin Schmid und Elena Moltchanova

Abstract – In der folgenden Analyse zeigen wir, wie sich der Klimawandel auf die pflanzlichen Erträge, den Bodenkohlenstoff und die Nitratauswaschung sowie die Wirtschaftlichkeit von 12 verschiedenen Produktionsverfahren in der Region Marchfeld auswirkt. Dazu werden regionale Klimaszenarien simuliert, die zusammen mit anderen Standortdaten in das bio-physikalische Prozessmodell EPIC einfließen. Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse werden die Erzeugerpreise den durchschnittlichen variablen Produktionskosten gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die minimale Bodenbearbeitung vor allem unter Klimawandel ein wirtschaftliches und ökologisches Produktionsverfahren ist.¹

EINLEITUNG

Im Rahmen des EU-FP6 Forschungsprojektes GEO-BENE (Global Earth Observation – Benefit Estimation: Now, Next and Emerging; <http://www.geobene.eu/>) werden u.a. ökonomische und ökologische Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Landwirtschaft untersucht. Diese Analyse ist im Rahmen des GEO-BENE Forschungsprojektes entstanden.

Ziel dieses Beitrages ist es, unter Berücksichtigung des Klimawandels eine ökonomische und ökologische Bewertung verschiedener Pflanzenproduktionsverfahren im Marchfeld durchzuführen. Dazu wurden mittels Trendanalyse von historischen Tageswetterbeobachtungen (1975 bis 2006) der Wetterstation Groß-Enzersdorf verschiedene Klimaszenarien über die nächsten 20 bis 30 Jahre entwickelt. Diese Daten fließen neben fünf repräsentativen Bodenformen, zwei Fruchtfolgen (Mais-Winterweizen-Sonnenblume-Winterweizen-Sommergerste; Zuckerrübe-Winterweizen-Erbse-Winterweizen-Sommergerste) und 12 verschiedenen Pflanzenproduktionsverfahren (konventionelle, reduzierte oder minimale Bodenbearbeitung mit oder ohne Bewässerung sowie mit oder ohne Strohabfuhr) in das bio-physikalische Prozessmodell EPIC (*Environmental Policy Integrated Climate*; Williams, 1995; Izaurrealde et al., 2006) ein. Die wichtigsten Module in EPIC sind Wettersimulation, Hydrologie, Erosion und Sedimentation, N-, P-, K- und C-Kreisläufe, Pflanzenwachstum, Bodentempe-

ratur, Bodenfeuchtigkeit und Bodenbearbeitung. In dieser Analyse wurden mit EPIC Zeitreihen von Pflanzenerträgen, Bodenkohlenstoff und Nitratauswaschung in Abhängigkeit der Standortsbedingungen inklusive 30 Klimaszenarien und der 12 Produktionsverfahren simuliert. Anschließend wurden die klimatischen Ertragsauswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Pflanzenproduktionsverfahren untersucht.

DATEN UND METHODE

Als Datengrundlage dienen die täglichen Wetterbeobachtungen von 1975 bis 2006 aus Groß-Enzersdorf im Marchfeld. Mittels linearer Regression, bestehend aus linearen und saisonalen Kovariaten, wurden für diese Zeitspanne Trends für die Wetterparameter Temperatur, Niederschlag, solare Strahlung, relative Feuchte und Wind berechnet. Durch zufälliges Ziehen aus dem Datenpool der Vergangenheit wurden unter Beibehaltung der Monatsabfolge und unter Anwendung der Koeffizienten und Residuen der linearen Regression die Werte für die Wetterparameter von 2007 bis 2038 berechnet. Diesen Prozess wiederholten wir 30 Mal, um die Streubreite der Klimaszenarien aufzuzeigen (Abbildung 1).

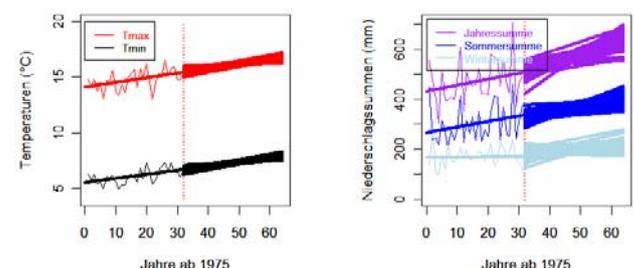


Abbildung 1. Links: Maximum- (T_{max}) und Minimumtemperatur (T_{min}) von 1975 bis 2006 und von 2007 bis 2038. Rechts: Jahres-, Sommer- und Winterniederschlagssumme von 1975 bis 2006 und von 2007 bis 2038.

