

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

Simulation of climate scenarios and the assessment of economic and ecological impacts of different agricultural management systems in the Marchfeld region

Franziska STRAUSS, Erwin SCHMID und Elena MOLTCHANOVA

### **Zusammenfassung**

In der folgenden Analyse wird untersucht, wie sich der Klimawandel auf pflanzliche Erträge, Bodenkohlenstoffhaushalt und Nitratauswaschung sowie die Wirtschaftlichkeit von zwölf verschiedenen Pflanzenproduktionsverfahren in der Region Marchfeld auswirken kann. Dazu werden regionale Klimaszenarien anhand linearer Regressionsmodelle simuliert, die zusammen mit anderen Standortdaten wie Boden und Landbewirtschaftung in das biophysikalische Prozessmodell EPIC (*Environmental Policy Integrated Climate*) einfließen. Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse werden stochastische Erzeugerpreise den durchschnittlichen variablen Produktionskosten gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die minimale Bodenbearbeitung vor allem unter Einfluss des Klimawandels sowohl ein wirtschaftliches als auch ein ökologisches Produktionsverfahren ist.

**Schlagnworte:** Klimawandel, ökologische und ökonomische Indikatoren, Wirtschaftlichkeit von Pflanzenproduktionsverfahren

### Summary

The aim of this analysis is to assess the impacts of climate change on crop yields, soil organic carbon stocks, and nitrogen leaching as well as on the profitability of twelve different crop production systems in the Marchfeld region. Regional climate scenarios have been simulated with a linear regression model, which are integrated together with other site specific data on soil and crop management in the biophysical process model EPIC (*Environmental Policy Integrated Climate*). In the profitability analysis, stochastic producer prices are compared to the average variable production costs. The results show that minimal tillage represents a profitable and ecological production method, especially under the impact of climate change.

**Keywords:** climate change, ecological and economic indicators, profitability of production methods

### 1. Einleitung

Ziel dieses Beitrages ist es, unter Berücksichtigung des Klimawandels eine ökonomische und ökologische Bewertung verschiedener Pflanzenproduktionsverfahren in der Region Marchfeld durchzuführen. RISCHBECK (2007) untersuchte die Auswirkungen der Klimaänderung auf das Ertragspotential von Getreide für dieselbe Region. Die Klimaänderung wurde über *Downscaling* von globalen Klimamodellen beschrieben, was auch die am häufigsten angewendete Vorgehensweise ist (vgl. ALEXANDROW und HOOGENBOOM, 2000; EITZINGER et al., 2008). In der vorliegenden Arbeit werden jedoch 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-Körnererbse-Winterweizen-Sommergerste) und zwölf verschiedenen Pflanzenproduktionsverfahren (konventionelle, reduzierte oder minimale Bodenbearbeitung mit oder ohne Bewässerung sowie mit oder ohne Strohabfuhr) in das biophysikalische Prozessmodell EPIC (*Environmental Policy Integrated Climate*; WILLIAMS, 1995; IZAURRALDE et al., 2006) ein. Die wichtigsten Module in EPIC sind Wettersimulation, Hydrologie, Erosion und Sedimentation, Stickstoff-, Phosphor-, Kali-

um- und Kohlenstoff-Kreisläufe, Pflanzenwachstum, Bodentemperatur, Bodenfeuchtigkeit und Bodenbearbeitung. Mit EPIC wurden Zeitreihen von Pflanzenerträgen, Bodenkohlenstoffhaushalt und Nitrat- auswaschung in Abhängigkeit der Standortsbedingungen inklusive 30 Klimaszenarien und der zwölf Produktionsverfahren simuliert. Anschließend wurden die klimatischen Ertragsauswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Pflanzenproduktionsverfahren untersucht.

## 2. Daten und Methode

Als Datengrundlage für die Klimaszenarien dienen die täglichen Wetterbeobachtungen von 1975 bis 2006 aus Groß-Enzersdorf im Marchfeld. Mittels linearer Regression, bestehend aus linearen und saisonalen Kovariaten (Abbildung 1), wurden Trends für Temperatur, solare Strahlung, relative Feuchte und Wind berechnet. Für Niederschlag wurden die Trends basierend auf den Monatssummen kalkuliert.

