

Modellierung des CO₂-Effekts auf Biomasse- und Ertragsbildung für Freilandbestände

Wilfried Mirschel¹, Karl-Otto Wenkel¹, Remigius Manderscheid²,
Hans-Joachim Weigel²

¹Institut für Landschaftssystemanalyse
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V. Müncheberg
Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg

²Institut für Agrarökologie
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig
wmirschel@zalf.de
wenkel@zalf.de
remy.manderscheid@fal.de
hans.weigel@fall.de

Abstract: Im Bereich der Klimaänderung ist es unumstritten, dass der CO₂-Gehalt der Atmosphäre kontinuierlich ansteigt. Die im FACE(Free Air Carbon Enrichment)-Experiment der FAL Braunschweig bei normalem CO₂-Gehalt (375 ppm) und erhöhtem CO₂-Gehalt (550 ppm) gewonnenen Daten zu boden- und pflanzenbezogenen Zustandsvariablen bilden die Datengrundlage für Ableitung und Überprüfung eines auf Bestandesebene aufsetzenden Modellansatzes zur Abbildung der CO₂-Effekte auf Biomasse- und Ertragsbildung. Der Modellansatz wird in die komplexen dynamischen AGROSIM-Modelle für Wintergetreide und Zuckerrüben integriert. Simulationsrechnungen zu den im FACE-Experiment angebaute Fruchtarten Wintergerste, Winterweizen und Zuckerrüben in den Jahren 2000-2003 zeigen die Brauchbarkeit des gewählten Ansatzes.

1 Einleitung / Zielstellung

Die prognostizierten Änderungen der Klimaverhältnisse mit durch das Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg bis 2100 vorausgesagten Temperaturerhöhungen um bis zu 4.1 Grad, mit in den kommenden Jahrzehnten insgesamt verringerten und in der jährlichen Verteilung veränderten Niederschlägen sowie mit bis 2050 abgeschätzten Erhöhungen beim CO₂-Gehalt der Atmosphäre auf 450 – 550 ppm definieren in Zukunft neue Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft. Der prognostizierte Klimawandel, der einerseits verbunden ist mit Veränderungen der mittleren Klimawerte für Strahlung, Temperatur, Niederschlag und CO₂-Gehalt der Atmosphäre und andererseits auch mit der Häufung von Klimaextremen, wird sich auf landwirtschaftlich angebaute Fruchtarten und damit auf die Agroökosysteme in vielfältiger Weise auswirken.

Aufgrund der Komplexität und der Wechselwirkungen der in einem Agroökosystem ablaufenden Prozesse ist es nicht möglich ohne weiteres vorherzusagen, wie sich beispielsweise die in den nächsten Jahresdekaden deutlich zunehmende Erhöhung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre auf die Biomasse- und Ertragsbildung auswirken wird. Hierfür sind spezielle experimentelle Untersuchungen erforderlich, zum einen unter kontrollierten Bedingungen in Klimakammern, um Einzelwirkungen aufzuklären, und zum anderen vor allem aber unter Freilandbedingungen in FACE(Free Air Carbon Enrichment)-Experimenten, um die Komplexwirkungen unter natürlichen Bedingungen zu untersuchen. Da aber die Vielfalt von Fragestellungen zukünftig möglicher Klimaszenarien nicht in jedem Fall mit konkreten Experimenten beantwortet werden kann, sind Algorithmen bzw. Modelle zu entwickeln, mit denen eingebaut in die Pflanzenwachstums- und komplexen Agroökosystemmodelle der Modellfamilie AGROSIM extrapolative Simulationsrechnungen zur Abschätzung von Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen möglich werden.