Sowohl die Temperaturen als auch die Niederschlagssummen weisen positive Trends für diese Wetterstation im Marchfeld auf. Die repräsentativen Bodenformen wurden mittels Clusteranalyse aus 312 Bodenformen (Österreichische Bodenkarte 1:25000) anhand der nutzbaren Feldkapazität und des Humusgehaltes eingeteilt (Schmid et al., 2005, 2007).

¹Franziska Strauss und Erwin Schmid sind am Institut für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung der Universität für Bodenkultur tätig, Feistmantelstraße 4, 1180 Wien (franziska.strauss@boku.ac.at; erwin.schmid@boku.ac.at). Elena Moltchanova ist am National Public Health Institute of Finland tätig, Mannerheimintie 166, 00300 Helsinki, Finland (elena.moltchanova@ktl.fi).

Wir führten Simulationen über 64 Jahre durch (1975 bis 2038), um die Auswirkungen des Klimawandels im historischen Kontext und der nächsten 32 Jahre (2007 bis 2038), sowie die Auswirkungen der verschiedenen Pflanzenproduktionsverfahren auf Korn-ertrag, Bodenfruchtbarkeit (org. Bodenkohlenstoff-vorrat) und Nitratauswaschung, zu untersuchen.

Im Weiteren wurden für alle Pflanzenproduktions-verfahren die variablen Produktionskosten ermittelt. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse beinhaltet einen Vergleich zwischen stochastischen Erzeugerpreisen, basierend auf historischen Preisstatistiken, und durchschnittlichen variablen Produktionskosten. Anhand von Häufigkeitsverteilungen wird gezeigt, wie oft die durch-schnittlichen variablen Produktionskosten über oder unter den Erzeugerpreisen liegen. Die Änderung der Häufigkeitsverteilungen gibt Aufschluss darüber, ob und wie der Klimawandel die Wirtschaftlichkeit der Pflanzenproduktion im Marchfeld beeinflusst.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Wir untersuchten die Auswirkungen des Klimawan-dels auf Erträge, Bodenkohlenstoff und Stickstoff-auswaschung für verschiedene Pflanzenproduktions-verfahren im Marchfeld. Letztere unterscheiden sich durch die Art der Bodenbearbeitung (konventionell, reduziert und minimal) mit oder ohne Bewässerung sowie mit oder ohne Strohabfuhr. Die Ergebnisse für die Fruchtfolge Mais-Winterweizen-Sonnenblume-Winterweizen-Sommergerste zeigen, dass der Bodenkohlenstoffvorrat unter minimaler Bodenbearbei-tung und ohne Strohabfuhr am höchsten ist. Die Stickstoffauswaschung hingegen ist am geringsten bei minimaler Bodenbearbeitung und mit Strohab-fuhr. Dennoch nehmen beide ökologischen Indikato-ren über die Zeit ab. Wir können die Abnahme des Bodenkohlenstoffvorrates über die Zunahme der Bodentemperatur und die dadurch bedingte höhere CO₂-Respiration erklären sowie über den Anstieg der Niederschlagssummen, welche höhere Sediment-transporte bewirken. Die Zunahme der Temperatur, der CO₂-Konzentration und der Niederschlagsmenge ist auch Ursache für die Abnahme der Nitratauswa-schung, denn sie führt zu einer höheren Biomasse-produktion und somit zu einer höheren Stickstoff-aufnahme bei Pflanzen. Alle mittleren Kornerträge erhöhen sich im Zeitablauf, wobei die Änderungen in den Maiserträgen am signifikantesten sind. Die Er-tragsvariabilität, gemessen an der Standardabweichung, ist bei Bewässerung, wie erwartet, kleiner (siehe Tabelle 1: Beispiel anhand von Mais).

Tabelle 1. Mittlerer Maisertrag und Standardabweichung in t/ha für die unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen von 1975 bis 2006 und von 2007 bis 2038. ‚Strohabfuhr‘ bezieht sich auf die Getreidekulturen in dieser Fruchtfolge.

