

# Bestimmungsfaktoren für den Ertrag sowie die Qualitätsausbildung von ökologisch erzeugten Kartoffeln unter Verwendung der multiplen Regressionsanalyse

HERWART BÖHM<sup>1</sup>, ANNKATHRIN GRONLE<sup>1</sup>, KIRSTEN BUCHECKER<sup>2</sup>, WILFRIED DREYER<sup>3</sup>,  
CHRISTIAN LANDZETTEL<sup>4</sup>, SYLVIA MAHNKE-PLESKER<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst, 23847 Westerau, herwart.boehm@vti.bund.de

<sup>2</sup> ttz, Sensoriklabor, Lengstr. 3, 27572, Bremerhaven, Kbuch@ttz-bremerhaven.de

<sup>3</sup> Ökoring e.V., Bahnhofstr. 15, 27374, Visselhövede, w.dreyer@oekoring.de

<sup>4</sup> Bioland-Beratung, Auf dem Kreuz 58, 86152, Augsburg, clandzettel@bioland-beratung.de

<sup>5</sup> Qualitäts-Management-Beratung für Öko-Produkte, Niddastr. 41, 63329, Egelsbach, Mahnke-Plesker@t-online.de

## Zusammenfassung

Mit Hilfe multipler Regressionsanalysen wurden die Gesamtdaten des Projektes statistisch analysiert. Hierfür wurde die SAS-Prozedur GLMSELECT eingesetzt, da sie die relativ einfache Einbindung von kategoriellen Variablen bei gleichzeitiger Möglichkeit zur automatischen Variablenselektion erlaubt. Für den Ertrag konnte gezeigt werden, dass dieser wesentlich durch den Standort (Bodenart und Witterung), die zur Verfügung stehende Wachstumsphase (Anzahl Tage bis zum Befall mit *Phytophthora infestans*), die Beregnungsmenge und die Nährstoffversorgung der Böden sowie der Bodenbearbeitung bestimmt wird. Auch für den Stärkegehalt erfolgte eine recht gute Modellanpassung, weniger eindeutig waren die Ergebnisse für die Bestimmungsfaktoren der Sensorik.

*Schlüsselworte: Kartoffeln, multiple Regressionsanalyse, Ertrag, Stärke, Nitrat, Sensorik*

## Abstract

### **Factors determining yield and quality of organically produced potatoes using multiple regression analysis**

All project data were statistically analyzed using multiple regression analysis. GLMSELECT, an SAS procedure, was used as this allows relatively easy integration of categorical variables with the simultaneous possibility of automatic variable selection. It was possible to show for the parameter 'yield' that this is determined to a considerable extent by location (soil type and weather), available growth period (number of days until infection by *Phytophthora infestans*), amount of irrigation and nutrient supply in the soil, as well as soil cultivation. Also for the starch content was a quite good fit of the model, less clear were the results for the determinants of sensory quality.

*Keywords: potato, multiple regression analysis, yield, starch, nitrate, sensory quality*

## Einleitung

In den bisherigen Beiträgen sind die Auswertungen in der Regel auf monokausale Zusammenhänge beschränkt gewesen, d.h. es wurde ausgewertet, ob ein Parameter X (z.B. Fruchtfolgestellung der Kartoffel) einen Effekt auf eine Zielgröße Y (z.B. Drahtwurmbefall, Ertrag oder Stärkegehalt) aufweist. Diesen Zusammenhang kann mit der Korrelationsanalyse berechnet werden und der Korrelationskoeffizient gibt an, wie viel Prozent der Varianz erklärt wird. Dies führt zu Ergebnissen und lässt direkte Rückschlüsse zu, aus denen auch Handlungsanweisungen erfolgen können. Allerdings gibt es viele Fälle, die auch in mehreren Beiträgen beschrieben wurden, die einen so deutlichen, monokausalen Zusammenhang nicht zeigen, da z.B. Überlagerungen mit anderen anbautechnischen Maßnahmen (z.B. Düngungsmaßnahmen) bestehen. In diesen Fällen sind weiterführende statistische Auswertungen gefragt. Eine dieser Möglichkeiten ist die Anwendung der multiplen Regression, wobei geschaut wird, welche Faktoren des Anbaumanagements einen Einfluss auf die Zielgröße wie z.B. den Ertrag oder sensorische Parameter aufweisen. Ziel dieser Untersuchung ist es daher herauszufinden, welcher Zusammenhang zwischen mehreren Faktoren des Anbaumanagements und Zielgrößen wie z.B. Ertrag, Inhaltsstoffen oder sensorischen Parametern besteht.

## Material und Methoden

Die Datenauswertung mittels multipler linearer Regressionen erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS 9.1 unter Anwendung der Prozedur GLMSELECT. Die Prozedur GLMSELECT hat gegenüber den Prozeduren REG und GLM den Vorteil einer einfachen Einbindung von kategoriellen Variablen bei gleichzeitiger Möglichkeit zur automatischen Variablenselektion (SAS 2006). Vor der Durchführung der Regressionen wurde der lineare Zusammenhang zwischen

abhängigen Variablen und unabhängigen Variablen überprüft. Kategorielle Variablen wurden mit Hilfe einer Dummy-Kodierung in die Auswertung einbezogen. Die Berechnung der Regressionen erfolgte mit dem backward-Selektionsverfahren, wobei als Selektionskriterium die Durchführung auf Basis des Signifikanzniveaus gewählt wurde. Als SLE (significance level for entry) und SLS (significance level for staying) war der Wert 0,15 festgelegt. Ebenso erfolgte eine Überprüfung der Residuen auf Normalverteilung.

Nähere Informationen zur Durchführung des Projektes, der erhobenen Parametern sind bei Böhm et al. (2011) und den anderen Beiträgen des Sonderheftes zu finden.

