

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft

Prüfung von Kartoffelsorten auf deren besondere Eignung für den Ökologischen Landbau

Assessment of the suitability of potato varieties for organic farming

FKZ: 09OE002

Projektnehmer:

Universität Kassel (FB 11)
Fachgebiet Ökologische Land- und Pflanzenbau
Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen
Tel.: +49 5542 98 1565
Fax: +49 5542 98 1568
E-Mail: andrea.schmutzler@uni-kassel.de
Internet: <http://www.uni-kassel.de>

Autoren:

Haase, Thorsten, Schulz, Hannes; Kölsch, Eberhard, Heß, Jürgen

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

Stickstoffeffizienz des geprüften Kartoffel-Sortiments und Prüfung der Sorten bezüglich weiterer, bislang nicht in der Beschreibenden Sortenliste berücksichtigter agronomischer Merkmale

Förderkennzeichen 2809OE002

Projektlaufzeit und Berichtszeitraum: 01.04.2009 - 31.12.2011

Projektnehmer:

Universität Kassel

Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften

Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau

Nordbahnhofstraße 1a

37213 Witzenhausen

Tel.: +49 5542 98 1565

Fax.: +49 5542 98 1568

e-Mail: andrea.schmutzler@uni-kassel.de

Internet: <http://www.uni-kassel.de/fb11/agrар/fachgebiete-einrichtungen/oekologischer-land-und-pflanzenbau/startseite.html>

Autoren: Haase, Thorsten; Schulz, Hannes; Kölsch, Eberhard; Heß, Jürgen

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN)

Witzenhausen im März 2014

Kurzfassung

In den Jahren 2009-2011 wurde auf der seit 2001 ökologisch bewirtschafteten Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen (Lehr- und Versuchsbetrieb der Universität Kassel; 698 mm; 8,9°C; mittlerer toniger Schluff) ein Feldversuch mit vier, im Abstand von 10 Tagen durchgeführten Probenahmen zu ausgewählten Fragestellungen der Ertragsbildung, Stickstoffeffizienz, Methoden der Bestimmung des N-Versorgungsstatus und des Unkrautunterdrückungspotenzials von 16 Kartoffelsorten aller vier Reifegruppen bei Verzicht auf Kupfereinsatz durchgeführt.

Die Sorten der späteren Reifegruppe wiesen über die drei Versuchsjahre eine geringere Ertragsstabilität auf. Die Ergebnisse bestätigten die Hypothese, dass Sorten mit geringer Knollendichte und gleichzeitig hohen Einzelknollenmassen im Ökologischen Landbau zu bevorzugen sind, weil diese den relativ höchsten Marktwareertrag erwarten lassen. Die Untersuchungen konnten zeigen, dass das geringste Anbaurisiko mit der Wahl einer solchen Sorte verbunden ist, die relativ gesehen, ein überdurchschnittliches Ertragsniveau bei gleichzeitig überdurchschnittlicher relativer Ertragszuwachs geschwindigkeit aufweist und dies mit einer geringen Streuung über die Jahre. Die Ergebnisse belegen weiterhin, dass im Ökologischen Landbau der maximale Knollenertrag von Sorten der Reifegruppen I bis III bereits 90 Tage nach dem Legen erreicht ist, wenn die Intensität der Krautfäule gering ist.

Die Kenntnis des Zeitpunktes, zu dem, bei Unterschreiten eines noch zu erarbeitenden Schwellenwertes (z.B. N-Gehalt des jüngsten voll entwickelten Blattes) auch bei vollem Einsatz von Pflanzenschutz (Kupfer), kein weiterer Ertragszuwachs zu erwarten ist, muss in weiterführenden N-Steigerungsversuchen erlangt werden. Die Verknüpfung des in dieser Studie entwickelten Wachstumsmodells zur Ertragsbildung und der gewonnenen Erkenntnisse zum N-Haushalt der Kartoffel kann eine Grundlage dazu liefern.

Bezüglich des Unkrautunterdrückungspotenzials konnte kein eindeutiger Einfluss der Reifegruppe (Sorte) nachgewiesen werden. Der am Ende der Vegetationsperiode erhobene Unkrautdeckungsgrad stand in keinem klaren Zusammenhang mit den vermuteten Einflussgrößen: kumulierte Krautmasse und Bodendeckungsgrad. Gezeigt werden konnte auch, dass der sortenabhängig unterschiedliche Verlauf der Krautfäule keinen wesentlichen Einfluss auf das Unkrautunterdrückungspotenzial einer Sorte hat.

Abstract

Between 2009 and 2011 a field experiment was conducted on the organic research farm of the University of Kassel (Hessische Staatsdomäne Frankenhäusen; 698 mm; 8.9°C; silty loam) using four subsequent sampling dates at intervals of ten days in order to investigate into yield formation, nitrogen efficiency, methods for assessment of crop nitrogen status and weed suppression potential of 16 cultivars from all four maturity groups.

Cultivars of the later maturity groups were found to have lower yield stability, probably because nitrogen was limiting tuber yields. Results further confirm the hypothesis that cultivars with a genetically-determined lower tuber density and subsequently higher single tuber mass should be preferred in organic farming conditions, because they yield highest portions of marketable yield. We could show by applying a mathematical growth model that the lowest risk for growers is associated with choice of a cultivar that has an above average tuber yield and a high relative tuber growth rate along with a low variance over the years. Another striking finding of this study is that under conditions of organic farming maximum tuber yield of cultivars from maturity groups I to III is achieved as early as 90 days after planting, when the intensity of late blight epidemics is low.

Knowledge of the point of time at which - when crop nitrogen status (e.g. assessed as N in the youngest fully-expanded leaf) falls below a certain, yet unknown threshold - no further yield increase can be expected (even with intensive use of copper fungicides) has to be gained in future N-fertilization trials. Using the growth model applied in this study and the data on the course of crop nitrogen status may be a reasonable approach.

In terms of weed suppression potential no distinct effect of the cultivar could be established. The level of weed density (% ground cover) assessed at the end of the season was not associated with the expected determining factors such as accumulated aboveground biomass and the area under crop ground cover curve. It was also shown that the different intensity of late blight canopy losses due to different tolerance levels of the cultivars tested has no significant impact on the weed suppression potential of a genotype.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	2
Abstract	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis	11
1 Einführung	13
1.1 Gegenstand des Vorhabens	13
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts	14
1.3 Planung und Ablauf des Projekts	14
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand des Wissens	17
1.5 Daraus abgeleitete Fragestellungen:	21
1.5.1 Ertragsbildung und Ertragskomponenten	21
1.5.2 Stickstoffaufnahme, -nutzungseffizienz und –versorgungsstatus	21
1.5.3 Unkrautunterdrückungspotenzial und Krautfäuleverlauf	21
2 Material und Methoden	23
2.1 Standorteigenschaften	23
2.2 Witterung	24
2.3 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung	25
2.4 Untersuchtes Sortenspektrum	28
2.5 Probenahme und Untersuchungsmethodik	30
2.5.1 Bodenproben	30
2.5.2 Untersuchungen am oberirdischen Aufwuchs	30
2.5.3 Knollenbeerntung und deren Untersuchung	32
2.6 Laboranalytik	33

2.7	Verrechnungsmethodik und statistische Auswertung	37
2.7.1	Verrechnungsmethodik	37
2.7.2	Statistische Auswertung	39
3	Ergebnisse.....	40
3.1	Ertragsbildung und Ertragskomponenten.....	40
3.1.1	Rohertrag und marktfähiger Ertrag	40
3.1.2	Verlauf der sortenspezifischen Ertragsbildung	43
3.1.3	Zeitpunkt des umweltabhängigen Ertragspotenzials	45
3.1.4	Unterscheidung der Sorten nach der Ausprägung der untersuchten Ertragsstrukturkomponenten.....	47
3.2	Stickstoffaufnahme, -verwertung, -effizienz und –versorgungs-status.....	52
3.2.1	N-Aufnahme und N-Effizienz.....	52
3.2.2	Verlauf der Stickstoffverlagerung in die Knollen	57
3.2.3	Bestimmung des N-Versorgungsstatus	59
3.2.4	Anwendung des N- Versorgungsstatus	62
3.2.5	Zusammenhang zwischen N- Versorgungsstatus und der N-Aufnahme.....	63
3.2.6	Restnitratgehalt im Boden.....	64
3.3	Unkrautunterdrückungspotenzial und Krautfäuleverlauf.....	66
3.3.1	Wachstumsverlauf des oberirdischen Aufwuchses und das daraus resultierende Unkrautunterdrückungspotenzial	66
3.3.2	Ursachen eines hohen Unkrautunterdrückungspotenzials	68
3.3.3	Bestimmung der Krautfäuleanfälligkeit.....	69
3.3.4	Wechselwirkung zwischen Unkrautunterdrückung und Krautfäuleverlauf.....	69
4	Diskussion der Ergebnisse	71
5	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	75
6	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen.....	76
7	Zusammenfassung	77

8	Literaturverzeichnis.....	80
9	Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse	84

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Relative Ausbeute des Marktertrages vom Rohertrag der 16 untersuchten Sorten der Jahre 2009-2011; Median.....	43
Abbildung 2: Indexvergleich der 16 untersuchten Sorten der Jahre 2009-2011 in Zuwachsgeschwindigkeit (y-Achse) und Rohertrag (x-Achse)	44
Abbildung 3: Indexvergleich der 16 untersuchten Sorten in Zuwachsgeschwindigkeit (y-Achse) und marktfähiger Ertrag (x-Achse).....	45
Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Knollendichte und Einzelknollenmasse des Erntegutes der Haupternten (2009–2011).....	48
Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Einzelknollenmasse und Marktwareanteil des Erntegutes der Haupternten (2009–2011).....	49
Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Einzelknollenmasse und Untergrößenanteil des Erntegutes der Haupternte (2009 – 2011)	50
Abbildung 7: Knollendichte [Knollen/m ²] und Einzelknollenmasse [g] der dreijährig (2009–2011) untersuchten Sorten.....	51
Abbildung 8: Stickstoffaufnahmeeffizienz der 16 untersuchten Sorten (2009–2011); berechnet als: kumulierter N-Ertrag (Kraut)[(kg/ha)*t] / kumuliertes Bodennitrat-N [(kg/ha)*t] im jeweiligen Untersuchungszeitraum ZE1 bis ZE4.....	53
Abbildung 9: Stickstoffverwertungseffizienz der 16 untersuchten Sorten (2009–2011); berechnet als: Stickstoffertrag der Haupternte [kg/ha] / kum. N-Ertrag (Kraut)[(kg/ha)*t] im Untersuchungszeitraum ZE1 bis ZE4.....	54
Abbildung 10: Stickstoffnutzungseffizienz der 16 untersuchten Sorten (2009–2011); berechnet als: Knollenertrag der Haupternte [dt/ha] / Stickstoffentzug der Haupternte [kg/ha]	55
Abbildung 11: Ungenutzte Restnitratmenge in den Knollen des Erntegutes der Haupternten [kg/ha] der Jahre 2010 und 2011	56
Abbildung 12: Jahresspezifische Ergebnisse und Verlauf der Yara-N-Messung (Mittel der 16 untersuchten Sorten; 2009–2011).....	59
Abbildung 13: Jahresspezifische Ergebnisse und Verlauf der Nitratmessungen im	

Stängelsaft [ppm] des Untersuchungszeitraums der jeweiligen Zeiternten (Mittel der 16 untersuchten Sorten; 2009–2011)	60
Abbildung 14: Jahresspezifischer Verlauf der Nitratmessungen in der Knolle [ppm] im Untersuchungszeitraum der jeweiligen Zeiternten der Jahre 2010 und 2011.....	61
Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Yara-N-Messung und Stickstoffentzug des oberirdischen Aufwuchses	64
Abbildung 16: Verbliebener Restnitratgehalt [kg NO ₃ -N/ha] der Bodenschicht (0-60) unter den Haupternteparzellen am Ende der jährlichen Vegetationsperiode.....	65
Abbildung 17: Kumulierter Krautertrag [(dt/ha)*d] vom Auflaufen bis zur Zeiternte 4 der 16 untersuchten Sorten (2009-2011).....	66
Abbildung 18: Sortenspezifische durchschnittliche Bodenbedeckung [(%/Flächeneinheit)*d] der 16 untersuchten Sorten im Untersuchungszeitraum 2009 und 2010 (ZE1 bis ZE4).....	67
Abbildung 19: Dreijähriger Unkrautdeckungsgrad der 16 untersuchten Sorten zwischen (2009-2011)	68
Abbildung 20: Krautfäuleverlauf des Jahres 2009 dargestellt als Fläche unter der Befallskurve (AUDPC)	69
Abbildung 21: Zusammenhang zwischen Krautfäuleverlauf, dargestellt als Fläche unter der Befallskurve (AUDPC) und Unkrautdeckungsgrad [%].....	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Standort- und Bodeneigenschaften der Feldversuchsflächen auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen (2009-2011)	23
Tabelle 2: Langjährige Wetterdaten (1961-1990): Tagesdurchschnittstemperatur [°C] und monatliche Niederschlagssumme [mm] sowie die Abweichung von diesen Mittelwerten in den Jahren 2009 bis 2011 auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen	24
Tabelle 3: Details zur Versuchsanlage und -durchführung in den Feldversuchen auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen (2009-2011)	26
Tabelle 4: Wichtige Eigenschaften des auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen (2009-2011) geprüften Sortiments.....	29
Tabelle 5: Details der angewandten Methoden zur Bestimmung von N-Versorgungsstatus und -aufnahme in den Feldversuchen auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen (2009-2011) sowie der angewandten Analysemethoden.....	34
Tabelle 6: Mittlerer Rohertrag [dt/ha] der 16 untersuchten Sorten der Jahre 2009-2011, der resultierende 3-jährige Ertragsindex und dessen Varianz.....	40
Tabelle 7: Mittlerer marktfähiger Ertrag der 16 untersuchten Sorten der Jahre 2009-2011, der resultierende 3-jährige Ertragsindex und dessen Varianz	42
Tabelle 8: Sortenabhängiges Erreichen (in Tagen) von 95% des jahresspezifischen Ertragspotenzials und resultierende 3-jährige Indexbewertung der 16 untersuchten Sorten.....	46
Tabelle 9: Ergebnisse der Regressionsanalyse der untersuchten Ertragsstrukturparameter, Erträge und Ertragskomponenten (* = Abweichen von der linearen Regression)	47
Tabelle 10: Mittlerer jährlicher Stickstoffentzug [kg/ha] durch die Knollen der 16 untersuchten Sorten im Untersuchungszeitraum 2009-2011	52
Tabelle 11: Jährliche relative Aufnahme des Stickstoffs zur ersten Zeiternte und das Erreichen der 50% Schwelle der Stickstoffaufnahme.	58
Tabelle 12: Jahres- und sortenspezifischer Zeitpunkt an dem der Nitratgehalt der	

Zeiternte nicht mehr von dem der Haupternte unterscheidbar ist (Tukey-Test) und Nitratgehalt der Haupternte (HE)	62
Tabelle 13: Überblick über die Regressionskoeffizienten der Stickstoffuntersuchungen zwischen 2009 und 2011 (* = Abweichen von der linearen Anpassung)	63

Abkürzungsverzeichnis

AUDPC	Area Under Disease Progress Curve
BBCH	Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen
BÖL	Bundesprogramm Ökologischer Landbau
C _t	Kohlenstoff, total
ENA	Ernte nach Abreifen
f	früh
HE	Haupternten
K	Kalium
Kn	Knollen
K ₂ SO ₄	Kaliumsulfat
mf	mittelfrüh
Mg	Magnesium
N	Stickstoff
NAE	Stickstoffaufnahmeeffizienz
NH ₄ -N	Amonium-Stickstoff
NHI	N-Harvest-Index
N _{min}	mineralisierter Stickstoff
NO ₃ -N	Nitrat-Stickstoff
N _t	Stickstoff, total
NUE	Stickstoffnutzungseffizienz
NVE	Stickstoffverwertungseffizienz
NVS	N-Versorgungsstatus
P	Phosphor
ppm	parts per million
RG	Reifegruppe

s	spät
SE	Standartfehler
sf	sehr früh
ST	Stängeltyp (Wuchstyp)
TS	Trockensubstanz
TM	Trockenmasse
TNL	Tage nach dem Legen
VLK	Verband der Landwirtschaftskammern
ZE	Zeiternte
ZT	Zwischentyp (Wuchstyp)

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Die Rahmenbedingungen des ökologischen Kartoffelanbaus unterscheiden sich erheblich von denen der konventionellen Kartoffelerzeugung. So muss auf viele im konventionellen Anbau wesentliche und dort routinemäßig verwendete Produktionsmittel ganz oder zumindest zum Teil verzichtet werden. Chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel sind gänzlich von der Anwendung ausgeschlossen und der Einsatz von Düngemitteln unterliegt erheblichen Restriktionen. So ist die Anwendung von mineralischen Stickstoffdüngern untersagt. Im Ökologischen Landbau stellt die Kartoffel oft die für das ökonomische Betriebsergebnis der Erzeugerbetriebe wichtigste Kultur dar, sodass dem erzielten Ertrag und der Qualität der Marktware eine immense Bedeutung zukommt.

Diejenigen Faktoren, die im ökologischen Kartoffelanbau hauptsächlich den Ertrag begrenzen, sind die limitierte Verfügbarkeit von Stickstoff (N) und das Auftreten der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) (Finckh et al., 2006; Möller et al., 2007). Hayer et al. (2007) belegten, dass die Ertragsvariation im ökologischen Kartoffelanbau sich zwar nur zu rund einem Drittel durch den Krautfäulebefall erklären lässt, jedoch zu über 85%, wenn zusätzlich noch die Stickstoffverfügbarkeit und –aufnahme berücksichtigt werden. Dies verdeutlicht, welch großes Potential für den ökologischen Kartoffelanbau in der Nutzung genetisch determinierter Eigenschaften, wie einer frühen Ertragsbildung und einer hohen N-Nutzungseffizienz bei gleichzeitig relativ ausgeprägter Krautfäuletoleranz, liegen könnte.

Ob eine Sorte ihren Ertrag eher über die Anzahl der angelegten und ausgebildeten Knollen oder über eine hohe Einzelknollenmasse erzielt, hat erheblichen Einfluss auf ihre Anbauwürdigkeit im Ökologischen Landbau. Gerade in Fruchtfolgepositionen mit sehr limitierter N-Nachlieferung zur Folgefrucht Kartoffel oder in Regionen mit häufig starkem Krautfäulebefall können Sorten mit einer genetisch bedingten hohen Anzahl an Knollen im Marktertrag gegenüber solchen Sorten unterlegen sein, deren wenige angelegte Knollen unter solchen Bedingungen zur Marktfähigkeit heranwachsen können.

Von Pallutt (2000) wurde die Bedeutung des sortenspezifischen Unkrautunterdrückungspotentials für den Ökologischen Landbau hervorgehoben. Das Vermögen einer Kartoffelstaude Unkraut zu unterdrücken, lässt sich vermutlich nicht an einem einzigen Parameter festmachen und damit unmittelbar in der Züchtung für den ökologischen Kartoffelanbau nutzen, sondern stellt ein komplexes, indirekt wirkendes Merkmal dar, das sich aus Biomasse und Wachstumsdauer der Stauden zusammensetzt.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Ziel des Begleitvorhabens der Universität Kassel war es - ergänzend zu den innerhalb des VLK-Verbundvorhabens (2809OE001) gewonnenen Erkenntnissen - auf einem der Versuchsstandorte des Verbunds (Hessische Staatsdomäne Frankenhäuser, Lehr- und Versuchsbetrieb der Universität Kassel), mittels eines erweiterten Untersuchungsprogramms, für den ökologischen Kartoffelanbau weiter oben angedeutete, relevante Sorteneigenschaften zu untersuchen, die bisher keine Berücksichtigung in der Beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes fanden. Dazu gehörten

die Ertragsbildung und Ertragskomponenten,

die Stickstoffeffizienz sowie Bestimmung des N-Versorgungsstatus und

das Unkrautunterdrückungspotential

der geprüften Sorten.

Die erarbeiteten Informationen sollten die Ableitung von Praxisempfehlungen erlauben, die leicht vermittelbar sind und zu denen bisher keine oder nicht ausreichende Erkenntnisse vorliegen. Damit stand das Vorhaben in einem unmittelbaren Bezug zu den förderpolitischen Zielen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau, da es anstrebte, für die Praxis des Ökologischen Landbaus systemimmanente Fragen zu beantworten. Die zu beantwortenden Fragestellungen leiteten sich unmittelbar aus der dem Ökologischen Landbau zugrunde liegenden Forderung nach nachhaltiger Landnutzung im Sinne einer effizienten Nutzung von Ressourcen ab. Das Projekt wurde als eigenständiges Projekt konzipiert, das jedoch in der Durchführung stark an das Vorhaben 2809OE001 angelehnt war.

1.3 Planung und Ablauf des Projekts

Vor Projektbeginn waren, koordiniert über den Arbeitskreis Ökologischer Landbau beim Verband der Landwirtschaftskammern (VLK), bundesweit Landessortenversuche auf ökologisch bewirtschafteten Flächen durchgeführt worden. Allein auf zehn Standorten wurden zu Beginn des Vorhabens Kartoffelsorten unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus geprüft. Mit dem hier vorgestellten Forschungsvorhaben 2809OE001 wurde auf das Projekt 2809OE001 (www.orgprints.org/23192) aufgebaut.

Die Festlegung des standardisierten Sortiments (orthogonaler Kern) erfolgte so weit wie möglich gemeinschaftlich im Rahmen eines jährlich im ersten Quartal stattfindenden Treffens aller Projektbeteiligten. Ergänzungen um weitere Sorten waren innerhalb einzelner

Anbaugelände möglich. Die Pflanzgutbestellung erfolgte zentral bei den Zuchtunternehmen. Vorkeimung, Auswahl des Pflanztermins sowie notwendige Pflegemaßnahmen und die Ernte lag in der Verantwortung des Versuchsbetreuers am Standort Hessische Staatsdomäne Frankenhausen.

Die Konzeption des Feldversuches basierte auf den Erfahrungen, die am Standort Frankenhausen in vorhergegangenen Jahren mit Zeiternten gemacht worden waren. Für eine gute Abbildung des zeitlichen Verlaufes der Ertragsbildung des zu prüfenden Sortiments wurden vier, im Abstand von zehn Tagen durchzuführende Zeiternten vorgesehen und in das Versuchsdesign integriert.

Der Zeitpunkt der ersten Zeiternte wurde mit 60 Tage nach dem Legen der Kartoffeln terminiert, weil dies als der früheste Zeitpunkt gesehen wurde, an dem auch bei ungünstiger Witterung während der Jugendentwicklung bereits ein relevanter Knollenertrag zu erwarten war. Zu dieser, in der zweiten Junihälfte liegenden Zeit ist in manchen Jahren bereits der Beginn der, den Ertrag limitierenden Krautfäule zu beobachten, sodass durch die Zeiternten ein zu erwartender sortenspezifisch unterschiedlicher Krautfäuleverlauf in seiner Ertragsrelevanz abgebildet werden sollte. Regelmäßige Bonituren der Krautfäule waren vorgesehen, um den zeitlichen Verlauf und die Intensität dieser Krankheit abbilden zu können. Der Zeitpunkt der letzten Zeiternte, 90 Tage nach dem Legen, korrespondierte mit dem vermuteten Ende der Ertragsbildung derjenigen Sorten, die dem sehr frühen bis mittelfrühen Sortiment angehörten.

Der für den wirtschaftlichen Erfolg maßgebliche sogenannte marktfähige Ertrag (absolut und relativ als Anteil am Gesamtertrag) sollte zu jeder der vier Zeiternten durch Größensortierung der Knollen erhoben werden, um die bei einigen Sorten vorhandene Neigung zu hohen Anteilen nicht marktfähiger Knollengrößen (Unter- bzw. Übergrößen) quantifizieren zu können. Ob und wie stark diese Eigenschaft von Merkmalen wie der durchschnittlichen Einzelknollenmasse der Knollen oder deren Dichte (Knollen/Fläche) abhängt, sollte ebenfalls erfasst werden. Grundlage dafür sollte die Erhebung dieser beiden Merkmale zu allen vier Zeiternten sein.

Zu welchem Zeitpunkt die Sorten ihre maximale Menge an Trockenmasse im oberirdischen Aufwuchs (Kraut) akkumulieren und ob sich die Umlagerung der Trockenmasse vom Kraut in die Knollen sortenabhängig unterscheiden lässt, wurde durch die ebenfalls regelmäßige Quantifizierung von Kraut- und Knollenmasse bestimmt.

Ergänzend zur Erhebung des Ausgangswertes der Stickstoffversorgung im Boden des jeweiligen Versuchsschlages unter den vier Referenzsorten (eine von jeder der vier Reifegruppen) sollten weitere Probenahmetermine bis zur letzten Zeiternte erfolgen. Wie viel

Stickstoff von den Sorten aufgenommen wird und ob sich Sorten in dieser Eigenschaft unterscheiden, war durch Analyse des Stickstoffgehaltes an repräsentativen Proben des oberirdischen Aufwuchses zu quantifizieren. Um den Verlauf des Stickstofftransfers vom Kraut in die Knollen zu erfassen, wurde auch der Stickstoffgehalt in den Knollen bestimmt.