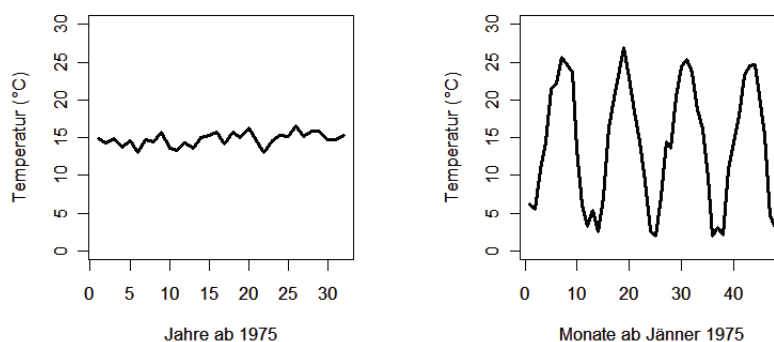


Abb. 1: Lineare (links) und saisonale Kovariate (rechts) für die Maximumtemperatur. Im linken Bild sind die Jahresmittel der Maximumtemperatur geplottet, im rechten Bild die Monatsmittel der Maximumtemperatur von 1975 bis 1978

Quelle: eigene Berechnungen

Unter Anwendung der Koeffizienten der linearen Regression und unter zufälliger Neuverteilung der täglichen Residuen der linearen Regression wurden unter Beibehaltung der Monatsabfolge die Werte für die Wetterparameter von 2007 bis 2038 berechnet. Für den Niederschlag wurden die monatlichen Residuen ebenfalls unter Beibehaltung

der Monatsabfolge zufällig neu verteilt, um monatliche Niederschlagssummen für dieselbe Zeitspanne zu berechnen. Die Tageswerte des Niederschlags wurden über die Multiplikation der neu verteilten täglichen Messwerte mit einem Faktor (berechnete monatliche Niederschlagssummen von 2007 bis 2038 dividiert durch die beobachteten monatlichen Niederschlagssummen von 1975 bis 2006) gewonnen. Der Prozess der Neuverteilung wurde dreißigfach wiederholt, um die Streubreite möglicher Klimaszenarien aufzuzeigen (Abbildung 2). Sowohl die Temperaturen als auch die Niederschlagssummen weisen positive Trends für diese Wetterstation auf, wobei die Trends der Niederschlagssummen weiter gestreut sind als jene der Temperaturen.

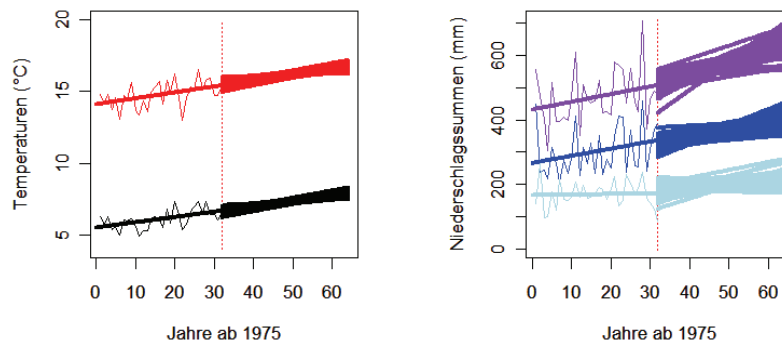


Abb. 2. Links: Jahresmittel der Maximum- (oben) und Minimumtemperatur (unten) mit Trend von 1975 bis 2006 und Trends von 2007 bis 2038. Rechts: Jahres- (oben), Sommer- (in der Mitte) und Winterniederschlagssummen (unten) mit Trend von 1975 bis 2006 und Trends von 2007 bis 2038

