

Ein dynamisches Modell zur Berechnung der Transpiration von Pflanzenbeständen - Winterraps (*Brassica napus* L.)

BRIGITTA HÖRMANN, QUEDLINBURG

Abstract

The presented model shows an indirect method to calculate the stand transpiration of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown at two fertilization levels. The environmental drive variables as well as special functions driven by plant development derived from experimental data are used. The stand surface temperature of rape is calculated from the energy balance of heat flows, e.g. latent and sensible heat, and compared with the measured infrared canopy temperature. Subdividing the canopy in at least two layers of morphological and physiological separated plant parts such as leaves and pods has been found appropriate. The energy balance is advanced for each layer and the resulting system of simultaneous differential equations is solved considering given initial conditions. Although there are some deviations the model predicts the surface temperature pretty good. The time courses of canopy transpiration obtained this way are given in distances of 10 minutes and are planned to compare with water fluxes measured with a chamber at canopy level in the near future.

1 Einführung

Die Transpiration von ausgedehnten Kulturpflanzenbeständen ist schwer meßbar. Ihre Bestimmung erfordert sowohl die Berücksichtigung von Umweltfaktoren als auch von Pflanzenzustandsgrößen, die sich bei Kulturpflanzen im Verlauf der Vegetationsperiode beträchtlich ändern. Der hier vorgestellte Modellansatz bietet eine Methode zur Berechnung der Bestandes- und Transpiration. Dazu wird eine Differentialgleichung für die Temperatur eines Pflanzenbestandes aufgestellt, indem die Änderung der Temperatur aus der Bilanz von Wärmeffüssen berechnet wird. Die Wärmefflüsse, insbesondere der Term Q_{Tr} für die Transpiration, sind Funktionen der Temperatur des Pflanzenbestandes. Die über die Differentialgleichung berechnete Temperatur wird mit einer experimentell ermittelten Temperatur verglichen, die mit einem Infrarot-Thermometer berührungslos über einen Bestandesausschnitt integrierend gemessen wurde.

2 Methoden

Die experimentellen Untersuchungen wurden an Winterrapsbeständen (var. Falcon) zweier Stickstoffversorgungsstufen N0 (Kontrolle) und N1 (120 kg N ha⁻¹) durchgeführt. Detaillierte Angaben zur Freilandversuchsanlage finden sich bei (MÜHLE et al. 1996). Im Entwicklungsverlauf wurden auf beiden Stickstoffvarianten an Blättern und nach Abschluß der Blüte an Schoten Oberflächentemperaturen mit Infrarot-Thermometern (IT 5, Ahlborn) gemessen. Begleitend sind Zustandsgrößen wie Bestandeshöhe, Flächenindex PAI (LAI 2000, LI-COR) und Stickstoff- und Chlorophyllgehalt erfaßt worden. Zu ausgewählten Zeitpunkten der Entwicklung wurden anhand von fraktionierten Schichtenrnten die Anteile der vorhandenen Organtypen bestimmt. An Einzelblättern und Schoten sind Tagesgänge der Transpiration und Photosynthese (CO₂/H₂O-Porometer, Walz) gemessen worden.

3 Modellansatz

Die mit dem Modell EVAT-R primär berechnete Größe ist die Oberflächentemperatur eines Pflanzenbestandes. Die Grundidee ist die Aufstellung der Energiebilanz in Form einer Differentialgleichung für die Temperatur T des Körpers mit der Masse m und der spezifischen Wärmekapazität cw. Dadurch steht die zeitliche Änderung der Temperatur T' in direktem Be-

zug zur Bilanz der Wärmefflüsse $\Sigma (Q_{in} - Q_{out})$. Um den Übergang auf den Pflanzenbestand zu vollziehen, wird die Masse m in horizontale Teilschichten der Dichte ρ_s und der Dicke d_s zerlegt. Durch Bezug auf die Grundfläche A wird damit die Zustandsgröße Flächenindex PAI des Pflanzenbestandes eingeführt.

$$T' = \Sigma (Q_{in} - Q_{out}) / (c_w \cdot \rho_s \cdot d_s \cdot PAI);$$

Weitere berechnete hydrologisch interessante Ausgabegrößen sind die Leitfähigkeit für Wasserdampf g_{can} und die Transpirationsrate T_{can} für den Pflanzenbestand, einschließlich Kondensation am Taupunkt und freier Evaporation von der Pflanzenoberfläche.

