Universität für Bodenkultur Wien
Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

Schwarzbeinigkeit bei der Kartoffel - Einfluss ausgewählter Faktoren auf die Bestandesentwicklung und den Ertrag

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Diplomingenieurs
an der Universität für Bodenkultur Wien

vorgelegt von

Thomas Schön

betreut von
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. H.-P. Kaul
(BOKU - Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung)
Dipl. Ing. Felix Fuchs
(NÖS - Niederösterreichische Saatbaugenossenschaft)

Wien, Juni 2011

Danksagung

In meinem Studium und bei der Erstellung der Masterarbeit sammelte ich sowohl in fachlicher als auch in zwischenmenschlicher Weise Erfahrungen, die mich geprägt haben. Allen, die zu meiner fachlichen und persönlichen Entwicklung beigetragen haben, danke ich.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Hans-Peter Kaul (BOKU) für die sehr gute fachliche und wissenschaftliche Betreuung, sowie für sämtliche Anregungen und Hilfestellungen im Rahmen der Masterarbeit.

Herrn Dipl. Ing. Felix Fuchs (NÖS) danke ich für die Bereitstellung des Themas und der Versuchsflächen, sowie für die gute Zusammenarbeit und die tatkräftige Unterstützung. Den Mitarbeitern der Niederösterreichischen Saatbaugenossenschaft danke ich für die Hilfe bei der Pflanzung, Pflege und Ernte des Versuches.

Für die Hilfestellung bei der statistischen Auswertung bedanke ich mich bei Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Karl Moder (BOKU).

Ein großer Dank gilt meiner Freundin, die mir immer zur Seite gestanden ist und mich bei meinem Vorhaben tatkräftig unterstützt hat.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, für die aufopfernde Unterstützung vor und während meiner Studienzeit. Ohne ihre Mithilfe wäre mein Studium nicht in diesem Ausmaß und Erfolg zu bewältigen gewesen. DANKE!

Abstract

Black leg and tuber soft rot are important bacterial diseases in potato production. A reduction is possible only through preventive measures. The present study examines how location, initial contamination, tuber size and planting density affect occurring symptoms in the field and during storage. The study also assesses how the initial contamination impacts emergence, crop development, yield, starch content and starch yield.

The results show that the use of healthy and small seed tubers can reduce the infection with blackleg. In addition, the level of contamination is strongly influenced by local conditions. A high initial contamination has negative effects on ground cover (shortly after emergence), stem number, tuber number, yield, starch content and starch yield. The severity of infestation has negative effects on the individual crop yield, because fewer tubers are created and they stay smaller.

Kurzfassung

Der Krankheitskomplex Schwarzbeinigkeit und Knollennassfäule stellt eine wichtige bakterielle Erkrankung im Kartoffelbau dar. Eine Bekämpfung ist nur durch vorbeugende Maßnahmen möglich. In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, wie sich Standort Ausgangsbelastung, Pflanzgutsortierung und Pflanzdichte auf die Symptomatik im Bestand und Lager auswirken. Zudem wird untersucht, wie sich die Ausgangsbelastung auf Feldaufgang, Bodendeckung, Sprossachsenausbildung, Knollenansatz, Frischmasseertrag, Stärkegehalt und Stärkeertrag auswirkt.

Die Ergebnisse belegen, dass der Einsatz von gesundem und kleinsortiertem Pflanzgut den Befall mit Schwarzbeinigkeit reduzieren kann. Zudem wird die Höhe des Befalls stark von lokalen Gegebenheiten beeinflusst. Eine hohe Ausgangsbelastung hat negative Auswirkungen auf Bodendeckung (kurz nach dem Auflaufen), Sprossachsenausbildung, Knollenansatz, Frischmasseertrag, Stärkegehalt und Stärkeertrag. Die Befallsschwere selbst hat negative Auswirkungen auf den Einzelpflanzenertrag, da weniger Knollen angelegt werden und diese kleiner bleiben.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Zielsetzung und Abgrenzung der Fragestellung 2

3 Literaturüberblick 3

3.1 Einführung 3

3.1.1 Abstammung, Bezeichnung und Herkunft der Kartoffel 3

3.1.2 Historischer Überblick 3

3.1.3 Bedeutung der Kartoffel 4

3.2 Die Ertragsstruktur der Kartoffel 5

3.2.1 Einfluss der Pflanzdichte pro Flächeneinheit 5

3.2.2 Einfluss der Pflanzknollenmasse 6

3.3 Die Erreger der Schwarzbeinigkeit und der Knollennassfäule 7

3.3.1 Terminologie und Charakterisierung der Erreger 7

3.3.2 Bedeutung und Verbreitung der Erreger 9

3.4 Infektionswege der Kartoffelpflanzen 10

3.5 Einflüsse von Umweltbedingungen auf die Infektion 12

3.5.1 Die Bedeutung des Bodens 12

3.5.2 Einfluss der Temperatur auf die relative Virulenz 13

3.5.3 Einfluss des Wassers auf die Verbreitung 13

3.5.4 Einfluss der kombinierten Faktoren auf die Symptomausprägung 14

3.6 Pathogenese und Symptome der Knollennassfäule 15

3.6.1 Die Position der Erreger an/in der Knolle 15

3.6.2 Pathogenese in der Kartoffelknolle 15

3.6.3 Die pflanzliche Abwehr 17

3.6.4 Charakteristische Symptome der Knollennassfäule 18

3.7 Pathogenese und Symptome der Schwarzbeinigkeit 19
3.7.1 Pathogenese der Schwarzbeinigkeit 19
3.7.2 Charakteristische Symptome der Schwarzbeinigkeit 20
3.8 Maßnahmen zur Schadensbegrenzung 23
3.8.1 Gesundes Pflanzgut und Hygiene 24
3.8.2 Pflanzgutvorbereitung, Bestellung 24
3.8.3 Pflegemaßnahmen 25
3.8.4 Düngung 25
3.8.5 Pflanzenschutz 26
3.8.6 Ernte und Einlagerung 26
3.8.7 Lagerung und Auslagerung 28
3.8.8 Behandlung mit chemischen Mitteln 28
3.9 Züchtung und Züchtungsforschung 29
4 Material und Methoden 30
4.1 Standortbeschreibung 30
4.1.1 Windigsteig 30
4.1.2 Naglern 32
4.1.3 Breitstetten 34
4.2 Versuchsanlage 36
4.3 Versuchsdurchführung 38
4.4 Datenerfassung 43
4.4.1 Auflauf und Jugendentwicklung 43
4.4.2 Ermittlung der Bodendeckung 43
4.4.3 Anzahl der Hauptsprosse 44
4.4.4 Symptomerfassung 45
4.4.5 Ermittlung des Knollenertrages, der Knollenanzahl und Sortierung 46

4.4.6 Ermittlung des Stärkegehaltes 46
4.4.7 Mathematisch statistische Verrechnung der Daten 47
5 Ergebnisse 48
5.1 Auflauf und Jugendentwicklung 48
5.1.1 Auflaufquote 48
5.1.2 Homogenität des Bestandes nach dem Auflaufen 49
5.1.3 Bodendeckung 1. Termin 50
5.1.4 Bodendeckung 2. Termin 53
5.1.5 Ausgebildete Sprossachsen 56
5.2 Symptomerhebungen 58
5.2.1 Befallsschwere erster Boniturtermin 61
5.2.2 Befallsschwere zweiter Boniturtermin 61
5.2.3 Befallsschwere dritter Boniturtermin 62
5.2.4 Befallsschwere vierter Boniturtermin 64
5.2.5 Befallsschwere fünfter Boniturtermin 66
5.3 Hektarertrag 68
5.4 Lagerverlust 70
5.5 Stärkegehalt 72
5.6 Stärkeertrag 74
5.7 Knollenansatz 76
5.8 Korrelationen 79
5.8.1 Befallsschwere und Knollenansatz 79
5.8.2 Befallsschwere und Einzelpflanzenertrag 81
6 Diskussion 85
6.1 Auflauf und Jugendentwicklung 85
6.2 Befallsentwicklung 86

6.3 Ertragsbildung und Verluste 89
6.4 Beziehungen zwischen Befall und Ertrag 91
7 Zusammenfassung 93
8 Summary 95
9 Abbildungsverzeichnis 97
10 Tabellenverzeichnis 100
11 Abkürzungsverzeichnis 103
12 Literaturverzeichnis 104

1 Einleitung

Die Kartoffel nimmt für Produzenten und Verbraucher in vielen Ländern eine wichtige Stellung ein (NIVAP, 2005). Nach Weizen, Reis und Mais ist die Kartoffel das viert wichtigste Grundnahrungsmittel. Die Knollen werden nicht nur für die Nahrungsmittelproduktion verwendet, sondern auch für die industrielle Verarbeitung. Die Kartoffel stellt eines der wenigen Grundnahrungsmittel dar, die vegetativ vermehrt wird. Vegetative Vermehrung bedeutet, dass die Kartoffeln nicht von echten Samen, sondern von ungeschlechtlich erzeugtem Pflanzgut stammen. Da die Knollen häufig mit Pathogenen der Mutterpflanze kontaminiert sind, bedarf es eines hohen Aufwands, qualitativ hochwertige Pflanzkartoffeln zu erzeugen (DE BOER, 2004). Erwinia sp., die wichtigste bakterielle Erkrankung bei der Kartoffel in Mitteleuropa, wird hauptsächlich über das Pflanzgut übertragen (EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE ZENTRUM, 2010). Als qualitätsmindernde Erreger werden diese Bakterien im Rahmen der Beschaffenheitsprüfung bei der amtlichen Anerkennung von Pflanzgut insgesamt erfasst, wobei bestimmte Toleranzen einzuhalten sind (MÜLLER, 2010).
Das Auftreten von Schwarzbeinigkeit ist von Jahr zu Jahr je nach Region sehr unterschiedlich. Insbesondere bei Importsaatgut aus verseuchten Regionen treten häufig Schäden auf. Je nach Sorte liegen die durchschnittlichen Verluste bei 2-10% (EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE ZENTRUM, 2010). In feuchten Anbaujahren sind Ernteausfälle bis zu 50% oder auch ein vollständiger Verlust ganzer Partien keine Seltenheit (WEGENER, 2010).
Vor allem mit dem Durchbruch der vollmechanisierten Kartoffelproduktion hat diese Krankheit an Bedeutung gewonnen (EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE ZENTRUM, 2010).

2 Zielsetzung und Abgrenzung der Fragestellung

Aus Pflanzknollen ein- und derselben Herkunft kann unter verschiedenen Anbaubedingungen ein unterschiedlich hoher Anteil an Fehlstellen und schwarzbeinigen Pflanzen auftreten (SIMON et al., 1984). Ob die Krankheit ausbricht oder nicht, hängt jedoch primär von der Höhe des latenten Befalls ab. Umwelteinflüsse können den Krankheitsverlauf fördern oder hemmen (PÉROMBELON, 2002). Die Ausbreitung der Bakterien zwischen den Pflanzen erfolgt primär über das Bodenwasser, wozu feuchte Bedingungen notwendig sind (ELPHINSTONE and PÈROMBELON, 1958). Ob eine Variation der Pflanzdichte die Ausbreitung beeinflusst wurde noch nicht explizit untersucht.

Nach ELPHINSTONE (1987) sollen Pflanzen, die sich aus kleinsortiertem Pflanzgut entwickelt haben, einen geringeren Schwarzbeinigkeitsbefall aufweisen, als Pflanzen, die sich aus großsortiertem Pflanzgut entwickelt haben. Die Auflaufraten sind dafür bei großsortiertem Pflanzgut besser. Forschungen zu dieser Thematik konnten jedoch nicht gefunden werden.

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, wie sich die Vorbelastung des Pflanzgutes auf die Jugendentwicklung des Bestandes bzw. auf Ertragsmerkmale auswirkt und ob mit einfachen pflanzenbaulichen Maßnahmen (Variation der Pflanzgutsortierung und des Pflanzabstandes) der Befall mit Schwarzbeinigkeit reduzierbar ist. Weiter soll erhoben werden, ob es in ausgewählten Anbauregionen zu Unterschieden in der Befallsentwicklung kommt.

Folgende Fragestellungen werden im Verlauf behandelt:

- Besitzt die Vorbelastung des Pflanzgutes einen Einfluss auf die Merkmale Auflaufquote, Bodendeckung, Sprossachsenausbildung, Knollenansatz, Frischmasseertrag, Stärkegehalt und Stärkeertrag?
- Haben die Faktoren Pflanzgutsortierung, Pflanzabstand und Pflanzgutvorbelastung einen Einfluss auf die Befallsschwere der Pflanzen im Bestand?
- Hat der Standort einen Einfluss auf die Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit bzw. auf auftretende Lagerverluste?
- Wie stark sind die Korrelation zwischen Befallsschwere der Einzelpflanzen und dem Knollenansatz bzw. der Befallsschwere der Einzelpflanzen und dem Einzelpflanzenertrag?

3 Literaturüberblick

3.1 Einführung

3.1.1 Abstammung, Bezeichnung und Herkunft der Kartoffel

Die Kartoffel zählt zu der Familie der Solanaceen und hier zur Gattung Solanum. Heute sind 235 Arten bekannt, wovon aber nur sieben kultiviert werden. Die restlichen 228 sind Wildarten. Die erste kultivierte Art Solanum stenotomum dürfte von der Wildart Solanum leptophyes stammen und bereits vor 7.000 Jahren angebaut worden sein. Nach diesem ersten Domestikationsschritt bildete sich aus der spontanen Verbindung von Solanum stenotomum mit Solanum sparsiphilum der amphidiploide Bastard Solanum tuberosum ssp. andigena. Diese tetraploide Subspezies kam nach Süd Chile, wo sie sich den Langtagsverhältnissen anpasste. So entstand Solanum tuberosum ssp. tuberosum. Diese Form mit der Chromosomenanzahl von 2 x = 48, hat in Europa die Hauptbedeutung.

Als eigentliches Gen- oder Ursprungszentrum gelten die Hochlagen in Bolivien-Peru. Die Wildarten sind in ihrer Vielfalt extremen Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Trockenheit) angepasst und verfügen zum Teil über wertvolle Resistenzeigenschaften gegenüber Pilz- und Bakterienkrankheiten sowie tierischen Schädlingen (KELLER, 1999).

3.1.2 Historischer Überblick

Die Kartoffel kam Mitte des 16. Jahrhunderts nach Spanien und breitete sich von dort über Portugal nach Italien aus. In den Anfängen verwendete man die Kartoffel hauptsächlich als Zier- und Arzneipflanze. Zu Beginn des 17. Jahrhunderts erreichten die Kartoffeln die britischen Inseln, wo sie als Kulturpflanze große Bedeutung erlangte. Im übrigen Europa ging die Ausbreitung nur schleppend voran. Das Bevölkerungswachstum, Missernten bei Getreide und eine grundsätzlich höhere Nahrungsausbeute, ebneten den Weg der Kartoffel. Ende des 18. Jahrhunderts gestaltete der Kartoffelbau die Landwirtschaft in Europa radikal um. Durch die geringen Einfuhren von Kartoffeln aus Südamerika blieb die genetische Basis jedoch sehr gering. Die mangelnde genetische Variabilität führte zu fehlenden Krankheitsresistenzen und damit verbundenen Totalausfällen bei starkem Infektionsdruck. Dies führte öfters zu Hungersnöten wie zum Beispiel in Irland im Jahr 1845 (BROUWER, 1976).

In Österreich ließ Joseph II unentgeltlich Pflanzkartoffeln verteilen. Nach den Hungerjahren von 1771 und 1772 wurde sogar ein Befehl zum Anbau erlassen. (KELLER, 1999).

3.1.3 Bedeutung der Kartoffel

Die Kartoffel ist weltweit ein sehr wichtiges Nahrungsmittel. Die Hauptanbaugebiete liegen weltweit dicht an der 20 °C-Juli-Isotherme (DIEPENBROCK et al., 1999). Die wichtigsten Produktionsgebiete liegen im asiatischen Raum. Die höchsten Hektarerträge wurden in Westeuropa (43,7 t/ha) und Nordamerika (40,8 t/ha) erzielt. Das Schlusslicht bildet West- und Zentralafrika mit rund 5 t/ha. Tendenziell nimmt die weltweite Kartoffelanbaufläche kontinuierlich ab, während die Erträge pro Hektar ansteigen (FAO, 2010, VAN DER ZAAG, 1999).

Der österreichische Kartoffelbau zeigt in seiner Entwicklung ähnliche Tendenzen (Abbildung 1). Der Flächenrückgang betrug seit dem Jahr 1961 rund 87% und pendelte sich bei etwa 22.000 ha ein. Die Erträge pro Hektar stiegen im Vergleichszeitraum um etwa 68% an und liegen derzeit bei etwa 30-33 t/ha (FAO, 2010).

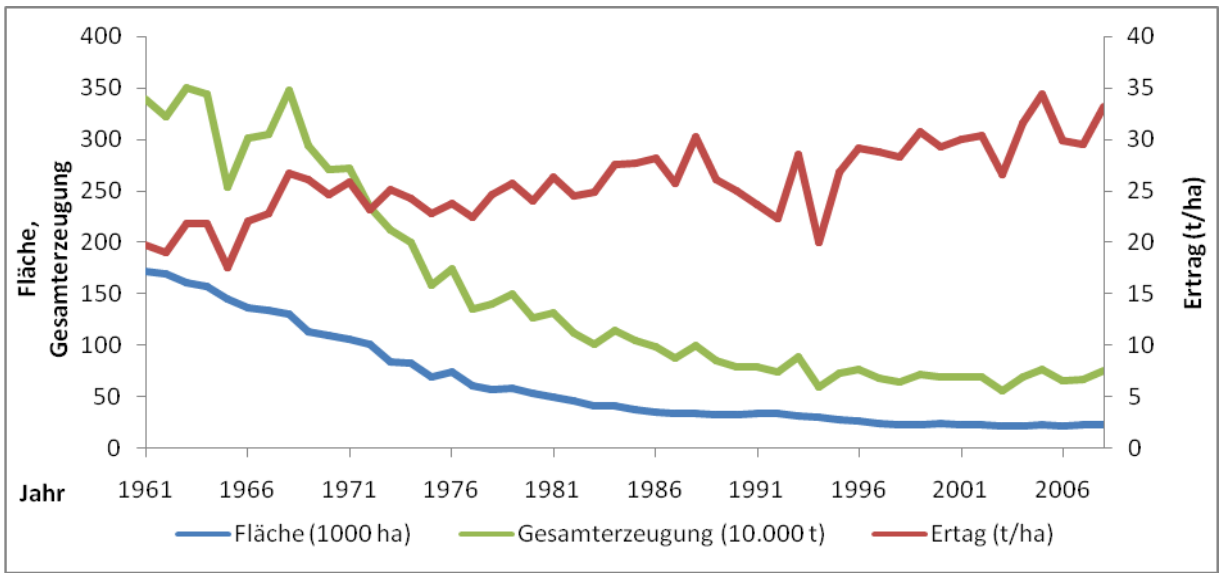


Abbildung 1: Kartoffelanbauflächen, Gesamtproduktion und Hektarerträge in Österreich

Quelle: verändert nach FAO (2010)

Gemessen an der österreichischen Kartoffelanbaufläche 2006, lag der Anteil von Spätkartoffeln (Stärke- und Speiseindustriekartoffel) bei rund 47% und der Anteil von frühen- und mittelfrühen Speisekartoffeln bei 53%. Die Bioproduktion betrug im Jahr 2006 rund 38.100 t (-25% zu 2005) und machte somit 6% der gesamten Kartoffelproduktion aus. Im Lebensmitteleinzelhandel überwiegen bei den Speisekartoffeln festkochende (57%) und vorwiegend festkochende (24%) Sorten. Der Pro-Kopf-Verbrauch lag 2005/06 bei etwa 53,6 kg. Die Kartoffeln verlieren mengenmäßig seit Jahren an Bedeutung (BMLFUW, 2008).

3.2 Die Ertragsstruktur der Kartoffel

Der Knollenertrag pro Flächeneinheit ist wie bei jeder anderen Pflanzenart von mehreren Komponenten abhängig. Vereinfacht setzt sich der Ertrag aus dem Einzelpflanzenertrag und der Pflanzdichte pro Flächeneinheit zusammen (BROUWER, 1976). Der Ertrag pro Pflanze ist durch die Knollenanzahl und dem Einzelknollengewicht beeinflussbar. Die Knollenanzahl pro Pflanze ist wiederum abhängig von der Stängelanzahl pro Pflanze und der Knollenanzahl pro Stängel (WIKLICKY, 1961). Die Stängelanzahl wird weitgehend durch den Standraum, die Sorte, die Größe der gepflanzten Knolle und die Vorbehandlungsmaßnahme der Pflanzknolle festgelegt (CARLS, 1978). Ein bestimmter Ertrag kann entweder durch hohe Knollenanzahl mit geringem Einzelknollengewicht, oder geringer Knollenanzahl mit großem Einzelknollengewicht realisiert werden (WIKLICKY, 1961).

3.2.1 Einfluss der Pflanzdichte pro Flächeneinheit

Die Pflanzdichte pro Flächeneinheit ist ein sehr wichtiger Parameter, weil damit teilweise der Ertrag und die Größenverteilung der Knollen festgelegt wird (STRUIK, 1999). Der Ertrag ist umso höher, je gleichmäßiger die Stängel im Feldbestand verteilt sind. Bei Über- oder Unterschreiten der standortabhängig optimalen Zahl an Pflanzstellen pro Flächeneinheit sinkt der Ertrag (DIEPENBROCK et al., 1999). Die Zahl der Haupttriebe pro Pflanze und die Zahl der Knollen pro Trieb nimmt mit ansteigender Pflanzdichte ab (VAN LOON, 1999). SCHUHMANN (1997) meint, dass zwischen den Pflanzstellen pro Flächeneinheit und den Hauptrieben pro Pflanze kein eindeutiger Zusammenhang vorliegt. Eine ebenfalls negative Korrelation liegt zwischen der Stängelanzahl pro Pflanze und der Knollenanzahl pro Stängel vor. Die Korrelation zwischen Stängelanzahl pro Pflanze und der Knollenanzahl pro Pflanze ist jedoch positiv (MOLL, 1992). Eine Zunahme der Knollen pro Pflanze erfolgt allerdings nur bei der kleinen und mittleren Knollenfraktion, die Anzahl der übergroßen Knollen bleibt relativ konstant (MOORBY, 1967). Mit zunehmender Stängelanzahl pro Pflanze verringert sich also das durchschnittliche Knollengewicht (LEMAGA and CAESAR, 1990). Die Anzahl der Haupttriebe pro Flächeneinheit erhöht sich mit steigender Pflanzendichte, jedoch flacht sich diese Zunahme mit steigender Pflanzdichte immer weiter ab. Die Zahl der Haupttriebe pro Flächeneinheit und die Zahl der Knollen pro Stängel bestimmen wiederum die Zahl der Knollen pro Flächeneinheit. Die Sortierung der Knollen hängt vor allem vom Ertragsniveau und der Knollenanzahl pro Flächeneinheit ab (VAN LOON, 1999). Der Anteil großer Knollen am Erntegut korreliert positiv mit der Verringerung der Pflanzdichte pro Flächeneinheit

(DIEPENBROCK et al., 1999), wobei MOORBY (1967) beim Anteil von übergroßen Kartoffeln pro Flächeneinheit keinen deutlichen Einfluss feststellt. Zudem ergibt eine hohe Pflanzdichte einen höheren Trockensubstanzgehalt, sowie einen höheren Stärkegehalt der Knollen (VAN LOON, 1999).

3.2.2 Einfluss der Pflanzknollenmasse

Kleine Knollen erzeugen mehr Keime pro kg Pflanzgut. Der Pflanzgutbedarf in kg/ha ist bei Pflanzgut mit kleinen Sortierungen geringer als bei normalsortierten. Ein Stängel einer kleinen Knolle (25-35 mm) besitzt normalerweise sogar dasselbe Ertragspotenzial wie ein Stängel einer großen Knolle (VAN LOON, 1999). Da kleine Knollen aber weniger Stängel erzeugen als große, muss man die Untergrößen dichter pflanzen (MOORBY, 1967).

Die Wirkungen von Pflanzknollenmasse und Legeabstand auf ausgewählte Ertragsmerkmale sind in Abbildung 2 nochmals zusammengefasst.

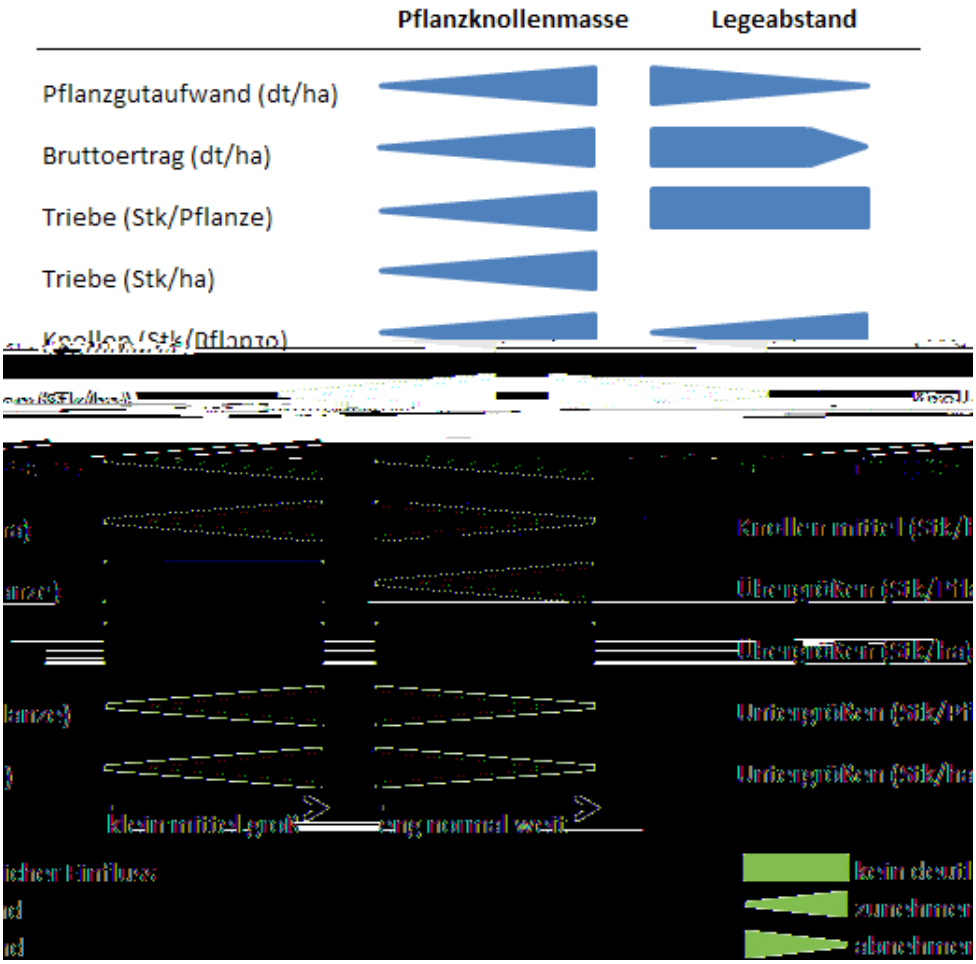


Abbildung 2: Tendenzieller Einfluss der Pflanzknollenmasse und des Legeabstandes auf ausgewählte Ertragsmerkmale

Quelle: verändert nach SCHUHMANN (1997)

3.3 Die Erreger der Schwarzbeinigkeit und der Knollennassfäule

Die durch Bakterien verursachte Knollennassfäule der Kartoffel spielt nach wie vor eine große Rolle in der Landwirtschaft. Sie kommt in fast allen Ländern der Erde vor, wo Kartoffelanbau betrieben wird und führt immer wieder zu enormen wirtschaftlichen Verlusten. Insbesondere in feuchten Anbaujahren sind Ernteausfälle bis zu 50% oder auch ein vollständiger Verlust ganzer Partien keine Seltenheit (WEGENER, 2010). Praktikable chemische Pflanzenschutzmittel sind bis heute noch nicht verfügbar. Bei der Krankheitskontrolle muss man sich mit Kultur- und Hygienemaßnahmen begnügen (ELPHINSTONE, 1987).

3.3.1 Terminologie und Charakterisierung der Erreger

Schwarzbeinigkeit und Knollennassfäule ist eine bakterielle Erkrankung der Kartoffel (SIMON, 1982), die durch *Pectobacterium carotovorum* ssp. *carotovorum* (Pc), *Pectobacterium carotovorum* ssp. *atrosepticum* (Pa) und *Dickeya* sp. verursacht wird (STACHEWICZ, 2008). Die bakteriellen Erreger gehören zur Familie der Enterobacteriaceen (EUZÉBY, 2010) und sind auch unter dem Synonym pektolytische Erwinias bekannt. Bei der Einteilung der Arten ist man sich bis heute uneinig, und es kommt immer wieder zu Änderungen in der Klassifikation (PÉROMBELON, 2002).

Die Bakterienarten Pc und Pa wurden der Gattung Erwinia zugeordnet. Moderne molekularbiologische Verfahren haben jedoch zu Änderungen in der Terminologie geführt. Vor allem innerhalb der Gattungen der Enterobacteriaceaeen haben sich teils große Veränderungen ergeben (EUZÉBY, 2010, MÜLLER, 2010). Die Änderungen zwischen alter und neuer Klassifikation sind in Tabelle 1 dargestellt. In dieser Arbeit wird die terminologische Einteilung nach MÜLLER (2010) verwendet.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der alten und neuen Klassifikation

	alte Einteilung	**Einteilung nach MÜLLER (2010)**
Domäne	Bakterien	Bakterien
Abteilung	Proteobacteria	Proteobacteria
Klasse	Gammaproteobacteria	Gammaproteobacteria
Ordnung	Enterobacteriales	Enterobacteriales
Familie	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae
Gattung	Erwinia	Pectobacterium
Arten	*Erwinia carotovora*	*Pectobacterium carotovorum*
	*Erwinia chrysanthem*i	*Dickeya sp.*
Unterarten	*Erwinia carotovora* ssp. *atroseptica*	*Pectobacterium carotovorum* ssp. *atrosepticum*
	Erwinia carotovora ssp. *carotovora*	*Pectobacterium carotovorum* ssp. *carotovorum*

Quelle: verändert nach EUZÉBY (2010), MÜLLER (2010)

Erwinia chrysanthemi umfasste schon immer einen ganzen Komplex an Bakterien, die an verschiedenen Wirtspflanzen ähnliche Symptome verursacht haben. In der neuen Gattung Dickeya sp. werden nun sieben Arten unterschieden, wobei fünf auch Kartoffeln befallen. Dabei handelt es sich um: Dickey chrysanthemi, D. dianthicola, D. solani, D. dadantii und D. zeae (MÜLLER, 2010).

In unseren Regionen treten Pa und Pc vorwiegend als Erreger der Krankheit auf, während Dickeya sp. eher in tropischen und subtropischen Regionen zu finden ist (De BOER, 1994). Infolge des globalen Handels und des Klimawandel kann Dickeya sp. auch bei uns an Bedeutung gewinnen (WEGENER, 2010).

Der Art Pectobacterium carotovorum ssp. atrosepticum kommt die größte wirtschaftliche Bedeutung zugute (STACHEWICZ, 2008). Die bakteriellen Erreger können einzeln oder gleichzeitig auf der Wirtspflanze auftreten (PÉROMBELON, 1992, YOUNG et al., 1992). Die Symptomausbildung ist vom Erreger und von den Umweltbedingungen wie Sauerstoff-, Wasser-, Nährstoffgehalt, oder Temperatur abhängig. Unter feuchten Bedingungen treten verstärkt Fäulen auf, während die Pflanzen unter trockenen Bedingungen eher welken und vertrocknen (PÉROMBELON, 1992b).

Bei den ubiquitär vorkommenden Bakterien handelt es sich um fakultativ anaerobe (sie können auch unter Sauerstoffmangel leben und Nassfäule erzeugen), gram-negative

Stäbchen, mit peritricher Begeißelung. Peritrich heißt, dass viele Flagellen gleichmäßig über die Zelloberfläche verstreut sind. Somit besitzen die Bakterien eine hohe Eigenbeweglichkeit, was für eine schnelle Ausbreitung in der Pflanze förderlich ist. Die durchschnittliche Länge der Bakterien beträgt 1,5 bis 2,5 µm (Mikrometer) und die Breite 0,6 bis 0,8 µm.

Das Wachstumsoptimum der Pectobakterien liegt zwischen 23 und 27 °C, das Temperaturmaximum bei 37 °C und das Temperaturminimum bei 0 °C (SIMON, 1982, YOUNG et al., 1992, WEGENER, 2000, WEGENER, 2010). Der thermale Tötungspunkt schwankt bei den einzelnen Stämmen zwischen 47 und 50 °C (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954). Bei der Gattung Dickeya sp. liegt das Temperaturoptimum bei etwa 33 bis 36 °C und somit über den Werten der Gattung Pectobacterium (ELPHINSTONE, 1987).

3.3.2 Bedeutung und Verbreitung der Erreger

Die Erreger verursachen praktisch in allen Kartoffelanbaugebieten erhebliche Ertrags- und Qualitätsverluste. Durch die zunehmende Mechanisierung in der Landwirtschaft haben die Schäden in den letzten Jahren stark zugenommen (RADTKE et al., 2000). Repräsentative Schadenserhebungen sind kaum erhältlich. Das Schadensausmaß ist von den klimatischen Bedingungen und vom Mechanisierungs- und Konzentrationsgrad der Produktion abhängig (WEBER, 1986). PÉROMBELON(1992b) beziffert die durch Nassfäule entstandenen Schäden mit 50 bis 100 Millionen Dollar pro Jahr. Genaue Schätzungen über die Verluste sind aber nicht vorhanden, da sie von Land zu Land stark variieren und von vielen weiteren Faktoren wie Klima, Wachstums- und Lagerbedingungen abhängen (ELPHINSTONE, 1987). Bei sehr feuchter Witterung während der Vegetation können die Schäden im Bestand bei anfälligen Sorten 30% oder mehr betragen. Durch unsachgemäße Lagerung, kann es auch bei latent befallenen Partien zu Totalverlusten kommen (HEITEFUSS et al., 2000).

Wegen ihrer Inhaltsstoffe (Kohlenhydrate, Vitamine, Proteine, Aminosäuren, Mineralstoffe, usw.) sind Kartoffeln ein idealer Nährboden für die Pectobakterien. Sie besiedeln darüber hinaus auch noch viele andere Kulturarten, wie Paprika, Zucker- und Futterrüben, Kohl, Tomaten, Chicorée, Kürbis usw., wo auch typische Nassfäule-Symptome auftreten.

Man kann sie in Regen-, Fluss-, Trink-, Grund-, und Oberflächenwasser, überwiegend aber auf Pflanzenresten und im Boden finden (WEGENER, 2010).

Je nach dem temperaturabhängigen Wachstumsoptimum dominieren die Bakterien in verschiedenen Klimaten. *Pectobacterium carotovorum subsp. atrosepticum* kommt hauptsächlich im gemäßigten Klimabereich vor und hier ausschließlich auf Kartoffelpflanzen.

Dickeya sp. befällt eine Vielzahl von tropischen und subtropischen Kulturen, inklusive Kartoffeln, Zierpflanzen, Mais, Reis und Ananas. Das Pc-Bakterium verfügt ebenfalls über einen großen Wirtspflanzenkreis und kommt sowohl in gemäßigten als auch in tropischen Zonen an Kartoffeln, Obst und Gemüse vor (ELPHINSTONE, 1987).

Auf dem Feld werden die Bakterien ausgehend von nassfaulen Mutterknollen und faulenden Stängeln durch Faulsaft, Wasser, Wind sowie Insekten weiträumig verbreitet. Auch im Lager sind faule Knollen und der Faulsaft die Hauptquellen der Verbreitung. Eine Kontamination der Kartoffelknollen mit den Bakterien herrscht praktisch immer vor. Sogar gesunde Knollen können latent mit den Bakterien besiedelt sein. Die Bakterien befinden sich in der Regel auf der Schale sowie den Lentizellen und werden mit den Pflanzknollen oftmals von einer Vegetationsperiode in die andere übertragen. Sind die Kartoffeln keinem außergewöhnlichen Stress ausgesetzt, bleiben diese unabhängig von der Erregerdichte frei von Symptomen (WEGENER, 2010).