2 Experimentelle Grundlagen

Grundlage für Ableitung, Parametrisierung und Überprüfung eines Modellalgorithmus zur Berücksichtigung des Einflusses erhöhter CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre auf das Pflanzenwachstum bildet das FACE-Experiment am Institut für Agrarökologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) im Rahmen des „Braunschweiger Kohlenstoffprojektes“. Dabei befinden sich auf einem 24 ha großen Feld mehrere Begasungsringe mit einem Durchmesser von 20 m. In diesen Ringen lässt sich die CO₂-Konzentration mittels einer speziellen Regelungstechnik in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit und CO₂-Konzentration der Umgebungsluft gezielt erhöhen. Die Pflanzenbestände auf den ca. 314 m² großen Ringflächen wachsen unter freiem Himmel, zum einen bei einer angereicherten CO₂-Konzentration der Luft (550 ppm) und zum anderen bei einer normalen CO₂-Konzentration der Luft (375 ppm, Vergleichsvariante). In allen Ringen wurde auf der einen Ringhälfte ein ortsübliches N-Düngungsregime etabliert und auf der anderen Ringhälfte ein um 50% reduziertes N-Düngungsregime. Für die Modellierungsarbeiten wurde dabei auf die Variante mit dem hohen N-Düngungsregime zurückgegriffen. Die Erfassung und Bereitstellung kohärenter Datensätze zu den verschiedenen Klima-, Pflanzen- und Bodengrößen erfolgte in den Jahren von 1999/2000 bis 2003 für die Fruchtfolge Wintergerste (Sorte: *Theresa*), Zuckerrüben (Sorte: *Wiebke*), Winterweizen (Sorte: *Batis*) und Wintergerste (Sorte: *Theresa*). Eine detaillierte Versuchsbeschreibung ist inklusive der Vorstellung erster pflanzenbaulicher Ergebnisse bei [We01] und [We05] zu finden.

3 Modellansatz

Die positiven Wachstumseffekte einer erhöhten CO₂-Konzentration in der Atmosphäre wurden in der Vergangenheit sowohl bei C3- als auch bei C4-Pflanzen nachgewiesen. Dies geschah hauptsächlich unter kontrollierten Bedingungen in Klimakammern, begin-

nend z.B. bei Gastra [Ga59], aber auch vereinzelt in FACE-Experimenten, wie z.B. in den USA [Ki95] oder Deutschland [We,01]. Basierend auf den daraus verfügbaren quantitativen Beziehungen wurde eine von CO₂-Konzentration (CO₂) der Atmosphäre und Globalstrahlung (GS) abhängige Michaelis-Menten-Gleichung abgeleitet, die einen relativen Einfluss (K_{CO₂}) auf die Biomassebildung von C3-Pflanzen, normiert auf die CO₂-Konzentration von 350 ppm, verkörpert. Dieser relative Einfluss ergibt sich zu

$$K_{CO_2} = \frac{\frac{CO_2 + 0.036 GS - 80}{CO_2 + 0.194 GS + 140}}{\frac{0.036 GS + 270}{0.194 GS + 490}}$$

und ist in Abbildung 1 dargestellt.

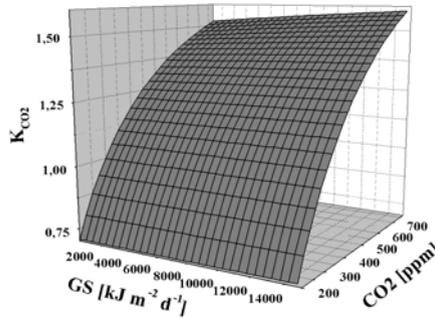


Abbildung 1: K_{CO₂} in Abhängigkeit von CO₂-Konzentration der Atmosphäre und Globalstrahlung

In den Modellen der Agroökosystem-Modellfamilie AGROSIM [WM95] wurde der relative Einflussfaktor K_{CO₂} multiplikativ mit den Ansätzen zur Beschreibung der Photosynthese und der Respiration verknüpft.

