

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der  
DBG

Titel der Tagung: „Böden verstehen –  
Böden nutzen – Böden fit machen“  
DBG, 3. – 9. September 2011, Berlin  
Berichte der DBG (nicht begutachtete  
online Publikation)

<http://www.dbges.de>

## Strategien für die Landwirtschaft im Klimawandel: eine Modellstudie

C. Nendel<sup>a,\*</sup>, K.C. Kersebaum<sup>a</sup>, W. Mirschel<sup>a</sup>  
und K.-O. Wenkel<sup>a</sup>

### Zusammenfassung

Das dynamische, prozess-basierte Simulationsmodell MONICA wurde eingesetzt, um die Entwicklung des Bewässerungs- und des Stickstoffbedarfs von Winterweizen, Wintergerste und Silomais in einem angenommenen Klimaszenario (A1B) zu berechnen. Der Bewässerungsbedarf wurde mit einer automatischen Bewässerungsfunktion in Simulationen auf einem Sandstandort (531 mm durchschnittlicher Jahresniederschlag 1951 – 2003), der Stickstoffbedarf zusätzlich auf einem Lössstandort ermittelt (876 mm). Es ergaben sich ein signifikant erhöhtes Ertragsniveau bei Mais und Weizen unter Bewässerung im Zeitraum um das Jahr 2070 im Vergleich zur nicht bewässerten Kultur, jedoch eine kaum ertragssteigernde Wirkung bei Gerste. Der Stickstoffbedarf steigt in der Simulation um etwa 20 kg N ha<sup>-1</sup> bei Weizen, bleibt bei Gerste und Mais jedoch auf heutigem Niveau.

<sup>a</sup> Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung,  
Institut für Landschaftssystemanalyse, Eberswalder  
Straße 84, 15374 Müncheberg.

\* E-Mail: [nendel@zalf.de](mailto:nendel@zalf.de) (C. Nendel).

### Einführung

Der Klimawandel ist in aller Munde, die Menge und Qualität der Information unüberschaubar. Insbesondere der landwirtschaftliche Sektor fühlt sich betroffen und möchte sich gern aus erster Hand informieren. Diesem Zwecke dienend wurde die Wissensplattform Landcare-DSS entwickelt und als Prototyp im Internet zugänglich gemacht ([www.landcare-dss.de](http://www.landcare-dss.de)). Diese Plattform enthält regionalisierte Klimadaten aus globalen Simulationen zukünftiger Szenarien, die mit geringem Aufwand anschaulich gemacht werden können. Sie bietet darüber hinaus eine Anzahl regionaler Simulationsmodelle (REMICs), die räumlich explizit über eine Google Maps<sup>®</sup>-Nutzerführung angewendet werden können. Um Fragen nach möglichen Anpassungsstrategien auf Betriebsebene beantworten zu können, muss jedoch ein Prozessmodell eingesetzt werden, dessen Handhabung mit etwas höherem Aufwand verbunden ist. Ein Prozessmodell kann helfen, Effekte einer angepassten Managementstrategie auf Betriebsergebnis und Umwelt herauszuarbeiten. Zwei immer wieder von Nutzern gestellte Fragen sollen hier exemplarisch behandelt werden:

1. Was bringt mir eine Bewässerung?
2. Muss die Stickstoffdüngung in Zukunft angepasst werden?

### Material und Methoden

#### MONICA

Das dynamische, prozess-basierte Simulationsmodell für Agrarökosysteme, MONICA (Nendel et al. 2011), ist eine um den Kohlenstoffkreislauf erweiterte und grundlegend überarbeitete Version von HERMES (Kersebaum & Richter, 1991). Es arbeitet mit einem generischen, Photosynthese-getriebenen Pflanzenmodell und ist deshalb in der Lage,

eine Vielzahl von Kulturpflanzen zu berücksichtigen. Der Wassertransport wird mit einem Kapazitätsansatz beschrieben, der N-Transport gehorcht der Konvektions-Dispersions-Gleichung. Der Umsatz organischer Substanz im Boden und die damit verbundene Freisetzung von  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{CO}_2$  sind dem DAISY-Modell entlehnt (Hansen et al. 1991). MONICA wurde für die Simulation von Ackerfruchtfolgen in Deutschland, auch unter erhöhter atmosphärischer  $\text{CO}_2$ -Konzentration (im Folgenden:  $[\text{CO}_2]$ ), kalibriert und ausgiebig getestet (Nendel et al. 2011). MONICA ist Bestandteil des Landcare-DSS.

