

# Modellierung von Biomasse, Stickstoffaufnahme und phänologischer Entwicklung von Kartoffel

SEBASTIAN GAYLER, NEUHERBERG  
ENLI WANG, TOOWOOMBA (AUSTRALIEN)  
ECKART PRIESACK, NEUHERBERG  
THOMAS SCHAAF, BONN  
FRANZ-XAVER MAIDL, FREISING

## Abstract

*Das generische Pflanzenwachstumsmodell SPASS wurde in das Modellbaukastensystem EXPERT-N integriert und für die Simulation von Kartoffel angepasst. Der Wasserfluss sowie der C- und N-Kreislauf im System Boden-Pflanze-Atmosphäre wurden simuliert und die Ergebnisse mit Daten verglichen, die im Jahr 1996 im Versuchsgut Scheyern erhoben wurden. In diesen Experimenten wurde der Einfluss verschiedener Düngergaben auf Wachstum und Ertrag der beiden Kartoffelsorten „Christa“ und „Agria“ untersucht.*

*Die Simulationsergebnisse zeigen, dass das Modell den Effekt verschiedener Stickstoffgaben auf das Wachstum und die Stickstoffaufnahme der Kartoffeln beschreiben kann. Das unterschiedliche Verhalten der beiden untersuchten Sorten konnte in zufriedenstellender Weise wiedergegeben und wichtige phänologische Stadien wie das Schließen des Bestands und der Zeitpunkt der Blüte vorhergesagt werden. Allerdings existieren Schwierigkeiten bezüglich der Vorhersage der späteren Entwicklungsstadien (Beginn der Seneszenz und Reife).*

*Kritische Komponenten des Modells sind die Steuerung der Verteilung der Assimilate auf die verschiedenen Pflanzenorgane und die Regulation der Stickstoffaufnahme durch die Wurzeln.*

## 1 Einleitung

Simulationsmodelle sind ein nützliches Instrument bei der Entwicklung nachhaltiger landwirtschaftlicher Managementstrategien, die darauf ausgerichtet sind bei möglichst geringer Umweltbelastung maximale Erträge zu erzielen. Mit Hilfe von Simulationsmodellen können experimentell erhobene Daten interpretiert und das Verhalten landwirtschaftlicher Systeme unter verschiedenen Umweltbedingungen analysiert werden. Die Simulation von Nährstoffflüssen in Agrarökosystemen erlaubt darüber hinaus eine schnellere und billigere Beurteilung des optimalen Zeitpunkts und der angemessenen Ausbringungsmenge von Düngergaben, als dies durch experimentell erhobene Daten alleine möglich wäre.

Ein umfangreiches Werkzeug für die Simulation der täglichen Flüsse von Wasser, Kohlenstoff und Stickstoff in Agrarökosystemen ist das Modell-System EXPERT-N (Baldioli et al. 1995, Stenger et al. 1999). EXPERT-N besteht aus zahlreichen Modulen für die Simulation der verschiedenen Prozesse im System Boden-Pflanze-Atmosphäre, die miteinander in verschiedenen Kombinationen gekoppelt werden können (programmiert in C++). Das Modell-System ist so aufgebaut, dass jede Prozessbeschreibung in einem separaten Modul implementiert ist. Dadurch bietet sich die Möglichkeit durch den Austausch unterschiedlicher Module zum selben Prozess verschiedene Modellansätze mit einander zu vergleichen oder neue Kombinationen von Prozessbeschreibungen aus verschiedenen Modellen zu testen.

Eine neue Komponente von EXPERT-N ist das generische Pflanzenwachstumsmodell SPASS, welches für Winterweizen bereits umfassend getestet wurde (Wang 1997) und seit kurzem konkrete Anwendung in der landwirtschaftlichen Beratung gefunden hat. Ziel der vorliegenden Arbeit war die Bereitstellung eines entsprechenden Hilfsmittels für die Optimierung der Düngegaben für Kartoffel und die Überprüfung der Modellansätze anhand von Daten aus einem Düng-Experiment, das mit den beiden Kartoffel-Sorten Christa und

Agria im Rahmen des Forschungsverbundes FAM durchgeführt wurde.

