# Modell für die Biomasseakkumulation bei Winterroggen und Wintergerste, entwickelt auf der Basis von $CO_2$ - Gasaustauschmessungen in der Klimakammer

Wilfried Mirschel, Franz Reining, Karl-Otto Wenkel

Institut für Landschaftssystemanalyse
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V. Müncheberg
Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg
wmirschel@zalf.de**T**
wenkel@zalf.de

**Abstract:** Für Winterroggen und Wintergerste wurden Modellalgorithmen abgeleitet für die Beschreibung der stündlichen Raten sowohl der Nettophotosynthese als auch der Dunkelrespiration. Grundlage dafür sind detaillierte experimentgestützte Analysen der Biomasseakkumulation mittels $CO_2$-Gasaustauschmessungen in Klimakammern unter kontrollierten Bedingungen. Berücksichtigt werden die Haupttriebkräfte Temperatur und Strahlung sowie die Größen Biomasse und Ontogenese. Mit den abgeleiteten Algorithmen wird die Dynamik der oberirdischen Biomassebildung von Freilandbeständen auf dem Intensivmessfeld am Standort Müncheberg für das Jahr 1993 vom Beginn der Vegetation bis zur Ernte beschrieben.

## 1 Einleitung und Aufgabenstellung

Für die gegenwärtig sehr aktuellen Fragestellungen wie C-Sequestrierung und Gewinnung von Bioenergie über die Pflanze sind die Prozesse der Photosynthese und Biomasseakkumulation von primärer Bedeutung. Um die Wirkung der Landnutzung auf diese Prozesse aufzuklären und zu modellieren, muss eine zielorientierte und teils fruchtartspezifische Prozess- und Systemanalyse vorangestellt werden. Während für einige Kulturpflanzen, wie z.B. für Winterweizen viel Systemwissen vorhanden ist, liegt für andere landwirtschaftlich wichtige Fruchtarten und Energiepflanzen dieses Systemwissen nur unvollständig oder gar nicht vor. Bedeutung kommt hier der Untersuchung der Wirkungen von Strahlung und Temperatur auf Photosynthese und Biomassebildung zu. Für Wintergerste und Winterroggen soll dies beginnend bei einer experimentgestützten Prozessanalyse auf der Basis von $CO_2$ – Gasaustauschmessungen, die eine dynamische Stoffbilanzierung ermöglichen, durchgeführt werden. Darauf aufbauend sollen für die Photosynthese und die Dunkelrespiration für beide Fruchtarten Modellalgorithmen abgeleitet, parametrisiert und an Felddaten validiert werden, um sie als das Wachstum beschreibende Module in komplexe dynamische Agroökosystemmodelle integrieren zu können.

# 2 Methodik

## 2.1 Klimakammerexperiment

Die Messung des $CO_2$ - Gasaustausches von heranwachsender Pflanzenbestände ausschließlich in Klimakammern bzw. nur in Freilandküvetten ist aus Zeit- und Kostengründen wenig effektiv. Darüber hinaus ist die Übertragbarkeit der gewonnenen Ergebnisse auf reale Freilandverhältnisse mit vielen Problemen behaftet. Deshalb wurde eine kombinierte Methode entwickelt, bei der die $CO_2$-Gasaustauschmessungen nur kurzzeitig (ca. 1 Woche) zu ganz bestimmten Ontogenesestadien mit bis dahin unter Freilandbedingungen angezogenen Pflanzenbeständen in einer Klimakammer unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden. Hierfür wurde eine spezielle Ganzpflanzenküvette (Volumen: 0,8 $m^3$) und eine spezielle $CO_2$ – Gasaustauschmessstrecke entwickelt (Abbildung 1). Die detaillierte Beschreibung des speziellen Experiments zur $CO_2$-Gasaustauschmessung ist [MRW05] zu entnehmen.