4 Ergebnisse und Diskussion

Die Bestandesarchitektur von Winterraps verändert sich stark während der pflanzlichen Entwicklung und wird mit Zustandsgrößen, wie Entwicklungszustand DC, Flächenindex PAI, Stickstoff- und Chlorophyllgehalt sowie Koeffizienten für die Strahlungsverteilung im Bestand charakterisiert. Als Datengrundlage stehen experimentelle Daten der Zustandsgrößen des Pflanzenbestandes zur Verfügung, die mit Hilfe von Modellen wie ONTO-WR nach WERNECKE (1997, unveröff.) sowie geeigneten Funktionen vom Entwicklungszustand interpoliert werden und somit zu jedem Zeittakt der Modellrechnung vorliegen (Abb. 1).

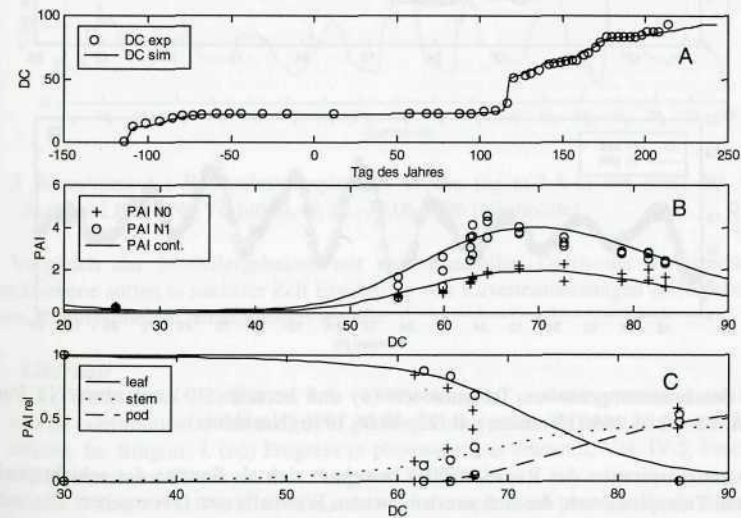


Abb. 1 A: DC experimentell (o) und simuliert (-) mit ONTO-WR; B: PAI-Meßwerte interpoliert über den Entwicklungsverlauf für N0 (+) und N1 (o); C: Relative Anteile von Blättern, Sprossen und Schoten am PAI für N0 (+) und N1 (o) über die Entwicklung interpoliert

Mit einem CO₂/H₂O-Porometer wurde an Blättern und Schoten die stomatare Leitfähigkeit im Tagesgang als zentrale physiologische Größe bestimmt und mit diesen Daten ein lokales Gaswechselmodell (leafpsn6) adaptiert. Die Berechnung der Photosynthese erfolgt nach Algo-

ritmen, die auf FARQUHAR et al. (1980) zurückgehen und nach dem analytischen Verfahren von BALDOCCHI (1994) gelöst werden. Die stomatare Leitfähigkeit für Wasserdampf wird nach BALL et al. (1987) berechnet.

Zur Berechnung der Transpiration erweist es sich als zweckmäßig, den Bestand in horizontale Schichten strukturell gleichartiger Pflanzenobjekte (Blätter, Schoten) einzuteilen. Für jede Schicht wird eine Differentialgleichung zur Berechnung der jeweiligen Schichttemperatur formuliert, so daß insgesamt unter Berücksichtigung des Strahlungsaustausches zwischen den Schichten ein System miteinander gekoppelter Differentialgleichungen entsteht. Dieses Differentialgleichungssystem wird zu den vorgegebenen Anfangswerten numerisch gelöst. Die berechneten zeitlichen Verläufe der Temperaturen, beispielhaft dargestellt für zwei Entwicklungsabschnitte, vor (Abb. 2, A) und nach der Blüte (Abb. 2, B), weisen eine gute Übereinstimmung mit den Meßwerten auf. Aus den Temperaturen der Einzelschichten wird die resultierende Vergleichstemperatur zu den experimentellen Meßwerten berechnet.

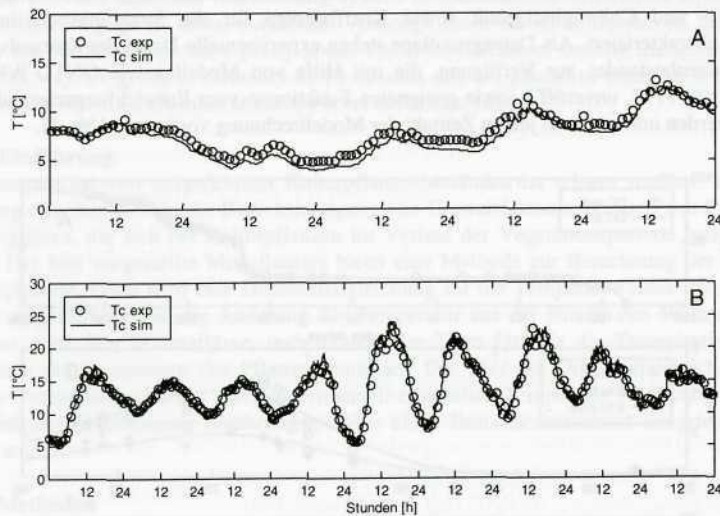


Abb. 2 Bestandestemperaturen T_c gemessen (o) und berechnet (-) auf einer N1 Parzelle A: 08.-12.05.1996 (Vorblüte), B: 22.-30.06.1996 (Nachblüte)