3.4 Infektionswege der Kartoffelpflanzen

Der Befall der Pflanzen wird überwiegend erst zu Beginn des Sommers (Juni-Juli) sichtbar. In feuchten Jahren tritt die Schwarzbeinigkeit öfter auf als in trockenen, wobei danach auch mit Nassfäuleausbrüchen im Lager zu rechnen ist (RADTKE et al., 2000, WEGENER, 2010). Da es sich bei den pektolytischen Bakterien um Wundparasiten handelt, sind sie bei einer Infektion auf natürliche Öffnungen angewiesen. So dienen Verletzungen, Wachstumsrisse oder geöffnete Lentizellen als Eintrittspforten in das Gewebe (SCHEID, 2008). Durch Losschaligkeit, anhaltende Feuchte und anaerobe Bedingungen wird die Infektion erleichtert (WEGENER, 2010). Kommen nun (latent) befallene Knollen in den Boden, können die Bakterien über den Saftstrom in junge Triebe und neu gebildete Tochterknollen wandern und sie so infizieren. Der Infektionsgrad der ausgepflanzten Knollen ist stark von der Witterung des Vorjahres abhängig (SCHEID, 2008).

Neben diesem Verbreitungsweg ist, wie in Abbildung 3 ersichtlich, auch eine Infektion von Pflanze zu Pflanze möglich. Dabei werden die aus der zerfallenen Mutterknolle freigesetzten Bakterien durch das Bodenwasser zu Nachbarpflanzen transportiert, in welche die Erreger über Wachstumsrisse in den Stolonen bzw. Knollen oder geöffnete Lentizellen eindringen können und so für eine Befallsverbreitung sorgen (LANGERFELD, 1991, SCHEID, 2008). Deshalb führen hohe Niederschläge in der Vegetationsperiode bzw. Staunässe auf dem Feld zu verstärkten Problemen mit der Pc-Nassfäule (ALFORD, 2000, SCHEID, 2008).

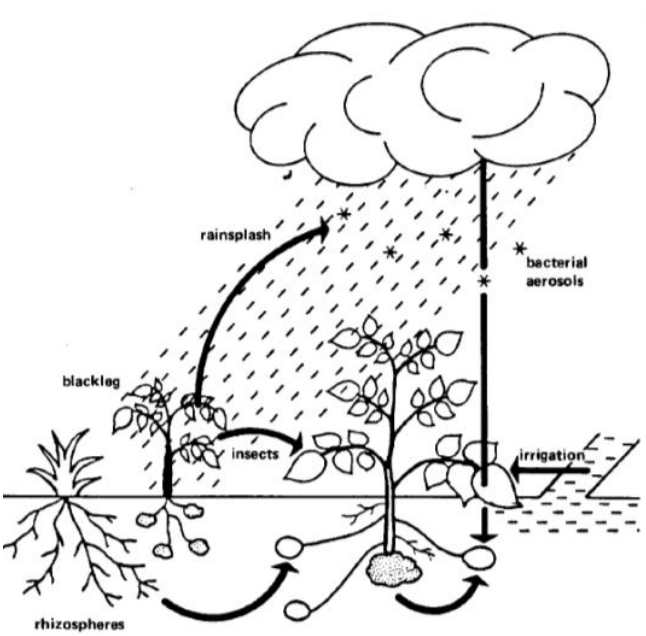


Abbildung 3: Verbreitungsmöglichkeiten der Bakterien bei der Kartoffel

Quelle: ELPHINSTONE (1987)

Auch der Blattapparat stellt eine Verbreitungsquelle dar. Ausgehend von faulenden Stängeln, können sich die Pc-Bakterien durch Wasser, Wind und Insekten weiträumig verbreiten. Durch Regentropfenspritzer kontaminieren sich bei mäßigem Wind etwa 120 Kartoffelstauden in der Nachbarschaft mit den Erregern. Pectobacterium-haltige Aerosole, wie sie etwa beim Krautschlagen entstehen, können mit dem Wind einige hundert Meter verteilt werden (WEBER, 1986).

Durch die zunehmende Technologisierung des Kartoffelbaus stellen kontaminierte Ernte-, Aufbereitungs- und Sortiermaschinen, sowie Transport und Lagerbehältnisse enorm wichtige Infektionsquellen dar (RADTKE et al., 2000). Während früher der Kartoffelbau in sorgsamer Handarbeit erfolgte, kommen heute vorwiegend Maschinen zum Einsatz. Durch die maschinelle Manipulation haben die mechanischen Druck- und Stoßbelastungen signifikant zugenommen. Dies führt immer wieder zu Verletzungen, die Eintrittspforten für jede Art von pathogenen Mikroorganismen in das pflanzliche Gewebe bilden. Auch das Waschen und Abpacken der Knollen in Polyethylen-Beuteln, lange Transportwege sowie ungünstige Zwischenlager fördern die Ausbreitung des Krankheitskomplexes (WEGENER, 2010).

Im Kartoffellager können ungünstige Lagerbedingungen zu einem Sauerstoffmangel in den Knollen führen, der meist durch auftretendes Kondenswasser auf der Knollenoberfläche verursacht wird. Dies kann zu einer akuten Ausbreitung der Nassfäule führen, so dass ganze Lagerpartien innerhalb kürzester Zeit verflüssigt werden (WEGENER, 2000).

3.5 Einflüsse von Umweltbedingungen auf die Infektion

Unter ungünstigen Bedingungen, wie Staunässe, anaerobes Milieu und Begleitinfektionen durch pathogene Pilze usw. kann im Boden eine Fäule der Mutterknollen ausgelöst werden. Diese bildet später den Ausgangspunkt für die Entwicklung der Schwarzbeinigkeit im Feldbestand (RADTKE et al., 2000).

3.5.1 Die Bedeutung des Bodens

Die Lebensfähigkeit der Bakterien im Boden ist beschränkt (ALFORD, 2000). Im Boden überdauern die Bakterien vor allem in Verbindung mit organischem Material, wobei den Bakterien auch Frost nichts anhaben kann (WEGENER, 2010). Die Überdauerung im Boden spielt aber praktisch keine Rolle, da die Erregerpopulation der Konkurrenz der übrigen Mikroflora ausgesetzt ist und von dieser rasch abgebaut wird (SCHEID, 2008). Nach den Wintermonaten sind keine Erreger mehr nachweisbar, insofern keine Wirtspflanzen nach der Kartoffel angebaut werden. Die Langlebigkeit der Bakterien im Boden nimmt mit steigender Temperatur ab (PÉROMBELON, 1992b).

Für den Krankheitskomplex haben die Bodenart und der Bodentyp eine gewisse Bedeutung. In der Literatur war man lange unterschiedlicher Meinung, auf welchen Böden der Krankheitsdruck am größten ist (VAN DEN BOOM, 1967). Erst durch eine Reihe weiterer Versuche konnte Klarheit geschaffen werden. Die Ergebnisse zeigten, dass auf Sandböden Schwarzbeinigkeit häufiger vorkommt als auf Lehmböden. Mit zunehmenden Tongehalt nimmt der Schwarzbeinigkeitsbefall ab, aber der Nassfäulebefall nimmt tendenziell auf schwereren Böden zu (RADTKE et al., 2000). VANDEN BOOM (1967) meint, dass Schwarzbeinigkeit bevorzugt auf Böden auftritt, die sich ständig durch hohe Bodenfeuchte oder großen Schwankungen in der Wasserführung auszeichnen. Auf sandigen Böden kommen Schwankungen in der Wasserführung häufiger vor als auf lehmigen Böden (VAN DEN BOOM, 1967).

3.5.2 Einfluss der Temperatur auf die relative Virulenz

Die Temperatur ist ein wichtiger Faktor für die relative Virulenz der pektolytischen Bakterien (PÉROMBELON, 1992b). Sie bestimmt die dominierende Spezies der Bakterien (Abbildung 4) und die Entwicklungsgeschwindigkeit der Krankheit (ELPHINSTONE, 1987). Treten zum Beispiel Pa- und Pc-Bakterien nebeneinander in gleicher Anzahl auf, bestimmt die Temperatur, welche Spezies überwiegt. Pa-Bakterien dominieren bei Temperaturen unter 22 °C. Steigen die Temperaturen jedoch an, dominieren die Pc-Bakterien. Erklären lässt sich dieser Effekt durch die Produktion von speziellen pektolytischen Enzymen, den Pektatlyasen (PL). Untersuchungen bei Pa-Bakterien zeigten, dass die Produktion von Pektatlyasen oberhalb des Temperaturoptimums stark abnahm (PÉROMBELON, 1992b).

Temperatur (°C)	16	20	25
Nassfäule	Pa	Pa/Pc	Pa/Pc/Dickeya	Pc/Dickeya
Stängelerkrankungen	Pa	Pa	Pa/Pc	Pc/Dickeya

Abbildung 4: Temperaturoptima der verschiedenen Bakterienarten für Nassfäule und Stängelerkrankungen

Quelle: verändert nach ELPHINSTONE (1987)

3.5.3 Einfluss des Wassers auf die Verbreitung

Eine Reihe von Untersuchungen hat ergeben, dass Pc- und in geringerem Ausmaß Pa-Bakterien in Oberflächenwasser, Bächen, Flüssen, Teichen und Reservoirs omnipräsent sind. Werden Kulturen mit kontaminierten Wasser bewässert, besteht ein Risiko, dass sich die Bakterien unter ungünstigen Bedingungen in der Kultur ausbreiten und explosionsartig vermehren (PÉROMBELON, 1992b). Das Auftreten der bakteriellen Nassfäule auf dem Feld und im Lager ist besonders groß nach häufigen und intensiven Niederschlägen während der Vegetationsperiode bzw. bei der Einlagerung nassen Erntegutes und zu hoher Luftfeuchtigkeit während der Lagerung (STACHEWICZ, 2008).

Ein Überschuss von Wasser erleichtert die Ausbreitung der Pectobakterien im Boden und blockiert gleichzeitig die pflanzlichen Resistenzsysteme, da diese nur unter aeroben Bedingungen funktionieren (PÉROMBELON, 2002). Mit der Anlage der Tochterknollen bilden sich gleichzeitig Lentizellen aus, die sich mit dem Knollenwachstum vergrößern, deren Anzahl

aber nicht mehr steigt. Die Zahl der Lentizellen hängt neben der Sorte wesentlich von der Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Anlage ab. In nassen, gering durchlüfteten Böden werden bis zu 100% mehr Lentizellen ausgebildet, die unter anhaltend feuchten Bedingungen auch immer geöffnet sind (WEBER, 1986).

3.5.4 Einfluss der kombinierten Faktoren auf die Symptomausprägung

Die Wechselwirkung zwischen Bodenfeuchte und Temperatur (Abbildung 5) bestimmt Häufigkeit und Expression der Symptome. Der Krankheitskomplex wird durch nasse Böden und warme Temperaturen begünstigt. Sind die Temperaturen während des Auflaufens kühl (unter den Optimaltemperaturen der Pathogene), können die Pflanzen auflaufen, zeigen aber Schwarzbeinigkeitssymptome. Feuchte Witterung nach dem Auflaufen führt zu einem vermehrten Auftreten der Schwarzbeinigkeit, während unter trockenen Bedingungen die befallenen Pflanzen vertrocknen. Ist die Bodenfeuchtigkeit während der Auflaufphase geringer, zeigen sich unabhängig von der Temperatur kaum Symptome. Steigt die Bodenfeuchtigkeit im Laufe der weiteren Vegetationsphase an, können Schwarzbeinigkeitssymptome auftreten, während bei anhaltend trockenen Verhältnissen die Pflanzen eher gesund bleiben (ELPHINSTONE, 1987).

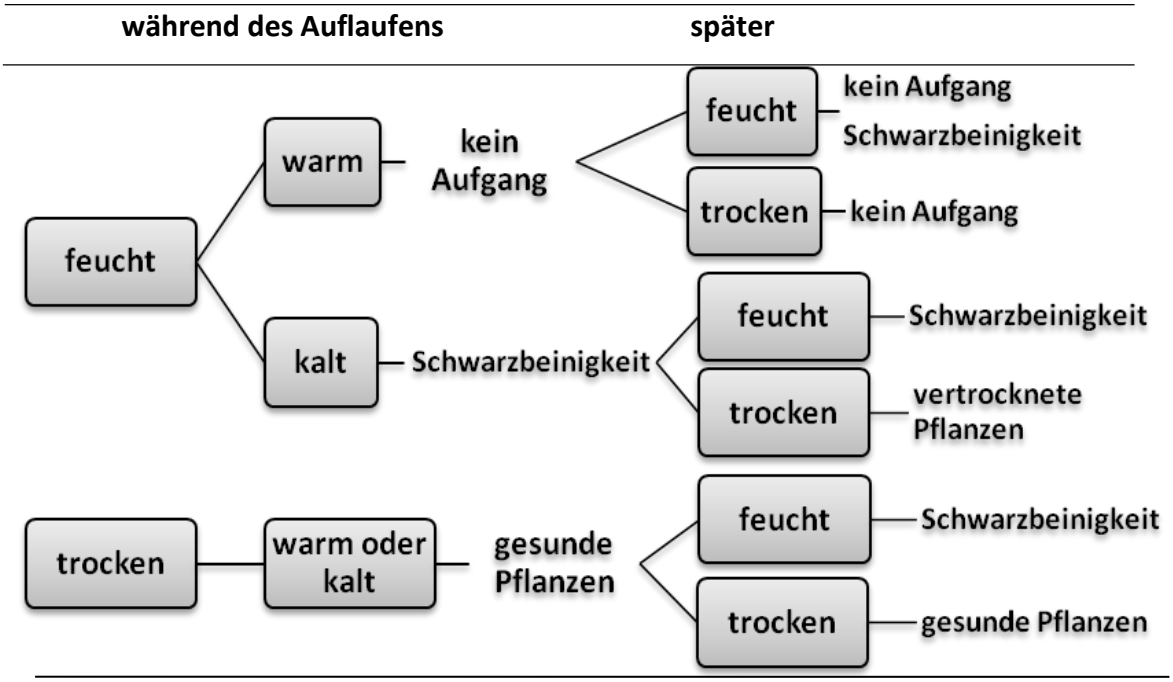


Abbildung 5: Wechselwirkung zwischen Bodenfeuchte und Temperatur in Bezug auf die Symptomausprägung

Quelle: verändert nach ELPHINSTONE (1987)

3.6 Pathogenese und Symptome der Knollennassfäule

3.6.1 Die Position der Erreger an/in der Knolle

Die Nassfäule wird hauptsächlich durch Pa- und Pc-Bakterien verursacht und tritt häufig in Verbindung mit Schwarzbeinigkeit schon auf dem Feld auf (RADTKE et al., 2000). In der Literatur finden sich vereinzelt Hinweise, dass in wärmeren Regionen auch Dickeya sp. eine Knollennassfäule verursachen kann (PÉROMBELON and KELMAN, 1987, STACHEWICZ, 2008).

Die Keimdichte wird üblicherweise als Maß des Infektionsdruckes herangezogen. Im Falle einer latenten Besiedelung beeinflusst aber die Position der Bakterien im bzw. auf dem Knollengewebe die tatsächliche Infektionsgefahr (PEROMBELON, 1980b). Erwinia-Keime können auf der Knollenschale, im Speichergewebe und in den der Atmung und Transpiration dienenden Lentizellen nachgewiesen werden (PÉROMBELON, 2002). Auch im Knollennabel können die Bakterien überdauern (LANGERFELD, 1991). Die auf der Knollenschale haftenden Bakterien können nur über Verletzungen des suberinisierten Periderms in das Speichergewebe gelangen. Das gefährlichste Infektionspotential bilden aber die in den Lentizellen angesiedelten Keime (WEBER, 1990).

3.6.2 Pathogenese in der Kartoffelknolle

Die wichtigste Verbreitungsquelle stellt latent befallenes Pflanzgut dar, wo die Bakterien überdauern (PÉROMBELON, 2002). Bei latenter, symptomloser Besiedelung innerer Geweberegionen sind die Bakterien in den Interzellularräumen durch Lektine an die Wände der Wirtszellen gebunden und umhüllt. Dadurch sind Beweglichkeit und Vermehrung behindert (WEBER, 1990).

PÉROMBELON(1992) nimmt an, dass ein Nährstoffmangel und die Nichtverfügbarkeit freien Wassers das Bakterienwachstum beschränkt. Die Bakterien sind in der Lage, diesen Zustand einige Monate bis zur nächsten Vegetationsperiode zu überdauern.

Die Pflanzgutpartien unterscheiden sich aber im Ausmaß der Besiedelung. Die Anzahl der Bakterien auf den Knollen variiert je nach Lagerbedingungen. Unter feuchten Bedingungen steigt die Anzahl, während sich unter trockenen Bedingungen die Anzahl reduziert. Sind die Knollen zu lange feuchten Bedingungen ausgesetzt, führt dies zu einer ununterbrochenen bakteriellen Vermehrung (PÉROMBELON, 2002). Anfänglich breiten sich die Bakterien in den Interzellularräumen des Gewebes aus und beginnen hier schnell einen Komplex an zellwandlytischen Enzymen zu produzieren (WEGENER, 2010). Überschreitet die

Bakteriendichte das kritische Niveau von 10^7 cfu ml^{-1} (cfu...colony forming units), kann es zur Mazeration der Knollen kommen (PÉROMBELON, 2002).

Die akute Fäule entwickelt sich aus latent verseuchten Knollen nur unter Lagerbedingungen, die für Bakterien günstig sind und an wachsenden Pflanzen im Boden (LANGERFELD, 1991). Damit sich die Bakterien im Knollengewebe vermehren, müssen die hemmenden Faktoren, wie Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit und die Wirtsresistenz überwunden werden. Wasser auf den Knollen stellt jedoch den wichtigsten Faktor für einen Krankheitsausbruch dar (PÉROMBELON and LOWE, 1975). Durch den Wasserfilm auf der Knollenoberfläche kann kein Sauerstoff mehr in das Knollengewebe diffundieren, was in Abhängigkeit von der Temperatur, zu einer Anaerobiose in der Knolle führen kann (BURTON and WIGGINTON, 1970). Die Anaerobiose beeinträchtigt die Resistenzsysteme (Phytoalexine, Phenole, freie Radikale, etc.) der Wirtspflanze und hemmt die Verholzung bzw. Verkorkung der Zellwände (PÉROMBELON, 2002).

Neben der Anaerobiose bewirkt das Wasser auch ein Anschwellen der Rindenzellen. Dadurch bricht die Phellodermschicht im Bereich der Lentizellen auf, welche sich ebenfalls infolge der Feuchtigkeit öffnen. Zusätzlich steigt durch die Anaerobiose die Permeabilität der Zellmembranen, wodurch der Zellinhalt austreten kann. Daraus resultierend, ist es für die Bakterien kein Problem, tiefer in das Knollengewebe vorzudringen, sich zu vermehren und zellwandzerstörende Enzyme zu produzieren. (GRIMAULT et al., 1997). Der enzymatische Abbau bewirkt eine Lockerung der Zellverbände und eine Schwächung der Zellwände. Der osmotische Druck kann die Zellen in der Folge zum Platzen bringen, wodurch die Bakterien zusätzlich mit Nährstoffen versorgt werden (PÉROMBELON, 2002). Im austretenden Faulsaft finden sich Bakterienkonzentrationen von mehr als 10^{12} cfu ml^{-1} (WEGENER, 2010).

Das Gemisch der zellwandauflösenden Enzyme besteht aus Pektinasen, Zellulasen und Proteasen. Dominierend sind die Pektinasen, die einen Abbau der Pektinstoffe in den Zellwänden bewirken. Die Zellwand besteht immerhin zu 47% aus Pektinstoffen (WEGENER, 2000).

Neben den Erwinia-Erregern sind bei der Zersetzung der Mutterknolle auch andere bodenbürtige pektolytische Bakterien, wie *Clostridium* spp., *Bacillus* spp. und *Pseudomonas* spp. beteiligt. Unter den meisten Feldbedingungen dominieren bei der Mazeration aber die Erwinia-Erreger (PÉROMBELON et al., 1979).

3.6.3 Die pflanzliche Abwehr

Die Kartoffel ist den Bakterien nicht völlig schutzlos ausgeliefert, denn sie verfügt über ein ganzes Set von Abwehrmechanismen, die im Falle einer Infektion induziert werden. Damit diese Maßnahmen Wirkung zeigen, müssen die eindringenden Bakterien sehr schnell erkannt werden und die Abwehr möglichst früh beginnen. Lassen sich die ersten eindringenden Erreger nicht blockieren, gewinnen die Bakterien den „Wettlauf“ und bauen das Gewebe ab. Bei der Abwehr spielen phenolische Verbindungen wie Chlorogen-, Kaffee-, Cumarsäure usw., die im Phenylpropanoid-Stoffwechsel der Pflanze gebildet werden, eine große Rolle. Diese Substanzen und ihre Oxidationsprodukte wirken bakterizid und hindern so die Fäuleerreger an einer Ausbreitung (WEGENER, 2010). Diese Art der natürlichen Resistenz ist aber nicht sehr wirkungsvoll (PÉROMBELON, 2002). Die phenolischen Verbindungen sind aber auch Ausgansstoffe für komplexe Makromoleküle wie Suberin und Lignin, Kork- und Holzstoffe, die von den Enzymen der Bakterien nicht abbaubar sind. Sie dienen daher auch als eine Art Schutzbarriere (WEGENER, 2010). Einlagerungen von Lignin und Suberin erfolgen im Bereich der Mittellamelle und der primären Zellwand. Unter natürlichen aeroben Bedingungen kann dadurch eine Ausbreitung der Bakterien verhindert werden. Zusätzlich kommt es unter aeroben Bedingungen auch zu Kalloseeinlagerungen in den Tüpfeln der Zellen. Dies dient ebenfalls zum Schutz vor einer weiteren Ausbreitung der pektolytischen Bakterien (PÉROMBELON, 2002). Eine erfolgreiche Abwehr ist an der Knolle in Form von Nekrosen sichtbar. Dadurch werden die Bakterien von den Nährstoffen abgetrennt und sterben ab. Die Abwehrreaktion der Knolle benötigt jedoch ausreichend Sauerstoff, um voll wirksam zu werden. Die Pectobakterien hingegen können sich auch im anaeroben Milieu vermehren. Das ist ein natürlicher Konkurrenzvorteil, der eine Bekämpfung dieser Erreger in der Praxis so schwierig macht (WEGENER, 2010).

Versuche zeigten, dass unter aeroben Bedingungen die Primärinfektion sehr hoch sein muss, damit das kritische Niveau überschritten wird und es zu einer Mazeration des Knollengewebes kommt. Gelingt dies nicht, schließt das benachbarte Gewebe das Bakterium ein und die Infektion wird latent (PÉROMBELON, 2002).

3.6.4 Charakteristische Symptome der Knollennassfäule

Bei der Knollennassfäule werden die Knollen je nach den Umständen teilweise oder ganz, langsam oder schnell in eine weichfaule, breiige Masse verwandelt (Abbildung 6) (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954). Die Knollen können bis zur Ernte restlos zerstört sein (RADTKE et al., 2000).

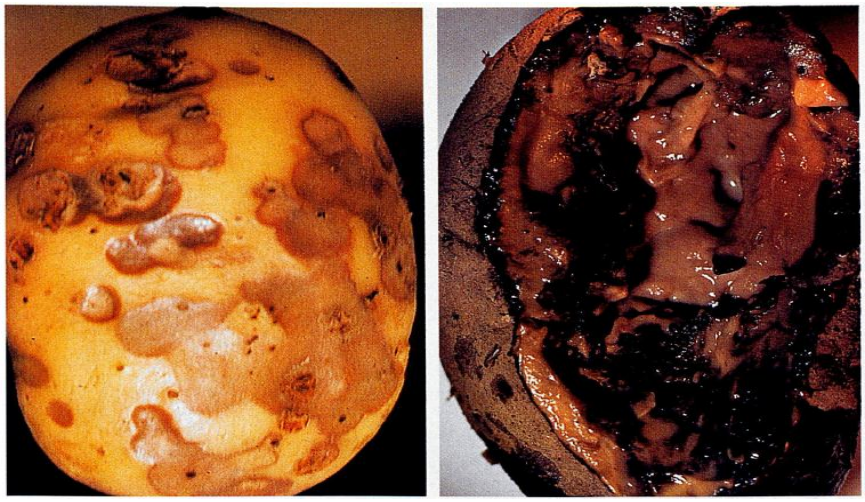


Abbildung 6: Nassfäulebefall über die Lentizellen (links) und Nassfaule Knolle (rechts) die zusätzlich durch nicht pathogene Bakterien zersetzt wird

Quelle: RADTKE et al.(2000)

Wegen verschiedener Infektionswege beginnt die Fäule nicht immer am Stolonenende der Knollen. Infizierte Lentizellen (Abbildung 6) weisen äußerlich einen braunen Hof auf, der sich nach dem Eintrocknen eindellt und sich häufig braun verfärbt. Dieses Symptom sieht der „Schalennekrose“ zum verwechseln ähnlich (RADTKE et al., 2000). Zu Beginn der Mazeration ist das faulende Gewebe von einem dunkelbraunen bis schwarzen Rand umgeben (ALFORD, 2000). Bei weiterem Verlauf kommt es zu einer völligen Umformung des Knollenfleisches in eine breiige, wässrige Masse (Abbildung 6), die nur durch die pergamentartige Schale zusammengehalten wird (HEITEFUSS et al., 2000, RADTKE et al., 2000, WEGENER, 2000, KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954). Die verkorkte Schale, die von den Bakterien nicht angreifbar ist, kann schon bei leichtem Druck aufplatzen. Der austretende bis dahin farblose Faulbrei verfärbt sich in der Luft ziemlich schnell bräunlich rot bis schwarzbraun. Der Geruch solcher Knollen ist schwach und verbreitet einen typischen modrigen, muffigen Kellergeruch. Infolge von Sekundärinfektionen wird das zersetze Gewebe häufig von anderen, nicht pathogenen Bakterien befallen. Es entsteht unter anaeroben Bedingungen Buttersäure und

ein eitriger Schleim, der einen widerlichen Geruch verbreitet (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954).

3.7 Pathogenese und Symptome der Schwarzbeinigkeit

3.7.1 Pathogenese der Schwarzbeinigkeit

In unseren Breiten wird das Pa-Bakterium als verantwortlicher Erreger der typischen Schwarzbeinigkeit angesehen (GERHOLD, 1974). Die Pathogenese ist temperaturabhängig. Für die Pa-Bakterien sind Temperaturen unter 25 °C optimal (PÉROMBELON, 2002).

Im Gegensatz zur Knollennassfäule tritt die Schwarzbeinigkeit unter aeroben Bedingungen auf, wenn von der faulenden Mutterknolle eine große Anzahl von Pathogenen in die Stängel eindringen. Bei Pflanzen wo die Mutterknolle fehlt, bzw. nicht infiziert ist, entwickelt sich die Schwarzbeinigkeit nicht, auch wenn der Boden stark mit den Erregern kontaminiert ist. Die fördernden Faktoren der Knollennassfäule unterstützen auch die Entwicklung von Schwarzbeinigkeit. Die Bodenfeuchte spielt auch hier die wichtigste Rolle. Auf dem Feld kommt es infolge anhaltenden Regens oder ständiger Bewässerung zu anaeroben Bedingungen in der Mutterknolle, was die Fäule induzieren kann (M.C.M. PÉROMBELON et al., 1989).

Die relative Resistenz der Kartoffel gegen Knollennassfäule und Schwarzbeinigkeit kann unterschiedlich sein. Eine hohe bzw. geringe Resistenz gegen Knollennassfäule bewirkt eine hohe. bzw. geringe Resistenz gegenüber Schwarzbeinigkeit. Bonituren der Pflanzen zeigten aber, dass die Erscheinungshäufigkeit der Schwarzbeinigkeit stärker von der Resistenz des Stängels als von der Knolle beeinflusst wird. Die Rate der latent infizierten Knollen beeinflusst jedoch die Häufigkeit der Schwarzbeinigkeit (PÉROMBELON, 2002). Die Bakterien gelangen mit Hilfe des Transpirationsstromes vom Gefäßsystem der Mutterknolle in die Leitungsbahnen des Xylems im Stängel. Bestimmte anatomische Merkmale der Stängel, erhöhen die Resistenz gegen die Bakterien. Eine Barriere aus Lignin zwischen Mutterknolle und den entstehenden Trieben kann die Translokation der Bakterien beschränken (WEBER, 1990). Durch die verholzte Schicht sind die zellwandzersetzenden Enzyme der Bakterien in ihrer Wirkung eingeschränkt (PÉROMBELON, 2002). Schwarzbeinigkeitssymptome entwickeln sich normalerweise an jungen Trieben bevor sich diese Barriere ausbilden kann, oder auf alten Stängeln über der verholzten Basis (PÉROMBELON, 1992).

Wenn sich Schwarzbeinigkeit früh in der Vegetationsperiode entwickelt, resultiert dies aus

der infizierten Mutterknolle. In der späteren Wachstumsperiode sind die Pflanzen schon unabhängiger von der Mutterknolle. Die unteren Bereiche des Stängels sind schon stärker verholzt und daher resistenter gegenüber einer Mazeration. Zu diesem Zeitpunkt müssen bei einer Stängelinvasion nicht unbedingt Schwarzbeinigkeitssymptome auftreten. Vor allem unter kühleren Bedingungen ist es nicht unüblich, dass nur ein Stängel Symptome aufweist obwohl auch alle anderen Stängel der Pflanze mit den Bakterien infiziert sind. Unter anhaltend feuchten Bedingungen können dann alle Stängel Schwarzbeinigkeitssymptome aufweisen (PÉROMBELON, 2002).

3.7.2 Charakteristische Symptome der Schwarzbeinigkeit

Die Symptome variieren in Abhängigkeit von der Primärkontamination der Pflanzkartoffeln, der Sorte, den Umweltbedingungen, der Temperatur und der Bodenfeuchte (CZAJKOWSKI et al., 2009).

Typisch ist eine schwarzbraune bis schwarze Verfärbung an der Stängelbasis. Der Habitus der Pflanzen erscheint meist zwerghaft und gedrungen. Die Zweige und Blätter wachsen aufwärts, wodurch der Gipfel ein zusammengedrängtes Aussehen bekommen kann. Das Laub erscheint hellgrün bis gelb und besitzt einen metallischen Schimmer (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954). Bei noch nicht so starkem Befall können die Fiederblätter infizierter Triebe zur Mittelrippe hin eingerollt sein. Sie besitzen aber nicht die feste Konsistenz, wie im Falle einer Blattroll- (Virus-) Infektion (RADTKE et al., 2000). Die Blätter befinden sich in einer Art Starrezustand (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954). Die Triebe lassen sich leicht aus dem Boden herausziehen, da fast keine Wurzeln mehr vorhanden sind (HEITEFUSS et al., 2000). Die Stängel weisen die erwähnte dunkelbraune bis schwärzliche Verfärbung auf und sind an diesen Stellen fast immer erweicht und angefault (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954). Infizierte Stolonen zeigen diese Färbung ebenfalls. Weiter lässt sich die Epidermis durch die Zerstörung der Mittellamellen leicht vom nassfaulen Stängel lösen (RADTKE et al., 2000). Es müssen aber nicht alle Stängel einer erkrankten Pflanze angegriffen sein. Gesunde Triebe können Seite an Seite neben erkrankten stehen und mehrere Triebe derselben Pflanze können verschiedene Grade der Erkrankung aufweisen (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954).

In der folgenden Abbildung 7 sind die typischen Symptome der Schwarzbeinigkeit dargestellt.

Abbildung 7: Vergilbte Pflanzen während des Auflaufens im zeitigen Frühjahr (links); Welkende und vergilbende Pflanzen mit ausgeprägten Schwarzbeinigkeitssymptomen (Mitte, rechts)

Quelle: RADTKE et al.(2000)

Die ersten Symptome können teilweise schon im Frühjahr während des Auflaufens an den Stängeln beobachtet werden (HEITEFUSS et al., 2000). Durch eine frühzeitige Zersetzung der Mutterknolle, kommt es zu Fehlstellen oder zur Entwicklung schwacher, wenigtriebiger Pflanzen (SCHIESSENDOPPLER and CATE, 1976). Niedrige Temperaturen und hohe Niederschläge führen zu verstärkten Befall (GRÜNIG, 2007). Überwiegend wird der Befall aber erst in den Sommermonaten Juni-Juli sichtbar (RADTKE et al., 2000). Zu dieser Jahreszeit erkranken fast immer sämtliche Triebe einer Staude, sofern es überhaupt zum Auflaufen kommt und die Keime nicht bereits absterben, bevor sie die Erdoberfläche erreicht haben. (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954). Bei jungen Pflanzen entwickeln sich die Symptome primär an der Stängelbasis und nicht an der Pflanzenspitze oder in den Blättern (PÉROMBELON, 2002). Hier spricht man von der typischen Schwarzbeinigkeit. Die häufig schon aufgehellten Blätter welken und die Sprosse am Stängelgrund sind weichfaul und braun bis schwarz verfärbt (WEBER, 1986).

Früh angegriffene Pflanzen können oft noch lange am Leben bleiben, wobei es aber nur selten zu einem nennenswerten Knollenansatz kommt. Dennoch entstehende Knollen werden in ihrer Entwicklung gehemmt, weil die Nährstoffzufuhr aus den oberirdischen Pflanzenteilen stark behindert ist. Nach einer etwaigen Behäufelung vermögen sich kranke Stauden kurzzeitig zu erholen, da sich oberhalb der erweichten Stängelzone neue Wurzeln ausbilden können. Die Pflanzen gehen dennoch allmählich zugrunde.

Pflanzen, die später in der Vegetationsperiode angegriffen werden z.B. durch Infektionen aus

dem Boden, können ihre volle Größe erreichen. Sie können der Infektion aber schneller erliegen, als Pflanzen, die im Jugendstadium infiziert wurden. Die Pflanzen können bereits drei bis fünf Tage nach der Infektion welken und an der Basis umfallen, ohne dass der Habitus die sonstigen oben beschriebenen pathologischen Veränderungen aufweist (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954). Wenn Symptome auftreten, sind diese nicht mehr an der Basis sichtbar, sondern im mittleren bzw. oberen Bereich der Pflanze (De BOER, 1994). Die geschilderten Symptome können jedoch durch Sorteneinfluss, Witterungseinfluss, Infektionszeitpunkt und Mischinfektionen beeinflusst werden (RADTKE et al., 2000).

Bei näherer Betrachtung der basalen Stängelteile stellt man fest, dass die durch die Verfärbung lokal begrenzten Krankheitsherde eine typische Nassfäule zeigen. Wenn man den Stängel aufschneidet, sieht man, dass die Gefäßbündelstränge dunkel verfärbt sind. Unter dem Mikroskop lässt sich erkennen, dass die Einzelzellen in dieser Zone aus ihrem Verband gelöst, die Zellwände aber noch erhalten sind (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954).

Der Nassfäule-Erreger Pc kann an den Stängeln ähnliche Symptome verursachen. Im Gegensatz zu Pa erzeugt er jedoch an den unteren Stängelteilen eine braune, wässrige Fäule (RADTKE et al., 2000)

3.8 Maßnahmen zur Schadensbegrenzung

Damit Infektionen mit Pc-Bakterien überhaupt stattfinden können, müssen feuchte Bedingungen herrschen. Aus diesem Sachverhalt lassen sich verschiedene Strategien ableiten, um eine Infektion mit Pc-Bakterien zu verhindern (SCHEID, 2008). Hat sich die Erkrankung erst einmal etabliert, gibt es kaum noch Möglichkeiten sie einzudämmen (WEGENER, 2010). Die Kontrolle des Krankheitskomplexes ist sehr schwer, da die Pc-Bakterien allgegenwärtig sind. Das Hauptproblem besteht aber in der Tatsache, dass Kartoffeln vegetativ vermehrt werden und die Bakterien in den Knollen zwischen den Vegetationsperioden überleben (De BOER, 1994, STACHEWICZ, 2008).