Quelle: eigene Berechnungen

Die Winterniederschlagssummen verändern sich nicht wesentlich zwischen 1975 bis 2006 und 2007 bis 2038 (mittlere Zunahme von ca. 30 mm), wohingegen die Sommerniederschlagssummen größtenteils zunehmen (um ca. 70 mm). Dieses Resultat ist in direktem Widerspruch zu RISCHECK (2007) und EITZINGER et al. (2008), die mittels *Downscaling* von globalen Klimamodellen finden, dass Sommerniederschläge zukünftig abnehmen werden. Den Unterschied kann man als Hinweis für die Notwendigkeit für kleinräumige Klimaprognosen interpretieren, aber auch als *caveat*, dass diese – und folglich auch die Ertragsprognosen – doch mit größeren Unsicherheiten behaftet sind. Die re-

präsentativen Bodenformen wurden mittels Clusteranalyse aus 312 Bodenformen (Österreichische Bodenkarte 1:25.000 siehe SCHMID et al., 2005) anhand der nutzbaren Feldkapazität und des Humusgehaltes ausgewählt (SCHMID et al., 2007). Mit dem biophysikalischen Prozessmodell EPIC wurden Simulationen über 64 Jahre durchgeführt (1975 bis 2038), um die Auswirkungen des Klimawandels und verschiedenen Pflanzenproduktionsverfahren auf Kornertrag, organischen Bodenkohlenstoffvorrat und Nitratauswaschung sowohl im historischen Kontext als auch der nächsten 32 Jahre (2007 bis 2038) zu untersuchen. Im Weiteren wurden für alle Pflanzenproduktionsverfahren die variablen Produktionskosten ermittelt (BMLFUW, 2008). Die variablen Kosten setzen sich aus den Aufwendungen für Düngung, Pflanzenschutzmittel, Maschineneinsätze (Maschinenkosten für minimale Bodenbearbeitung entsprechen in dieser Studie 80% der Maschinenkosten für konventionelle Bodenbearbeitung und jene für reduzierte Bodenbearbeitung 90%), Saatgut, Trocknung, Versicherungen, Lohndrusch und Bewässerung zusammen. Die Maschinenkosten für minimale und reduzierte Bodenbearbeitung wurden in Anlehnung von Standarddeckungsbeiträgen pauschal bestimmt. Die variablen Kosten wurden über die Zeit als konstant angenommen.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse beinhaltet einen Vergleich zwischen stochastischen Erzeugerpreisen, basierend auf historischen Preisstatistiken, und durchschnittlichen variablen Produktionskosten. Die historischen Preiszeitreihen beinhalten die Jahresdurchschnittspreise der Periode 1995 bis 2006 und dienen als Basis für die Erzeugung stochastischer Preisverläufe für beide Perioden (1975 bis 2006 und 2007 bis 2038). Es wird angenommen, dass die Preise einer Normalverteilung unterliegen, aus der zufällig gezogen wird. Mit diesem Zugang wird der Annahme Rechnung getragen, dass Landwirte in der Regel Preisnehmer und stochastischen Preisverläufen ausgesetzt sind. Anhand von Häufigkeitsverteilungen wird gezeigt, wie oft die durchschnittlichen variablen Produktionskosten über oder unter den stochastischen Erzeugerpreisen zu liegen kommen. Die Änderung der Häufigkeitsverteilungen gibt Aufschluss darüber, ob und wie der Klimawandel die Wirtschaftlichkeit der Pflanzenproduktion im Marchfeld beeinflusst.