## 2 Versuchsbedingungen

Die Studie zur Untersuchung des Effekts verschiedener Dünge-Szenarien wurde auf dem Versuchsgut Scheyern im Jahr 1996 durchgeführt. Die Untersuchungsplots hatten eine Größe von 30 m<sup>2</sup>. Zwei Kartoffelsorten (Christa als ein Beispiel für eine früh reifende Sorte und Agria als eine Vertreterin für späte Reifezeit, ZADI 1999) wurden zum gleichen Zeitpunkt gepflanzt (21. April 1996) und in verschiedenen Varianten mit Kalkammonsalpeter gedüngt. In der N0-Variante wurde kein Dünger gegeben, alle anderen Varianten erhielten 150 kg(N)/ha nach folgendem Schema: i) N150 (die gesamte Menge wurde vier Tage nach der Saat appliziert); ii) N50-100 (50 kg zum Zeitpunkt der Saat und 100 kg beim Auflaufen) und iii) N50-50-50 (gleiche Düngeeinheiten bei Saat, Auflaufen und 20 cm Wuchshöhe). Gemessen wurde an sechs Zeitpunkten während der Vegetationsperiode die Biomasse (Trockengewicht) und Stickstoffkonzentration in den Pflanzen, jeweils getrennt für die vegetativen oberirdischen Organe und die Knollen.

## 3 Modellansatz

SPASS ist ein generisches, prozessorientiertes Modell für die Beschreibung der Wachstums- und Aufnahmeprozesse von Feld-Früchten. Die simulierten Prozesse sind die phänologische Entwicklung, die Photosyntheseleistung des Bestandes, das Wachstum der Pflanzenorgane (Verteilung der Assimilate auf Wurzeln, Stengel, Blätter und Knollen), die Entwicklung des Blattflächenindex, die Wurzelverteilung, die tägliche Transpirationsrate sowie der Stickstoffbedarf und die Stickstoffaufnahme der Pflanzen. Um SPASS für die Simulation von Kartoffelwachstum zu modifizieren, wurden verschiedene existierende Modellansätze für Kartoffel analysiert: SUBSTOR (Griffin et al. 1993), SIMPOTATO (Hodges et al. 1992), LINTUL-POTATO (Kooman and Haverkort 1995) und SUCROS (van Keulen et al. 1992). Diese Modelle berechnen potenzielle Kartoffelerträge in Abhängigkeit von klimatischen und bodenspezifischen Bedingungen und schätzen die Reduktion der Erträge auf Grund von Wasser- und Nährstofflimitierung. Unterschiede in den Modellkonzepten bestehen hauptsächlich in der Detailliertheit der Berechnung der Bestandesphotosynthese und der Beschreibung der wachstumslimitierenden Faktoren Wasserknappheit und Nährstoffmangel. Aus den genannten Kartoffelmodellen wurden geeignete Modellansätze ausgewählt, modularisiert und in SPASS integriert. Für die Beschreibung der phänologischen Entwicklung wurde ein neuer, vereinfachter Ansatz entwickelt, der die Simulation des Zeitpunkts der Blüte einschließt. Dies erleichtert die Parametrisierung des Modells für praktische Anwendungen, da der Blühbeginn der meisten Kartoffelsorten einfach zu beobachten ist. Die Differenzierung der beiden Sorten im Modell erfolgte durch unterschiedliche Parametrisierungen der Prozesse „Phänologische Entwicklung“ und „Assimilatverteilung“ sowie durch unterschiedliche Annahmen der optimalen Stickstoffkonzentration in den Knollen. Die folgenden Simulationsergebnisse wurden durch die Verknüpfung des Pflanzenmodells SPASS mit Modellansätzen für Wasser- und Stickstoffflüsse im Boden nach LEACHN (Hutson and Wagenet, 1991) erzielt.