Ackerbauliche und technische Maßnahmen haben dennoch erheblichen Einfluss auf das Entstehen von Knollennassfäule und Schwarzbeinigkeit. Vorrangiges Ziel ist die Vermeidung eines hohen Erregerniveaus, welches die Entstehung von Knollennassfäule oder Schwarzbeinigkeit ermöglicht (LANGERFELD, 1991). Durch die Unterstützung der pflanzlichen Abwehr und die Schaffung sub-optimaler Bedingungen für die Bakterien, lässt sich das Fäulerisiko in der Praxis begrenzen (WEGENER, 2010). Abbildung 8 gibt einen Überblick, mit welchen Maßnahmen eine Reduktion von Schwarzbeinigkeit und Nassfäule zu erreichen ist.

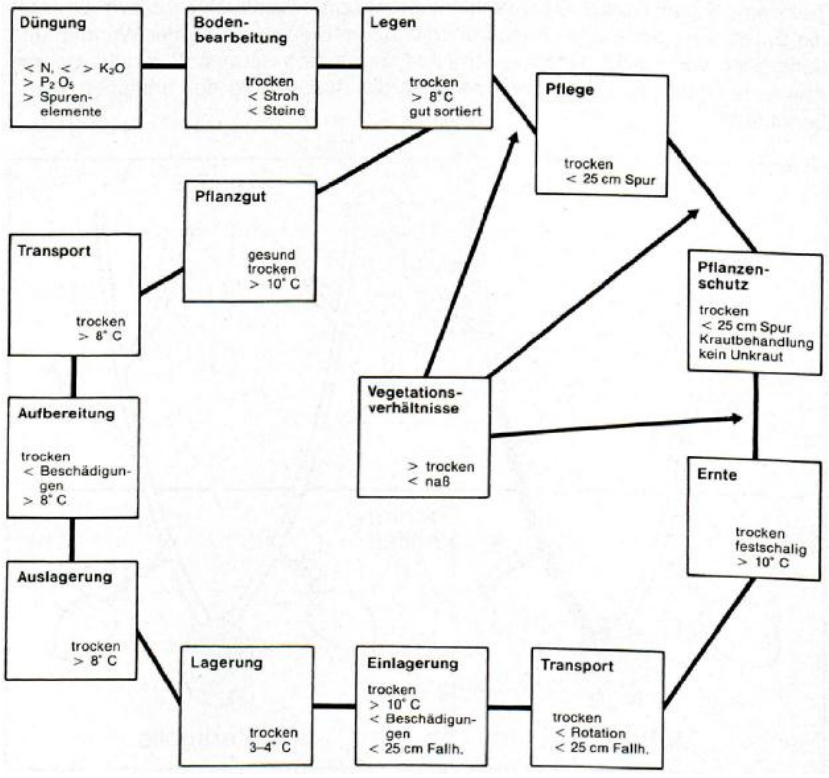


Abbildung 8: Ackerbauliche und technische Maßnahmen zur Reduktion von Nassfäule und Schwarzbeinigkeit bei Kartoffeln

Quelle: LANGERFELD (1991)

3.8.1 Gesundes Pflanzgut und Hygiene

Der wichtigste Bekämpfungsansatz ist die Verwendung von gesundem Pflanzgut. Wegen der möglicherweise latenten Verseuchung, ist dessen Bewertung allerdings schwierig. Selbst bei augenfällig befallsfreien Kartoffelbeständen ist die Gefahr eines Befalls nicht ganz auszuschließen. Trotzdem kommt diesem Punkt eine besondere Beachtung zu, da andernfalls mit dem Auspflanzen befallener Knollen ein neuer Krankheitszyklus ausgelöst wird (SCHEID, 2008). Bei den Pectobakterien hilft der Einsatz von gesundem Pflanzgut nur bedingt, da die Erreger in der Umwelt weit verbreitet sind und sich die Pflanzen bzw. Mutterknollen leicht infizieren können (De BOER, 1994). Sind mittlere ($>10^3 – 10^4$ cfu ml^{-1}) bis hohe ($>10^5$ cfu ml^{-1}) Pflanzgutbelastungen durch die Bakterien zu erwarten, was nach feuchten Anbaujahren vorkommt, sollte eine Untersuchung der kontaminierten Partien erfolgen. Dazu eignen sich übliche Plattentests, ELISA- und PCR-Analyseverfahren.

Um den hohen Infektionsdruck schon im Vorfeld zu mindern sollten die üblichen Hygienemaßnahmen wie Reinigung und Desinfektion von Maschinen, Geräten, Transport- und Lagereinrichtungen selbstverständlich sein (WEGENER, 2010).

3.8.2 Pflanzgutvorbereitung, Bestellung

Je kürzer die Zeitspanne zwischen dem Legen der Knollen und der Entwicklung kräftiger Pflanzen ist, umso geringer ist die Gefährdung durch die bakteriellen Erreger. Schlechte Vorbehandlung, niedrige Bodentemperaturen, kalte Knollen, hohe Bodenfeuchtigkeit und luftundurchlässige Böden führen zu einem vorzeitigen Faulen der Mutterknollen und damit zu Kümmerpflanzen, Schwarzbeinigkeit und Fehlstellen (LANGERFELD, 1991). Der Auspflanzungstermin darf daher nicht zu früh gewählt werden (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954). Die Knollen sollten nur in ausreichend trockene, lockere und warme Böden (mindestens 8 °C) gelegt werden. Eine Muldenbildung, wo sich Wasser anstauen kann, ist unbedingt zu vermeiden.

Die Vorkeimung verkürzt die kritische Phase beim Auflaufen, führt allerdings nur bei gesundem Pflanzgut zum Erfolg. Durch die Temperaturerhöhung beim Vorkeimen gehen latente Infektionen durch die Bakterien bereits vorzeitig in akute Fäule über. Verwendet man vorbehandeltes Pflanzgut, soll keimgestimmtes Pflanzgut eine Keimlänge von einem Millimeter und vorgekeimtes Pflanzgut eine Keimlänge von 20 bis 30 mm besitzen. Die Knollentemperatur muss mindestens 10 °C betragen.

Wenn feuchte bzw. nasse oder gar faule Knollen ausgepflanzt werden, übernimmt die

Legemaschine die Funktion eines Bakterienüberträgers. Eine einzige faule Knolle in der Legemaschine kann viele gesunde Knollen verseuchen. Deshalb ist nach jeder befallenen Partie die Legemaschine gründlich zu reinigen und die Vorratsbehälter und die Legeorgane sind durch Abdeckung trocken zu halten. Die Pflanzknolle selbst ist flach zu legen, da diese einen trockenen Fuß bevorzugt. Die Knollenoberkante soll sich in der Höhe der Ackeroberfläche befinden (LANGERFELD, 1991). Bei schweren Böden ist die Pflanztiefe geringer zu bemessen, als auf leichten sandigen Böden (KÖHLER and KLINKOWSKI, 1954).

3.8.3 Pflegemaßnahmen

Eine gute Lockerung und Durchlüftung des Bodens durch Pflegemaßnahmen verhindert nasse und sauerstoffarme Verhältnisse im Bereich der Mutterknollen und somit deren vorzeitiges Verfaulen. Je früher die Mutterknollen an der wachsenden Pflanze verfaulen, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Schwarzbeinigkeit entsteht (LANGERFELD, 1991). Freies Bodenwasser fördert nach fäulebedingtem Zerfall der Mutterknolle ein Ausbreiten der Bakterien im Boden und damit eine Verseuchung der Tochterknollen und der benachbarten Mutter- bzw. Tochterknollen. Verdichtungen, Verschlämmungen und Verkrustungen des Bodens sind so weit wie möglich zu vermeiden. Pflegemaßnahmen sollten nur bei völlig trockenen Beständen durchgeführt werden, wobei Verletzungen an den Kartoffelstauden und den Tochterknollen zu minimieren sind (LANGERFELD, 1991, STACHEWICZ, 2008).

3.8.4 Düngung

Höhe, Ausbringungszeitpunkt und Nährstoffverhältnis der Düngung beeinflussen die Abreife des Krautes bzw. die Abreife und Schalenfestigkeit der Knollen. Diese zwei Vorgänge können mit der Befallshöhe im Bestand und dem Krankheitsverlauf in Verbindung stehen.

Eine frühzeitige Abreife des Krautes sichert eine einwandfreie, vollständige und termingerechte Krautentfernung bzw. –abtötung und senkt damit die Ernterückstände auf dem Roder (LANGERFELD, 1991). Auf die Schalenfestigkeit muss ein besonderes Augenmerk gelegt werden, da festschalige Kartoffeln eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen Beschädigungen aufweisen. Hierdurch wird die Zahl und Schwere der Verletzungen reduziert und damit möglichen Lagerproblemen vorgebeugt. Ferner sinkt bei schalenfester Ware die Gefahr einer Infektion über Lentizellen. Da durch termingerechte Krautbeseitigung die Abreife der Knollen und damit deren Schalenfestigkeit hervorragend gesteuert werden kann,

lässt sich auf diese Weise einer möglichen Knollennassfäule vorbeugen (SCHEID, 2008).

Die Abreife von Knollen und Kraut wird in erster Linie durch ein Überangebot und spätes Verabreichen von Stickstoff verzögert. Mangel an Phosphat, Kalium, Magnesium, Calcium und Mangan verhindert vor allem eine ausreichende Schalenfestigkeit. Auch organische Düngergaben verlangsamen die Abreife von Kraut und Knollen durch die kontinuierliche Freisetzung von mineralisiertem Stickstoff während der gesamten Vegetationsperiode. Stallmist und Gülle sollen deshalb nur in mäßigen Gaben und nur im Jahr vor dem Kartoffelbau verabreicht werden (LANGERFELD, 1991).

3.8.5 Pflanzenschutz

Das Vorhandensein braunfauler Knollen, verursacht durch *Phytophthora infestans*, kann ein Ausgangspunkt für eine (sekundäre) bakterielle Nassfäule sein. Eine Phytophthorabekämpfung muss deshalb sorgfältig und nach amtlichen Empfehlungen durchgeführt werden. Zerquetschte und abgeknickte Stängel in den Radspuren bilden vor allem bei nassem Wetter eine zusätzliche Infektionsquelle. Von den angefaulten Stängelteilen werden die Bakterien mittels Regenwasser an die Knollen im Boden gespült. Darum sollten die Bestände nur mit Traktoren, mit ausreichend schmaler Bereifung und zusätzlich montierten Krautabweisern befahren werden. Die Pflanzenschutzmaßnahmen sollten wiederum nur bei gut abgetrockneten Beständen erfolgen (LANGERFELD, 1991).

3.8.6 Ernte und Einlagerung

Der Ernte, dem Transport und der Einlagerung kommt eine zentrale Rolle bei der Verbreitung der Nassfäule zu. Während dieser Arbeiten entstehen mehr oder weniger große Verletzungen an der Knolle, die ideale Eintrittspforten für die Bakterien darstellen. Aus diesem Grund reichen schon wenige nassfaule Knollen im Erntegut aus, um große Kartoffelmengen über kontaminierte Maschinenteile oder durch den direkten Kontakt von verletzter zu befallener Knolle zu infizieren (SCHEID, 2008). Die Ernte selbst ist bei trockenem Wetter und auf abgetrockneten, siebfähigen Böden vorzunehmen (SCHEID, 2008, STACHEWICZ, 2008). Auf dem Kartoffelroder kommt das Erntegut mit Krautresten, faulen Mutterknollen, ev. auch mit faulen Tochterknollen und verseuchter Erde in Kontakt. Die gleichzeitig entstehenden Beschädigungen ermöglichen eine Knolleninfektion. Weitere Infektions- und Ausbreitungsmöglichkeiten ergeben sich durch verseuchte Sieb- und Trenneinrichtungen (LANGERFELD, 1991). Wichtig ist auch eine ausreichend hohe

Knollentemperatur bei der Ernte, die größer als 10 bis 12 °C sein sollte, um Knollenbeschädigungen möglichst gering zu halten. Auch der Schalenfestigkeit (vgl. 3.8.4) kommt eine zentrale Bedeutung zu (SCHEID, 2008).

Eine Alternative bei befallenen Partien wäre das geteilte Ernteverfahren, das einen entscheidenden Beitrag zur Rettung der Partie bringen kann (HEITEFUSS et al., 2000). Unter dem geteilten Ernteverfahren versteht man die Ablage der Knollen durch einen Vorratsroder in einem Schwad. Die Knollenaufnahme erfolgt in einem zweiten Arbeitsgang durch einen Sammelroder oder einen speziellen Schwadsammler (BERGER et al., 1994). Dadurch können die Knollen auf dem Feld besser abtrocknen (LANGERFELD, 1991). Teilflächen, die besonders stark von Schwarzbeinigkeit befallen sind, sollen zudem gesondert geerntet werden (SCHEID, 2008).

Für die Knollenbewegungen bei der Einlagerung gilt, dass feuchte Förderbänder, Enterder, Sortiersiebe u.a. zu gefährlichen Bakterienverteilern werden, wenn sich faule Knollen im Erntegut befinden (LANGERFELD, 1991).

Nach der Ernte ist auf die sofortige Abtrocknung der Ware zu achten, um so die Infektionskette zu unterbrechen. Auf keinen Fall darf nasse Ware eingelagert werden. Nach der Einlagerung und der dort stattfindenden Abtrocknungsbelüftung muss eine schnelle Wundheilung erfolgen, da so der Befall und die Gewebezerstörung merklich eingeschränkt werden kann (SCHEID, 2008). Durch die Frischluftzufuhr wird den Bakterien, die sich auf der Knollenoberfläche sowie in Wunden und Lentizellen befinden, das Wasser entzogen. Das heißt, ihre Vermehrung und Ausbreitung im Wasser wird verhindert. Ein Feuchtigkeitsfilm auf der Knollenoberfläche schafft außerdem ein anaerobes Milieu, in dem sich die Bakterien zwar vermehren können, aber Wundheilungs- und Abwehrreaktionen der Knolle nicht mehr funktionieren (WEGENER, 2010). Die in das Lager zugeführte Luftmenge sollte aber maximal 3 bis 5 °C kühler sein als die Temperatur über dem Kartoffelstapel, anderenfalls kommt es zur Bildung von Schwitzwasser, was die Ausbreitung der Nassfäule wiederum fördert (RADTKE et al., 2000). In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass nassfaule Knollen zusätzlich Feuchtigkeit freisetzen und so im Lager ein günstiges Mikroklima für eine weitere Befallsausbreitung schaffen (SCHEID, 2008).

Neben der Feuchtigkeit wirkt sich auch eine überhöhte Kohlendioxid-Konzentration förderlich auf die Befallsentwicklung aus. Diesem Punkt muss eine entsprechende Beachtung geschenkt werden, da verletzte bzw. faulende Knollen vor allem in der ersten Lagerperiode

eine hohe Atmungsaktivität aufweisen und damit verstärkt Kohlendioxid freisetzen. Belastete Partien sollten daher in den ersten drei Tagen nach der Einlagerung rund um die Uhr belüftet werden, um Schlimmeres zu verhindern (SCHEID, 2008).

3.8.7 Lagerung und Auslagerung

Nach der Einlagerung muss die Verkorkung der Beschädigungen gewährleistet sein. Die Wundheilperiode erfordert während der ersten 8-12 Tage eine Knollentemperatur von mindestens 12 °C. Die Abtrocknung hat jedoch immer Vorrang, auch wenn die Knollentemperatur dabei absinkt. Ist die Wundheilperiode abgeschlossen, sind die Knollen zügig auf 3 bis 5 °C abzukühlen. Während der Lagerung müssen überschüssige Feuchtigkeit, Wärme und Kohlendioxid durch regelmäßigen Luftaustausch abgeführt werden. Eine Luftfeuchtigkeit dicht an der Sättigungsgrenze (93%) schützt vor Gewichtsverlusten und Lagerdruckstellen und hat bei trockenen und schalenfest eingelagerten Knollen keinen nachteiligen Einfluss auf ihre Gesundheit.

Die Kartoffelknollen sind im kalten Zustand extrem beschädigungsanfällig, deshalb müssen sie vor der Auslagerung, Sortierung und Transport auf mindestens 8 °C angewärmt werden. Insgesamt ist die Kartoffelbewegung auf ein Mindestmaß zu beschränken. Auch die Fallhöhen sollen 25 Zentimeter nicht überschreiten. Ein Feuchtigkeitsniederschlag auf kalten Knollen in wärmerer Luft ist unter allen Umständen zu vermeiden. Befinden sich faule Knollen im Stapel, übertragen vor allem feuchte Förderbänder und Sortiersiebe die Bakterien auf gesunde Knollen. Entstehende Beschädigungen ermöglichen latente Infektionen und akute Nassfäule (LANGERFELD, 1991).

3.8.8 Behandlung mit chemischen Mitteln

Der Einsatz der Kupferpräparate Cuprozin Flüssig bzw. Cuprozin WG zeigt zwar eine gewisse Wirkung, bringt aber keinen durchschlagenden Erfolg, da es nur dann zu einer gewissen Reduktion der Erregerpopulation kommt, wenn diese direkt vom Mittel getroffen wird (WEGENER, 2010).

3.9 Züchtung und Züchtungsforschung

Die genetische Resistenz ist ein attraktiver Ansatz zur Kontrolle der Krankheit, da für die Erzeuger kein Aufwand entsteht. Die natürliche Resistenz involviert Kalzium und komplexe Polymere wie Lignin und Suberin in den Zellwänden, phenolische Komponenten und niedermolekulare Phytoalexine (De BOER, 1994). Zurzeit gibt es kaum resistente Kartoffelsorten, da die genetische Nassfäule-Resistenz ein polygenes Merkmal ist.

Interessant ist der große Genpool der Wildkartoffeln. Es müssen erst Resistenzressourcen evaluiert und geeignete Methoden entwickelt werden, die eine züchterische Selektion der Kartoffel gegenüber der Knollennassfäule und Schwarzbeinigkeit erleichtern. Die Verwendung biochemischer und molekularer Marker kann ebenfalls einen Beitrag leisten (WEGENER, 2010).

4 Material und Methoden

4.1 Standortbeschreibung

4.1.1 Windigsteig

Der Versuchsstandort Windigsteig (Abbildung 9) im Bezirk Waidhofen an der Thaya mit den geografischen Koordinaten 48°45'49,12''N; 15°17'02,52''O, liegt etwa 8 km südlich der Stadt Waidhofen an der Thaya im nördlichen Waldviertel. Die Ortschaft befindet sich auf einer Seehöhe von 498 m (MOOSE GEO-EXPLORER, 2010).

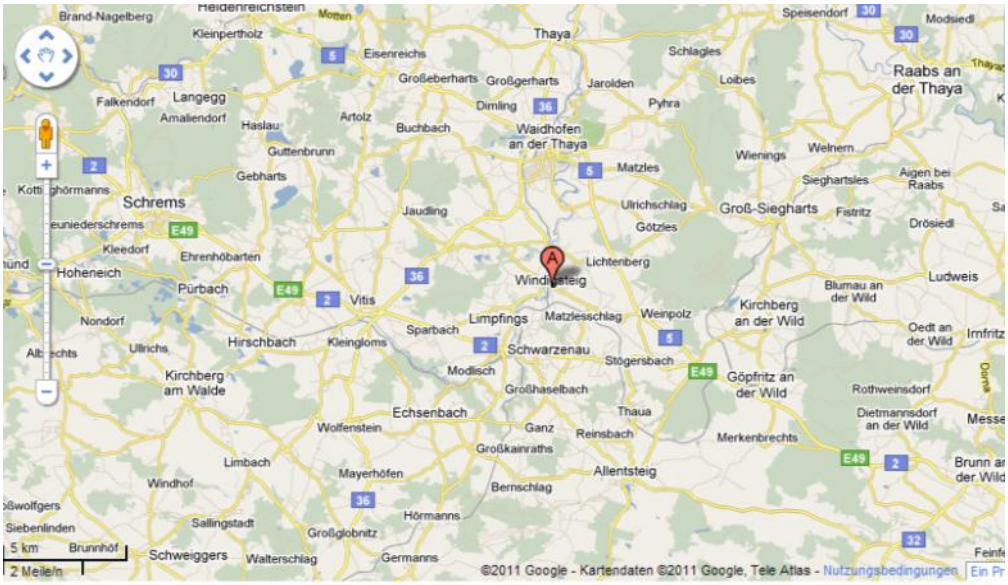


Abbildung 9: Lage des Versuchsstandortes Windigsteig

Quelle: GOOGLE MAPS (2010)

Windigsteig liegt in den Mittellagen des Waldviertels (STATISTIK AUSTRIA, 2010) und wird vom mitteleuropäischen Übergangsklima beeinflusst.

Das Klima dieses Raumes kann kurz mit den Schlagworten rau und trocken charakterisiert werden. Die jährlichen Durchschnittstemperaturen liegen im Allgemeinen zwischen 6 und 7 °C, die Mittel des Julis sind 15 bis 18 °C, die des Jänners -5 bis -2 °C. Die Niederschlagsmengen sind, besonders auf der Hochfläche von Geras ähnlich gering wie im pannonischen Raum (Jahresmittel 500-700 mm) und steigen mit zunehmender Höhenlage und nach Westen (bis über 900 mm) nur allmählich an (HOLZNER, s.a.).

Die Jahresdurchschnittstemperatur am Versuchsort beträgt 7 °C, die langjährig gemittelte Niederschlagssumme beträgt 616 mm, wobei der Niederschlag zu 56% in den Monaten April

bis August fällt.

Die Daten zu den langjährigen Durchschnittswerten stammen von der Wetterstation in Schwarzenau (ZAMG, 2010). Die nachfolgende Abbildung vergleicht die langjährigen Monatsniederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen mit denen des Versuchsjahres 2010.

In Abbildung 10 ist deutlich zu erkennen, dass die Niederschläge in den Monaten April bis September deutlich über den jährlichen Durchschnitt lagen. Die Niederschläge im Vergleichszeitraum April bis September lagen in Windigsteig etwa um 140 mm höher als im langjährigen Schnitt. Auch die Durchschnittstemperaturen befanden sich im Erntejahr 2010 mit 15 °C über den langjährigen Durchschnittswerten von 13,2 °C.

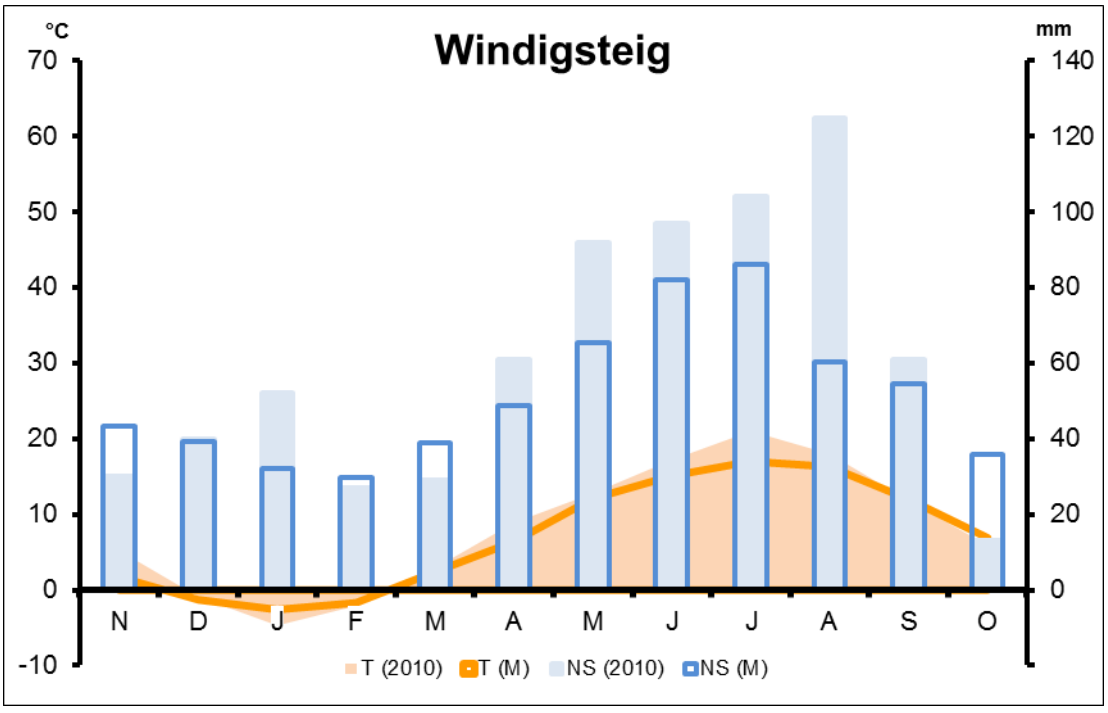


Abbildung 10: Vergleich der Niederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen für den Standort Windigsteig

Quelle: verändert nach ZAMG (2010), DIE ÖSTERREICHISCHE HAGELVERSICHERUNG (2010)

Die Versuchsfläche selbst liegt im nordöstlichen Teil eines nördlich exponierten Feldstückes. Der vorherrschende Bodentyp ist eine kalkfreie Felsbraunerde aus dem Ausgangsmaterial Gneis. Der A-Horizont besitzt eine durchschnittliche Mächtigkeit von 20-25 cm, der Übergang vom B- zum C-Horizont liegt etwa bei einer Tiefe von 35-65 cm. Die dominierende Bodenart ist lehmiger Sand, wobei mit zunehmender Tiefe der Grobanteil (Grus, Steine, Grobsteine) stark zunimmt. Der A-Horizont ist mittelhumos mit der Humusform Mull. Der

Grobanteil setzt sich aus Gneisen, Amphibolit und Granulit zusammen. Das Feldstück selbst ist mäßig trocken, mit einer hohen Durchlässigkeit und einer mäßigen Speicherkraft für Wasser. Durch die geringe Hangneigung besteht mäßige Erosionsgefahr. Der Boden des Feldstückes ist kalkfrei und die Bodenreaktion ist sauer bis stark sauer. Der Ackerstandort wird als mittelwertiges Ackerland eingeschätzt und ist meist gut zu bearbeiten. Es kann aber zu erhöhten Geräteverschleiß kommen, resultierend aus dem stellenweise höheren Steingehalt im Oberboden (EBOD, 2006).

4.1.2 Naglern

Der Versuchsstandort Naglern (Abbildung 11) im Bezirk Korneuburg mit den geografischen Koordinaten 48°30'08,45''N; 16°21'25,79''O, liegt im Weinviertel etwa 30 km nördlich von Wien. Naglern befindet sich auf einer Seehöhe von 293 m (MOOSE GEO-EXPLORER, 2010).

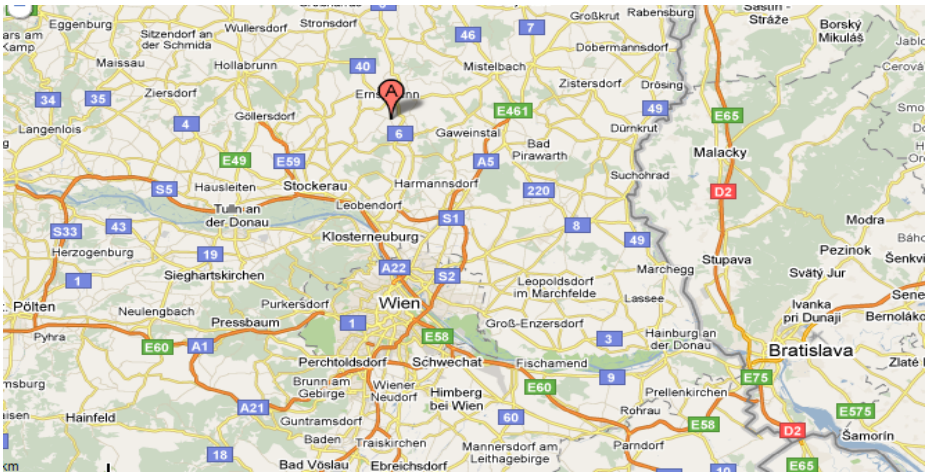


Abbildung 11: Lage des Versuchsstandortes in Naglern

Quelle: GOOGLE MAPS (2010)

Das Gebiet ist Teil des nordöstlichen Flach und Hügellandes und wird vom pannonischen Klima beeinflusst. In dieser Region fallen die geringsten Niederschlagsmengen in Österreich. Aufgrund von lang anhaltenden Trockenperioden kommt es in diesem Produktionsgebiet häufig zu Ertragsausfällen (MAYER, 2006).

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,3 °C, die langjährig gemittelte Niederschlagssumme beträgt 520 mm, wobei der Niederschlag zu 56% in den Monaten April bis August fällt. Die mittlere Windgeschwindigkeit von 2-4 m/s ist relativ hoch, wodurch die Verdunstung begünstigt wird, die im Durchschnitt 80% der Niederschläge ausmacht. Die Durchschnittsdaten stammen von der Wetterstation Oberleis (ZAMG, 2010).

In Abbildung 12 sind wiederum die Niederschläge und Durchschnittstemperaturen des Versuchsjahres 2010, mit den langjährigen Mittelwerten im Vergleich zu sehen. Auch am Standort „Naglern“ waren die Niederschläge von April bis September erheblich über den Normalniederschlägen der vergangenen Jahre. Im Versuchsjahr 2010 regnete es im Zeitraum April bis September gleich um 216 mm mehr als im langjährigen Schnitt. Vor allem die Monate Mai, Juli und August stachen heraus. Von März bis August lagen die Durchschnittstemperaturen des Versuchsjahres immer über den Mittel der vergangenen Jahre, wobei sich die Temperaturmittel ab August den langjährigen Durchschnittstemperaturen annäherden. Im Vergleichszeitraum April bis September lagen die Temperaturen um 2,3 °C über dem Durchschnitt von 14,6 °C.

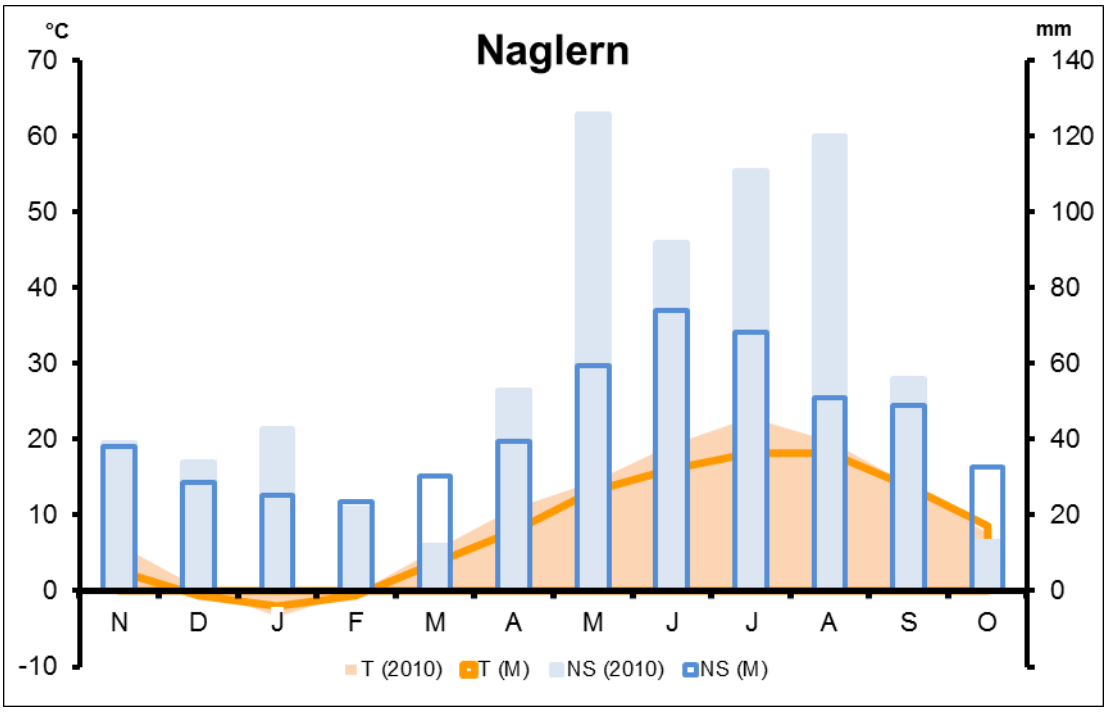


Abbildung 12: Vergleich der Niederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen für den Standort Naglern

Quelle: ZAMG (2010), DIE ÖSTERREICHISCHE HAGELVERSICHERUNG (2010)

Die Versuchsfläche liegt im nordöstlichen Teil, des südlich exponierten Feldstückes. Der vorherrschende Bodentyp ist ein Tschernosem aus dem Ausgangsmaterial Löß. Der A-C-Horizont besitzt eine Mächtigkeit von 100 cm. Die dominierende Bodenart ist schluffiger Lehm bzw. lehmiger Schluff. Der A-Horizont ist nur schwach humos und weist die Humusform Mull auf. Das Feldstück wird als mäßig trocken, mit einer mäßigen Speicherkraft und Durchlässigkeit beschrieben. Bei sommerlichen Gewitterregen fließt ein Teil des

Niederschlagwassers oberflächlich ab. Der obere Teil des Feldstückes ist massiv abschwemmungsgefährdet. Die Versuchsfläche ist stark kalkhaltig, die Bodenreaktion ist jedoch neutral. Die Bodenkartierung schätzt das Feldstück als mittelwertiges Ackerland ein, das gut zu bearbeiten ist, aber unter feuchten Bedingungen zu Schollenbildung neigt (EBOD, 2006).

4.1.3 Breitstetten

Breitstetten im Marchfeld (Abbildung 13) mit den geografischen Koordinaten 48°11'18,00''N; 16°42'26,10''O, liegt etwa 30 km östlich vom Stadtzentrum Wiens entfernt. Die Ortschaft gehört zum politischen Bezirk Gänserndorf und liegt auf einer Seehöhe von 151 m (GOOGLE MAPS, 2010, MOOSE GEO-EXPLORER, 2010).

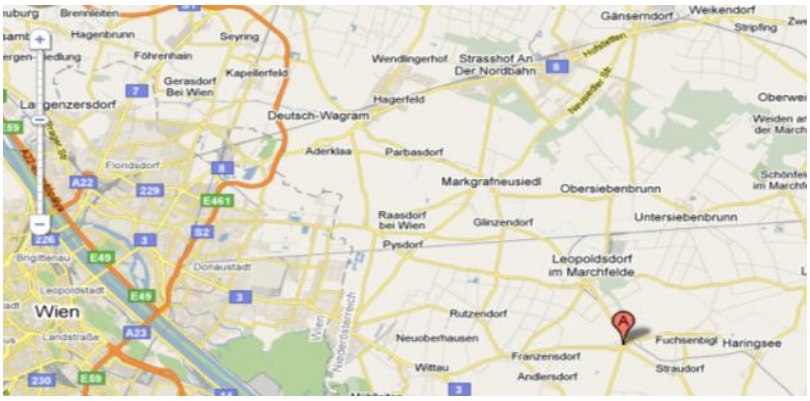


Abbildung 13: Lage des Versuchsstandortes in Breitstetten

Quelle: GOOGLE MAPS (2010)

Im Marchfeld herrscht ein semiarides Klima vor. Die Sommer sind heiß und trocken, die Winter kalt und schneearm (LIEBHARD, 2008). Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 550 mm, wobei 60% des Niederschlags von April bis September fallen (ZAMG, 2010). In den letzten Jahren zeichnete sich eine Tendenz ab, dass es in den Monaten April und Mai oft zu Trockenheit kam (LIEBHARD, 2008). Die Tagesmitteltemperatur der letzten Jahre betrug 9,5 °C. Erhoben wurden die Daten auf der Wetterstation Fuchsenbigl (ZAMG, 2010).
Auch in Breitstetten wurden 2010 ungewöhnlich hohe Niederschlagsmengen aufgezeichnet. Vor allem die Monate Mai bis August stechen, wie in Abbildung 14 ersichtlich, hervor. Die Niederschlagssumme von 636 mm im Vergleichszeitraum von April bis September übertraf den langjährigen Durchschnitt um 310 mm. Die monatlichen Durchschnittstemperaturen lagen von März bis August immer über den langjährigen Vergleichswerten. Erst ab

September glichen sich diese wieder den Normalwerten an. Über den Vergleichszeitraum April bis September betrachtet, lagen die Durchschnittstemperaturen mit 15,8 °C etwa um 2 °C höher als im langjährigen Vergleich.