## Ergebnisse und Diskussion

Für die multiple Regression wurden im ersten Schritt nach fachlichen Gesichtspunkten die Merkmale identifiziert, die einen Einfluss auf den Zielparameter haben könnten. Somit wurde die Regressionsanalyse für die Zielgröße Ertrag mit zum Teil anderen Parametern (Variablen) durchgeführt als z.B. für die die sensorischen Zielgrößen „bitter“ und „süß“.

### Ertrag

Für die Zielgröße Ertrag gingen folgende Variablen in die Prozedur ein:

Bodenart, Bodenpunkte, pH-Wert, Gehalte pflanzenverfügbare Nährstoffe P und K, Bodenbearbeitung zu Kartoffeln, Pflanzgutqualität, Pflanzgutvorbereitung, eingesetzte Pflanzenstärkungsmittel zur Knollenbehandlung (inkl. Kupferbeizung), Vorfruchtkombinationen, Art der Wirtschaftsdünger, Art der organischen Handelsdünger, Gesamtstickstoff (kg N/ha) gedüngt mit Wirtschaftsdüngern bzw. organischen Handelsdüngern, Berechnungsmenge, Kaliumdüngung, Anzahl der Behandlungen gegen Kartoffelkäfer, Anzahl der Tage vom Pflanzen bis zum Beginn des Krautfäulebefalles (*Phytophthora in-*

*festans*), Temperatursumme, Niederschlagssumme, Globalstrahlung (jeweils für den Zeitraum vom 01. Juni bis zum 15. August).

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse zum einen getrennt für die drei Sorten Princess, Ditta und Nicola und zum anderen für alle 3 Sorten unter Berücksichtigung des Sorteneffektes im Modell dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass bei der Verrechnung getrennt nach Sorten das adjustierte  $R^2$  zwischen 0,65 und 0,72 liegt, d.h. durch das Modell können zwischen 65 und 72 % der Varianz erklärt werden. Wird die multiple Regressionsanalyse für alle 3 Sorten durchgeführt, so können nur noch 52 % der Varianz durch das Modell erklärt werden, wobei der Sorteneffekt im Modell berücksichtigt wurde. Den höchsten Ertrag weist demnach die Sorte Nicola auf, im Vergleich dazu ist der Ertrag der Sorte Ditta gegenüber der Referenzsorte Nicola leicht und der Ertrag der Sorte Princess deutlich vermindert. Dies steht in Übereinstimmung mit den Ertragsauswertungen, die für Nicola einen Durchschnittsertrag über alle Jahre und Standorte von 269 dt/ha, für Ditta 261 dt/ha und für Princess 238 dt/ha auswiesen.

Übereinstimmend wurde in allen Modellen die Bodenart als signifikante Variable identifiziert, die einen Einfluss auf den Ertrag hat. Die leichten Standorte (Sand, lehmige Sande) wurden als Referenzgröße gewählt, so dass der Schätzwert für die anderen Bodenarten Auskunft darüber geben, ob der Ertrag bei diesen im Vergleich zu den leichten Standorten zu- oder abnimmt. Es zeigen sich mit Ausnahme der anmoorigen Standorte bei der Sorte Princess stets höhere Erträge gegenüber den leichten Standorten. Der Einfluss der anmoorigen Standorte wird in den Modellen unterschiedlich bewertet, im Gesamtmodell für alle 3 Sorten wird jedoch auch hier ein positiver Effekt ausgewiesen.

In den multiplen Regressionsanalysen für die drei Sorten werden insgesamt mehr Variablen berücksichtigt als in dem Gesamtmodell. So zeigen viele Variablen wie z.B. die

Pflanzgutqualität, der Einsatz von Pflanzstärkungsmittel, die Vorfruchtkombinationen, die Arten der eingesetzten Wirtschafts- und organischen Handelsdünger und weitere Variablen einen signifikanten Einfluss nur bei einer oder zwei Sorten (Tab. 1). Betrachtet man zudem ihre Wirkung in den Modellen, so treten bei den Vorfruchtcombination der Sorte Ditta gegenüber der gewählten Referenz-Vorfruchtcombination Getreide – Getreide mit einer Ausnahme positive Effekte, während aber bei der Sorte Nicola mit einer Ausnahme alle anderen Vorfruchtcombinationen einen negativen Effekt auf den Ertrag aufweisen. Im Gesamtmodell waren diese Effekte jedoch nicht mehr signifikant und wurden wie auch andere Variablen nicht mehr berücksichtigt.

Daher wird im Folgendem nur noch auf das Ergebnis der multiplen Regressionsanalyse, verrechnet über alle Sorten eingegangen, wengleich die Anzahl der für das Modell signifikanten Variablen entsprechend geringer ausfällt und das adjustierte  $R^2$  mit 0,52 deutlich niedriger ist. Als signifikante Variablen gehen die bereits besprochene Bodenart ein und darüber hinaus die Variablen Phosphorgehalt im Boden, Bodenbearbeitung, Knollenbehandlung, Beregnungsmenge, Anzahl der Kartoffelkäferbehandlungen, Anzahl der Tage zwischen Pflanztermin und Beginn der *Phytophthora*-Infektion sowie alle drei Variablen der Witterung (Tab. 1).

Hinsichtlich der Bewertung der Variablen mit ihren Ausprägungsstufen kann für die Bodenarten festgehalten werden, dass die leichten Sandstandorte die niedrigsten Erträge bedingen. Dies steht in Übereinstimmung mit Angaben aus der Literatur (vgl. Möller et al. 2003).

Die Phosphorversorgung, bzw. der pflanzenverfügbare Gehalt an Phosphor im Boden wurde ebenfalls als signifikante Variable identifiziert. Auf den ersten Blick verwundert dies, doch vor dem Hintergrund das 174 von den insgesamt 284 Schlägen eine Phos-

phorversorgung in der Versorgungsstufe A und B (Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein) aufwies, kann die Phosphorverfügbarkeit durchaus von Bedeutung sein. Die Kaliumversorgung der Böden wurde nicht in das Modell einbezogen. Dies hängt damit zusammen, dass zum einen die Böden mit Kalium besser versorgt waren als mit Phosphor und zum anderen die Mehrzahl der Betriebe, d.h. auf 185 von 284 Schlägen mehr als 50 kg K/ha gedüngt wurde, im Mittel dieser Schläge waren es 140 kg K/ha. Damit wird deutlich, dass den Landwirten die Wichtigkeit einer ausreichenden Kaliumversorgung der Kartoffeln bewusst ist, um entsprechende Qualitäten und eine lagerfähige Ware zu erzeugen.

