

# Entwicklung eines stickstoffbasierten Ertragsprognosemodells zur Optimierung des Ökologischen Kartoffelbaus

Bruns, C.<sup>1</sup>, Schulz, H.<sup>1</sup>, Haase, T.<sup>2</sup>, Finckh, M.R.<sup>3</sup>, Heß, J.<sup>1</sup>

*Keywords:* Kartoffel, Stickstoff, Ertragsdynamik, Krautfäule.

## Abstract

*Potatoes are one of the most important crops in organic farming with respect to farmers' income. Yields are often strongly influenced by regional and yearly differences. Despite the availability of detailed knowledge, it is only now that a crop growth model has been generated which allows for the estimation and prediction of potato yield under organic conditions. The aim of our study was to produce a highly elaborate prediction model based on the utilization and speed of nitrogen uptake as they relate to the yield dynamics of tubers and canopy in combination with late blight dynamics. Therefore, from 2005 to 2014, these parameters were assessed in up to 18 varieties of potatoes comprised of differing maturity groups. The data were analyzed in R using similar algorithms to the Grofit package. Our distinct model included updated mathematical functions to estimate the yield development in organic potatoes. Finally, we demonstrate that at a relatively early time in the season it is possible to estimate the yield of potatoes of various varieties and maturity groups.*

## Einleitung und Zielsetzung

Die Kartoffel ist im Ökologischen Landbau eine der Kulturen von wirtschaftlich herausragender Bedeutung für zahlreiche Betriebe. Zu beobachten sind jedoch große regionale und jahresbedingte Ertragsunterschiede (Meyercordt & Peters 2013), die oft zu schwankenden Betriebseinkommen führen. Eine Prognose von Erntemengen und Qualitäten ist bisher trotz des ausgewiesenen Anbauumfanges mit großen Unsicherheiten verbunden.

Ein erfolgversprechender Anbau der Kartoffel kann bei ausreichender Beachtung der Rahmenbedingungen (Fruchtfolge, eine angemessenen Grundnährstoffversorgung, Vorkeimen, adäquater Einsatz der verfügbaren Anbautechnik) auf wenige, ertragsrelevante Faktoren begrenzt werden. Während die Witterungsverhältnisse wenig beeinflussbar sind (Tamm *et al.* 2004), ist die Wahl der Sorte und von gesundem Pflanzgut ein entscheidender Faktor für ein erfolgreiches Ernteergebnis (Möller *et al.* 2003). Für die Ausschöpfung des standortspezifischen Ertragspotenzials sind jedoch die Höhe und die Dynamik der Stickstoffaufnahme sowie der Verlauf des Krautfäulebefalls und deren Interaktion von größter Bedeutung (Bangemann *et al.* 2014, Finckh *et al.* 2006).

Jedoch ist es bis dato aus der Fülle an vorhandenen Erkenntnissen nicht gelungen, eine genaue Ertragsprognose für spezifische Anbausituationen im Ökologischen Landbau zu erzielen. Während für die Krautfäuleprognose ein Modell in Anwendung

---

<sup>1</sup> Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Nordbahnhofstraße 1A, 37213, Witzenhausen

<sup>2</sup> Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kölnische Straße 48-50, 34117 Kassel

<sup>3</sup> Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz, Nordbahnhofstraße 1A, 37213, Witzenhausen

ist (Tebbe *et al.* 2014), fehlt bisher ein geeignetes Prognosemodell für die Ertragsbildung, das auf Basis von Stickstoffangebot und -aufnahme generiert wird und den Verlauf des Krautfäulebefalls integriert.

Ziel unserer Arbeiten ist die Etablierung eines Ertragsprognosemodells, mit dem frühzeitig während der Vegetation eine verbesserte Einschätzung des Ertragspotenzials sowie Aussagen zur Stickstoffeffizienz möglich sind. Grundlage bildeten seit 2005 an der Universität Kassel durchgeführte Versuche zur Ertragsentwicklung, zur Stickstoffverwertung sowie zum Auftreten der Krautfäule. Das Modell soll auf Basis weniger zu erhebender Kenndaten eine sichere Ertragsvorhersage und eine Quantifizierung des Ertragsrisikos durch die Krautfäule ermöglichen. Der vorliegende Beitrag zeigt erste Ergebnisse zur Modellierung des Ertragsverlaufes.

## Methoden

Zur Generierung des Ertragsmodells wurden Daten aus den Jahren 2005 bis 2014 verwendet. Seit dem Jahr 2005 wurden gekoppelt an Sortenversuche (bis zu 18 Sorten aller Reifegruppen) auf der Domäne Frankenhausen (Ut3; 8,9°C; 698 mm, Vorfucht, zwei. Klee gras, bis max. 130 kg N<sub>min</sub>), durch Zeiternten (zwischen dem 40. – 100. Tag nach Legen) die Ertragsbildung ermittelt. Seit 2009 wurden zusätzliche Analysen zur Stickstoffversorgung von Kraut und Knollen und deren Abhängigkeit zur Ertragsbildung durchgeführt. Die Dynamik der Krautfäule wurde seit 2009 in engmaschigen Zeitabständen ermittelt (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Übersicht zu den durchgeführten Untersuchungen von 2005 bis 2014**