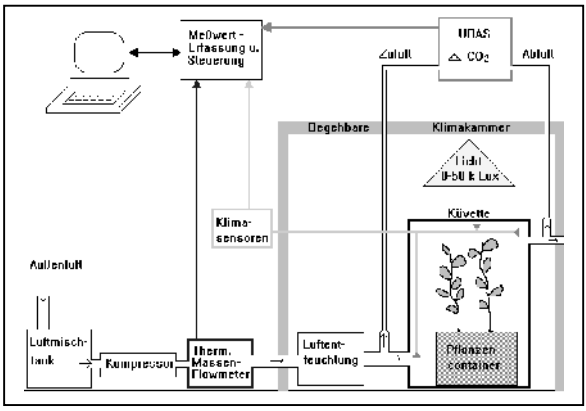


Abbildung 1: $CO_2$ - Gaswechselmesssystem in schematischer Übersicht

## 2.2 Modell für die Nettophotosynthese

Die Klimakammerexperimente haben gezeigt, dass zu den einzelnen Ontogenesestadien die Beziehungen zwischen stündlicher Nettophotosynthese ($\Delta$NP, mg $CO_2$ $h^{-1}$ gBiomasse$^{-1}$ 0.2$m^{-2}$) und Temperatur (T, °C) mit einer Optimums- und zwischen stündlicher Nettophotosynthese und Strahlung (ST, µ E $m^{-2}$ $s^{-1}$) mit einer Sättigungsfunktion beschrieben werden können. Unter der Prämisse einer minimalen Parameterzahl ($c_i$) wurde folgender Ansatz gewählt:

$$\Delta NP = c_0 + c_1 T^{c_2} \exp(c_3 T) + c_4 \tanh(c_5 ST)$$

Die Anpassung für das Ontogenesestadium DC45 hat für Wintergerste mit den Funktionsparameter $c_0$ = -2301, $c_1$ = 1204, $c_2$ = 0,00183, $c_3$ = -0,0212, $c_4$ = 1339 und $c_5$ = 0,00486 ein $R^2$ von 0,977 ergeben, bei einem Standardschätzfehler von 12,4 mg $CO_2$ $h^{-1}$

gBiomasse$^{-1}$. Will man die stündlichen Photosynthese- bzw. Respirationsraten jedoch über die gesamte Vegetationsperiode beschreiben und nicht nur für bestimmte Ontogenesestadien, müssen dabei unbedingt sowohl die bereits gebildete Biomasse (BM, g m$^{-2}$) als auch die Ontogenese und damit die Zeit (t, lfd. Kalendertag im Jahr) mit berücksichtigt werden. Trägt man die akkumulierte Biomasse gegen die Zeit auf, ergibt sich eine sigmoide Wachstumskurve. Die mit der Wachstumskurve verbundenen Gesetzmäßigkeiten lassen sich auch auf die Nettophotosyntheserate, die äquivalent zur Wachstumsgeschwindigkeit ist, und auf das Integral der Nettophotosyntheserate, das äquivalent zur akkumulierten Biomasse ist, übertragen. Unter Berücksichtigung der fruchtartspezifisch unterschiedlichen, zeitabhängigen Verschiebung des auf das Wachstum bezogenen Temperaturoptimums ergibt sich die Gleichung für die stündliche Nettophotosynthese für Winterroggen ($\triangle NP_{WR}$) zu:

$$\Delta NP_{WR} = g_0 + g_1\ T^{g_2}\ \exp(g_3\ T^{g_4 t}) + g_5 \tanh(g_6\ ST)\ BM \exp(g_7\ t)$$

und für Wintergerste ($\triangle NP_{WG}$) zu:

$$\Delta NP_{WG} = j_0 + j_1\ T^{j_2}\ \exp(j_3\ T\ ) + j_4 \tanh(j_5\ ST)\ BM \exp(j_6\ BM) + j_7\ t$$

Dabei sind $g_i$ und $j_i$ statistisch ermittelte Funktionsparameter. Bei Anwendung beider Gleichungen in den Messzeiträumen der Vegetationsperiode 1993 ergibt sich für Winterroggen ein $R^2$ von 0.890 sowie ein $s_d$ von 48 mg $CO_2$ h$^{-1}$ gBiomasse$^{-1}$ (N=602) und für Wintergerste ein $R^2$ von 0.932 sowie ein $s_d$ von 32 mg $CO_2$ h$^{-1}$ gBiomasse$^{-1}$ (N=692).

### 2.3 Modell für die Dunkelrespiration

In Auswertung der $CO_2$-Gasaustauschmessungen in der Klimakammer lässt sich unabhängig von Ontogenesestadien die stündliche Dunkelrespiration als Funktion von Temperatur und Biomasse für Winterroggen ($\Delta DR_{WR}$) mit:

$$\Delta DR_{WR} = p_0 + p_1\ T + p_2\ BM + p_3\ BM^2$$

und für Wintergerste ($\Delta DR_{WG}$) mit:

$$\Delta DR_{WG} = q_0 + q_1\ T^{q_2} + q_3\ BM + q_4\ BM^2$$

beschreiben. Die Funktionsparameter $p_i$ und $q_i$ sind statistisch ermittelt. Die mit den Gleichungen für die Dunkelrespiration erreichte Anpassung zwischen Messung und Modell ergibt Bestimmtheitsmaße von 0,803 bei Winterroggen und von 0,843 bei Wintergerste.