### **3. Ergebnisse und Diskussion**

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Erträge, Bodenkohlenstoff-

haushalt und Stickstoffauswaschung wurden für zwei Fruchtfolgen und zwölf verschiedene Pflanzenproduktionsverfahren im Marchfeld untersucht. Letztere unterscheiden sich durch die Art der Bodenbearbeitung (konventionell, reduziert oder minimal) mit oder ohne Bewässerung (wobei konstante Bewässerungsmengen angenommen werden) sowie mit oder ohne Strohabfuhr. Die Ergebnisse für beide Fruchtfolgen zeigen, dass der Bodenkohlenstoffvorrat bei minimaler Bodenbearbeitung und ohne Strohabfuhr mit durchschnittlich 109 t/ha für die gesamte Periode von 1975 bis 2038 am höchsten ist. Die Stickstoffauswaschung hingegen ist am geringsten bei minimaler Bodenbearbeitung und mit Strohabfuhr und beträgt im Durchschnitt 22 N kg/ha für die gesamte Periode. Sowohl organischer Bodenkohlenstoff als auch Nitrat auswaschung nehmen *c.p.* über die Zeit ab. Die Abnahme des Bodenkohlenstoffvorrates hängt mit der Zunahme der Bodentemperatur und die dadurch bedingte höhere CO<sub>2</sub>-Respiration zusammen. Überdies bewirkt der Anstieg der Niederschlagssummen höhere Sedimentverlagerungen. Die Temperaturerhöhung um 1.3°C, die Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration bis 443 ppm und der Anstieg der Niederschlagsmengen um ca. 100 mm führen zu einer höheren Biomasseproduktion und somit zu einer höheren Stickstoffaufnahme bei Pflanzen und sind daher auch Ursachen für die Abnahme der Nitrat auswaschung. Alle mittleren Pflanzenerträge erhöhen sich im Zeitablauf, wobei die Änderungen in den Zuckerrübe- und Maiserträgen bei ca. 0.5 t/ha, die Ertragsänderungen von Winterweizen bei ca. 0.2 t/ha und von Sommergerste, Körnererbse und Sonnenblume zwischen 0.02 und 0.07 t/ha liegen. Die Ertragsvariabilität, gemessen an der Standardabweichung, ist erwartungsgemäß bei Bewässerung in den meisten Fällen kleiner. Für die Kulturen Sonnenblume, Körnererbse und Sommergerste bewirkt Bewässerung keine wesentlichen Änderungen in der Ertragsvariabilität. Die Ergebnisse für Winterweizen decken sich mit den Ergebnissen von EITZINGER et al. (2008).

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse beinhaltet Vergleiche zwischen durchschnittlichen variablen Produktionskosten und stochastischen Preisen. In Abbildung 3 ist ein Beispiel eines solchen Vergleichs für Mais bei minimaler Bodenbearbeitung und ohne Strohabfuhr bei Getreide sowie mit bzw. ohne Bewässerung in Form von Häufigkeitsverteilungen dargestellt. Für 2007 bis 2038 wurde ein Klimaszenario ausgewählt. Liegen die durchschnittlichen variablen Kosten über dem stochastischen Preis,

so wird die Produktion als unwirtschaftlich bezeichnet (Differenz zwischen Preis und durchschnittlichen variablen Kosten ist negativ). Ist die Differenz zwischen Preis und durchschnittlichen variablen Kosten positiv, dann wird Produktion als wirtschaftlich bezeichnet. Ohne Bewässerung nimmt die Wirtschaftlichkeit zwischen den beiden Zeitperioden (1975 bis 2006 und 2007 bis 2038) von 58.75% auf 75% zu, mit Bewässerung nimmt die Wirtschaftlichkeit um 1.87% ab (Niederschlags-effekt), liegt aber insgesamt höher (im Mittel bei 82.18%).

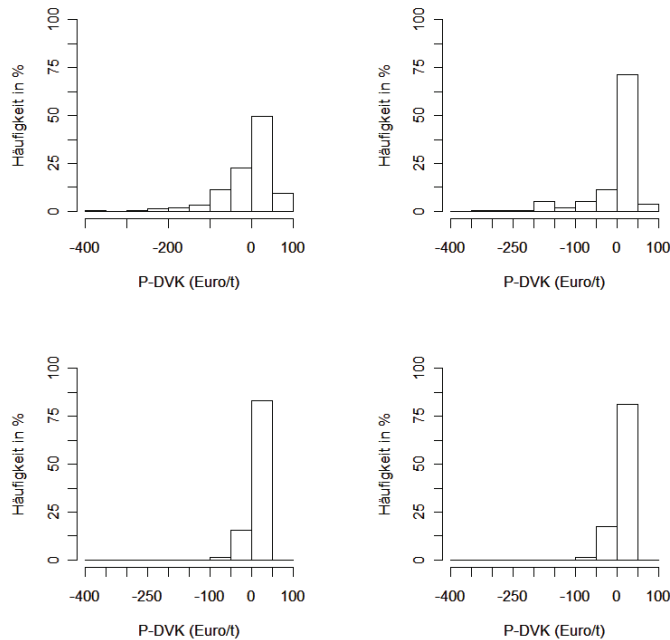


Abb. 3: Häufigkeitsverteilungen für die Wirtschaftlichkeitsanalyse von Mais bei minimaler Bodenbearbeitung ohne Strohabfuhr bei Getreide in der Fruchtfolge ohne (oben) und mit Bewässerung (unten), links für 1975 bis 2006 und rechts für 2007 bis 2038. P=stochastischer Erzeugerpreis, DVK=durchschnittliche variable Kosten