Mais-Ertrag in t/ha 1975-2006	konventionell	reduziert	minimal
mit Bewässerung/mit Strohabfuhr	10.08 ± 0.62	9.86 ± 0.73	9.85 ± 0.72
ohne Bewässerung/mit Strohabfuhr	6.90 ± 1.88	6.91 ± 1.86	6.91 ± 1.86
mit Bewässerung/ohne Strohabfuhr	10.09 ± 0.62	9.89 ± 0.73	9.87 ± 0.74
ohne Bewässerung/ohne Strohabfuhr	6.90 ± 1.88	6.92 ± 1.87	6.91 ± 1.87

Mais-Ertrag in t/ha 2007-2038	konventionell	reduziert	minimal
mit Bewässerung/mit Strohabfuhr	10.21 ± 0.62	10.02 ± 0.74	10.04 ± 0.74
ohne Bewässerung/mit Strohabfuhr	7.81 ± 1.75	7.81 ± 1.74	7.82 ± 1.74
mit Bewässerung/ohne Strohabfuhr	10.22 ± 0.63	10.13 ± 0.77	10.14 ± 0.77
ohne Bewässerung/ohne Strohabfuhr	7.84 ± 1.76	7.87 ± 1.76	7.88 ± 1.76

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse der verschiedenen Produktionsverfahren zeigt, dass die Produktion von

Mais mit minimaler Bodenbearbeitung und Bewässe-rung am profitabelsten ist. Die Produktion der ande-ren Kulturen ist bei minimaler Bodenbearbeitung sowie ohne Bewässerung am wirtschaftlichsten.

Der Vergleich zwischen 1975 bis 2006 und 2007 bis 2038 zeigt, dass die Wirtschaftlichkeit von Mais zunimmt, die Wirtschaftlichkeit von Winterweizen und Sonnenblume nahezu unverändert bleibt und die Wirtschaftlichkeit von Sommergerste abnimmt (sie-he Tabelle 2: Beispiel anhand von Mais und Som-mergerste).

Tabelle 2. Vergleich der Wirtschaftlichkeit in % zwischen 1975 bis 2006 und 2007 bis 2038 für Mais und Sommergerste und die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfah-ren (gemittelt über die Alternativen mit und ohne Bewässe-rung sowie mit und ohne Strohabfuhr).

Mais: Profitabilität in %	konventionell	reduziert	minimal
1975-2006	72.08	73.58	74.59
2007-2038	74.51	77.58	79.1

Sommergerste: Profitabilität in %	konventionell	reduziert	minimal
1975-2006	16.37	23.08	27.78
2007-2038	13.23	17.72	22.57

ZUSAMMENFASSUNG

Klimawandel und Pflanzenproduktionsverfahren können sich auf die Bodenfruchtbarkeit, Nitrataus-waschung und Wirtschaftlichkeit sowohl positiv als auch negativ auswirken. Die höheren Temperaturen und Niederschlagsmengen sowie der Anstieg der CO₂-Konzentration führen zu (i) höheren Pflanzener-trägen, welche sich am signifikantesten bei Mais bemerkbar machen, (ii) zu einer Abnahme des Bodenkohlenstoffvorrates, wobei die Abnahme bei minimaler Bodenbearbeitung und ohne Strohabfuhr am geringsten ist und (iii) zu einer Abnahme der Stickstoffauswaschung. Diese ist bei minimaler Bodenbearbeitung und mit Strohabfuhr am niedrigsten. Die Wirtschaftlichkeit unter Klimawandel ist bei mi-nimaler Bodenbearbeitung am höchsten und die Bewässerung rentiert sich nur in der Maisproduktion. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für weiterfüh-rende Analysen (z.B. Portfoliooptimierung von Pro-duktionsverfahren unter Klimawandel).

LITERATUR

Izaurrealde, R.C., Williams, J.R., McGill, W.B., Rosenberg, N.J. and Quiroga, M.C. (2006). Simulating soil C dynamics with EPIC: Model description and testing against long-term data, *Ecological Modelling* 192(3-4), 362-384.

Schmid, E., Sinabell, F. und Eder, M. (2005). Aggregation von naturbeschreibenden und ökonomischen Daten auf Regionsebene – Probleme und Lösungsvorschläge. In: Darnhofer, I., Penker, M. und Wytrzens, H.K. (eds), *Jahr-buch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie*. Band 10, Facultas, Wien, 87 - 100.

Schmid, E., Sinabell, F. and Hofreither, M.F. (2007). Sus-tainability in practice: a case study on the reorientation of the Common Agricultural Policy in Austria. In: Schubert, U. and Störmer, E. (eds). *Sustainable Development in Europe: Concepts, Evaluation and Application*. Edward Elgar. Chel-tenham, UK and Northampton, USA, 109-122.

Williams, J.R. (1995). The EPIC Model. In: Singh, V.P. (eds). *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, 909-1000.