

Ein generisches Photosynthese- und Transpirationsmodul für die Modellierung der Stoffbildung von Weizen, Gerste und Raps auf Organ- und Bestandesebene

Johannes Müller, Henning Braune, Wulf Diepenbrock

Professur Spezieller Pflanzenbau, AG Modellierung Pflanzlicher Systeme/Ökophysiologie
Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Ludwig-Wucherer-Straße 2, 06099 Halle
johannes.mueller@landw.uni-halle.de
henning.braune@landw.uni-halle.de
wulf.diepenbrock@landw.uni-halle.de

Zusammenfassung: Es wird ein organorientiertes und stickstoff-sensitives Modell des Gasaustausches (CO_2 , H_2O) beschrieben, das auf der Grundlage von Gaswechsellmessungen kalibriert und validiert wurde. Darauf aufbauend werden beispielhaft Simulationen des Bestandes-Gasaustausches von Raps vorgestellt.

1 Einleitung

Die zeitlich und räumlich hoch strukturierten Prozessabläufe der pflanzlichen Stoffbildung werden in Pflanzenwachstumsmodellen zumeist stark aggregiert beschrieben (Tagesschritte, organübergreifende Kompartimente). Somit können nur „mittlere“ Charakteristiken formuliert werden, die sich nicht unmittelbar aus den realen Systemgrößen ableiten lassen. Ebenso können die Parameter der biophysikalisch-biochemischen Prozesscharakteristiken aus Grundlagenuntersuchungen nur approximativ übernommen werden. Die Prozessbeschreibung bleibt damit weitgehend phänomenologisch. Im Gegensatz dazu wird hier ein zeitlich und räumlich hoch aufgelöstes gekoppeltes Organ- und Bestandesmodell für den CO_2 - und H_2O -Gasaustausch (GA) vorgestellt.

2 Modell

2.1 Organebene

Das Modell *LEAFC3-N* [MW05] ist eine Weiterentwicklung des Modells *LEAFC3* [NM95], das Submodelle für Photosynthese [FC80], Stomataleitwert [BW87], Energie- und Massentransfer durch die Grenzschicht am Blatt und die Energiebilanz kombiniert.

LEAFC3-N berücksichtigt darüber hinaus den Einfluss des Stickstoffgehaltes (N) auf den GA, indem Schlüssel-Kenngrößen des Photosynthese- und des Stomata-Submodells direkt oder indirekt (über korrelative Beziehungen zwischen den Kenngrößen) als Funktionen von N dargestellt werden (z. B. für maximale Carboxylierungsrate, maximale Elektronentransportrate, maximale Quantenausbeute, Dunkelatmungsrate, Stomataleitwert). Damit lassen sich Effekte wie zum Beispiel der N-Versorgung oder der Blattseneszenz auf den GA physiologisch begründet erfassen. Das Modell wird durch ein System nichtlinearer Gleichungen repräsentiert, das iterativ gelöst werden muss. Es liegen Parametrisierungen von *LEAFC3-N* für Weizen, Gerste und Raps vor.

2.2 Bestandesebene

Als Submodell des gekoppelten 3D-Architektur-Prozessmodells *Virtual Crop-Barley* [MW07; WM07] und des Bestandesmodells *GRECA (Gas and Radiation Exchange of Canopies)* [MW99; MB05] ermöglicht *LEAFC3-N* die Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Muster der Photosynthese und der Effekte von Wachstumsbedingungen, Entwicklung und Seneszenz. In *GRECA* wird der Bestand durch eine Schichtenstruktur approximiert. Im Beitrag wird eine Version dieses Modells für Raps vorgestellt. Es umfasst die folgenden Module:

- 1: Dynamik der Flächenindizes (Blüten, Blätter, Schoten, Stängel)
- 2: Dynamik von Stickstoff- und Chlorophyll-Gehalt (Blätter, Schotenwände)
- 3: Strahlungstransfer (Lichtabsorption und -reflexion durch Pflanzenorgane)
- 4: Photosynthese und Transpiration (*LEAFC3-N_rapeseed*; [MD06])
- 5: Atmung (nicht-photosynthetisch aktive Gewebe, Boden)