Um schließlich Aussagen über mögliche sortenbedingte Unterschiede in der Nutzung des zur Verfügung stehenden Stickstoffs machen zu können, sollten Parameter wie N-Aufnahmeeffizienz und –Nutzungseffizienz definiert und aus den zu erhebenden Daten berechnet werden.

Die in der konventionellen Düngungspraxis angewendete Bestimmung des Stickstoffversorgungsstatus sollte einen zweiten Schwerpunkt bei der Frage nach der Bedeutung der Sorte für den Umgang mit dem meist limitiert vorhanden Nährstoff Stickstoff sein. Neben der Frage, ob – bei gleicher Stickstoffausgangsversorgung – Unterschiede im N-Versorgungsstatus nachzuweisen wären, waren mehrere einfache, teils nicht destruktive Messmethoden mit Standardlabormethoden zu vergleichen, und in ihrer Aussagekraft, Verlässlichkeit und Praxistauglichkeit zu bewerten.

Im Feldversuch sollte das Spektrum der Parameter, die phänotypisch repräsentativ für den Komplex „Wuchsverhalten“ stehen, erweitert werden. Die Bestimmung des Bodendeckungsgrades über nicht-destruktive Naherkundung und Bildbearbeitung sollte nützliche Information über die Entwicklung des Krautwachstumsverlaufes geben. Mittels regelmäßiger Messung sollte mit dieser nicht-destruktiv arbeitenden Methode der sortenspezifische Wachstumsverlauf unter definierten Bedingungen wiedergegeben werden. Der zeitliche Verlauf und die Intensität des Bodendeckungsgrades sollte über die zu berechnende Fläche unter der Bodendeckungskurve abgebildet werden. Die Auswertung sollte zudem Aufschluss darüber geben, ob ein Zusammenhang zwischen oberirdischer Biomasse (Krautrockenmasse), Blattflächenindex bzw. Bodendeckungsgrad und dem Unkrautdeckungsgrad existiert, welcher Parameter die engste Beziehung aufweist und ob es Wechselwirkungen mit der Sorte / der Reifegruppe gibt.

Alle vorgesehenen Bonituren, Messungen, Probenahmen und Analysen konnten planmäßig durchgeführt werden. Lediglich zur vierten Zeiternte konnten in einigen Fällen einzelne Probenahmen und Messungen an Pflanzenbestandteilen (Blatt, Kraut, etc.) wegen bereits einsetzender Seneszenz der Pflanzen nicht wie vorgesehen absolviert werden.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand des Wissens

Der Knollenansatzzeitpunkt bei Kartoffeln variiert vermutlich selbst innerhalb einer Reifegruppe sortenabhängig. Je früher eine Sorte Knollen ansetzt und damit in die Phase des Knollendickenwachstums übergeht, desto eher ist die Ertragsbildung, d.h. die Ausnutzung des verfügbaren Stickstoffes so weit fortgeschritten, dass der Befall mit Krautfäule meist nicht mehr ertragsrelevant ist (Finckh et al., 2006; Möller und Reents, 2007). Der frühe Knollenansatz korreliert jedoch mehr oder minder stark negativ mit der genetisch festgelegten Toleranz einer Sorte gegenüber der Krautfäule (Darsow, 2002). Die Knollenbildungsdauer und damit der zu erzielende Endertrag sind somit auch von der jeweiligen Krautfäuleanfälligkeit einer Sorte abhängig (Möller et al., 2007). Daher gilt, dass Sorten vergleichbarer Anfälligkeit dann eine relative Vorzüglichkeit für die Bedingungen des Ökologischen Landbaus aufweisen, wenn sie effizienter den verfügbaren Stickstoff in Ertrag umsetzen. Hier weist die Literatur bezüglich Informationen zu einem breiteren Sortenspektrum bisher noch erhebliche Lücken auf.

Die Eigenschaft einer Sorte, aus der gebildeten und vom Kraut in die Knolle transferierten Menge Stickstoff möglichst hohe absolute Mengen und/oder hohe Anteile marktfähiger Knollen am Gesamtertrag zu generieren, ist im ökologischen Kartoffelbau von besonderer Bedeutung. Dies gilt, da die Menge des zur Verfügung stehenden Stickstoffs nicht gezielt eingesetzt werden kann, um den Anteil an Untergrößen zu reduzieren, oder größere, nicht vermarktbar Mengen an Übergrößen zu vermeiden.

Die Verfügbarkeit von Stickstoff im Ökologischen Landbau ist bei Anwendung von Wirtschaftsdüngern schwer mit den zeitlichen und mengenmäßigen Ansprüchen der Kartoffel zu synchronisieren (Pang und Letey, 2000; Haase et al., 2007a). Oftmals steht bei einer Leguminosenvorfrucht, wie z.B. mehrjährigen Klee grasbeständen, der Stickstoff zum Zeitpunkt des höchsten Bedarfs nur zum Teil zur Verfügung und wird erst zu einem Zeitpunkt mineralisiert, da er von der Kartoffelpflanze nicht mehr aufgenommen/verwertet werden kann, was zudem das Risiko einer Nitrat-Auswaschung nach Ernte der Knollen erhöht (Heß, 1995; Zihlmann et al., 2000). Daraus leitet sich die Forderung nach einer effizienteren N-Nutzung des genetischen Potentials der Kartoffel ab, welche es ermöglicht, den limitiert zur Verfügung stehenden Stickstoff aufzunehmen, rechtzeitig (d.h. vor Auftreten der Krautfäule) in Ertrag umzusetzen und damit auch vor Auswaschung zu schützen. In einem Workshop im Rahmen des BÖL Projekts 06OE125 in Göttingen (2007) wurde betont, dass nach wie vor kaum Informationen zur sortenspezifischen Stickstoff-Nutzungseffizienz vorliegen.

Das Auflaufen der Kartoffeln (BBCH Stadium 09) wird als der Zeitpunkt gesehen, zu dem die

beste Annäherung an die Höhe des N-Versorgungsniveaus eines Standortes möglich ist und ist daher gängige Praxis zur Ableitung des Düngedarfs im konventionellen Landbau. Bis zu diesem Zeitpunkt wird, aufgrund der in unseren Breiten vorherrschenden Witterungsbedingungen, gewöhnlich nur wenig Stickstoff mineralisiert, bzw. noch kein Stickstoff von der Kartoffelpflanze aufgenommen. Die Korrelation zwischen dem Gehalt des Bodens an mineralisiertem Stickstoff zum Auflaufen und dem Knollenertrag ist zudem gering. Bei der Probenahme zu einem späteren Zeitpunkt würde das Ergebnis der Messung jedoch durch eine sortenspezifisch unterschiedliche N-Aufnahme verfälscht (Haase et al., 2007b). Außerdem ist die nach dem Auflaufen der Kartoffel tatsächlich zur Verfügung stehende N-Menge stark von den Witterungs- und Standortbedingungen abhängig (Jarvis et al., 2006). Finckh et al. (2006) belegten, dass sich die Ertragsvariation im ökologischen Kartoffelanbau zu über 85% erklären lässt, wenn neben dem Krautfäulebefall und der Stickstoffverfügbarkeit auch die Stickstoffaufnahme berücksichtigt wird (Hayer et al., 2007).

Durch die Bestimmung des Trockenmasseertrages und des N-Gehaltes von Kraut und Knollenmasse zu definierten Terminen (Zeiternten), kann die sortenabhängige N-Aufnahme über Kraut und Knollen erfasst werden. Eine zeitlich dicht gestaffelte Erhebung erlaubt die Ableitung der sortenspezifischen maximalen N-Aufnahme. Ergebnisse anderer Untersuchungen mit unterschiedlicher N-Versorgung (Vorfrucht; Düngung), können als Referenz für die Bedingungen des ökologischen Kartoffelanbaus dienen (Neuhoff und Köpke, 2002; Finckh et al., 2006; Möller et al., 2007).

Die Erhebung ausgewählter Parameter, die repräsentativ für den tatsächlichen Status der N-Versorgung der Kartoffelstaude während der Vegetation stehen, ist notwendig, um weitere Erkenntnisse zu den sortenspezifischen Unterschieden im N-Aneignungsvermögen zu gewinnen. Der N-Harvest-Index (NHI) der Sorten wird aus dem Quotienten des N-Entzuges über die Knollen (zum Zeitpunkt des maximalen Knollen-N-Ertrages) und dem insgesamt von der Pflanze (Kraut und Knollen) aufgenommenen Stickstoff, gemessen zum Zeitpunkt der maximalen oberirdischen Biomasse des Krautes, errechnet. Der NHI könnte ein Maß dafür sein, wie viel des limitierten verfügbaren Stickstoffes auf dem Feld verbleibt. Inwieweit der NHI der Sorten mit der Menge an Nitrat-Stickstoff im Boden zur Endernte im Herbst (bei vier Referenzsorten) und einem eventuell erhöhten Risiko der Nitrat-Auswaschung korreliert, sollte mit dem bisherigen Versuchsansatz überprüft werden. Auf die Höhe des Rest-N_{min} könnte auch die spezifische N-Nutzungseffizienz der Sorte einen Einfluss haben (Huggins und Pan 1993; Haase et al., 2007b).

Nicht nur aufgrund der Schwierigkeit, die Höhe des pflanzenverfügbaren Stickstoffes im Boden vorherzusagen, erscheint es also angebracht, ergänzend das tatsächliche N-Versorgungsniveau an der Kartoffelpflanze selbst zu bestimmen.

Der N-Versorgungsstatus der Pflanzen wurde bislang entweder über die gesamte N-Aufnahme des Bestandes (kg N pro ha Fläche) oder die N-Konzentration in der Pflanze (in % der TS) abgeleitet. Diese Methoden haben, wie oben beschrieben, eine gute Aussagefähigkeit. Aufgrund der geringeren Stickstoffversorgung ist im Ökologischen Landbau mit einem geringeren Stickstoffgehalt (in % der TS) der Knollen und Wechselwirkungen mit der Sorte zu rechnen (Haase et al., 2007b). Eigene Untersuchungen (Haase und Kölsch, unveröffentlicht) deuten auf sortenabhängige Unterschiede beim Qualitätsmerkmal Nitratgehalt der Knollen hin. Der Versuchsansatz erlaubt diesem Phänomen und den potentiellen Wechselwirkungen der Sorte mit dem Termin der Ernte (frühe Sorten!) nachzugehen.

Goffart et al. (2008) bewerteten in einem umfassenden Übersichtsartikel verschiedene Methoden zur Bestimmung des N-Versorgungsstatus von Kartoffeln. Grundsätzlich lassen sich die Methoden danach unterscheiden, ob sie (a) destruktiv oder nicht destruktiv vorgehen und (b) auf welchem Niveau der Pflanze sie ansetzen: Knolle, Kraut, Stängel oder Blatt. Weiter ist es entscheidend, ob Nitrat- oder Gesamtstickstoff gemessen wird. Bei der Messung von Nitrat im Pflanzensaft hat die Tageszeit einen erheblichen Einfluss darauf, wie viel des vorhandenen Stickstoffes als Nitrat in welcher Konzentration in den Pflanzenteilen zu finden ist (Mackerron et al., 1995).

Die Bestimmung des Bodendeckungsgrades über nicht-destruktive Naherkundung und Bildbearbeitung sollte nützliche Information über die Entwicklung des Krautwachstumsverlaufes geben (Firman und Allen, 1989). Bei regelmäßiger Messung kann mit dieser nicht-destruktiv arbeitenden Methode der sortenspezifische Wachstumsverlauf unter definierten Bedingungen wiedergegeben werden. Der Verlauf des Bodendeckungsgrades, so die Hypothese, variiert auch innerhalb einer Reifegruppe zwischen den Sorten. Der Bodendeckungsgrad hat vermutlich erheblichen Einfluss auf den Parameter „Spätverunkrautung“, wobei hier der zeitliche Verlauf der Bodendeckung von Relevanz sein könnte. Die Auswertung soll Aufschluss darüber geben, ob ein Zusammenhang zwischen oberirdischer Biomasse (Krautrockenmasse), Blattflächenindex bzw. Bodendeckungsgrad und dem Unkrautdeckungsgrad existiert, welcher Parameter die engste Beziehung aufweist und ob es Wechselwirkungen mit der Sorte / der Reifegruppe gibt.

Schittenhelm et al. (2006) fanden sortenbedingte Unterschiede bei der Blatt- und Stängeltrockenmasse, dem Blatt-/Stängelmasse-Verhältnis, der Blattanzahl und der Blattfläche innerhalb einer Reifegruppe. In Untersuchungen mit unterschiedlicher Wasserversorgung stellten sie fest, dass die Sorte, die eher dem Stängeltyp zuzuordnen ist, bei Wasserstress relativ höhere Erträge ausbildete als der Blatttyp. Die Autoren folgerten daher, dass die Fähigkeit des Stängeltyps, eine hohe Biomasse auszubilden dafür

verantwortlich sein könnte. Bei zukünftig zu erwartenden trockeneren Bedingungen (Haverkort und Verhagen, 2008) während der Hauptwachstumsphase von Kartoffeln könnte diese Eigenschaft die Anbauwürdigkeit solcher Wuchstypen fördern.

Die Beschreibende Sortenliste des Bundessortenamtes charakterisiert 11 der geprüften Sorten hinsichtlich des Merkmales Wuchsform. Davon werden drei dem Wuchstyp „Stängeltyp“ zugeordnet, acht dem „Zwischentyp“, d.h. diese Sorten zeichnen sich weder durch einen sehr hohen Anteil an Blättern, noch an Stängeln aus. Die in der EU zugelassenen Sorten sollen gemäß dem Schema des Bundessortenamtes kategorisiert werden. Vermutlich haben die Menge und die Gesunderhaltung des gebildeten Krautes erheblichen Einfluss auf eventuelle Sortenunterschiede im gemessenen Unkrautdeckungsgrad als die Wuchsform. Ein weiterer, bislang nicht erfasster Parameter, der solche Unterschiede erklären könnte, ist der Bodendeckungsgrad, der ausdrückt, wie hoch der Anteil der Bodenoberfläche ist, der durch das Kartoffellaub abgedeckt wird.

1.5 Daraus abgeleitete Fragestellungen:

1.5.1 Ertragsbildung und Ertragskomponenten

- (1) Gibt es Sortenunterschiede bezüglich des absoluten [dt/ha] sowie relativen marktfähigen Knollenertrages [% des Gesamt-Knollenertrages]?
- (2) Wie verläuft die sortenspezifische Ertragsbildung?
- (3) Zu welchem Zeitpunkt erreichen die Sorten ihr umweltabhängiges Ertragspotenzial, d.h. wie früh werden die zur Verfügung stehenden Assimilate in maximalen Knollenertrag umgesetzt?
- (4) Unterscheiden sich die Sorten hinsichtlich der Ausprägung der Ertragskomponenten (Stängel- und Knollendichte; Einzelknollenmasse)

1.5.2 Stickstoffaufnahme, -nutzungseffizienz und –versorgungsstatus

- (1) Zu welchem Zeitpunkt wird der im Kraut assimilierte Stickstoff von den Sorten in die Knollen verlagert?
- (2) Gibt es Unterschiede der Sorten hinsichtlich der N-Aufnahme sowie der N-Verwertung bzw. Nutzungseffizienz?
- (3) Mit welcher Methode lässt sich der N-Versorgungsstatus (NVS) am einfachsten bestimmen?
- (4) Steht der NVS in einem Zusammenhang mit der N-Aufnahme oder der N-Nutzungseffizienz?
- (5) Unterscheiden sich - bei vorgegebener N-Versorgung - die geprüften Sorten hinsichtlich des NVS?
- (6) Haben die geprüften Sorten unterschiedliches Potential, das Risiko eines hohen Boden-Nitrat-N-Gehaltes zur Ernte zu verringern und worauf ist dieses zurückzuführen?

1.5.3 Unkrautunterdrückungspotenzial und Krautfäuleverlauf

- (1) Welchem Wachstumsverlauf folgen die Sorten und welchen Einfluss hat dies auf das Unkrautunterdrückungsvermögen dieser Sorten?
- (2) Sind eventuelle Unterschiede im Unkrautunterdrückungsvermögen einer Sorte

eher auf den Wuchstyp, das Krautwachstum, den Blattflächenindex oder den Deckungsgrad zurückzuführen?

- (3) Gibt es Übereinstimmung zwischen der Einschätzung des Bundessortenamts hinsichtlich der Krautfäuleanfälligkeit einer Sorte und dem tatsächlich festgestellten Krautfäuleverlauf?
- (4) Gibt es Wechselwirkungen zwischen dem tatsächlich festgestellten Krautfäuleverlauf und den Parametern, die das Unkrautunterdrückungspotenzial repräsentieren?

2 Material und Methoden

Gegenstand des Vorhabens war ein über drei Anbaujahre (2009-2011) wiederholter Feldversuch mit 16 Kartoffelsorten der vier Reifegruppen auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen, dem Lehr- und Versuchsgut des Fachbereiches Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel. Bei dem Versuchsstandort handelte es sich um sehr fruchtbare Ackerböden mit durchschnittlich ca. 75 Bodenpunkten (Parabraunerde aus Löss). Die Flächen der Domäne werden seit dem Wirtschaftsjahr 1998/99 ökologisch bewirtschaftet. Eine den ökologischen Anbauprinzipien unterworfenen Fruchtfolge mit sechs Fruchtfolgegliedern wurde etabliert und wird seit dem 2001 auf den Flächen praktiziert.

2.1 Standorteigenschaften

Zur Bestimmung der schlagspezifischen Standorteigenschaften wurden in den jeweiligen Anbaujahren auf den Versuchsschlägen Bodenproben entnommen, die auf die Grundnährstoffversorgung und den pH-Wert untersucht wurden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Bodenanalysen belegten einen für die vorherrschende Bodenart (mittlerer toniger Schluff, Ut3) nahezu optimalen pH-Wert, die P- und K-Versorgung hingegen war, aufgrund des langjährigen Verzichtes auf Anwendung von Wirtschaftsdüngern, in einem suboptimalen Bereich (untere Gehaltsklasse B). Die Magnesiumversorgung der Versuchsflächen befand sich, bis auf das Jahr 2011 (Gehaltsklasse B), im optimalen Bereich der Gehaltsklasse C.

Tabelle 1: Standort- und Bodeneigenschaften der Feldversuchsflächen auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen (2009-2011)

	2009	2010	2011
N _t (% i. d. TS)	0,08	nicht erhoben	0,11
C _t (% i. d. TS)	0,75	nicht erhoben	1,13
pH (H ₂ O)	6,5	6,4	6,3
P (CAL) [mg/kg]	52	73	66
K (CAL) [mg/kg]	63	52	71
Mg (CaCl ₂) [mg/kg]	84	83	44

2.2 Witterung

Bezüglich des Klimaraumes ist der Versuchsstandort in das gemäßigte Übergangsklima einzuordnen. Charakteristisch für diesen Klimaraum sind über das Jahr gleichmäßig verteilte Niederschläge und Monatsmittel der Temperatur von über 0°C, welche sich auch im 30-jährigen Mittel der Klimabeobachtungen widerspiegeln. Hierzu gibt Tabelle 2 einen Überblick. Dargestellt ist das 30-jährige Mittel der Periode 196-1990 für den Standort Kassel. Für die Anbaujahre 2009-2011 sind jeweils die Abweichungen der Monatswerte für die Temperatur und den Niederschlag von der oben genannten Bezugsperiode dargestellt.

Tabelle 2: Langjährige Wetterdaten (1961-1990): Tagesdurchschnittstemperatur [°C] und monatliche Niederschlagssumme [mm] sowie die Abweichung von diesen Mittelwerten in den Jahren 2009 bis 2011 auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen

	Langjähriges Mittel		Abweichung vom langjährigen Mittel					
	Tages-	Nieder-	[°C]	[mm]	[°C]	[mm]	[°C]	[mm]
Januar	0,2	54,9	-2,8	-37,4	-3,6	-47,9	1,5	-12,0
Februar	1,2	43,3	0,4	-4,5	-1,2	-18,2	0,2	-23,8
März	4,4	50,8	0,1	9,3	0,2	-15,8	0,7	-43,2
April	8,3	50,3	3,6	-16,2	0,8	-28,3	3,5	-27,7
Mai	12,9	67,0	0,6	-13,2	-2,6	-10,0	0,8	-46,9
Juni	16,0	78,9	-1,4	-37,1	-0,1	-38,7	0,5	-26,1
Juli	17,5	64,3	0,5	-4,6	2,9	-41,6	-1,2	-46,3
August	17,2	62,6	1,1	-31,1	-0,6	34,6	1,2	-1,6
September	13,9	53,9	0,4	-10,9	-1,4	-0,3	1,5	-14,9
Oktober	9,6	46,2	-1,4	-12,5	-1,2	-27,3	0,1	-5,2
November	4,5	58,8	3,5	4,2	0,7	-6,0	0,1	-50,8
Dezember	1,4	67,4	-1,0	-15,4	-5,3	-41,1	2,6	-1,4
Jahresmittel	8,9	698						

In den drei Jahren waren deutlich negative Niederschlagssalden in den Monaten April, Mai, Juni und Juli zu beobachten. Hier wurden die langjährigen Mittel in jedem benannten Monat der Periode der Feldversuche unterschritten. Zusätzlich waren in den Jahren 2010 und 2011 bereits die Monate Januar bis März ausgesprochen trocken.

Was die mittlere Tagestemperatur in den einzelnen Monaten der Versuchsjahre angeht, war der April in den Jahren 2009 und 2011 überdurchschnittlich warm, 2010 der Juli und wiederum in den Jahren 2009 und 2011 der August. Hier waren jedoch im Vergleich zu den beobachteten Niederschlagsphänomenen keine eindeutig gerichteten Abweichungen zu beobachten.

2.3 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung

Bei der Anlage des Feldversuches sollten neben den verschiedenen Sorten auch die unterschiedlichen Erntetermine (synonym: Probenahmen oder Zeiternten) berücksichtigt werden. Entsprechend wurde der Feldversuch als zweifaktorielle Spaltanlage mit den Faktoren (S) Sorte als Großteilstück und (Z) Zeitpunkt der Probenahme (Zeiternte) als Kleinteilstück angelegt. Abweichend davon wurden im ersten Versuchsjahr (2009) die Parzellen für die vier Zeiternten und die Parzellen für die Ernte nach Abreife als separate Feldversuche angelegt und können daher nicht miteinander statistisch verrechnet werden.

Zur Versuchsdurchführung wurde das Pflanzgut der untersuchten Sorten (vom jeweiligen Züchter zur Verfügung gestellt) in allen drei Versuchsjahren vier bis sechs Wochen vorgekeimt. Das Verfahren ist bei Haase et al. (2007b) beschrieben. Dieses dementsprechend vorgekeimte Material wurde in allen drei Versuchsjahren unter den möglichst günstigsten Boden- und Witterungsverhältnissen gepflanzt. Die Bodenbearbeitung und die damit verbundene Saatbeetbereitung fanden jeweils nur wenige Tage vor dem Legetermin statt. Das Legeverfahren fand jeweils praxisüblich in einem Raster von 0,75m auf ca. 0,345m statt. Dies entspricht einer Pflanzknollendichte von ca. 38.600 Legestellen je Hektar.

Die durchgeführten Pflegemaßnahmen wurden in deren Anwendung an das jeweilige Unkrautaufkommen angepasst und daher jahresabhängig in der Anwendungshäufigkeit variiert. Zum Einsatz kamen hierbei ein Dammstriegel und eine Sternradhacke, mit der gleichzeitig das Anhäufeln der Kartoffeldämme durchgeführt werden konnte. Die Termine der Bearbeitungsmaßnahmen wurden an die jährlich differenzierenden Pflanztermine der Versuche angepasst. Tabelle 3 liefert hierzu die entsprechenden Eckdaten zur Versuchsdurchführung der Jahre 2009-2011. Die Regulierung von Kartoffelkäferlarven

erfolgte mit Neem-Präparaten, die gemäß den Angaben des Herstellers angewendet wurden. Auf Pflanzenschutzmaßnahmen mit Kupferpräparaten zur Kontrolle der Krautfäule wurde in den drei Versuchsjahren verzichtet

Die Probenahme innerhalb der Versuche wurde zu vier Zeiternteterminen und der abschließenden Haupternte durchgeführt. Dabei wurde zu den Zeiternten sowohl der Knollenertrag ermittelt, als auch der oberirdische Auswuchs beprobt und beerntet. Die Beprobung dieser Zeiternten sollte geplant 60, 70, 80 und 90 Tage nach dem Legen durchgeführt werden. Hiervon wurde, wie dies in Tabelle 3 ersichtlich wird, zum Teil abgewichen. Die Ernte des Endertrages erfolgte grundsätzlich nach Absterben der letzten Sorte im Feldversuch. Auf eine vorzeitige Krautabtötung, wie es häufig in der Praxis notwendigerweise durchgeführt wird, wurde aufgrund der Ermittlung des letztendlich sortenspezifischen Ertragspotenzials verzichtet. Flankierend wurden, während der gesamten spezifischen Vegetationsperiode der Kartoffel, regelmäßige Bodenproben an ausgewählten Sorten der vier Reifegruppen (sehr früh, früh, mittelfrüh und mittelspät bis spät) entnommen und auf ihren N_{\min} -Gehalt untersucht.

