



Bachelorarbeit

Einfluss der Verladetechnik auf die Beschädigungsrate
ausgewählter Pflanzkartoffelsorten

Name, Vorname: Radtke, Maximilian
Matrikel: 4060519
Geboren am: 03.08.1993
Studiengang: BA Landwirtschaft

1. Gutachter	Prof. Dr. Annette Deubel
2. Gutachter	Dr. Rolf Peters

Bernburg, den 23.08.2017

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Bachelorarbeit beigetragen haben.

Ganz besonders möchte ich meiner Familie danken, insbesondere meinen Eltern und Großeltern, die mir durch ihre tägliche Unterstützung mein Studium ermöglicht haben.

Darüber hinaus geht ein großer Dank an Frau Prof. Dr. Annette Deubel für die Ermöglichung und Betreuung dieser Arbeit. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. Heiko Scholz für die sehr hilfreiche Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse.

Herzlich bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Ulf Hofferbert von der Europlant Pflanzenzucht GmbH für die Hilfe bei der Themenfindung sowie die Betreuung während der Versuchsdurchführung. Mein besonderer Dank gilt allen Mitarbeitern der Versuchsstation Dethlingen, die durch ihre tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung des Versuches zum Gelingen dieser Abschlussarbeit beigetragen haben. Insbesondere möchte ich in diesem Zusammenhang Herrn Dr. Rolf Peters und Herrn Martin Lehmann einen herzlichen Dank aussprechen, die mir während der gesamten Zeit mit all ihren Mitteln zur Seite standen und ohne deren Hilfe und Bemühungen diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

Weiterhin danke ich Herrn Fred Neuling und Herrn Jörg Beneke von der GbR Wallstawe für die Unterstützung dieser Arbeit durch die Bereitstellung wichtiger Materialien und für die Ermöglichung der Versuchsdurchführung im Unternehmen. Bedanken möchte ich mich ebenso bei den Mitarbeitern der Kartoffelproduktion der GbR Wallstawe, stellvertretend bei Herrn Volkmar Opitz, für die Bemühungen und die reibungslose Zusammenarbeit während der Versuchsdurchführung. Des Weiteren gilt mein Dank Herrn Jürgen Kastens für die Bereitstellung des Drehgerätes.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis Anhang.....	VI
Bibliografische Beschreibung.....	VII
1 Einleitung.....	1
2 Stand des Wissens.....	2
2.1 Die Kartoffel.....	2
2.2 Beschädigungen infolge mechanischer Belastungen.....	3
2.3 Einflussfaktoren für das Auftreten von Schwarzfleckigkeit.....	8
2.4 Einfluss der Auslagerung auf Beschädigungen.....	11
3 Material und Methoden.....	14
3.1 Sortenwahl.....	14
3.2 Anbaubedingungen.....	15
3.3 Ernte und Lagerung.....	15
3.4 Aufbereitung der Knollen und Versuchsdurchführung.....	16
3.5 Bonitieren der Beschädigungen und Verfärbungen	22
3.6 Elektronische Messung der mechanischen Belastung	23
3.7 Statistische Auswertung.....	23
4 Ergebnisse.....	25
4.1 Einfluss der Sorte.....	25
4.2 Einfluss des Verladetechnik.....	27
4.3 Auswertung der elektronischen Messung.....	30
5 Diskussion.....	33
6 Schlussfolgerung.....	39
7 Zusammenfassung.....	40
Abstract.....	41
Literaturverzeichnis.....	42
Anhang.....	46
Selbstständigkeitserklärung.....	50

Abkürzungsverzeichnis

et al.	et alii (lat.: und andere)
e.V.	eingetragener Verein
PPO	Polyphenoloxidase
Abb.	Abbildung
O ₂	Sauerstoff
H ₂ O	Wasser
N	Stickstoff
°C	Grad Celsius
%	Prozent
°	Gradzeichen
ca.	circa
kg	Kilogramm
g	Gramm
1:1	„Eins zu eins“, Mischungsverhältnis
t	Tonnen, Gewichtsangabe
VSD	Versuchsstation Dethlingen
cm	Zentimeter, Längenmaß
AHL	Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung
Proz_Gew_FN	Gewichtsprozent der Knollen mit Thumbnail-Cracks (gemittelt für alle Proben)
Proz_Gew_BG	Gewichtsprozent der beschädigten Knollen (gemittelt für alle Proben)
Proz_Gew_SF	Gewichtsprozent der schwarzfleckigen Knollen (gemittelt für alle Proben)
Proz_Gew_OD	Gewichtsprozent der Knollen ohne äußere Defekte (gemittelt für alle Proben)
I ; II ; III	römische Ziffern für eins; zwei; drei

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Charakterisierung der möglichen Beschädigungen an Kartoffelknollen (<i>nach SCHUHMANN, 2014; PETERS, 2015</i>).....	3
Abbildung 2: Typische Beschädigungen durch mechanische Belastung. Schalenriss (links), Thumbnail-Cracks (rechts) (BOHL und THORNTON, 2006)	4
Abbildung 3: Schwarzfleckigkeit geschälter Kartoffeln, keine deutliche Abgrenzung vom gesunden Gewebe.....	6
Abbildung 4: Abbau von Tyrosin zu Melaninen (zusammengestellt nach PAWELZIK und DELGADO, 1999; in Anlehnung an MARSCHNER, 1986).....	8
Abbildung 5: Schonende Lagerung (links) und Temperierung (rechts) der gesackten Knollen während der Hauptlagerungsphase in Dähre (Fotos vom 02. Dezember 2016).....	16
Abbildung 6: Sortierung (links) und Einfärbung (rechts) der Versuchskartoffeln.....	17
Abbildung 7: Kennzeichnung der Füllschichten.....	18
Abbildung 8: Skizze zur Einlage der Versuchsknollen.....	18
Abbildung 9: Annahmehunker, Spiralwalzen, Förderband.....	19
Abbildung 10: ausgefahrene Fallsegel.....	19
Abbildung 11: Auflegen der weißen Knollen (links) und Auftreffen auf dem Transportfahrzeug (rechts).....	20
Abbildung 12: Ausgangsposition (links) und Drehvorgang der seitlichen Drehung (rechts)...	21
Abbildung 13: Ausgangsposition (links) und Drehvorgang der Verladung vornüber (rechts).	21
Abbildung 14: TuberLog oben in der Kiste platziert.....	23
Abbildung 15: Gemittelte Gewichtsprozente der Thumbnail-Cracks in Abhängigkeit der Sorte.....	25
Abbildung 16: Gemittelte Gewichtsprozente der äußerlich beschädigten Knollen (ohne Thumbnails) in Abhängigkeit der Sorte.....	26
Abbildung 17: Gemittelte Gewichtsprozente der verfärbten Knollen in Abhängigkeit der Sorte.....	27
Abbildung 18: Gemittelte Gewichtsprozente der Thumbnails-Cracks in Abhängigkeit des Verladeverfahrens.....	28
Abbildung 19: Gemittelte Gewichtsprozente der äußerlich beschädigten Knollen (ohne Thumbnails) in Abhängigkeit des Verladeverfahrens.....	28

Abbildung 20: Gemittelte Gewichtsprozent der verfärbten Knollen in Abhängigkeit des Verladeverfahrens.....	29
Abbildung 21: Mittelwerte und Standardabweichungen des Belastungsindex aller Verladevarianten.....	31
Abbildung 22: Belastungsindex in verschiedenen Schichten der Kiste.....	32
Abbildung 23: Belastungsindex der verschiedenen Ablagepositionen auf dem Förderband..	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einstufung der Sorten (BUNDESSORTENAMT, 2013; EUROPLANT, 2017).....	14
Tabelle 2: Bezeichnung der Varianten.....	17
Tabelle 3: Bezeichnung der Sorten.....	17
Tabelle 4: Kriterien zur Bonitur der Schadbilder.....	23