Sowohl die detaillierte Herleitung aller Gleichungen, die für ausreichend mit Wasser und Stickstoff versorgte Bestände Gültigkeit haben, als auch die über eine Regression abgeleiteten Funktionsparameter sind bei [MRW05] und [Re95] beschrieben.

## 3 Ergebnisse

Das auf der Grundlage von $CO_2$-Gasaustauschmessungen in Klimakammern abgeleitete Gleichungssystem für die modellmäßige Beschreibung von Nettophotosynthese und Dunkelrespiration wurde genutzt, um das Gesamtwachstum der oberirdischen Biomasse von Wintergerste- und Winterroggen-Freilandbeständen unter Verwendung stündlicher Temperatur- und Strahlungswerte und damit stündlicher Wachstumsraten im Zeitraum von Vegetationsbeginn bis zur Ernte zu beschreiben. In Abbildung 2 sind für das Jahr 1993 die Ergebnisse von Biomassezwischenernten auf dem Intensivmessfeld Müncheberg den aufgrund der Regressionsgleichungen berechneten und aufsummierten stündlichen Zuwachsraten gegenübergestellt.

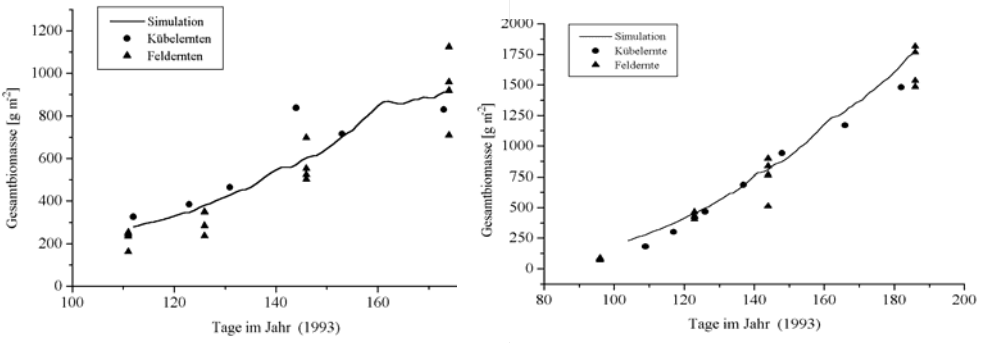


Abbildung 2: Simulation der oberirdischen Gesamtbiomasseakkumulation bei Wintergerste (links) und Winterroggen (rechts) auf der Basis von stündlichen Wachstumsraten im Vergleich zu im Feldexperiment bestimmten Wachstumsverläufen (Müncheberg, 1993)

Eine sensitive Größe bei den Simulationsrechnungen stellt der Biomassestartwert im Frühjahr dar, der hier aus den Feldernten bestimmt wurde.

Da der durch die Gleichungen beschriebene Ansatz temperatursensitiv ist, lassen sich die Auswirkungen eines möglichen klimatisch bedingten Temperaturanstiegs auf die gebildete oberirdische Gesamtbiomasse abschätzen. Unter der Annahme, dass die stündlichen Temperaturwerte gegenüber der realen Temperatur 1993 am Standort Müncheberg um 2°C höher liegen, wird z. B. bei Winterroggen bei gleichem CO2- Gehalt der Atmosphäre eine um 7 % geringere oberirdische Gesamtbiomasse berechnet.

## Literaturverzeichnis

[MRW05] Mirschel, W.; Reining, F.; Wenkel, K.-O.: Von der $CO_2$-Gasaustauschmessung zum Wachstumsmodell. In (Gnauck, A. Hrsg.): Modellierung und Simulation von Ökosystemen, Kölpinsee 2003. Shaker Verlag, Aachen, 2005; S. 223-246.

[Re95] Reining, F.: Klimakammerexperimente zur $CO_2$-Gasaustauschmessung bei Winterroggen und Wintergerste. In (Wenkel, K.-O., Mischel, W., Hrsg.): Agroökosystemmodellierung – Grundlage für die Abschätzung von Auswirkungen möglicher Landnutzungs- und Klimaänderungen, ZALF-Bericht 24, 1995; S. 27-55.