3 Material und Methoden

Der GA wurde an Blättern von Winterweizen [MW05], Winterraps (auch Schoten) [MD06] und Sommergerste [MW07] in Feldbeständen (mit/ohne N-Düngung) und Klimakammern (Gerste) zu mehreren Entwicklungsstadien mit Blatt-Küvetten gemessen (LI-6400, LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA; CO₂/H₂O Porometer CQP-130, Heinz Walz GmbH, Effeltrich, BRD). Zur Parametrisierung von *LEAFC3-N* wurde die Lichtabhängigkeit und bei Gerste auch die CO₂-Abhängigkeit bei verschiedenen Stufen der Blatttemperatur und zwei Stufen der O₂-Konzentration (21%, 2%) erfasst. Zur Validierung von *LEAFC3-N* wurden Tagesgänge des GA genutzt. Ergänzend wurden an Blättern und Schotenwänden die Konzentrationen von N (nach Dumas, Vario EL, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, BRD) und Ch (SPAD-502, Minolta Co., Osaka, Japan) bestimmt. Ausgewählte Parameter wurden durch Optimierung justiert [MW05; MD06]. Auf Bestandesebene wurden Tagesgänge des GA einschließlich mikroklimatischer Größen mit rechnergesteuerten und teilklimatisierten Parzellenküvetten (Grundfläche 0.7 m²; jeweils 2 Küvetten in Parzellen mit bzw. ohne N-Düngung) von Schossbeginn bis Reife gemessen [MW99; MB05]. Weiterhin wurden der Bestandesflächenindex (LI 2000 Plant Canopy Analyser, LI-COR Inc.) und vertikale Profile von N und Ch (Methoden wie oben) ermittelt.

4 Ergebnisse und Diskussion

Die Simulationsergebnisse mit *LEAFC3-N* und *GRECA* werden nachfolgend beispielhaft für Winterraps vorgestellt. *LEAFC3-N* simuliert Tagesgänge des GA der Blätter (Abb. 1) und Schoten (nicht dargestellt) auf der Basis organspezifischer Parametersätze und erfasst auch den Einfluss des N-Gehaltes der Blätter bzw. der Schotenwände. Darauf aufbauend gibt auch *GRECA* die Tagesgänge des Bestandes-Gaswechsels für verschiedene Ontogenesestadien und N-Düngungsstufen richtig wieder (Abb. 2). Für den Ontogeneseabschnitt von Blühbeginn bis Reife wird dies in Abb. 3 für die täglichen Maximalwerte der Netto-Photosyntheserate gezeigt.

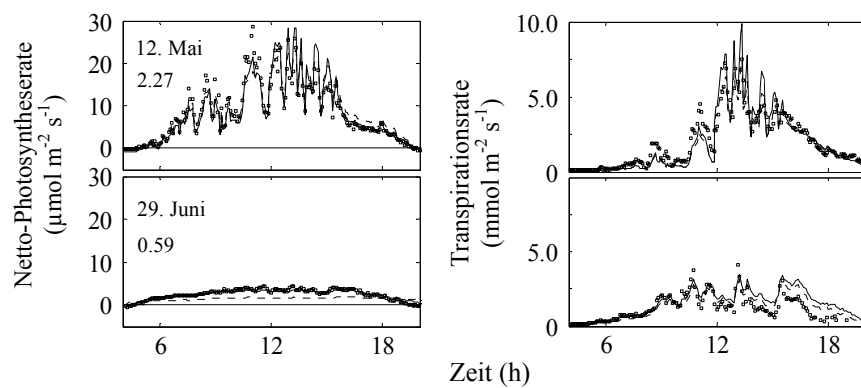


Abbildung 1: Tagesgänge, Raten der Netto-Photosynthese und Transpiration von Rapsblättern. Messwerte (Symbole) und Simulation (Linien; unterbrochen: Parameter abgeleitet aus Lichtkurven, durchgezogen: Parameteroptimierung). Zahlenangaben: N-Gehalt der Blätter (g m^{-2}).