Tabelle 3: Details zur Versuchsanlage und -durchführung in den Feldversuchen auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen (2009-2011)

	2009	2010	2011
Versuchsanlage:			
Großteilstückfaktor:	(16)		
Sorte (n)			
Kleinteilstückfaktor:	ca. 60, 70, 80, 90	ca. 60, 70, 80, 90 nach dem Legen	
Zeitpunkt der Probenahmen (n)	Tage nach dem Legen (4)	und nach Abreife (5)	
Größen [m*m] der Parzellen für vorgezogene Probenahmen	(0,75*5,18), 15 Stauden/Reihe; 1-reihig	(0,75*5,52) 16 Stauden/Reihe (1-reihig)	
Größen [m*m] der Parzellen für Ernte nach Abreife	(3,00*5,18); 15 Stauden/Reihe; 4-reihig	(3,75*5,18); 16 Stauden/Reihe; 5-reihig	

	2009	2010	2011
Versuchsdurchführung:			
Vor-Vorfrucht	1-jähriges Kleegras	<i>Sinapis alba</i> als Gründüngung	Winterweizen
Vorfrucht	1-jähriges Kleegras	1-jähriges Kleegras	1-jähriges Kleegras
Pflugeinsatz	15. Oktober 2008	31. Juli 2009	12. August 2010
Ansaat der Zwischenfrucht	keine	Raphanus sativus; Helianthus annuus	R. sativus; Sinapis alba; Phacelia tanacetifolia
Pflügen der Zwischenfrucht	-	08. April 2010	28. März 2011
Saatbettbereitung	22. April	16. April	11. April
Legen der Kartoffeln	25. April	23. April	15. April
Abstriegeln	04. Mai	05. Mai	19. April
Erstes Häufeln	20. Mai	28. Mai	06. Mai
Zweites Häufeln	27. Mai	04. Juni	-
Neem gegen Kartoffelkäfer	03. Juli	02. Juli	27. Mai
Erste Probenahme (TNL60)	26. Juni (60)	25. Juni (63)	14. Juni (60)
Zweite Probenahme (TNL70)	07. Juli (71)	04. Juli (72)	24. Juni (70)
Dritte Probenahme (TNL80)	19. Juli (83)	16. Juli (84)	02. Juli (78)
Vierte Probenahme (TNL90)	30. Juli (94)	31. Juli (96)	12. Juli (88)
Ernte nach Abreife (ENA)	8. /9. September	23./24. September	26.-28. September

TNL = Tage nach dem Legen

2.4 Untersuchtes Sortenspektrum

Die untersuchten Sorten wurden in Absprache mit den Partnern des Forschungsvorhabens 2809OE001 ausgewählt. Das Sortiment sollte vorwiegend aus in der Praxis des Ökologischen Landbaus relevanten Sorten bestehen und aus allen vier Reifegruppen mit Gewichtung auf den frühen und mittelfrühen Sorten stammen. Eine detaillierte Übersicht der wesentlichen agronomischen Eigenschaften gibt die Tabelle 4, die das am Standort Hessische Staatsdomäne Frankenhausen geprüfte Kernsortiment vorstellt.

Tabelle 4: Wichtige Eigenschaften des auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen (2009-2011) geprüften Sortiments

	Züchter/ Vertrieb	Reife- gruppe	Reife- zeit	Anfälligkeit Krautfäule	Knollen- ertrag	Knollen- form	Marktware- ertrag	Über- größen	Unter- größen	Knollen- zahl	Stärke- gehalt	Wuchs- typ
Anuschka	Böhm	sehr früh				oval						
Salome	Norika	sehr früh	2	6	6	oval	6	4	5	6	4	ZT
Agila	Norika	früh	3	5	7	langoval	8	7	2	6	3	ZT
Belana	Europlant	früh	3	4	6	oval	6	4	5	7	4	ZT
Biogold	KWS	früh				oval						
Elfe	Europlant	früh				oval						
Franciska	Saka	früh	3	6	7	oval	7	5	4	5	3	ST
Mirage	Saka	früh	3	5	6	langoval	6	3	4	6	3	ZT
Primadonna	Saka	früh	3	6	6	oval	6	5	4	6	3	ZT
Princess	Saka	früh				oval						
Vitabella	KWS	früh				oval-l.o.						
Adelina	Europlant	mittelfrüh	4	4	6	oval	6	5	3	6	3	ST
Allians	Europlant	mittelfrüh				langoval						
Ditta	Europlant	mittelfrüh	5	5	7	langoval	7	5	3	5	4	ST
Miranda	Saka	mittelfrüh				oval						
Jelly	Europlant	mittelsp.-sp.	6	4	8	oval	9	8	3	5	4	ZT

2.5 Probenahme und Untersuchungsmethodik

2.5.1 Bodenproben

Begleitend zur Anbauperiode der Jahre 2009-2011 erfolgte die Entnahme von Bodenproben im jeweiligen Anbauversuch. In jedem Jahr wurde Proben zwischen dem Legen und der Ernte der Hauptparzellen zu mindestens sieben Terminen entnommen, welche die jeweilige Stickstoffdynamik abbilden sollten. Die Bestimmung des mineralisierten und damit pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden erfolgte dabei mit grundsätzlich vier Einstichen pro (Haupternte-)Parzelle in je zwei Bodentiefen (0-30cm und 30-60cm) unter den vorher bestimmten Referenzsorten der vier Reifegruppen sehr früh, früh, mittelfrüh und spät (sf: Salome; f: Agila; mf: Ditta; s: Jelly). Im Labor analytisch erfasst wurde nur der Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$), da an diesem Standort Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) erfahrungsgemäß lediglich in vernachlässigbaren Mengen nachgewiesen werden kann.

2.5.2 Untersuchungen am oberirdischen Aufwuchs

Die Beprobung am oberirdischen Aufwuchs des Kartoffelkrautes erfolgte sowohl mit destruktiven, als auch mit nicht destruktiven Methoden an den Parzellen der Zeiternten.

Die Probenahme von Kraut- und Knollen und weitere durchgeführte Messungen zu den vier Zeiternten nahmen meist mehrere Tage in Anspruch, sodass aus logistischen aber auch Witterungsgründen die jeweilige Zeiternte nicht in allen Fällen exakt zu dem dafür vorgesehenen Termin durchgeführt werden konnte (Tabelle 3).

Über die gesamte spezifische Vegetationsperiode wurde die phänologische Entwicklung (BBCH-Stadien) des oberirdischen Aufwuchses bonitiert. Diese Bonitur erfolgte anhand des von Hack et al. (1993) vorgeschlagenen Boniturschlüssels. Die Häufigkeit der Termine für diese Bonitur richtete sich nach der Geschwindigkeit der phänologischen Entwicklung des Krautes im jeweiligen Versuchsjahr und nach den Terminen, an denen die vorgesehenen Zeiternten tatsächlich durchgeführt wurden.

Als ebenfalls visuelle Bonitur, wurde die Feststellung der Krautfäuleentwicklung, soweit diese auftrat, vorgenommen. Die Bonituren wurden entsprechend des Boniturschemas von James (1971) im Bestand der Haupternteparzellen vorgenommen. Die Häufigkeit der Bonituren wurde durch die Geschwindigkeit des Krautfäuleverlaufes vorgegeben, jedoch bei Auftreten in einem Rhythmus von 2 bis 4 Tagen durchgeführt.

Der Blattflächenindex wurde mit dem Messgerät LI-COR Model LAI-2000 (LI-COR® Biosciences, Lincoln, USA) bestimmt. Die Messungen erfolgten jeweils zu den Zeiternten in

den für diese vorgesehenen Parzellen. In jeder Parzelle wurden sechs Messwiederholungen an der Staudenbasis von sechs verschiedenen Stauden durchgeführt (Gordon et al., 1994, Ziems et al., 2006).

Als nicht destruktive Methode zur Bewertung des N-Versorgungsstatus wurde der Hydro-N-Tester eingesetzt. Hierbei wurde der Chlorophyllgehalt am jüngsten voll entwickelten Blatt anhand von 30 Messungen pro Parzelle zu jeder Zeiternte mit relevantem Krautaufwuchs (Boji et al., 2000; Gianquinto et al., 2004) bestimmt. Das gleiche Blattmaterial wurde als Unterprobe verwendet, um daran den Nt-Gehalt (Gesamtstickstoff in der Trockensubstanz) analytisch im Labor (Elementaranalyse) zu erheben. Zusätzlich wurde an der gleichen Probe im Jahr 2011 der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt photometrisch bestimmt, um die Ergebnisse mit denen der Hydro-N-Messungen und den Nt-Gehalten aus der Elementaranalyse zu vergleichen.

Der Bodendeckungsgrad der untersuchten Genotypen wurde durch die Auswertung von Digital-Fotografien, mit einer Fläche von $0,825\text{m}^2$ (eine Aufnahme entspricht etwa der Fläche von drei Stauden je Parzelle) bestimmt. Diese Methode wurde zu jeder Zeiternte angewendet, wobei jeweils drei Fotografien einer Zeiternteparzelle erstellt und ausgewertet wurden. Die Auswertung erfolgte mit einer Bildbearbeitungssoftware entwickelt von Dr. Florian Pforte am Fachgebiet Agrartechnik des Fachbereichs Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel (Pforte et al., 2012). Die erzielten Ergebnisse der drei Aufnahmen jeder Parzelle ergeben den prozentualen Bodendeckungsgrad zum jeweiligen Zeiterntetermin.

Im Vorfeld des Ernteprozesses wurden für jede Einzelparzelle sowohl die Staudenzahl, als auch die Stängelzahl ermittelt. Verrechnet mit der tatsächlichen Parzellengröße ergaben sich die Ertragsstrukturparameter Bestandesdichte und Stängeldichte. Die anschließende Bestimmung des Grünmasseertrages erfolgte durch Beerntung des oberirdischen Aufwuchses zu den vorgesehenen Zeiternten in den dafür angelegten Untersuchungsparzellen. Der Krautertrag wiederum wurde durch die Verrechnung mit der tatsächlichen Parzellengröße bestimmt. Zusätzlich wurde in den drei Untersuchungsjahren das sortenspezifische Blatt-Stängel-Verhältnis bestimmt. Diese Untersuchung wurde jeweils zu den ersten drei Zeiternten an einer Unterprobe von drei separat geernteten Stauden jeder Parzelle durchgeführt. Getrennt wurden dabei der Stängel und der Blattanteil jeder Unterprobe, bei denen anschließend die separate Auswaage erfolgte. Abschließend wurden die erzielten Ergebnisse dem Gesamtkrautertrag zugerechnet. Die Ermittlung der Krauttrockenmasse erfolgte anhand der Trocknung von repräsentativen Unterproben der Krauternte bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz. Die getrockneten Proben wurden abschließend für die Analyse des Gesamtstickstoffs [Nt] im Kraut verwendet.

Der N-Versorgungsstatus der Kartoffeln wurde an verschiedenen Pflanzenteilen (Blatt, Stängel, Kraut) erhoben. Die elementaranalytisch bestimmten N-Formen waren der Gesamtstickstoff [Nt] in der Trockenmasse (jüngstes voll entwickeltes Blatt, Kraut) bzw., halbquantitativ mit Nitrat-Teststreifen, der Nitrat-Stickstoff [NO₃-N] im Stängelsaft.

In jedem Untersuchungsjahr wurde abschließend der Unkrautdeckungsgrad (prozentualer Anteil der vom Unkraut bedeckten Bodenoberfläche an der Gesamtparzellenfläche) durch Bonitur ermittelt. Diese Bonitur erfolgte nach Absterben der letzten Sorte innerhalb der Haupternteparzellen.

2.5.3 Knollenbeerntung und deren Untersuchung

Im Anschluss an die Beerntung des oberirdischen Aufwuchses wurde von jeder Zeiternte der Knollenertrag bestimmt. Dazu wurden die Versuchspartellen mit der für den Standort üblichen Technik eines Schwingsiebrosders beerntet und die aufgelegten Knollen eingesammelt. Der jeweilige Ernteumfang kann Tabelle 3 entnommen werden.

Anschließend erfolgte die Bestimmung des Rohertrages durch Wiegen und die Verrechnung mit der jeweils tatsächlich ermittelten Parzellengröße. Die Sortierung der beernteten Partellen erfolgte grundsätzlich nach dem Schema <30, 30-35, 35-40, 40-45, 45-50, 50-55, 55-60, 60-65 und >65mm Knollendurchmesser. Am sortierten Erntegut wurden zusätzlich Knollenanzahl und die Masse bestimmt. Die Einteilung des marktfähigen Ertrages wurde nach Handelsklassenverordnung (gültig bis 2011) vorgenommen. In dieser wurde festgelegt, dass die Marktware der Sorten mit runder bis ovaler Knollenform mit einem Knollendurchmesser von 35 bis 65 mm definiert ist. Für Sorten mit langovaler bis langer Knollenform galt eine Marktwarensortierung von 30 bis 60mm Knollendurchmesser. Die Angaben der Knollenform wurden der Beschreibenden Sortenliste und den Züchterinformationen (hier im Besonderen die untersuchten EU-Sorten) für die jeweiligen Sorten entnommen.

An einer repräsentativen Unterprobe des Erntegutes wurden die weiteren Untersuchungen vorgenommen. So wurde der Trockensubstanz- und der Stärkegehalt der Knollen im jeweiligen Versuchsjahr ab dem Zeitpunkt bestimmt, ab dem mindestens fünf Kilogramm Erntegut pro Parzelle vorhanden waren. Die Bestimmung erfolgte mittels einer analogen, mechanischen Stärkewaage über die Messung des Unterwassergewichts an einer Unterprobe von 5050g nach Haase (2003) vorgenommen. Nach Waschen der Knollen wurden im gleichen Arbeitsgang an 100 Knollen jeder Parzelle Knollenbonituren durchgeführt. Die Daten zum Stärkegehalt wurden dem Projekt 2809OE001 zur Verfügung gestellt. Auf die

Ergebnisse wird in diesem Bericht daher nicht eingegangen.

Für den N-Versorgungsstatus der Knollen wurde eine ebenfalls repräsentative Unterprobe von 30 Knollen untersucht. Dabei wurde der Nitrat-Stickstoff [NO₃-N] in den Knollen mittels halbquantitativer Methode mit Hilfe von Nitrat-Teststreifen der Firma Merck und dem entsprechenden Nitracheck-Messgerät im gepressten Kartoffelsaft untersucht. Von den gleichen Knollen wurde elementaranalytisch der Gesamt-Stickstoff [Nt] in der Knollentrockenmasse analysiert. Zur Methodvalidierung der Nitratteststreifen wurde der NO₃-N-Gehalt der Knollen im Jahr 2010 auch photometrisch bestimmt.

2.6 Laboranalytik

Tabelle 5 bietet eine zusammenfassende Übersicht über die auf dem Feld und im Labor angewendeten Mess- und Analysemethoden. Verzeichnet sind ebenfalls der jeweilige Probenumfang und die Probenahmetermine in Tage nach dem Legen.

Tabelle 5: Details der angewandten Methoden zur Bestimmung von N-Versorgungsstatus und -aufnahme in den Feldversuchen auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen (2009-2011) sowie der angewandten Analysemethoden

Ebene der Probenahme	Zeitpunkt der Probenahme			Umfang der Probe	Erhobene/errechnete Parameter [Einheit]	Methode (Quelle)
	2009	2010	2011			
Boden (0-30 und 30-60 cm)	10, 25, 62, 73, 85, 96 und 136 TNL	0, 32, 66, 75, 89, 96 und 153 TNL	8, 34, 45, 63, 77, 90, 110 und 176 TNL	unter den Referenzsorten der Reifegruppen Salome (sf), Agila (f), Ditta (mf), Jelly (s); in ENA-Parzellen	Nitrat-N im Boden [kg NO ₃ -N/ha]	Photometrisch; 1% K ₂ SO ₄ als Extraktionsmittel (Wehrmann und Scharpf, 1986)
jüngstes voll entwickeltes Blatt	TNL60; TNL71; TNL83; TNL94	TNL63; TNL72; TNL84	TNL60; TNL70; TNL78	30 Blätter/Parzelle	Chlorophyll als Maß für die N-Versorgung [dimensionslos]	Yara-N-Tester (Hydro-Agri Europe) (Boji et al., 2000; Gianquinto et al., 2004)
jüngstes voll entwickeltes Blatt	TNL60; TNL71; TNL83	TNL63; TNL72; TNL84	TNL60; TNL70; TNL78	30 Blätter/Parzelle (dieselben Blätter wie Hydro-N)	N in Blatt-Trockenmasse (TM) [N _t in % d. TM]	Elementaranalyse (MacKerron et al., 1995)

jüngstes voll entwickeltes Blatt	nicht erhoben	TNL63; TNL72; TNL84	nicht erhoben	dieselbe Unterprobe wie N in Blatt-TM	Nitrat in Blatt-Frisch- bzw. -Trockenmasse [N _t in % d. FM bzw. TM]	Photometrisch ; 1% K ₂ SO ₄ als Extraktionsmittel (Lewis und Love, 1994)
Stängel (1cm-langer Abschnitt an der Stängelbasis)	TNL60; TNL71; TNL83; TNL94	TNL63; TNL72; TNL84	TNL60; TNL70; TNL78; TNL88	Stängel von 15 (2009) bzw. 16 (2010 und 2011) Pflanzen pro Parzelle	Nitrat im Stängelsaft [NO ₃ in mg/l oder ppm]	Nitracheck-Reflektometer (Nitracheck 404, QuoMed, Broadbridge Heath, West Sussex, U.K.); Merckoquant® Teststreifen (No.: 110020) (Nitsch und Varis, 1991; Dresow und Böhm, 2009)
Kraut (gesamte oberirdische Biomasse)	TNL60; TNL71; TNL83; TNL94	TNL63; TNL72; TNL84; TNL96	TNL60; TNL70; TNL78; TNL88	15 (2009) bzw. 16 (2010 und 2011) Pflanzen pro Parzelle	N in Kraut-Trockenmasse [N _t in % d. TM]; Gesamt-N-Aufnahme [kg N/ha]	Elementaranalyse (MacKerron et al., 1995)
Knollen	TNL60; TNL71; TNL83; TNL94	TNL63; TNL72; TNL84; TNL96	TNL60; TNL70; TNL78; TNL88	30 Knollen pro Parzelle	N in Knollen-Trockenmasse [N _t in % d. TM]; Gesamt-N-Aufnahme [kg N/ha]	Elementaranalyse (MacKerron et al., 1995)
Knollen	nicht erhoben	TNL63; TNL72;	TNL60; TNL70;	30 Knollen pro Parzelle	Nitrat in Knollen-frischmasse	Nitracheck-Reflektometer (Nitracheck 404, QuoMed,

		TNL84; TNL96 und ENA	TNL78; TNL88 und ENA			Broadbridge Heath, West Sussex, U.K.); Merckoquant® Teststreifen (No.: 110020); Dresow und Böhm (2009)
Knollen	TNL60; TNL71; TNL83; TNL94	TNL62; TNL73; TNL84; TNL96	TNL60; TNL70; TNL78; TNL88	30 Knollen pro Parzelle; selbe Knollen-Unterprobe wie für N in Knollen-TM	Nitrat in Knollen- Frischmasse	Photometrisch: 1% K ₂ SO ₄ als Extraktionsmittel (Reents und Tucher, 1994)

2.7 Verrechnungsmethodik und statistische Auswertung

2.7.1 Verrechnungsmethodik

Verrechnung der Ertragsparameter

- (1) Krautertrag = Krautmasse / tatsächliche Parzellengröße; [dt/ha]
- (2) Knollenertrag = Knollenmasse / tatsächliche Parzellengröße; [dt/ha]
- (3) TM-Krautertrag = Trockensubstanz (Krautmasse in %) / 100 * (1); [dt/ha]
- (4) TM-Knollenertrag = Trockensubstanz (Knollenmasse in %) / 100 * (2); [dt/ha]
- (5) Stickstoffentzug = Nt in der Trockensubstanz * 100 * (3) oder (4) bzw. *((3)+(4)); [kg/ha]

Alle berechneten Ertragsstrukturparameter wurden grundsätzlich mit der Größe der jeweiligen tatsächlich ermittelten Parzellengröße verrechnet.

Berechnung des Ertragszuwachsverlaufes und des Vergleichsparameter

Für die Berechnung des Ertragszuwachsverlaufes wurde auf das R-Paket „Grofit“ zurückgegriffen. Dieses Paket erlaubt die Verrechnung der erhobenen Zeiternteergebnisse zu einer jeweiligen sorten- und jahresspezifischen Ertragszuwachsfunction. Die verwendete Ertragszuwachsfunction ist durch die Formel

$$f(x) = \frac{1}{\left(\frac{1}{A} + 1e^{(\mu * (\lambda - x))}\right)}$$

bestimmt und wird durch das Einsetzen der sortenspezifischen Zeiternteerträge der jeweiligen Jahre 2009-2011 in den Parametern (A; μ und λ) bestimmt. Folgende Parameter lassen sich damit objektiv bewerten.

- (1) Bewertung der Jugendentwicklung = Bildung der 1. Stammfunktion der Ertragszuwachsfunction und deren intervallspezifische Berechnung
- (2) Erreichen des spezifischen Ertragspotenzials = Umstellen der Ertragszuwachsfunction nach x (in Tage nach Legen) und Einsetzen eines Ertragspotenzials (z.B. 95%)

Bildung von Indexwerten

Zur genaueren Beschreibung der Sorteneffekte wurde eine Indexbildung durchgeführt. Dies wurde vorgenommen, um entstehende Jahreseffekte abzupuffern. Die Vorgehensweise erfolgte grundsätzlich nach demselben Schema und wurde für die folgenden Parameter vorgenommen:

- Rohertrag
- Marktertrag
- Zuwachsgeschwindigkeit
- Stickstoffentzug
- 95% Ertragsschwelle

Berechnet wurden bei der Indexbildung zunächst die Jahresmittel. An diesen Jahresmittelwerten erfolgte die Abstufung der tatsächlich erzielten Ergebnisse. Die somit erhaltenen Jahreswerte wurden abschließend mit oder ohne Varianz der Wiederholungen der statistischen Analyse zugeführt.

Berechnung der Stickstoffaufnahme, -verwertung und -nutzungseffizienz

Für die Bestimmung der Stickstoffeffizienz wurden folgende drei Parameter berechnet. Mit den Daten wurden die Stickstoffaufnahmeeffizienz (NAE), die Stickstoffverwertungseffizienz (NVE) und die Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) berechnet. Diese stellen ein jeweils objektives Vergleichsmaß für die untersuchten Sorten dar und wurden wie folgt berechnet und lehnen sich damit an die von Krantz (1996) vorgeschlagene Berechnung der Fläche unter der Befallskurve (AUDPC) an.

- (1) NAE = kumulierte Stickstoffaufnahme im oberirdischen Aufwuchs /
kumulierter Nitrat-N-Gehalt im Boden
- (2) NVE = Stickstoffentzug der Haupternte / kumulierte Stickstoffaufnahme im
oberirdischen Aufwuchs
- (3) NUE = Frisch- oder Trockenmasseertrag der Haupternte / Stickstoffentzug
der Haupternte

2.7.2 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse erfolgte mit dem Programm SPSS 21. Für die Berechnungen wurden dabei die Varianzanalyse der Prozedur Univariate, die Regressionsanalyse und die Korrelationsanalyse nach Pearson herangezogen. Bei der Varianzanalyse fanden je nach Auswertung die Behandlungsfaktoren Jahr, Sorte, und Zeiternte als Haupteffekte und deren Wechselwirkung Berücksichtigung. Als Post-Hoc-Test wurden die LSD-Methode oder die Tukey-Methode gewählt. Bei der Regressionsanalyse erfolgte in der Regel die lineare Anpassung. Jedoch wurde für einige Parametervergleiche eine sinnvolle abweichende Anpassung gewählt. Mit Hilfe der Korrelationsanalyse wurden zudem durch das Programm SPSS ordinal skalierte Daten berücksichtigt.