Quelle: eigene Berechnungen

Die Prozentsätze beziehen sich auf das eine gewählte Klimaszenario, wohingegen die Prozentsätze in Tabelle 1 (konventionelle und minima-

le Bodenbearbeitung) über die 30 Klimaszenarien gemittelt wurden. Die Maiserträge mit Bewässerung unterscheiden sich nur geringfügig zwischen Vergangenheit und Zukunft (Niederschlagseffekt). Dieser geringfügige Ertragsunterschied führt dazu, dass die durchschnittlichen variablen Produktionskosten, obwohl sie leicht gesunken sind, öfter über den zufällig gezogenen Preisen liegen.

Tab. 1: Vergleich der Wirtschaftlichkeit in % zwischen 1975 bis 2006 und 2007 bis 2038 für alle Kulturen (ZR=Zuckerrübe, M=Mais, W=Winterweizen, E=Körnererbse, SB=Sonnenblume, SG=Sommergerste) und zwei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren (konventionell und minimal) sowie Bewirtschaftungsalternativen (B=Bewässerung, kB=keine Bewässerung, S=Strohabfuhr, kS=keine Strohabfuhr)

	konventionell				minimal			
	B/S	kB/S	B/kS	kB/kS	B/S	kB/S	B/kS	kB/kS
ZR 1975-2006	100	97.5	100	97.5	100	97.5	100	97.5
ZR 2007-2038	99.9	98.12	99.9	98.15	99.94	98.75	99.94	98.79
M 1975-2006	81.25	55	81.25	55	82.5	58.75	82.79	58.75
M 2007-2038	73.67	67.4	73.94	67.69	80.96	70.33	82.54	70.48
W 1975-2006	54.39	69.81	55.03	69.98	66.56	75.94	69.32	76.25
W 2007-2038	46.14	73.7	47.12	73.84	64.93	82.76	69.26	83.79
E 1975-2006	0	2.04	0	2.04	1.75	9.06	1.81	9.06
E 2007-2038	1.69	8.98	1.69	9.08	4.08	15.62	4.21	16.06
SB 1975-2006	38.75	54.69	38.75	54.71	34.38	55.62	36.25	56.25
SB 2007-2038	26.58	57.35	27.5	58.79	24.81	56.31	35.88	63.79
SG 1975-2006	1.75	28.07	1.75	28.07	7.81	47.29	6.41	47.25
SG 2007-2038	5.59	33.27	5.6	33.36	14.6	51	14.8	51.04

Quelle: eigene Berechnungen

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse der verschiedenen Produktionsverfahren (Tabelle 1) zeigt, dass die Produktion von Mais bei minimaler Bodenbearbeitung und mit Bewässerung am profitabelsten ist. Die Produktion von Zuckerrübe ist unter jeder Form der Bewirtschaftung rentabel (es wird angenommen, dass auch bei minimaler und reduzierter Bodenbearbeitung vor dem Zuckerrübenanbau gepflügt wird). Die



Produktion der Kulturen Winterweizen, Sonnenblume und Sommergerste ist bei minimaler Bodenbearbeitung sowie ohne Bewässerung am wirtschaftlichsten. Die Produktion von Körnererbse scheint in der Region Marchfeld unter den gegebenen Annahmen eher nicht wirtschaftlich zu sein. Der Vergleich zwischen 1975 bis 2006 und 2007 bis 2038 zeigt, dass die Wirtschaftlichkeit von Mais ohne Bewässerung zunimmt und mit Bewässerung abnimmt, Bewässerung aber dennoch rentabel ist. Die Wirtschaftlichkeit von Winterweizen, Sommergerste und Körnererbse nimmt generell leicht zu (vor allem ohne Bewässerung) und jene von Zuckerrübe und Sonnenblume bleibt nahezu unverändert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die minimale Bodenbearbeitung vor allem unter Einfluss des Klimawandels aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht ein für diese Region geeignetes Pflanzenproduktionsverfahren ist. Bei RISCHBECK (2007) und EITZINGER et al. (2008) sind Sommerkulturen größeren Risiken ausgesetzt, da in deren Studien die Sommerniederschläge abnehmen. Aber auch dort kann Minimalbodenbearbeitung, vor allem bei Getreide, zu leicht steigenden Erträgen führen.