### Die Modellstudie

Für die Modellstudie wurden typische Fruchtfolgen über 30 Jahre angelegt. Zum einen: Winterraps – Winterweizen – Futtererbse – Wintergerste, zum anderen: Silomais – Wintertriticale – Winterroggen. Saat- und Erntezeitpunkte wurden nicht an zukünftige Klimabedingungen angepasst. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nur Winterweizen, Wintergerste und Silomais im Detail betrachtet.

Der Bewässerungsbedarf wurde mit einer automatischen Bewässerungsfunktion in Simulationen über jeweils 30 Jahre um die Jahre 2010, 2025, 2040, 2055 und 2070 unter Verwendung von drei WETTREG-Klimarealisierungen (Enke et al., 2005) des Szenarios A1B (IPCC, 2007) auf einem Sandstandort bei Müncheberg, Brandenburg, ermittelt (Tab.1). Die Bewässerungsfunktion bestimmt im Tagesschritt den simulierten Wassergehalt im virtuellen Profil. Wenn dieser einen voreingestellten Grenzwert unterschreitet, wird eine vom Nutzer definierte Wassermenge dem System zugeführt (hier: 20 mm). Die Simulationsergebnisse

werden verglichen mit einer unbewässerten Variante. Im Unterschied zu diesem Vorgehen wurde der Stickstoffbedarf anhand eines virtuellen N-Steigerungsversuches ermittelt. Dafür wurden die Simulationen jeweils mit einer um  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$ , in der Nähe des Ertragsoptimums mit einer um  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  erhöhten N-Gabe wiederholt. Für diese Studie wurde der Stickstoffbedarf zusätzlich auf einem Lössstandort bei Aachen, Nordrhein-Westfalen, ermittelt. Es wurden dafür nur die Jahresscheiben 2010 und 2070 berücksichtigt.

Tabelle 1: Standorteigenschaften.

Eigenschaft	Einheit	Müncheberg	Aachen
<i>Boden</i>			
Bodenart		Sand	Lehm
Sandgehalt	$\text{kg kg}^{-1}$	0.89	0.44
Tongehalt	$\text{kg kg}^{-1}$	0.03	0.18
$C_{\text{org}}$ -Gehalt	$\text{kg kg}^{-1}$	0.008	0.015
Eff. Lagerungsdichte	$\text{kg m}^{-3}$	1600	1720
<i>Klima (1996 – 2025)<sup>a</sup></i>			
Niederschlag	mm	497	696
Lufttemperatur	°C	8.7	10.3
$[\text{CO}_2]$	ppm	392	392
<i>Klima (2026 – 2055)<sup>a</sup></i>			
Niederschlag	mm	522	699
Lufttemperatur	°C	9.4	11.0
$[\text{CO}_2]$	ppm	465	465
<i>Klima (2056 – 2085)<sup>a</sup></i>			
Niederschlag	mm	504	772
Lufttemperatur	°C	10.3	12.0
$[\text{CO}_2]$	ppm	569	569

<sup>a</sup> WETTREG-Daten aus ECHAM5/MPI-OM (Enke et al., 2005), Szenario A1B, mit Ausnahme von  $[\text{CO}_2]$ , welche von MONICA entsprechend berechnet wird.

## Ergebnisse

### Bewässerung

Aus dem Vergleich der Simulationen von bewässerten und unbewässerten Fruchtfolgen ergaben sich jeweils höhere Erträge bei

Winterweizen (+0,6 t ha<sup>-1</sup>; Abb. 1) und Silomais (+4 t ha<sup>-1</sup>; Abb. 3) unter Bewässerung im Zeitraum um das Jahr 2070 im Vergleich zum Zeitraum um das Jahr 2010.

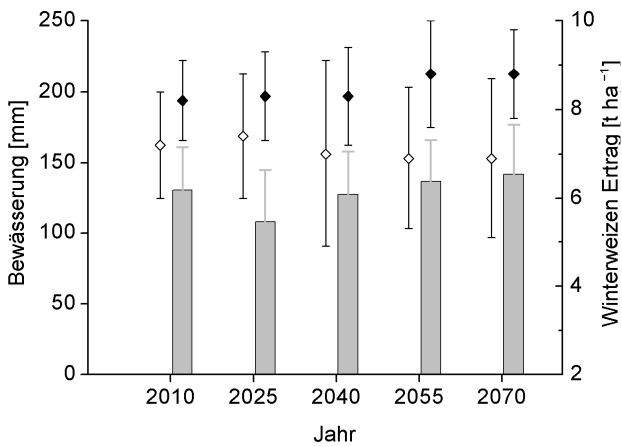


Abbildung 1: Simulierter Winterweizen-Ertrag (◆ bewässert; ◇ unbewässert) und Zusatzwasserbedarf (Säule) für verschiedene 30-Jahresscheiben (WETTREG, A1B).