4 Ergebnisse

Die Integration der oben beschriebenen relativen Einflussgröße K_{CO₂} in die Algorithmen zur Beschreibung der Photosynthese und der Respiration der AGROSIM-Modelle ist aufgrund des gewählten Ansatzes und der objektorientierten Struktur dieser Modelle leicht realisierbar. In Anwendung auf die Bedingungen des Braunschweiger FACE-Experiments zeigt sich, dass der oben beschriebene Ansatz geeignet ist, die durch eine erhöhte CO₂-Konzentration bedingte Mehrproduktion an Biomasse und Ertrag sowohl in seiner Dynamik (Abbildung 2) als auch zum Erntezeitpunkt (Tabelle 1) ausreichend genau abzubilden.

Anbaujahr	Fruchtart	Biomasse (dt ha ⁻¹)	
		FACE - Experiment	AGROSIM - Modell
1999/2000	Wintergerste	OBM: 183; KBM: 104	OBM: 211; KBM: 108
2001	Zuckerrüben	RB: 84; RK: 163	RB: 99; RK: 187
2001/2002	Winterweizen	OBM: 177; KBM: 57	OBM: 195; KBM: 59
2002/2003	Wintergerste	OBM: 148; KBM: 69	OBM: 161; KBM: 68

Tabelle 1: Vergleich der zum Erntezeitpunkt mit den CO₂-sensitiven AGROSIM-Modellen berechneten Biomassefraktionen (OBM – oberirdisch gesamt, KBM – Korn, RK – Rübenkörper, RB – Rübenblatt) mit den im FACE-Experiment bei 550 ppm gemessenen Biomassefraktionen

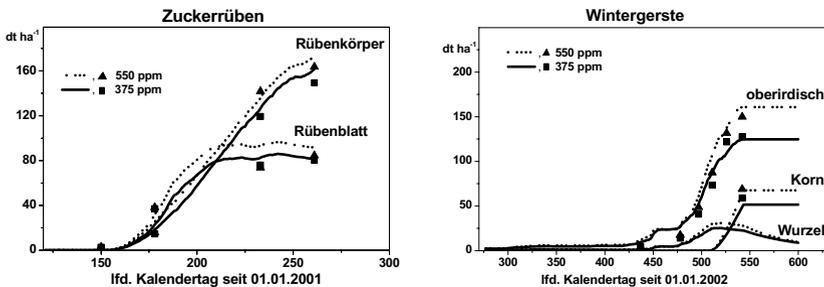


Abbildung 2: Dynamik einzelner Biomassefraktionen für Zuckerrüben (2001) und Wintergerste (2002/2003) bei CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre von 375 ppm und 550 ppm, berechnet mit AGROSIM-Modellen und verglichen mit Messdaten aus dem FACE-Experiment

Literaturverzeichnis

- [Ga59] Gaastra, P.: Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. Ueued. Landbouwhoges. Wageningen, 1959; S. 1-68.
- [Ki95] Kimball, B.A.; Pinter, Jr., P.J.; Garcia, R.L.; LaMorte, R.L.; Wall, G.W.; Hunsaker, D.J.; Wechsung, G.; Wechsung, F.; Kartschall, Th.: Productivity and water use of wheat under free-air CO₂ enrichment. Global Change Biology 1, 1995; S. 429-442.
- [We01] Weigel, H.J. et al.: Zwischen Himmel und Erde – Dem Kohlenstoff aus der Atmosphäre auf der Spur. ForschungsReport - Zeitschrift des Senats der Bundesforschungsanstalten, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 1/2001; S. 14-18.
- [We05] Weigel, H.J. et al.: Mehr CO₂ in der Atmosphäre: Prima Klima für die Landwirtschaft?. ForschungsReport - Zeitschrift des Senats der Bundesforschungsanstalten, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 1/2005; S. 14-17.
- [WM95] Wenkel, K.-O.; Mirschel, W. (Hrsg.): Agroökosystemmodellierung – Grundlagen für die Abschätzung von Auswirkungen möglicher Landnutzungs- und Klimaänderungen. ZALF-Report 24, Zentrum für Agrarlandschaftsforschung Müncheberg, 1995; 187 S.