3 Ergebnisse

3.1 Ertragsbildung und Ertragskomponenten

3.1.1 Rohertrag und marktfähiger Ertrag

Im Kartoffelbau ist der erzielte Ertrag eine wesentliche Kenngröße für den wirtschaftlichen Erfolg. In den drei untersuchten Jahren 2009-2011 wurden in den vorliegenden Versuchen jahres- und sortenabhängig Erträge zwischen 265dt/ha (2009, Sorte Mirage) und etwa 443dt/ha (2011, Sorte Allians) erzielt (s. Tabelle 6 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Auffällig war hierbei, dass das Jahr 2009 mit einem Ertragsmittel von lediglich 308,3dt/ha deutlich hinter den mittleren Ergebnissen der Jahre 2010 (347,8dt/ha) und 2011 (360,9dt/ha) zurückblieb. Beobachtet werden konnte zusätzlich, dass die Wechselwirkung Jahr*Sorte ($p=0,000$; $\alpha=0,05$) statistisch hochsignifikant war. Als Sorten mit deutlich überdurchschnittlichem Ertrag waren die Sorten Francisca (f), Elfe (f) und Adelina (mf) zu nennen (Tabelle 6). Deutlich unterdurchschnittlich im dreijährigen Versuch schnitten die Sorten Miranda (f), Salome (sf) und Mirage (f) ab. Zudem konnten Sorten beobachtet werden, die trotz oder aufgrund der sehr unterschiedlichen jahresspezifischen Standortbedingungen entweder eine sehr geringe (Biogold (sf), Francisca (f), Mirage (f)), oder eine sehr hohe Ertragsvarianz (Ditta (mf), Jelly (s), Allians (mf)) aufwiesen, was sich in der Varianz der Indexwerte zeigte. Zudem konnte ein Zusammenhang zwischen Reifegruppe und Ertragsvarianz aufgezeigt werden. Der Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson betrug hier $r=0,55$ bei zweiseitiger Korrelation.

Tabelle 6: Mittlerer Rohertrag [dt/ha] der 16 untersuchten Sorten der Jahre 2009-2011, der resultierende 3-jährige Ertragsindex und dessen Varianz

Sorte	RG	2009		2010		2011		2009 – 2011	
		Ø	±1SE	Ø	±1SE	Ø	±1SE	Index	Var(Index)
Anuschka	sf	321,8	11,0	345,6	10,1	353,5	12,0	100,6	11,4
Biogold	sf	277,5	15,4	315,9	13,4	324,2	15,9	90,2	0,3
Salome	sf	290,2	7,3	297,3	17,5	315,0	10,5	89,0	20,9
Agila	f	336,8	7,8	364,0	21,4	367,1	28,6	105,2	14,5
Belana	f	283,7	10,6	347,2	22,7	348,7	8,0	96,2	15,4
Elfe	f	359,0	17,2	367,0	15,2	368,8	16,9	108,0	55,7
Franciska	f	342,3	17,8	382,4	18,4	402,1	17,1	110,8	0,6
Mirage	f	265,3	11,1	304,0	10,7	317,8	10,3	87,2	1,0

		2009	2010	2011	2009			2009 – 2011	
Sorte	RG	Ø	±1SE	Ø	±1SE	Sorte	RG	Ø	±1SE
Miranda	f	268,2	22,9	313,1	16,9	335,3	20,1	90,0	8,7
Primadonna	f	313,7	16,4	329,7	14,2	375,4	16,0	100,2	23,1
Princess	f	322,7	15,0	387,1	20,9	367,8	14,5	106,0	23,2
Vitabella	mf	288,9	9,0	315,3	16,4	369,0	5,5	95,5	36,1
Adelina	mf	328,9	12,4	368,1	12,0	401,3	26,7	107,9	8,3
Allians	mf	315,3	23,3	303,9	14,5	443,0	4,3	104,1	314,7
Ditta	mf	310,8	7,7	403,8	33,1	330,8	12,5	102,9	152,5
Jelly	s	307,2	10,7	420,8	34,5	355,3	17,8	106,4	161,0

Auch in Bezug auf den marktfähigen Ertrag (Marktware) konnten erhebliche Sorten- aber auch Jahreseffekte festgestellt werden. Zudem wurde auch für die Wechselwirkung Jahr*Sorte ein signifikantes Ergebnis festgestellt ($p=0,000$; $\alpha=0,05$). Im Einzelnen wurden Erträge der Marktware zwischen 239dt/ha (Sorte Primadonna, 2010) und etwa 422dt/ha (Sorte Allians, 2011) erzielt, wobei das Jahr 2009 mit im Mittel 286dt/ha nur geringfügig schlechter abschloss als das Jahr 2010 mit 291dt/ha. Deutlich höhere Ertragsniveaus der Marktware waren hingegen 2011 zu beobachten. Hier wurden im Mittel 330dt/ha erzielt. Als besonders ertragsstark erwiesen sich überjährig die Sorten Elfe (f), Ditta (mf) und Agila (f) mit mittleren dreijährigen Ertragsindexwerten von etwa 110 (

Tabelle 7). Als deutlich ertragsschwach konnten anhand des dreijährigen Indexwertes die Sorten Salome (sf, 87,3) Biogold (sf, 89,8) und Mirage (f, 91,2) identifiziert werden. Ein Zusammenhang zwischen Marktware und Reifegruppe konnte mit Hilfe der zweiseitigen Pearson-Korrelation von 0,66 nachgewiesen werden. Auch bei der Marktware wurden große Variationen festgestellt. Bereinigt um die Jahreseffekte zeigen besonders die Sorten Allians mit 349,5 als Wert für die Indexvarianz, Ditta (317 als Indexvarianz) und Jelly (185,5 als Indexvarianz) im Ertrag der Marktware hohe Unsicherheiten. Als Sorten mit sehr geringer Varianz bei der Marktware stachen die Sorten Mirage (5,3), Princess (8,7) und Salome (11,9) hervor. Hier waren jedoch immer auch relativ gesehen unterdurchschnittliche Ergebnisse in den zugrunde liegenden Marktwareerträgen festzustellen. Ein korrelativer Zusammenhang nach Pearson ließ sich auch zwischen der Varianz der relativen Marktwareerträge und der Reifegruppe feststellen ($r=0,656$; zweiseitig).

Tabelle 7: Mittlerer marktfähiger Ertrag der 16 untersuchten Sorten der Jahre 2009-2011, der resultierende 3-jährige Ertragsindex und dessen Varianz

Sorte	RG	2009		2010		2011		2009-2011	
		Ø	±1SE	Ø	±1SE	Ø	±1SE	Index	Var(Index)
Anuschka	Sf	304,3	11,8	306,5	11,3	319,4	14,6	102,8	28,8
Biogold	Sf	253,7	14,4	275,9	9,8	283,6	12,7	89,8	20,5
Salome	Sf	260,1	8,0	251,9	12,4	278,4	13,6	87,3	11,9
Agila	F	326,1	7,4	316,2	19,6	341,1	24,2	108,7	29,9
Belana	f	253,7	11,2	288,9	22,2	304,0	5,0	93,3	28,4
Elfe	f	346,5	16,9	316,0	18,0	340,3	15,2	110,9	88,2
Franciska	f	300,3	16,1	302,2	18,9	366,8	13,2	106,6	14,8
Mirage	f	253,2	9,9	271,2	9,4	303,0	10,4	91,2	5,3
Miranda	f	255,1	22,8	282,1	18,0	320,8	18,6	94,4	19,6
Primadonna	f	280,2	19,8	239,4	15,2	345,6	14,1	95,0	132,7
Princess	f	290,5	15,4	279,9	28,4	321,3	7,9	98,3	8,7
Vitabella	mf	275,5	7,8	251,1	19,6	343,6	3,4	95,6	79,5
Adelina	mf	284,6	10,1	279,1	12,0	365,5	27,8	102,0	58,9
Allians	mf	292,8	21,6	265,4	16,0	421,8	3,1	107,1	349,5
Ditta	mf	302,3	7,6	379,1	30,7	315,4	14,0	110,5	317,4
Jelly	s	291,8	11,1	354,7	24,7	316,0	20,6	106,5	185,5

Als erstes Effizienzkriterium kann die Ausbeute des Marktertrages aus dem erreichten Rohertrag gesehen werden. Der lineare Zusammenhang nach Regressionsanalyse ergab mit $r^2=0,782$ eine ausgeprägte Abhängigkeit, dennoch können deutliche Unterschiede in der Ausbeute des Marktertrages beobachtet werden. Abbildung 1 gibt einen Überblick zu den 16 untersuchten Sorten in den Versuchen von 2009-2011. Sowohl der Sorten- und der Jahreseffekt, als auch deren Wechselwirkung waren signifikant (jeweils $p=0,000$). Zu beobachten waren Spannweiten der mittleren Sortenergebnisse zwischen 83% Ausbeute bei der Sorte Princess bis zu etwa 9% bei der Sorte Ditta. Als wesentliche Ergebnisse lassen sich nennen: es ließen sich Sorten identifizieren, die in der Ausbeute des Marktertrages eine hohe Streubreite aufweisen (Princess, Primadonna, Adelina; Abbildung 1). Zudem konnten Sorten identifiziert werden, die standortbezogen grundsätzlich eine geringere Ausbeute aufwiesen. Für diese Ausprägung sind besonders die Sorten Princess (83%) und Adelina (84%) zu nennen. Die optimale Kombination jedoch wäre eine geringe überjährige

sortenspezifische Spannweite der Marktwareausbeute bei gleichzeitig sehr hoher mittlerer Ausbeute des Marktertrages aus dem erzielten Rohertrag. Am Standort Frankenhausen wurden diese Kriterien besonders durch die Sorten Ditta (95% Ausbeute im Mittel, bei 5,2% Spannweite) und Miranda (93% Ausbeute, bei 10,3% Spannweite) erfüllt.

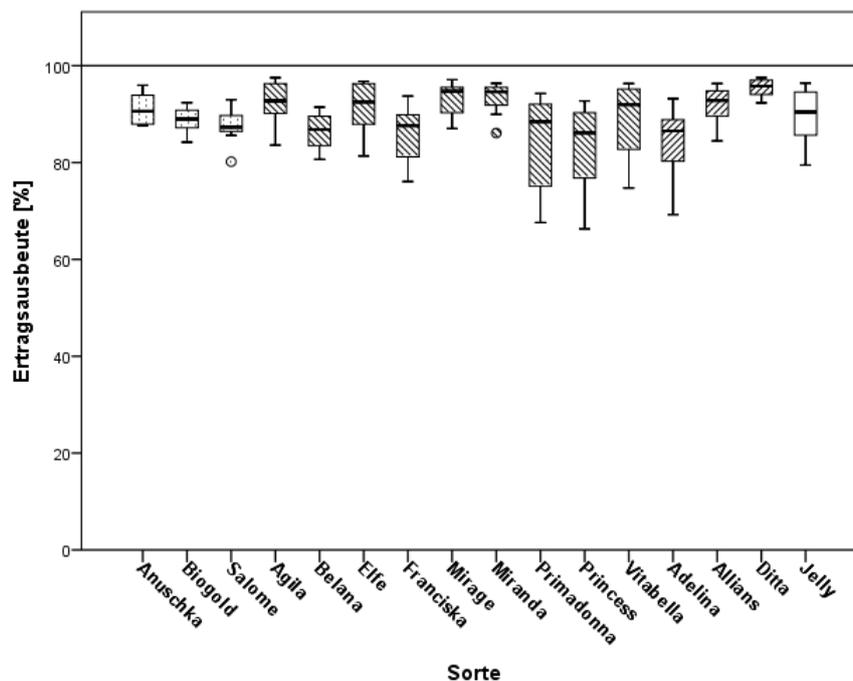


Abbildung 1: Relative Ausbeute des Marktertrages vom Rohertrag der 16 untersuchten Sorten der Jahre 2009-2011; Median

3.1.2 Verlauf der sortenspezifischen Ertragsbildung

Als Maß für den Verlauf der Ertragsbildung wurde die Formel

$$f(x) = \frac{1}{\left(\frac{1}{A} + 1e^{(\mu * (\lambda - x))}\right)}$$

verwendet, welche einen konkreten Ertragszuwachsverlauf durch die Anpassung der Parameter (A, μ und λ) abbildet. Mit Hilfe der angegebenen Formel konnte sowohl der Verlauf der absoluten Ertragsbildung, als auch der Verlauf der relativen Ertragsbildung durch einen konkreten mathematischen Zusammenhang beschrieben werden.

Durch die Bildung der Stammfunktion ließen sich für die vorliegenden Zusammenhänge des Ertragszuwachses Maßzahlen berechnen, die einen objektiven Vergleich der Jugendentwicklung erlaubten. Diese Maßzahlen wurden für das zeitliche Intervall [50;90 TNL] gebildet und sind in Abbildung 2 und Abbildung 3 als „Zuwachsgeschwindigkeit“ verarbeitet.

Abbildung 2 vergleicht den 3-jährigen Indexwert des Rohertrages (X-Achse) und den 3-jährigen Indexwert der relativen Zuwachsgeschwindigkeit, wobei die erzielten Ergebnisse die untersuchten 16 Sorten in vier Kategorien einteilen. Die Kategorie I stellt dabei die Sorten heraus, die in den dreijährigen Versuchen am Standort Frankenhausen sowohl in ihrem relativen Rohertrag, als auch in ihrer relativen Ertragsbildungsgeschwindigkeit (Jugendentwicklung) überdurchschnittlich abschnitten. Identifiziert werden konnten die Sorten Anuschka (101; 103) Agila (105; 101), Elfe (108; 113), Primadonna (100; 102) und Princess(105; 100). Als Sorten der Kategorie II waren die Sorten eingestuft, die bei einem unterdurchschnittlichen Ertragsniveau gleichzeitig überdurchschnittlich schnell ihr Ertragspotenzial ausschöpften. Von den 16 untersuchten Sorten ließen sich Belana (96; 100), Biogold (90; 101), Miranda (90; 100), Salome (89; 100) und Vitabella (96; 101) in die Kategorie II einstufen. Die Sorten der Kategorie III waren sowohl im erzielten Ertragsniveau, als auch in ihrer Ertragszuwachsgeschwindigkeit als unterdurchschnittlich. In diese Kategorie wurde lediglich die Sorte Mirage (87; 98) eingestuft. Die Kategorie IV beschreibt diejenigen Sorten, welche bei einem, relativ gesehen, überdurchschnittlichen Ertragsniveau gleichzeitig in ihrer Ertragzuwachsentwicklung unterdurchschnittliche Ergebnisse erzielten. Zu diesen Sorten zählten Adelina (108; 92), Allians (104; 96), Ditta (103; 95), Francisca (111; 99) und Jelly (106; 96) (Abbildung 2).

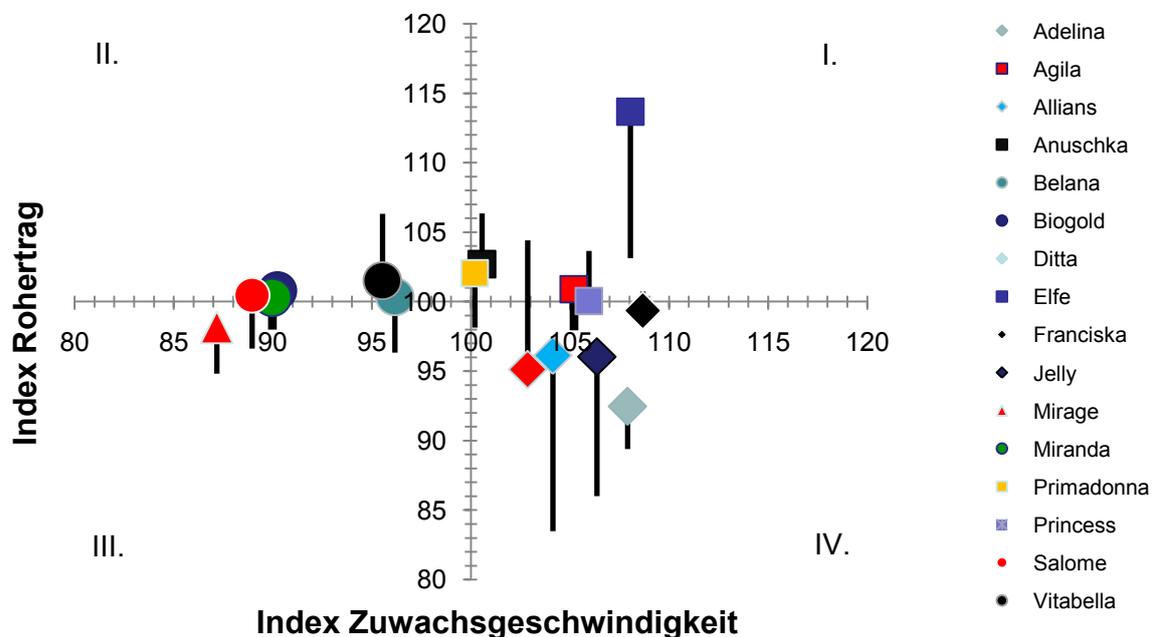


Abbildung 2: Indexvergleich der 16 untersuchten Sorten der Jahre 2009-2011 in Zuwachsgeschwindigkeit (y-Achse) und Rohertrag (x-Achse)

In Abbildung 3 ist der Index des Rohertrages durch den Index des Marktertrages ersetzt. Gegenüber dem Rohertrag findet sich lediglich die Sorte Primadonna in einer anderen Kategorie (Kategorie II statt I). Der zudem in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellte Fehlerradius ist als Maß für die Streuung zu verstehen, wobei Sorten mit einem sehr geringen Fehlerradius, wie Biogold, Franciska oder Miranda als relativ stabil in der Ausprägung der dargestellten Ergebnisse zu bezeichnen sind. Dem gegenüber sind die Sorten Allians, Elfe und Jelly als relativ variabel in den Ergebnissen zu bezeichnen.

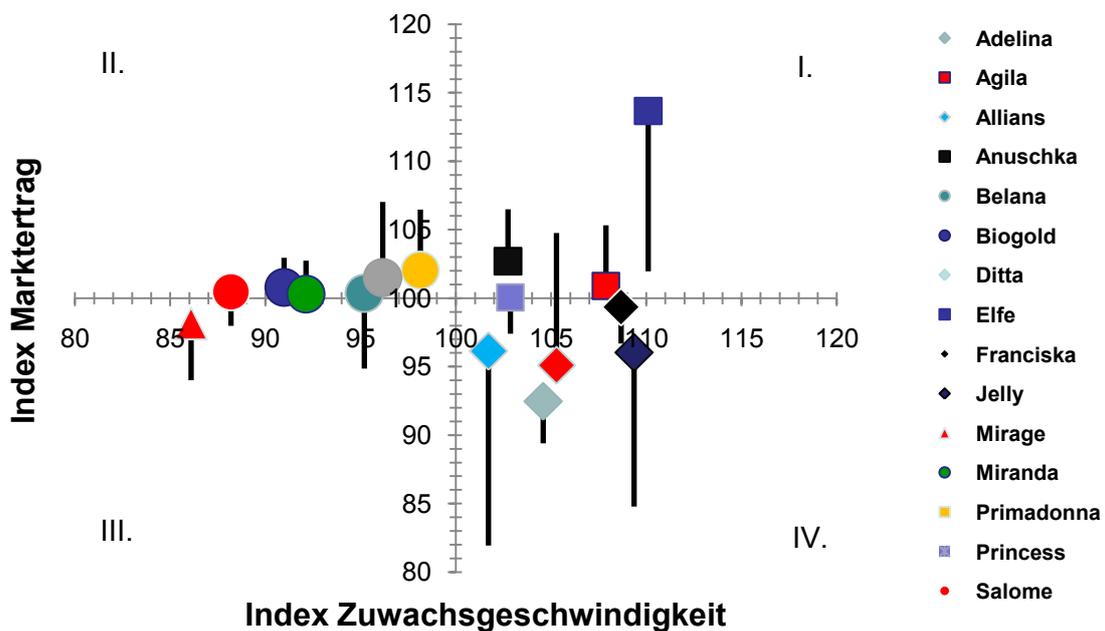


Abbildung 3: Indexvergleich der 16 untersuchten Sorten in Zuwachsgeschwindigkeit (y-Achse) und marktfähiger Ertrag (x-Achse)

3.1.3 Zeitpunkt des umweltabhängigen Ertragspotenzials

Als Zeitpunkt des umweltabhängigen Ertragspotenzials wird im Folgenden der Zeitpunkt beschrieben, zu dem 95% des erzielten Ertrages erreicht wurden. Dieser Zeitpunkt lässt sich wiederum mit Hilfe der Gleichung des Ertragszuwachses bestimmen.

Tabelle 8 zeigt, dass in den Jahren 2009 und 2010 95% des Ertragspotenzials im Mittel der 16 Sorten nach etwa 90 Tagen nach dem Legen erreicht wurden. In 2011 wurde diese Schwelle bereits 11 Tage früher erreicht, wobei ein signifikanter Sorteneffekt bei einer Grenzdifferenz von 7% des Indexwertes gegeben war. Sorten wie Anuschka (107), Primadonna (106) oder Vitabella (105) erreichten somit die 95% Ertragsschwelle in der kürzesten Zeit, während Sorten wie Jelly (94), Ditta (92) oder Adelina (91) mit dreijährigen

Indexwerten von etwas über 90 zu einem, relativ gesehen, späten Zeitpunkt die 95% Ertragsschwelle überschritten. Die Varianz der dreijährig ermittelten Indexwerte gibt zudem Auskunft über die Stabilität des sortenspezifisch erzielten Ergebnisses. Hier wiesen die Sorten Primadonna (0,4), Elfe (2,4) und Agila (2,5) die relativ geringsten Schwankungen auf. Eine sehr uneinheitliche Ausschöpfung des Ertragspotenzials wiesen die Sorten Belana (57,2) oder Ditta (52,9) auf.

Tabelle 8: Sortenabhängiges Erreichen (in Tagen) von 95% des jahresspezifischen Ertragspotenzials und resultierende 3-jährige Indexbewertung der 16 untersuchten Sorten

Sorte	RG	2009	2010	2011	Index	Var(Index)
Anuschka	sf	83,5	88,4	71,7	106,6	24,2
Biogold	sf	95,6	87,7	78,5	99,1	16,2
Salome	sf	91,3	91,1	74,7	101,0	19,3
Agila	f	87,1	87,7	75,5	103,5	2,5
Belana	f	95,7	90,9	72,7	100,6	57,2
Elfe	f	87,9	85,9	78,5	102,6	2,4
Franciska	f	88,2	85,5	80,2	101,9	8,4
Mirage	f	89,6	85,2	80,4	101,4	10,4
Miranda	f	88,0	90,6	80,9	99,8	6,4
Primadonna	f	84,3	84,4	74,5	106,5	0,4
Princess	f	91,3	83,6	76,6	103,1	15,7
Vitabella	mf	83,4	88,9	74,0	105,3	17,3
Adelina	mf	94,5	97,6	92,3	91,0	23,6
Allians	mf	97,5	93,1	79,9	95,9	10,6
Ditta	mf	96,3	90,5	93,9	92,3	52,9
Jelly	s	90,9	98,9	83,8	94,8	20,1
Jahresmittel		90,3	89,4	79,2	p=0,001	GD($\alpha=0,05$)=7,05

3.1.4 Unterscheidung der Sorten nach der Ausprägung der untersuchten Ertragsstrukturkomponenten

Neben den erzielten Erträgen wurden in den vorliegenden Versuchen auch zahlreiche Ertragsstrukturkomponenten untersucht und auf deren Bedeutung für die Ertragsausbildung mittels Regressionsanalyse sowie mittels Varianzanalyse auf deren Sortenabhängigkeit getestet.

Im Rahmen der Varianzanalyse wurde bei den Ertragsstrukturparametern (Stängeldichte, Knollendichte, Knollen/Stängel, Einzelknollenmasse) jeweils die Wechselwirkung aus Sorte und Jahr als signifikant ($p=0,000$; $\alpha=0,05$) nachgewiesen. Die Pflanzknollenmasse wurde aufgrund der fehlenden Freiheitsgrade varianzanalytisch nicht untersucht. Als Ergebnis der Regressionsanalyse können die Beziehungen Knollendichte vs. Einzelknollenmasse, Einzelknollenmasse vs. Marktwareanteil und Einzelknollenmasse vs. Untergrößenanteil als bedeutsam herausgestellt werden, welche aus den Ergebnissen, dargestellt in Tabelle 9 mit relevanten Bestimmtheitsmaßen hervorrangen. Festzustellen bleibt außerdem, dass der Rohertrag sowie der Marktertrag sich nicht aus den Ertragsstrukturparametern ableiten lässt. Die Ergebnisse schwanken hier zwischen $r^2=0,01$ und $r^2=0,19$.