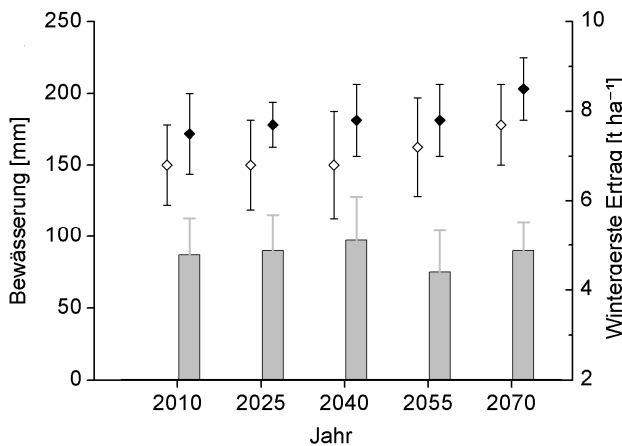


Abbildung 2: Simulierter Wintergerste-Ertrag (◆ bewässert; ◇ unbewässert) und Zusatzwasserbedarf (Säule) für verschiedene 30-Jahresscheiben (WETTREG, A1B).

Bei der unbewässerten Variante konnte ein Rückgang des Ertragsniveaus um 0,3 t ha<sup>-1</sup> bei Weizen und um 3 t ha<sup>-1</sup> bei Mais ermittelt werden. Der Wintergersteertrag nahm in der bewässerten (1,0 t ha<sup>-1</sup>) und in der unbewässerten Variante zu (0,9 t ha<sup>-1</sup>; Abb. 2).

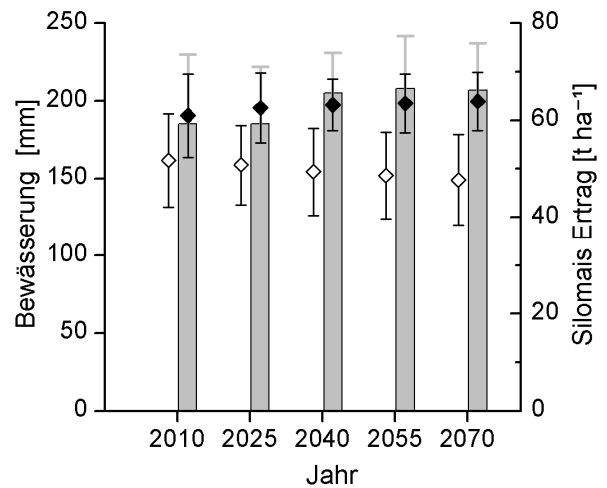


Abbildung 3: Simulierter Silomais-Ertrag (◆ bewässert; ◇ unbewässert) und Zusatzwasserbedarf (Säule) für verschiedene 30-Jahresscheiben (WETTREG, A1B).

### Stickstoffdüngung

Im virtuellen Stickstoffsteigerungsversuch stieg der Stickstoffbedarf von Winterweizen im Zeitraum um 2070 an beiden Standorten bei steigenden Erträgen um etwa 20 kg N ha<sup>-1</sup> gegenüber dem Zeitraum um 2010 an (Abb. 4), blieb bei Gerste (Abb. 5) und Mais (Abb. 6) jedoch auf dem Niveau von 2010.

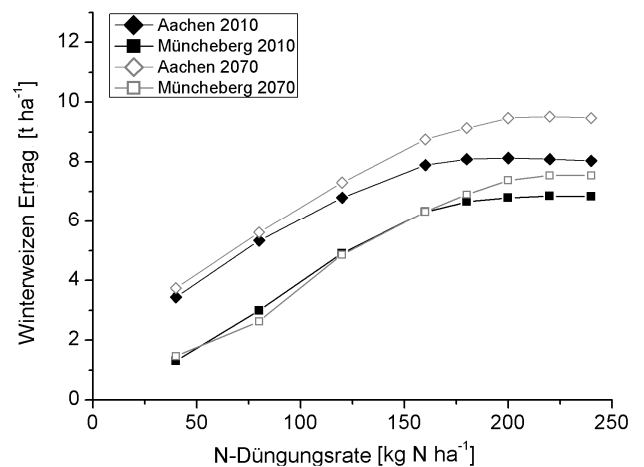


Abbildung 4: Simulierter Winterweizen-Ertrag bei steigender N-Düngungsrate an zwei Standorten für zwei 30-Jahresscheiben (WETTREG, A1B).