Abbildungsverzeichnis Anhang

Abbildung A 1a: Mittlere Gewichtsprozentage der Kartoffelknollen ohne äußere Knollenschäden in Abhängigkeit der Sorte.....	46
Abbildung A 1b: Mittlere Gewichtsprozentage der Kartoffelknollen mit äußeren Knollenschäden in Abhängigkeit der Sorte.....	46
Abbildung A 2: Mittlere Gewichtsprozentage der Knollen ohne äußere Knollenschäden in Abhängigkeit vom Verladeverfahren.....	47
Abbildung A 3: Mittleres Konfidenzintervall (Minimum, Maximum), Mittelwerte und Standardabweichungen der Thumbnail-Cracks in Abhängigkeit der Verladevariante.....	47
Abbildung A 4: Mittleres Konfidenzintervall (Minimum, Maximum), Mittelwerte und Standardabweichungen der äußeren Beschädigungen in Abhängigkeit der Verladevariante.....	48
Abbildung A 5: Mittleres Konfidenzintervall (Minimum, Maximum), Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl schwarzfleckiger Stellen in Abhängigkeit der Verladevariante.....	48
Abbildung A 6: Mittleres Konfidenzintervall (Minimum, Maximum), Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentual schwarzfleckigen Fläche in Abhängigkeit der Verladevariante.....	49
Abbildung A 7: Mittlere Stoßstärke, mittlere maximale Stoßkraft und Anzahl der Stöße der elektronischen Messung mittels TuberLog in Abhängigkeit der Verladevariante.....	49

Bibliographische Beschreibung

Name, Vorname: Radtke, Maximilian

Thema: „Einfluss der Verladetechnik auf die Beschädigungsrate
ausgewählter Pflanzkartoffelsorten“

2017/ 50 Seiten/ 4 Tabellen/ 23 Abbildungen

Bernburg: Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotröphologie und
Landschaftsentwicklung

Autorreferat

In der vorliegenden Arbeit wurden die mechanische Stoßbelastung und die resultierende Beschädigungsrate drei verschiedener Möglichkeiten der Verladung von Kartoffeln im Hinblick auf äußere und innere Knollenschäden untersucht.

Die zu untersuchenden Parameter waren Schalenrisse und Abschürfungen als herkömmliche äußere Beschädigungen, Thumbnail-Cracks als eine spezielle äußere Beschädigung sowie die Schwarzfleckigkeit als die qualitätsmindernde innere Beschädigung von Kartoffeln. Die Durchführung der Verladung nach längerer Lagerperiode der Knollen sowie die Bonitur und Auswertung der Beschädigungsrate bildeten die Grundlage der Untersuchung. Weiterhin erfolgte ein Vergleich der Belastung mithilfe einer elektronischen Messung der maximalen Stoßbeschleunigung der Kartoffeln.

Ziel dieser Arbeit war es, die für die Kartoffeln in der Praxis schonendste Verladetechnik zu finden. Die Untersuchungen ergaben, dass die Variante der Überladung mittels Fallsegel gegenüber den Verladungen direkt über dem Transportfahrzeug diesbezüglich deutliche Vorteile bringt.

1 Einleitung

Die Kartoffel (*Solanum tuberosum*), eine Nutzpflanze aus der Familie der Nachtschattengewächse (*Solanaceae*), ist eines der wichtigsten Nahrungsmittel auf der Welt. Darüber hinaus findet die unterirdisch wachsende Kartoffelknolle Verwendung in der Futtermittelproduktion sowie als Industrierohstoff in der Kartoffelveredelung und Stärkeproduktion. Ihren Ursprung haben die meisten der sogenannten „*Solanum*-Arten“ in den höheren Lagen der Anden Süd-Perus und Boliviens. Bereits weit vor der Zeitenwende wurde die Kartoffel von der indianischen Urbevölkerung der südamerikanischen Andengebiete als Nahrungsmittel genutzt beziehungsweise auch kultiviert (SCHUHMANN, 2014). In Europa und Deutschland etablierte sich die Knolle laut IMA-AGRAR (2017) erst im 18. Jahrhundert unter dem damaligen Preußenkönig Friedrich dem Großen als Kulturpflanze und Lebensmittel. Seither ist die Kartoffel ein fester Bestandteil des deutschen Speiseplans. Die weltweite Produktion im Jahr 2014 betrug laut UNIKA (2017) 385 Millionen Tonnen Kartoffeln bei einer Anbaufläche von 19,2 Millionen Hektar. Tendenziell nimmt der Kartoffelanbau in den entwickelten Industrieländern ab, während dieser in den Schwellen- und Entwicklungsländern in den vergangenen Jahren zunimmt. Wenngleich die Kartoffel als Grundnahrungsmittel in der heutigen Zeit etwas an Bedeutung verloren hat, gehört sie noch immer zu den bedeutenden landwirtschaftlichen Kulturen. Nach WORMANN (1999) ist die rückläufige Tendenz beim Verzehr von Frischkartoffeln auch durch die teils schlechte Qualität der angebotenen Kartoffeln begründbar. Abgesehen von äußerlich sichtbaren Mängeln, sind laut PETERS (1996) die inneren Knollenbeschädigungen, die unterhalb der Schale liegendes Gewebe schädigen oder zerstören, das heutige Hauptproblem. Nach PAWELZIK und WULKOW (2013) ist die Schwarzfleckigkeit dabei als der problematischste Beschädigungstyp für die Kartoffeln zu sehen. Die Mechanisierung der Produktionsprozesse und die daraus resultierende mechanische Belastung für die Knollen ist die Hauptursache dieser Qualitätsminderungen. Infolgedessen kann es in den unterschiedlichen Bereichen der Wertschöpfungskette zu erheblichen wirtschaftlichen Verlusten kommen (PAWELZIK und WULKOW, 2013). Dieser Umstand führte bereits vor Jahrzehnten zu umfassenden Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet (PETERS, 1996). Neben den belastungsreichen Arbeitsprozessen der Ernte, Lagerung und Aufbereitung, ist besonders die Auslagerung der Knollen mit der Überladung auf Transportfahrzeuge mit Stoßbelastungen durch teils hohe Fallhöhen behaftet.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Einfluss der in der Praxis gängigen Überladeverfahren auf das Auftreten von Beschädigungen und Verfärbungen im Rahmen eines Versuches zu untersuchen. Dabei werden die Ausprägung des Schadbildes sowie Sortenunterschiede berücksichtigt. Durch die Auswahl des belastungsärmsten Verfahrens, können Knollenschäden und Vermarktungsverluste in der Praxis zukünftig reduziert werden.

2 Stand des Wissens

2.1 Die Kartoffel

2.1.1 Zusammensetzung der Kartoffelknolle

Die Kartoffelknolle ist keine Wurzel, sondern eine Verdickung jener Stolone und dient der Pflanze als Speicherorgan (IMA-AGRAR, 2017). Kartoffeln bestehen zu 77 Prozent aus Wasser und etwa 16 Prozent aus Kohlenhydraten (DIE KARTOFFEL, 2017). Die Knollen dienen von Natur aus der vegetativen Fortpflanzung und speichern laut TEMIKA (2017) zu diesem Zweck kostbare Stärke als Kohlenhydrat-Reservoir. Im Durchschnitt bestehen Kartoffelknollen zu 20 – 25 Prozent aus Trockensubstanz, welche ihrerseits zu 70 Prozent aus Stärke besteht (KOLBE, 1995). Hinzu kommt ein geringer Anteil an Monosacchariden (unter 1 Prozent), die dem menschlichen Körper nach dem Verzehr direkt als nutzbare Energie zur Verfügung stehen. Ein Gehalt von etwa zwei Prozent biologisch hochwertigem Eiweiß mit zwanzig verschiedenen Aminosäuren, von denen neun essentiell sind, sowie jede Menge Vitamine und Mineralstoffe, machen die Kartoffel zu einem aus ernährungsphysiologischer Sicht wertvollen pflanzlichen Nahrungsmittel (TEMIKA, 2017). Außerdem sind wichtige Ballaststoffe und eine verschwindend geringe Menge an Fett (0,1 Prozent) enthalten. Kartoffeln besitzen einen hohen Vitamin C-Gehalt (IMA-AGRAR, 2017), welcher den Knollen als antioxidatives Schutzschild dient (SCHUHMAN, 2009). Nach KOLBE (1997) verhindert es Oxidationsvorgänge in den Zellen, wodurch Stoffwechselwege stabilisiert und außerdem Verfärbungen des Knollenfleisches verhindert werden. Während der Lagerung nimmt der Gehalt ab und in der Knolle selbst ist die Vitamin C- bzw. Ascorbinsäurekonzentration im Schalenbereich deutlich geringer als im inneren Knollengewebe (SCHUHMAN, 2009). Weitere Vitamine der Kartoffeln sind die in geringeren Mengen enthaltenen B1, B2, B6 und Niacin sowie die in Spuren vorhandenen Vitamine A, D, E, H, K und B12 (KOLBE, 1997).