## 4 Simulationsergebnisse

Tabelle 1 zeigt die beobachteten und simulierten Zeitpunkte für einige markante phänologische Stadien. Unterschiede zwischen den verschiedenen Düngevarianten konnten im Experiment nicht festgestellt werden. Sowohl für Christa als auch für Agria prognostiziert das Modell das Schließen des Bestands und den Beginn der Blüte mit einer Unsicherheit, die zwei Tage nicht übersteigt. Zu beachten ist, dass die beobachteten Datumsangaben nicht als exakte Zeitpunkte sondern als Tag, an dem die meisten Pflanzen des Bestands das jeweilige

Entwicklungsstadium erreicht haben, zu verstehen sind. Der Beginn der Seneszenz kann nur für „Christa“ zufriedenstellend vorhergesagt werden. Der (selbst für die späte Sorte „Agria“) ungewöhnlich späte Beginn der Seneszenz wird vom Modell nicht richtig erfasst.

Tabelle 1: Beobachteter und simulierter Zeitpunkt einiger phänologischer Stadien

Entwicklungsstadium	Christa		Agria	
	beobachtet	simuliert	beobachtet	simuliert
Schließen des Bestandes	3/6/1996	5 6 1996	10/6/1996	9 6 1996
Beginn der Blüte	27/6/1996	26 6 1996	2/7/1996	4 7 1996
Beginn der Seneszenz	6/8/1996	5 8 1996	20/8/1996	9 8 1996

Die simulierte Trockenmasseentwicklung zusammen mit Messdaten zeigt Abbildung 1 am Beispiel „Agria“ für die Düngvarianten N0 und N50,100. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde neben N0 nur eine Düngvariante im Diagramm dargestellt, da in Übereinstimmung mit den experimentellen Daten die simulierten Erträge für die Szenarien N150, N50-100 und N50-50-50 (nur „Agria“) sehr eng beieinander liegen. Wie im Experiment, sind die Modellvorhersagen für den Ertrag in den N0-Varianten deutlich geringer als in den gedüngten Varianten. Für „Agria“ kommt es allerdings zu einer Überschätzung der Knollenentwicklung durch das Modell im Fall N0. Außerdem kann das Modell nicht die Abnahme der Knollentrockenmasse am Ende der Vegetationsperiode vorhersagen, die besonders stark bei der Sorte „Christa“ zu beobachten war. Das Modell ignoriert Seneszenz-Erscheinungen der Knollen, da die Knollen üblicherweise zum Zeitpunkt ihrer maximalen Biomasse geerntet werden. Im Experiment wurde allerdings

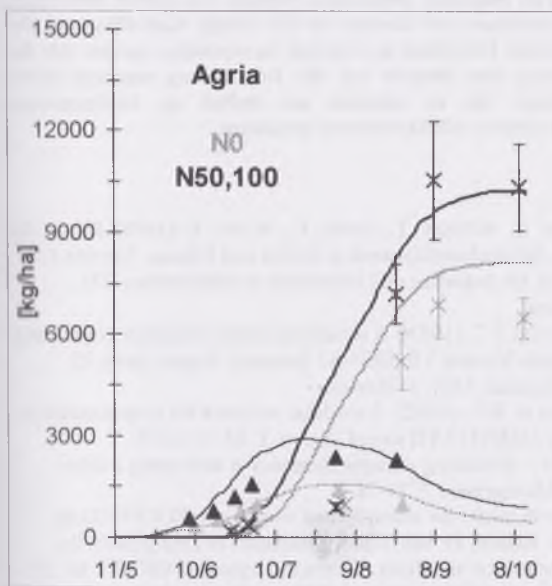


Abb 1: Gemessene (Symbole) und simulierte (durchgezogene Linien) Entwicklung der Trockenmasse der Knollen (fette Linien, x) und der vegetativen oberirdischen Organe (dünne Linien,  $\Delta$ ) von „Agria“ für die Düngvarianten N0 (grau) und N50,100 (schwarz).

beschrieben als für „Christa“. Eine Ausnahme hierbei ist allerdings die große Abweichung der simulierten Trockenmasse der Knollen zum Messwert vom 5. August. Dieser Messwert