Bei der Grundbodenbearbeitung zeigt das Modell, dass die pfluglose Bearbeitung zu Kartoffeln einen den Ertrag mindernden Effekt aufweist. Dies verdeutlicht die besonderen Anforderungen der Kartoffel an einen gut strukturierten und durchwurzelbaren Boden, damit das im Vergleich zu anderen Kulturarten gering ausgeprägte Wurzelwerk der Kartoffel Wasser und Nährstoffe aufnehmen kann. Diese Ergebnisse werden durch Untersuchungen von Kainz (2003) unterstützt, der in mehrjährigen Versuchen ein geringeres Ertragsniveau bei ausschließlich nicht wendender Bodenbearbeitung mit dem Grubber im Vergleich zur Pflugbearbeitung feststellte.

Die eingesetzten Knollenbehandlungen des Pflanzgutes mit Kupfer oder Pflanzenstärkungsmitteln wurden ebenfalls in das Modell einbezogen. Die Ergebnisse überraschen insofern, dass der Kupferbeizung einen negativen Effekt auf den Ertrag zugewiesen wurde. Dies kann derzeit durch andere Literaturquellen nicht bestätigt werden. Keil et al. (2008) sowie Zellner et al. (2007) wiesen nach, dass der Primärbefall mit *P. infestans* von mit Kupfer gebeizten Pflanzgut reduziert wird, wobei weder ein positiver noch negativer Ertragseffekt festgestellt wurde (Zellner et al. 2007).

Eine Behandlung des Pflanzgutes mit den Pflanzenstärkungsmitteln FZB 24 und Proradix wurden im Modell ein positiver Ertragseffekt zugeschrieben, während Rhizovital und EM negativ beurteilt wurden. Allerdings war die Anzahl der Fälle mit EM-Behandlung (Effektive Mikroorganismen) so gering, dass dieser Wert nicht belastbar ist. Eine Auswertung der Literatur ergibt, dass zur Wirkung von Pflanzenstärkungsmitteln als Knollenbehandlung gegensätzliche Ergebnisse vorliegen. So konnten Karalus und Grünbeck (2003) in ihren Untersuchungen bei den geprüften Mitteln FZB 24 und Proradix weder auf den Befall mit *Rhizoctonia solani* noch auf den Ertrag positive Effekte nachweisen. In den Versuchen von Schleuß und Böhm (2005) wurde dagegen in der Mehrzahl der Fälle sowohl eine Reduzierung mit *R. solani* als auch Mehrerträge nachgewiesen. Die Untersuchung von Mayer et al. (2010), in der Effektive Mikroorganismen (EM) auch zu Kartoffeln eingesetzt wurden, allerdings nicht als Knollenbehandlung sondern als Feldspritzung in den wachsenden Bestand bis zur Blüte, zeigten keine signifikanten Mehrerträge.

Einen positiven Effekt auf den Ertrag weist die Beregnung aus. Dies ist in der Literatur vielfach beschrieben (Fricke 2005, 2007) und wird auch durch die Auswertung der Projektdaten bestätigt (Landzettel und Dreyer 2011c). Hier wurde gezeigt, dass auf den beregneten Flächen durchschnittlich ein Mehrertrag von über 20 % realisiert wurde. Ebenso zeigten die Korrelationsberechnungen mit Ausnahme des Jahres 2007 einen Zusammenhang zwischen Ertrag und Beregnungsmenge (2008: 0,493; 2009: 0,304).

Ganz entscheidend ist die effektiv zur Verfügung stehende Vegetationszeit, hier in der Variable Anzahl Tage vom Pflanzen bis zum Beginn des Befalls mit *P. infestans* ausgedrückt. Damit wird gleichzeitig deutlich, dass der Befall mit *P. infestans* eine relevante Einflussgröße hinsichtlich des im Ökolo-

**Tabelle 1:** Berechnung der multiplen Regression mittels der Prozedur GLMSELECT für den Ertrag (dt/ha) getrennt für die drei Sorten und in einem Gesamtmodell mit Berücksichtigung der Sorten (Datenbasis 2007 – 2009)