2.1.2 Qualitätsmerkmale der Kartoffel

Unabhängig vom Verwendungszweck ist die Qualität der Knollen ein entscheidendes Kriterium für eine reibungslose Vermarktung der Kartoffeln. In Zeiten ausreichender Verfügbarkeit von Kartoffeln gelingt eine problemlose Vermarktung laut ELFRICH (2010) nur mit qualitativ hochwertiger Ware. Durch mechanische Belastungen hervorgerufene Knollenschäden zählen weltweit zu den wichtigsten Qualitätsmängeln (PETERS, 1996). Es wird nach SCHUHMAN (2014) zunächst zwischen innerer und äußerer Qualität unterschieden, die ihrerseits nach Merkmalen für die Beschaffenheit und für Knollenmängel

unterteilt werden können. Die äußere Qualität umfasst die äußere Knollenbeschaffenheit wie Knollengröße und -form, Schalenfestigkeit und Augentiefe sowie äußere Mängel wie Beschädigungen, Wachstumsrisse, Fäulen, Schorf, Ergrünung und Knollenmissbildungen.

Die innere Qualität der Knollen wird beschrieben durch die innere Beschaffenheit, nämlich wertgebende bzw. wertmindernde Inhaltsstoffe, der Turgor und das physiologische Alter. Hinzu kommen innere Mängel wie innere Beschädigungen, innere Fäulen, Verfärbungen des Knollengewebes und Hohl- oder Schwarzherzigkeit. Zusätzlich wird nach Merkmalen unterschieden, die je nach Verwendungsart den Gebrauchswert und die technologische Qualität beeinflussen (SCHUHMANN, 2014).

2.2 Beschädigungen infolge mechanischer Belastungen

2.2.1 Einteilung der Beschädigungen

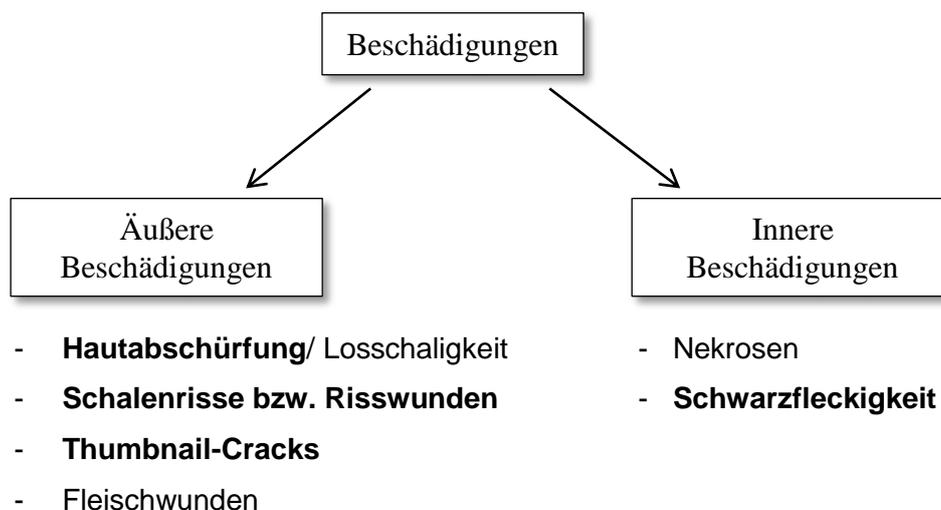


Abbildung 1: Charakterisierung der möglichen Beschädigungen an Kartoffelknollen (nach SCHUHMANN, 2014; PETERS, 1999)

Laut PETERS (1996) wird bei den Beschädigungen zunächst zwischen äußeren und inneren Knollenschäden unterschieden. Eine Einteilung der häufig auftretenden Beschädigungen aufgrund mechanischer Stoßbelastung ist in Abb. 1 dargestellt. In der vorliegend beschriebenen Untersuchung wurden die im Zuge der Verladung vielfach hervorgerufenen Schalenrisse, Thumbnail-Cracks und Hautabschürfungen unter den äußeren

Beschädigungen sowie die Schwarzfleckigkeit als innerer Knollendefekt bei der Auswertung berücksichtigt.

2.2.2 Äußere Knollenschädigungen

Mechanische Belastungen der Kartoffeln, wie z. B. Stöße an harten Maschinenteilen oder der Fall auf eine nicht gepolsterte Unterlage, lassen hohe Kräfte in den Knollen auftreten, die das äußere Knollengewebe abpuffern muss (PETERS, 2015). Die Folge können Schäden aufgrund geplatzter Zellen im Knollenrandbereich sein, welche häufig als Schalenrisse (Abbildung 2), Schalenabschürfungen oder größere Riss- und Fleischwunden auftreten. Eine besondere Form der äußeren Riss- und Spaltverletzungen stellen die sogenannten „Thumbnail Cracks“ bzw. „Air Checks“ dar (BOHL und THORNTON, 2006). Namensgebend ist laut BOHL und THORNTON (2006) die gewölbte Form, die dem Abdruck eines Fingernagels ähnlich sieht (Abbildung 2). Im Gegensatz zu den weiteren äußeren Schädigungen, ist für einen Thumbnail-Riss eine geringere Stoßkraft beim Aufprall nötig. Der Schaden ist dabei auf die Knollenhaut beschränkt und es tritt in der Regel keine Verfärbung des darunter liegenden Knollengewebes auf (BOHL und THORNTON, 2006). Thumbnail-Verletzungen stehen in keinem Zusammenhang mit Schwarzfleckigkeitssymptomen und es ist keine Korrelation zwischen dem Stärkegehalt der Knollen und Thumbnails bekannt. Als Einflussfaktoren sind, neben einer abrupten Temperaturänderung unmittelbar vor mechanischer Belastung (BOHL und THORNTON, 2006), vor allem die Gewebefestigkeit, der Zellwandgehalt und die Gehalte an Calcium, Magnesium sowie Kalium auszumachen (MEYER, 2011). Knollenschädigungen mit „Thumbnail Cracks“ sind vorrangig in Kanada und Amerika ein Problem bei der Vermarktung von Kartoffeln, doch auch in Deutschland rückt das Thema vermehrt in den Fokus der Forschung und Pflanzenzüchtung (MEYER, 2011).

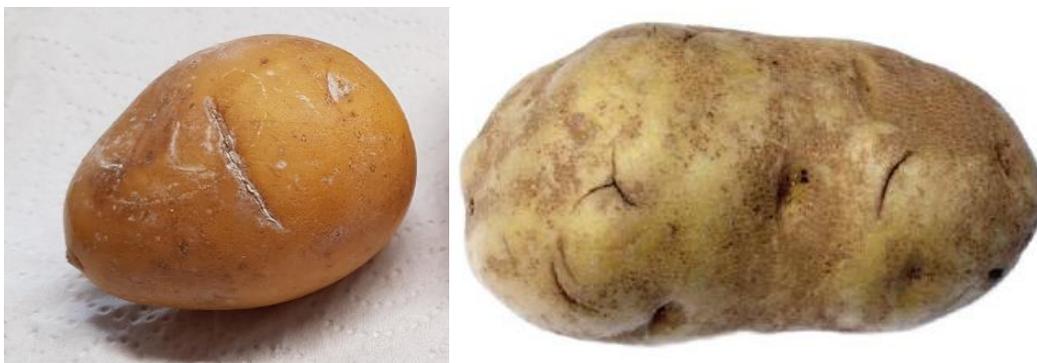


Abbildung 2: Typische Beschädigungen durch mechanische Belastung. Schalenriss (links), Thumbnail-Risse (rechts) (BOHL und THORNTON, 2006)