Versuchsjahr	Knollen- und Krauternte (TNL); N-Stufen	N-Beprobung	P.infestans
2005	65, 75, 83, 91	-	-
2006	65, 75, 83, 91	-	-
2007	79, 84, 89, 103	-	-
2008	52, 59, 65, 72	-	-
2009	60, 68, 83, 94	a, b, c	2 bis 4-tägig
2010	62, 71, 84, 96	a, b, c	2 bis 4-tägig
2011	60, 70, 80, 88	a, b, c	2 bis 4-tägig
2012	58, 70, 82 (N-Stufen 0, 40, 70 kg N/ha)	a, b, c	2 bis 4-tägig
2013	65, 78, 90 (N-Stufen 0, 40, 70 kg N/ha)	a, b, c	2 bis 4-tägig
2014	40, 43, 47, 50, 54, 57, 61, 65, 70, 82	a, b, c	2 bis 4-tägig

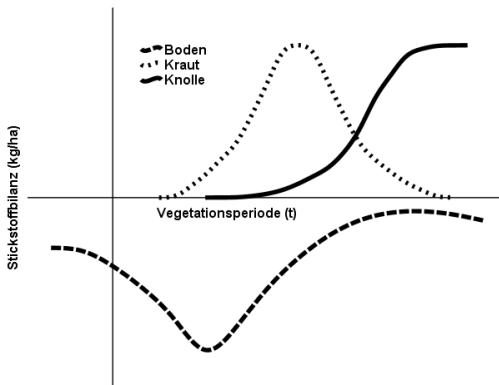
TNL = Tage nach Legen; a = Boden (NO<sub>3</sub>-N [kg/ha]); b = Knollen (Gesamt-N [%TM]); c = Kraut (Gesamt-N [%TM])

Durch Anwendung des R-Paketes "Grofit" (Kahm & Kschischo 2013), das eine passende, allgemeine Gleichung ("Richards-Kurve") für den Ertragszuwachs vorgibt, wurde witterungsunabhängig mit den Ergebnissen der Zeiternten eine Zuwachsgleichung für die Fälle der Faktorkombination (Jahr\*Sorte) ermittelt. Hierzu werden drei Bestimmungsvariablen der allgemeinen Gleichung durch bestmögliche Regression durch mindestens fünf Punkte bestimmt, die durch die Ergebnisse der Zeiternten und dem Vergeben der 0 für den Pflanztermin erfolgten. Das Ertragspotenzial und der höchste Knollenzuwachs während der Vegetationsperiode sind durch die berechneten Variablen definiert. Durch die Methoden der Funktionenanalytik wird es möglich, statistische Auswertungen zur Trennung von Sorten, Reifegruppen und Jahren vorzunehmen. Exemplarisch zeigt diese Arbeit für ausgewählte Sorten das Erreichen des spezifischen Ertragspotenzials abzüglich des 95 %-igen Konfidenzintervalls. Die

Validierung des Ertragspotenzials wurde mit Ergebnissen der Haupternten vorgenommen.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Ertragsdynamik im Kartoffelanbau wird durch die Stickstoffverfügbarkeit und -mineralisation im Boden sowie durch die Stickstoffaufnahme der Kraut- und Knollenmasse charakterisiert, wie dies in Abbildung 1 bereits in Form eines idealisierten Stickstoffflussschemas dargestellt ist (vgl. dazu Möller *et al.* 2003). Hier lassen sich für die einzelnen Flussschemata mathematische Zusammenhänge ableiten, was am



Beispiel des Knollenertrages mit den R-Paket "Grofit" berechnet wurde. Die vorhergesagten Ertragspotenziale weisen, trotz des geringen Zeiterneumfanges je Jahr und Sorte, im Vergleich zu den Ergebnissen der Haupternten mit  $R^2 = 0,59$  ( $n=86$ ;  $p=0,000$ ) bereits eine gute Treffgenauigkeit auf.

Für die Stickstoffaufnahme der Krautkurve und für die Stickstoffmineralisierung im Boden können vergleichbare Ansätze (z.B. auf Basis der Gauß-Funktion) formuliert werden. Damit wird es möglich fehlende Messpunkte, über die gefundenen Funktionen zu ersetzen.

**Abbildung 1** Schematische Darstellung der ungestörten Stickstoffdynamik im Ökologischen Kartoffelanbau

Im zweiten Modellschritt kann durch Berechnung unendlich beliebiger Flächen der Kurvenabschnitte (vergleichbar mit der Berechnung der AUDPC) die beste Korrelation zum Endertrag ermittelt werden, wobei die obere und untere Grenze des bestkorrelierenden Integrals die zukünftigen Erhebungstermine darstellen. Die Ableitung des Ertragspotenzials kann nun auf dieser Basis erfolgen.