adj R <sup>2</sup>	Ertrag								
	Princess 0,6634		Ditta 0,6480		Nicola 0,7188		Gesamtmodell 0,5203		
	Schätzwert	t-Wert	Schätzwert	t-Wert	Schätzwert	t-Wert	Schätzwert	t-Wert	
Intercept	-242,98	-1,82	610,87	4,00	-159,32	-1,00	94,77	1,31	
Sorte	1 Princess						-31,96	-2,56	
	2 Ditta						-7,22	-0,57	
	3 Nicola						0,00		
Bodenart	1 anmoorig	-28,79	-0,54			333,37	4,99	59,60	1,76
	2 schwer	54,21	2,22	36,66	1,39	6,91	0,24	36,45	2,51
	3 mittel	24,36	1,35	57,74	2,60	37,88	1,81	42,70	3,43
	4 leicht	0,00		0,00		0,00		0,00	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g Boden)			3,96	2,86	4,81	3,03	2,18	2,52	
K <sub>2</sub> O (mg/100g Boden)									
Bodenbear- beitung	1 pfluglos						-28,09	-1,95	
	2 Pflug						0,00		
Pflanzgut- qualität	1 Z-Pflanzgut					-57,70	-2,24		
	2 Nachbau					0,00			
eingesetzte Mittel zur Knollenbe- handlung	1 Kupfer			-39,23	-1,37				
	2 FZB 24			-55,33	-1,97				
	3 Rhizovital			-137,74	-2,75				
	4 Proradix			79,72	1,22				
	5 ChitoPlant								
	6 EM			104,33	-1,61				
	7 keine			0,00					
Pflanzgut- vorbereitung	1 vorgekeimt			-171,80	-2,40				
	2 keimgestimmt			-193,07	-2,86				
	3 keine			0,00					
Vorfrucht- kombination	1 KG - KG			26,66	0,59	-35,21	-0,82		
	2 KG - GT			28,29	0,75	22,84	0,67		
	3 KL - GT			197,77	4,44	-34,64	-1,08		
	4 GM - GT			35,05	0,83	-4,39	-0,16		
	5 GT - KG			68,31	2,12	-115,09	-3,18		
	6 GT - KL			27,96	0,71	-33,15	-0,99		
	7 GT - GM			-20,03	-0,54	-40,89	-0,60		
	8 Sonstige			29,87	1,09	-28,16	-1,15		
	9 GT - GT			0,00		0,00			
Wirtschafts- düngerart (WiDü)	1 Biogassubstrat	-12,19	-0,49	69,83	1,58	27,12	0,98		
	2 Geflügelmist	-43,92	-1,28	32,09	0,76	43,98	1,47		
	3 Pferdemit	-39,06	-0,72	-44,60	-0,86	-31,15	-0,62		
	4 Rindermist	-112,36	-3,15	101,37	2,11	45,00	1,20		
	5 Schafsmist	-158,51	-2,21						
	6 (Rinder-)gülle	-54,09	-1,24	111,03	2,45	29,22	0,55		
	7 Champignonsubstrat	-20,61	-0,44	-222,57	-1,89				
	8 Gülle u. Mist			145,72	1,74	-115,61	2,24		
	9 keine WiDü	0,00		0,00		0,00			
Handels- düngerart (HaDü)	1 Haarmehlpellets			76,15	2,18	14,26	0,57		
	2 Bioilsa			89,32	2,35	-49,80	-0,81		
	3 PPL			-21,73	-0,49	-197,81	-3,52		
	4 PPL + Haarmehl p.			60,93	0,76				
	5 Rapsschrot			43,98	1,05	-76,18	-1,04		
	6 Grüngutkompost			162,82	3,82	182,53	2,65		
	7 keine HaDü			0,00		0,00			
Wirtschaftsdünger (kg N/ha)				-1,25	-2,74				
organische Handelsdünger (kg N/ha)		-0,55	-2,88						
Kaliumdüngung (kg K/ha)		0,35	2,84	0,38	2,31	0,25	1,80		
Beregnungsmenge (mm)						0,86	2,83	0,60	3,79
Anzahl Kartoffelkäferbehandlungen				30,45	2,29	32,66	2,49	-9,22	-1,53
Tage zw. Pflanzen und P.i.-Beginn		2,11	4,28					1,31	4,06
Temperatursumme (01.06.-15.08)		-0,56	-3,66	-0,94	-5,50			-0,39	-4,27
Globalstrahlungssumme (01.06.-15.08)		0,008	5,80	0,007	-1,52	0,004	3,49	0,005	5,89
Niederschlagssumme (01.06.-15.08)				-0,29	4,60	-1,04	-4,90	0,10	-4,66

Abkürzungen: GT = Getreide, KG = Klee gras, KL = Körnerleguminosen, GM = Gemüse,  
Sonstige = Ölpflanzen, Acker gras, Ganzpflanzensilage gemenge etc.  
PPL = Potato Protein Liquid, EM = Effektive Mikroorganismen

Bei den kategoriellen Variablen wurden jeweils Referenzkategorien gewählt, die als Vergleichsbasis (ausgewiesen mit 0,00) für die anderen Kategorien dienen.

**Tabelle 2:** Berechnung der multiplen Regression mittels der Prozedur GLMSELECT für die Parameter Stärke- und Nitratgehalt, die sensorischen Parameter Bitter und Süße zu den Zeitpunkten „nach Ernte“ und „nach Lagerung“ für die Untersuchungsjahre 2007 – 2009