scheint allerdings nicht korrekt zu sein, da der folgende Anstieg der Knollentrockenmasse zum nächsten Messwert (7000 kg/ha in drei Wochen) nicht realistisch ist.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass das Modellsystem EXPERT-N die Nährstoffflüsse in Freilandversuchen mit Kartoffelpflanzen unter verschiedenen Stickstoffbedingungen angemessen beschreiben kann und somit für den Einsatz in landwirtschaftlichen Anwendungen mit Kartoffel prinzipiell geeignet ist. Hierzu waren eine neue Parametrisierung und Modifikationen der Prozessbeschreibungen für phänologische Entwicklung, Allokation der Assimilate, Stickstoffaufnahme und Seneszenz der vegetativen Organe im generischen Pflanzenmodell SPASS notwendig. Durch die Berücksichtigung des Zeitpunkts der Blüte, der in vergleichbaren Modellen bislang nicht erfasst wurde, konnte eine einfache Möglichkeit für die Parametrisierung der phänologischen Entwicklung zur Verfügung gestellt werden. Dies ist im Hinblick auf den beabsichtigten Einsatz des Modells in der Praxis von großem Nutzen, da die Blüte bei den meisten Kartoffelsorten einfach beobachtet werden kann.

Kritische Komponenten in SPASS sind die Teilmodelle für die Regulation der Stickstoffaufnahme durch die Wurzeln und die Steuerung der Verteilung der Assimilate auf die verschiedenen Pflanzenorgane, die bisher rein empirisch beschrieben werden. Die hierfür benötigten Parameterwerte sind schwer zu bestimmen und können nur für wenige Kartoffelsorten der Literatur entnommen werden. Um mehr Flexibilität des Modells zu erreichen, werden sich die Bemühungen um eine Verbesserung des Modells auf die Entwicklung mechanistischer Prozessbeschreibungen konzentrieren, die es erlauben aus einfach zu bestimmenden morphologischen Eigenschaften die internen Allokationsraten abzuleiten.

## 6 Literatur

- BALDIOLI, M., ENGEL, T., PRIESACK, E., SCHAAF, T., SPERR, C., WANG, E. (1995): Expert-N, ein Baukasten zur Simulation der Stickstoffdynamik in Boden und Pflanze. Version 1.0. Benutzerhandbuch, Lehrinheit für Ackerbau und Informatik im Pflanzenbau, TU München, Selbstverlag, Freising.
- GRIFFIN, T.S., JOHNSON, B.S., RITCHIE, J.T. (1993): A simulation model of potato growth and development: SUBSTOR-Potato Version 2.0. IBSNAT Research Report series 02. Dept. of Agronomy and Soil Science, Univ. of Hawaii.
- HODGES, T., JOHNSON, S.L., JOHNSON, B.S. (1992): A modular structure for crop simulation models: implementation in the SIMPOTATO model. *Agron. J.* 84, 911-915.
- HUTSON, J.L., WAGENET, R.J. (1991): Simulating nitrogen dynamics in soils using a deterministic model. *Soil Use and Management* 7, 74-78.
- KEULEN, H. VAN (1992): Crop growth model for water-limited conditions (SUCROS2) In: Laar, H.H. van, Goudriaan, J., Keulen, H. van (Eds.), *Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations. Simulation reports CABO-TT no. 27*, Centre for Agrobiological Research and Department of Theoretical Production Ecology, Wageningen Agricultural University, pp. 27-72.
- KOOMAN, P.L., HAVERKORT, A.J. (1995): Modelling development and growth of the potato crop influenced by temperature and daylength: LINTUL-POTATO. In: Haverkort, A.J., MacKerron, D.K. (Eds.), *Potato ecology and modelling of crops under conditions limiting growth*. Kluwer Ac. Pub., pp. 41-59.

- STENGER, R., PRIESACK, E., BARKLE, G., SPERR, C. (1999): Expert-N, a tool for simulating nitrogen and carbon dynamics in the soil-plant-atmosphere system. NZ Land Treatment Collective. Proceedings Technical Session 20: Modelling of Land Treatment Systems Tomer, M., Robinson, M., Gielen, G. (Eds.). New Plymouth, 14-15 Oct. 1999, pp 19-28.
- WANG, E. (1997): Development of a Generic Process-Oriented Model for Simulation of Crop Growth. Herbert Utz Verlag Wissenschaft, München, 195 pp.
- ZADI (1999): Informationssystem für Evaluierungsdaten pflanzengenetischer Ressourcen in der Bundesrepublik Deutschland (EVA). Zentralstelle für Agrardokumentation und -information (ZADI). <http://www.dainet.de/genres/eva/kartoffel.htm>.