Tabelle 9: Ergebnisse der Regressionsanalyse der untersuchten Ertragsstrukturparameter, Erträge und Ertragskomponenten (* = Abweichen von der linearen Regression)

	Rohertrag	Marktwareertrag	Marktwareanteil	Untergrößenanteil	Übergrößenanteil	Stängeldichte	Knollendichte	Knollen / Stängel	Einzelknollenmasse
Pflanzknollenmasse	0,01	0,04	0,12	0,14	0,01	0,26	0,04	0,11	0,04
Stängeldichte	0,02	0,02	0,24	0,35	0,07		0,33	0,17	0,25
Knollendichte	0,19	0,01	0,46	0,57	0,05				0,62
Knollen / Stängel	0,13	0,03	0,10	0,04	0,07				0,12
Einzelknollenmasse	0,02	0,17	0,57*	0,71*	0,21				

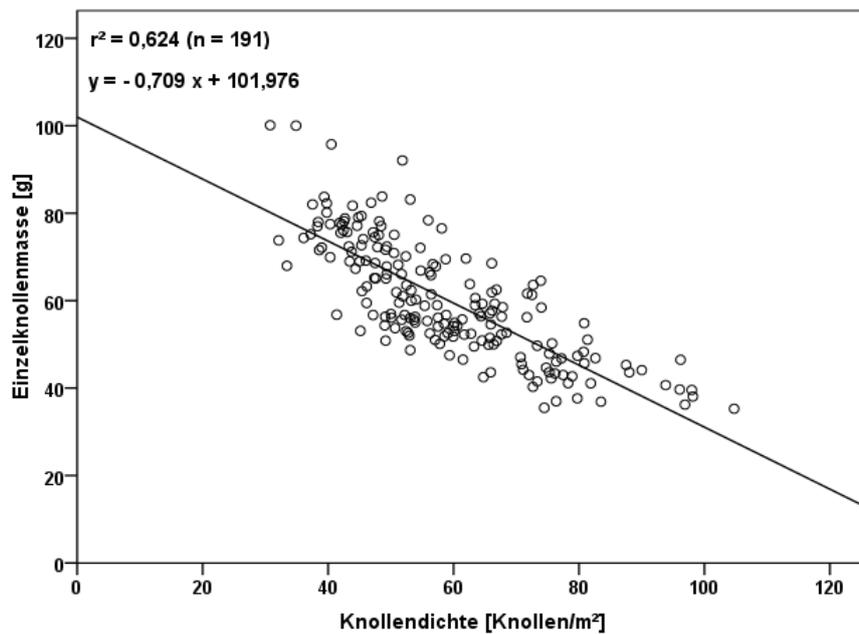


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Knollendichte und Einzelknollenmasse des Erntegutes der Haupternten (2009–2011)

Abbildung 4 verdeutlicht den linearen Zusammenhang zwischen den Parametern Knollendichte und Einzelknollenmasse. Bei 191 gültigen Messpaaren konnte ein Bestimmtheitsmaß von $r^2=0,624$ durch die Regressionsanalyse berechnet werden. Die daraus ermittelte Regressionsgleichung kann der Abbildung 4 entnommen werden. Der Zusammenhang zeigt, dass mit zunehmender Knollenzahl pro Quadratmeter die Einzelknollenmasse abnimmt. Die entsprechenden Auswirkungen dieses Zusammenhanges zeigen sich in Abbildung 5 und Abbildung 6.

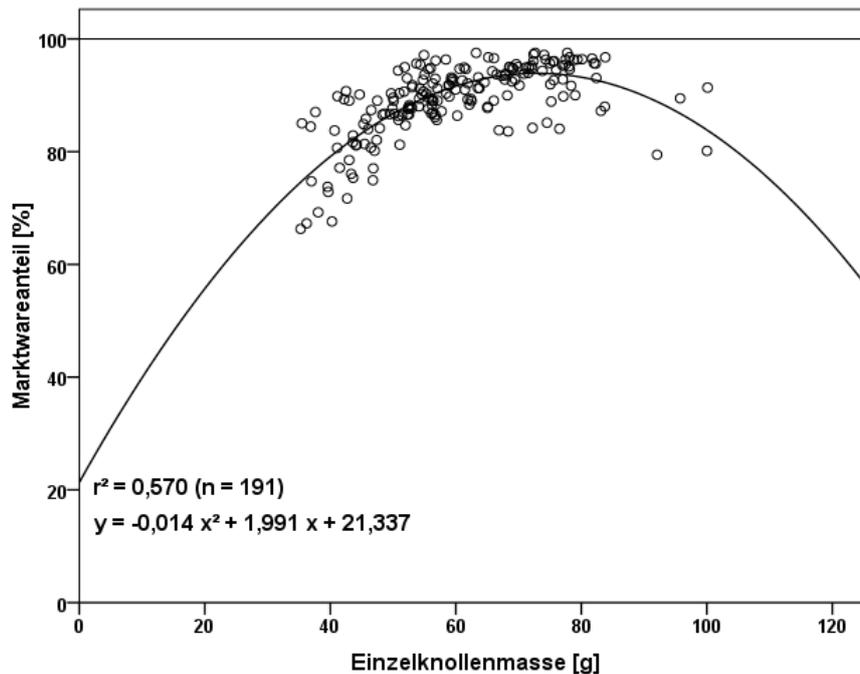


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Einzelknollenmasse und Marktwareanteil des Erntegutes der Haupternten (2009–2011)

Abbildung 5 zeigt den Zusammenhang zwischen Einzelknollenmasse und Marktwareanteil der jeweiligen Erntepartien. Der vorliegende quadratische Zusammenhang kann mit einem Bestimmtheitsmaß von $r^2=0,57$ berechnet werden. Aus den Ergebnissen der dreijährig durchgeführten Versuche konnten für den Parameter Einzelknollenmasse Werte zwischen 35g und 100g kalkuliert werden, wobei Marktwareanteile zwischen 66% und 97% erreicht wurden. Deutlich wird, dass eine Einzelknollenmasse von 60 bis 80g die höchsten Ausbeuten an Marktwareanteilen liefert. In Abbildung 6 ist ergänzend der Zusammenhang zwischen Einzelknollenmasse und Untergrößenanteil der Erntepartien dargestellt. Auch in diesem Fall liefert ein nichtlinearer logischer Zusammenhang das höchste Bestimmtheitsmaß ($r^2=0,714$). Ermittelt werden konnten für den Untergrößenanteil Ergebnisse zwischen etwa 34% der gesamten Erntemenge bis zu lediglich etwa 1% der Erntemenge, wobei mit zunehmender Einzelknollenmasse der Anteil der Untergrößen am Erntegut abnehmend ist.

Abgeleitet aus den Ergebnissen der Varianzanalyse sind in Abbildung 7 die Ergebnisse der sortenspezifischen Knollendichte und Einzelknollenmasse dargestellt. Wie bereits erwähnt waren die Ergebnisse der Varianzanalyse für beide Parameter in der Wechselwirkung Sorte*Jahr mit $p=0,000$ signifikant. Dies zeigt sich entsprechend in den hohen Streubreiten der Ergebnisse dieser beiden Parameter. Hervorzuheben ist jedoch, dass einige Sorten zwischen der Knollendichte und der Einzelknollenmasse deutliche Differenzen aufweisen. So

zeigt sich, dass Sorten wie Jelly (44Kn./m², 82g) oder Anuschka (51Kn./m², 68g) eine hohe Einzelknollenmasse gegenüber einer eher geringen Knollendichte aufweisen. Für die Sorte Princess (80Kn./m², 46g) hingegen war eine sehr hohe Knollendichte bei gleichzeitig geringer Einzelknollenmasse zu beobachten.

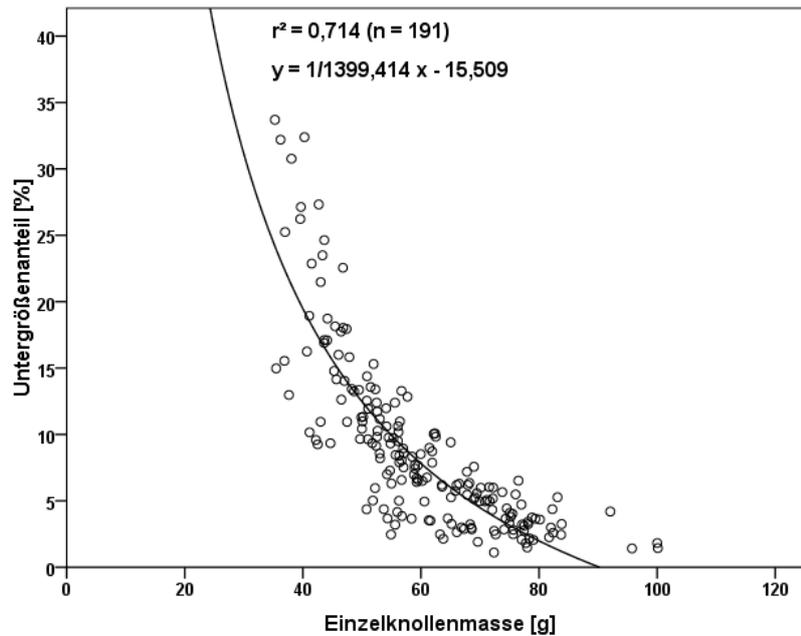


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Einzelknollenmasse und Untergrößenanteil des Erntegutes der Haupternte (2009 – 2011)

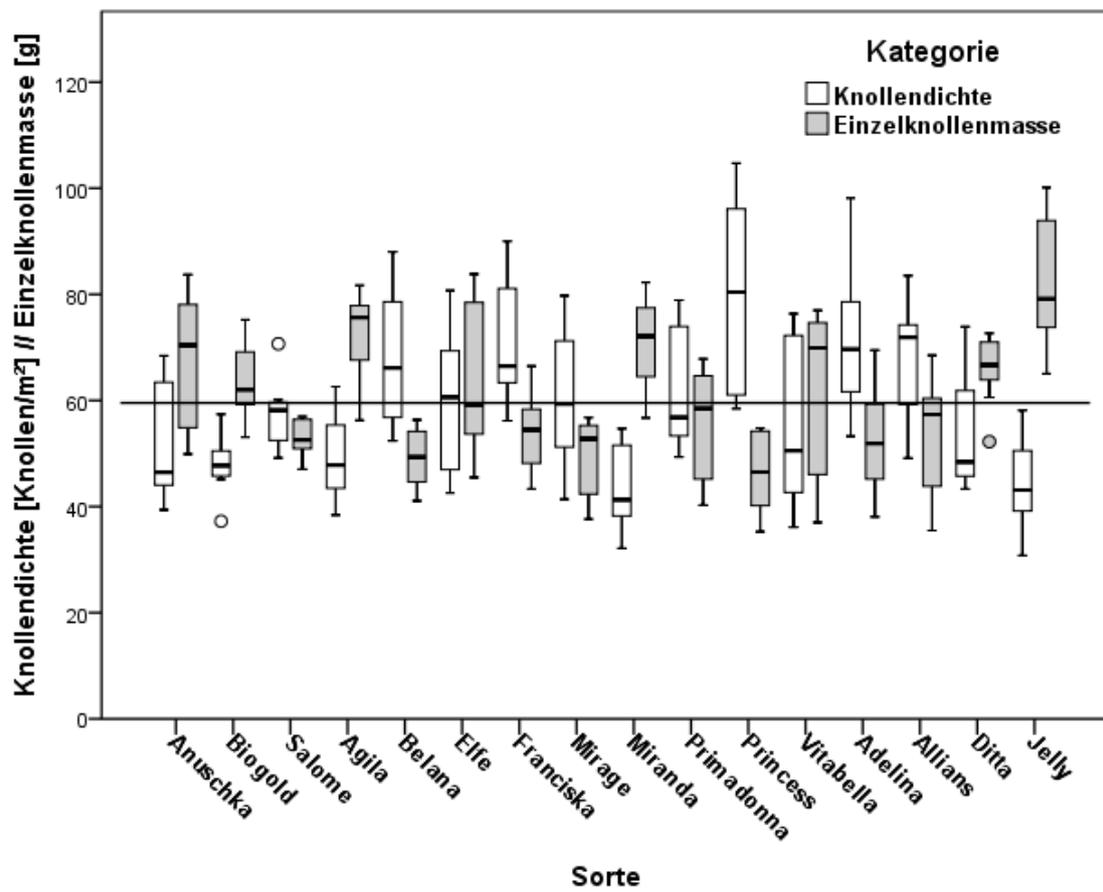


Abbildung 7: Knollendichte [Knollen/m²] und Einzelknollenmasse [g] der dreijährig (2009–2011) untersuchten Sorten

3.2 Stickstoffaufnahme, -verwertung, -effizienz und –versorgungsstatus

3.2.1 N-Aufnahme und N-Effizienz

Die Stickstoffaufnahme und deren effiziente Verwertung innerhalb der physiologischen Prozesse der Kartoffel sind für den Ökologischen Landbau aufgrund einer limitierten Stickstoffverfügbarkeit von enormer Bedeutung. Im vorliegenden Projekt wurde daher in engen zeitlichen Intervallen die Stickstoffverfügbarkeit und –aufnahme untersucht.

Tabelle 10 stellt den Stickstoffentzug durch die Knollen der 16 untersuchten Sorten dar. Die Varianzanalyse ergab keinen signifikanten Jahreseffekt ($p=0,890$) jedoch einen signifikanten Sorteneffekt ($p=0,000$) und eine signifikante Wechselwirkung (Jahr*Sorte; $p=0,000$).

Tabelle 10: Mittlerer jährlicher Stickstoffentzug [kg/ha] durch die Knollen der 16 untersuchten Sorten im Untersuchungszeitraum 2009-2011

Sorte	RG	2009		2010		2011		2009-2011	
		Ø	±1SE	Ø	±1SE	Ø	±1SE	Index	Varianz
Anuschka	sf	110,6	4,0	110,0	6,5	101,4	1,3	98,4	20,6
Biogold	sf	109,6	4,4	113,6	5,9	107,4	3,8	101,0	3,9
Salome	sf	111,9	2,0	109,4	5,6	106,5	3,2	100,2	8,2
Agila	f	109,6	1,5	110,3	5,4	105,2	7,4	99,3	5,1
Belana	f	104,1	2,1	113,6	5,6	107,2	2,6	99,3	11,3
Elfe	f	117,6	4,8	111,5	5,0	108,4	4,5	103,2	23,1
Franciska	f	109,3	6,4	113,8	7,1	103,9	3,5	99,9	14,0
Mirage	f	107,2	4,9	103,3	4,8	104,2	5,0	96,2	7,7
Miranda	f	104,9	7,1	109,0	6,1	109,1	6,4	98,7	3,3
Primadonna	f	107,7	5,0	105,0	6,9	106,3	4,6	97,5	5,2
Princess	f	109,1	3,6	116,6	7,3	108,3	5,5	102,0	9,5
Vitabella	mf	110,0	3,7	106,6	5,7	122,2	2,3	103,6	67,2
Adelina	mf	108,1	4,7	114,1	4,9	116,3	2,1	103,4	13,0
Allians	mf	103,0	5,1	93,1	4,7	124,0	2,7	97,9	229,0
Ditta	mf	98,6	4,4	113,3	7,1	94,6	4,5	93,6	64,2
Jelly	s	110,3	4,5	124,5	9,3	112,3	6,5	106,0	33,9

Diese war mit 12,7kg/ha in 2011 ähnlich hoch und betrug 2010 17,7kg/ha (Tabelle 10). Das Bild wird durch die Berechnung der dreijährigen Indexwerte verdeutlicht. Diese schwanken zwischen etwa 93 (Ditta, mf) und 106 (Jelly, s), wobei jedoch 13 der 16 untersuchten Sorten eine Abweichung von +/- 3 vom berechneten dreijährigen Indexmittel aufwiesen. Dennoch ließen sich bei jahresspezifischer Betrachtung der Ergebnisse nur wenige signifikante Unterschiede der Sorten feststellen. Bei jahresspezifischer Verrechnung wurden 12,8kg/ha als Grenzdifferenz für 2009 ausgewiesen. Fälle, in denen jahresspezifisch deutliche Abweichungen erzielt wurden, lassen sich meist durch einfache Sachverhalte erklären. Entsprechend ist zum Beispiel der geringe Entzug der Sorte Allians in 2010 von lediglich 93kg/ha Stickstoff bereits durch einen hohen Eingangsbefall mit *Rhizoctonia solani* (Ergebnisse nicht dargestellt) erklärbar. Zum anderen lassen sich die sehr hohen Stickstoffentzüge der Sorten Jelly (s, 112kg/ha), Adelina (ms, 116kg/ha), Vitabella (f 122kg/ha) und Allians (mf, 123kg/ha) aus der für spätere Sorten günstigen Witterungsentwicklung im Jahr 2011 erklären. Auf Grundlage der Stickstoffaufnahme des Erntegutes wurden drei Effizienzparameter berechnet, die jeweils eine Verlagerungsstufe des Stickstoffs im physiologischen Wachstumsprozess während der Vegetation der Kartoffel abbilden. Neben der Aufnahmeeffizienz (NAE) wurden die Verwertungseffizienz des Stickstoffs (NVE) und die Nutzungseffizienz (NUE) berechnet.

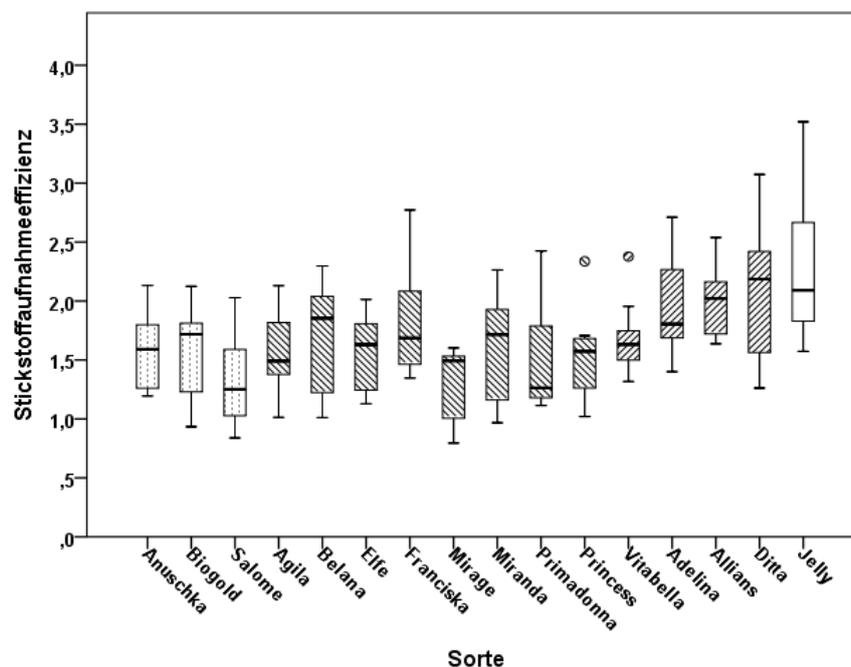


Abbildung 8: Stickstoffaufnahmeeffizienz der 16 untersuchten Sorten (2009–2011); berechnet als: kumulierter N-Ertrag (Kraut)[(kg/ha)*t] / kumuliertes Bodennitrat-N [(kg/ha)*t] im jeweiligen Untersuchungszeitraum ZE1 bis ZE4

Die Aufnahmeeffizienz, dargestellt in Abbildung 8, setzt hierbei den zeitlich kumulierten Stickstoff der Grünmasse ins Verhältnis zur Verfügbarkeit des Nitratstickstoffs der Bodenschicht 0 bis 60 Zentimeter im Zeitraum zwischen der ersten und der vierten Zeiternte. Abbildung 8 zeigt, dass die Stickstoffaufnahmeeffizienz mit zunehmender Reifegruppe ansteigt. Bei signifikanter Wechselwirkung der Interaktion zwischen Sorte und Jahr bestätigt die zweiseitige Korrelation ($r=0,464$) die Bedeutung der Reifegruppe für das Ausfallen der Stickstoffaufnahmeeffizienz nur teilweise. Werte zwischen 1,30 bei der Sorte Mirage (f) und 2,23 bei der Sorte Jelly (s) wurden berechnet, wobei grundsätzlich relativ hohe Ergebnisschwankungen zu beobachten waren. Diese lassen sich jedoch auch aus dem signifikanten Jahreseffekt ($p=0,001$) erklären. Eine entsprechende Anpassung der Aufnahmeeffizienz an die spezifischen Jahresbedingungen kann vermutet werden.

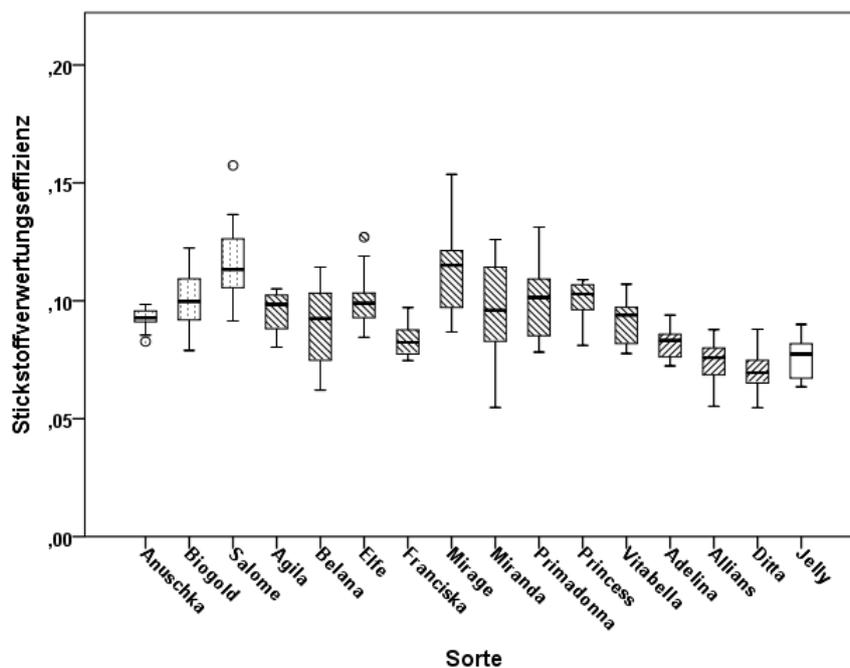


Abbildung 9: Stickstoffverwertungseffizienz der 16 untersuchten Sorten (2009–2011); berechnet als: Stickstoffertrag der Haupternte [kg/ha] / kum. N-Ertrag (Kraut)[(kg/ha)*t] im Untersuchungszeitraum ZE1 bis ZE4

Die Stickstoffverwertungseffizienz stellt den nächsten Schritt der physiologischen Stickstoffverwertung dar. Abbildung 9 lässt ein etwas gegenläufiges Verhalten dieses Parameters zur Stickstoffaufnahmeeffizienz erkennbar werden. Zudem sind die errechneten Mittel verglichen mit der Aufnahmeeffizienz deutlich homogener. Dies drückt sich in grundsätzlich geringeren Interquartilsabständen aus. Auch für die

Stickstoffverwertungseffizienz konnte eine signifikante Wechselwirkung festgestellt werden ($p=0,000$), jedoch war der Jahreseffekt hier nicht signifikant ($p=0,083$), was auf Basis der vorliegenden Ergebnisse für eine weniger starke Abhängigkeit des Parameters vom Jahr spricht. Unterschiede zeigen sich sowohl in der sehr frühen Reifegruppe (Anuschka 0,09; Biogold 0,10), als auch in der frühen Reifegruppe (Franciska 0,08; 0,11), während die Sorten der mittelfrühen und späten Reifegruppe eher niedrigere Werte aufwiesen (0,07 bis 0,08). Die Regressionsanalyse zwischen NAE und NVE zeigte einen Zusammenhang zwischen den beiden untersuchten Parametern von $r^2=0,529$ ($y=1/0,072x+0,047$), was einen Zusammenhang der Parameter andeutet, jedoch grundsätzlich auch Sortenunterschiede nicht ausschließt.

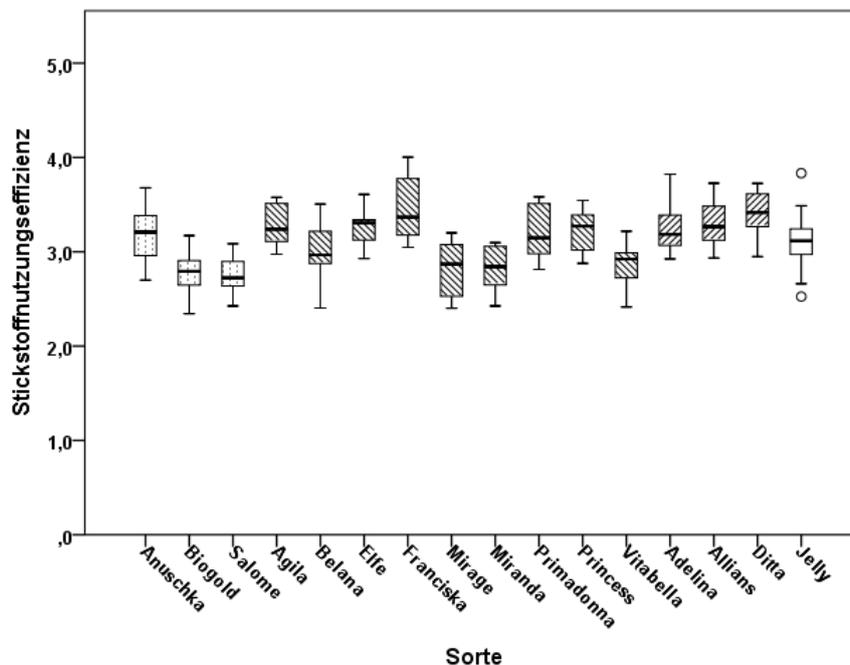


Abbildung 10: Stickstoffnutzungseffizienz der 16 untersuchten Sorten (2009–2011); berechnet als: Knollenertrag der Haupternte [dt/ha] / Stickstoffzug der Haupternte [kg/ha]

Die Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) beschreibt die Umsetzung der aufgenommenen Menge Stickstoff in tatsächlichen Ertrag. Vorstellbar sind zwei Ansätze. Der Bezug zur gebildeten Trockenmasse zeigt die effektiv erbrachte Ertragsleistung pro aufgenommene Menge Stickstoff, der Bezug auf den Frischmasse-Knollenertrag der Haupternte erlaubt Rückschlüsse auf die Ertragsleistung des aufgenommenen Stickstoffs.