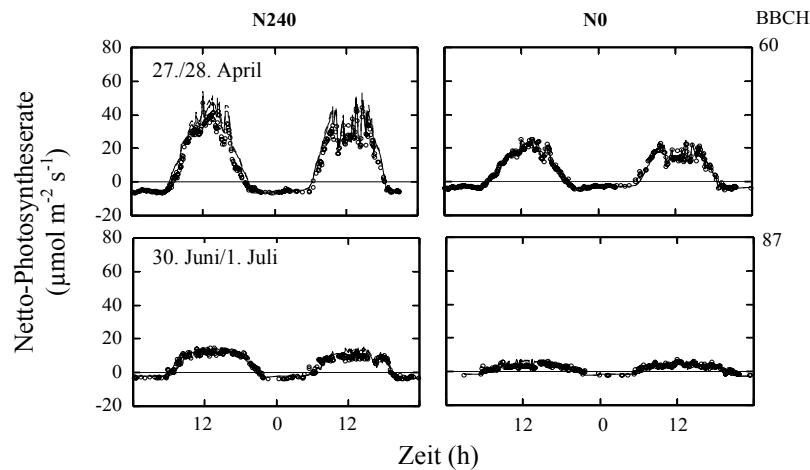


Abbildung 2: Messwerte (Symbole) und Simulation (Linien) von Tagesgängen, Netto-Photosyntheserate von Rapsbeständen bei 2 N-Düngungsstufen (N0, N240: 0 und 240 kg ha^{-1}) zu Blühbeginn (BBCH 60) und zur Reife (BBCH 87).

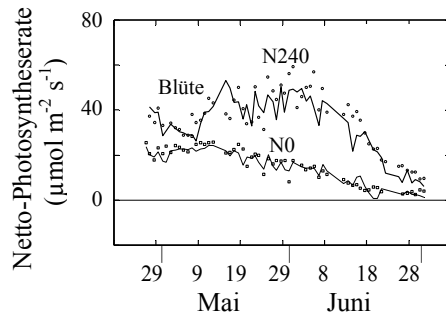


Abbildung 3: Messwerte (Symbole) und Simulation (Linien) des Verlaufs der täglichen Maximalwerte der Netto-Photosyntheserate von Rapsbeständen bei 2 Stufen der Stickstoffdüngung (N0, N240: 0 und 240 kg ha^{-1}).

Deutlich erkennbar ist in der Variante mit hoher N-Düngung die verzögerte Seneszenz und die Reduktion der Netto-Photosyntheserate zur Blüte, die sich auf die Strahlungsreflexion durch die Blütenblätter zurückführen lässt.

Eine Einbindung der Modelle in komplexere Agro-Ökosystemmodelle ist geplant.

Literaturverzeichnis

- [BWB87] Ball, J.T.; Woodrow, I.E.; Berry, J.A.: A model predicting stomatal conductance and its contribution to the control of photosynthesis under different environmental conditions. In: Biggins, J. (Editor), Progress in Photosynthesis Research. Proceedings of the VII. International Congress on Photosynthesis. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht-Boston-Lancaster, 4, 1987; S. 221-224.
- [FCB80] Farquhar G.D.; von Caemmerer S.; Berry J.A.: A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C_3 species. *Planta* 149, 1980; S. 78-90.
- [MWD99] Müller, J.; Wernecke, P.; Diepenbrock, W.: Test and Calibration of the *GRECA* Model of Gas and Radiation Exchange in Canopies Using Leaf and Canopy Data. In: Donatelli M., Stockle C.; Villalobos F.; Villar Mir J. M.: Proc. Int. Symp. Modelling Cropping Systems, Lleida (Spain), ESA and University of Lleida, 1999; S. 223-224.
- [MB05] Müller, J.; Behrens, T.; Diepenbrock, W.: Measurement and modelling of canopy gas exchange of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agric. For. Meteorol.* 132, 2005; S. 181-200.
- [MW05] Müller, J.; Wernecke, P.; Diepenbrock, W.: LEAFC3-N: a nitrogen-sensitive extension of the CO_2 and H_2O gas exchange model LEAFC3 parameterised and tested for winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ecological Modelling* 183, 2005; S. 183-210.
- [MD06] Müller, J.; Diepenbrock, W.: Measurement and modelling of canopy gas exchange of leaves and pods of oilseed rape. *Agric. For. Meteorol.* 139, 2006; S. 307-322.
- [MW07] Müller, J.; Wernecke, P.; Braune, H.; Diepenbrock, W.: Photosynthesis and Carbon Balance. In: Functional-Structural Plant Models in Crop Production. Proceedings Frontis International Workshop, Wageningen, 5.-8. March 2006, Springer, 2007; *in print*.
- [NMS95] Nikolov, N.T.; Massman, W.J.; Schoettle, A.W.: Coupling biochemical and biophysical processes at the leaf level: An equilibrium photosynthesis model for leaves of C_3 plants. *Ecol. Model.* 80, 1995; S. 205-235.
- [WM07] Wernecke, P.; Müller, J.; Dornbusch, T.; Diepenbrock, W.: The Virtual Crop Modelling System 'VICA' specified for Barley. In: Functional-Structural Plant Models in Crop Production. Proceedings Frontis International Workshop, Wageningen, 5.-8. March 2006, Springer, 2007; *in print*.