**Tabelle 2: Zeitpunkt der Realisierung des 95%igen Ertragspotenzials (Tage nach Legen) ausgewählter Sorten ( 2009 – 2011)**

Versuchsjahr	Reifegruppe	2009	2010	2011	Ø (2009-2011)
Anuschka	Sehr früh	78,5	83,4	66,7	76,2
Salome	Sehr früh	86,3	86,1	69,7	80,7
Belana	Früh	90,6	85,9	67,7	81,4
Princess	Früh	86,4	78,6	71,6	78,9
Allians	Mittelfrüh	92,5	88,1	74,9	85,2
Jelly	Mittelspät-spät	85,9	93,9	78,8	86,5

Als Beispiel der Anwendung der Richardsgleichung für den Ertragszuwachs lässt sich der Zeitpunkt des Erreichens eines gewünschten Ertragspotenzials berechnen. Tabelle 2 zeigt hier für 6 ausgewählte Sorten für die Jahre 2009 bis 2011 exemplarisch den Zeitpunkt, an dem 95 % des standortspezifischen Ertrages erreicht wird. Die dargestellten Sorten erreichen zwischen 67 bis 94 Tage das vorgegebene Potenzial. Es zeigen sich deutliche Jahreseffekte ebenso wie Reifegruppeneffekte. Ersichtlich wird, dass Sorten der späte Reifegruppen das Ertragspotenzial von 95 % zu einem späteren Zeitpunkt der Vegetation erreichen als frühere Sorten (z. B. Anuschka sehr früh 76 Tage; Allians mittelfrüh 85 Tage). Der potentiell früheste Erntezeitpunkt unter der Prämisse des Ausschöpfens von 95 % des Ertragspotenzials wäre somit für diese Sorten auf den 76. bzw. den 85. Tag festgesetzt. Die Verknüpfung mit dem Krautfäuleverlauf über bereits vorhandene Prognosemodelle (z. B. Öko-SIMPHYT) lässt eine Aussage über das bestehende Restrisiko der Ertragsbildung zu. Der Einsatz von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln gegen die Krautfäule wäre hierdurch besser steuerbar bzw. bei Erreichen eines gewünschten Ertragspotenzials terminierbar.

## Schlussfolgerungen

Die Daten dieser Arbeiten haben eine Grundlage geliefert, die Ertragsdynamik der Kartoffel unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus zu modellieren. Das Modell bietet offenkundig ein gutes Potential zur Prognose und zur Abschätzung des Ertragspotenzials und -risikos. Zukünftig müsste jedoch das Untersuchungsraaster (ähnlich wie dem aus Jahr 2014) erweitert werden, um der Treffgenauigkeit des Prognosemodells weiter zu verbessern. Positive Effekte durch die Verknüpfung von Ertrags- und Krautfäuleprognose sind sowohl in der Anbauplanung als auch auf den Pflanzenschutzmittelaufwand zu erwarten. Witterungsunabhängige phänologische Eigenschaften (z. B. markante Zeitpunkte des BBCH-Stadiums) müssten ebenfalls integriert werden.

## Literatur

- Bangemann L.-W., Sieling K., Kage H. (2014): The effect of nitrogen and late blight on crop growth, solar radiation interception and yield of two potato cultivars. *Field Crops research* 155: 56-66.
- Finckh M. R., Schulte-Geldermann E., Bruns C. (2006): Challenges to Organic Potato Farming: Disease and Nutrient Management. *Potato Research* 49: 27-42.
- Kahm M., Kschischko M. (2013): Package "Grofit" [cran.r-project.org/web/packages/grofit/grofit.pdf](http://cran.r-project.org/web/packages/grofit/grofit.pdf).
- Meyercordt A., Peters R., Michel V. (2013): Prüfung von Kartoffelsorten auf deren besondere Eignung für den Ökologischen Landbau. Abschlussbericht zum Vorhaben (BOEL 2809OE001).
- Möller K., Kolbe H., Böhm H. (Hrsg.) (2003): Handbuch ökologischer Kartoffelbau. Österreichischer Agrarverlag. Leopoldsdorf.
- Tamm L., Smit A.B., Hospers M., Janssens S.R.M., Buurma J.S., Molgaard J.-P., Laerke P.E., Hansen H.H., Hermans A., Boedker L., Bertrand C., Lambion J., Finckh M.R., Schüler Chr., Lammerts van Bueren E., Ruissen T., Nielsen B.J., Solberg S., Speiser B., Wolfe M.S., Phillips S., Wilcoxon S.J., und Leifert C. (2004): Assessment of the Socio-Economic Impact of Late Blight and State of the Art of Management in European Organic Potato Production Systems. FIBL Report. Research Institute of Organic Agriculture FIBL, Frick, Switzerland. <http://orgprints.org/2936/1/tamm-et-al-2004-blight-mop-oe.pdf>.
- Tebbe C., Bruns C., Racca P., Kleinhenz B., Werren D., Schulz H., Finckh M. (2014) Reduktion der Anzahl Kupferapplikationen zur Kontrolle von *Phytophthora infestans* im ökologischen Kartoffelanbau durch das verbesserte Entscheidungshilfesystem Öko-SIMPHYT. 59. Deutsche Pflanzenschutztagung. Freiburg.