Für die Stickstoffnutzungseffizienz bezogen auf die Trockenmasse zeigte die Varianzanalyse sowohl Jahres- und Sorteneffekte, als auch deren Wechselwirkung als statistisch

absicherbar (jeweils $p=0,000$). Die Sorten Salome (sf, 0,65 [dt TM/kg N]), Princess (f, 0,65 [dt TM/kg N]) und Mirage (f, 0,62 [dt TM/kg N]) wiesen die geringste Bildung von Trockenmasse [dt] pro mit den Knollen entzogenes Kilogramm Stickstoff aus. Die Weiteren untersuchten Sorten erzielten hier deutlich höhere Ergebnisse und bildeten zwischen 0,69dt/ha und 0,78dt/ha Trockenmasse aus einem Kilogramm aufgenommenen Stickstoff (Daten nicht dargestellt).

Abbildung 10 zeigt die Bildung von Kartoffelfrischmasse aus dem aufgenommenen Stickstoff. Bei signifikanter Wechselwirkung von Jahr*Sorte ($p=0,025$) war besonders in der frühen Reifegruppe eine deutliche Differenzierung der Sorten festzustellen. Im Mittel der Sorten können jahresübergreifend 3,1dt Kartoffelfrischmasse aus einem Kilogramm Stickstoff erzielt werden, wobei deutliche Jahresschwankungen ($p=0,000$) vorlagen (2009: 2,85; 2010: 3,15; 2011 3,33). Zu sehen ist zudem auch, dass Sorten, die einen hohen Trockensubstanzgehalt aufweisen (z.B. Biogold 26,6% oder Miranda 24,9%), zu den Sorten zählen die eine eher geringe Stickstoffnutzungseffizienz aufweisen.

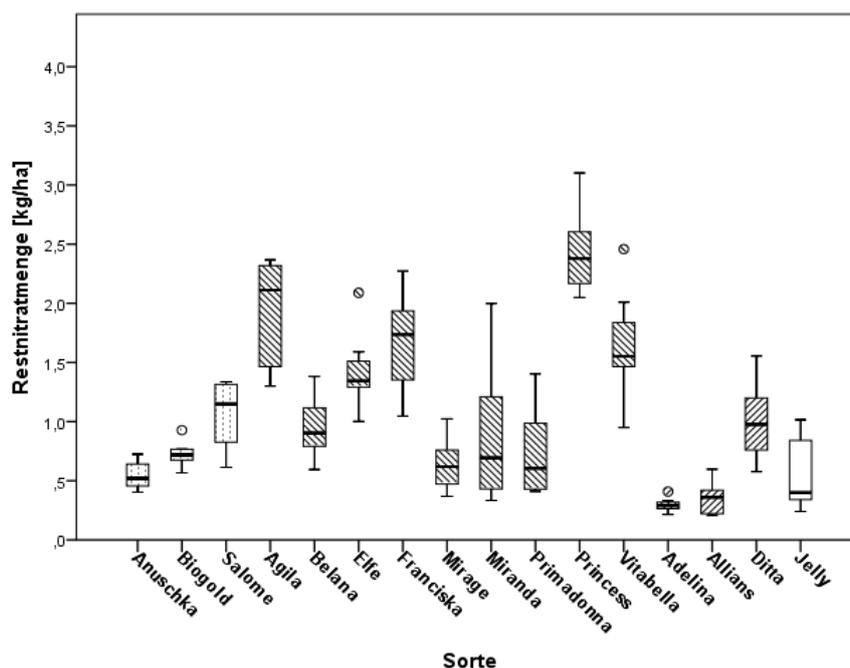


Abbildung 11: Ungenutzte Restnitratmenge in den Knollen des Erntegutes der Haupternten [kg/ha] der Jahre 2010 und 2011

Abbildung 11 zeigt die in den Knollen gemessene Menge Restnitrat (als Maß für die Menge ungenutzten Stickstoffs) zur Haupternte im Fruchtsaft der 16 untersuchten Sorten im Mittel von zwei Versuchsjahren. Bei Verrechnung mit dem vorliegenden Trockensubstanzgehalt

wurden Restnitratmengen von im Mittel 0,3kg/ha (Sorte Adelina) und 2,4kg/ha (Sorte Princess) in den Knollen ermittelt. Ein signifikanter Jahreseffekt der beiden Jahre, in denen die Untersuchung stattfand, konnte nicht gefunden werden. Hingegen wurde die Wechselwirkung von Jahr und Sorte als signifikant abgesichert ($p=0,000$). Zu bevorzugen wären demnach Sorten wie Adelina oder Allians, die neben einer niedrigen Restnitratmenge auch geringe Streuungen in diesem Ergebnis aufwiesen.

3.2.2 Verlauf der Stickstoffverlagerung in die Knollen

Für den Verlauf der Stickstoffverlagerung kann eine detaillierte Aussage im Sinne der Darstellung des Verlaufes der Stickstoffaufnahme in die Knollen für den Zeitraum der vier jährlich durchgeführten Zeiternten, bis hin zum abgeführten Stickstoff über das Ernteprodukt der Haupternte gegeben werden. Tabelle 11 zeigt jahres- und sortenspezifisch die relativ bereits aufgenommene Menge an Stickstoff zur ersten Zeiternte und die Zeiternte zu welcher bereits mindestens 50% des mit dem Erntegut abgeführten Stickstoffs aufgenommen waren.

Tabelle 11: Jährliche relative Aufnahme des Stickstoffs zur ersten Zeiternte und das Erreichen der 50% Schwelle der Stickstoffaufnahme.

Sorte	Reifegruppe	2009		2010		2011	
		Erreichte N-Aufnahme zur ZE 1	Min. 50% der potenziellen N-Aufnahme erreicht	Erreichte N-Aufnahme zur ZE 1	Min. 50% der potenziellen N-Aufnahme erreicht	Erreichte N-Aufnahme zur ZE 1	Min. 50% der potenziellen N-Aufnahme erreicht
Anuschka	sf	26%	ZE 2	26%	ZE 2	52%	ZE 1
Biogold	sf	33%	ZE 3	34%	ZE 2	47%	ZE 2
Salome	sf	32%	ZE 2	26%	ZE 2	47%	ZE 2
Agila	f	28%	ZE 2	17%	ZE 3	41%	ZE 2
Belana	f	24%	ZE 3	21%	ZE 2	42%	ZE 2
Elfe	f	20%	ZE 3	25%	ZE 2	40%	ZE 2
Franciska	f	23%	ZE 2	24%	ZE 3	35%	ZE 2
Mirage	f	27%	ZE 2	29%	ZE 2	45%	ZE 2
Miranda	f	27%	ZE 2	30%	ZE 2	45%	ZE 2
Primadonna	f	30%	ZE 2	25%	ZE 2	38%	ZE 2
Princess	f	27%	ZE 2	25%	ZE 2	42%	ZE 2
Vitabella	mf	23%	ZE 2	23%	ZE 2	37%	ZE 2
Adelina	mf	12%	ZE 3	16%	ZE 3	26%	ZE 2
Allians	mf	12%	ZE 3	19%	ZE 3	34%	ZE 2
Ditta	mf	19%	ZE 3	16%	ZE 3	33%	ZE 2
Jelly	s	16%	ZE 3	15%	ZE 3	27%	ZE 2

Für die relative Aufnahme zur ersten Zeiternte zeigt sich ein entsprechendes Gefälle mit zunehmender Reifegruppe. Spätere Sorten der mittelfrühen und späten Reifegruppe hatten hier selbst in dem sehr frühen Jahr 2011 lediglich maximal ein Drittel (Allians 2011: 34%) des durch die Haupternte abgeführten Stickstoffs in den Knollen akkumuliert. Frühe Sorten wie Anuschka kommen 2011 zum Zeitpunkt der ersten Zeiternte bereits auf eine in den Knollen eingelagerte Stickstoffmenge von 52%. Auch die Sorten Salome und Biogold hatten in 2011 zum Zeitpunkt der zweiten Zeiternte bereits 47% der Stickstoffmenge der abschließenden Haupternte in den Knollen eingelagert. Die beobachteten Jahreseffekte lassen sich

besonders gut an der 50%-igen Verlagerungsschwelle des Stickstoffs aufzeigen. Im Jahr 2011 hatten alle untersuchten Sorten zum Zeitpunkt der zweiten Zeiternte mindestens 50% der abschließenden absoluten Stickstoffaufnahme entzogen. Für 2009 hingegen konnte eine äußerst zögerliche Aufnahme des Stickstoffs besonders bei den späteren Sorten nachgewiesen werden, wobei die Sorten Adelina und Allians zur ersten Zeiternte gerade 12% Stickstoff entzogen hatten.

3.2.3 Bestimmung des N-Versorgungsstatus

Direkte Feldmessungen des Stickstoffs können, wegen ihres kurzen Anwendungszeitraumes und ihrer variablen Einsatzfähigkeit, Angaben über den aktuellen Stickstoffversorgungsstatus des untersuchten Bestandes liefern. In den vorliegenden Versuchen wurden diese Messungen zum einen mit Hilfe der Anwendung des Yara-N-Testers am jüngsten voll entwickelten Blatt und zum anderen mit Hilfe der Messung des Nitratgehaltes des Stängelsaftes und des Knollensaftes erprobt.

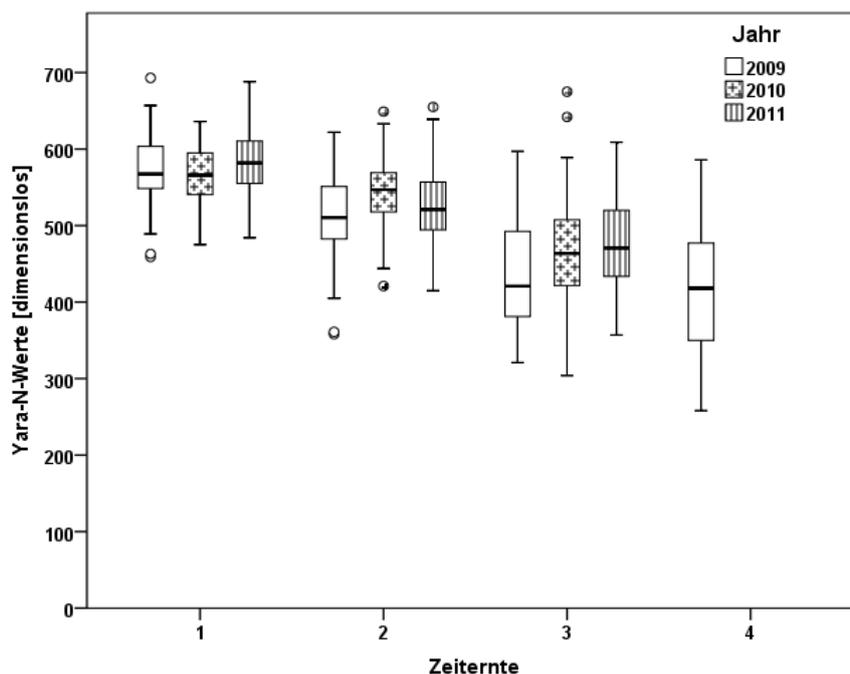


Abbildung 12: Jahresspezifische Ergebnisse und Verlauf der Yara-N-Messung (Mittel der 16 untersuchten Sorten; 2009–2011)

Abbildung 12 zeigt dabei den jahresspezifischen Verlauf der gemessenen Yara-N-Werte über die untersuchten Zeiternten. Festzustellen war in allen Jahren, dass die Yara-N-Werte mit

Beginn bei der ersten Zeiternte grundsätzlich einen abnehmenden Verlauf aufzeigten, sodass davon auszugehen ist, dass der höchste Versorgungsstatus des jüngsten voll entwickelten Blattes zeitlich nicht bestimmt werden kann. Ein Jahreseffekt der Ergebnisse konnte mit $p=0,135$ nicht festgestellt werden. Die höchste Wechselwirkung Sorte*Jahr*Zeiternte mit einem signifikantem Ergebnis von $p=0,000$ belegt, dass kein konsistenter Einfluss der Sorte zu erwarten ist.

Abbildung 13 zeigt den Verlauf des Nitratgehaltes im Stängelsaft. 2009 wurde der maximale Nitratgehalt erst zur zweiten Zeiternte erreicht, was für eine im Gegensatz zu 2010 und 2011 verzögerte Nitratverlagerung spricht. In 2010 und 2011 wurden hingegen beginnend mit der ersten Zeiternte sortenübergreifend sinkende Werte festgestellt. Die Sorte der späten Reifegruppe (Jelly) zeigte grundsätzlich die höchsten Nitratgehalte im Stängelsaft. Die Sorten der mittelfrühen Reifegruppe erzielten über die Jahre zeiternteabhängig geringere Werte als die frühen Sorten.

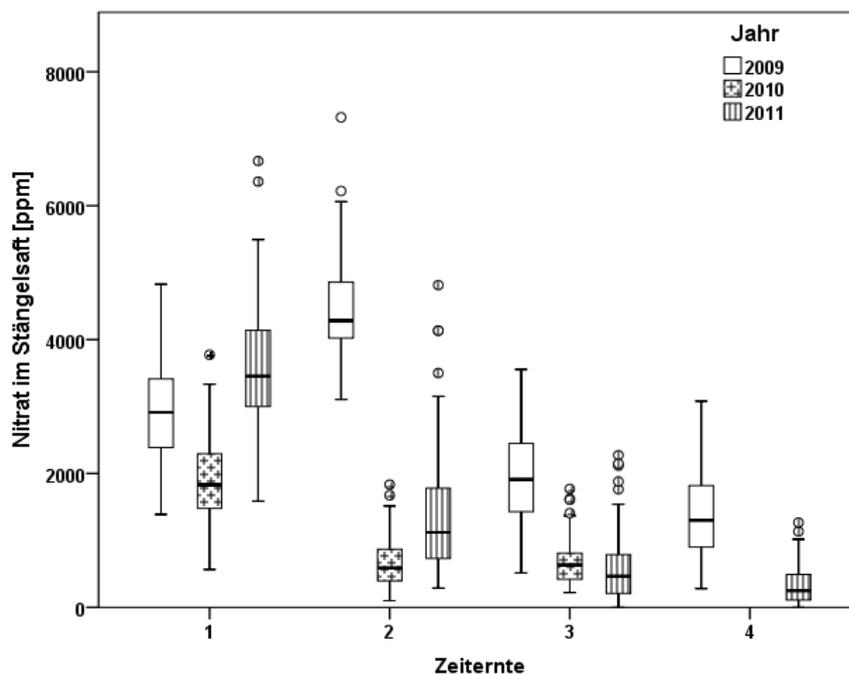


Abbildung 13: Jahresspezifische Ergebnisse und Verlauf der Nitratmessungen im Stängelsaft [ppm] des Untersuchungszeitraums der jeweiligen Zeiternten (Mittel der 16 untersuchten Sorten; 2009–2011)

Der Nitratgehalt im Knollensaft wurde lediglich in den Jahren 2010 und 2011 untersucht. Abbildung 14 zeigt analog zu Abbildung 13 ebenfalls eine fallende Tendenz über die untersuchten Zeiternten. In beiden Jahren konnten zudem jeweils die Ergebnisse der vierten

Zeiternte nicht von den Werten, gemessen zur Haupternte unterschieden werden (2010: ZE4: 42ppm, HE: 38ppm; 2011: ZE4: 44ppm, HE: 38ppm). Auch die Ergebnisse der dritten Zeiternte liegen mit 49ppm in 2011 und 64ppm nicht wesentlich über den Ergebnissen der vierten Zeiternte.

In 2010 ließen sich die Nitratgehalte im Knollensaft der Sorten mittels Tukey-Test nicht mehr signifikant von denen der Haupternte unterscheiden. In 2011 trat dieser Effekt bei 15 von 16 untersuchten Sorten bereits nach der dritten Zeiternte ein, lediglich die Sorte Biogold verzeichnete noch eine signifikante Abfall der Nitratkonzentration in der Knolle zwischen der dritten und der vierten Zeiternte.

Tabelle 12 zeigt zudem die Nitratkonzentration der Ernteknollen zum Zeitpunkt der Haupternte. Hier konnte bei allen Sorten ein Mittel von unter 100ppm festgestellt werden. Die Sorte Princess verzeichnete in beiden Jahren die höchsten Nitratgehalte im Erntegut. Diese betragen 2010 im Mittel etwa 84ppm und 2011 durchschnittlich 78ppm. Die Sorten der mittelfrühen und späten Reifegruppe verzeichneten mit Ausnahme der Sorte Ditta die geringsten Nitratgehalte der untersuchten Sorten.

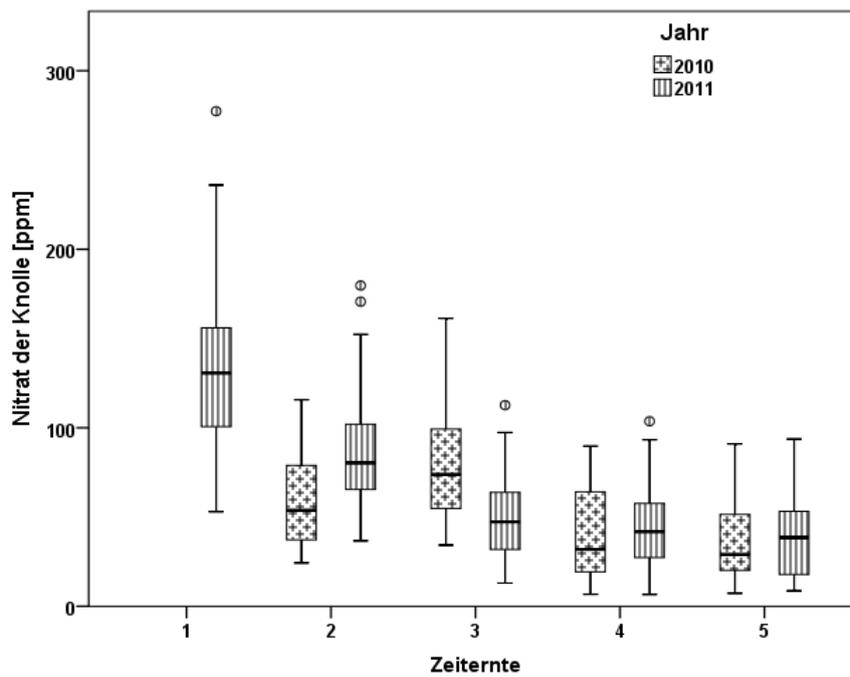


Abbildung 14: Jahresspezifischer Verlauf der Nitratmessungen in der Knolle [ppm] im Untersuchungszeitraum der jeweiligen Zeiternten der Jahre 2010 und 2011

Tabelle 12: Jahres- und sortenspezifischer Zeitpunkt an dem der Nitratgehalt der Zeiternte nicht mehr von dem der Haupternte unterscheidbar ist (Tukey-Test) und Nitratgehalt der Haupternte (HE)

Sorte	Reifegruppe	2010 (Nitratgehalt der HE)		2011 (Nitratgehalt der HE)	
Anuschka	sf	ZE 4	23,8ppm	ZE 3	16,4ppm
Biogold	sf	ZE 4	32,4ppm	ZE 4	30,0ppm
Salome	sf	ZE 4	37,6ppm	ZE 3	52,8ppm
Agila	f	ZE 4	73,5ppm	ZE 3	61,5ppm
Belana	f	ZE 4	34,9ppm	ZE 3	36,3ppm
Elfe	f	ZE 4	57,0ppm	ZE 3	42,2ppm
Franciska	f	ZE 4	50,5ppm	ZE 3	57,2ppm
Mirage	f	ZE 4	30,5ppm	ZE 3	22,1ppm
Miranda	f	ZE 4	18,3ppm	ZE 3	50,1ppm
Primadonna	f	ZE 4	18,4ppm	ZE 3	33,0ppm
Princess	f	ZE 4	83,6ppm	ZE 3	78,3ppm
Vitabella	mf	ZE 4	78,6ppm	ZE 3	49,5ppm
Adelina	mf	ZE 4	9,5ppm	ZE 3	10,5ppm
Allians	mf	ZE 4	10,5ppm	ZE 3	13,3ppm
Ditta	mf	ZE 4	32,3ppm	ZE 3	37,8ppm
Jelly	s	ZE 4	23,6ppm	ZE 3	12,3ppm

3.2.4 Anwendung des N- Versorgungsstatus

Um eine zweifelsfreie Aussage über die praxistaugliche Bestimmung der auf dem Feld erhobenen Parameter zu erhalten, ist eine Gegenüberstellung zu den laboranalytisch ermittelten Werten der Stickstoffversorgung notwendig. Zu diesen (Tabelle 5) gehörten, neben den Stickstoffanalysen des jeweils ersten voll entwickelten Blattes, der gesamten Krautmasse und des Stickstoffgehaltes der Knollen, Referenzproben für die Nitratuntersuchungen im Labor. Dies geschah 2010 zu den Zeiternten 2 bis 4 und an den Knollen der Haupternte.

Tabelle 13: Überblick über die Regressionskoeffizienten der Stickstoffuntersuchungen zwischen 2009 und 2011 (* = Abweichen von der linearen Anpassung)

	Stickstoffgehalt jüngstes voll entwickeltes Blatt	Stickstoffgehalt des oberirdischen Aufwuchses (Kraut)	Stickstoffgehalt der Knollen	Nitratgehalt der Knollen (Labor)
Yara-N-Tester	0,348	0,427	0,001	0,130
Nitrat des Stängelsaftes	0,429 (0,454*)	0,537(0,592*)	0,253	0,408
Nitratgehalt der Knollen	0,192	0,348	0,121	0,749

Obwohl gemessen am ersten voll entwickelten Blatt, fiel die Übereinstimmung der Werte des Yara-N-Tester zum Stickstoffgehalt des gesamten Aufwuchses mit $r^2=0,427$ deutlich besser aus als zum Stickstoffgehalt der jeweils jüngsten voll entwickelten Blattes (hier $r^2=0,348$). Die Regressionskoeffizienten zu den Knollen lieferten keinen Zusammenhang. Die Nitratbestimmung des Stängelsaftes lieferte ebenfalls mittlere bis gute Zusammenhänge zu den Stickstoffgehalten des jüngsten voll entwickelten Blattes und des Gesamtkrautes (Tabelle 13). Diese ließen sich bei Anwendung einer quadratischen Anpassung deutlich steigern. Der Nitratgehalt des Stängelsaftes wies einen Zusammenhang ($r^2=0,408$) zu dem im Labor bestimmten Nitratgehalt der Knollen auf. Auch der Nitratgehalt der Knollen zeigte einen gewissen Zusammenhang zum Stickstoffgehalt des oberirdischen Aufwuchses, jedoch nicht zum Stickstoffgehalt der Knollen. Die Nitratgehalte der Knollen wiesen, wie zu erwarten war, eine hohe Übereinstimmung mit den im Labor ermittelten Nitratgehalten in den Knollen auf ($r^2=0,749$).

3.2.5 Zusammenhang zwischen N- Versorgungsstatus und der N-Aufnahme

Wurde im vorherigen Kapitel versucht, Aussagen über die Zusammenhänge zwischen verwendeten Mess- und Analysemethoden zur direkten oder indirekten Stickstoffbestimmung zu treffen, sollen in diesem Kapitel die tatsächlichen Stickstoffentzüge und der Zusammenhang mit den oben genannten Mess- und Analysemethoden untersucht werden. Aus Tabelle 13 wird ersichtlich, dass die Yara-N-Messungen verglichen mit den Stickstoffgehalten des oberirdischen Aufwuchses einen relativ hohen

Regressionskoeffizienten lieferten. Abbildung 15 stellt den Zusammenhang ($r^2=0,432$) zwischen mittels Yara-N gemessenen Werten und den Stickstoffentzügen durch den oberirdischen Aufwuchs dar.