#### **4. Zusammenfassung**

Klimawandel und Pflanzenproduktionsverfahren können sich auf die Bodenfruchtbarkeit, Nitratauswaschung und Wirtschaftlichkeit sowohl positiv als auch negativ auswirken. Das Zusammenspiel aus höheren Temperaturen und Niederschlagsmengen sowie dem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration führt (i) zu höheren Pflanzenerträgen, welche sich am stärksten bei Zuckerrübe und Mais bemerkbar machen, (ii) zu einer Abnahme des Bodenkohlenstoffvorrates, wobei die Abnahme bei der ersten Fruchtfolge (Mais-Winterweizen-Sonnenblume-Winterweizen-Sommergerste) sowie bei minimaler Bodenbearbeitung und ohne Strohabfuhr am geringsten ist, und (iii) zu einer Abnahme der Stickstoffauswaschung. Diese ist bei der ersten Fruchtfolge sowie bei minimaler Bodenbearbeitung und mit Strohabfuhr am niedrigsten. Die Wirtschaftlichkeit unter Einfluss des Klimawandels ist bei minimaler Bodenbearbeitung am höchsten und die Bewässerung rentiert sich in der Mais- und Zuckerrübenproduktion. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für weiterführende Analysen (z.B. Portfoliooptimierung von Produktionsverfahren unter Einfluss des Klimawandels).

### Acknowledgment

Diese Arbeit ist im Rahmen des EU-FP6 Forschungsprojektes *GEO-BENE (Global Earth Observation – Benefit Estimation: Now, Next and Emerging)*; <http://www.geo-bene.eu/>) entstanden.

### Literatur

- ALEXANDROV, V. und HOOGENBOOM, G. (2000): Vulnerability and adaptation assessments of agricultural crops under climate change in the Southeastern USA. *Theoretical and Applied Climatology*, 67, S. 45-63.
- BMLFUW - Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008): Deckungsbeiträge und Daten für die Betriebsplanung, Berger. Horn (BMLFUW).
- EITZINGER, J., THALER, S., KUBU, G., RISCHBECK, P. und FORMAYER, H. (2008): Potentielle Auswirkungen und Anpassungsmaßnahmen der Landwirtschaft an den Klimawandel im Nordosten Österreichs (Weinviertel-Marchfeld Region). In: Auswirkungen des Klimawandels in Niederösterreich (NÖ-Klimastudie 2007). Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, S. 356.
- IZAURREALDE, R.C., WILLIAMS, J.R., MCGILL, W.B., ROSENBERG, N.J. und QUIROGA, M.C. (2006): Simulating soil C dynamics with EPIC: Model description and testing against long-term data, *Ecological Modelling* 192(3-4), S. 362-384.
- RISCHBECK, P. (2007): Der Einfluss von Klimaänderung, Bodenbearbeitung und Saattermin auf den Wasserhaushalt und das Ertragspotential von Getreide im Marchfeld. Dissertation an der Universität für Bodenkultur, S. 1-155.
- 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.), Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie. Band 10, Facultas, Wien, 87-100.
- SCHMID, E., SINABELL, F. und HOFREITHER, M.F. (2007): Sustainability 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. Cheltenham, UK and Northampton, USA, S. 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, S. 909-1000.

### Anschrift der Autorin

Mag. Franziska Strauss  
Institut für Nachhaltige Wirtschaftsentwicklung  
Feistmantelstraße 4, 1180 Wien, Österreich  
eMail: [franziska.strauss@boku.ac.at](mailto:franziska.strauss@boku.ac.at)