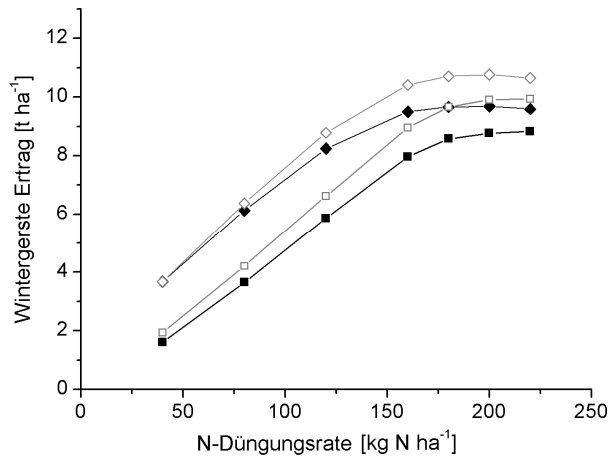


Abbildung 5: Simulierter Wintergerste-Ertrag bei steigender N-Düngungsrate an zwei Standorten für zwei 30-Jahresscheiben ( WETTREG, A1B). Legende siehe Abb. 4.

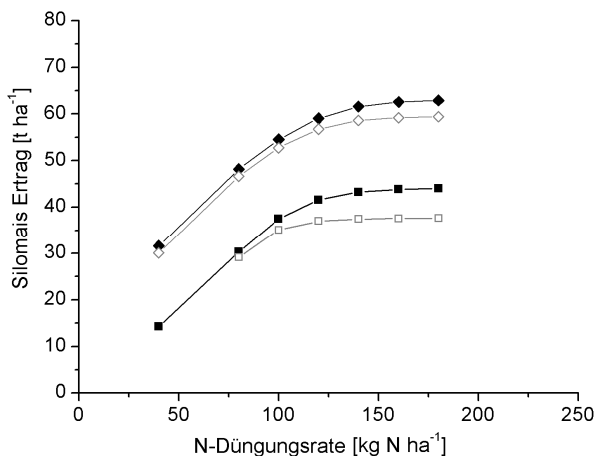


Abbildung 6: Simulierter Silomais-Ertrag bei steigender N-Düngungsrate an zwei Standorten für zwei 30-Jahresscheiben ( WETTREG, A1B). Legende siehe Abb. 4.

## Diskussion

Für Weizen und Mais lässt sich aus der Simulation ableiten, dass zur Sicherung des Ertragsniveaus in der Zukunft eine Bewässerung nötig sein wird. Wintergerste kann aufgrund der schnelleren Entwicklung bei höheren Temperaturen zukünftig früher geerntet werden und entgeht dadurch meist dem ertragsgefährdenden Hitze- und Trockenstress im Sommer. Die N-Versorgung kann wegen einer erhöhten Mineralisation den Mehrbedarf aufgrund höherer Erträge auffangen. Es wird jedoch

wahrscheinlich nicht ausreichen, um beim erwarteten Ertragsrückgang bei Mais die N-Düngung zu reduzieren.

Die Anwendung eines prozessbasierten Simulationsmodells bei der Abschätzung der möglichen Wirkung des Klimawandels auf landwirtschaftliche Prozesse birgt die Gefahr, dass eine allzu präzise Zukunft gemalt wird, deren Eintreten jedoch nur eine gewisse Wahrscheinlichkeit hat. Gleichwohl bietet nur ein Prozessmodell die Möglichkeit, Rückkopplungsprozesse im betrachteten Ökosystem zu berücksichtigen und auch deutlich zu machen. An dieser Stelle ist das dynamische, mechanistische und deterministische Modell den empirischen, statischen und stochastischen Modellen überlegen. Die Möglichkeit, Prozessmodelle bereits unter erwarteten zukünftigen Bedingungen (erhöhte [CO<sub>2</sub>], erhöhte Temperatur, Hitze- und Trockenstress und Sorten aus anderen Klimazonen) zu testen, bietet außerdem eine Sicherheit, die den globalen Zirkulationsmodellen fehlt. Im Vergleich zur Simulation des Pflanzenwachstums hatten der Klimasimulation und -regionalisierung noch immer ein wesentlich höheres Maß an Unsicherheit an.

## Literatur

- Gerwitz, A., Page, E.R. (1974): An empirical mathematical model to describe plant root systems. *J. Appl. Ecol.* 11, 773-781.
- Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E., Svendsen, H. (1991): Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter-wheat using the Danish simulation-model DAISY. *Fert. Res.* 27, 245-259.
- Kersebaum, K.C., Richter, J. (1991): Modelling nitrogen dynamics in a plant-soil system with a simple model for advisory purposes. *Fert. Res.* 27, 273-281.
- Nendel, C., M. Berg, K.C. Kersebaum, W. Mirschel, X. Specka, M. Wegehenkel, K.O. Wenkel and R. Wieland (2011): The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecol. Model.* 222 (9), 1614-1625.