adj R <sup>2</sup>	Stärke 0,7074		Nitrat 0,4265		Bitter (n. Ernte) 0,4633		Bitter (n. Lager) 0,4698		Süße (n. Ernte) 0,2281		Süße (n. Lager) 0,2544	
	Schätz- wert	t-Wert	Schätz- wert	t-Wert	Schätz- wert	t-Wert	Schätz- wert	t-Wert	Schätz- wert	t-Wert	Schätz- wert	t-Wert
Intercept	8,87	5,41	62,61	0,93	20,33	6,52	-0,78	-0,14	-2,62	-0,68	9,00	1,90
Sorte	1 Princess	-2,95	-11,98	22,25	1,90		3,25	4,87	0,69	0,59	-3,01	-2,76
	2 Ditta	-1,27	-5,18	-23,47	-2,54		0,08	0,11	-1,94	-2,21	-2,44	-2,90
	3 Nicola	0,00	.	0,00	.		0,00	.	0,00	.	0,00	.
Bodenart	1 anmoorig	-0,03	-0,04	-31,25	-1,15							
	2 schwer	0,96	2,45	20,93	1,37							
	3 mittel	0,87	2,94	43,00	3,78							
	4 leicht	0,00	.	0,00	.							
Bodenpunkte		-0,03	-2,91	-1,09	-3,02	-0,03	-1,97	-0,03	-1,64	0,04	1,77	
pH-Wert (Boden)		0,45	1,95	17,83	2,08							
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g Boden)						0,07	1,75					
K <sub>2</sub> O (mg/100g Boden)												
Bodenbear- beitung	1 pfluglos											
	2 Pflug											
Pflanzgut- qualität	1 Z-Pflanzgut	0,33	1,53									
	2 Nachbau	0,00	.									
eingesetzte Mittel zur Knollenbe- handlung	1 Kupfer											
	2 FZB 24											
	3 Rhizovital											
	4 Proradix											
	5 ChitoPlant											
	6 EM											
	7 keine											
Vorfrucht- kombination	1 KG - KG					2,33	1,63	1,09	0,61			
	2 KG - GT					-0,97	-0,98	-0,07	-0,06			
	3 KL - GT					1,56	1,57	-2,45	-2,23			
	4 GM - GT					-1,65	-1,85	-1,57	-1,74			
	5 GT - KG					-2,18	-2,42	-0,28	-0,25			
	6 GT - KL					-0,19	-0,20	3,35	2,63			
	7 GT - GM					-1,92	-1,76	-1,28	-1,11			
	8 Sonstige					0,14	0,18	0,80	0,89			
	9 GT - GT					0,00	.	0,00	.			
Wirtschafts- düngerart (WiDü)	1 Biogassubstrat							0,03	0,04			
	2 Geflügelmist							-0,77	-0,78			
	3 Pferdemit							-3,07	-1,46			
	4 Rindermist							-1,54	-1,73			
	5 Gülle							-1,69	-1,30			
	6 Champignonsubstrat							-1,81	-0,65			
	7 Gülle + Mist							-4,26	-2,64			
	8 Keine WiDü							0,00	.			
Handels- düngerart (HaDü)	1 Haarmehlpellets	-0,87	-3,07	53,11	2,34					6,53	3,04	
	2 Bioilsa	-0,02	-0,04	29,05	1,40					0,79	0,41	
	3 PPL	-0,59	-1,38	42,60	2,04					4,35	2,27	
	4 PPL + Haarmehlp.	-0,44	-0,57	74,88	2,11					7,42	2,29	
	5 Rapsschrot	-0,52	-1,12	30,49	1,39					3,62	1,79	
	6 Grüngutkompost	1,61	2,58	128,36	4,90					1,76	0,74	
	7 keine HaDü	0,00	.	0,00	.					0,00	.	
Wirtschaftsdünger (kg N/ha)		-0,01	-1,61									
organische Handelsdünger (kg N/ha)				-0,47	-1,95					-0,06	-2,71	
Berechnungsmenge (mm)		-0,005	-1,61	-0,51	-4,38			0,01	1,93			
Anzahl Kartoffelkäferbehandlungen												
Tage zw. Pflanzen und P.i.-Beginn		0,02	4,45					-0,03	-1,91	-0,06	-2,84	
Temperatursumme (01.06.-15.08)				0,08	1,93			0,030	3,37			
Globalstrahlungssumme (01.06.-15.08)		0,00003	2,60			-0,00003	-1,48	-0,0002	-2,76			
Niederschlagssumme (01.06.-15.08)		-0,005	-2,79					0,01	1,94	0,02	2,66	
Tage zw. Krautsterben und Roden		-0,02	-3,32									
Boniturnote	1 Note 0							4,04	1,5			0,27 0,08
Rhizoctonia-	2 Note 1-2							2,39	0,91			-2,11 -0,61
Pusteln	3 Note 2,5-3,5							3,35	1,26			-2,84 -0,82
	4 Note >3,5							0,00	.			0,00
Dry Core (%)												
Drahtwurmbefall (%)		0,04	1,97							-0,23	-3,03	
Schorf (%)												
Nitratgehalt (ppm FM)		-0,008	-4,38			0,02	4,52			-0,01	-2,15	
Stärkegehalt (% FM)				-10,30	-4,68	-0,85	-6,74			1,13	4,64	0,37 1,59
Lagerart	1 geschlossene Kiste							-0,65	-0,96			-1,39 -1,68
	2 offene Kiste							1,75	2,82			0,21 0,27
	3 mechan. Kühlung							0,00	.			0,00

Abkürzungen: GT = Getreide, KG = Klee gras, KL = Körnerleguminosen, GM = Gemüse,  
Sonstige = Ölpflanzen, Ackergras, Ganzpflanzensilagegemenge etc.,  
PPL = Potato Protein Liquid, EM = Effektive Mikroorganismen

Bei den kategoriellen Variablen wurden jeweils Referenzkategorien gewählt, die als Vergleichsbasis (ausgewiesen mit 0,00) für die anderen Kategorien dienen.

gischen Landbau zu realisierenden Ertrages darstellt. Die Korrelationsberechnungen für die im Projekt erhobenen Daten zeigten hier moderate bis gute Beziehungen von 0,560 (2007), 0,633 (2008) und 0,340 (2009).

Dagegen nicht einzuordnen ist das Ergebnis zur Bekämpfung der Kartoffelkäfer, da eindeutig nachgewiesen wurde, dass die auf den beteiligten Projektbetrieben eingesetzten Mittel eine gute Wirkung gegenüber den Kartoffelkäfern besitzen (Kühne 2007, 2009). Eine Überprüfung der Befallsstärke sowie der Wirksamkeit der Behandlungen wurde im Rahmen des Projektes jedoch nicht erhoben, so dass die hier gewählten Ausprägungsstufen der Variable, hier gewählt die Anzahl der durchgeführten Behandlungen, nicht geeignet war. Zum anderen könnte aus diesem Ergebnis aber auch abzuleiten sein, dass es sich bei diesen Kartoffelbeständen ohnehin um bereits geschwächte Bestände gehandelt hat, bei denen der Einsatz der Pflanzenschutzmittel keinen positiven Effekt mehr bewirken konnte.

Die ausgewählten Parameter zur Beschreibung der Witterungsbedingungen haben alle einen Einfluss, dennoch kann hier keine eindeutige Zuordnung und somit keine Interpretation erfolgen.

### **Stärkegehalt**

Für die Inhaltsstoffe Stärke und Nitrat sowie für die sensorischen Parameter Süße und Bitter, jeweils gemessen nach Ernte und Lagerung, wurden neben den für den Ertrag benannten Variablen zusätzlich die äußeren Qualitätsparameter wie die Bonituren auf Rhizoctonia, Dry Core, Schorf und Drahtwurmbefall sowie der Nitratgehalt im Modell für Stärke bzw. der Stärkegehalt im Modell für Nitrat sowie beide Variablen bei den sensorischen Parametern einbezogen. In der multiplen Regressionsanalyse wurde, wie für das Gesamtmodell für den Ertrag, der Sorteneffekt einbezogen (Tab. 2). Für die Untersuchungen nach Lagerung wurde zusätzlich die Variable Lagerungsart aufgenommen,

wobei hier nur die Daten der Jahre 2008 und 2009 einbezogen werden konnten.