Alle äußeren Knollendefekte werden laut PETERS (2015) bei der Qualitätskontrolle erfasst und ab einer bestimmten Größe als qualitätsmindernder Mangel bewertet. Die Anzahl und Intensität der Knollenschäden hängt sowohl von der Stärke und Häufigkeit der Stöße als auch von der Empfindlichkeit des Knollengewebes ab. So sind z. B. größere und kältere Knollen wesentlich beschädigungsempfindlicher. Außerdem rufen viele kleinere Stöße auf die gleiche Stelle (z.B. Kronen- oder Nabelende) vergleichbare Schäden hervor wie ein starker Stoß (PETERS, 2015). Folgeschäden sind neben der schwierig zu vermarktenden Ware, höhere Atmungsraten und ein intensiverer Stoffwechsel der beschädigten Knollen. Nach PETERS (2015) führt beides im Laufe der Lagersaison zu einem schnelleren Abbau der knolleneigenen Keimhemmstoffe und damit zu einer früheren und stärkeren Keimung. Darüber hinaus ziehen die Knollenbeschädigungen vor allem in den ersten Lagerwochen einen verstärkten Wasserverlust nach sich, der nicht nur die späteren Lagerungsverluste deutlich beeinflussen kann, sondern auch die Abtrocknung der Kartoffeln erschwert (PETERS, 2015). Sämtliche Verletzungen der Schale sind darüber hinaus Eintrittspforten für verschiedene bakterielle Krankheitserreger oder Pilzkrankheiten, welche anschließend der Auslöser für größere Verluste einer gesamten Partie sein können (PETERS, 1999). Der Ausbruch von Bakteriosen oder Pilzkrankheiten führt vorrangig zu Ausfällen in der Lagerung, kann jedoch ebenso nach der Pflanzung im Feld zu Fehlstellen aufgrund verfaulter Mutterknollen und damit zu erheblichen Verlusten führen.

Die Beschädigungsempfindlichkeit wird laut BUNDESSORTENAMT (2013) an Kartoffelproben geprüft, die mit Vollerntemaschinen geerntet werden und anschließend über eine Siebkette laufen. Danach lagern die Proben 4 bis 6 Wochen bei einer Temperatur von 8°C. Im Anschluss werden sie geschält. Je nach Anzahl der Beschädigungen an den Knollen sowie die Anzahl und das Gewicht der beschädigten Knollen wird die Sorte nach dem Bewertungsschlüssel von 1 bis 9 eingeteilt (BUNDESSORTENAMT, 2013).

2.2.3 Innere Knollenschädigungen

Nach LEPPACK (1997) wurden im Laufe der technischen Weiterentwicklung vor allem die äußeren Beschädigungen gemindert, sodass heute die inneren Defekte überwiegen. Die wichtigsten inneren Qualitätsmängel infolge mechanischer Belastungen sind die im Versuch betrachteten Verfärbungen des Knollengewebes, bekannt als Schwarzfleckigkeit, sowie die unterhalb der Schale auftretenden Nekrosen. Diese Nekrosen entstehen nach PETERS (2015) durch ein Zerplatzen der unter der Schale befindlichen Zellen. Anschließend trocknet das geschädigte Gewebe an diesen Stellen aus und Stärke bleibt, abgegrenzt vom gesunden Gewebe, als weiß-graue Masse zurück. Schwarzfleckigkeit hingegen ist mit blauen bzw. schwarzen Verfärbungen des defekten Gewebes verbunden. Äußerlich nicht sichtbare Beschädigungen wie Schwarzfleckigkeit, Nekrosen und innere Risse bzw.

Quetschungen werden oft erst beim Schälen bzw. Zerkleinern der Knollen erkennbar (PAWELZIK und WULKOW, 2013). Dem Verbraucher bleibt dann nur noch das Verwerfen der geschädigten bzw. verfärbten Kartoffelanteile (WORMANNS, 1999) und der Kunde verliert das Vertrauen zum Lieferanten (ELFRICH, 2010).

Auch in der Veredelungsindustrie sind die mit inneren Knollenschäden behafteten Kartoffeln laut PAWELZIK und WULKOW (2013) nur mit erhöhten Aufwendungen einsetzbar oder können nur alternativen Verwertungen zugeführt werden. Schwarzfleckigkeit ist die wohl häufigste (SCHUHMANN, 2014) und problematischste (PAWELZIK und WULKOW, 2013) innere Knollenschädigung.

Grundlagen der Schwarzfleckigkeit

Schwarzfleckigkeit ist eine physiologisch bedingte und durch mechanische Einflüsse ausgelöste Erscheinung an Kartoffelknollen, bei der Gewebepartien unterhalb der Schale meist in mehreren Farbabstufungen von rötlich über blau und schwarz dunkel verfärben (SCHUHMANN, 2009). Die Verfärbungsreaktionen setzen erst mehrere Stunden nach der Belastung ein und sind das Ergebnis eines komplexen Zusammenspiels von genetischen, physikalischen und biochemischen Reaktionen (PAWELZIK und WULKOW, 2013). Schwarzfleckiges Gewebe ist im Gegensatz zu anderen nekrotischen Defekten nicht scharf von intaktem Gewebe abgegrenzt (SCHUHMANN, 2014), sondern geht in jenes über (Abb. 3).



Abbildung 3: Schwarzfleckigkeit geschälter Kartoffeln, keine deutliche Abgrenzung vom gesunden Gewebe

Für den Verbraucher ist es der schwerwiegendste Kartoffelmangel, weil er im Gegensatz zu anderen Qualitätsmängeln häufig auftritt und erst nach dem Kauf erkennbar ist (WORMANNS, 1999). Die Feststellung der Neigung zur Schwarzfleckigkeit erfolgt nach BUNDESSORTENAMT (2013) mit Hilfe einer Wasch- und Schälmaschine an Ernteproben der Wertprüfung. Dazu werden die Knollen in der Waschmaschine durch die Rotation an die Außenwand geschleudert, wodurch mechanische Belastungen simuliert werden. Nach 4- bis 5-tägiger

Lagerung wird die behandelte Knollenprobe geschnitten, so dass an der Schnittfläche die Schwarzfleckigkeit erkennbar ist. Anschließend wird, je nach Anteil verfärbter Fläche, ein Schwarzfleckigkeitsindex für die jeweilige Partie errechnet. Daraufhin wird die Sorte mithilfe eines Bewertungsschlüssels von 1 bis 9 eingestuft (BUNDESSORTENAMT, 2013).

Ursachen der Schwarzfleckigkeit

Kartoffeln werden innerlich schwarzfleckig, wenn infolge von Stößen und Drücken Zellwände beschädigt werden (WORMANN et al., 2001). BOHL (2011) bestätigt, dass bei Schwarzfleckigkeit, resultierend aus einem Aufprall der Knolle, die Kartoffelschale nicht beschädigt wird, sondern mehrere Zellschichten unter der Haut in Mitleidenschaft gezogen werden. Das lebende Knollengewebe reagiert auf die beschriebenen Verletzungen mit einer Wundkorkbildung, in dessen Abfolge u.a. hohe Konzentrationen an phenolischen Verbindungen gebildet werden (KOLBE und HAASE, 1997). Nach HEINECKE (2007) kann eine äußere mechanische Belastung im Inneren der Kartoffelknolle eine Beschädigung der Zellwände sowie der Zellmembranen hervorrufen, wodurch diese für Sauerstoff durchlässig werden und die subzelluläre Integrität abnimmt. Infolgedessen werden phenolische Substanzen, dazu gehören z.B. die Aminosäure Tyrosin, Kaffeesäure, Chlorogensäure oder Flavone, aus der Vakuole gelöst (OVERBECK, 2014). Gleichzeitig gelangt das Enzym Polyphenoloxidase (PPO) durch die Zellbeschädigung aus den Amyloplasten in das Cytosol der Zelle. Folglich kommt es zu einem Zusammentreffen des Enzyms und des Substrates im Cytosol, was zu einer Substratoxidation führt (PAWELZIK und WULKOW, 2013). Die dabei entstehenden Quinone reagieren in der Folge nicht enzymatisch weiter zu sogenannten Melaninen (Abb. 4), in der Regel dunkel gefärbten Pigmenten (PAWELZIK und WULKOW, 2013) mit sehr kompliziertem chemischem Aufbau (KOLBE und HAASE, 1997).