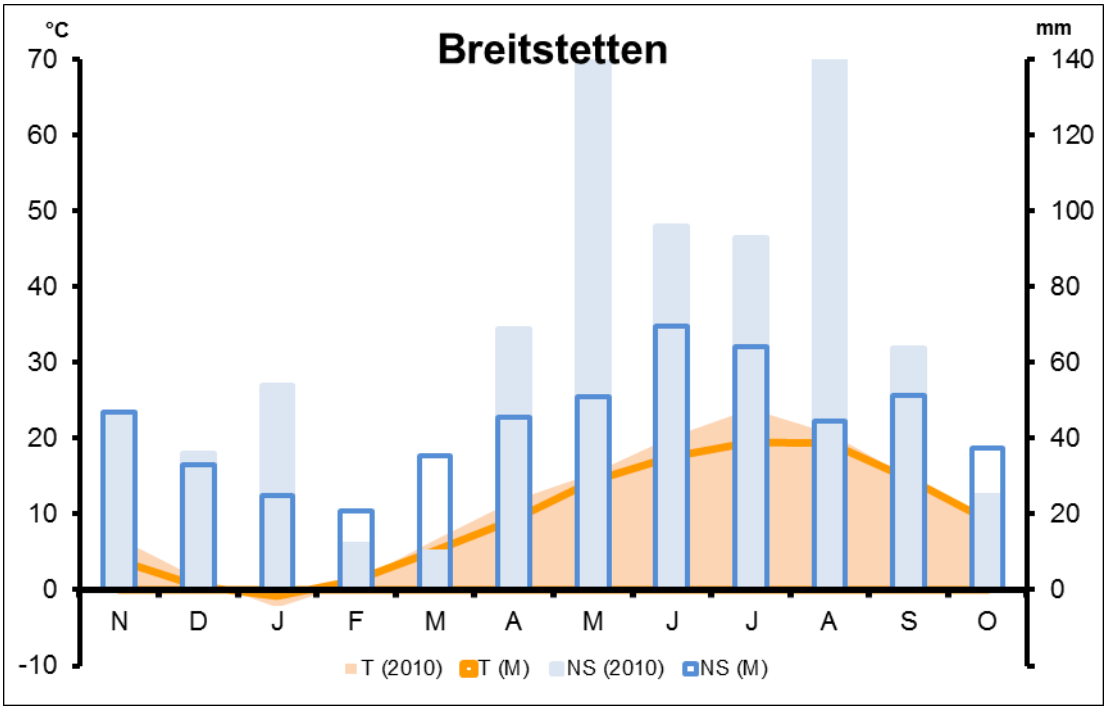


Abbildung 14: Vergleich der Niederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen für den Standort Breitstetten

Quelle: ZAMG (2010), DIE ÖSTERREICHISCHE HAGELVERSICHERUNG (2010)

Die Versuchsfläche in Breitstetten liegt mittig im östlichen Teil des Feldstückes. Der Bodentyp in der Versuchsanlage ist ein Tschernosem aus kalkhaltigen Feinsedimenten (EBOD, 2006). Das quartäre Ausgangsmaterial besteht aus Terrassenschotter der Donau (LIEBHARD, 2008). Der Boden wird als mäßig trocken beschrieben, mit einer hohen Speicherkraft und einer mäßigen Durchlässigkeit. Die Bodenart im A- und AC-Horizont ist ein lehmiger Schluff bzw. ein sandiger Lehm. Ab dem C-Horizont handelt es sich um einen sandigen Schluff. Die Vorherrschende Humusform ist Mull, wobei der Boden im A-Horizont mittelhumos und ab dem AC-Horizont schwachhumos ist. Der Boden ist stark kalkhaltig und reagiert alkalisch. Das Erosionsrisiko auf der Versuchsfläche ist gering. Insgesamt schätzt die Bodenkartierung das Versuchsfeld als hochwertiges Ackerland ein, mit einer guten Bearbeitbarkeit (EBOD, 2006)

4.2 Versuchsanlage

Die Versuchsanlage erfolgte auf drei separaten Standorten: Breitstetten, Naglern und Windigsteig, wobei auf jedem Standort der Versuchsaufbau ident war. Der Versuchsstandort Breitstetten ist ein Bewässerungsstandort. In Naglern und Windigsteig erfolgt keine Bewässerung.

Neben dem Faktor „Standort“, umfasst die Versuchsanlage drei weitere Faktoren:

Behandlungsfaktor Ausgangsbelastung des Pflanzgutes:

Die Versuchsdurchführung erfolgte mit dem noch nicht in das Sortenregister eingetragenen Stamm „NÖS 3676/01“. Anhand von Feldbonituren im Jahr 2009 wurde bei diesem Stamm in mehreren Parzellen eine Infektion mit Schwarzbeinigkeit festgestellt, wobei der Prozentsatz infizierter Pflanzen von Parzelle zu Parzelle schwankte. Für den Versuch wurde Pflanzgut aus zwei Parzellen ausgewählt, wobei aus jeder einzelnen Parzelle eine separate Mischprobe gezogen wurde. Bei der ersten Parzelle waren 5% der Pflanzen mit Schwarzbeinigkeit befallen (geringe Ausgangsbelastung), bei der zweiten Parzelle betrug der Befall 50% (hohe Ausgangsbelastung).

Behandlungsfaktor Sortierung:

Die Sortierung beinhaltet zwei Faktorstufen. Zum einen wurden Untergrößen mit einer Sortierung von 30 bis 35 mm ausgepflanzt, zum anderen Übergrößen mit der Sortierung 50 bis 55 mm.

Behandlungsfaktor Pflanzdichte:

Die Pflanzdichte beinhaltet ebenfalls zwei Faktorstufen. Die Variation der Pflanzdichte erfolgte jedoch nur bei der Sortierung 50 bis 55 mm. Um unterschiedliche Pflanzdichten zu erreichen, muss bei konstantem Reihenabstand der Abstand in der Reihe variiert werden. Bei der ersten Faktorstufe betrug der Abstand in der Reihe 0,33 m, woraus sich eine Pflanzdichte von 40.404 Knollen pro Hektar ergibt. Der Abstand in der Reihe der zweiten Faktorstufe betrug 0,99 m, was einer Pflanzdichte von 13.468 Knollen pro Hektar entspricht. Aufgrund der unterschiedlichen Knollenabstände ergibt sich bei konstanter Knollenanzahl pro Parzelle eine unterschiedliche Parzellengröße.

In Tabelle 2 sind nochmals alle Versuchsvarianten pro Standort zusammengefasst.

Tabelle 2: Versuchsvarianten der Standorte Breitstetten, Naglern und Windigsteig

Variante	Ausgangsbelastung lt. Bonitur 2009	Sortierung	A.i.d.R
1	5%	30-35 mm	0,33 m
2	5%	50-55 mm	0,33 m
3	5%	50-55 mm	0,99 m
4	50%	30-35 mm	0,33 m
5	50%	50-55 mm	0,33 m
6	50%	50-55 mm	0,99 m

A.i.d.R...Abstand in der Reihe

Die Versuche wurden als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt, wobei eine Wiederholung sechs Parzellen umfasst. Eine Parzelle besteht aus zwei Reihen mit einem Reihenabstand von 0,75 m. Pro Parzelle wurden 20 Knollen gepflanzt. Bei den Varianten eins, zwei, vier und sechs (Tabelle 2) ergibt sich bei einem Pflanzabstand von 0,33 m je eine Parzellengröße von 4,95 m². Durch den weiteren Pflanzabstand von 0,99 m, bei konstanter Knollenanzahl von 20 Knollen ergibt sich bei den Parzellen drei und sechs je eine Parzellengröße von 14,85 m². Zwischen den einzelnen Parzellen wurden jeweils 0,66 m Abstand eingehalten. Diese sind in Abbildung 15 grau unterlegt. Um die benachbarten Versuchsanlagen abzugrenzen und räumliche Interaktionen zu gut wie möglich zu vermeiden, wurden je zwei Randreihen mit der Sorte „Impala“ bepflanzt. Bei dem Pflanzgut dieser Sorte konnten im Jahr 2009 keine Schwarzbeinigkeitsinfektionen festgestellt werden. Nach Norden hin erfolgte die Abgrenzung durch eine drei Meter breite Zone, die brach lag. Am Standort Naglern war dies auch auf der Südseite des Versuchsplanes der Fall. In Abbildung 15 sind diese gelblich hinterlegt. Auf den Standorten Breitstetten und Windigsteig, bildeten die Feldzufahrten die südliche Abgrenzung zum Versuch.

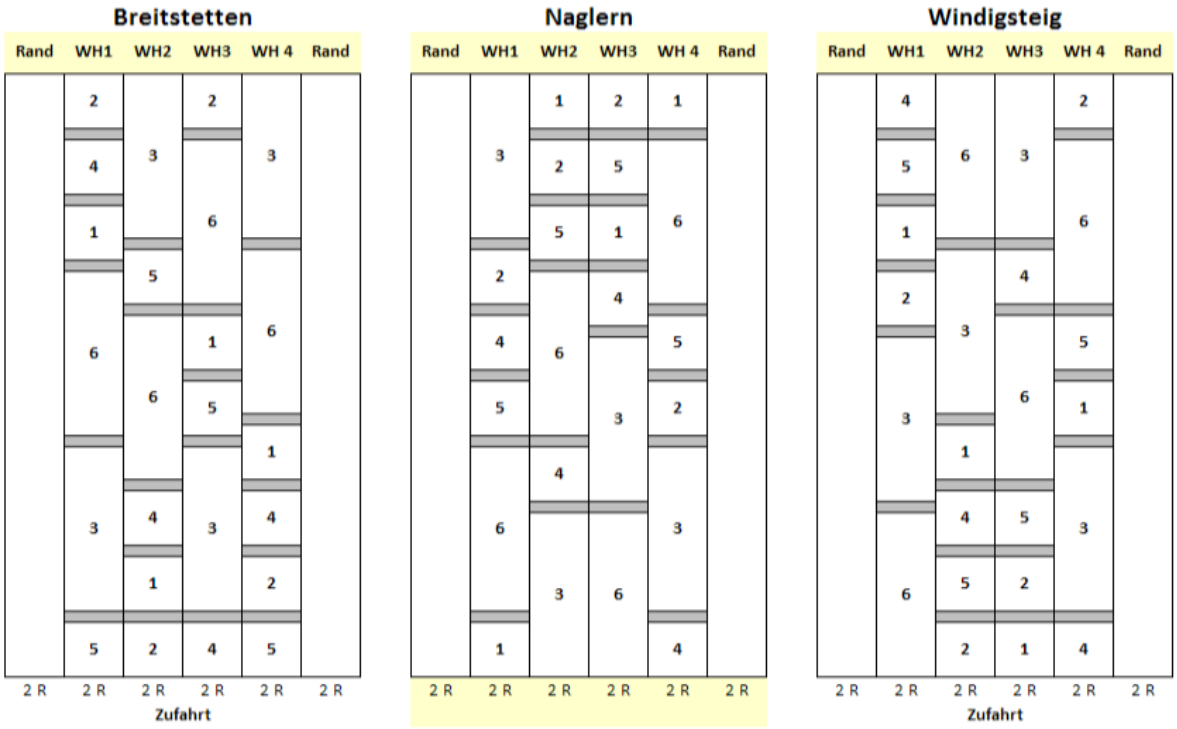


Abbildung 15: Versuchsplan der Standorte Breitstetten, Naglern und Windigsteig

4.3 Versuchsdurchführung

Die Auspflanzung (Abbildung 16) erfolgte zu den regional typischen Pflanzterminen, wobei das Pflanzgut vorgekeimt wurde. Düngung und Pflanzenschutz konnte zwischen den Versuchsstandorten nicht harmoniert werden, da die Versuchsflächen von den jeweiligen Bewirtschaftern aus arbeitstechnischen Gründen mitbearbeitet wurden. In den Tabellen 3, 4, 5 und 6 sind alle Maßnahmen bezüglich Auspflanzung, Düngung und Pflanzenschutz aufgelistet.

Abbildung 16: Auspflanzung am Standort Breitstetten, April 2010

Tabelle 3: Vorfrüchte, Bodenbearbeitung, Auspflanzung und Düngung des Feldversuchs 2010

	Breitstetten	Naglern	Windigsteig
Vorfrüchte:			
2006:	Winterweizen	Kartoffel	Kartoffel
2007:	Zuckerrübe	Winterweizen	Dinkel
2008:	Winterweizen	Körnererbse	Triticale
2009:	Winterweizen	Winterweizen	Triticale
	Zwischenfrucht: Phacelia + Buchweizen (7 + 15 kg/ha)		
Bodenbearbeitung:			
	3.3.2010	16.11.2010	16.11.2010
	Pflug 35 cm	Pflug 35 cm	Pflug 20 cm
Auspflanzung:			
	19.4.2010	23.4.2010	3.5.2010
	händische Knollenablage in vorgeformte Dämme	händische Knollenablage mit anschließend mechanischer Anhäufelung	
Düngung pro Hektar:			
	28.3.2010 DC-Rot 10:8:20 - 558 kg ENTEC26 - 256 kg 26.5.2010 NAC 27 -175 kg	13.4.2010 DAP - 100 kg Patentkali - 100 kg 22.4.2010 NAC 27 - 390 kg	3.5.2010 Vollkorn rot 600 kg NAC 27 100 kg
Stickstoff	170 kg	123 kg	99 kg
Phosphor	45 kg	42 kg	72 kg
Kalium	112 kg	60 kg	102 kg

Der Standort Breitstetten ist ein typischer Bewässerungsstandort. Aufgrund der hohen Niederschlagsmengen erfolgte in diesem Jahr aber nur eine Bewässerung in der Höhe von 30 mm, welche Anfang Juli stattfand.

Tabelle 4: Pflanzenschutzmaßnahmen, Feldversuch Breitstetten 2010

Applikations-Zeitpunkt	Produktname	Wirkstoff	Gruppe	Aufwand pro ha	Hauptursache
3.5.2010	Bandur	Aclonifen	Herbizid	3 l	Ackerfuchsschwanz
	Boxer	Prosulfocarb	Herbizid	3,5 l	Zweikeimblättrige Unkräuter
	Mistral	Metribuzin	Herbizid	0,03 kg	
29.5.2010	Acrobat Plus WG	Dimethomorph + Mancozeb	Fungizid	2 kg	Kraut- und Knollenfäule
14.6.2010	Acrobat Plus WG	Dimethomorph + Mancozeb	Fungizid	2 kg	Kraut- und Knollenfäule
	Ortiva	Azoxystrobin	Fungizid	0,5 l	Alternaria
	Alverde	Metaflumizone	Insektizid	0,25 l	Kartoffelkäfer
29.6.2010	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,4 l	Kraut- und Knollenfäule
7.7.2010	Valbon	Benthiavalicarb-isopropyl + Mancozeb	Fungizid	1,6 kg	Kraut- und Knollenfäule
	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,4 l	
	Biscaya	Thiacloprid	Insektizid	0,3 l	Kartoffelkäfer
18.7.2010	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,4 l	Kraut- und Knollenfäule
	Penncozeb DG	Mancozeb	Fungizid	2 kg	
27.7.2010	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,4 l	Kraut- und Knollenfäule
	Penncozeb DG	Mancozeb	Fungizid	2 kg	
10.8.2010	Vondac DG	Mancozeb	Fungizid	2 kg	Kraut- und Knollenfäule
18.8.2010	Vondac DG	Mancozeb	Fungizid	2 kg	Kraut- und Knollenfäule
	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,4 l	

Tabelle 5: Pflanzenschutzmaßnahmen, Feldversuch Naglern 2010

Applikations-Zeitpunkt	Produktname	Wirkstoff	Gruppe	Aufwand pro ha	Schadfaktor
5.5.2010	Sencor	Metribuzin	Herbizid	0,4 kg	Zweikeimblättrige Unkräuter Ackerfuchsschwanz
	Boxer	Prosulfocarb	Herbizid	3,9 l	
7.7.2010	Infinito	Propamocarb + Fluopicolide	Fungizid	1,4 kg	Kraut- und Knollenfäule
	Penncozeb	Mancozeb	Fungizid	1,4 kg	
	Biscaya	Thiacloprid	Insektizid	0,3 l	Kartoffelkäfer
15.6.2010	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,32 l	Kraut- und Knollenfäule
	Infinito	Propamocarb + Fluopicolide	Fungizid	1,4 kg	
24.6.2010	Signum	Boscalid + Pyraclostrobin	Fungizid	0,25 kg	Alternaria
	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,32 l	Kraut- und Knollenfäule
	Penncozeb	Mancozeb	Fungizid	1,4 kg	
7.7.2010	Signum	Boscalid + Pyraclostrobin	Fungizid	0,25 kg	Alternaria
	Penncozeb	Mancozeb	Fungizid	1,4 kg	Kraut- und Knollenfäule
19.7.2010	Infinito	Propamocarb + Fluopicolide	Fungizid	0,6 kg	Kraut- und Knollenfäule
	Penncozeb	Mancozeb	Fungizid	1,4 kg	
29.7.2010	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,4 l	Kraut- und Knollenfäule
	Penncozeb	Mancozeb	Fungizid	1,2 kg	
13.8.2010	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,35 l	Kraut- und Knollenfäule
	Penncozeb	Mancozeb	Fungizid	1 kg	
27.8.2010	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,4 l	Kraut- und Knollenfäule
15.9.2010	Reglone	Deiquat	Herbizid	3 l	Krautabtötung

In Naglern wurde der Bestand aufgrund eines Missverständnisses mit Reglone (3 l/ha) abgetötet.

Tabelle 6: Pflanzenschutzmaßnahmen, Feldversuch Windigsteig 2010

Applikations-Zeitpunkt	Produktname	Wirkstoff	Gruppe	Aufwand pro ha	Schadfaktor
10.5.2010	Sencor	Metribuzin	Herbizid	0,4 kg	Zweikeimblättrige Unkräuter Ackerfuchsschwanz
	Boxer	Prosulfocarb	Herbizid	3,9 l	
15.6.2010	Infinito	Propamocarb + Fluopicolide	Fungizid	1,4 kg	Kraut- und Knollenfäule
	Dithane NeoTec	Mancozeb	Fungizid	1,8 kg	
	Sumicidin Alpha EC	Esfenvalerat	Insektizid	0,3 l	Blattläuse
23.6.2010	Ridomil Gold MZ	Mancozeb + Metalaxyl-M	Fungizid	2 kg	Kraut- und Knollenfäule
	Plenum 50 WG	Pymetrozin	Insektizid	0,2 kg	Blattläuse
1.7.2010	Talstar 8 SC	Bifenthrin	Insektizid	125 ml	Blattläuse
	Signum	Pyraclostrobin + Boscalid	Fungizid	0,25 kg	Alternaria
	Ridomil Gold MZ	Mancozeb + Metalaxyl-M	Fungizid	2 kg	Kraut- und Knollenfäule
12.7.2010	Teppeki	Flonicamid	Insektizid	160 g	Blattläuse
	Dithane NeoTec	Mancozeb	Fungizid	1,8 kg	Kraut- und Knollenfäule
21.7.2010	Talstar 8 SC	Bifenthrin	Insektizid	125 ml	Blattläuse
	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,32 l	Kraut- und Knollenfäule
27.7.2010	Sumicidin Alpha EC	Esfenvalerat	Insektizid	0,3 l	Blattläuse
	Winner	Fluazinam	Fungizid	0,32 l	Kraut- und Knollenfäule
5.8.2010	Bulldock	beta-Cyfluthrin	Insektizid	0,3 l	Beißende Insekten
	Penncozeb	Mancozeb	Fungizid	1,4 kg	Kraut- und Knollenfäule
10.8.2010	Karate Zeon	lambda-Cyhalothrin	Insektizid	75 ml	Blattläuse
	Vondac DG	Maneb	Fungizid	2 kg	Kraut- und Knollenfäule
19.8.2010	Plenum 50 WG	Pymetrozin	Insektizid	0,2 kg	Blattläuse
	Vondac DG	Maneb	Fungizid	2 kg	Kraut- und Knollenfäule

4.4 Datenerfassung

4.4.1 Auflauf und Jugendentwicklung

Die Bonitur der Auflaufquote erfolgte 4 bis 5 Wochen nach der Pflanzung. Dazu wurde auf jedem Standort bei jeder Variante die Anzahl der aufgelaufenen Pflanzen ermittelt. Am Standort Breitstetten erfolgte dies am 17.5.2010 (EC 15 – 28 Tage nach der Pflanzung), in Naglern am 28.5.2010 (EC 17 – 35 Tage nach der Pflanzung) und in Windigsteig am 3.6.2010 (EC 15 – 31 Tage nach der Pflanzung). Zusätzlich wurde die Homogenität der Einzelpflanzenentwicklung mittels einer dreiteiligen Skala beurteilt: (9) gleichmäßige Entwicklung, (5) gleichmäßige bis ungleichmäßige Entwicklung, (1) ungleichmäßige Entwicklung.

4.4.2 Ermittlung der Bodendeckung

Die Bodendeckung wurde zweimal an jedem Standort ermittelt. Am Standort Breitstetten erfolgte dies am 28.5.2010 (EC 21 – 39 Tage nach der Pflanzung) und am 7.6.2010 (EC 31 – 49 Tage nach der Pflanzung). Auf dem Versuchsfeld in Naglern wurde die Bodendeckung am 28.5.2010 (EC 17 – 35 Tage nach der Pflanzung) und am 7.6.2010 (EC 31 – 45 Tage nach der Pflanzung) ermittelt. In Windigsteig erfolgte dies am 3.6.2010 (EC 15 – 31 Tage nach der Pflanzung) und am 12.6.2010 (EC 31 – 40 Tage nach der Pflanzung). Die Parzellengröße stellte eine gewisse Problematik bei der Fotoaufnahme dar, da mit der Digitalkamera (Olympus µ 760) nicht die ganze Versuchsparzelle zu erfassen war. Um für die spätere Analyse eine genormte Referenzfläche zu erhalten, wurde ein Rahmen (1,98 x 1,5 m) mit einer Fläche von 2,97 m² in die einzelnen Parzellen gelegt (Abbildung 17). Von den Varianten eins, zwei, vier und fünf wurde jeweils ein Foto pro Termin gemacht, von den Versuchsparzellen drei und sechs jeweils zwei, da hier nur vier Pflanzen auf einer Aufnahme ersichtlich waren. Die Fotografien wurden in einer Höhe von ca. 2,5 m möglichst senkrecht aufgenommen.

Für die Auswertung mit dem Programm „SigmaScan Pro5“ mussten die Aufnahmen so zurechtgeschnitten werden, dass nur mehr der Inhalt des Rahmens sichtbar ist (Abbildung 17). Dies erfolgte mit dem Programm „GIMP 2“. Die transformierten Bilder wurden mit einer Auflösung von 3.072 x 2.304 Pixel gespeichert.

Abbildung 17: Rahmen zur Abgrenzung der Fläche (links, Mitte), aufbereitetes Bild (rechts)

Die Kenntnis über die Gesamtpixelanzahl der transformierten Fotos ist für die Ermittlung der Bodendeckung von essentieller Bedeutung.

Bei der Auswertung mit dem Programm „SigmaScan Pro 5“ müssen zuerst die Farbschwellen für das Grün des Kartoffelkrauts definiert werden. Dies erfolgt mit den Parametern Farbton (Hue) und Kontrast (Saturation). Die beiden Parameter sind durch numerische Werte zu definieren. Für Hue wurde im Rahmen dieser Arbeit die Farbschwelle mit 30 bis 130 und für Saturation 20 bis 100 gewählt. Die Werte können von Bild zu Bild geringfügig variieren. Die Variation der Werte resultiert aus der Belichtung der Aufnahmen. Die Bildpunkte, die sich innerhalb der deklarierten Farbschwellen befinden, werden vom Programm mit einem Overlay eingefärbt. Nach der Messung wird eine Vielzahl von Werten in Tabellenform ausgegeben. Für die Ermittlung der Bodendeckung sind aber nur die Werte „Mean“ und „Number of Objects“ von Interesse. Hieraus lässt sich die Anzahl der mit dem Overlay gefärbten Pixel berechnen:

$$Pixel_{Overlay} = Mean * Number\ of\ Objects$$

Die Bodendeckung in Prozent lässt sich danach folgendermaßen ermitteln:

$$Bodendeckung\ (\%) = \frac{Pixel_{Overlay}}{Gesamtpixel} * 100$$

4.4.3 Anzahl der Hauptsprosse

Die Erfassung der Hauptsprosse wurde auf allen drei Versuchsstandorten, an allen Einzelpflanzen durchgeführt. Am Versuchsfeld in Breitstetten erfolgte dies am 3.6.2010 (EC 23 – 45 Tage nach der Pflanzung), in Naglern am 3.6.2010 (EC 23 – 41 Tage nach der Pflanzung) und am Versuchsfeld in Windigsteig am 18.6.2010 (EC 53 – 46 Tage nach der Pflanzung).

4.4.4 Symptomerfassung

Die Aufzeichnung der Symptome erfolgte auf jedem Standort an 5 Terminen (Tabelle 7). Dabei wurde immer jede Einzelpflanze auf Schwarzbeinigkeitssymptome untersucht. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Boniturtermine.

Tabelle 7: Boniturtermine für die Symptomerfassung an den Standorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig

	Breitstetten	Naglern	Windigsteig
1. Bonitur – EC 31	7.6.2010	7.6.2010	12.6.2010
2. Bonitur – EC 60	23.6.2010	23.6.2010	3.7.2010
3. Bonitur – EC 75	6.7.2010	6.7.2010	11.7.2010
4. Bonitur – EC 81	13.7.2010	13.7.2010	18.7.2010
5. Bonitur – EC 88	25.7.2010	25.7.2010	25.7.2010

Die Klassifikation der Symptome erfolgte in sieben Gruppen und orientiert sich an HÉLIAS et al. (2000): (0) kein Symptom, (1)…eingerollte Fiederblätter, (2) Welke/Chlorose, (3) Schwarzbeinigkeit, (4) einzelne Stängel abgestorben, (5) Pflanze abgestorben, (6) Pflanze nicht aufgelaufen. Je höher die Zahl in den Klammern ist, umso schwerwiegender ist das Symptom für die pflanzliche Entwicklung.

Häufig traten mehrere Symptome nebeneinander auf, wobei hier nur das dominierende Symptom aufgezeichnet wurde. Zusätzlich wurde auch erfasst, wie viele Hauptsprosse an der Einzelpflanze von dem jeweiligen Symptom befallen waren. Aus den Parametern Kategorie des Symptoms, betroffene Hauptsprosse und Anzahl der gesamten Hauptsprosse, wurde die Befallsschwere für jede Einzelpflanze errechnet.

$$Befallsschwere = Symptom * \frac{betroffene\ Hauptsprosse}{Gesamtanzahl\ der\ Hauptsprosse}$$

Durch Addition der Einzelwerte ist es möglich, die Befallsschwere für die jeweilige Versuchsvariante zu errechnen. Im schlechtesten Fall liegt die Befallsschwere für eine Variante bei einem Wert von 120. Das heißt alle 20 Pflanzen einer Parzelle sind nicht aufgelaufen. Weiter wurde auch der prozentuelle Anteil kranker Pflanze je Versuchsparzelle ermittelt.

4.4.5 Ermittlung des Knollenertrages, der Knollenanzahl und Sortierung

Geerntet wurden die Parzellen per Hand (Abbildung 18). In Breitstetten am 16.9.2010, in Windigsteig am 19.9.2010 und in Naglern am 1.10.2010. Die Ernte erfolgte Parzellenweise, wobei jeweils 10 Stauden einer Parzelle (eine Reihe pro Variante) separat für genauere Auswertungen geerntet wurden. Die Knollen der Einzelpflanzen wurden auf dem Feld sortiert (<35 mm, 35 bis 55 mm, >55 mm), um anschließend die Knollenanzahl und das Knollengewicht der jeweiligen Fraktion zu ermitteln. Faule Kartoffelknollen wurden bei der Datenerfassung nicht berücksichtigt, da das Gewicht bzw. die Anzahl dieser Knollen nicht eindeutig feststellbar war. Die Knollen der einzelnen Versuchsparzellen wurden in Netzsäcke gefüllt und anschließend mit einem Transporter in das Kartoffellager der Niederösterreichischen Saatbaugenossenschaft nach Meires gebracht. In Meires wurden dann die Gesamterträge je Parzelle ermittelt.

Abbildung 18: Ernte, Sortierung und Datenerfassung am Feld

Am 20.12.2010 erfolgte eine zweite Wiegung der Knollen, wobei alle nassfaulen Knollen vor der Wiegung aussortiert wurden. Somit konnten die Lagerverluste für jede Versuchsvariante ermittelt werden.

4.4.6 Ermittlung des Stärkegehaltes

Der Stärkegehalt wurde mit Hilfe einer Stärkewaage gemessen (Abbildung 19). Die Ermittlung des Stärkegehalts beruht auf der Bestimmung des spezifischen Gewichts, welches eine lineare Funktion des Stärkegehalts darstellt. Zur Bestimmung des Stärkegehalts sind prinzipiell zwei Wiegungen erforderlich (HEIMERDINGER and SENGBUSCH, 1956). Eine bestimmte Menge wird dabei zuerst in Luft (a) und dann unter Wasser (b) gewogen. Das spezifische Gewicht errechnet sich nach folgender Formel:

$$Dichte\ [kg/dm^3] = \frac{a}{a-b}$$

Der Quotient gibt an, wievielmal schwerer die Knollen als das durch sie verdränge Wasser sind. Da sich die Trockenmasse- und Stärkegehalt proportional mit der Dichte der Knolle ändern, ist die Bestimmung bis auf 1-2% genau (SCHILLING, 2000). Bei der verwendeten Stärkewaage wurde das spezifische Gewicht direkt in den Stärkegehalt umgerechnet.

Für die Ermittlung des Stärkegehaltes wurden aus jeder Parzelle mindestens vier Mischproben á 5.050 g gezogen. Die Knollen wurden vor der Wägung mit einer Waschtrommel gewaschen, um anhaftende Erde zu entfernen. Dies erfolgte am 20.12.2010.

Abbildung 19: Ermittlung des Stärkegehalts mit Waschtrommel (links) und Stärkewaage (Mitte und rechts)

4.4.7 Mathematisch statistische Verrechnung der Daten

Die Datenerfassung sowie die grafische Darstellung der Daten erfolgte mit dem Programm Microsoft Excel 2010. Für die statistische Auswertung wurde das Statistikpaket SAS Enterprise Guide 4 verwendet.

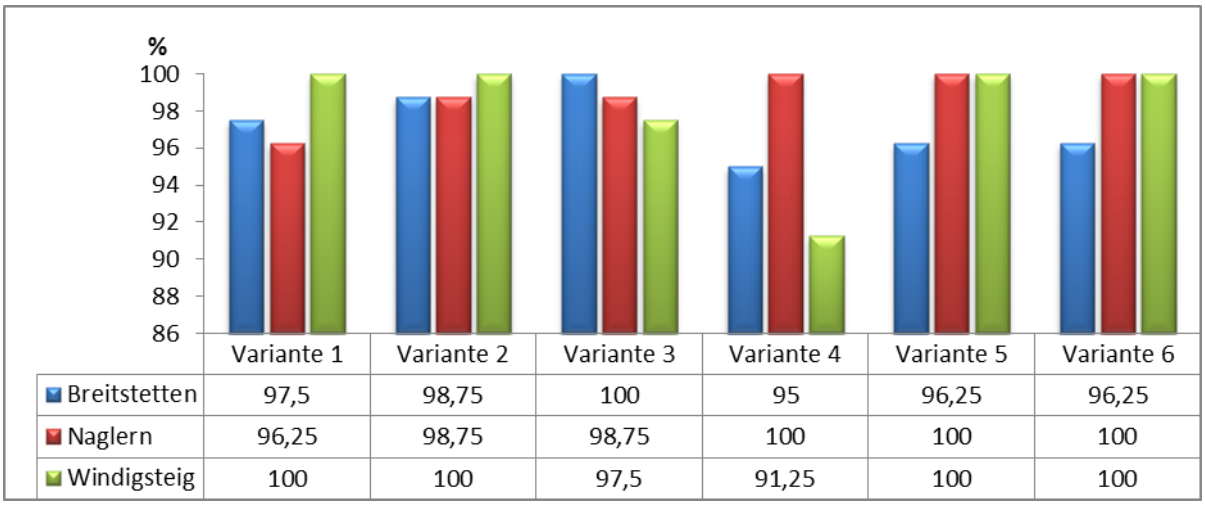
Die erhobenen Daten wurden mithilfe der mehrfaktoriellen Varianzanalyse (General Linear Model) ausgewertet. Die Nullhypothese lautet: Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten, die Unterschiede sind nur zufällig bedingt. Multiple Mittelwertvergleiche wurden mithilfe des Scheffe-Tests durchgeführt. Signifikant unterschiedliche Mittelwerte werden mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet. In der Arbeit sind nur jene Ergebnisse des Scheffe-Tests eingefügt, welche in der Varianzanalyse einen signifikanten Effekt aufzeigen. Das Signifikanzniveau bezieht sich auf eine Irrtumswahrscheinlichkeit von α=0,05. Ausgewählte Korrelationen wurden mit dem Verfahren nach Pearson berechnet.

5 Ergebnisse

5.1 Auflauf und Jugendentwicklung

5.1.1 Auflaufquote

In Abbildung 20 sind die mittleren Auflaufquoten der Versuchsvarianten am jeweiligen Standort ersichtlich. Zwischen den Varianten und den Standorten sind keine eindeutigen Unterschiede zu erfassen.



	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Breitstetten	97,5	98,75	100	95	96,25	96,25
Naglern	96,25	98,75	98,75	100	100	100
Windigsteig	100	100	97,5	91,25	100	100

Abbildung 20: Auflaufquoten (%) der Kartoffelpflanzen an den Standorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten

Bei den erhobenen Daten bzw. deren Rangwerten, war die Annahme homogener Varianzen für die Varianzanalyse nicht erfüllt.

Der Behandlungsfaktor „Ausgangsbelastung lt. Bonitur 2009“ wird in Folge „Infektion“ bezeichnet.

Die Varianzanalyse in Tabelle 8 zeigt, dass bei der Auflaufquote nur der Behandlungsfaktor Sortierung signifikante Unterschiede aufweist. Aus dem Mittelwertvergleich geht hervor, dass die Auflaufraten, bei den Varianten mit der Sortierung 30-35 mm signifikant geringer sind.

Zwischen den Infektionsstufen sind keine signifikanten Unterschiede im Auflaufverhalten festzustellen. In den Varianten mit geringer Infektion sind 98,6% aller Pflanzen aufgelaufen, in jenen mit hoher Infektion beträgt die Auflaufquote 97,6%.

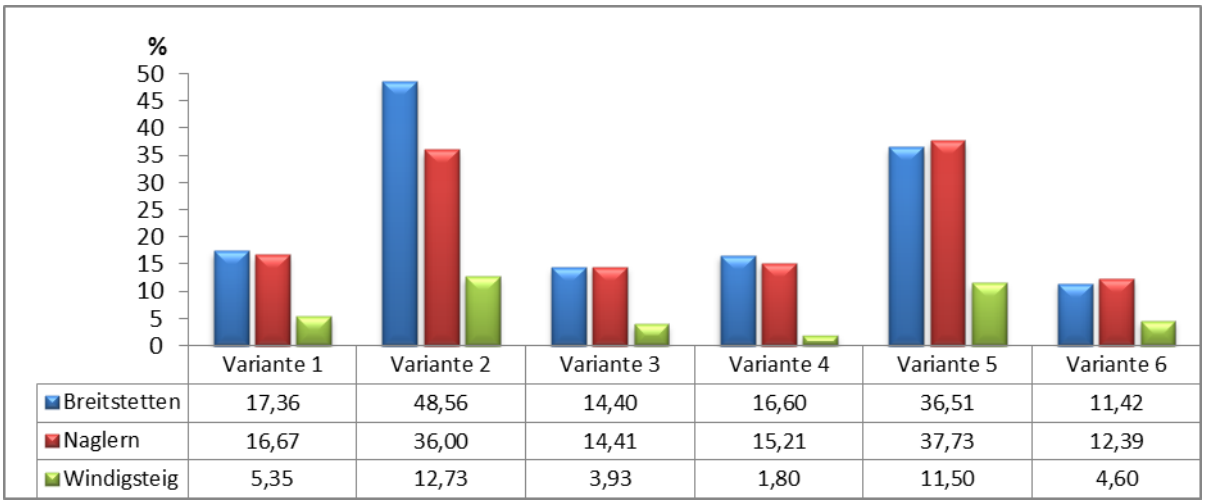
Die Varianzanalyse in Tabelle 9 zeigt signifikante Standortunterschiede in der Bestandeshomogenität. In Windigsteig sind die Boniturnoten (3,8) signifikant geringer als in Breitstetten (6,7) und Naglern (6,2). Zwischen den Standorten Breitstetten und Naglern besteht kein signifikanter Unterschied. Der Behandlungsfaktor Infektion bzw. die dazugehörigen Wechselwirkungen besitzen keinen signifikanten Einfluss auf die Bestandeshomogenität in der frühen Jugendentwicklung. Bei den Varianten mit geringer Infektion sind die Boniturnoten mit einem durchschnittlichen Wert von 5,8 nur geringfügig höher als in den Varianten mit hoher Infektion, mit einem Durchschnittswert von 5,3.