Für den Stärkegehalt beträgt das adjustierte  $R^2 = 0,71$  und ist damit deutlich besser als für den Ertrag, d.h. 71 % der Varianz können durch das Modell erklärt werden. Im Modell wurde wiederum der Sorteneffekt berücksichtigt und spiegelt die Verhältnisse der im Projekt gemessenen Stärkegehalte wider. Die Sorte Nicola wies die höchsten Stärkegehalte (13,3 %) gefolgt von Ditta (12,3 %) und Princess (9,8 %). Maßgeblich gehen weiterhin die Bodenart, die Bodenpunkte sowie der pH-Wert, die Pflanzgutqualität, die Art der Handelsdünger, die gedüngte N-Menge über Wirtschaftsdünger, die Beregnungsmenge, die zur Verfügung stehen Vegetationszeit bis zum Befallsbeginn mit *P. infestans*, die Witterungsparameter sowie der Drahtwurmbefall und der Nitratgehalt in den Knollen ein (Tab. 2).

Aus der Literatur (z.B. dargestellt bei Möller et al. 2003) ist bekannt, dass der Stärkegehalt bei schweren Böden in der Regel höher ausfällt als auf leichteren Böden. Dies wird in dem Modell durch die Variable Bodenart und pH-Wert berücksichtigt, die Bodenpunkte zeigen einen leicht reduzierenden Effekt auf.

Der Einfluss der Pflanzgutqualität zeigt an, dass die Partien, die aus Z-Pflanzgut erwachsen sind, einen höheren Stärkegehalt aufwiesen als die aus Nachbaupflanzgut.

Interessant ist die Berücksichtigung der Handelsdüngerart im Modell mit ihrer Wirkung auf den Stärkegehalt. Die eingesetzten Handelsdünger haben mit Ausnahme des eingesetzten Grüngutkompostes eine negative Wirkung auf den Stärkegehalt, genauso wie die über die Wirtschaftsdünger ausgebrachte N-Menge. Die negative Korrelation zwischen N-Düngung und Stärkegehalt ist vielfach, auch unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaues, dokumentiert (Kolbe 2003, Böhm 1997). Auffallend ist insbesondere die Stärke erhöhende Wirkung

des Grüngutkompostes. Hierzu liegen bislang keine Untersuchungen vor. Grüngutkompost kann als Mehrnährstoffdünger mit entsprechenden Gehalten an Spurenelementen, bezeichnet werden, wodurch dieser Effekt gegebenenfalls bedingt sein könnte.

Das Regressionsmodell zeigt, dass mit zunehmender Berechnungsmenge eine gewisse Reduzierung des Stärkegehaltes einhergeht. In der Regel werden die Stärkegehalte durch Berechnung erhöht, allerdings werden in Einzeljahren auch geringere Gehalte gemessen (Fricke 2006).

Entsprechend deutlich ist wiederum der Zusammenhang zwischen der zur Verfügung stehenden Wachstumsdauer und dem Stärkegehalt. Dies wurde im Jahr 2007 sehr deutlich, als die Kartoffeln, vor allem der Sorte Princess, aufgrund des frühzeitigen Befalls mit *P. infestans* sehr niedrige Stärkegehalte aufwiesen, was in diesem Jahr auch durch den Korrelationskoeffizienten von 0,49 zum Ausdruck kam. Dieser Zusammenhang ist auch vielfach in der Literatur beschrieben (Landzettel & Dreyer 2011a, in diesem Heft).

Auch die ausgewiesenen Auswirkungen der Witterung sind in der Literatur beschrieben und belegt (Kolbe 1995, vgl. auch Möller et al. 2003). Die Einstrahlung bewirkt einen Anstieg und Niederschläge können zu einer Reduzierung der Stärkegehalte führen.

Der negative Zusammenhang zwischen Stärke- und Nitratgehalt wird in der Literatur beschrieben und ist eventuell darauf zurückzuführen, dass bei Kartoffelbeständen, deren Blattapparat verletzt oder nicht mehr intakt ist (z.B. durch *P. infestans*) die Photosyntheseleistung verringert wird. Dies kann bewirken, dass die Nitratgehalte nicht durch die eingelagerte Stärke verringert werden (Konzentrationseffekt) (Kolbe 1996).

## Nitratgehalt

Für den Nitratgehalt in den Kartoffeln wurde ein  $\text{adj. } R^2 = 0,43$  errechnet, d.h. nur 43 % der Varianz können durch die im Modell berücksichtigten Faktoren erklärt werden. Damit unterscheidet sich die Aussagekraft deutlich von den zuvor beschriebenen Parametern Ertrag und Stärkegehalt. Der vom Modell berücksichtigte Sorteneinfluss bestätigt die erhobenen Werte, d.h. die geringsten Nitratgehalte wies die Sorte Ditta mit 89,4 mg/kg FM auf, die höchsten die Sorte Princess (165 mg/kg FM) und dazwischen lagen die Nitratgehalte der Sorte Nicola (98 mg/kg FM).

Auch im Modell wurden wiederum die Bodenart und die Bodenpunkte berücksichtigt, allerdings in gegenläufiger Weise. Böden mit hoher N-Nachlieferung, d.h. in der Regel die besseren Böden können sich nachteilig auf die Nitratgehalte der Knollen auswirken (Kolbe 1996).