In der Züchtungsforschung bestehen laut KOLBE und HAASE (1997) Bestrebungen, eine molekulare Blockierung des Schlüsselenzyms Polyphenoloxidase zu erreichen, wodurch bestimmte Verfärbungen gänzlich unterbunden werden könnten. Jedoch gibt es nach PAWELZIK und WULKOW (2013) keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Melaninbildung und Substratkonzentration bzw. PPO-Aktivität.

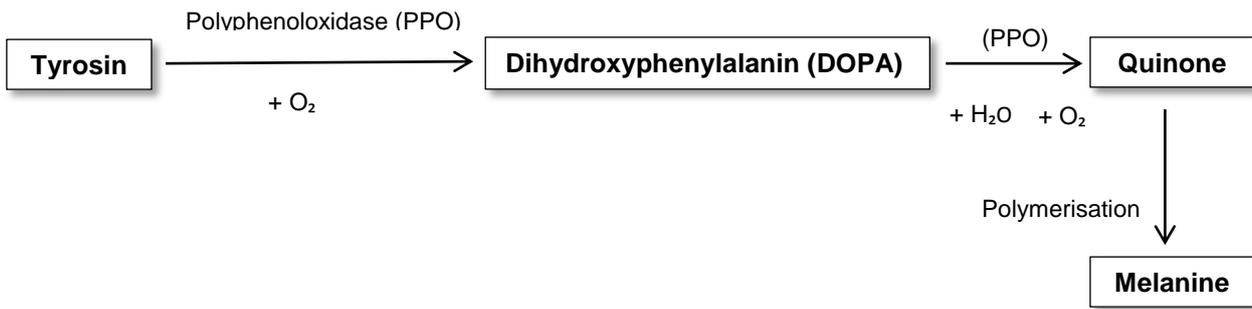


Abbildung 4: Abbau von Tyrosin zu Melaninen (zusammengestellt nach PAWELZIK und DELGADO, 1999; in Anlehnung an MARSCHNER, 1986)

2.3 Einflussfaktoren für das Auftreten von Schwarzfleckigkeit

2.3.1 Die Sorte

Die deutlichen Sortenunterschiede in der Neigung zu Schwarzfleckigkeit werden in zahlreichen Quellen beschrieben (HEINECKE, 2007; PETERS, 1996; PAWELZIK und WULKOW, 2013; KOLBE und HAASE, 1997). Jedoch sind die für die Prädisposition zur Verfärbung beteiligten Sortenmerkmale laut SCHUHMANN (2009) noch nicht vollständig bekannt. BOHL (2011) führt die Anfälligkeit einer Sorte für Schwarzfleckigkeit vorrangig auf physikalische und chemische Eigenschaften zurück. Demnach zählt er zu den Einflussgrößen die Knollenform und Knollengröße sowie den Gehalt an Tyrosin und das spezifische Gewicht.

Die Schwarzfleckigkeitsneigung der Sorten basiert auf einer unterschiedlichen Inhaltsstoffzusammensetzung (HEINECKE, 2007). Frühreife Sorten sind gewöhnlich durch eine höhere Verfärbungsresistenz gekennzeichnet als später reifende Sorten, was laut KOLBE und HAASE (1997) in erster Linie durch die geringeren Gehalte an Tyrosin und Trockensubstanz zu erklären ist. Neben dem Trockensubstanzgehalt gehören zu den durch die Sorte beeinflussten Faktoren die Stärke des Periderms, Zellwandaufbau und -festigkeit, Zellgröße und der Turgor der Knolle (PAWELZIK und WULKOW, 2013). Ein weiteres Kriterium ist die Größe und Form der Knollen, welche die Beschädigungsempfindlichkeit im Allgemeinen beeinflusst (PETERS, 2015). Ferner sind langfallende Sorten an den Nabel- und Kronenenden sowie Kartoffelsorten mit tiefen Augen und unebener Oberfläche besonders gefährdet (PETERS, 1999).

Nach BUNDESSORTENAMT (2013) werden die Sorten vom Bundessortenamt nach einem Bewertungsschlüssel von 1-9 eingestuft, um sie dem speziellen Verwendungszweck anpassen zu können.

2.3.2 Einfluss der Knolleninhaltsstoffe

Hierzu zählen nach PAWELZIK und WULKOW (2013) Membraneigenschaften sowie Enzyme im Zusammenhang mit der Membranspaltung, Bildung bzw. Aufnahme freier Radikale oder Entgiftung des Cytosols. Demnach werden nachteilige oxidative Reaktionen durch die Anwesenheit von Antioxidantien wie der Ascorbinsäure sowie Enzymen wie Superoxiddismutase, Katalase und Peroxidase begrenzt. SCHUHMANN (2009) bestätigt die Aufgabe der Ascorbinsäure als antioxidatives Schutzschild der Kartoffelknolle. Die ungleichmäßige Vitamin C-Konzentration in der Knolle, von innen nach außen abnehmend (SCHUHMANN, 2009), erklärt die häufig auftretende Schwarzfleckigkeit im äußeren Knollenbereich.

Ebenso die spezifische Dichte im Zusammenhang mit der Trockenmasse der Knolle hat einen Einfluss auf die Schwarzfleckigkeitsneigung. Untersuchungen von PAWELZIK und WULKOW (2013) ergaben erwartungsgemäß, dass mit steigender spezifischer Dichte und damit Trockenmassegehalt die Neigung zu Schwarzfleckigkeit zunimmt. Im Zusammenhang mit diesen Parametern steht der Stärkegehalt, dem eine Schlüsselstellung im Hinblick auf die Neigung zur Schwarzfleckigkeit zukommt (PAWELZIK und WULKOW, 2013).

Der Einfluss des physiologischen Alters der Knolle auf die Anfälligkeit gegenüber Schwarzfleckigkeit ist vorwiegend im Zusammenhang mit der Lagerung zu sehen. Nach der Lagerperiode sind die Knollen deutlich anfälliger gegenüber Verfärbungen, was mit dem sinkenden Gehalt an Antioxidantien (SCHUHMANN, 2009) sowie den steigenden Wasserverlusten der Kartoffelknolle während der Lagerung zu begründen ist (HEINECKE, 2007). Laut OVERBECK (2014) führt der Verlust von Wasser in Kartoffeln zwangsläufig zu einem Ansteigen des spezifischen Gewichtes und zu einem Verlust des Turgors. Hohe Turgorverluste gehen einher mit einer abnehmenden Stabilität der intrazellulären Membranen (LAERKE et al. (2002), was die zunehmende Schwarzfleckigkeitsneigung begründet.

2.3.3 Anbau- und Umweltbedingungen

Hier sind laut PAWELZIK und WULKOW (2013) unter anderem die Nährstoffversorgung, Vegetationsbedingungen, Bodenfeuchte und –temperatur sowie die Knollentemperatur zum Zeitpunkt der Ernte und Aufbereitung, die Reife der Knollen, Lagerbedingungen und die Umweltbedingungen vor der mechanischen Belastung beteiligt. Schwarzfleckigkeit tritt häufig nach der Aufbereitung der Knollen, insbesondere nach längerer Lagerung auf (SCHUHMANN, 2014).

Entscheidend für die Kulturpflanze ist eine harmonische Zufuhr von Wasser und Nährstoffen. So lassen sich beispielsweise die Stärkegehalte mithilfe von Beregnung, Stickstoff- und

Kaliumdüngung steuern (ELFRICH, 2010). Grundsätzlich ist eine ausgeglichene Versorgung der essentiellen Nährstoffe anzustreben.