Tabelle 9: Varianzanalyse für das Merkmal Homogenität des Bestands (1-9) im Zuge der Auflaufbonitur

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* Infektion	1	3,000000	3,000000	0,32	0,5759
* Sortierung	1	0,333333	0,333333	0,04	0,8519
* Pflanzabstand	1	33,333333	33,333333	3,52	0,0665
Standort*Infektion	2	0,444444	0,222222	0,02	0,9768
Standort*Sortierung	2	28,666667	14,333333	1,52	0,2299
Standort*Pflanzabstand	2	42,666667	21,333333	2,26	0,1156
Infektion*Sortierung	1	0,333333	0,333333	0,04	0,8519
Infektion*Pflanzabstand	1	1,333333	1,333333	0,14	0,7090
Restfehler	49	463,555556	9,460317		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* Standort	2	62,000000	31,000000	4,87	0,0182
Fehler	21,088	134,187765	6,363316		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

5.1.3 Bodendeckung 1. Termin

In Abbildung 22 sind die Bodendeckungsgrade der Versuchsvarianten, je Standort, für den ersten Aufnahmetermin ersichtlich. Standortvergleiche sind schwierig, da die Aufnahmen nicht im gleichen BBCH-Stadium getätigt wurden. In Windigsteig wurde die Bodendeckung in einem viel früheren Stadium ermittelt, als dies in Naglern und Breitstetten der Fall war. Deshalb ist die Bodendeckung in Windigsteig auch geringer. Die Varianten zwei und fünf weisen die höchste Bodendeckung auf. Zwischen den anderen Versuchsvarianten sind auf dem Ersten Blick keine eindeutigen Unterschiede feststellbar.



	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Breitstetten	17,36	48,56	14,40	16,60	36,51	11,42
Naglern	16,67	36,00	14,41	15,21	37,73	12,39
Windigsteig	5,35	12,73	3,93	1,80	11,50	4,60

Abbildung 22: Bodendeckung (%) erster Termin an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten

Die Varianzanalyse in Tabelle 10 zeigt, dass die Behandlungsfaktoren Standort, Infektion, Sortierung und Pflanzabstand einen signifikanten Einfluss auf die Bodendeckung besitzen. Des Weiteren besitzen die Wechselwirkungen Standort*Infektion, Standort*Sortierung sowie Standort*Pflanzabstand einen signifikanten Einfluss.

Tabelle 10: Varianzanalyse für das Merkmal Bodendeckung (%) erster Termin

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* **Infektion**	1	33,982655	33,982655	4,12	0,0478
* **Sortierung**	1	4035,742235	4035,742235	489,45	<,0001
* **Pflanzabstand**	1	4950,799920	4950,799920	600,42	<,0001
Standort*Infektion	2	75,308914	37,654457	4,57	0,0152
Standort*Sortierung	2	618,962560	309,481280	37,53	<,0001
Standort*Pflanzabstand	2	1008,049955	504,024977	61,13	<,0001
Infektion*Sortierung	1	11,133284	11,133284	1,35	0,2509
Infektion*Pflanzabstand	1	17,337768	17,337768	2,10	0,1534
Restfehler	49	404,030812	8,245527		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* **Standort**	2	1264,435023	632,217512	37,59	<,0001
Fehler	8,5332	143,516831	16,818626		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Der Scheffe-Test in Tabelle 11 zeigt nur am Standort Breitstetten signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit geringer und hoher Infektion. Die Differenz zwischen den Infektionsstufen ist hier mit 5,3%-Punkten viel größer als in Naglern (0,6%-Prozentpunkte) oder Windigsteig (1,3%-Prozentpunkte).

Tabelle 11: Scheffe-Test und Mittelwert Bodendeckung (%) erster Termin ausgewertet nach Standort und Infektion

Standort	Infektion	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Breitstetten	5%	A	26,8	12
Naglern	5%	B	22,4	12
Naglern	50%	B	21,8	12
Breitstetten	50%	B	21,5	12
Windigsteig	5%	C	7,3	12
Windigsteig	50%	C	6,0	12

Kleinste signifikante Differenz 4,1

Tabelle 12 zeigt, dass die Bodendeckungsgrade in Breitstetten und Naglern in den Varianten mit der Sortierung 50-55 mm signifikant am höchsten sind. Die Hauptwirkung Sortierung weist auf allen Standorten signifikante Unterschiede in der Bodendeckung auf. Kleine Pflanzgutsortierungen führen auf allen Standorten zu einer geringeren Bodendeckung. In Breitstetten und Naglern ist diese um ca. 60% geringer, in Windigsteig um 70%.

Tabelle 12: Scheffe-Test und Mittelwert Bodendeckung (%) erster Termin ausgewertet nach Standort und Sortierung

Standort	Sortierung	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Breitstetten	50-55 mm	A	42,5	8
Naglern	50-55 mm	A	36,9	8
Breitstetten	30-35 mm	B	17,0	8
Naglern	30-35 mm	B	15,9	8
Windigsteig	50-55 mm	B	12,1	8
Windigsteig	30-35 mm	C	3,6	8

Kleinste signifikante Differenz 5,7

Der Mittelwertvergleich in Tabelle 13 zeigt, dass die Hauptwirkung Pflanzabstand auf allen Standorten einen signifikanten Einfluss auf die Bodendeckung besitzt. Die Varianten mit hohem Pflanzabstand weisen auf allen Standorten geringere Bodendeckungsgrade auf. In Breitstetten sind diese um 70% geringer, in Naglern und Windigsteig um 65%. Bei geringem Pflanzabstand sind die Unterschiede in der Bodendeckung auf allen drei Standorten signifikant.

Tabelle 13: Scheffe-Test und Mittelwert Bodendeckung (%) erster Termin ausgewertet nach Standort und Pflanzabstand

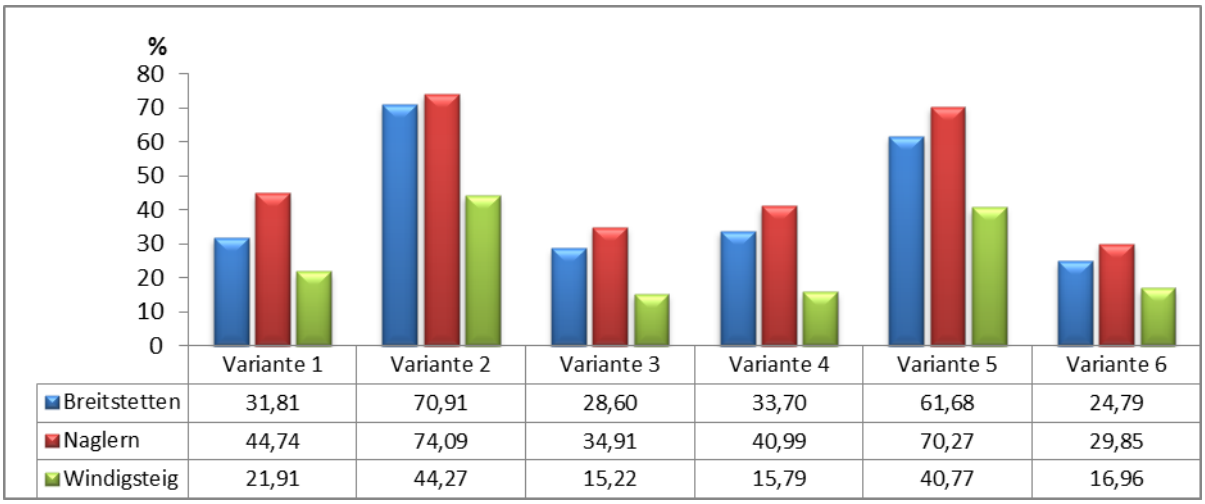
Standort	Pflanzabstand	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Breitstetten	0,33 m	A	42,5	8
Naglern	0,33 m	B	36,9	8
Naglern	0,99 m	C	13,4	8
Breitstetten	0,99 m	C	12,9	8
Windigsteig	0,33 m	C	12,1	8
Windigsteig	0,99 m	D	4,3	8

Kleinste signifikante Differenz 5,2

5.1.4 Bodendeckung 2. Termin

In Abbildung 23 sind die Bodendeckungsgrade der Versuchsvarianten je Standort, für den zweiten Aufnahmetermin ersichtlich. Da die Aufnahmen auch hier nicht im gleichen BBCH-Stadium getätigt wurden, sind Standortvergleiche ebenfalls nicht aussagekräftig. Die Bodendeckung wurde in Windigsteig wiederum in einem früheren Stadium ermittelt. Deshalb ist auch hier die Bodendeckung im Vergleich zu den anderen Standorten geringer.

Wie beim ersten Aufnahmetermin, weisen die Varianten zwei und fünf die höchsten Bodendeckungsgrade auf. Die anderen Versuchsvarianten zeigen ähnlich hohe Bodendeckungsgrade.



	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Breitstetten	31,81	70,91	28,60	33,70	61,68	24,79
Naglern	44,74	74,09	34,91	40,99	70,27	29,85
Windigsteig	21,91	44,27	15,22	15,79	40,77	16,96

Abbildung 23: Bodendeckung (%) zweiter Termin an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten

Die Varianzanalyse in Tabelle 14 zeigt signifikante Unterschiede der Behandlungsfaktoren Standort, Sortierung und Pflanzabstand. Des Weiteren besitzen die Wechselwirkungen Standort*Sortierung sowie Standort*Pflanzabstand einen signifikanten Einfluss auf die Bodendeckung. Die Wechselwirkung Standort*Infektion besitzt jedoch keinen signifikanten Einfluss mehr.

Tabelle 14: Varianzanalyse für das Merkmal Bodendeckung (%) zweiter Termin

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* Infektion	1	76,215705	76,215705	3,79	0,0574
* Sortierung	1	9981,560411	9981,560411	496,04	<,0001
* Pflanzabstand	1	14932	14932	742,06	<,0001
Standort*Infektion	2	7,900006	3,950003	0,20	0,8224
Standort*Sortierung	2	196,348735	98,174367	4,88	0,0117
Standort*Pflanzabstand	2	469,706027	234,853014	11,67	<,0001
Infektion*Sortierung	1	24,395763	24,395763	1,21	0,2762
Infektion*Pflanzabstand	1	29,558014	29,558014	1,47	0,2313
Restfehler	49	985,998594	20,122420		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* Standort	2	3299,275671	1649,637836	29,65	0,0002
Fehler	7.7402	430,591693	55,630605		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Abbildung 24 zeigt die Mittelwerte der Wechselwirkung Standort*Infektion. Die Varianten mit geringer Infektion zeigen wiederum geringfügig höhere Bodendeckungsgrade. Die Unterschiede sind jedoch nicht mehr signifikant.

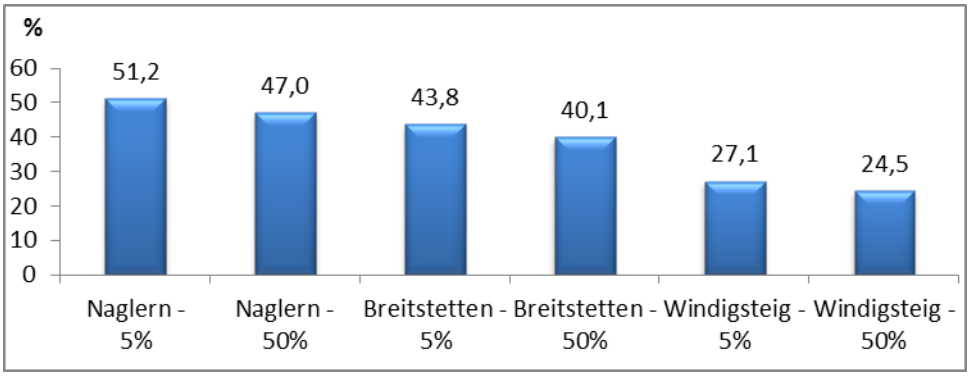


Abbildung 24: Bodendeckung (%) zweiter Termin gegliedert nach Standort*Infektion

Tabelle 15 zeigt, dass die Bodendeckungsgrade in Breitstetten und Naglern in den Varianten mit der Sortierung 50-55 mm signifikant am höchsten sind. Die höchste Bodendeckung weist jedoch nicht mehr Breitstetten sondern der Standort Naglern auf. Die Hauptwirkung Sortierung weist auf allen Standorten signifikante Unterschiede in der Bodendeckung auf. Kleine Pflanzgutsortierungen führen auf allen Standorten zu einer geringeren Bodendeckung. In Breitstetten ist diese um 50% geringer, in Naglern und Windigsteig nur um ca. 40%.

Tabelle 15: Scheffe-Test und Mittelwert Bodendeckung (%) zweiter Termin ausgewertet nach Standort und Sortierung

Standort	Sortierung	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Naglern	50-55 mm	A	72,2	8
Breitstetten	50-55 mm	A	66,3	8
Naglern	30-35 mm	B	42,9	8
Windigsteig	50-55 mm	B	42,5	8
Breitstetten	30-35 mm	C	32,8	8
Windigsteig	30-35 mm	D	18,9	8

Kleinste signifikante Differenz 8,9

Aus Tabelle 16 geht hervor, dass die Varianten mit weitem Pflanzabstand signifikant geringere Bodendeckungsgrade aufweisen als die Varianten mit engem Pflanzabstand. In Naglern sind diese um 55% geringer, in Breitstetten und Windigsteig um 60 bzw. 62%.
Innerhalb des Pflanzabstandes ist die Bodendeckung in Naglern immer am höchsten und in Windigsteig immer am signifikant niedrigsten.

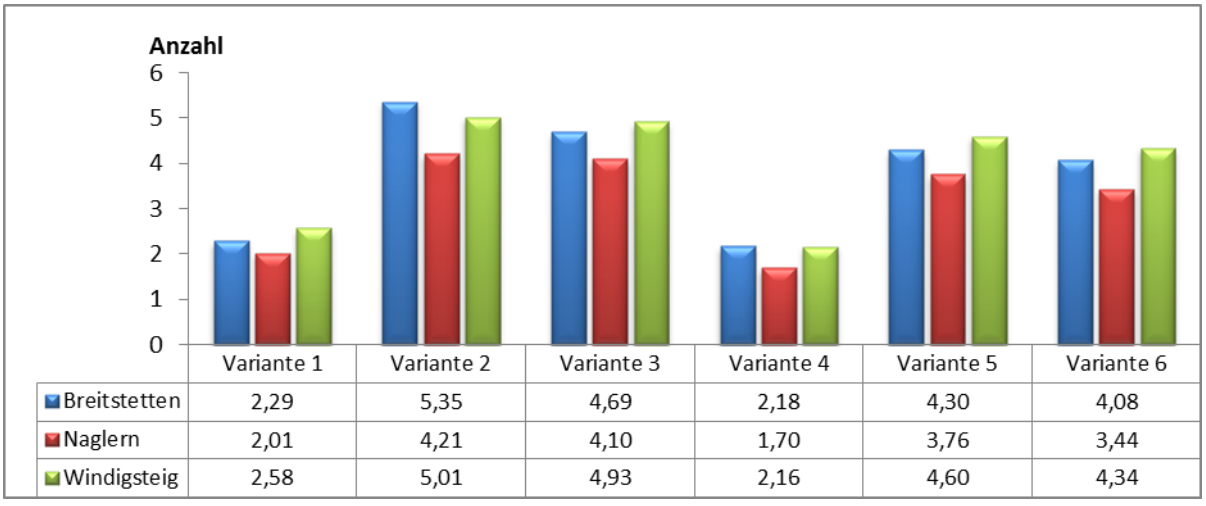
Tabelle 16: Scheffe-Test und Mittelwert Bodendeckung (%) zweiter Termin ausgewertet nach Standort und Pflanzabstand

Standort	Pflanzabstand	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Naglern	0,33 m	A	72,2	8
Breitstetten	0,33 m	A	66,3	8
Windigsteig	0,33 m	B	42,5	8
Naglern	0,99 m	C	32,4	8
Breitstetten	0,99 m	C	26,7	8
Windigsteig	0,99 m	D	16,1	8

Kleinste signifikante Differenz 8,1

5.1.5 Ausgebildete Sprossachsen

Abbildung 25 zeigt die Anzahl der ausgebildeten Sprossachsen je Versuchsvariante und Standort. Die Varianten eins und drei weisen deutlich weniger Hauptsprosse auf als die übrigen Versuchsvarianten. Im Standortvergleich fallen keine augenscheinlichen Unterschiede auf.



	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Breitstetten	2,29	5,35	4,69	2,18	4,30	4,08
Naglern	2,01	4,21	4,10	1,70	3,76	3,44
Windigsteig	2,58	5,01	4,93	2,16	4,60	4,34

Abbildung 25: Ausgebildete Sprossachsen (Stück) an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten

Bei den erhobenen Daten bzw. deren Rangwerten, war die Annahme homogener Varianzen für die Varianzanalyse (Tabelle 17) nicht erfüllt.

Die Behandlungsfaktoren Standort, Infektion, Sortierung, Pflanzabstand sowie die Wechselwirkung Infektion*Sortierung besitzen einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der ausgebildeten Sprossachsen.

In Naglern wurden mit durchschnittlich 3,2 Sprossachsen/Mutterknolle signifikant weniger Sprossachsen ausgebildet, als dies in Breitstetten (3,8) bzw. Windigsteig (3,9) der Fall war. Varianten mit kleinsortiertem Pflanzgut (2,2 Sprossachsen/Staude) bildeten um 53 % weniger Sprossachsen aus als Varianten mit großsortiertem Pflanzgut.

Tabelle 17: Varianzanalyse für das Merkmal ausgebildete Sprossachsen je Staude (Stück)

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* **Infektion**	1	48,600000	48,600000	25,63	<,0001
* **Sortierung**	1	1368,037500	1368,037500	721,45	<,0001
* **Pflanzabstand**	1	18,704167	18,704167	9,86	0,0017
Standort*Infektion	2	1,129167	0,564583	0,30	0,7425
Standort*Sortierung	2	8,856250	4,428125	2,34	0,0972
Standort*Pflanzabstand	2	3,327083	1,663542	0,88	0,4161
Infektion*Sortierung	1	7,704167	7,704167	4,06	0,0440
Infektion*Pflanzabstand	1	0,016667	0,016667	0,01	0,9253
Restfehler	1417	2686,956250	1,896229		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* **Standort**	2	80,425000	40,212500	17,76	0,0003
Fehler	11,541	26,127985	2,264021		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Aus Tabelle 18 geht hervor, dass die Anzahl gebildeter Sprossachsen primär von der Sortierung beeinflusst wird. Die Varianten mit kleinsortiertem Pflanzgut bilden in jeder Infektionsstufe signifikant weniger Sprossachsen aus, als jene mit großsortiertem Pflanzgut.

Der Behandlungsfaktor Infektion beeinflusst die Sprossachsenausbildung nur innerhalb der Sortierung. Innerhalb der Sortierung 50-55 mm, weist der Behandlungsfaktor Infektion signifikante Unterschiede in der Sprossachsenausbildung auf. Die Varianten mit hoher Infektion bilden durchschnittlich um 10% (0,64 Stück) weniger Sprossachsen/Mutterknolle aus. Innerhalb der Sortierung 30-35 mm, weist der Behandlungsfaktor Infektion keine

signifikanten Unterschiede auf, wobei die Varianten mit hoher Infektion um 12,2% (0,28 Stück) weniger Sprossachsen je Mutterknolle ausbilden.

Tabelle 18: Scheffe-Test und Mittelwert ausgebildeter Sprossachsen (Stück) ausgewertet nach Infektion und Sortierung

Infektion	Sortierung	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
5%	50/55	A	4,86	240
50%	50/55	B	4,22	240
5%	30/35	C	2,29	240
50%	30/35	C	2,01	240

Kleinste signifikante Differenz 0,35

5.2 Symptomerhebungen

Abbildung 26 zeigt den Verlauf der mittleren Befallsschwere von schwarzbeinigen Pflanzen je Versuchsvariante am Standort Breitstetten. Die Befallsschwere steigt im Verlauf der Vegetation an. Aus dem Diagramm geht hervor, dass die Befallsschwere in den Varianten eins, zwei und drei sehr gering und keine augenmerklichen Unterschiede feststellbar sind.
In den Varianten vier, fünf und sechs sind die Unterschiede bei den letzten drei Bonituren schon eindeutiger.

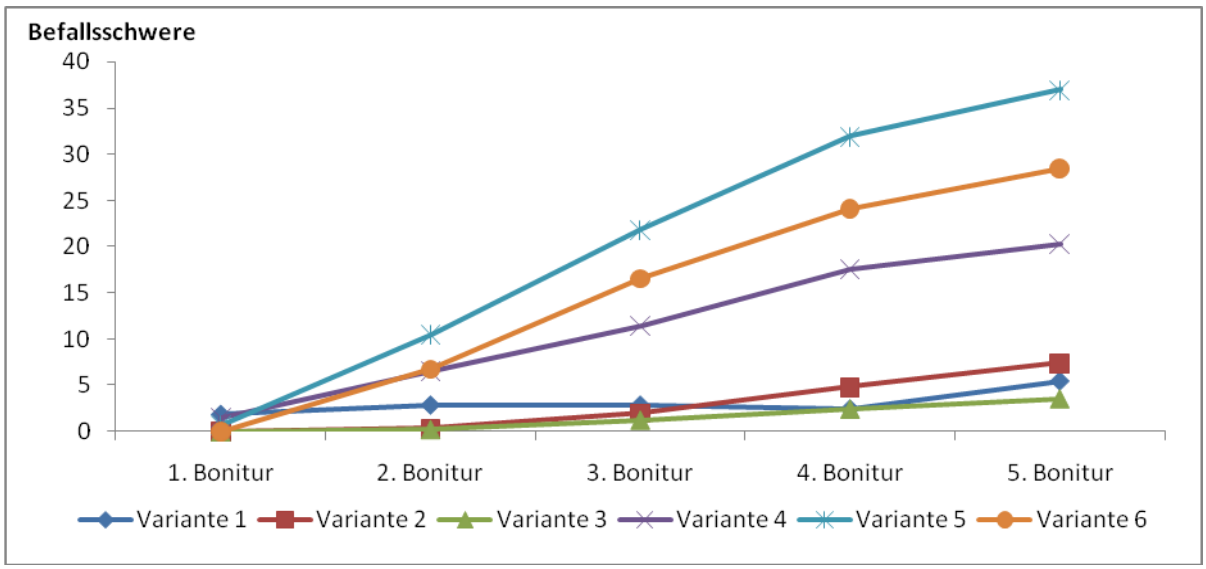


Abbildung 26: Mittlere Befallsschwere (0-120) am Versuchsstandort Breitstetten zu fünf Boniturterminen

Abbildung 27 zeigt den Verlauf der mittleren Befallsschwere von schwarzbeinigen Pflanzen je Versuchsvariante am Standort Naglern. Hier zeigen sich ähnliche Tendenzen wie am Standort Breitstetten. Die Unterschiede zwischen den Varianten vier, fünf und sechs sind aber nicht mehr so augenscheinlich.

Im Standortvergleich ist die Befallsschwere in Naglern etwas höher als in Breitstetten.

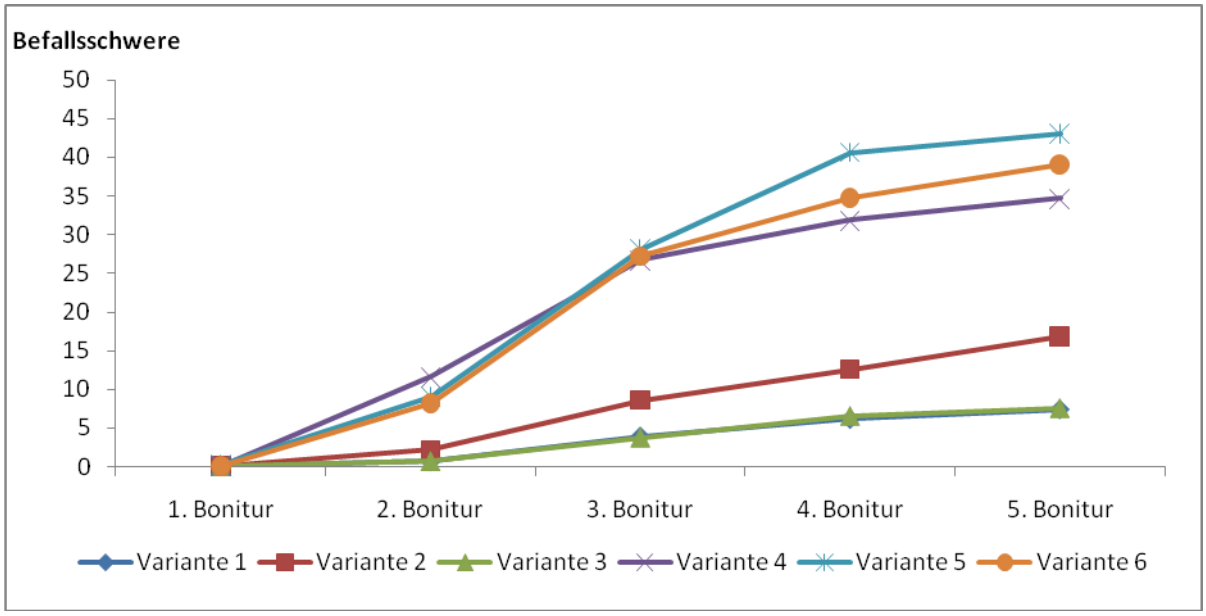


Abbildung 27: Mittlere Befallsschwere (0-120) am Versuchsstandort Naglern zu 5 Boniturterminen

Abbildung 28 zeigt den Verlauf der mittleren Befallsschwere von schwarzbeinigen Pflanzen je Versuchsvariante am Standort Windigsteig. Auch hier sind ähnliche Tendenzen wie auf den Standorten Breitstetten und Naglern zu beobachten. Im Vergleich zu den anderen Versuchsfeldern, ist in Windigsteig die mittlere Befallsschwere am geringsten.

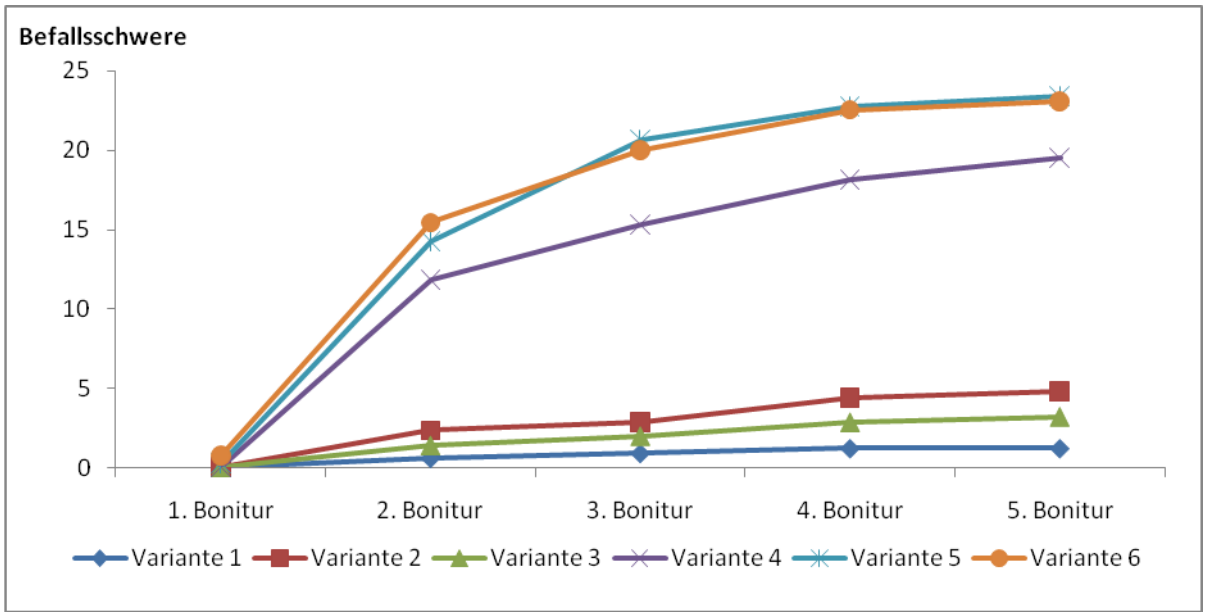
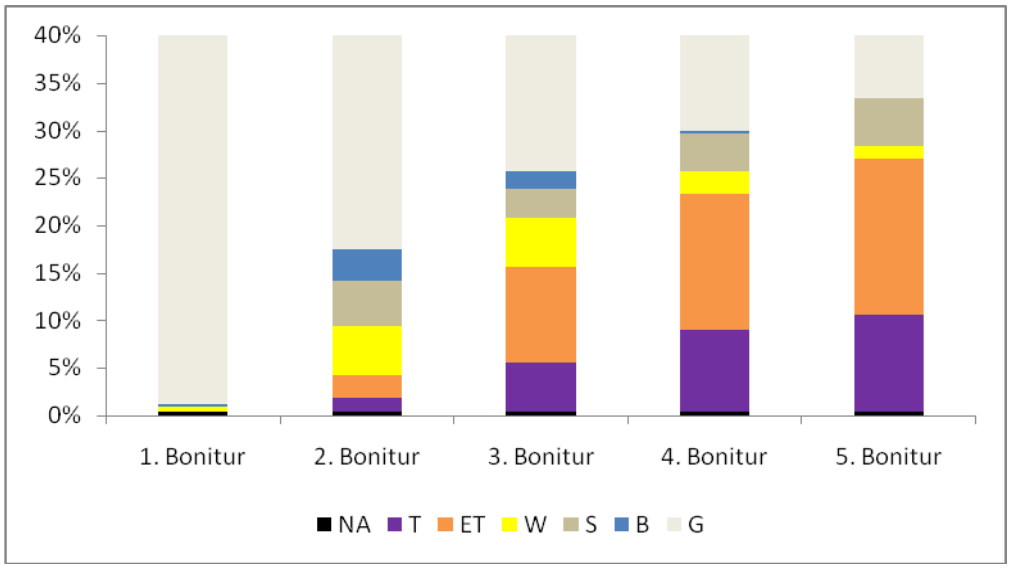


Abbildung 28: Mittlere Befallsschwere (0-120) am Versuchsstandort Windigsteig zu 5 Boniturterminen

Abbildung 29 zeigt den prozentuellen Anteil der einzelnen Symptome im Feldbestand bei der jeweiligen Bonitur. Aus der Abbildung geht hervor, dass der Anteil symptombehafteter Pflanzen im Laufe der Vegetationsperiode zunimmt. Die häufigsten Symptomgruppen gegen Ende der Vegetation sind: *einzelne Stängel abgestorben* und *Pflanze abgestorben*.



NA…nicht aufgelaufen; T…Pflanze abgestorben; ET…einzelne Stängel abgestorben; W…Welke/Chlorose; S…Schwarzbeinigkeit; B…eingerollte Fiederblätter; G…kein Symptom

Abbildung 29: Anteil der einzelnen Symptome (%) im Feldbestand in Abhängigkeit vom Boniturtermin

5.2.1 Befallsschwere erster Boniturtermin

Für den ersten Boniturtermin wird keine statistische Auswertung durchgeführt, da kaum Symptome im Bestand feststellbar waren.

5.2.2 Befallsschwere zweiter Boniturtermin

Beim zweiten Boniturtermin wurden nicht die erhobenen Daten, sondern deren Rangwerte ausgewertet, da bei den erhobenen Daten die Annahme homogener Varianzen nicht erfüllt war.

Die Varianzanalyse in Tabelle 19 zeigt, dass die Befallsschwere nur beim Behandlungsfaktor Infektion signifikante Unterschiede aufweist.

Tabelle 19: Varianzanalyse für das Merkmal Befallsschwere (0-120) zweiter Boniturtermin (Rangwerte)

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* Infektion	1	14163	14163	109,88	<,0001
* Sortierung	1	72,520833	72,520833	0,56	0,4568
* Pflanzabstand	1	240,755208	240,755208	1,87	0,1780
Standort*Infektion	2	456,333333	228,166667	1,77	0,1810
Standort*Sortierung	2	285,791667	142,895833	1,11	0,3381
Standort*Pflanzabstand	2	15,635417	7,817708	0,06	0,9412
Infektion*Sortierung	1	4,083333	4,083333	0,03	0,8595
Infektion*Pflanzabstand	1	1,880208	1,880208	0,01	0,9044
Restfehler	49	6315,875000	128,895408		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* Standort	2	522,656250	261,328125	1,89	0,1917
Fehler	12,344	1703,243676	137,980568		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Der Mittelwertvergleich in Tabelle 20 zeigt ebenfalls signifikante Unterschiede in der Befallsschwere. Die mittlere Befallsschwere ist in den Varianten mit geringer Infektion um 87% geringer als in den Varianten mit hoher Infektion.

Tabelle 20: Scheffe- Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere zweiter Boniturtermin ausgewertet nach Infektion

Infektion	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
50%	A	53,7(10,5)	36
5%	B	19,3(1,4)	36

Kleinste signifikante Differenz 5,4
Werte in Klammern stellen die erhobenen Mittelwerte dar

5.2.3 Befallsschwere dritter Boniturtermin

Die Varianzanalyse der dritten Symptombonitur wurde mangels Varianzhomogenität der Daten ebenfalls mit Rangwerten durchgeführt. Die Behandlungsfaktoren Standort, Infektion und Sortierung besitzen einen signifikanten Einfluss auf die Befallsschwere. Der Pflanzabstand und die in Tabelle 21 angeführten Wechselwirkungen weisen jedoch keine Signifikanzen auf.

Tabelle 21: Varianzanalyse für das Merkmal Befallsschwere (0-120) dritter Boniturtermin (Rangwerte)

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* **Infektion**	1	14180	14180	131,44	<,0001
* **Sortierung**	1	602,083333	602,083333	5,58	0,0222
* **Pflanzabstand**	1	221,020833	221,020833	2,05	0,1587
Standort*Infektion	2	252,777778	126,388889	1,17	0,3184
Standort*Sortierung	2	33,322917	16,661458	0,15	0,8573
Standort*Pflanzabstand	2	21,947917	10,973958	0,10	0,9035
Infektion*Sortierung	1	27,000000	27,000000	0,25	0,6191
Infektion*Pflanzabstand	1	7,520833	7,520833	0,07	0,7929
Restfehler	49	5286,263889	107,882937		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* **Standort**	2	1429,291667	714,645833	5,72	0,0187
Fehler	11,599	1448,984248	124,920855		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Am Versuchsfeld in Naglern wurde eine signifikant höhere Befallsschwere mit einem Wert von 16,3 festgestellt (Tabelle 22). In Breitstetten und Windigsteig zeigt die mittlere Befallsschwere keine signifikanten Unterschiede auf. Im Vergleich zu Naglern ist die Befallsschwere in Windigsteig um 37% geringer und in Breitstetten um 43% geringer.