Die Gesamttranspiration des Rapsbestandes berechnet sich als Summe der schichtspezifisch ermittelten Transpirationen, die sich aus den latenten Wärmeflüssen Q_{Tr} ergeben. Die mit dem Gaswechselfmodell unter Verwendung der Schichttemperatur berechnete stomatare Leitfähigkeit der Schicht *g*layer ist eine wichtige Größe für die Berechnung der aktuellen Transpirationsrate T_{rlayer} in dieser Schicht.

Für die obengezeigten Zeitabschnitte der Entwicklung ergibt die Modellrechnung Spitzenwerte für die Transpirationsraten des Rapsbestandes (Abb. 3), die zwischen 0.15 und $0.25 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ liegen. Die quantitativen Unterschiede sind neben meteorologischen Bedingungen, auf die Zunahme an Pflanzenoberfläche und auf die veränderte Zusammensetzung des Bestandes zurückzuführen. Beträgt der PAI am 08.-12.05.1996 (DC 55-59) noch 2,0 bis 2,8 so nimmt er in der Zeit vom 22.-30.06.1996 (DC 79-83) durch Blattverlust bedingt von

3,1 auf 2,6 ab. In den Nachtstunden auftretende negative Transpirationsraten bedeuten, daß die Schichttemperatur unter den Taupunkt der Luft abgesunken ist und dadurch Kondensation von Wasserdampf auf den Pflanzenoberflächen eingetreten ist. Der ausgefallene Tau verpft bei höheren Temperaturen dann wieder über freie Evaporation von den Pflanzenoberflächen.

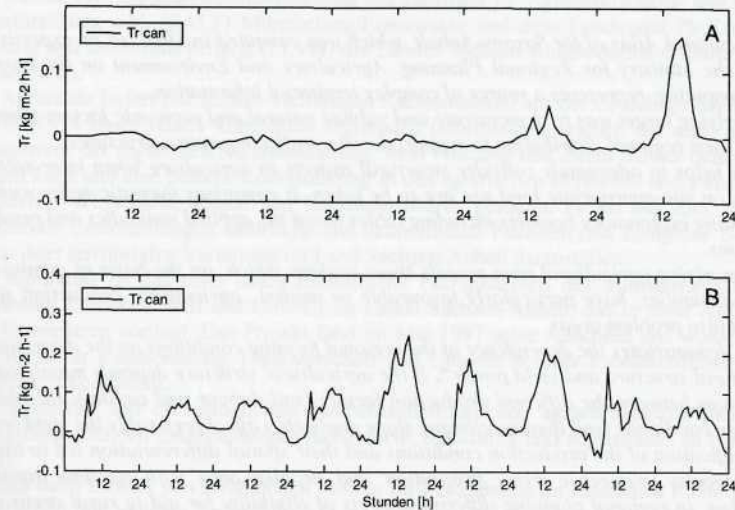


Abb. 3 Berechnete (-) Bestandestranspiration Tr_{can} [kg m⁻² h⁻¹] auf einer N1 Parzelle A: 08.-12.05.1996 (Vorblüte), B: 22.-30.06.1996 (Nachblüte)

Zum Vergleich der Modellergebnisse mit experimentellen Daten der Transpiration auf Bestandesebene sollen in nächster Zeit Ergebnisse von Küvettenmessungen an Rapsbeständen und von Kleinlysimetern herangezogen werden.

5 Literatur

- BALL, J.T.; WOODROW, I.E.; BERRY, J.A. (1987): A model predicting stomatal conductance and its contribution to the control of photosynthesis under different environmental conditions. In: Bingins, I. (ed) Progress in photosynthesis research, Vol. IV.5, Proc. Of the VII International Photosynthesis Congress, S. 221-224.
- BALDOCCHI, D.D. (1994): An analytical solution for coupled leaf photosynthesis and stomatal conductance models. *Tree Physiol.* 14: 1069-1079.
- FARQUHAR, G.D.; VON CAEMMERER, S.; BERRY, J.A. (1980): A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* 149: 78-90.
- MÜHLE, H.; CLAUS, S. (1996): Reaktionsverhalten von agrarischen Ökosystemen homogener Areale. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- WERNECKE, P. (1997): Simulation des Entwicklungszustands DC von Winterraps am Standort Quedlinburg (ONTO-WR). unveröff.