Eine zu einseitig gestaltete N-Düngung fördert die Synthese von Inhaltsstoffen, die an Verfärbungsreaktionen beteiligt sind (PAWELZIK und DELGADO, 1999). Jedoch ist nicht nur der Anstieg in der N-Versorgung der Pflanzen ausschlaggebend für die Zusammensetzung der Inhaltstoffe. Eine steigende N-Düngung führt auch zu einer veränderten Ernährung mit anderen Nährstoffen (KOLBE, 1995). Der Kaliumversorgung wird im Zusammenhang mit Mängeln der inneren Qualität eine besondere Stellung zuteil. Nach PAWELZIK und WULKOW (2013) mindert Kalium mit zunehmender Applikation die Neigung zu Schwarzfleckigkeit. Dies wird gleichermaßen mit der Beziehung zwischen Kaliversorgung und Trockensubstanzbildung begründet (SCHUHMANN, 2014). KOLBE (1995) bestätigt die absinkenden Trockensubstanzgehalte bereits bei geringem Anstieg des Gehaltes an Kalium. Ebenso die Gehalte an organischen Säuren wie Äpfelsäure und Citronensäure, welche eine antioxidantische Wirkung haben, erleben durch erhöhte Kaliumgehalte einen Anstieg (KOLBE, 1996). Zudem reduziert ein erhöhter Kalium-Gehalt den Stärkegehalt und die PPO-Aktivität und steigert den Wassergehalt (ELFRICH, 2010). Phosphor besitzt lediglich eine geringe Wirkung auf den Trockensubstanzgehalt der Knolle (KOLBE, 1995), beeinflusst aber die Synthese von Ascorbinsäure und somit indirekt die Verfärbungsneigung (PAWELZIK und DELGADO, 1999). Unzureichende Verfügbarkeiten von Calcium und Magnesium, besonders während des Knollenansatzes, begünstigen nach PAWELZIK und DELGADO (1999) das Auftreten von Verfärbungen.

Die Witterung im Verlauf der Vegetation hat einen Einfluss auf die Neigung zur Schwarzfleckigkeit. Hohe Temperaturen und Trockenheit führen zu einem Anstieg der Gehalte an Ascorbinsäure, Zitronensäure und Äpfelsäure in der Kartoffelknolle (KOLBE, 1996). Hinzu kommt, dass laut Untersuchungen von PAWELZIK und DELGADO (1999) unter Trockenstress ein geringerer Anteil an freiem Tyrosin auszumachen ist. Damit wirken sich Trockenstress und Wassermangel positiv mindernd auf die Schwarzfleckigkeitsneigung aus. Dem gegenüber stehen negative Auswirkungen auf den Ertrag und die äußere Qualität bei mangelnder Wasserversorgung während des Knollenwachstums.

Neben den mechanischen Beanspruchungen, die im Laufe der Ernte und Nacherntebehandlung als auslösender Faktor für innere Knollenverfärbungen gelten (SCHUHMANN, 2009), sind ebenfalls die Einflussgrößen Knollentemperatur und der Reifegrad der Knollen zu berücksichtigen. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die Beschädigungen bei 5 °C Knollentemperatur doppelt so hoch liegen,

als bei 15 °C (PETERS, 1999). Je reifer und physiologisch älter die Knollen sind, desto anfälliger sind sie gegenüber Schwarzfleckigkeit (BOHL, 2011; HEINECKE, 2007).

Während der Lagerperiode verändern sich die Knollen hinsichtlich ihrer Physiologie. Die Maßnahmen zur Verhinderung von Verfärbungen während und nach der Lagerung sind auf das Vermeiden beschleunigter physiologischer Alterung gerichtet (SCHUHMANN, 2009). Fehler bei der Lagerung, die zu vermehrten Gewichtsverlusten, Lagerdruckstellen und zur Keimung führen, spiegeln sich laut PETERS (1996) nach einer mechanischen Belastung in einem erhöhten Anteil schwarzfleckiger Knollen wider. Maßnahmen zur Verminderung der Beschädigungsempfindlichkeit bestehen bei der Lagerung vor allem in der Begrenzung der Gewichtsverluste durch Aufrechterhaltung einer dauerhaft hohen relativen Luftfeuchtigkeit (LEPPACK, 1997) sowie der Vermeidung der Keimung und zu starker Austrocknung der Knollen durch Belüftung und partienspezifischer Temperaturführung im Lager (SCHUHMANN, 2009). Erschwerend kommt hinzu, dass sich in der Knolle während der Lagerungszeit eine Veränderung der Inhaltstoffzusammensetzung vollzieht, die mit einsetzender Keimung verstärkt wird. Laut SCHUHMANN (2009) werden durch die Keimung zahlreiche Knolleninhaltsstoffe remobilisiert, die anschließend in veränderter Form im Keim zu finden sind.

2.4 Einfluss der Auslagerung auf Beschädigungen

Einer amerikanischen Untersuchung zufolge weisen 42 % der Kartoffeln nach der Ernte Beschädigungen auf (PETERS, 1996). Somit ist der Ernteprozess am stärksten von beschädigungshervorrufenden Belastungen betroffen. Doch die Aufbereitung und Auslagerung der Knollen ist ein nicht zu verachtender Faktor für das Auftreten von äußeren und inneren Beschädigungen (LEPPACK, 1997). Untersuchungen von MOLEMA und BOUMAN (1996) haben ergeben, dass vor allem Schwarzfleckigkeit zu 62 % beim Auslagern, Sortieren, Waschen und Verpacken verursacht wird (MOLEMA et al., 1998). Hinzu kommen äußere Knollenschäden bedingt durch starke Stöße auf nicht gepolsterte Unterlagen, wie es im Zuge der Verladung von Kartoffeln oft der Fall ist. Vor dem Prozess der Aufbereitung und Auslagerung ist ein Aufwärmen der Knollen zu empfehlen, um die Beschädigungsempfindlichkeit zu senken (PETERS, 1996). Eine Erhöhung der Knollentemperatur unmittelbar vor mechanischer Belastung von 5 auf 15 °C verringert die Verfärbung Untersuchungen zufolge durchschnittlich um 50 % (LEPPACK, 1997). Nach OVERBECK (2014) gilt dies sowohl bei frischen als auch gelagerten, weichen Kartoffeln. Die Knollentemperatur ist ein technisch relativ einfach zu beeinflussender Faktor und hat daher eine besondere Bedeutung in Aufbereitungsanlagen (WORMANNS et al., 2001).

Einfluss kann auch über die Wahl der Aufbereitungs- bzw. Auslagerungstechnik genommen werden. In diesem Zusammenhang sind besonders die Anzahl und Höhe der Fallstufen zu berücksichtigen. Nach WORMANN (1999) steigt der Schwarzfleckigkeitsanteil bei gleicher Belastungssumme proportional zur mittleren Stoßkraft. Demnach sind wenige stärkere Stöße schädlicher als eine größere Anzahl schwacher Stöße. Laut PETERS (2015) rufen allerdings viele kleinere Stöße auf die gleiche Stelle an den Knollen (z. B. Kronen- oder Nabelende) vergleichbare Schäden hervor wie ein starker Stoß. Ferner haben Versuche von MOLEMA et al. (1998) ergeben, dass neben der Höhe der Belastung auch die Häufigkeit der Stöße an der gleichen Stelle der Knolle Einfluss auf die Verfärbungen hat. Demnach nimmt die Schwarzfleckigkeit an Volumen und Tiefe bei zunehmender Anzahl der Kollisionen zu. Andererseits resultierte aus den Untersuchungen ebenso, dass mehrere Stöße von geringer Energie weniger Schwarzfleckigkeit verursachen als eine einzige Stoßbelastung mit der gleichen Gesamtenergie (MOLEMA et al., 1998).

Neben der Vermarktung der Ware in Säcken oder „Big-Bags“, wird häufig auf einen Transport loser Kartoffeln zurückgegriffen. Zur losen Auslagerung stehen Kartoffelbetrieben verschiedene Verladetechniken zur Verfügung, um die Knollen auf Transportfahrzeuge zu befördern. Hier ist entscheidend, ob eine Loselagerung als Flächenlager oder eine Kistenlagerung erfolgt. Aus dem Flächenlager wird zumeist mithilfe von Radladern bzw. Gabelstaplern mit speziellen Aufnahmeschaufeln geladen. Bei der Kistenlagerung ist der Gabelstapler die Schlüsselmaschine, da er sowohl bei der Ein- als auch bei der Auslagerung genutzt wird (KTBL, 2013). Die Überladung kann sowohl mit der Schaufel als auch aus der gedrehten Kiste direkt über die Bordwand des Transportfahrzeuges erfolgen. Dabei fallen die Knollen aus ca. zwei Meter Höhe auf harten Untergrund, was eine starke Stoßbelastung nach sich zieht. Alternativ wurden stationäre und halbstationäre Drehgeräte für den Anbau an den Gabelstapler entwickelt, um Kartoffeln aus Kisten zu überladen. Damit kann eine Kiste seitlich sowie vorwärts um 180° über dem Transportmittel gedreht werden. Doch auch bei dieser Variante fallen die Knollen aus einer ähnlichen Höhe ungebremst und ohne Polsterung auf das Fahrzeug, was mit starken Stößen verbunden ist. Daher ist zu erwarten, dass bei diesen Verladevarianten ähnlich hohe Beschädigungsraten auftreten. Eine weitere, womöglich schonendere Variante der Überladung sehen viele Verarbeitungsbetriebe in der Anwendung sogenannter Fallsegel. Diese gegenüberliegend angeordneten Kunststoffsegel lassen die Knollen langsam und durch mehrere Richtungswechsel abfedernd auf das Fahrzeug herab. Dazu müssen die Kartoffeln zunächst unter Zuhilfenahme von Förderbandtechnik über die Höhe des Transportfahrzeuges hinaus befördert werden, um dann mehrere Fallsegel passierend, senkrecht herunter auf das Fahrzeug geleitet zu werden. Bei dieser Variante der Überladung werden die Knollen, anders als bei den anderen