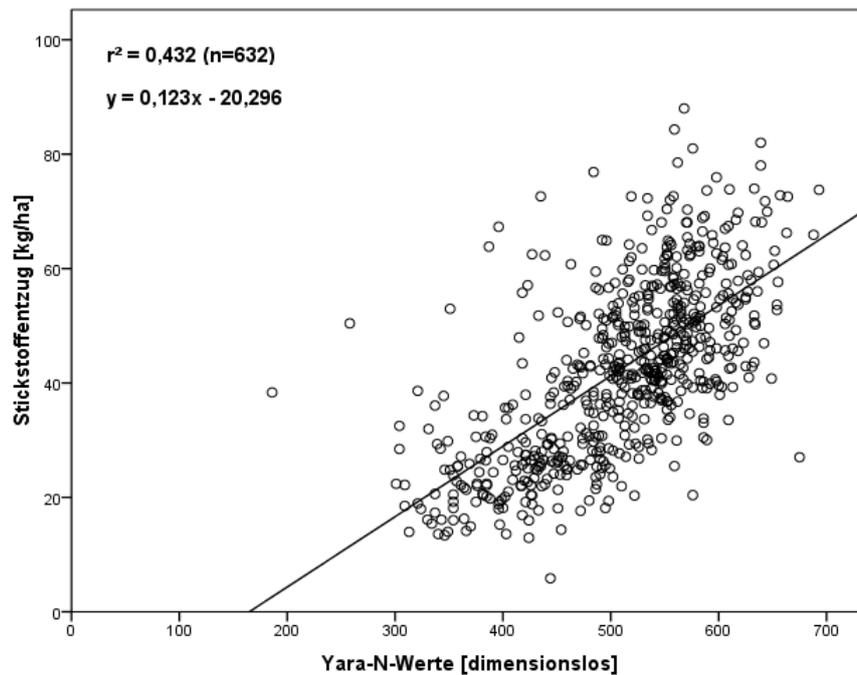


Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Yara-N-Messung und Stickstoffentzug des oberirdischen Aufwuchses

Der Nitratgehalt des Stängelsaftes ließe sich aus den vorangegangenen Betrachtungen sowohl mit dem Stickstoffentzug des Krautes, als auch mit dem Stickstoffentzug der Knollen vergleichen. In beiden Fällen waren mittels Regressionsanalyse jedoch nur Regressionskoeffizienten von $r^2=0,227$ (Stängelsaft-Knolle) und von $r^2=0,235$ zu verzeichnen, was für einen geringen Zusammenhang spricht. Abschließend lässt sich der Nitratgehalt der Knollen mit dem Stickstoffentzug der Knollen vergleichen. Doch auch hier wurde bei linearer Anpassung ein Regressionskoeffizient von lediglich $r^2=0,160$ berechnet.

3.2.6 Restnitratgehalt im Boden

Der Rest-Nitrat-Gehalt eines Bodens nach Ernte der Hauptkultur kann als wichtiger Indikator für eine umweltverträgliche Landwirtschaft herangezogen werden. Abbildung 16 zeigt hierzu den verbliebenen Restnitratgehalt der vier Referenzsorten der untersuchten Reifegruppen zwischen 2009 und 2011. Während die Ergebnisse des Jahres 2011 statistisch nicht

unterscheidbar sind und auf einem Niveau zwischen 30 und 40kg NO₃-N/ha liegen, zeigen sich für die Jahre 2009 und 2010 gegensätzliche Ergebnisse des Restnitratgehaltes. 2009 stiegen diese mit zunehmender Reifegruppe und lagen zwischen 35kg/ha bei der sehr frühen Sorte (Salome) und 54kg/ha bei der Sorte Jelly (s). Die Mittelwerte des Jahres 2011 waren statistisch nicht unterscheidbar. In 2010 hingegen konnten Unterschiede zwischen den Sorten abgesichert werden. Die sehr frühe und die frühe Sorte lagen hier mit etwa 39ka/ha und 35kg/ha in etwa gleich auf und unterschieden sich von der Gruppe der mittelfrühen Sorte (Ditta, 23kg/ha) und der späten Sorte (Jelly, 20kg/ha)

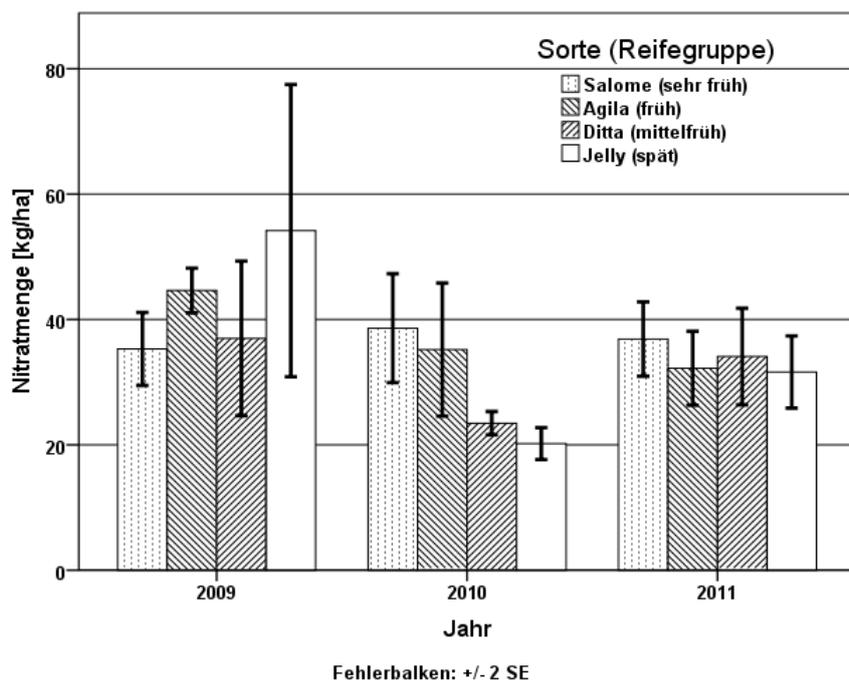


Abbildung 16: Verbliebener Restnitratgehalt [kg NO₃-N/ha] der Bodenschicht (0-60) unter den Haupternte-parzellen am Ende der jährlichen Vegetationsperiode

3.3 Unkrautunterdrückungspotenzial und Krautfäuleverlauf

3.3.1 Wachstumsverlauf des oberirdischen Aufwuchses und das daraus resultierende Unkrautunterdrückungspotenzial

Für eine detaillierte Aussage zum Unkrautunterdrückungspotenzial sollten neben den vorliegenden Sorteneigenschaften nicht nur einzelne Messungen der Zeiternten Berücksichtigung finden, sondern möglichst der gesamte untersuchte Vegetationszeitraum in den vermutlich maßgeblichen Parametern Berücksichtigung finden.

Dargestellt in Abbildung 17 ist der kumulierte Krautertrag der 16 untersuchten Sorten zwischen den Zeiternten 1 und 4. Deutlich wird aus Abbildung 17, dass mit zunehmender Reifegruppe auch der kumulierte Krautertrag zunimmt. Das höchste dreijährige Mittel wird entsprechend durch die späte Sorte Jelly (4034) erzielt. Zu beobachten ist neben den signifikanten Jahres- und Sorteneffekten auch die signifikante Wechselwirkung der Ergebnisse, wobei Sorten mit höheren dreijährigen Mittelwerten eine größere Streuung der Ergebnisse aufweisen als Sorten mit einem niedrigeren kumulierten Krautertrag. Besonders große Sortenunterschiede waren bei den Sorten der frühen Reifegruppe zu sehen.

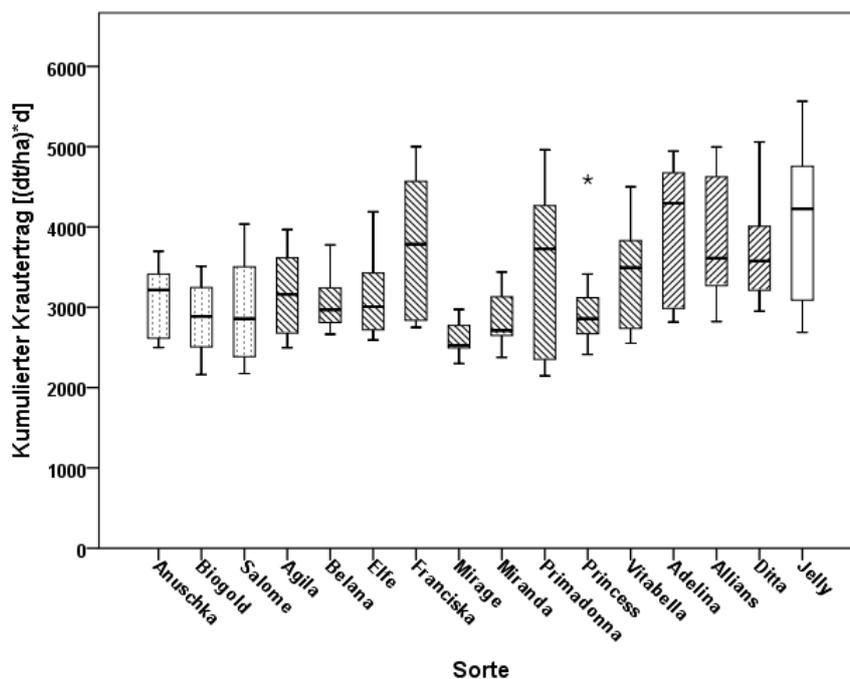


Abbildung 17: Kumulierter Krautertrag [(dt/ha)*d] vom Auflaufen bis zur Zeiternte 4 der 16 untersuchten Sorten (2009-2011)

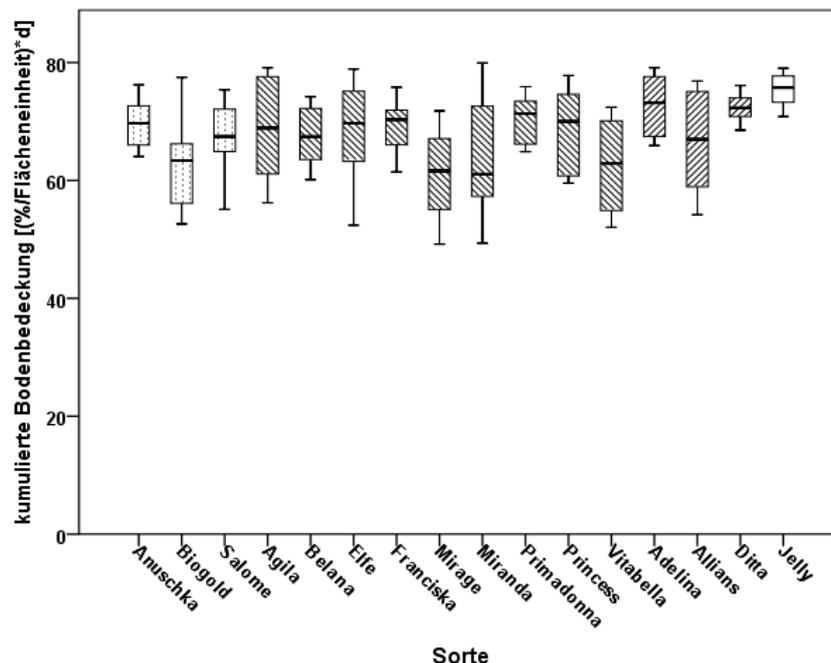


Abbildung 18: Sortenspezifische durchschnittliche Bodenbedeckung [(%/Flächeneinheit)*d] der 16 untersuchten Sorten im Untersuchungszeitraum 2009 und 2010 (ZE1 bis ZE4)

Neben dem kumulierten Krautertrag, sollte die durchschnittliche Bodendeckung als weiteres mögliches Maß für ein hohes Unkrautunterdrückungspotenzial geprüft werden. Abbildung 18 zeigt hierzu die mittlere Bodendeckung zwischen der Zeiternte 1 und 4. Es wurden mittlere Bodendeckungsgrade (2009 und 2010) zwischen etwa 61% (Sorte Mirage) und 75% bei der Sorte Jelly erreicht. Jedoch lag auch für diesen Parameter eine signifikante Wechselwirkung aus Jahr und Sorte vor.

Abbildung 19 bestätigt die Verhältnisse der vorher genannten Aspekte. Auch innerhalb der Sorten können hohe sortenspezifische Streuungen der Ergebnisse innerhalb der drei Versuchsjahre gefunden werden, sodass die entsprechend berechnete Wechselwirkung (Sorte*Jahr) auch für diesen Parameter signifikant ausfällt ($p=0,005$). Auffällig sind jedoch folgende Aspekte: zum einen lassen sich wie schon in zahlreichen anderen untersuchten Parametern große Streuungen innerhalb der frühen Reifegruppe feststellen. Hier wurden zwischen 28% (Sorte Primadonna) und 43% (Sorte Mirage) im dreijährigen Durchschnitt ermittelt. Zum anderen fiel auf, dass die eher späteren Sorten die wesentlich niedrigeren und, im Sinne des Parameters, positiveren Ergebnisse aufweisen. So erreichte die Sorte Jelly mit etwa 20% die geringsten Deckungsgrade an Unkräutern.

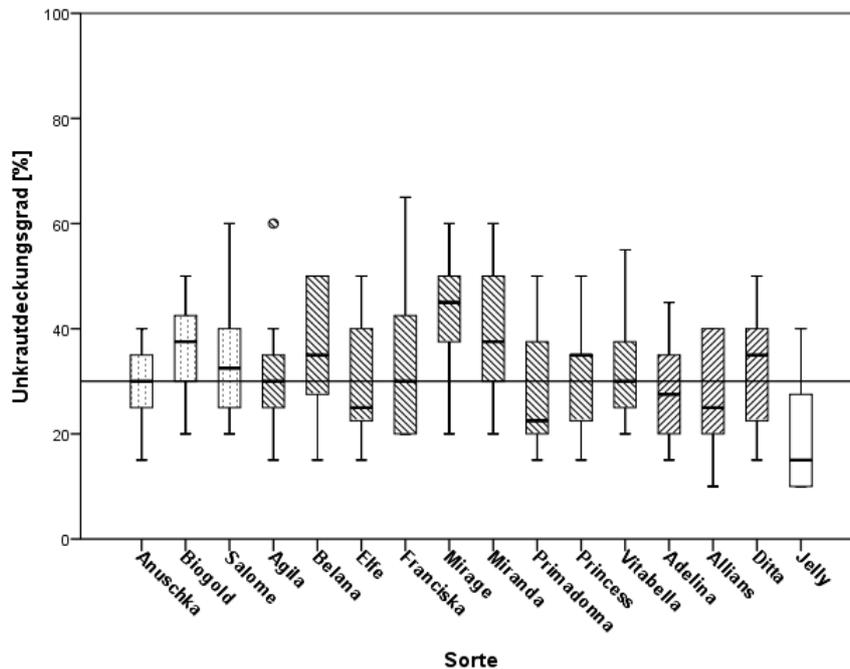


Abbildung 19: Dreijähriger Unkrautdeckungsgrad der 16 untersuchten Sorten zwischen (2009-2011)

3.3.2 Ursachen eines hohen Unkrautunterdrückungspotenzials

Als mögliche Ursachen für eine erfolgreiche Unkrautunterdrückung ließen sich entsprechend zwei hypothetische Zusammenhänge mit den zur Verfügung stehenden Daten prüfen. Als Erstes könnten Sorteneigenschaften wesentliche Gründe für ein gutes Unkrautpotenzial liefern. Zu nennen wären hier die Reifegruppe, der Wuchstyp und die Wuchsform. Sowohl für den Wuchstyp, als auch für die Wuchsform lagen jedoch nur sehr geringe Unterschiede innerhalb des Sortiments vor (Tabelle 4). Besser kann dies für die Reifegruppe bewertet werden, da entsprechend den vier Reifegruppen jeweils mindestens eine Sorte untersucht wurde. Die zweiseitige Korrelation nach Pearson wies jedoch nur einen sehr geringen Zusammenhang von 0,262 aus, sodass auch hier keine klaren Aussagen getroffen werden können.

Weitere Eigenschaften, die ein hohes Unkrautunterdrückungspotenzial erwarten ließen, wurden geprüft: zum einen der kumulierte Krautertrag (Abbildung 17) und zum anderen der durchschnittliche Bodendeckungsgrad (Abbildung 18). Doch auch hier konnten keine eindeutigen erklärenden Zusammenhänge gefunden werden (Unkrautdeckung vs Bodendeckung: $r^2=0,178$; Unkrautdeckung vs Bodendeckung: $r^2=0,002$).

3.3.3 Bestimmung der Krautfäuleanfälligkeit

Zur Bestimmung der Krautfäuleanfälligkeit kann lediglich das Jahr 2009 herangezogen werden. Abbildung 20 zeigt den Krautfäuleverlauf als Fläche unter der Befallskurve (Area Under Disease Progress Curve) für die in 2009 untersuchten Sorten. Abschließend ließen sich signifikante Sorteneffekte nachweisen. Neben den als tolerant geltenden Sorten Biogold und Vitabella wiesen vor allen Dingen die späten Sorten eine eher geringe Befallsentwicklung auf. Entsprechend erreichte die Sorte Adelina, als ausdrücklich nicht tolerant beschriebene Sorte, ein Ergebnis von lediglich 39, während Sorten wie Princess, Primadonna, Francisca oder Miranda, alles Sorten der frühen Reifegruppe, Werte von deutlich über 400 erzielten. Festzustellen war, mit der Einschränkung einer nur einjährigen Erhebung, eine zum Teil prägnante Abweichung von der Einstufung des Bundessortenamtes.

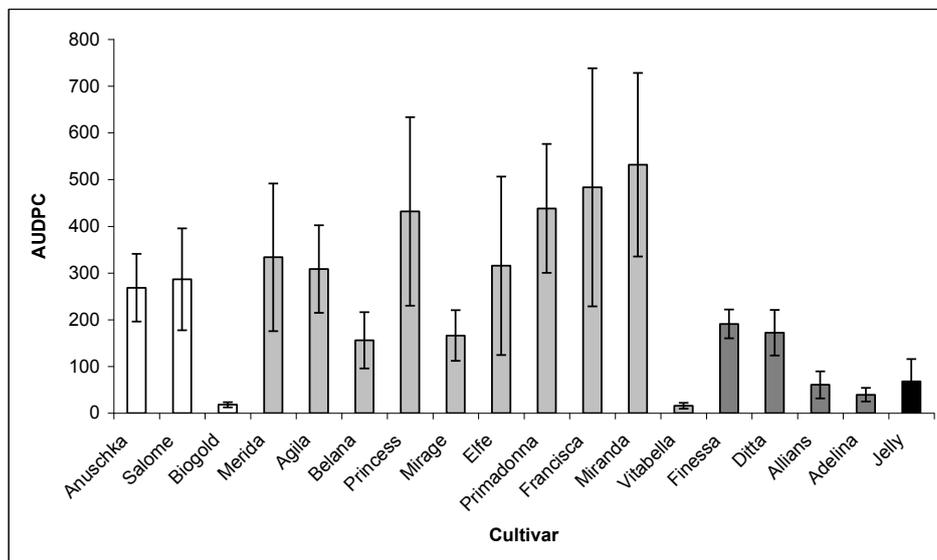


Abbildung 20: Krautfäuleverlauf des Jahres 2009 dargestellt als Fläche unter der Befallskurve (AUDPC)

3.3.4 Wechselwirkung zwischen Unkrautunterdrückung und Krautfäuleverlauf

Abschließend zeigt Abbildung 21 den Zusammenhang zwischen Krautfäuleverlauf und Unkrautdeckungsgrad. Zu erwarten wäre hier gewesen, dass ein schneller Krautfäuleverlauf, der sich in einem hohen Wert der AUDPC ausdrückt zu einem höheren Unkrautauflaufen führt. In Abbildung 21 wird jedoch deutlich, dass der entsprechend erläuterte Zusammenhang nicht vorzufinden war. Das Ergebnis der durchgeführten Regressionsanalyse weist hier lediglich ein Ergebnis von $r^2=0,035$ aus. Somit ist davon auszugehen, dass auch der Krautfäuleverlauf, als ein in einzelnen Jahren auftretendes Phänomen, keinen wesentlichen Einfluss auf das Unkrautauflaufen ausübt.

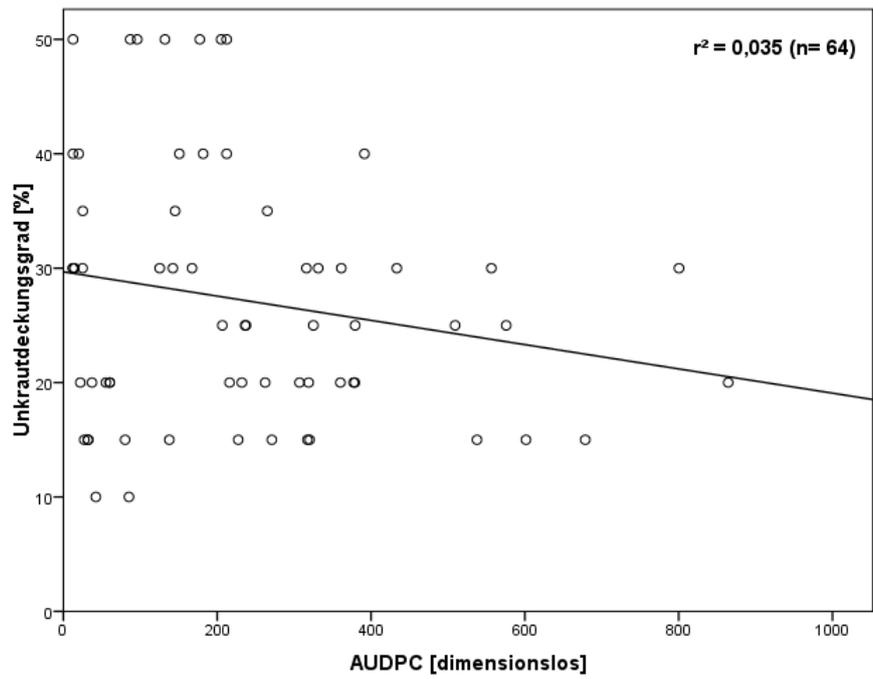


Abbildung 21: Zusammenhang zwischen Krautfäuleverlauf, dargestellt als Fläche unter der Befallskurve (AUDPC) und Unkrautdeckungsgrad [%]

4 Diskussion der Ergebnisse

Ertragsbildung und Ertragskomponenten

Die Ergebnisse belegen, dass sowohl der Rohertrag, als auch der Marktertrag von Kartoffeln im Ökologischen Landbau großen jahresabhängigen Schwankungen unterliegen. Aufgrund der signifikanten Wechselwirkungen der Faktoren Sorte*Jahr kann keine eindeutige Sortenempfehlung (hohes Ertragspotenzial) abgeleitet werden.

Es konnte jedoch belegt werden, dass der Einfluss der Reifegruppe sowohl auf den Rohertrag, als auch auf den Marktertrag hoch ist und dass Sorten der späteren Reifegruppen zwar einerseits die höchsten realisierbaren Erträge erwarten lassen, jedoch nicht konsistent über die Jahre. Die Bildung der Indexwerte ermöglichte die Abpufferung von jahresspezifisch ertragsrelevanten Effekten. Die Varianzen der Indexwerte konnten einen weiteren Hinweis auf die Ertragsstabilität von Sorten liefern. Für Sorten ab der mittelfrühen Reifegruppe wurden die höchsten Varianzen berechnet, was belegt, dass später reifende Sorten im Ökologischen Landbau eine geringere Ertragsstabilität aufweisen. Eine Aussage über die relative Vorzüglichkeit bestimmter Sorten im Sinne der Ertragsoptimierung, bei limitierter Verfügbarkeit von den Ertrag sichernden Anbaumaßnahmen (mineralische Düngung, chemischer Pflanzenschutz), wird dadurch möglich.

Die Berechnung des Ertragszuwachses, erzielt mit Hilfe des angewendeten mathematischen Zusammenhangs, lieferte über die Bildung der Stammfunktion und deren intervallspezifische Berechnung vertiefende Einblicke in die Ertragsentwicklung der Sorten. Die objektive Bewertung der Ertragsentwicklung wurde durch Berechnung der 95% Ertragsschwelle ergänzt. In der Folge ließen sich die Sorten in entsprechende „Risikogruppen“ einteilen, welche den Kategorien I bis IV zugeordnet sind. Die Bewertung und Auswahl der Sorten im Sinne der Sicherung und Optimierung der Erträge kann mit Hilfe dieses Instruments erfolgen.

Ergänzend lieferte die Analyse der Ertragsstrukturparameter und –komponenten Erkenntnisse über mögliche Kausalzusammenhänge bei der Ertragsbildung. So wurde deutlich, dass Roh- bzw. Marktertrag nicht direkt aus den Ertragsstrukturkomponenten ableitbar sind. Möglich ist hingegen eine Aussage zur Ertragsstruktur einer Sorte, welche über die Bestimmung der Einknollenmasse und der Knollendichte erfolgen kann. Die Ergebnisse bestätigen die Hypothese, dass Sorten mit geringer Knollendichte und gleichzeitig hohen Einzelknollenmassen im Ökologischen Landbau zu bevorzugen sind, weil diese den relativ höchsten Marktwareertrag erwarten lassen.

Stickstoffaufnahme, -verwertung und -nutzungseffizienz sowie Bestimmung des N-Versorgungsstatus

Für den Stickstoffentzug der Knollen bis zur Haupternte (Menge Stickstoff im Erntegut) konnten jahresspezifisch keine oder nur geringe Sortenunterschiede festgestellt und/oder abgesichert werden. Traten diese in Einzelfällen auf, so ließen sie sich zumeist durch andere Einflussfaktoren als den Genotypen erklären, z.B. durch den frühen Befall mit Schaderregern, erklären. In der vorliegenden Untersuchung mag auch ein Mangel an zur Verfügung stehendem Stickstoff zu einer Unterversorgung der Sorten mit längerer Vegetationsperiode beigetragen haben. Sortenunterschiede könnten hinsichtlich der Aufnahmerate des Stickstoffes existieren, Ob eine systematische sortenbedingt unterschiedliche Stickstoffaufnahme existiert, könnte ein N-Steigerungsversuch beantworten.