Die eingesetzten Handelsdünger führen alle zu einer Erhöhung der Nitratgehalte und bestätigen damit den bekannten Zusammenhang, dass die Kartoffel mit zunehmender N-Versorgung mit erhöhten Nitratgehalten reagiert. Dieser Effekt war bei den Wirtschaftsdüngern nicht signifikant und wurde im Modell somit nicht berücksichtigt. Dies kann auch mit der langsameren N-Freisetzung aus den organischen Wirtschaftsdüngern zusammenhängen. Der Einsatz der Berechnung führt dagegen zu geringeren Nitratgehalten und wird durch Untersuchungsergebnisse gestützt (Kolbe 1996).

## Sensorische Ausprägungen im Geschmack

Ebenso wurden multiple Regressionsanalysen für die sensorischen Ausprägungen durchgeführt. Beispielhaft sind in Tabelle 2 die Ergebnisse für die Parameter „Bitter“ und „Süße“ nach Ernte sowie nach Lagerung dargestellt. Für Bitter weist die multiple Regressionsanalyse ein  $\text{adj. } R^2$  von 0,46 (nach Ernte) bzw. 0,47 (nach Lagerung) und für Süße ein  $\text{adj. } R^2$  von 0,23 (nach Ernte)

bzw. 0,25 (nach Lagerung) aus. Somit sind für die geprüften Geschmacksausprägungen nur noch schwache Zusammenhänge abzuleiten. Zudem werden im Modell nur noch wenige Variable berücksichtigt.

Bei der Geschmacksausprägung „Bitter nach Ernte“ war kein signifikanter Sorteneffekt vorhanden, berücksichtigt wurden im Modell nur die Variablen Bodenpunkte, Phosphorgehalt im Boden, Vorfruchtkombinationen sowie die Globalstrahlungssumme, der Nitrat- und Stärkegehalt. Die Bodengüte (Bodenpunkte) wirkt sich auf den Geschmack aus, d.h. mit zunehmender Bodenpunktzahl nimmt die Neigung zu Bitter ab. Dieser Einfluss bleibt auch nach der Lagerungsperiode erhalten. Bei der Süße dagegen nimmt die Ausprägung mit zunehmender Bodengüte zu, allerdings nur bei der Verrechnung nach Ernte.

Bei der Geschmacksnote „Bitter“ wirkte sich ein höherer Stärkegehalt bei der Untersuchung nach Ernte reduzierend, bei der Süßnote entsprechend verstärkend aus. Während der Effekt bei der Süße auch nach der Lagerungsperiode erhalten blieb, war dieser nach der Lagerung für bitter nicht mehr signifikant. Da Stärke oftmals als Geschmacks-träger im positiven Sinne in der Literatur beschrieben wird (z.B. Mica 1978), ist dieser Zusammenhang nachvollziehbar. Ebenso ist bekannt, dass Kartoffeln die physiologisch ausgereift sind oftmals qualitativ besser bewertet werden. Dies könnte sich auch in positiven Geschmacksausprägungen wie der Süße wiederfinden.

Zunehmende Nitratgehalte führten bei der nach Ernte-Untersuchung zu einer Steigerung der Bitternote. Dieser Zusammenhang zeigte sich sehr deutlich im Jahr 2007 (vgl. Mahnke-Plesker et al. 2011, Buchecker et al. 2011), hat sich aber in den beiden weiteren Jahren als nicht so stringent erwiesen. Umgekehrt war der Einfluss des Nitratgehaltes auf die Ausprägung der Süße.

Die Globalstrahlung wird als Bitterkeit reduzierend in dem Modell berücksichtigt. Dies würde die These stützen, dass ausgereifte Kartoffeln physiologisch stabiler und damit auch geschmacklich besser einzustufen sind. Die Auswirkungen der Variablen Vorfrucht-kombinationen, Art der Wirtschaftsdünger bzw. Handelsdüngerart können derzeit noch nicht eingeschätzt werden. Die aus den multiplen Regressionsanalysen abgeleiteten Einschätzungen sollten in diesem Zusammenhang eher als Hinweise angesehen werden, die im Weiteren überprüft werden müssen – dies gilt insbesondere auch für die Geschmacksausprägung.

Nach der Ernte wurden Kartoffelproben zusätzlich in unterschiedlichen Lagern gelagert (vgl. Böhm et al. (2011), in diesem Heft). Für die multiplen Regressionsanalysen für die Geschmacksausprägungen bitter und süß wurden diese Lagerarten in das Modell aufgenommen, wobei nur die Daten aus 2008 und 2009 einbezogen werden konnten. Dabei zeigte sich, dass die Lagerung einen signifikanten Einfluss hatte (Tab. 2). Als Referenz wurde bei der Berechnung die mechanische Kühlung (Zieltemperatur 4°C) gewählt, so dass die beiden anderen Lagerungsarten (1 = geschlossenen Kiste, Zieltemperatur 4°C; 2 = offene Kiste, Zieltemperatur 5°C) hierzu verglichen werden können. Das Modell weist aus, dass die Lagerung der Kartoffeln in geschlossenen Kisten im Vergleich zur Lagerung mit mechanischer Kühlung zu einer Verringerung der Geschmacksausprägungen Bitter und Süße führten und in dem Lager mit offenen Kisten eine Verstärkung dieser beiden Geschmacksausprägungen führte. Diese Aussagen werden durch die Auswertungen von Mahnke-Plesker et al. (2011, in diesem Heft) nicht gestützt. Sie fanden keine einheitlichen Reaktionen der Sorten in Abhängigkeit der Lagerung.

## Schlussfolgerungen

Multiple Regressionsanalysen bieten die Möglichkeit die Ursache der Varianz bestimmter Zielgrößen mit Hilfe verschiedener

Variablen zu erklären. Dies bietet Möglichkeiten Zusammenhänge zu erkennen und das Zusammenwirken verschiedener Variablen hinsichtlich der Zielgrößen einzuschätzen. Damit kann den Landwirten eine zusätzliche Hilfestellung gegeben werden, welche pflanzenbaulichen Maßnahmen zu einer Verbesserung der Kartoffelerträge einerseits und gewünschter Qualitäten andererseits führen. Für die Ertragsleistung und den Stärkegehalt zeigten die Modelle der multiplen Regressionsanalyse gute Ergebnisse, mit denen über 70 % der Varianz erklärt werden konnten. Leider sind die Zusammenhänge zwischen Anbaumanagement und insbesondere der Ausbildung der Geschmacksausprägungen bislang noch nicht zufriedenstellend.

## Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Projektes "Optimierung der ökologischen Kartoffelproduktion" durchgeführt, das durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) gefördert wurde (FKZ 06OE125, FKZ 06OE149 und FKZ 06OE295).

## Literatur

- Böhm H, Dewes T (1997): Auswirkungen gesteigerter Stallmistdüngung auf Ertrag, Qualität und Nachernteverhalten bei ausgewählten Kartoffelsorten. Beitr. 4. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Bonn, 368-374. Verlag Dr. Köster, Berlin
- Böhm H, Dreyer, Dresow JF, Landzettel C, Buchecker K, Mahnke-Plesker S, Westhues F (2011): Forschungsprojekt zur Optimierung der ökologischen Kartoffelproduktion – Hintergrund und Projektbeschreibung. *Landbauforschung SH* 348:1-13
- Buchecker K, Mahnke-Plesker S, Westhues F (2011): Sensorische Sortenprofile. *Landbauforschung SH* 348:87-97
- Fricke E (2005): Kein Kartoffelanbau ohne gesicherte Wasserversorgung! *Kartoffelbau* 56(3):86-89
- Fricke E (2006): <http://www.fachverband-feldberegnung.de/pdf/ZusatzwasserfuermehrQualitaet.pdf>. [zitiert am 30.05.2011]
- Fricke E (2007): Beregnung - teuer, aber lohnend. *Kartoffelbau* 58(3):84-87
- Kainz M (2003): Technik der Grundbodenbearbeitung. In: Möller K, Kolbe H, Böhm H (2003): *Handbuch Ökologischer Kartoffelbau*: Österreichischer Agrarverlag: 61-66
- Karalus W, Grünbeck A (2003) Helfen Pflanzestärkungsmittel gegen Rhizoctonia? *Kartoffelbau* 54(1/2/2003):26-27
- Keil S, Benker M, Zellner M (2008): The use of copper seed treatments to control potato late blight in organic farming. In: Neuhoff D et al: *Cultivating the future based on science. Volume 1: Organic Crop Production. Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISO FAR), 16th IFOAM Organic World Conference in Cooperation with the International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) and the Consorzio ModenaBio in Modena, Italy, 18-20 June, 2008, 476-479*
- Kolbe H (1990): Kartoffeldüngung unter differenzierten ökologischen Bedingungen. Einfluss von Blatt- und Bodendüngung sowie Sorte und Klima auf Erträge und Inhaltsstoffe der Knollen zur Erntezeit und nach kontrollierter Lagerung. *Fachbereich Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität zu Göttingen*, 294 pp
- Kolbe H (1995): Einflussfaktoren auf die Inhaltsstoffe der Kartoffel Teil 1: Trockensubstanz und Stärke. *Kartoffelbau* 46(10):404-411
- Kolbe H (1996): Einflussfaktoren auf die Inhaltsstoffe der Kartoffel. Teil IV: Nitrat. *Kartoffelbau* 47(7):259-264
- Kühne S (2009): Kampf dem Kartoffelkäfer. *Kartoffelbau* 60(4):116-117
- Kühne S, Reelfs T, Moll E, Kleinhenz B (2007): Optimierte Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zur Regulierung des Kartoffelkäfers (*Leptinotarsa decemlineata* Say) im Ökologischen Landbau. Zikeli S, Claupein W, Dabbert S et al (eds). *Zwischen Tradition und Globalisierung. Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau Band 1:337-340*, Berlin:Verlag Dr. Köster
- Landzettel C, Dreyer W (2011a): Drahtwurmschäden. *Landbauforschung SH* 348:67-78
- Landzettel C, Dreyer W (2011b): Herausarbeitung und Bewertung sortenspezifischer Eigenheiten

- hinsichtlich Nitrat- und Stärkegehalte, Missbildungen und Beschädigungen. Landbauforschung SH 348:55-60
- Landzettel C, Dreyer W (2011c): Anbaumanagement auf den untersuchten Projektbetrieben. Landbauforschung SH 348: 31-42
- Mahnke-Plesker S, Buchecker K, Westhues F (2011): Zusammenhang zwischen Sensorik und Anbauparametern nach Ernte und Lagerung. Landbauforschung SH 348:111-128
- Mayer J, Scheid S, Widmer F, Fliessbach A, Oberholzer HR (2010) How effective are 'Effective microorganisms (R) (EM)'? Results from a field study in temperate climate. Applied Soil Ecology 46(2):230-239
- Mica B (1978): Einfluß des Verhältnisses von Stärke zu anderen Inhaltsstoffen auf den Geschmack von Kartoffeln. Stärke 30(9):313-315
- Möller K, Kolbe H, Böhm H (2003): Handbuch Ökologischer Kartoffelbau. 1. Aufl., Leopoldsdorf: Österreichischer Agrarverlag, 183 pp
- SAS (2006): The GLMSELECT Procedure (Experimental). SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA, S. 1-102  
Download:  
<http://support.sas.com/rnd/app/da/glmselect.html>
- Schleuß U, Böhm H (2005) Reduzierung von *Rhizoctonia solani* im ökologischen Kartoffelanbau. In: Heß J, Rahmann G (eds). Ende der Nische. Beitr. 8.Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, 153-154. Kassel:kassel university press.
- Scholte K (1989): Effects of soil-borne *Rhizoctonia solani* Kühn on yield and quality of ten potato cultivars. Potato Res. 32:367-376
- Zellner M, Keil S, Benker M, Kleinhenz B, Bange mann L (2007): Entwicklung, Überprüfung und Praxiseinführung des Prognosesystems ÖKO-SIMPHYT zur gezielten Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) im ökologischen Kartoffelanbau mit reduzierten Kupferaufwandmengen. BÖL-Abschlußbericht