Varianten der Verladung, vielen kleinen Stößen ausgesetzt. Laut WORMANN (1999) können auch kleinere Stöße zu schwarzfleckigen Stellen an Kartoffeln führen. Dennoch scheint das System mit Fallsegeln beachtlich schonender für die Knollen zu sein. Laut PRAEGER et al. (2013) kann der Einsatz von Fallsegeln die Transportstrecken produktschonender gestalten.

Um kritische und belastungsgefährdete Abschnitte in Aufbereitungslinien zu detektieren, werden laut PRAEGER et al. (2013) seit 30 Jahren künstliche bzw. elektronische Früchte eingesetzt, welche eine Messung der triaxialen Stoßbeschleunigung durchführen. In der Kartoffelproduktion kommt der Beschleunigungslogger ‚TuberLog‘ zum Einsatz. Dieser misst die maximalen Stoßbeschleunigungswerte, jedoch nicht die Geschwindigkeitsveränderungen innerhalb der Messverläufe (PRAEGER et al., 2013). „TuberLog“ ist laut Herstellerinformationen ein Beschleunigungs-Datenlogger, der die Stoßintensitäten misst und aufzeichnet (ESYS, 2017). Der Kartoffel-Dummy besteht aus einem Prozessor gesteuertem Datenspeicher, der von einer schützenden, synthetischen Schicht umgeben ist. Form und Aussehen wurden einer echten Kartoffel angepasst. Er zeichnet die Stoßbelastungen in der gemeinsamen Bewegung mit den Kartoffeln auf und lokalisiert Druckstellen und Stoßbelastungen verursachende Maschinenteile (LISHMAN, 2014). Weiterhin erfasst der Datenlogger alle Stöße und Temperaturwerte über eine wählbare Messdauer. TuberLog erfasst allerdings nicht die Stoßbelastungen in echten Kartoffeln und kann daher nicht alle Quellen der Beschädigungen und Druckstellen mit bedingungsloser Sicherheit entdecken (LISHMAN, 2014). Mit etwas Erfahrung lassen sich die Messergebnisse jedoch aussagekräftig interpretieren.

3 Material und Methoden

3.1 Sortenwahl

Für den Versuch wurden die Speisesorten ‚Belana‘ und ‚Allians‘ sowie die Wirtschaftssorte ‚Euroresa‘ ausgewählt. Alle drei Sorten stammen aus dem Hause des Züchtungs- und Vermarktungsunternehmens Europlant Pflanzenzucht GmbH. Während ‚Belana‘ laut BUNDESSORTENAMT (2013) zu den Speisesorten der frühen Reifegruppe (RG II) zählt, wird ‚Allians‘ in die mittelfrühe Reifegruppe (RG III) eingeordnet (EUROPLANT, 2017). ‚Euroresa‘ hingegen ist der mittelspäten bis späten Reifegruppe (RG IV) zuzuordnen (BUNDESSORTENAMT, 2013). Die jeweilige Einstufung für die Beschädigungsempfindlichkeit und Schwarzfleckigkeitsneigung sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Bewertungen stammen vom Bundessortenamt beziehungsweise vom Züchter Europlant (*). Zur bewerteten Beschädigungsempfindlichkeit ist jedoch zu erwähnen, dass in dieser Einstufung die Nekrosen als innerer Qualitätsmangel betrachtet werden und nicht die in diesem Versuch berücksichtigten äußeren Beschädigungen. Daher ist diese Einstufung für die Auswertung nur von geringer Bedeutung. Die Sorte ‚Belana‘ wird in der Beschädigungsempfindlichkeit mit mittel und in der Schwarzfleckigkeitsneigung mit gering bewertet. ‚Allians‘ wird bei beiden Mängelerscheinungen mit einer geringen Anfälligkeit eingestuft. Aufgrund ihrer langovalen Knollenform kann sie infolge starker Stoßbelastung dennoch schnell von Beschädigungen betroffen sein. Dementgegen steht ‚Euroresa‘ als Stärkesorte, welche mit mittleren bis hohen Einstufungen für beide Kriterien bewertet wurde.

Tabelle 1: Einstufung der Sorten (BUNDESSORTENAMT, 2013; EUROPLANT, 2017)

Sorte	Reifegruppe	Beschädigungs-empfindlichkeit	Neigung zur Schwarzfleckigkeit
Belana	früh	mittel	gering
Allians	mittelfrüh	gering*	gering*
Euroresa	mittelspät	mittel – hoch	mittel – hoch

*Angaben vom Züchter

3.2 Anbaubedingungen

Die Kartoffelknollen für den Versuch wuchsen auf den Flächen des Landwirtschaftsbetriebes der GbR Wallstawe. Der Betrieb befindet sich im Altmarkkreis Salzwedel westlich der Hansestadt Salzwedel. Es befinden sich insgesamt ca. 300 ha Kartoffeln im Anbau, darunter Speise-, Stärke- und Veredelungskartoffeln. Außerdem werden Pflanzkartoffeln für die eigene Nachzucht und zur Vermarktung produziert.

Im Anbaujahr 2016 lag der Jahresniederschlag des Standortes Seehausen (Altmark) unweit von Salzwedel bei rund 476 mm. Das sind lediglich 85% im Vergleich zum Mittel der Jahre 1981 bis 2010. Mit einer Jahrestemperatur von durchschnittlich 10,1°C war es 2016 um 0,9°C wärmer, als im Mittel der Jahre 1981 bis 2010 (WETTERKONTOR, 2017).

Die Kartoffeln wuchsen auf zwei verschiedenen Schlägen. Die Sorten ‚Belana‘ und ‚Allians‘ befanden sich nebeneinander auf einem lehmigen Sand mit 44 Bodenpunkten, mit der Möglichkeit einer Beregnung. ‚Euroresa‘ wuchs unberegnert auf einem lehmigen Sand mit 46 Bodenpunkten. Auf beiden Standorten befanden sich Zuckerrüben als Vorfrucht. Nach einer Pflugfurche wurden zunächst beide Flächen am 14.04.2016 mit 315 kg Pantentkali pro Hektar gedüngt. Die Bestellung der ‚Belana‘ und ‚Allians‘ folgte am 15.04.2016. ‚Euroresa‘ wurde am 25.04.2016 gepflanzt. Die Pflanzkartoffeln wurden mit 0,2 Liter Moncut flüssig je Tonne Pflanzgut gegen knollenbürtige Infektionen mit *Rhizoctonia solani* gebeizt. Im Anschluss an die Pflanzung erfolgte eine Düngung mit 3,4 dt/ha schwefelsaurem Ammoniak für die Sorten ‚Belana‘ und ‚Allians‘. Die Fläche, auf der die Sorte ‚Euroresa‘ stand wurde mit einem ausgeschriebenen Volldünger für Stärkekartoffeln (4,3 dt/ha) gedüngt und später mit 3,2 dt/ha AHL nachgedüngt. Nach der Düngung auf den Damm erfolgte das Häufeln.

Im Zuge der Bestandesführung in Form des Pflanzenschutzes wurde auf eine möglichst lange Gesunderhaltung der Pflanzen geachtet. ‚Belana‘ und ‚Allians‘ wurden darüber hinaus am 07.06.2016 sowie am 30.06.2016 jeweils mit 30mm Zusatzwasser beregnet. Die Sikkation erfolgte auf beiden Flächen in zwei Durchgängen mit jeweils 2 l/ha Reglone.