Tabelle 22: Scheffe- Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere dritter Boniturtermin ausgewertet nach Standort

Standort	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Naglern	A	44,5 (16,3)	24
Windigsteig	B	33,6(10,3)	24
Breitstetten	B	31,4 (9,3)	24

Kleinste signifikante Differenz 7,6
Werte in Klammern stellen die erhobenen Mittelwerte dar

Die Varianten mit geringer Infektion weisen eine signifikant niedrigere Befallsschwere auf (Tabelle 23). In diesen Varianten ist die Befallsschwere im Durchschnitt um 85% geringer als in den Varianten mit hoher Infektion.

Tabelle 23: Scheffe-Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere dritter Boniturtermin ausgewertet nach Infektion

Infektion	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
50%	A	53,8 (20,9)	36
5%	B	19,2 (3,1)	36

Kleinste signifikante Differenz 4,9
Werte in Klammern stellen die erhobenen Mittelwerte dar

Der Mittelwertvergleich in Tabelle 24, zeigt keine signifikanten Unterschiede in der Befallsschwere, obwohl die Varianzanalyse in Tabelle 21 einen signifikanten Einfluss der Sortierung auf die Befallsschwere aufdeckt. Die signifikante Differenz wird jedoch nur knapp nicht erreicht. Die Befallsschwere der „30-55 mm“ Varianten, liegt um 27% unter den „50-55 mm“ Varianten.

Tabelle 24: Scheffe-Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere dritter Boniturtermin ausgewertet nach Sortierung

Sortierung	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
50-55 mm	A	26,8 (14,0)	24
30-35 mm	A	22,2 (10,2)	24

Kleinste signifikante Differenz 4,8
Werte in Klammern stellen die Mittelwerte dar

5.2.4 Befallsschwere vierter Boniturtermin

Auch bei der vierten Symptombonitur war bei den erhobenen Daten die Annahme homogener Varianzen nicht erfüllt. Deshalb wurde die Varianzanalyse in Tabelle 25 wieder mit den Rangwerten durchgeführt, da hier die Annahme homogener Varianzen erfüllt war.

Die Varianzanalyse zeigt, dass die Behandlungsfaktoren Standort, Infektion und Sortierung einen signifikanten Einfluss auf die Befallsschwere besitzen. Der Behandlungsfaktor Pflanzabstand, sowie die angeführten Wechselwirkungen besitzen jedoch keinen signifikanten Einfluss.

Tabelle 25: Varianzanalyse für das Merkmal Befallsschwere (0-120) vierter Boniturtermin (Rangwerte)

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* **Infektion**	1	15373	15373	177,31	<,0001
* **Sortierung**	1	1370,671875	1370,671875	15,81	0,0002
* **Pflanzabstand**	1	322,921875	322,921875	3,72	0,0594
Standort*Infektion	2	214,048611	107,024306	1,23	0,2999
Standort*Sortierung	2	0,843750	0,421875	0,00	0,9951
Standort*Pflanzabstand	2	38,375000	19,187500	0,22	0,8023
Infektion*Sortierung	1	8,755208	8,755208	0,10	0,7520
Infektion*Pflanzabstand	1	41,255208	41,255208	0,48	0,4936
Restfehler	49	4248,284722	86,699688		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* **Standort**	2	1415,197917	707,598958	7,60	0,0071
Fehler	12,315	1146,207630	93,073507		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Wie schon beim dritten Boniturtermin ist auch beim vierten Boniturtermin (Tabelle 26) die Befallsschwere in Naglern signifikant am höchsten. Zwischen Breitstetten und Windigsteig liegen keine signifikanten Unterschiede vor, jedoch ist die Befallsschwere jetzt in Windigsteig am geringsten. Im Vergleich zu Naglern ist die Befallsschwere in Breitstetten um 37% geringer und in Windigsteig um 45% geringer.

Tabelle 26: Scheffe-Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere vierter Boniturtermin ausgewertet nach Standort

Standort	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Naglern	A	44,5(22,0)	24
Breitstetten	B	33,6(13,9)	24
Windigsteig	B	31,4(12,0)	24

Kleinste signifikante Differenz 3,2
Werte in Klammern stellen die Mittelwerte dar

Auch in Tabelle 27 weisen die Varianten mit geringer Infektion eine signifikant niedrigere Befallsschwere auf. Die Befallsschwere ist durchschnittlich um 82% geringer als in den Varianten mit hoher Infektion. Dies entspricht in etwa dem Wert des dritten Boniturtermins (85%).

Tabelle 27: Scheffe-Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere vierter Boniturtermin ausgewertet nach Infektion

Infektion	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
50%	A	53,9(27,1)	36
5%	B	19,1(4,8)	36

Kleinste signifikante Differenz 4,4
Werte in Klammern stellen die Mittelwerte dar

Der Scheffe-Test in Tabelle 28 zeigt, dass Pflanzgut mit kleiner Sortierung eine signifikant geringere Befallsschwere aufweist, als jenes mit großer Sortierung. Im Gegensatz zum dritten Boniturtermin sind die Unterschiede nun auch beim Scheffe-Test signifikant.
Die Befallsschwere der Varianten mit kleiner Sortierung liegt um 34% unter jenen mit großer Sortierung. Die Differenz hat sich im Vergleich zum dritten Boniturtermin um 7%-Punkte erhöht.

Tabelle 28: Scheffe-Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere vierter Boniturtermin ausgewertet nach Sortierung

Sortierung	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
50-55 mm	A	28,0(19,5)	24
30-35 mm	B	21,0(12,9)	24

Kleinste signifikante Differenz 4,1
Werte in Klammern stellen die Mittelwerte dar

5.2.5 Befallsschwere fünfter Boniturtermin

Tabelle 29 zeigt die statistische Auswertung des fünften Boniturtermins. Auch hier besitzen die Behandlungsfaktoren Standort, Infektion und Sortierung signifikante Einflüsse auf die Befallsschwere. Zusätzlich zeigen der Pflanzabstand und die Wechselwirkung Standort*Infektion einen signifikanten Einfluss.

Tabelle 29: Varianzanalyse für das Merkmal Befallsschwere (0-120) fünfter Boniturtermin

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* Infektion	1	6225,654765	6225,654765	172,93	<,0001
* Sortierung	1	643,257228	643,257228	17,87	0,0001
* Pflanzabstand	1	253,416440	253,416440	7,04	0,0107
Standort*Infektion	2	265,976321	132,988161	3,69	0,0320
Standort*Sortierung	2	78,488553	39,244277	1,09	0,3442
Standort*Pflanzabstand	2	80,605924	40,302962	1,12	0,3346
Infektion*Sortierung	1	64,320622	64,320622	1,79	0,1875
Infektion*Pflanzabstand	1	1,253610	1,253610	0,03	0,8527
Restfehler	49	1764,045840	36,000936		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* Standort	2	929,732571	464,866286	14,19	0,0004
Fehler	14,356	470,247627	32,757109		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Aus Tabelle 30 geht hervor, dass die Befallsschwere primär vom Behandlungsfaktor Infektion beeinflusst wird. Die Varianten mit geringer Infektion weisen auf jedem Standort eine signifikant geringere Befallsschwere auf, als jene mit hoher Infektion. Der Standort beeinflusst die Befallsschwere nur innerhalb der Infektionsstufen. Die Standortreihung ist in beiden Stufen des Behandlungsfaktors Infektion identisch. Signifikante Unterschiede sind jedoch nur in den Varianten mit hoher Infektion gegeben. Hier weist der Standort Naglern die signifikant höchste Befallsschwere auf.

Vergleicht man die Standortunterschiede in den Varianten mit hoher Infektion, ist die Befallsschwere in Breitstetten um 27% und in Windigsteig um 43% geringer als in Naglern. Innerhalb der Varianten mit geringer Infektion ist die Befallsschwere in Breitstetten um 48% und in Windigsteig um 71% geringer als in Naglern.

In Naglern ist die Befallsschwere in den Varianten mit geringer Infektion um 73%, in

Breitstetten um 81% und in Windigsteig um 86% geringer als in den Varianten mit hoher Infektion.

Tabelle 30: Scheffe-Test und Mittelwert Befallsschwere fünfter Boniturtermin ausgewertet nach Standort und Infektion

Standort	Infektion	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Naglern	50%	A	38,9	12
Breitstetten	50%	B	28,6	12
Windigsteig	50%	B	22,0	12
Naglern	5%	C	10,6	12
Breitstetten	5%	C	5,5	12
Windigsteig	5%	C	3,1	12

Kleinste signifikante Differenz 8,5

Der Mittelwertvergleich in Tabelle 31 zeigt das gleiche Ergebnis wie beim vierten Boniturtermin. Pflanzgut mit kleiner Sortierung weist einen signifikant geringeren Befall auf als jenes mit großer Sortierung. Die Befallsschwere der „*30-35 mm*“ Varianten, liegt um 33% unter den „*50-55 mm*“ Varianten. Dies entspricht in etwa dem prozentualen Unterschied des vierten Boniturtermins.

Tabelle 31: Scheffe-Test und Mittelwert Befallsschwere (0-120) fünfter Boniturtermin ausgewertet nach Sortierung

Sortierung	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
50-55 mm	A	22,1	24
30-35 mm	B	14,8	24

Kleinste signifikante Differenz 3,8

Die Befallsschwere ist in den Varianten mit einem Pflanzabstand von 0,99 m signifikant geringer als in jenen mit einem Pflanzabstand von 0,33 m (Tabelle 32). Bei der fünften Bonitur sind die Unterschiede zum ersten Mal signifikant.

Prozentuell gesehen ist die mittlere Befallsschwere in den Varianten mit 0,99 m Pflanzabstand um 21% geringer.

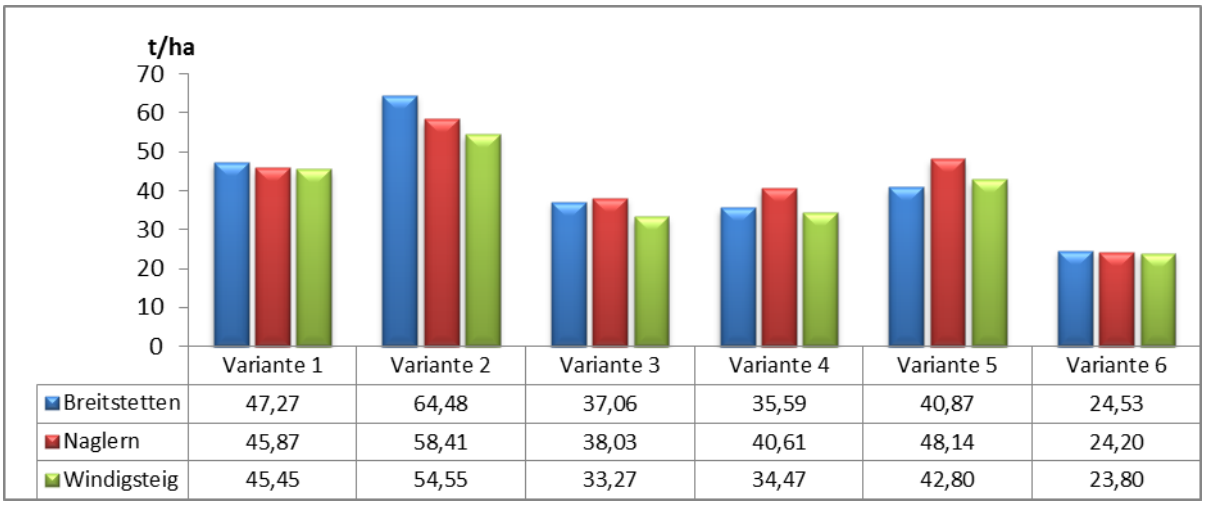
Tabelle 32: Scheffe-Test und Mittelwert Befallsschwere fünfter Boniturtermin (0-120) ausgewertet nach Pflanzabstand

Pflanzabstand	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
0,33 m	A	22,1	24
0,99 m	B	17,5	24

Kleinste signifikante Differenz 3.7

5.3 Hektarertrag

Abbildung 30 zeigt die Hektarerträge (t/ha) der sechs Versuchsvarianten an den jeweiligen Versuchsstandorten. Auf dem ersten Blick sticht nur Variante 2 heraus. Hier liegen die Erträge geringfügig über jenen der anderen Varianten. Im Standortvergleich sind keine augenfälligen Unterschiede festzustellen.



	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Breitstetten	47,27	64,48	37,06	35,59	40,87	24,53
Naglern	45,87	58,41	38,03	40,61	48,14	24,20
Windigsteig	45,45	54,55	33,27	34,47	42,80	23,80

Abbildung 30: Hektarerträge (t/ha) an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten

Aus der Varianzanalyse in Tabelle 33 geht hervor, dass die Behandlungsfaktoren Infektion, Sortierung, Pflanzabstand sowie die Wechselwirkung Infektion*Sortierung einen signifikanten Einfluss auf den Hektarertrag besitzen.

Der Ertrag in den Varianten mit weitem Pflanzabstand ist mit 30,2 t/ha um 41,5% geringer als in den Varianten mit engem Pflanzabstand.

Tabelle 33: Varianzanalyse für das Merkmal Frischmasseertrag (t/ha)

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* **Infektion**	1	1354,633839	1354,633839	60,20	<,0001
* **Sortierung**	1	1199,696989	1199,696989	53,31	<,0001
* **Pflanzabstand**	1	5492,083568	5492,083568	244,05	<,0001
Standort*Infektion	2	131,803356	65,901678	2,93	0,0629
Standort*Sortierung	2	12,852426	6,426213	0,29	0,7528
Standort*Pflanzabstand	2	9,595025	4,797513	0,21	0,8088
Infektion*Sortierung	1	104,394245	104,394245	4,64	0,0362
Infektion*Pflanzabstand	1	32,041387	32,041387	1,42	0,2385
Restfehler	49	1102,694965	22,503979		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* **Standort**	2	70.341429	35.170714	2.82	0.0754
Fehler	29.63	368.939988	12.451754		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Tabelle 34 zeigt den Scheffe-Test für die Wechselwirkung Infektion*Sortierung. Der Hektarertrag wird primär vom Behandlungsfaktor Infektion beeinflusst. Die Sortierung beeinflusst den Hektarertrag nur innerhalb der Infektionsstufen. Die mittleren Erträge der Varianten mit geringer Infektion liegen über jenen mit hoher Infektion. Der signifikant höchste Hektarertrag zeigt sich in der Variante mit geringer Infektion und großsortiertem Pflanzgut, der signifikant geringste in der Variante mit hoher Infektion und kleinsortiertem Pflanzgut.

Innerhalb der Varianten mit geringer Infektion sind die Erträge bei kleinsortiertem Pflanzgut um 22% geringer, innerhalb der Varianten mit hoher Infektion sind die Erträge nur um 16% geringer. Die Unterschiede zwischen den Sortierungen sind in jeder Infektionsstufe signifikant.

Vergleiche innerhalb der Sortierung 50-55 mm, zeigen in den Varianten mit hoher Infektion um 26% geringere Erträge, innerhalb der Sortierung 30-35 mm aber nur 20% geringere Erträge.

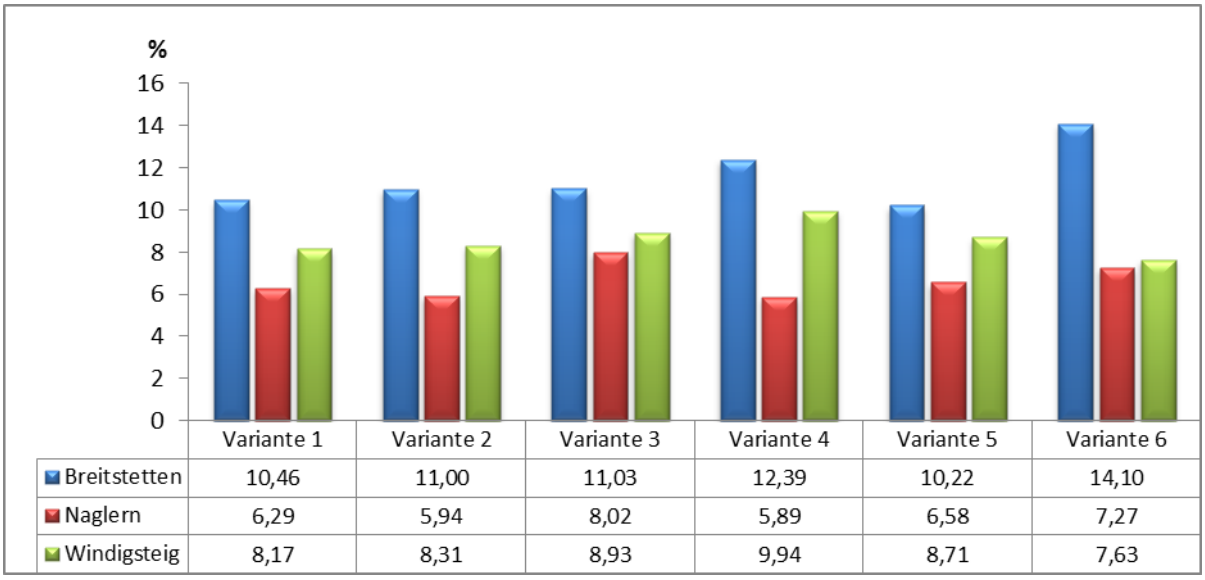
Tabelle 34: Scheffe-Test und Mittelwert für das Merkmal Frischmasseertrag (t/ha) ausgewertet nach Infektion und Sortierung

Infektion	Sortierung	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
5%	50/55	A	59,2	12
5%	30/35	B	46,2	12
50%	50/55	B	43,9	12
50%	30/35	C	36,9	12

Kleinste signifikante Differenz 5,5

5.4 Lagerverlust

Abbildung 31 zeigt die ermittelten Lagerverluste (%) im Dezember. Zwischen den Versuchsvarianten sind keine eindeutigen Unterschiede festzustellen. Im Standortvergleich fällt auf, dass die Lagerverluste in Breitstetten tendenziell am höchsten sind.



	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Breitstetten	10,46	11,00	11,03	12,39	10,22	14,10
Naglern	6,29	5,94	8,02	5,89	6,58	7,27
Windigsteig	8,17	8,31	8,93	9,94	8,71	7,63

Abbildung 31: Lagerverluste (%) im Dezember der Versuchsstandorte Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten

Die Varianzanalyse in Tabelle 35 zeigt, dass nur der Versuchsstandort einen signifikanten Einfluss auf die Lagerverluste besitzt. Die übrigen Behandlungsfaktoren Infektion, Sortierung, Pflanzabstand und deren Wechselwirkungen besitzen keine signifikanten Einflüsse auf den Lagerverlust.

Tabelle 35: Varianzanalyse für das Merkmal Lagerverlust (%) im Dezember

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* **Infektion**	1	6,187792	6,187792	1,27	0,2643
* **Sortierung**	1	1,905178	1,905178	0,39	0,5339
* **Pflanzabstand**	1	12,899420	12,899420	2,66	0,1095
Standort*Infektion	2	7,834297	3,917148	0,81	0,4520
Standort*Sortierung	2	2,087381	1,043690	0,22	0,8073
Standort*Pflanzabstand	2	10,265747	5,132873	1,06	0,3551
Infektion*Sortierung	1	3,050871	3,050871	0,63	0,4317
Infektion*Pflanzabstand	1	0,192283	0,192283	0,04	0,8431
Restfehler	49	237,825003	4,853571		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* **Standort**	2	216,399546	108,199773	24,76	<,0001
Fehler	14,512	63,423903	4,370365		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Im Scheffe-Test, in Tabelle 36, sind signifikante Unterschiede zwischen allen drei Versuchsstandorten ersichtlich. Die höchsten Lagerverluste liegen in Breitstetten vor, die geringsten in Naglern.

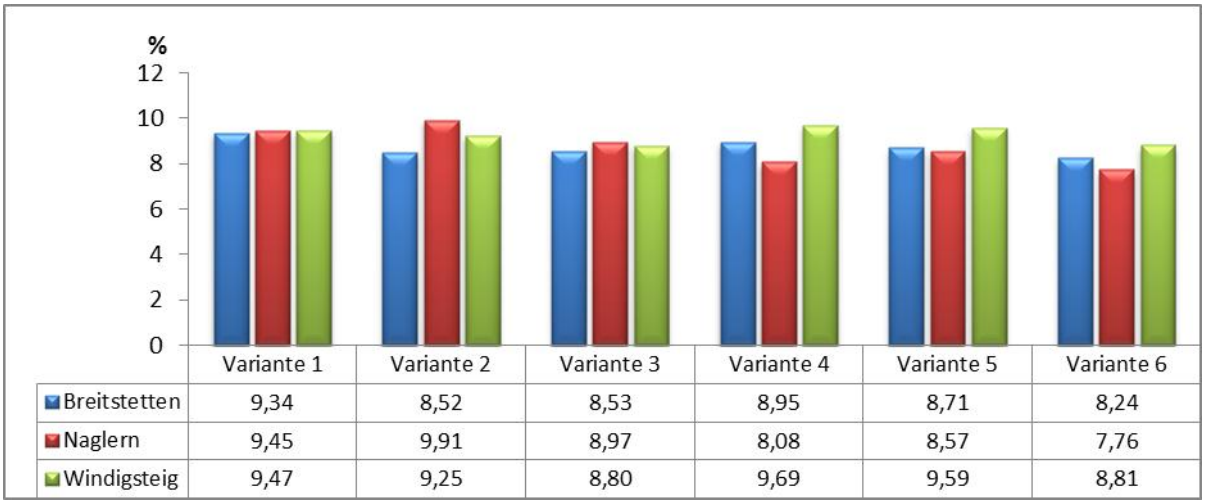
Tabelle 36: Scheffe-Test und Mittelwert Lagerverlust (%) ausgewertet nach Standort

Standort	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Breitstetten	A	11,5	24
Windigsteig	B	8,6	24
Naglern	C	6,7	24

Kleinste signifikante Differenz 1,5

5.5 Stärkegehalt

Abbildung 32 zeigt die mittleren Stärkegehalte (%) der einzelnen Versuchsvarianten je Standort. Auf den ersten Blick sind aus dem Diagramm keine Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten bzw. Standorten festzustellen.



	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Breitstetten	9,34	8,52	8,53	8,95	8,71	8,24
Naglern	9,45	9,91	8,97	8,08	8,57	7,76
Windigsteig	9,47	9,25	8,80	9,69	9,59	8,81

Abbildung 32: Stärkegehalt (%) an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten

Aus der Varianzanalyse in Tabelle 37 geht hervor, dass die Behandlungsfaktoren Standort, Infektion, Pflanzabstand und die Wechselwirkungen Standort*Infektion, Standort*Sortierung einen signifikanten Einfluss auf den Stärkegehalt besitzen.

Der Stärkegehalt beträgt in den Varianten mit engem Pflanzabstand durchschnittlich 9,1%, in den Varianten mit weitem Pflanzabstand durchschnittlich 8,5%.

Tabelle 37: Varianzanalyse für das Merkmal Stärkegehalt (%)

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* **Infektion**	1	3,042491	3,042491	13,24	0,0007
* **Sortierung**	1	0,063352	0,063352	0,28	0,6019
* **Pflanzabstand**	1	3,952353	3,952353	17,20	0,0001
Standort*Infektion	2	7,339665	3,669832	15,97	<,0001
Standort*Sortierung	2	2,079627	1,039814	4,52	0,0157
Standort*Pflanzabstand	2	0,852117	0,426059	1,85	0,1674
Infektion*Sortierung	1	0,178794	0,178794	0,78	0,3821
Infektion*Pflanzabstand	1	0,153613	0,153613	0,67	0,4176
Restfehler	49	11,260423	0,229805		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* **Standort**	2	3,300355	1,650178	6,92	0,0093
Fehler	12,673	3,022650	0,238507		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Tabelle 38 zeigt den Scheffe-Test der Wechselwirkung Standort*Infektion, für das Merkmal Stärkegehalt (%). Signifikante Unterschiede zwischen den Infektionsstufen sind nur in Naglern gegeben. Mit Ausnahme des Standortes Windigsteig weisen die Varianten mit geringer Infektion höhere Stärkegehalte auf als die Varianten mit hoher Infektion.

Tabelle 38: Scheffe-Test und Mittelwert Stärkegehalt (%) ausgewertet nach Standort und Infektion

Standort	Infektion	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Naglern	5%	A	9,44	12
Windigsteig	50%	A	9,36	12
Windigsteig	5%	A B	9,17	12
Breitstetten	5%	A B C	8,80	12
Breitstetten	50%	BC	8,63	12
Naglern	50%	C	8,14	12

Kleinste signifikante Differenz 0,68

Aus dem Mittelwertvergleich in Tabelle 39 lassen sich keine Tendenzen bezüglich der Behandlungsfaktoren Standort und Sortierung ableiten.

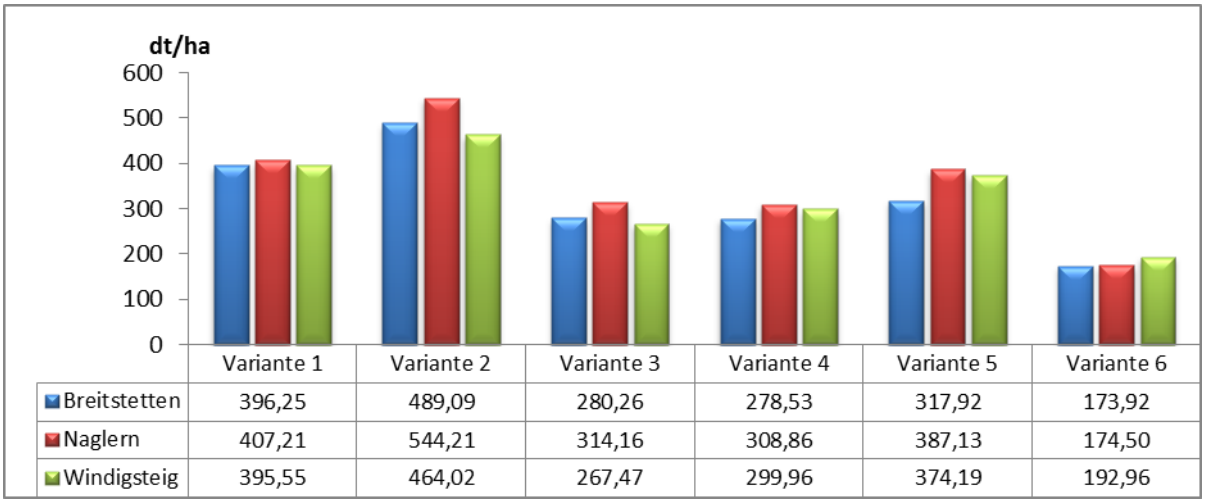
Tabelle 39: Scheffe-Test und Mittelwert Stärkegehalt (%) ausgewertet nach Standort und Sortierung

Standort	Sortierung	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Windigsteig	30-35 mm	A	9,58	8
Windigsteig	50-55 mm	A B	9,42	8
Naglern	50-55 mm	A B	9,24	8
Breitstetten	30-35 mm	A B	9,15	8
Naglern	30-35 mm	B	8,76	8
Breitstetten	50-55 mm	B	8,62	8

Kleinste signifikante Differenz 0,89

5.6 Stärkeertrag

In Abbildung 33 sind die mittleren Stärkeerträge (dt/ha) der Versuchsvarianten je Standort ersichtlich. Variante zwei zeigt die höchsten Stärkeerträge, Variante sechs die geringsten. Zwischen den Standorten sind auf den ersten Blick keine eindeutigen Unterschiede festzustellen.



	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Breitstetten	396,25	489,09	280,26	278,53	317,92	173,92
Naglern	407,21	544,21	314,16	308,86	387,13	174,50
Windigsteig	395,55	464,02	267,47	299,96	374,19	192,96

Abbildung 33: Stärkeerträge (dt/ha) an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten

Die Varianzanalyse in Tabelle 40 zeigt, dass die Behandlungsfaktoren Infektion, Sortierung und Pflanzabstand einen signifikanten Einfluss auf den Stärkeertrag (dt/ha) besitzen. Der Versuchsstandort sowie alle Wechselwirkungen weisen keinen signifikanten Einfluss auf den Stärkeertrag auf.

Tabelle 40: Varianzanalyse für das Merkmal Stärkeertrag (dt/ha)

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* **Infektion**	1	133207	133207	72,27	<,0001
* **Sortierung**	1	80099	80099	43,46	<,0001
* **Pflanzabstand**	1	458860	458860	248,96	<,0001
Standort*Infektion	2	8126,700082	4063,350041	2,20	0,1211
Standort*Sortierung	2	4091,701357	2045,850678	1,11	0,3377
Standort*Abstand	2	4302,944377	2151,472188	1,17	0,3197
Infektion*Sortierung	1	3776,142632	3776,142632	2,05	0,1587
Infektion*Abstand	1	3174,221213	3174,221213	1,72	0,1955
Restfehler	49	90314	1843,137751		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* **Standort**	2	2949,824244	1474,912122	1,00	0,3892
Fehler	16,58	24466	1475,661832		
Fehler: 0.6667*MS(Standort*Block) + 0.3333*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Der Scheffe-Test in Tabelle 41 zeigt, dass der Stärkeertrag in den Varianten mit hoher Infektion signifikant geringer ist, als in jenen mit geringer Infektion. Der Stärkeertrag ist im Durchschnitt um 117 dt/ha bzw. 30% geringer.

Tabelle 41: Scheffe-Test und Mittelwert Stärkeertrag (dt/ha) ausgewertet nach Infektion

Infektion	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
5%	A	395	36
50%	B	278	36

Kleinste signifikante Differenz 20

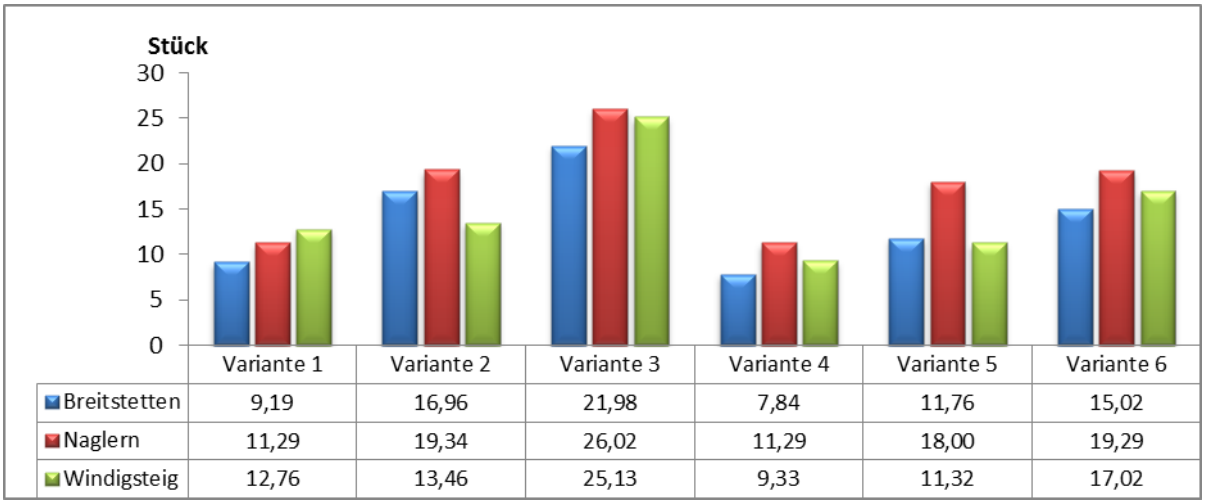
Vergleiche zwischen den Sortierungen zeigen, dass der Stärkeertrag in den Varianten mit groß sortiertem Pflanzgut mit 429 dt/ha signifikant höher ist als in den Varianten mit klein sortiertem Pflanzgut, wo der Stärkeertrag 348 dt/ha beträgt.

Vergleiche zwischen den Pflanzabständen zeigen, dass der Stärkeertrag in den Varianten mit engem Pflanzabstand mit 429 dt/ha signifikant höher ist, als in den Varianten mit weitem Pflanzabstand, wo dieser 234 dt/ha beträgt.

Die Ergebnisse belegen, dass der Stärkeertrag primär vom Hektarertrag abhängig ist und nicht vom Stärkegehalt der Knollen.

5.7 Knollenansatz

Abbildung 34 stellt den durchschnittlichen Knollenansatz der Einzelpflanzen für die jeweiligen Versuchsparzellen und Standorte dar. Variante drei besitzt im Durchschnitt den höchsten Knollenansatz, Variante vier den geringsten. Die Standortunterschiede sind nicht sehr ausgeprägt.



	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Breitstetten	9,19	16,96	21,98	7,84	11,76	15,02
Naglern	11,29	19,34	26,02	11,29	18,00	19,29
Windigsteig	12,76	13,46	25,13	9,33	11,32	17,02

Abbildung 34: Knollenansatz je Staude (Stück) an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten

Bei den erhobenen Daten bzw. deren Rangwerten war die Annahme homogener Varianzen für die Varianzanalyse nicht erfüllt. Die Varianzanalyse in Tabelle 42 zeigt signifikante Einflüsse der Behandlungsfaktoren Standort, Infektion, Sortierung und Pflanzabstand. Auch die Wechselwirkungen Standort*Sortierung, Standort*Pflanzabstand und Infektion*Pflanzabstand besitzen signifikante Einflüsse auf den Knollenansatz.

Tabelle 42: Varianzanalyse für das Merkmal Knollenansatz je Staude (Stück)

Quelle	Freiheits-grade	Typ III SS	MS	F-Statistik	Pr > F
* Infektion	1	3072,283031	3072,283031	51,87	<,0001
* Sortierung	1	3175,030584	3175,030584	53,60	<,0001
* Pflanzabstand	1	4834,293566	4834,293566	81,61	<,0001
Standort*Block	6	246,797161	41,132860	0,69	0,6542
Standort*Infektion	2	166,251053	83,125526	1,40	0,2463
Standort*Sortierung	2	967,087331	483,543666	8,16	0,0003
Standort*Pflanzabstand	2	702,978015	351,489008	5,93	0,0028
Infektion*Sortierung	1	33,759218	33,759218	0,57	0,4505
Infektion*Pflanzabstand	1	861,233195	861,233195	14,54	0,0001
Restfehler	912	54021	59,233785		
Quelle	**Freiheits-grade**	**Typ III SS**	**MQ**	**F-Statistik**	**Pr > F**
* Standort	2	1302,868595	651,434297	13,82	0,0002
Fehler	17,571	828,182068	47,133578		
Fehler: 0.6685*MS(Ort*Block) + 0.3315*MS(Fehler)					
*** Bei diesem Test wird davon ausgegangen, dass ein oder mehrere sonstige feste Effekte gleich null sind.**					

Der Scheffe-Test in Tabelle 43 zeigt, dass der Knollenansatz primär vom Pflanzabstand beeinflusst wird. Die Varianten mit weitem Pflanzabstand weisen in jeder Infektionsstufe signifikante höhere Knollenansätze auf. Innerhalb des Pflanzabstandes beeinflusst die Infektionsstufe den Knollenansatz. Die Varianten mit hoher Infektion weisen bei jedem Pflanzabstand einen signifikant geringeren Knollenansatz auf.

Vergleicht man den Knollenansatz innerhalb der Varianten mit geringer Infektion, zeigt sich dass der Knollenansatz bei einem Pflanzabstand von 0,33 m um 32% geringer ist. In den Varianten mit hoher Infektion ist dieser nur um 20% geringer.

Innerhalb eines Pflanzabstandes von 0,99 m ist der Knollenansatz in den Varianten mit hoher Infektion um 29% geringer. Bei einem Pflanzabstand von 0,33 m ist dieser nur um 16% geringer.

Tabelle 43: Scheffe-Test und Mittelwert Knollenansatz je Staude (Stück) ausgewertet nach Infektion und Pflanzabstand

Infektion	Pflanzabstand	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
5%	0,99 m	A	24,3	155
50%	0,99 m	B	17,3	178
5%	0,33 m	B	16,6	129
50%	0,33 m	C	13,9	180

Kleinste signifikante Differenz 2,7

Der Scheffe-Test in Tabelle 44 zeigt, dass der Knollenansatz wiederum primär vom Pflanzabstand beeinflusst wird. Die Varianten mit weitem Pflanzabstand weisen auf jedem Standort einen höheren Knollenansatz auf. In Windigsteig und Breitstetten sind diese Unterschiede signifikant.