Die Analyse der beiden N-Effizienzparameter, Aufnahme und –verwertungseffizienz, belegte deren gegensätzliche Reaktion auf die Sorte.. In der vorliegenden Untersuchung wurde grundsätzlich nur der Zeitraum zwischen dem 60-igsten und dem 90-igsten Tag nach dem Legen berücksichtigt. Eine weiterführende Untersuchung der vorgeschlagenen Effizienzparameter sollte zukünftig über die gesamte Vegetationsperiode erfolgen.

Die Ergebnisse der Stickstoffnutzungseffizienz sind vor dem Hintergrund eines wohl auch in der vorliegenden Untersuchung herrschenden Stickstoffmangels zu interpretieren. Die Untersuchung zeigte, dass Sorten späterer Reifegruppen wesentlich effizienter mit dem vorhandenen Stickstoff umgehen. Dies ist wohl auf die ausgeschöpfte längere Vegetationsperiode bei ausbleibendem oder nur verhaltenem Krautfäulebefall zurückzuführen. Beobachtet werden konnte jedoch auch, dass in der frühen Reifegruppe Sorteneffekte in der Stickstoffnutzungseffizienz nachzuweisen waren. Diese liegen wohl aber (auch) darin begründet, dass Sorten, welche genetisch bedingt einen hohen Trockensubstanzgehalt aufweisen, grundsätzlich in ihrer Nutzungseffizienz des Stickstoffs bezogen auf den tatsächlich erzielten Rohertrag denjenigen mit geringen Trockensubstanzgehalten unterlegen sind.

Für die nicht destruktive, einfach handhabbare Messmethode zur Bestimmung des N-Versorgungsstatus im Feld (Yara-N) lag lediglich eine Beziehung mittlerer Güte zu den im Labor vorgenommenen Analysewerten vor. Für die weitere Verbesserung der Aussagefähigkeit von Yara-N-Messwerten müsste wohl eine zusätzliche sortenspezifische Korrektur bei der Interpretation der gemessenen Werte erfolgen, wie sie obligatorisch bereits bei Weizen existiert. In der vorliegenden Untersuchung ließ sich lediglich ein mittlerer Zusammenhang zum N-Gehalt des oberirdischen Aufwuchses nachweisen.

Zu welchem Zeitpunkt ein Messwert (Schwellenwert) im Blatt bestimmt werden muss, um auf einen eventuell den Ertrag limitierenden Stickstoffmangel hinzuweisen, könnte in zukünftigen N-Steigerungsversuchen mit zeitlich gestaffelten Probenahmen bestimmt werden. Die Kenntnis von demjenigen Zeitpunkt, zu dem bei Unterschreiten eines noch zu erarbeitenden Schwellenwertes kein weiterer Ertragszuwachs zu erwarten ist, würde einen effizienteren Einsatz des umstrittenen Pflanzenschutzmittels Kupfer ermöglichen und wäre ein wichtiger Schritt in Richtung eines nachhaltigeren ökologischen Kartoffelanbaus.

Die halbquantitative Bestimmung des Nitratgehaltes der Knollen kann als kostengünstige und recht verlässliche Methode empfohlen werden. Rückschlüsse auf den Verlauf der N-Aufnahme bzw. tatsächlichen Entzug an Stickstoff lassen sich anhand der untersuchten Messmethoden (Nitrat im Stängelsaft) jedoch nicht treffen. Auch aus dem zur Endernte der Knollen noch verfügbaren Restnitratgehalt des Bodens lassen sich keine gesicherten Rückschlüsse auf die Bedeutung der Reifegruppe (oder Sorte) ziehen.

Hinsichtlich des auch noch zur Haupternte als Nitrat-N in der Knolle vorliegenden Stickstoffs (Restnitrat), konnten Sorteneffekte nachgewiesen werden. Später reifende Sorten und Sorten mit eher hohem Trockensubstanzgehalt wiesen geringere Restnitratmengen auf. Anhand der mit einer halbanalytischen einfachen Testmethode ermittelten Nitratkonzentrationen in den Knollen, ließe sich der Stickstoffversorgungsstatus von Kartoffelbeständen wohl hinreichend genau nachweisen.

Unkrautunterdrückungspotenzial und Krautfäuleverlauf

Bezüglich des Unkrautunterdrückungspotenzials konnte kein eindeutiger Einfluss der Reifegruppe (Sorte) nachgewiesen werden. Der am Ende der Vegetationsperiode erhobene Unkrautdeckungsgrad stand in keinem klaren Zusammenhang mit den vermuteten Einflussgrößen kumulierte Krautmasse und Bodendeckungsgrad. Gezeigt werden konnte auch, dass der sortenabhängig unterschiedliche Verlauf der Krautfäule keinen wesentlichen Einfluss auf das Unkrautunterdrückungspotenzial einer Sorte hat. Man hätte hier erwarten können, dass ein vorzeitiges Absterben anfälliger Sorten den Wuchs von bereits vorhandenem, doch aufgrund der bestehenden Beschattung durch das Blattwerk der Staude unterdrücktem Unkraut fördert.

Sortenmerkmale, welche eine gewisse Unterdrückung von Unkraut über die Vegetationsperiode versprechen, konnten wegen Mangel an Varianz im Sortenspektrum nicht in ihrer Wirkung quantifiziert werden. Fraglich bleibt, ob ein entsprechendes Versuchsdesign, das eine weitere Bandbreite von Ausprägungen der Merkmale Wuchsform und Wuchsverhalten beinhaltet, relevante Aussagen liefern würde. Solche Versuche zur

Klärung dieser Fragestellung fehlen bisher. Eine abschließende Aussage kann somit nicht getroffen werden.

Die Krautfäule hatte lediglich in einem Jahr sichtbaren Einfluss auf die Entwicklung des oberirdischen Aufwuchses. Die Hypothese, dass der tatsächliche Krautfäuleverlauf (Intensität des Verlaufes (ausgedrückt als Fläche unter der Befallskurve) und Angaben zur Krautfäuleanfälligkeit (Bundessortenamt oder den Züchtern zur Verfügung gestellt) nicht zwangsläufig übereinstimmen müssen, konnte daher nicht geprüft werden. Die vorliegenden einjährigen Ergebnisse weisen zumindest darauf hin, dass solche Abweichungen vom Erwartungswert auftreten können. Zu berücksichtigen sind bei der Interpretation jedoch folgende Fehlerquellen, die den Krautfäuleverlauf in einzelnen Parzellen beeinflussen können und die in Versuchen wie dem vorliegenden (ohne krautfäulefreie Kontrolle), auftreten können: nestartige Initialausbreitung der Krautfäule im Bestand und durch Randomisation auftretende Konkurrenzverschiebung im Krautfäuleverlauf und des daraus abgeleiteten Resistenzniveaus.

5 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse

In der vorliegenden Studie konnten zusätzliche Fragestellungen, die bislang keine oder nur eine sehr geringe Rolle bei der Bewertung der Eignung von Kartoffelsorten für den Ökologischen Landbau spielten, in einem drittmittelgestützten Sortenversuch des Verbandes der Landwirtschaftskammern (BÖLN-Projekt 2809OE001) integriert werden.

Der Nutzen der Ergebnisse liegt in einigen neuen Erkenntnissen zur Ertragsbildung von Öko-Kartoffelsorten unterschiedlicher Reifegruppen bei limitierter Stickstoffversorgung und Verzicht auf Pflanzenschutz (Kupferanwendung). Die Erkenntnisse können Anwendung finden bei der Formulierung von Sortenempfehlungen aus zukünftigen Öko-Kartoffellandessortenversuchen, sofern diese die Notwendigkeit der Durchführung von Zeiternten berücksichtigen.

Zudem hat die vorliegende Studie die Grundlagen erweitert, die notwendig sind, um fundierte Entscheidungen bei der Anwendung von Kupferpräparaten zu treffen. Die Nutzung einer großen Grundgesamtheit (Spektrum von 16 Sorten bei gleichzeitig vier Zeiternten) ermöglichte die Schaffung eines großen Datenpools zu Parametern des Stickstoffhaushaltes von Öko-Kartoffeln und der Bestimmung des N-Versorgungsstatus. In Verbindung mit einem im Rahmen dieses Projekts angewandten Wachstumsmodells, können die Erkenntnisse zu geeigneten Mess- und Analysemethoden in den nun erforderlichen faktoriellen Feldversuchen (N-Düngung * Pflanzenschutz * Sorte) genutzt werden.

6 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

Die Feldversuche in den drei Versuchsjahren konnten wie geplant durchgeführt werden.

7 Zusammenfassung

In den Jahren 2009-2011 wurde auf der seit 2001 ökologisch bewirtschafteten Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen (Lehr- und Versuchsbetrieb der Universität Kassel; 698 mm; 8,9°C; mittlerer toniger Schluff) ein Feldversuch mit vier im Abstand von 10 Tagen durchgeführten Probenahmen zu ausgewählten Fragestellungen der Ertragsbildung, Stickstoffeffizienz, Methoden der Bestimmung des N-Versorgungsstatus und des Unkrautunterdrückungspotenzials von 16 Kartoffelsorten durchgeführt.

Die Ergebnisse belegen, dass sowohl der Rohertrag, als auch der Marktertrag von Kartoffeln im Ökologischen Landbau großen jahresabhängigen Schwankungen unterliegen. Aufgrund der signifikanten Wechselwirkungen der Faktoren Sorte*Jahr kann keine eindeutige Sortenempfehlung (hohes Ertragspotenzial) abgeleitet werden. Es konnte jedoch belegt werden, dass der Einfluss der Reifegruppe sowohl auf den Rohertrag, als auch auf den Marktertrag hoch ist und dass Sorten der späteren Reifegruppen zwar einerseits die höchsten realisierbaren Erträge erwarten lassen, jedoch nicht konsistent über die Jahre. Später reifende Sorten scheinen im Ökologischen Landbau eine geringere Ertragsstabilität aufzuweisen. Die Ergebnisse bestätigen außerdem die Hypothese, dass Sorten mit geringer Knollendichte und gleichzeitig hohen Einzelknollenmassen im Ökologischen Landbau zu bevorzugen sind, weil diese den relativ höchsten Marktwareertrag erwarten lassen.

Die Anwendung eines mathematischen Wachstumsmodells erlaubt Aussagen über die sortenspezifische Ertragsbildung von Kartoffeln bei Verzicht auf den Einsatz von Pflanzenschutz (Kupfer). Die geprüften Sorten konnten in sogenannte Risikogruppen eingeordnet werden. Das geringste Anbaurisiko ist mit der Wahl einer Sorte verbunden, die relativ gesehen, ein überdurchschnittliches Ertragsniveau bei gleichzeitig überdurchschnittlicher relativer Ertragszuwachsgeschwindigkeit aufweist und dies mit einer geringen Streuung über die Jahre. Die Ergebnisse belegen weiterhin, dass im Ökologischen Landbau der maximale Knollenertrag von Sorten der Reifegruppen I bis III bereits 90 Tage nach dem Legen erreicht sein kann, wenn die Intensität der Krautfäule gering ist Grund hierfür ist der limitiert zur Verfügung stehende Stickstoff. Diese Information sollte bei der Festlegung des Zeitpunktes der Krautbeseitigung und des Rodetermins berücksichtigt werden und könnte u.a. dazu dienen, den Befall des Erntegutes mit *Rhizoctonia solani* zu reduzieren.

Da in den meisten Anbauszenarien im ökologischen Kartoffelanbau der Stickstoff limitierend sein dürfte, stellte sich die Frage ob sich das zu prüfende Sortiment, zumeist gängige Repräsentanten des Anbaus in der Praxis, in Stickstoffparametern wie der N-Aufnahme, -Verwertung und -Nutzungseffizienz unterscheidet. Die erhobenen Daten erlauben keine klare

Aussage über Sortenunterschiede in der N-Nutzungseffizienz. Die Untersuchung zeigte weiter, dass bei ausbleibendem oder nur verhaltenem Krautfäulebefall Sorten späterer Reifegruppen wesentlich effizienter mit dem vorhandenen Stickstoff umgehen. Die Tatsache, dass Kartoffelsorten genetisch bedingt und auch umweltabhängig unterschiedliche Trockensubstanzgehalte aufweisen, erschwert jedoch die Verwendung eines solchen Parameters.

Weiter wurden unterschiedliche Messmethoden der Stickstoffversorgung darunter einfache, Methoden wie Yara-N und die Nitrat-Bestimmung im Stängelsaft mittels Teststreifen auf ihre Praktikabilität und Verlässlichkeit (Vergleich mit anerkannter Laboranalytik) geprüft. Gleichzeitig war es Ziel, zu untersuchen, ob sich der Stickstoffversorgungsstatus im Verlauf der Vegetationsperiode verändert und ob Wechselwirkungen mit der Sorte vorliegen. Für die nicht destruktive, einfach handhabbare Messmethode zur Bestimmung des N-Versorgungsstatus im Feld (Yara-N) lag lediglich eine Beziehung mittlerer Güte, zu den im Labor erarbeiteten Analysewerten, vor. Für die weitere Verbesserung der Aussagefähigkeit von Yara-N-Messwerten müsste wohl eine zusätzliche sortenspezifische Korrektur bei der Interpretation der gemessenen Werte erfolgen. Aus den Untersuchungen konnte die Erkenntnis gezogen werden, dass der N-Versorgungsstatus zu definierten Probenahmeterminen stark vom Anbaujahr und dessen Wechselwirkung mit der Sorte beeinflusst wird. Die Kenntnis des Zeitpunktes, zu dem bei Unterschreiten eines noch zu erarbeitenden Schwellenwertes (z.B. N-Gehalt des jüngsten voll entwickelten Blattes) auch bei vollem Einsatz von Pflanzenschutz (Kupfer) kein weiterer Ertragszuwachs zu erwarten ist, muss in weiterführenden N-Steigerungsversuchen erlangt werden. Die Verknüpfung des in dieser Studie entwickelten Wachstumsmodells zur Ertragsbildung und gewonnenen Erkenntnissen zum N-Haushalt der Kartoffel sollte eine Grundlage dazu liefern.

Die halbquantitative Bestimmung des Nitratgehaltes der Knollen kann als kostengünstige und recht verlässliche Methode empfohlen werden. Rückschlüsse auf den Verlauf der N-Aufnahme bzw. den tatsächlichen Entzug an Stickstoff lassen sich anhand der untersuchten Messmethoden (Nitrat im Stängelsaft) jedoch nicht treffen. Auch aus dem zur Ernte der Knollen noch verfügbaren Restnitratgehalt des Bodens lassen sich keine gesicherten Rückschlüsse auf die Bedeutung der Reifegruppe (oder Sorte) ziehen.

Hinsichtlich des auch noch zur Haupternte als Nitrat-N in der Knolle vorliegenden Stickstoffs (Restnitrat), konnten Sorteneffekte nachgewiesen werden. Später reifende Sorten und Sorten mit eher hohem Trockensubstanzgehalt wiesen geringere Restnitratmengen auf. Anhand der mit einer halbanalytischen einfachen Testmethode ermittelten Nitratkonzentrationen in den Knollen, ließe sich der Stickstoffversorgungsstatus von Kartoffelbeständen wohl hinreichend genau nachweisen.

Bezüglich des Unkrautunterdrückungspotenzials konnte kein eindeutiger Einfluss der Reifegruppe (Sorte) nachgewiesen werden. Der am Ende der Vegetationsperiode erhobene Unkrautdeckungsgrad stand in keinem klaren Zusammenhang mit den vermuteten Einflussgrößen kumulierte Krautmasse und Bodendeckungsgrad. Gezeigt werden konnte auch, dass der sortenabhängig unterschiedliche Verlauf der Krautfäule keinen wesentlichen Einfluss auf das Unkrautunterdrückungspotenzial einer Sorte hat.

Sortenmerkmale, welche eine gewisse Unterdrückung von Unkraut über die Vegetationsperiode versprechen, konnten wegen Mangel an Varianz im Sortenspektrum nicht in ihrer Wirkung quantifiziert werden. Fraglich bleibt, ob ein entsprechendes Versuchsdesign, das eine weitere Bandbreite von Ausprägungen der Merkmale Wuchsform und Wuchsverhalten beinhaltet, relevante Aussagen liefern würde. Die Krautfäule hatte lediglich in einem Jahr sichtbaren Einfluss auf die Entwicklung des oberirdischen Aufwuchses, jedoch nicht auf das Unkrautunterdrückungspotenzial.

8 Literaturverzeichnis

- Finckh, M.R.**, E. Schulte-Geldermann und C. Bruns (2006): Challenges to organic potato farming: Disease and nutrient management. *Potato Research* 49:27-42.
- Firman, D.M.** und E.J. Allen (1996): Relationship between light interception, ground cover and leaf area index in potatoes. *J Agric Sci* 113:355-359.
- Gianquinto, G., J.P.** Goffart, M. Oda, M. Colauzzi, L. Dalla Costa, G. Delle Vedove, J. Vos und D.K.L. MacKerron (2004): The use of hand-held chlorophyll meters as a tool to assess the nitrogen status and to guide nitrogen fertilization of potato crops. *Potato Res* 47:35-80.
- Goffart, J.P.**, M. Olivier und M. Frankinet (2008): Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: past - present – future. *Potato Res* 51:355-383.
- Haase, N.U.** (2003): Estimation of dry matter and starch concentration in potatoes by determination of under-water weight and near-infrared spectroscopy. *Potato Res* 46:117-127.
- Haase T**, C. Schüler und J. Heß (2003): Bestandesdichte optimieren – Einfluss der Bestandesdichte auf den Ertrag relevanter Kartoffelsortierungen im Ökologischen Landbau. *Kartoffelbau* 54(3):96-101.
- Haase T**, Schüler C, Heß J (2007a) The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) for processing. *European Journal of Agronomy* 26:187-197.
- Haase T.**, C. Schüler, H. P. Piepho, H. Thöni und J. Heß (2007b): The effect of preceding crop and presprouting on crop growth, N uptake and tuber yield of organic maincrop potatoes for processing under conditions of N stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193:270-291.

- Hack, H.**, H. Gall, T. Klemke, R. Klose, R. Meier, R. Strauss und A. Witzemberger (1993): The BBCH scale for phenological growth stages of potato (*Solanum tuberosum* L.). Poster zur 12. Triennial Conference of the EAPR, 18. – 23. Juli 1993, Paris, 153-154.
- Haverkort, A.** und A. Verhagen (2008): Climate change and its repercussions for the potato supply chain. *Potato Res* 51:223-237.
- Hayer, F.**, J. Benz, E. Schulte-Geldermann, C. Bruns und M. R. Finckh (2007): Effects of *Phytophthora infestans* on potato yield in organic farming as influenced by nutrient status. In: Copping, L., Peregrine, K. und G. Matthews: The 2007 BCPC/IPPC Congress in Glasgow. *Outlooks on Pest Management*, 18(6):245-253.
- Heß, J.** (1995): Residualer Stickstoff aus mehrjährigem Feldfutterbau: Optimierung seiner Nutzung durch Fruchtfolge und Anbauverfahren unter den Bedingungen des Ökologischen Landbau. Wissenschaftlicher Fachverlag Gießen. 103 S.
- James, C.** (1971): A manual of assessment keys for plant diseases. American Phytopathological Society, ASP Press, St. Paul, MN.
- Jarvis, S.C.**, E.A. Stockdale, M.A. Sheperd und D.S. Powlson (1996): Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and management. *Adv Agron* 57:187-235.
- Lewis, R.J.** und S.L. Love (1994): Potato genotypes differ in petiole- nitrate-nitrogen concentrations over time. *HortScience* 29:175-179.
- Mackerron, D.K.L.**, W. Young und H.V. Davies (1995): A critical assessment of the value of petiole sap analysis in optimising the nitrogen nutrition of the potato crop. *Plant Soil* 172:247-260.
- Möller, K.** und H.-J. Reents (2007): Impact of agronomic strategies (seed tuber pre-sprouting, cultivar choice) to control late blight (*Phytophthora infestans*) on tuber growth and yield in organic potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. *Potato Research* 50/1:15-29.

- Möller, K.**, J. Habermeyer, V. Zinkernagel und H.-J. Reents (2007). Impact and interaction of nitrogen and *Phytophthora infestans* as yield-limiting and yield-reducing factors in organic potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. *Potato Res* 49:281-301.
- Neuhoff, D.** und U. Köpke (2002): Speisekartoffelproduktion im Organischen Landbau: Einfluss von Düngung und Sortenwahl auf Ertrag und Knolleninhaltsstoffe. *Pflanzenbauwissenschaften*. 6:49-56.
- Nitsch, A.** und E. Varis (1991): Nitrate estimates using the Nitracheck test for precise N-fertilization during plant growth and after harvest, for quality testing potato tubers. *Potato Res* 34:95-105.
- Pallutt, B.** (Hrsg., 2000): Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze. Drittes Fachgespräch am 2. November 1999 in Kleinmachnow. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt Nr. 104. <http://orgprints.org/00002525/>
- Pang, X.P.** und J. Letey (2000): Organic farming: challenge of nitrogen availability to crop nitrogen requirements. *Soil Science Society of America Journal* 64:247-253.
- Pforte, F.**, J. Selbeck und O. Hensel (2012): Comparison of two different measurement techniques for automated determination of plum tree canopy cover. *Biosystems Engineering* 113:325-333.
- Reents, H.J.** und S. von Tucher (1994): Bestimmung von Nitrat mit unterschiedlichen Methoden. *Agribiol Res.* 50:359-365.
- Schittenhelm, S.**, H. Sourell und F.J. Löpmeier (2006): Drought resistance of potato cultivars with contrasting canopy architecture. *Eur J Agron* 24:193-202.
- Schulte-Geldermann, E.** (2005): The impact of different nitrogen supply, varietal features and copper treatment on the yield affecting influence of *Phytophthora infestans* in organic potato cropping. MSc Thesis; Universität Kassel.

Wehrmann, J. und H.C. Scharpf (1986): The Nmin-method – an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization. *Eitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 149:428-440.

Ziems, J. R., B.J. Zechmann, W.W. Hoback, J.C. Wallace, R.A. Madsen, T.E. Hunt und L.G. Higley (2006): Yield response of indeterminate potato (*Solanum tuberosum* L.) to simulated insect defoliation. *Agron J.* 98:1435-1441.

Zihlmann, U., P. Weisskopf, P. Dubois, und S. Daellenbach (2000): Mineral N-content in a loess soil under organic and integrated cultivation of potatoes. In: T. Alfödi, W. Lockeretz, und U. Niggli, (Hrsg.): *Proceedings of the 13th International IFOAM Scientific Conference*, p. 171. ETH Hochschulverlag. Zürich.

9 Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

- Haase, T., Schulz, H., Kölsch, E., Heß, J. (2012.): N-Versorgungsstatus und -Aufnahme von Öko-Kartoffeln als Parameter für zukünftige Entscheidungsmodelle bei Kupfereinsatz. Fachgespräch am 01.12.2011: "Kupfer als Pflanzenschutzmittel". in: Kühne, S., Friedrich, B., Röhrig, P.: Berichte aus dem Julius Kühn-Institut (Hrsg.), Nr. 164. Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen. Berlin-Dahlem. S. 52-62.
- Haase, T., Schulz, H., Kölsch, E. Heß, J. (2012): Crop nitrogen status and N use of potato cultivars in organic farming under cool temperate climate conditions. p. 49 in: MacKenzie, J. and Savard, M. (2012): Conference Proceedings: Canadian Organic Science Conference, February 21-23, 2012, Winnipeg, Manitoba.
- Haase, T., Schulz, H., Kölsch, E. Heß, J. (2011): Erweiterte Prüfung agronomischer Merkmale bei ökologisch erzeugten Kartoffeln. In: Leithold, G., Becker, K., Brock, C., Fischinger, S., Spiegel, A.-K., Spory, K., Wilbois, K.-P., Williges, U. (Hrsg.): Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft von Wissenschaft und Praxis. Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau Gießen, 16. – 18. März 2011. Band 1, S. 238-241.
- Haase, T., Schulz, H., Kölsch, E., Heß, J. (2011): Nitrogen use efficiency and N crop status of selected potato cultivars under organic farming conditions. in: Santala, J. and Valkonen, J. (Eds.): Abstracts of the 18th Triennial Conference of the European Association for Potato Research in Oulu, Finland, July 24-29, 2011. Helsinki, p. 59.
- Haase, T., Schulz, H., Kölsch, E. Heß, J. (2010): Stickstoffaufnahme und –nutzung von Kartoffeln und ihre Bedeutung für die Eignung von Sorten im Ökologischen Landbau. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 22:255-256.
- Haase, T., Schulz, H. Kölsch, E., Heß, J. (2010): Examining selected agronomic characteristics of potato cultivars and their relevance for organic farming conditions. in: Caliskan, M. E., Arslanoglu, F. (Hrsg.): Potato Agrophysiology. Proceedings of the International Symposium on Agronomy and Physiology of Potato. 20.-24. September, Nevsehir, Türkei, pp. 241-250.