Innerhalb des jeweiligen Pflanzabstandes beeinflusst der Standort den Knollenansatz. Signifikante Standortunterschiede sind aber nur bei einem Pflanzabstand von 0,33 m gegeben, wo Naglern den signifikant höchsten Knollenansatz aufweist.

Tabelle 44: Scheffe-Test und Mittelwert Knollenansatz je Staude (Stück) ausgewertet nach Standort und Pflanzabstand

Standort	Pflanzabstand	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Naglern	0,99 m	A	22,3	121
Windigsteig	0,99 m	A	20,3	111
Breitstetten	0,99 m	A	18,8	101
Naglern	0,33 m	A	18,6	121
Breitstetten	0,33 m	B	13,3	78
Windigsteig	0,33 m	B	12,3	110

Kleinste signifikante Differenz 3,9

Betrachtet man die Wechselwirkung Standort*Sortierung in Tabelle 45, zeigt sich das der Knollenansatz primär von der Sortierung beeinflusst wird. Die Varianten mit großsortiertem Pflanzgut weisen auf jedem Standort einen höheren Knollenansatz auf. In Naglern und Breitstetten sind diese Unterschiede signifikant.

Innerhalb der Sortierung beeinflusst der Standort den Knollenansatz. Signifikante Standortunterschiede sind aber nur bei der Pflanzgutsortierung 50-55 mm gegeben, wo Naglern den signifikant höchsten Knollenansatz aufweist.

Tabelle 45: Scheffe-Test und Mittelwert Knollenansatz je Staude (Stück) ausgewertet nach Standort und Sortierung

Standort	Sortierung	Scheffe Gruppierung	Mittelwert	N
Naglern	50-55 mm	A	18,6	121
Breitstetten	50-55 mm	B	13,3	78
Windigsteig	50-55 mm	B	12,3	110
Naglern	30-35 mm	B C	11,3	110
Windigsteig	30-35 mm	B C	10,9	96
Breitstetten	30-35 mm	C	8,5	87

Kleinste signifikante Differenz 3,1

5.8 Korrelationen

Für die nachfolgenden Korrelationsanalysen werden nur die Versuchsvarianten drei und sechs einbezogen, da hier die Ernte der Einzelstauden am einfachsten zu bewerkstelligen war. Überdies ist eine Vermischung mit den anderen Varianten nicht möglich, da diese aufgrund des engeren Pflanzabstandes bzw. der kleineren Pflanzgutsortierung geringere Einzelstaudengewichte und Knollenansätze aufweisen. Dies würde die Korrelationen verfälschen.

5.8.1 Befallsschwere und Knollenansatz

In Abbildung 35 sind anhand von Streudiagrammen Korrelationen zwischen dem Gesamtknollenansatz und der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit ersichtlich. Der erste Boniturtermin ist nicht dargestellt, da im Bestand kaum Symptome festzustellen waren.

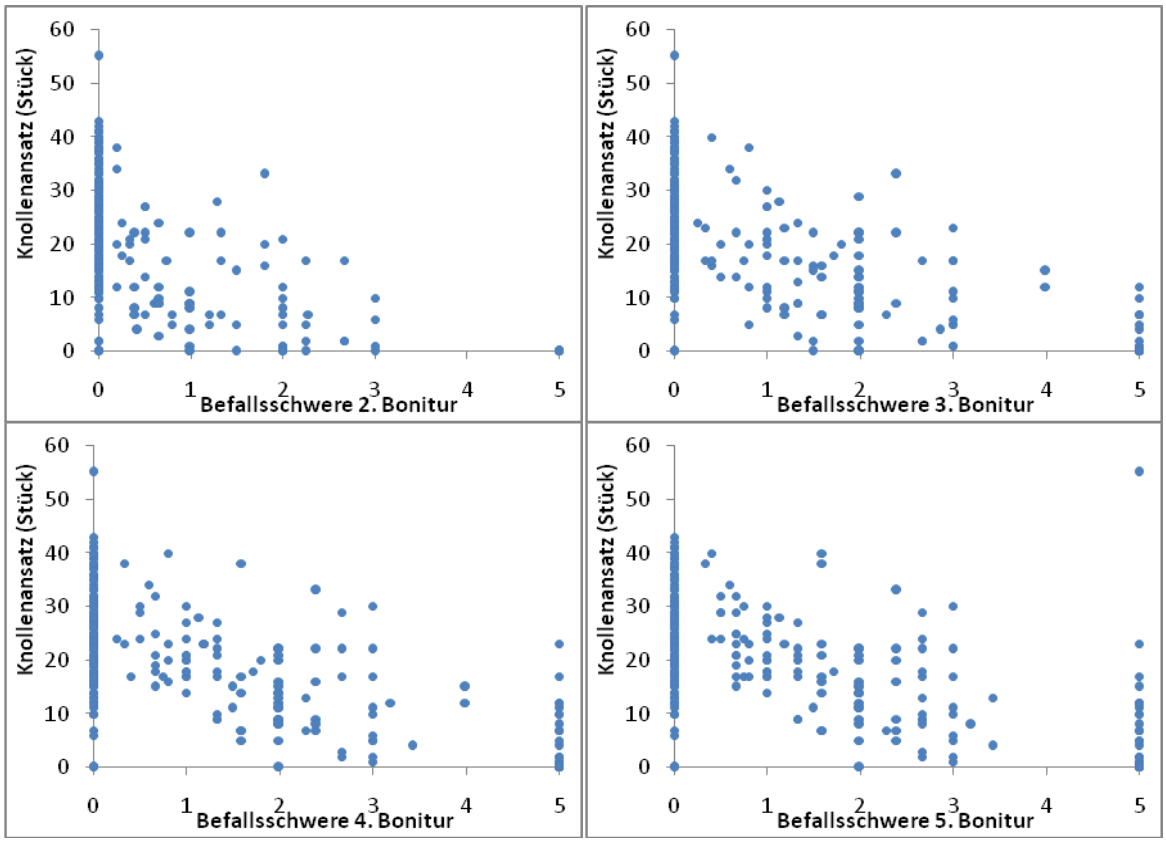


Abbildung 35: Streudiagramme zu den Korrelationen des Gesamtknollenansatzes (Stück) und der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit anhand von vier Boniturterminen

Tabelle 46 stellt die Korrelationskoeffizienten zwischen der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit und dem Knollenansatz (Stück) dar. Die Korrelationen belegen durchgängig einen negativen Zusammenhang zwischen Befallsschwere und Knollenansatz. Bei der ersten Bonitur sind in den einzelnen Sortierungen allerdings noch keine signifikanten Zusammenhänge nachweisbar. Betrachtet man die Sortierung „<35 mm“ weist diese bei keinem der fünf Boniturtermine signifikante Korrelationen auf.

Mit Ausnahme der Fraktion „<35 mm“ werden die Korrelationen bis zum vierten Boniturtermin stärker, danach kehrt sich dieser Trend um. In der Fraktion „35-55 mm“ sind die Korrelationen und somit das Bestimmtheitsmaß (R^2) sehr gering. Der erklärte Anteil an der Variabilität liegt nur zwischen 0,8 und 25%.

Betrachtet man den Gesamtknollenansatz bzw. die Knollenanzahl der Fraktion „>55 mm“, sind höhere Korrelationskoeffizienten zu beobachten. Der erklärte Anteil an der Variabilität liegt hier bei den letzten drei Boniturterminen zwischen 39 und 49%.

Tabelle 46: Korrelationen des Gesamtknollenansatzes (Stück) bzw. getrennt nach den Sortierungen (<35mm, 35-55mm, >55mm) und der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit

Pearson Korrelationskoeffizienten, N = 333 Prob > |r| under H0: Rho=0				
	Knollenansatz (Stk)	**<35 mm (Stk)**	**35-55 mm (Stk)**	**>55 mm (Stk)**
Befallsschwere 1. Bonitur	-0,110 0,0442	-0,061 0,2686	-0,088 0,1099	-0,081 0,1429
Befallsschwere 2. Bonitur	-0,540 <,0001	-0,105 0,0548	-0,441 <,0001	-0,508 <,0001
Befallsschwere 3. Bonitur	-0,626 <,0001	-0,050 0,3681	-0,486 <,0001	-0,658 <,0001
Befallsschwere 4. Bonitur	-0,652 <,0001	-0,034 0,5386	-0,500 <,0001	-0,702 <,0001
Befallsschwere 5. Bonitur	-0,612 <,0001	-0,012 0,8313	-0,444 <,0001	-0,692 <,0001

Mit zunehmendem Befall nimmt der Gesamtknollenansatz ab. Die Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit wirkt sich besonders auf die Fraktion „>55 mm“ aus. Das heißt, bei schwerem Befall ist der Gesamtknollenansatz geringer und die angelegten Knollen bleiben kleiner.

5.8.2 Befallsschwere und Einzelpflanzenertrag

In Abbildung 36 sind anhand von Streudiagrammen, Korrelationen zwischen dem Einzelpflanzenertrag und der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit ersichtlich. Der erste Boniturtermin ist nicht dargestellt, da im Bestand kaum Symptome festzustellen waren.

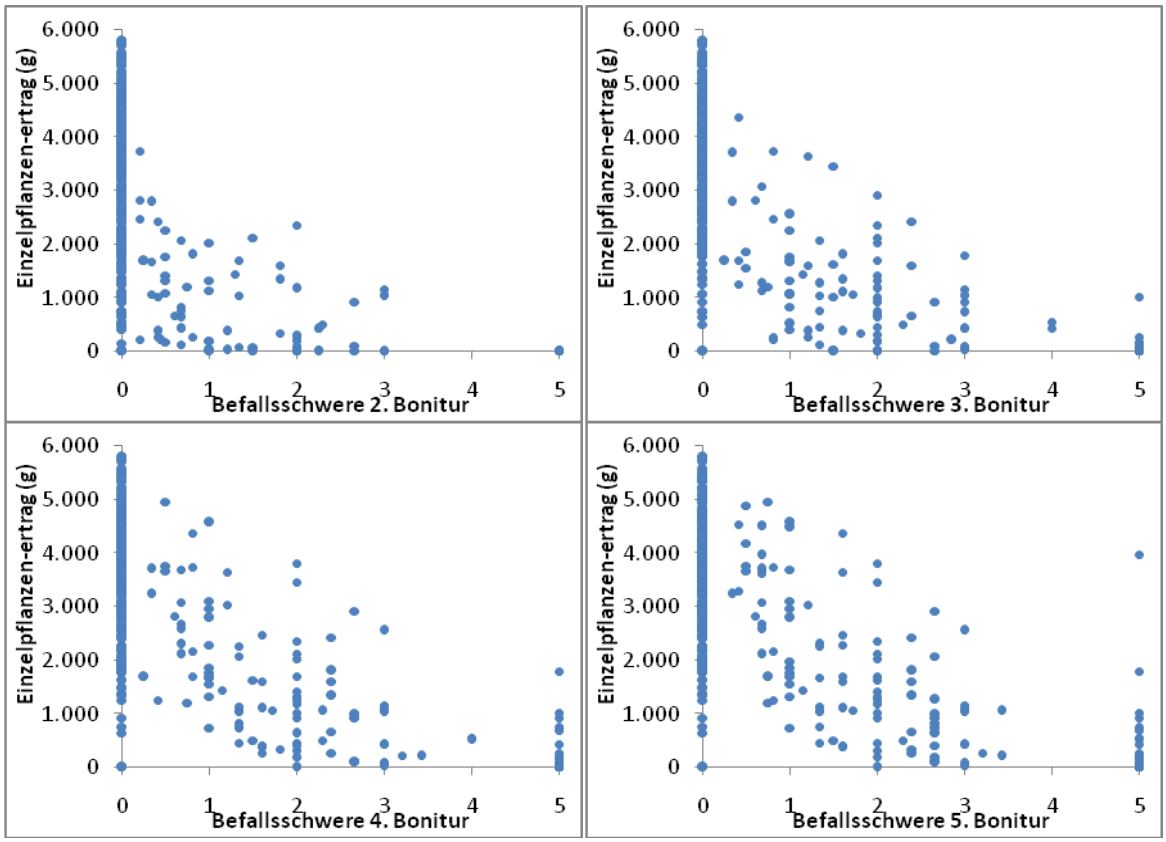


Abbildung 36: Streudiagramme zu den Korrelationen des Einzelpflanzenertrages (g) und der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit anhand von vier Boniturterminen

Tabelle 47 stellt die Korrelationskoeffizienten zwischen der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit und dem Einzelpflanzenertrag (g) dar. Die Korrelationen belegen durchgängig einen negativen Zusammenhang zwischen Befallsschwere und Staudenertrag. Bei der ersten Bonitur sind allerdings noch keine signifikanten Zusammenhänge nachweisbar. Betrachtet man die Sortierung „<35 mm“ weist diese bei keinem der fünf Boniturtermine signifikante Korrelationen auf.

Beim Einzelpflanzenertrag bzw. der Fraktion „35-55 mm“ werden die Korrelationen bis zum vierten Boniturtermin stärker, danach kehrt sich dieser Trend um. Die Fraktion „>55 mm“ weist bis zum fünften Boniturtermin stärker werdende Korrelationen auf.

In der Fraktion „35-55 mm“ sind die Korrelationen und somit das Bestimmtheitsmaß sehr gering. Der erklärte Anteil an der Variabilität liegt nur zwischen 0,6 und 21%. Betrachtet man den Einzelpflanzenertrag bzw. den Ertrag der Fraktion „>55 mm“, sind höhere Korrelationskoeffizienten zu beobachten. Der erklärte Anteil an der Variabilität liegt hier bei den letzten drei Boniturterminen zwischen 41 und 52%.

Tabelle 47: Korrelationen des Einzelpflanzenertrages (g) bzw. getrennt nach den Sortierungen (<35mm, 35-55mm, >55mm) und der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit

Pearson Korrelationskoeffizienten, N = 333 Prob > |r| under H0: Rho=0				
	Einzelpflanzen-Ertrag (g)	**<35 mm (g)**	**35-55 mm (g)**	**>55 mm (g)**
Befallsschwere 1. Bonitur	-0,089 0,1059	-0,062 0,2618	-0,079 0,1527	-0,076 0,1673
Befallsschwere 2. Bonitur	-0,542 <,0001	-0,146 0,0077	-0,425 <,0001	-0,486 <,0001
Befallsschwere 3. Bonitur	-0,684 <,0001	-0,105 0,0564	-0,453 <,0001	-0,637 <,0001
Befallsschwere 4. Bonitur	-0,724 <,0001	-0,085 0,1238	-0,454 <,0001	-0,681 <,0001
Befallsschwere 5. Bonitur	-0,717 <,0001	-0,061 0,2683	-0,411 <,0001	-0,685 <,0001

Aus den Korrelationen lässt sich ableiten, dass sich die Befallsschwere ertragsmäßig hauptsächlich auf die Fraktion „>55 mm“ auswirkt. Der Ertrag der großfallenden Fraktion, der primär durch die Knollenanzahl der Fraktion „>55 mm“ bestimmt wird, wirkt sich wiederum hauptsächlich auf den Einzelpflanzenertrag aus. Die entsprechenden Streudiagramme und Korrelationskoeffizienten sind in Abbildung 37 bzw. Tabelle 48 ersichtlich.

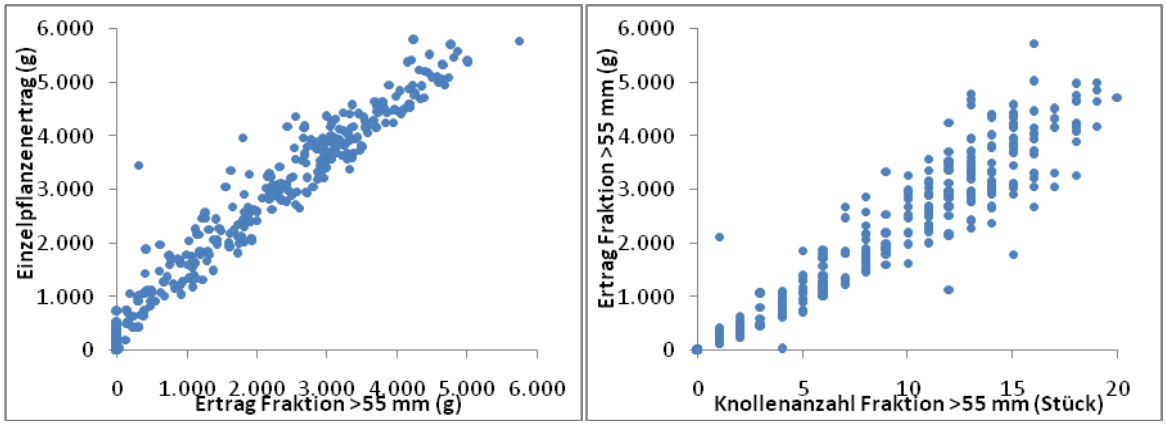


Abbildung 37: Streudiagramm zu den Korrelationen des Einzelpflanzenertrags und des Ertrags der Fraktion >55 mm (links) bzw. des Ertrags der Fraktion >55 mm und der Knollenanzahl der Fraktion >55 mm (rechts)

Tabelle 48: Korrelationen des Einzelpflanzenertrags und des Ertrags der Fraktion >55 mm bzw. des Ertrags der Fraktion >55 mm und der Knollenanzahl der Fraktion >55 mm

Pearsonsche Korrelationskoeffizienten, N = 333 Prob > |r| under H0: Rho=0		
	Einzelpflanzen-Ertrag (g)	**Ertrag Fraktion >55 mm**
Ertrag Fraktion >55 mm	0,973 <,0001	1 <,0001
Knollenanzahl Fraktion >55 mm	0,949 <,0001	0,952 <,0001

6 Diskussion

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden auf drei Standorten in Niederösterreich Pflanzkartoffeln unterschiedlicher Ausgangsbelastung mit bakteriellen Krankheitskeimen der Gattung Erwinia (syn. Pectobacterium) und zwei Sortierung in zwei Legeabständen ausgepflanzt. Im Laufe der Vegetation wurden mehrere Bonituren bezüglich Auflauf, Bodendeckung, Sprossachsenausbildung und Befallsschwere im Bestand durchgeführt. Zusätzlich wurden der Knollenansatz, der Frischmasseertrag sowie der Stärkegehalt bestimmt. Das erhobene Datenmaterial lieferte eine reproduzierbare Basis für die Beantwortung der Fragestellungen.

6.1 Auflauf und Jugendentwicklung

BAIN und PÉROMBELON (1990), LUMB (1985) und PÉROMBELON et al. (1989) zeigten, dass die Anzahl schwarzbeiniger Pflanzen bzw. in abgeschwächter Form die Auflaufquote primär von der Ausgangsbelastung des Pflanzgutes beeinflusst wird. ALECK und HARRISON (1978) meinen, dass die Auflaufquote erst bei einer sehr hohen Bakterienkontamination negativ beeinflusst wird, indem die Mutterknollen vor dem Auflaufen verfaulen. BDLIYA (1995) konnte zwischen zwei Inokulumdichten ($2{,}3*10^5$ bzw. $2{,}3*10^9$ Zellen Pa/ml) keine Unterschiede im Auflaufverhalten feststellen. Bei den eigenen Bonituren konnten zwischen den Infektionsstufen keine signifikanten Unterschiede im Auflaufverhalten festgestellt werden. Insgesamt waren die Auflaufquoten mit 97 bis 98% sehr hoch, wobei der Anteil der Fehlstellen in den Varianten mit hoher Infektion nur ein Prozent über den Varianten mit geringer Infektion lag. ELPHINSTONE (1987) meint auch, dass infizierte Pflanzknollen mit kleiner Sortierung geringere Auflaufquoten aufweisen, als dies bei Pflanzknollen mit großer Sortierung der Fall ist. Die Auflaufquoten waren bei den Varianten mit der Sortierung 50-55 mm zwar geringfügig höher, die Unterschiede wiesen aber keine Signifikanz auf.

Im Zuge der Auflaufbonitur wurde auch die Homogenität der einzelnen Versuchsvarianten mit den Noten eins bis neun bewertet, wobei eins eine inhomogene Bestandesentwicklung darstellt. Nach KÖHLER und KLINKOWSKI (1954) sind schwarzbeinige Kartoffeln beim Auflaufen meist schwach entwickelt und der Habitus erscheint zwerghaft und gedrungen. Sind mehrere Pflanzen mit Schwarzbeinigkeit erkrankt, weist der Bestand ein inhomogenes Erscheinungsbild auf. Bei der Bonitur konnten aber keine signifikanten Unterschiede zwischen den Infektionsstufen festgestellt werden, da kaum symptombehaftete Pflanzen

vorhanden waren. Die Boniturnoten bei den Varianten mit hoher Infektion lagen allerdings geringfügig unter jenen mit geringer Infektion.

Zudem wurde bis zum Schließen des Bestandes zweimal die Bodendeckung der einzelnen Versuchsvarianten ermittelt. Die Varianten mit geringer Infektion wiesen immer eine höhere Bodendeckung auf. Signifikante Unterschiede konnten nur beim ersten Aufnahmetermin in Breitstetten festgestellt werden. Die Differenz zwischen den Infektionsstufen betrug hier 5,3%-Punkte der Bodenbedeckung.

Wie schon von CARLS (1978), KRIJTHE (1955) und MOORBY (1967) beschrieben, wird die Anzahl ausgebildeter Sprossachsen unter anderem durch den Standraum und die Größe der gepflanzten Knollen festgelegt. Die Ergebnisse in Kapitel 5.1.5 stimmen mit den Schlussfolgerungen der Autoren überein. Nach SIMON (1982) gehen schwarzbeinige Triebe stets aus Faulstellen der Mutterknolle hervor. Durch eine frühzeitige, partielle Mazeration der Mutterknolle könnte die Anzahl gebildeter Sprossachsen negativ beeinflusst werden. Die Auswertungen zeigten, dass innerhalb der jeweiligen Sortierung die Varianten mit geringer Infektion mehr Sprossachsen/Mutterknolle ausbildeten. Signifikante Unterschiede bestanden aber nur innerhalb der Sortierung 50-55 mm. Hier bildeten die Varianten mit geringer Infektion um 0,64 Sprossachsen/Mutterknolle mehr aus. Innerhalb der Sortierung 30-35 mm betrug der Unterschied nur 0,28 Sprossachsen/Mutterknolle.

6.2 Befallsentwicklung

Um herauszufinden ob der Standort, die Pflanzgutsortierung bzw. die Pflanzdichte einen Einfluss auf die Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit besitzt, erfolgte eine modifizierte Symptombonitur nach HÉLIAS et al. (2000), wobei auch die Anzahl der befallenen Sprossachsen Berücksichtigung fand. Bis zum Absterben des Bestandes wurden fünf Bonituren durchgeführt, wobei die erste Bonitur mangels Symptome statistisch nicht ausgewertet wurde. Aus den Abbildung 26-29 geht hervor, dass die Befallsschwere im Laufe der Vegetation zunahm. Die Autoren HÉLIAS et al. (2000) und LAURILA et al. (2010) machten bei ihren Untersuchen die gleichen Beobachtungen. Die häufigste Symptomfolge war: Welke/Chlorose/Schwarzbeinigkeit, Austrocknung einzelner Sprossachsen, Tod der Pflanze. Die häufigsten Symptome waren das Austrocknen einzelner Sprossachsen und der Tod der Pflanze (HÉLIAS et al., 2000).

Die faulenden Mutterknollen sind nicht nur Ausgangspunkt für die Infektion der „eigenen“ Tochterknollen, sondern auch für die Mutter- bzw. Tochterknollen benachbarter Pflanzen.

Ein Transport der Bakterien ist jedoch nur bei einem Überschuss von Bodenwasser möglich (LANGERFELD and SIMON, 1981, SIMON, 1982). Durch die nassen und anaeroben Verhältnisse werden die Lentizellen der Knollen zur Öffnung veranlasst, wodurch die Bakterien eindringen und eine Schädigung der Pflanze bewirken können (PÉROMBELON and LOWE, 1975). Ob die Ausbreitung der Erreger durch eine geringere Pflanzdichte reduzierbar ist, wurde jedoch noch nicht explizit untersucht. Die Auswertungen der fünf Boniturtermine zeigten, dass die Varianten mit einem Pflanzabstand von 0,99 m eine geringere Befallsschwere aufweisen. Betrachtet man die Boniturtermine zwei bis fünf im Durchschnitt, war die Befallsschwere bei einem Pflanzabstand von 0,99 m um 18% geringer als bei einem Pflanzabstand von 0,33 m (Basis=100%). Signifikante Unterschiede konnten aber nur beim fünften Boniturtermin festgestellt werden.

SIMON (1982) stellte fest, dass neben dem latenten Pflanzgutausgangsbesatz auch der Standort einen hohen Einfluss auf das Ausbrechen der Krankheit besitzt. Nach RADTKE et al. (2000) und VAN DEN BOOM (1967) tritt Schwarzbeinigkeit auf Sandböden häufiger auf als auf Lehmböden, da mit steigendem Tongehalt der Befall durch Schwarzbeinigkeit abnimmt. Im Zuge der zweiten Bonitur konnten noch keine signifikanten Standortunterschiede festgestellt werden. Es zeigte sich aber, dass die Befallsschwere in Breitstetten (lehmiger Schluff) am geringsten und in Windigsteig (lehmiger Sand) am höchsten war. Bei der dritten und vierten Bonitur wurde in Naglern (schluffiger Lehm) im Gegensatz zu den anderen Standorten eine höhere Befallsschwere nachgewiesen. Im Vergleich zu Naglern (100%) war die Befallsschwere in Breitstetten und Windigsteig durchschnittlich um 41% geringer. Die Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Aussagen von RADTKE et al. (2000) und VAN DEN BOOM (1967), da die Befallsschwere in Naglern mit der Bodenart schluffiger Lehm am höchsten und in Windigsteig mit der Bodenart lehmiger Sand ab der vierten Bonitur am geringsten war. Dieser Umstand ist eventuell mit den ungewöhnlich hohen Niederschlagsmengen und Temperaturen im Versuchsjahr zu erklären. Nach VAN DEN BOOM (1967) begünstigt erhöhte Feuchtigkeit und Temperatur oder deren starker Wechsel die Entstehung von Schwarzbeinigkeit. Aufgrund der mäßigen Wasserdurchlässigkeit wies der Boden in Naglern in der ganzen Vegetationsperiode eine hohe Bodenfeuchtigkeit auf, was das Auftreten von Schwarzbeinigkeit begünstigte. Die anderen Standorte konnten wahrscheinlich aufgrund der höheren Wasserdurchlässigkeit besser abtrocknen. Bei der fünften Bonitur zeigte die Varianzanalyse (Tabelle 29) einen signifikanten Einfluss der

Wechselwirkung Standort*Infektion. Auch hier war die Befallsschwere in beiden Infektionsstufen in Naglern am höchsten. Signifikante Unterschiede konnten aber nur in den Varianten mit hoher Infektion festgestellt werden. Die Standorte Windigsteig (geringste Befallsschwere) und Breitstetten zeigten in keiner Infektionsstufe signifikante Unterschiede bei der Befallsschwere auf.

Die Autoren BAIN (1990), ELPHINSTONE und PÉROMBELON (1958), HÉLIAS (2000) und LAURILA et al. (2010), LUMB et al. (1985), PÉROMBELON (1992), PÉROMBELON (2002), PÉROMBELON et al. (1989), PÉROMBELON und KELMAN (1980) und PÉROMBELON, LOWE (1975) und SIMON (1982) zeigten, dass die Bakterienkonzentration im Pflanzgut einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung von Schwarzbeinigkeit hat. Die Symptombonituren bestätigten dies. Bei den Bonituren zwei bis vier konnten zwischen den Infektionsstufen signifikante Unterschiede festgestellt werden. Im Durchschnitt war die Befallsschwere in den Varianten mit geringer Infektion um 82-88% geringer als in den Varianten mit hoher Infektion (=100%). Wie bereits angeführt, war bei der fünften Bonitur die Wechselwirkung Standort*Infektion signifikant, wobei die Befallsschwere primär von der Infektionsstufe beeinflusst wurde. Die Infektionsstufen wiesen auf jedem Standort signifikante Unterschiede auf. In Naglern waren die Unterschiede zwischen den Infektionsstufen am größten, in Windigsteig am geringsten. Die Autoren SCHEID (2008) und SIMON (1982) meinen, dass Pflanzkartoffel die aus Beständen mit hoher Ausgangsbelastung stammen, auch im Folgejahr eine größer Befallsschwere im Bestand aufweisen können, da ein höherer latenter Ausgangsbesatz in den Mutterknollen gegeben ist. Auch bei der Sortierung konnten in der Befallsschwere Unterschiede festgestellt werden. Die Varianten mit der Sortierung 30-35 mm wiesen in jeder Bonitur eine geringere Befallsschwere auf als die Varianten mit der Sortierung 50-55 mm, wobei sich die Differenz im Laufe der Vegetation vergrößerte. Signifikante Unterschiede konnten aber erst ab der dritten Bonitur festgestellt werden. Im Durchschnitt war die Befallsschwere bei der kleinen Sortierung um 27% geringer als bei der großen Sortierung. Die Ergebnisse bestätigen die Aussage von ELPHINSTONE (1987), dass Schwarzbeinigkeit bei Pflanzen, die von großen Knollen stammen, häufiger auftritt als bei Pflanzen, die von kleinen Knollen stammen. Nach STRUIK (1999) befinden sich die größten Knollen meist an den Stolonen erster Ordnung, nicht weit von der Pflanzknolle entfernt. WEBER (1986) stellte fest, dass die Bakteriendichte bei Knollen im Nahbereich der Mutterknolle höher ist als bei Knollen, die in der Dammperipherie liegen.

6.3 Ertragsbildung und Verluste

Nach VAN LOON (1999) nimmt die Zahl der Haupttriebe pro Pflanze bzw. die Zahl der Knollen pro Trieb mit ansteigender Pflanzdichte ab. SCHUMANN (1997) meint, dass mit zunehmender Pflanzknollenmasse die Zahl der Tochterknollen pro Pflanze ansteigt. Die statistischen Auswertungen in Kapitel 5.7 bestätigen die Aussagen der beiden Autoren. Der Knollenansatz wurde primär von der Sortierung und dem Pflanzabstand beeinflusst, wobei die Unterschiede in den Wechselwirkungen Infektion*Pflanzabstand, Standort*Pflanzabstand und Standort*Sortierung nicht immer signifikant waren. Die Wechselwirkung Infektion*Pflanzabstand zeigte, dass der Knollenansatz primär von den beiden Hauptwirkungen abhängig ist. Die Wechselwirkungen selbst waren relativ schwach ausgeprägt. Ein weiter Pflanzabstand bzw. eine geringe Infektion wirkte sich positiv auf den Knollenansatz aus. Auch bei HÉLIAS et al. (2000) hatte eine gesteigerte Inokulumkonzentration einen signifikant negativen Einfluss auf den Knollenansatz der Pflanze.

Der Hektarertrag war bei den Varianten mit einem Pflanzabstand von 0,99 m um 42% geringer als bei den Varianten mit 0,33 m Pflanzabstand (=100%), da nach DIEPENBROCK et al. (1999) und SCHUHMANN (1997) ein starkes Unterschreiten der optimalen Zahl an Pflanzstellen im Ertrag nicht mehr kompensiert werden kann. Die Wechselwirkung Infektion*Sortierung zeigte ebenfalls einen Einfluss auf den Ertrag. Der Hektarertrag wurde dabei primär von den beiden Hauptwirkungen Infektion und Sortierung beeinflusst. Die Wechselwirkungen zwischen den Faktoren waren relativ schwach ausgeprägt. Signifikante Unterschiede zwischen den Infektionsstufen konnten in beiden Sortierungen festgestellt werden. Die Erträge der Varianten mit hoher Infektion lagen um 26% unter jenen mit geringer Infektion (=100%). LAURILA et al. (2010) und WEGENER (2010) meinen, dass die Ertragseinbußen infolge Schwarzbeinigkeit bis zu 50% betragen können. Nach BAIN et al. (1990) verursacht jedes zusätzliche Prozent schwarzbeiniger Pflanzen eine Ertragseinbuße von 0,8%. HÉLIAS et al. (2000) stellten fest, dass auch ein hoher latenter Befall der Mutterknolle, ohne dass Krankheitssymptome an der Pflanze erscheinen, einen negativen Einfluss auf den Ertrag haben kann. Die Sortierung beeinflusste den Ertrag ebenfalls. Die Varianten mit der Sortierung 30-35 mm wiesen in jeder Infektionsstufe signifikant geringere Erträge auf als die Varianten mit der Sortierung 50-55 mm. Der Einfluss der Sortierung auf den Ertrag wird durch SCHUHMANN (1997) bestätigt.

Nach GEISLER (1983) verlaufen die Frischmassezunahme und Stärkeeinlagerung von Beginn der Knollenbildung an etwa parallel, wobei es zu höheren Stärkekonzentrationen erst kommt, wenn die Volumenvergrößerung der Knolle abgeschlossen ist. Somit könnte sich ein Befall mit Schwarzbeinigkeit auch negativ auf den Stärkegehalt auswirken. In der Literatur konnte dazu kein Hinweis gefunden werden. In der vorliegenden Arbeit konnte ein Einfluss der Wechselwirkung Standort*Infektion auf den Stärkegehalt festgestellt werden, wobei signifikante Unterschiede nur zwischen den Infektionsstufen in Naglern vorlagen. Hohe Infektionsgrade wirkten sich negativ auf den Stärkegehalt aus. Generell waren die Stärkegehalte mit 8-10% sehr gering. Auch konnten die Ergebnisse von REUST und WINIGER (1983) bestätigt werden, dass eine hohe Bestandesdichte einen höheren Stärkegehalt in den Knollen bewirkt. Der Stärkegehalt war in den 0,33 m Varianten mit 9,1% signifikant höher als in den 0,99 m Varianten mit 8,5%.

Die Infektionsstufen beeinflussten neben Hektarertrag und Stärkegehalt auch den Stärkeertrag. Der Stärkeertrag war in den Varianten mit hoher Infektion um 30% geringer als in den Varianten mit geringer Infektion (100% = 395 dt/ha). Da die Unterschiede im Stärkegehalt sehr gering sind, wurde der Stärkeertrag offenbar hauptsächlich durch den Frischmasseertrag beeinflusst.

Die Ende Dezember erhobenen Lagerverluste weisen zwischen allen Standorten signifikante Unterschiede auf. Nach RADTKE et al. (2000) treten hohe Lagerverluste bedingt durch Nassfäule vor allem auf schweren Böden auf. SCHAERER und DUPUIS (2010) meinen, je wärmere und feuchtere Bedingungen herrschen und je schlechter der Boden durchlüftet ist, desto rascher vermehren sich die Bakterien und die Fäulnis nimmt zu. Die höchsten Lagerverluste wurden in Breitstetten (11,5%) festgestellt, gefolgt von Windigsteig (8,6%) und Naglern (6,7%). Somit stehen die Ergebnisse im Widerspruch zu den Aussagen von RADTKE et al. (2000), da die Lagerverluste in Naglern (schluffiger Lehm) am geringsten waren. Die hohen Lagerverluste in Breitstetten lassen sich durch feuchte Erntebedingungen erklären (SCHEID, 2008). Das Feld in Breitstetten musste aus Termingründen unter sehr feuchten Bedingungen geerntet werden. Die Feuchtigkeit auf den Knollen hemmte die Wundheilung im Lager und förderte die Ausbreitung der Erreger (STACHEWICZ, 2008). Zusätzlich könnten auch die hohen Stickstoffgaben die Lagerfähigkeit beeinträchtigt haben. Insgesamt wurden 170 kg N/ha gedüngt, wobei 47 kg erst Ende Mai ausgebracht wurden. Nach LANGERFELD (1991) verzögern hohe und späte Stickstoffgaben die Abreife, wodurch die Schalenfestigkeit

und somit auch die Lagerfähigkeit reduziert wird. Die geringen Lagerverluste in Naglern könnten mit der versehentlich durchgeführten Sikkation in Zusammenhang stehen. Nach ELPHINSTONE (1987), LANGERFELD (1991) und LANGERFELD und SIMON (1981) wirkt sich die chemische Krautabtötung positiv auf die Schalenverfestigung und somit auf die Lagerfähigkeit der Kartoffeln aus.

6.4 Beziehungen zwischen Befall und Ertrag

Nach BAIN et al. (1990), HÉLIAS et al. (2000) und LAURILA et al. (2010) sind die Ertragsverluste von der Symptomart und deren zeitlichem Auftreten abhängig. Um die Beobachtungen der Autoren zu überprüfen, wurden für jeden Boniturtermin die Korrelationen zwischen Befallsschwere und Knollenansatz bzw. Befallsschwere und Einzelpflanzenertrag ermittelt. Die Korrelationen belegen durchgängig einen negativen Zusammenhang zwischen Befallsschwere und Knollenansatz bzw. Befallsschwere und Einzelpflanzenertrag. Die Stärke der Korrelationen variierte je nach Boniturtermin und Knollenfraktion. Die Korrelationen wurden bis zur vierten Bonitur stärker. HÉLIAS et al. (2000) machten ähnliche Beobachtungen. Die stärksten Korrelationen konnten bei der Einzelpflanze und der Sortierung >55 mm festgestellt werden. Zwischen drittem und fünftem Boniturtermin lag der erklärte Anteil an der Variabilität (R^2) beim Knollenansatz zwischen 39 und 49% und beim Einzelpflanzenertrag zwischen 41 und 52%. Bei der Sortierung <35 mm waren Korrelationen großteils nicht nachweisbar. HÉLIAS et al. (2000) meinen, dass zum Zeitpunkt der Knollenanlage die Ernteverluste am besten vorhersagbar sind. ADAMS und LAPWOOD (1983) kamen zu der Feststellung, dass unter Umständen ein späteres Auftreten der Symptome zu größeren Ertragsverlusten führt, da der Pflanze weniger Zeit zur Kompensation zur Verfügung steht. Bei der Knollenanlage lagen zwar bereits starke Korrelationen vor, aber am stärksten waren diese um das BBCH-Stadium 45. Nach HÉLIAS et al. (2000) entstehen die Ertragsverluste bei schweren Befall vor allem durch einen verminderten Knollenansatz. Die Korrelationen zwischen Befallsschwere und Knollenansatz waren bei der Einzelpflanze sehr stark, bezüglich der Sortierung >55 mm waren sie jedoch geringfügig stärker. Bei schwerem Krankheitsbefall ist der Knollenansatz der Einzelpflanze geringer, zusätzlich bleiben aber die angelegten Knollen kleiner. Die Befallsschwere wirkt sich ertragsmäßig hauptsächlich auf die Sortierung >55 mm aus, welche wiederum in sehr enger Beziehung mit dem Einzelpflanzenertrag steht (R^2=0,94).

Die Ergebnisse zeigten, dass der Einsatz von gesundem und kleinsortiertem Pflanzgut den Befall mit Schwarzbeinigkeit reduzieren kann. Die Reduktion der Pflanzdichte wirkte sich nur gegen Ende der Vegetation positiv auf die Befallsschwere aus. Die Höhe des Befalls wurde auch stark von den natürlichen Standortfaktoren und in gewisser Weise vom Produktionsverfahren beeinflusst. Weiter zeigten die Untersuchungen, dass sich eine hohe Ausgangsbelastung negativ auf Bodendeckung (kurz nach dem Auflaufen), Knollenansatz, Frischmasseertrag- und Stärkeertrag auswirken kann. Bei den Korrelationsanalysen zeigte sich zwischen Befallsschwere und Knollenansatz bzw. Befallsschwere und Einzelpflanzenertrag durchgängig ein negativer Zusammenhang. Mit zunehmender Befallsschwere reduzierte sich der Knollenansatz und die ausgebildeten Knollen blieben kleiner, wodurch sich der Einzelpflanzenertrag verringerte.

7 Zusammenfassung

Der Krankheitskomplex Schwarzbeinigkeit und Knollennassfäule, verursacht durch Keime der Gattung *Erwinia* (syn.: *Pectobacterium*), stellt die wichtigste bakterielle Erkrankung im Kartoffelbau dar.

In einem einjährigen Feldversuch wurden auf drei Standorten in Niederösterreich (Breitstetten, Naglern und Windigsteig) Pflanzkartoffeln unterschiedlicher Vorbelastung (5% und 50% Befall) und Sortierung (30-35 mm und 50-55 mm) in zwei deutlich differenzierten Legeabständen (0,33 m und 0,99 m) ausgepflanzt. Es sollte ermittelt werden, welchen Einfluss diese Faktoren auf Auflauf, Bodendeckung, Sprossachsenausbildung, Befallsschwere (fünf Bonituren während der Vegetationsperiode), Knollenansatz, Frischmasseertrag sowie Stärkegehalt, Stärkeertrag und Lagerverlust besitzen. Zudem wurde untersucht, ob Korrelationen zwischen der Befallsschwere und dem Knollenansatz bzw. dem Einzelpflanzenertrag vorliegen.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

- Die Vorbelastung des Pflanzgutes besaß keinen signifikanten Einfluss auf die Auflaufquoten und die Bestandeshomogenität. Signifikante Unterschiede in der Bodendeckung konnten nur in Breitstetten kurz nach dem Auflaufen festgestellt (erster Aufnahmetermin) werden. Hier wiesen die Varianten mit hoher Ausgangsbelastung eine verringerte Bodendeckung auf. Signifikant waren die Unterschiede aber nur in Breitstetten. Einen signifikant negativen Einfluss zeigte die Ausgangsbelastung auch bei der Anzahl gebildeter Sprossachsen.
- Bei der dritten, vierten und fünften Symptombonitur zeigte sich in Naglern eine signifikant höhere Befallsschwere, wobei bei der fünften Bonitur die signifikanten Unterschiede nur in den Varianten mit hoher Ausgangsbelastung festgestellt werden konnten. Zwischen den Standorten Breitstetten und Windigsteig wurden keine Unterschiede festgestellt. Die Lagerverluste wiesen auf allen drei Standorten signifikante Unterschiede auf, wobei diese in Breitstetten am höchsten (11,5%) und in Naglern (6,7%) am geringsten waren.
- Die Befallsschwere war bei den Varianten mit hoher Ausgangsbelastung bei jeder Bonitur signifikant höher. Beim Pflanzabstand ergab nur der fünfte Boniturtermin signifikante Unterschiede. Die Befallsschwere war bei einem Pflanzabstand von 0,99 m signifikant

geringer als bei einem Pflanzabstand von 0,33 m. Signifikante Unterschiede bei der Sortierung konnten erst ab der dritten Bonitur festgestellt werden. Die Befallsschwere war bei der Sortierung 30-35 mm signifikant geringer als bei der Sortierung 50-55 mm.

- Die Varianten mit hoher Ausgangsbelastung zeigten innerhalb jedes Pflanzabstandes einen signifikant geringeren Knollenansatz. In der jeweiligen Sortierung lagen die Frischmasseerträge in den Varianten mit hoher Ausgangsbelastung signifikant unter jenen mit geringer Ausgangsbelastung. Der Stärkegehalt wies nur in Naglern signifikante Unterschiede zwischen den Ausgangsbelastungen auf. Die höhere Ausgangsbelastung hatte einen negativen Einfluss auf den Stärkegehalt. Auch der Stärkeertrag wurde durch die höhere Ausgangsbelastung nachweisbar reduziert.
- Die Korrelationen zwischen Befallsschwere und Knollenansatz bzw. Befallsschwere und Einzelpflanzenertrag belegen durchgängig einen negativen Ertragseffekt der Krankheit. Die stärksten Korrelationen wurden im BBCH-Stadium 45 bei der Einzelpflanze bzw. in der Sortierung >55 mm festgestellt. Bei schwerem Krankheitsbefall ist der Knollenansatz der Einzelpflanze geringer, zusätzlich bleiben auch die angelegten Knollen kleiner. Die Befallsschwere wirkt sich ertragsmäßig hauptsächlich auf die Sortierung >55 mm aus, welche wiederum in enger Beziehung zum Einzelpflanzenertrag steht.

Die Ergebnisse belegen, dass der Einsatz von gesundem und kleinsortiertem Pflanzgut den Befall mit Schwarzbeinigkeit reduzieren kann. Zudem wird die Höhe des Befalls stark von lokalen Gegebenheiten beeinflusst. Eine hohe Ausgangsbelastung hat negative Auswirkungen auf Bodendeckung (kurz nach dem Auflaufen), Sprossachsenausbildung, Knollenansatz, Frischmasseertrag, Stärkegehalt und Stärkeertrag. Die Befallsschwere selbst hat negative Auswirkungen auf den Einzelpflanzenertrag, da weniger Knollen angelegt werden und die angelegten Knollen kleiner bleiben.

8 Summary

Black leg and tuber soft rot caused by *Erwinia* sp. (syn.: *Pectobacterium sp.*) represents the most important bacterial disease in potato production. In a one-year field trial, seed tubers of different initial contaminations (5% and 50%) and size (30-35 mm and 50-55 mm) were planted in selected planting densities (0,33 m and 0,99 m) on three locations (Breitstetten, Naglern and Windigsteig). The aim of the study was to determine the influence of treatment factors on emergence, early development, infection severity (scoring five times), number of tubers formed, yield, starch content, starch yield and storage loss. The study also assesses whether there were any correlations between the severity of infestation and tuber yield of the individual plants.

The following results were obtained:

- The initial contamination of the planting material had no significant effect on the emergence rates and the homogeneity of the population. Significant differences in the soil cover could only be found shortly after emergence in Breitstetten (first recording date). The variants with high initial contamination displayed a significantly lower soil cover. Initial contamination also had a significant negative impact on stem number.
- At the third, fourth and fifth scoring a significant higher infection severity appeared in Naglern. But in the fifth scoring the differences were significant only in the variants with high initial contamination. Between the locations Breitstetten and Windigsteig no significant differences were found. The storage losses showed significant differences at all three locations. The losses were highest (11,5%) in Breitstetten and lowest in Naglern (6,7%)
- The severity of infection was significantly higher in the treatments with high initial contamination at each scoring. The planting density showed significant differences only during the fifth scoring. The severity of infection was with a planting distance of 0,99 m significantly lower than with a planting distance of 0,33 m. Significant differences in the tuber size could be determined only from the third to the fifth scoring. The severity of infestation was in the fraction 30-35 mm significantly lower than in the fraction 50-55 mm.
- The variants with high initial contamination formed fewer tubers within each planting

density. Independent of tuber size, yield in the variants with high initial contamination were significantly lower than those with low initial contamination. The starch content showed significant differences only in Naglern. The higher initial contamination also had a negative influence on starch content and starch yield.

- The correlations between severity of infestation and tuber number or single plant yield consistently were negative. The strongest correlations were found at the fourth scoring for the individual plant and in the size >55 mm respectively. The number of tubers of the individual plant is lower in case of severe infestation; in addition the created tubers remain smaller. The initial contamination primarily influences the yield in the fraction >55 mm, which is closely associated with the individual plant yield.

The results show that the use of healthy and small seed tubers can reduce the infection with blackleg. In addition, the level of contamination is strongly influenced by local conditions. A high initial contamination has negative effects on ground cover (shortly after emergence), stem number, tuber number, yield, starch content and starch yield. The severity of infestation has negative effects on the individual crop yield, because fewer tubers are created and the created tubers remain smaller.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kartoffelanbauflächen, Gesamtproduktion und Hektarerträge in Österreich 4
Abbildung 2: Tendenzieller Einfluss der Pflanzknollenmasse und des Legeabstandes auf ausgewählte Ertragsmerkmale 6
Abbildung 3: Verbreitungsmöglichkeiten der Bakterien bei der Kartoffel 11
Abbildung 4: Temperaturoptima der verschiedenen Bakterienarten für Nassfäule und Stängelerkrankungen 13
Abbildung 5: Wechselwirkung zwischen Bodenfeuchte und Temperatur in Bezug auf die Symptomausprägung 14
Abbildung 6: Nassfäulebefall über die Lentizellen (links) und Nassfaule Knolle (rechts) die zusätzlich durch nicht pathogene Bakterien zersetzt wird 18
Abbildung 7: Vergilbte Pflanzen während des Auflaufens im zeitigen Frühjahr (links); Welkende und vergilbende Pflanzen mit ausgeprägten Schwarzbeinigkeitssymptomen (Mitte, rechts) 21
Abbildung 8: Ackerbauliche und technische Maßnahmen zur Reduktion von Nassfäule und Schwarzbeinigkeit bei Kartoffeln 23
Abbildung 9: Lage des Versuchsstandortes Windigsteig 30
Abbildung 10: Vergleich der Niederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen für den Standort Windigsteig 31
Abbildung 11: Lage des Versuchsstandortes in Naglern 32
Abbildung 12: Vergleich der Niederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen für den Standort Naglern 33
Abbildung 13: Lage des Versuchsstandortes in Breitstetten 34
Abbildung 14: Vergleich der Niederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen für den Standort Breitstetten 35
Abbildung 15: Versuchsplan der Standorte Breitstetten, Naglern und Windigsteig 38
Abbildung 16: Auspflanzung am Standort Breitstetten, April 2010 39
Abbildung 17: Rahmen zur Abgrenzung der Fläche (links, Mitte), aufbereitetes Bild (rechts) 44
Abbildung 18: Ernte, Sortierung und Datenerfassung am Feld 46
Abbildung 19: Ermittlung des Stärkegehalts mit Waschtrommel (links) und Stärkewaage (Mitte und rechts) 47

Abbildung 20: Auflaufquoten (%) der Kartoffelpflanzen an den Standorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten 48
Abbildung 21: Homogenität des Bestandes im Zuge der Auflaufbonitur (1–9) an den Standorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten 49
Abbildung 22: Bodendeckung (%) erster Termin an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten 51
Abbildung 23: Bodendeckung (%) zweiter Termin an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten 54
Abbildung 24: Bodendeckung (%) zweiter Termin gegliedert nach Standort*Infektion 55
Abbildung 25: Ausgebildete Sprossachsen (Stück) an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten 56
Abbildung 26: Mittlere Befallsschwere (0-120) am Versuchsstandort Breitstetten zu fünf Boniturterminen 58
Abbildung 27: Mittlere Befallsschwere (0-120) am Versuchsstandort Naglern zu 5 Boniturterminen 59
Abbildung 28: Mittlere Befallsschwere (0-120) am Versuchsstandort Windigsteig zu 5 Boniturterminen 60
Abbildung 29: Anteil der einzelnen Symptome (%) im Feldbestand in Abhängigkeit vom Boniturtermin 60
Abbildung 30: Hektarerträge (t/ha) an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten 68
Abbildung 31: Lagerverluste (%) im Dezember der Versuchsstandorte Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten 70
Abbildung 32: Stärkegehalt (%) an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten 72
Abbildung 33: Stärkeerträge (dt/ha) an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten 74
Abbildung 34: Knollenansatz je Staude (Stück) an den Versuchsstandorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig, in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten 76
Abbildung 35: Streudiagramme zu den Korrelationen des Gesamtknollenansatzes (Stück) und der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit anhand von vier Boniturterminen 80

Abbildung 36: Streudiagramme zu den Korrelationen des Einzelpflanzenertrages (g) und der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit anhand von vier Boniturterminen 82
Abbildung 37: Streudiagramm zu den Korrelationen des Einzelpflanzenertrags und des Ertrags der Fraktion >55 mm (links) bzw. des Ertrags der Fraktion >55 mm und der Knollenanzahl der Fraktion >55 mm (rechts) 83

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung der alten und neuen Klassifikation 8
Tabelle 2: Versuchsvarianten der Standorte Breitstetten, Naglern und Windigsteig 37
Tabelle 3: Vorfrüchte, Bodenbearbeitung, Auspflanzung und Düngung des Feldversuchs 2010 39
Tabelle 4: Pflanzenschutzmaßnahmen, Feldversuch Breitstetten 2010..... 40
Tabelle 5: Pflanzenschutzmaßnahmen, Feldversuch Naglern 2010 41
Tabelle 6: Pflanzenschutzmaßnahmen, Feldversuch Windigsteig 2010..... 42
Tabelle 7: Boniturtermine für die Symptomerfassung an den Standorten Breitstetten, Naglern und Windigsteig..... 45
Tabelle 8: Varianzanalyse für das Merkmal Auflaufquote (%)..... 49
Tabelle 9: Varianzanalyse für das Merkmal Homogenität des Bestands (1-9) im Zuge der Auflaufbonitur 50
Tabelle 10: Varianzanalyse für das Merkmal Bodendeckung (%) erster Termin 51
Tabelle 11: Scheffe-Test und Mittelwert Bodendeckung (%) erster Termin ausgewertet nach Standort und Infektion 52
Tabelle 12: Scheffe-Test und Mittelwert Bodendeckung (%) erster Termin ausgewertet nach Standort und Sortierung..... 52
Tabelle 13: Scheffe-Test und Mittelwert Bodendeckung (%) erster Termin ausgewertet nach Standort und Pflanzabstand..... 53
Tabelle 14: Varianzanalyse für das Merkmal Bodendeckung (%) zweiter Termin..... 54
Tabelle 15: Scheffe-Test und Mittelwert Bodendeckung (%) zweiter Termin ausgewertet nach Standort und Sortierung..... 55
Tabelle 16: Scheffe-Test und Mittelwert Bodendeckung (%) zweiter Termin ausgewertet nach Standort und Pflanzabstand..... 56
Tabelle 17: Varianzanalyse für das Merkmal ausgebildete Sprossachsen je Staude (Stück) .. 57
Tabelle 18: Scheffe-Test und Mittelwert ausgebildeter Sprossachsen (Stück) ausgewertet nach Infektion und Sortierung 58
Tabelle 19: Varianzanalyse für das Merkmal Befallsschwere (0-120) zweiter Boniturtermin (Rangwerte)..... 61
Tabelle 20: Scheffe- Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere zweiter Boniturtermin

ausgewertet nach Infektion 62
Tabelle 21: Varianzanalyse für das Merkmal Befallsschwere (0-120) dritter Boniturtermin (Rangwerte) 62
Tabelle 22: Scheffe- Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere dritter Boniturtermin ausgewertet nach Standort 63
Tabelle 23: Scheffe-Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere dritter Boniturtermin ausgewertet nach Infektion 63
Tabelle 24: Scheffe-Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere dritter Boniturtermin ausgewertet nach Sortierung 63
Tabelle 25: Varianzanalyse für das Merkmal Befallsschwere (0-120) vierter Boniturtermin (Rangwerte) 64
Tabelle 26: Scheffe-Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere vierter Boniturtermin ausgewertet nach Standort 65
Tabelle 27: Scheffe-Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere vierter Boniturtermin ausgewertet nach Infektion 65
Tabelle 28: Scheffe-Test und Rangwerte (Mittelwert) Befallsschwere vierter Boniturtermin ausgewertet nach Sortierung 65
Tabelle 29: Varianzanalyse für das Merkmal Befallsschwere (0-120) fünfter Boniturtermin . 66
Tabelle 30: Scheffe-Test und Mittelwert Befallsschwere fünfter Boniturtermin ausgewertet nach Standort und Infektion 67
Tabelle 31: Scheffe-Test und Mittelwert Befallsschwere (0-120) fünfter Boniturtermin ausgewertet nach Sortierung 67
Tabelle 32: Scheffe-Test und Mittelwert Befallsschwere fünfter Boniturtermin (0-120) ausgewertet nach Pflanzabstand 68
Tabelle 33: Varianzanalyse für das Merkmal Frischmasseertrag (t/ha) 69
Tabelle 34: Scheffe-Test und Mittelwert für das Merkmal Frischmasseertrag (t/ha) ausgewertet nach Infektion und Sortierung 70
Tabelle 35: Varianzanalyse für das Merkmal Lagerverlust (%) im Dezember 71
Tabelle 36: Scheffe-Test und Mittelwert Lagerverlust (%) ausgewertet nach Standort 71
Tabelle 37: Varianzanalyse für das Merkmal Stärkegehalt (%) 73
Tabelle 38: Scheffe-Test und Mittelwert Stärkegehalt (%) ausgewertet nach Standort und Infektion 73

Tabelle 39: Scheffe-Test und Mittelwert Stärkegehalt (%) ausgewertet nach Standort und Sortierung 74
Tabelle 40: Varianzanalyse für das Merkmal Stärkeertrag (dt/ha) 75
Tabelle 41: Scheffe-Test und Mittelwert Stärkeertrag (dt/ha) ausgewertet nach Infektion .. 75
Tabelle 42: Varianzanalyse für das Merkmal Knollenansatz je Staude (Stück) 77
Tabelle 43: Scheffe-Test und Mittelwert Knollenansatz je Staude (Stück) ausgewertet nach Infektion und Pflanzabstand 78
Tabelle 44: Scheffe-Test und Mittelwert Knollenansatz je Staude (Stück) ausgewertet nach Standort und Pflanzabstand 78
Tabelle 45: Scheffe-Test und Mittelwert Knollenansatz je Staude (Stück) ausgewertet nach Standort und Sortierung 79
Tabelle 46: Korrelationen des Gesamtknollenansatzes (Stück) bzw. getrennt nach den Sortierungen (<35mm, 35-55mm, >55mm) und der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit .. 81
Tabelle 47: Korrelationen des Einzelpflanzenertrages (g) bzw. getrennt nach den Sortierungen (<35mm, 35-55mm, >55mm) und der Befallsschwere mit Schwarzbeinigkeit .. 83
Tabelle 48: Korrelationen des Einzelpflanzenertrags und des Ertrags der Fraktion >55 mm bzw. des Ertrags der Fraktion >55 mm und der Knollenanzahl der Fraktion >55 mm 84

11 Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
cfu	colony forming units
dt	Dezitonne
ha	Hektar
g	Gramm
kg	Kilogramm
l	Liter
Pa	*Pectobacterium carotovorum* ssp. *carotovorum*
Pc	*Pectobacterium carotovorum* ssp. *atrosepticum*
PL	Pektatlyasen
R^2	Bestimmtheitsmaß
s.a.	sine anno
Stk	Stück
t	Tonne
µm	Mikrometer

12 Literaturverzeichnis

ADAMS, M. J.; LAPWOOD, D. H. (1983): The effect of Erwinia carotovora subsp. atroseptica (blackleg) on potato plants II. Compensatory growth. Annals of Applied Biology 103: 79 - 85.

ALECK, J. R.; HARRISON, M. D. (1978): The influence of inoculum density and environment on the development of potato blackleg. American Potato Journal 55: 479-494.

ALFORD, D. V. (2000): Pest and Disease Management Handbook. Oxford, Blackwell Science Ltd.

BAIN, R. A. et al. (1990): Blackleg development and tuber yield in relation to number of Erwinia carotovora subsp. atroseptica on seed potatoes. Plant Pathology 39: 125-133.

BDLIYA, B. S. (1995): Studies on the detection and identification of soft rot causing erwinia species (Erwinia carotovora ssp. atroseptica (VAN HALL) Dye, Erwinia carotovora ssp. carotovora (JONES) Bergey et al. and Erwinia chrysanthemi BURKHOLDER et al.) on potato tubers. Institute of Plant Pathology and Plant Protection. Göttingen, Georg-August-University Göttingen.

BERGER, L. et al. (1994): ARGE Pflanzenbau 2. Graz, Stuttgart: Leopold Stocker Verlag.

BMLFUW (2008): Lebensmittelbericht 2008 Österreich. Wien, Selbstverlag.

BROUWER, W. (1976): Handbuch des speziellen Pflanzenbaus. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Pary.

BURTON, W. G.; WIGGINTON, M. J. (1970): The effect of a film of water upon to oxygen status of a potato tuber. Potato Research 13.

CARLS, J. (1978): Zur Ertragsstruktur der Kartoffel (Solanum tubersosum L.) unter verschiedenen ökologischen Bedingungen in Sri Lanka. Potato Research 21: 89 - 103.

CZAJKOWSKI, R.; GRABE, G. J.; VAN DER WOLF, J. M. (2009): Distribution of Dickeya spp. and Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum in naturally infected seed potatoes. European Journal of Plant Pathology 125: 263 - 275.

DE BOER, S. H. (1994): Prospects for control of potato diseases caused by pectolytic erwinias. IN ZEHDER, G., POWELSON, M., JANSON, R. & RAMAN, K. (Eds.) Advances in Potato Pest Biology and Management. Minnesota, APS Press.

DE BOER, S. H. (2004): Blackleg of potato. Online: http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/prokaryotes/Pages/Blacklegpotato.aspx (11.4.2011)

DIE ÖSTERREICHISCHE HAGELVERSICHERUNG (2010): Wetterservice.

DIEPENBROCK, W. et al. (1999): Spezieller Pflanzenbau. Stuttgart: Ulmer.

EBOD (2006): Digitale Bodenkarte von Österreich.

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE ZENTRUM (2010): Schwarzbeinigkeit, Bakterielle Welke, Knollennassfäule. Online: http://www.path.ethz.ch/education/courses/online_skripte/diagnostik/kartoffel/schwarzbeinigkeit (7.4.2011)

ELPHINSTONE, J. G. (1987): Soft Rot and Blackleg of Potato. Lima: International Potato Center.

ELPHINSTONE, J. G.; PÈROMBELON, M. C. M. (1958): Contamination of progeny tubers of potato plants by seed- and leafborne Erwinia carotovora. Potao Research 29: 77 - 93.

List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature - Genus Pectobacterium, http://www.bacterio.cict.fr/p/pectobacterium.html (11.10.2010)

FAO (2010): Statistics.

GEISLER, G. (1983): Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Parey.

GERHOLD, K. H. (1974): Neue Untersuchungen über die Schwarzbeinigkeit der Kartoffel unter besonderer Berücksichtigung der pektolytischen Aktivität des Erregers und dem Resistenzverhalten verschiedener Kartoffelsorten. Abteilung Mikrobiologie und Phytopathologie. Bludenz, Universität Hohenheim.

GOOGLE MAPS (2010): Maps Suche.

GRIMAULT, V. et al. (1997): Degradation patterns of pectic substrates related to the localisation of bacterial pectate lyases in the model Erwinia chrysanthemi/Saintpaulina ionantha. Physiological and Molecular Plant Pathology 51: 45-62.

GRÜNIG, K. (2007): Wenn den Kartoffeln schwarze Beine wachsen. Die Grüne 7/2007: 29-31.

HEIMERDINGER, W.; SENGBUSCH, R. (1956): Stärkewaage für züchterische Zwecke. Der Züchter 26: 369 - 372.

HEITEFUSS, R. et al. (2000): Pflanzenkrankheiten und Schädlinge im Ackerbau. 4., überarb., erw. Aufl., Frankfurt am Main: DLG-Verlag.

HOLZNER, W. (s.a.): Die Ackerunkrautvegetation Niederösterreichs. Online: (11.11.2010)

HÉLIAS, V.; ANDRIVON, D.; JOUAN, B. (2000): Development of symptoms caused by Erwinia carotovora ssp. atroseptica under field conditions and ther effect on the yield of individual potato plants. Plant Pathologie 49: 23 - 32.

KELLER, E. R. (1999): Biologische und ökologische Grundlagen. IN KELLER, E. R., HANUS, H. & HEYLAND, K.-U. (Eds.) Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Bonn, Ulmer.

KRIJTHE, N. (1955): Observation on the formation and growth of tubers on the potato plant. Netherlands Journal of Agricultural Science 3: 291-304.

KÖHLER, E.; KLINKOWSKI, M. (1954): Handbuch der Pflanzenkrankheiten. IN APPEL, O. (Ed.) Bd. 2. Die Virus- und Bakterienkrankheiten. 6. Aufl. ed. Berlin, Parey.

LANGERFELD, E. (1991): Krankheiten der Kartoffel. Bonn: Auswertungs- u. Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten.

LANGERFELD, E.; SIMON, U. (1981): Die Ausbreitung bakterieller Naßfäule- und Schwarzbeinigkeitserreger an Kartoffeln. Kartoffelbau 32: 137 - 140.

LAURILA, J. et al. (2010): Symptoms and yiled reduction caused by Dickeya spp. strains isolated from potato river water in Finland. European Journal of Plant Pathology 126: 249 - 262.

LEMAGA, B.; CAESAR, K. (1990): Relationship between numbers of main stems and yield components of potato (Solanum tuberosum L. cv. Erntestolz) as influenced by different daylengths. Potato Research 33: 257 - 267.

LIEBHARD, P. (2008): Charakteristik des Marchfeldes. Wien, Universität für Bodenkultur.

LUMB, V. M.; PÉROMBELON, M. C. M.; ZUTRA, D. (1985): A comparative study of blackleg epidemiology in Scotland and in Israel. Scottisch Crop Research Institute Annual Report for 1984.

MAYER, J. (2006): Einfluss unterschiedlicher Kalidüngermengen und Kalidüngerformen auf Ertrag und ausgewählte Qualitätsparameter bei der Kartoffel. Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie. Wien, Universität für Bodenkultur.

MOLL, A. (1992): Beziehung zwischen Stengel- und Knollenanzahl bei der Kartoffel in Abhängigkeit von wichtigen Einflußfaktoren. I. Der Einfluß der Pflanzgutvorbehandlung und der Sorte. Potato Research 35: 279 - 285.

MOORBY, J. (1967): Inter-stem and inter-tuber competition in potatoes. Potato Research 10: 189 - 205.

MOOSE GEO-EXPLORER (2010): Moose Geo-Explorer Österreich auf einem Blick.

MÜLLER, P. (2010): Erwinia chrysanthemi - gewinnt dieser Erreger im Kartoffelanbau an Bedeutung? Kartoffelbau 61. Jg.: 432 - 435.

NIVAP (2005): Niederländische Pflanzgut gut geprüft, Die Bedeutung von anerkanntem Pflanzgut Online: http://www.nivaa.nl/files/NIVAP_2005_Duitsland_def1.pdf (7.4.2011)

PEROMBELON, M. C. M. (1980b): Contamination of pathogen-free seed potato stocks by Erwinia carotovora during multiplication: Results of a six-year monitoring study. Potato Research 23: 413 - 425.

PÉROMBELON, M.; KELMAN, A. (1987): Blackleg and other potato diseases caused by soft rot erwinias; proposal for revision of terminology. Plant Disease 71: 283-285.

PÉROMBELON, M.; LOWE, R. (1975): Studies on the initation of bacterial soft rot in potato tubers. Potato Research 18: 64-82.

PÉROMBELON, M. C. M. (1992): Potato black leg: epidemiology, host pathogen interaction and control. Netherlands Jouranl of Plant Pathology 98: 135-146.

PÉROMBELON, M. C. M. (1992b): The Genus Erwinia. IN BALOWS, A., H.G., T., DWORKIN, M., HARDER, W. & SCHLEIFER, K. H. (Eds.) The Prokaryotes. A Handbook on the Biology of Bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, Applications. Second Edition ed. New York Berlin Heidelberg London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest, Springer-Verlag.

PÉROMBELON, M. C. M. (2002): Potato diseases caused by soft rot erwinias: an overview of pathogenesis. Plant Pathology 51: 1-12.

PÉROMBELON, M. C. M.; GULLINGS-HANDLEY, J.; KELMAN, A. (1979): Population dynamics of Erwinia carotovora and pectolytic clostridia in relation to decay of potatoes. Phytopathology 69: 167-173.

PÉROMBELON, M. C. M.; KELMAN, A. (1980): Ecology of the soft rot erwinias. Annual Review of Phytopathology 18: 367-381.

PÉROMBELON, M. C. M. et al. (1989): Factors affecting potato blackleg development. IN TJAMOS, E. C. & BECKMAN, C. H. (Eds.) Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on `the Interaction of Genetic and Environmental Factors in the Development of Vascular Wilt Disease of Plants´ 1988, Cape Sounion, Greece. Berlin, Springer-Verlag.

PÉROMBELON, M. C. M. et al. (1989): Factors affecting potato blackleg development. IN TJAMES, E. C. & BECKMAN, C. H. (Eds.) Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on the Interaction of Genetic and Environmental Factors in the Development of Vascular Wilt Diseases of Plants Cape Sunion.

RADTKE, W.; RIECKMANN, W.; BRENDLER, F. (2000): Kartoffel - Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter. Gelsenkirchen: Th. Mann.

REUST, W.; WINIGER, F. A. (1983): Essai en vue d'augmenter la proportion de grands tubercules de la pomme de terre Eba. Revue Suisse Agriculture 15: 5 - 8.

SCHAERER, S.; DUPUIS, B. (2010): Neue Bekämpfungsansätze gegen Schwarzbeinigkeit. UFA-Revue 1/2010: 28 -29.

SCHEID, L. (2008): Lagerverluste durch Nass- und Trockenfäulen vermeiden. Kartoffelbau 59. Jg.: 290 - 294.

SCHIESSENDOPPLER, E.; CATE, P. (1976): Wichtige Krankheiten und Schädlinge der Kartoffel. Wien: Verlag Jugend & Volk Ges. m.b.H.

SCHILLING, G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

SCHUHMANN, P. (1997): Bestellung. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Planzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

SIMON, U. (1982): Untersuchungen zur Entstehung der Bakteriellen Schwarzbeinigkeit der Kartoffel hervorgerufen durch Erwinia carotovora var. atroseptica (Van Hall) Dye. Institut für Pflanzenpathologie und Pflanzenschutz. Göttingen, Georg-August-Universität zu Göttingen.

SIMON, U.; LANGERFELD, E.; HEITEFUSS, R. (1984): Latenter Befall von Kartoffeln mit Erwinia carotovora var. atroseptica - Einfluss von Sorte und Knollenherkunft auf das Auftreten von Schwarzbeinigkeit. Potato Research 27: 219 - 227.

STACHEWICZ, H. (2008): Häufige Erkrankungen der Knolle durch Pilze und Bakterien während der Lagerung. Kartoffelbau 59. Jg.: 74 - 77.

STATISTIK AUSTRIA (2010): Landwirtschaftliche Haupt- und Kleinproduktionsgebiete Österreichs, Gebietsstand 2010. Online: (11.11.2010)

STRUIK, P. C. (1999): Die Morphologie der Kartoffelpflanze. IN KELLER, E. R., HANUS, H. & HEYLAND, K.-U. (Eds.) Handbuch des Pflanzenbaues Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Bd. 3 ed. Hohenheim, Verlag Eugen Ulmer.

VAN DEN BOOM, T. (1967): Untersuchungen über die Voraussetzungen für das Auftreten der Schwarzbeinigkeit der Kartoffel. Journal of Phytopathology 58: 239-276.

VAN DER ZAAG, D. E. (1999): Anbaugebiete und Bedeutung. IN KELLER, E. R., HANUS, H. & HEYLAND, K.-U. (Eds.) Handbuch des Pflanzenbaues. Band III, Knollen und Wurzelfrüchte, Körner und Futterleguminosen. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.

VAN LOON, C. D. (1999): Pflanzung und Bestandesführung. IN KELLER, E. R., HANUS, H. & HEYLAND, K.-U. (Eds.) Handbuch des Pflanzenbaues Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Bd. 3 ed. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.

WEBER, J. (1986): Die Naßfäule der Kartoffel Ökologie und Physiologie der Wirt-Pathogen-Beziehungen. Berlin: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der Deutschen Demokratischen Republik.

WEBER, J. (1990): Erwinia - a review of recent research. IN MACKERRON, D. K. L., EDMOND, H. D., HALL, D., KIRKMAN, M. A., LANG, R. W., MACKAY, G. R., MCRAE, D. C. & OXELY, S. J. P. (Eds.) Proceeding of the 11th Triennial Conference of the EAPR: Lead Papers of Symposia 1990, Edinburgh, Scotland. Oxford, Potato Marketing Board.

WEGENER, C. (2000): Die Nassfäule der Kartoffel. Eine Krankheit, ihr Erreger und die Abwehrreaktionen der Pflanze. Online: http://www.bmelv-forschung.de/fileadmin/sites/FR-Texte/2000/fr-2000-2-14-Nassfaeule.pdf

WEGENER, C. B. (2010): Knollennassfäule der Kartoffel - Vorbeugende Maßnahmen in der Praxis. Kartoffelbau 61. Jg.: 299 - 301.

WIKLICKY, L. (1961): Einfluss des Vorkeimens auf die Ertragsstruktur der Kartoffelpflanze unter besonderer Berücksichtigung der Saatgutgrösse. Wien, Universität für Bodenkultur.

YOUNG, J. M. et al. (1992): Chaning concepts in the taxonomy of plant pathogenic bacteria. Annual Review of Phytopathology 30: 67-105.

ZAMG (2010): Klimadaten von Österreich 1971-2000. 2010.