3.3 Ernte und Lagerung

Die Ernte der etwas früher reifenden Sorten ‚Belana‘ und ‚Allians‘ erfolgte am 27.08.2016 bzw. am 30.08.2016. Die später reifende ‚Euroresa‘ wurde am 13.09.2016 geerntet. Alle Knollen wurden per Hand geerntet, um die potenzielle Beschädigung durch eine maschinelle Rodung auszuschließen und die Kartoffeln so wenig wie möglich zu belasten. Von jeder Sorte wurden etwa 450 kg geerntet. Die Knollen wurden direkt auf dem Feld in Raschelsäcke (25 kg) abgefüllt und konnten derweil etwas abtrocknen. Anschließend erfolgte der Transport zur Kartoffellagerhalle der GbR Wallstawe in Dähre sowie die Einlagerung der Kartoffeln. Die abgesackten Knollen wurden aus Gründen einer schonenden Lagerung möglichst flach

liegend auf Holzpaletten platziert (Abb. 5), um mögliche Lagerdruckstellen zu vermeiden und eine optimale Belüftung zu gewährleisten. Die Kartoffeln befanden sich zusammen mit Pflanzkartoffeln in einem Kistenlager und wurden durch eine Raumbelüftung temperiert. Nach der ca. 14-tägigen Abtrocknungs- und Wundheilungsphase bei etwa 14°C Knollentemperatur und 93% relativer Luftfeuchtigkeit, wurden die Knollen auf eine Temperatur von 5°C abgekühlt.

Die Lagerungstemperatur in der Hauptlagerungsphase bewegte sich zwischen 5°C und 6°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 85-90% (Abb. 5).



Abbildung 5: Schonende Lagerung (links) und Temperierung (rechts) der gesackten Knollen während der Hauptlagerungsphase in Dähre (Fotos vom 02. Dezember 2016)

3.4 Aufbereitung der Knollen und Versuchsdurchführung

Die Sortierung und Einfärbung der Versuchsknollen erfolgte vom 20. Februar 2017 bis 23. Februar 2017 auf einem Sortiertisch der Lagerhalle in Dähre. Nachdem die Knollen grob gewaschen wurden und abgetrocknet waren, wurden zunächst die Stärkegehalte mittels Stärkewaage in Wallstawe ermittelt. ‚Belana‘ wies einen Gehalt von 13,9% Stärke auf, ‚Allians‘ zeigte einen Stärkegehalt von 11,8% und für ‚Euroresa‘ wurden erwartungsgemäß 20,9% Stärke gemessen. Im Anschluss folgte per Handsortierung die Auslesung äußerlich unbeschädigter Knollen mittlerer Größe (ca. 40-50 mm Sortierung) sowie die Abfüllung in Probegrößen von 51 Knollen (Abb. 6). Danach wurden die Versuchskartoffeln mit handelsüblicher weißer Wandfarbe, 1:1 verdünnt mit Wasser, eingefärbt. Die Färbung hat den einzigen Zweck, die Knollen nach der Verladung zusammen mit anderen Kartoffeln (Füllkartoffeln), auf dem Transportfahrzeug wiederzufinden. Die Farbe wurde im Maurerkübel gemischt, sodass die Probekartoffeln im Sack eingetaucht werden konnten (Abb. 6). Anschließend konnte die Farbe kurz abtropfen und die Proben in Vorkeimkisten gefüllt werden. Zur Abtrocknung standen die Knollen in einem separaten, beheizten Raum, bevor sie wieder in der belüfteten Lagerhalle platziert wurden.



Abbildung 6: Sortierung (links) und Einfärbung (rechts) der Versuchskartoffeln

Die Versuchsdurchführung erfolgte vom 28. Februar bis 02. März 2017 auf dem Betriebshof der Kartoffellagerhalle in Dähre. Die Verladung erfolgte aus einer Drahtkiste mit knapp 1,5 t Füllgewicht bzw. über das Förderband und Fallsegel auf einen leeren Dreiseitenkipper-Anhänger (18 t) der Marke Kröger. Als Füllmaterial der Großkisten dienten Verarbeitungskartoffeln der Sorte ‚Eldena‘. Es wurde darauf geachtet, dass die Füllkartoffeln bei allen Varianten annähernd die gleiche Knollentemperatur von 5°C haben. Die gefärbten Probeknollen sollten bei der Versuchsdurchführung vorzugsweise eine Temperatur von weniger als 4°C vorweisen, um eine hohe Beschädigungsempfindlichkeit und Schwarzfleckigkeitsneigung herauszufordern. Zur Kühlung der Knollen wurde durch die Versuchsstation Dethlingen ein Kühlanhänger bereitgestellt, der die Knollentemperatur der Probekartoffeln während der gesamten Durchführung konstant bei ca. 3 - 3,5°C hielt.

Innerhalb des Versuches sollen drei verschiedene Varianten der Verladung untersucht werden. Es handelt sich dabei um die in der Praxis häufig angewandten Varianten. Die Verladung mit dem Fallsegel, das seitliche Kippen der Kiste mit dem Gabelstapler und das Vornüberkippen der Kiste mittels eines speziellen Drehgerätes für den Gabelstapler. Die Bezeichnung der Varianten und der Sorten kann den Tabellen 2 und 3 entnommen werden. Es wurden jeweils vier Wiederholungen (Bezeichnung a-d) je Sorte und Variante angesetzt.

Tabelle 2: Bezeichnung der Varianten

Variante	Bezeichnung
Kontrolle	1
Fallsegel	2
seitlich Kippen	3
vorwärts Kippen	4

Tabelle 3: Bezeichnung der Sorten

Sorte	Bezeichnung
Allians	A
Belana	B
Euroresa	C

Die Proben der Kontrolle (Variante 1) wurden bis auf die Verladung ebenso behandelt wie die üblichen Varianten. Das heißt sie wurden ebenso sortiert und gefärbt, aber nicht auf das Transportfahrzeug übergeladen.

Für die Varianten 3 und 4, bei denen die Knollen direkt aus der Kiste in das leere Transportfahrzeug befördert wurden, fertigte die VSD eine Skizze für die Einlage der Knollen in die 1,5 t - Kiste an (Abb. 8).

Nach dieser Vorlage erfolgte die Platzierung der Knollen in drei Schichten in der Kiste. Die Maße der Kiste sind 225(B)x112(T)x111(H) (in cm), wobei man berücksichtigen muss, dass in der Höhe die „Füße“ und „Ohren“ der Kiste enthalten sind.

Die erste Einlageschicht befand sich bei 27 cm Füllhöhe, die zweite bei 54 cm und die dritte lag bei 81 cm Füllstand. Mit weißer Kreide wurden die Schichten an der Drahtkiste gekennzeichnet, sodass die Füllschichten bei jeder Verladung möglichst die gleiche Höhe hatten (Abb. 7).



*Abbildung 7:
Kennzeichnung der
Füllschichten*

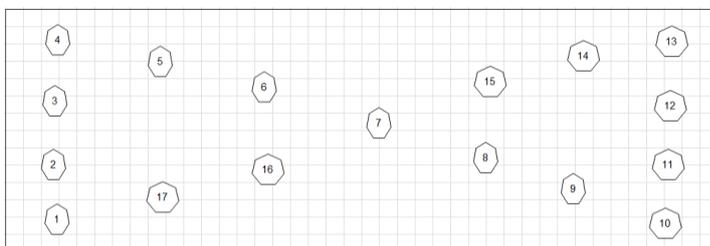


Abbildung 8: Skizze (oben) und tatsächliche Einlage (unten) der Versuchsknollen

Variante 2: Verladung lose über Fallsegel

Die Verladestation in Dähre beinhaltet einen Annahmehunker, in welchen die zu verladenen Kartoffeln mit dem Gabelstapler aus der Kiste gekippt werden (Abb. 9). Anschließend laufen die Knollen über einen Spiralwalzenenterder, bevor sie auf dem Förderband in einem 45° Winkel hinauf zu den Fallsegeln transportiert werden. Durch die Fallsegel wird die Ware über viele kleine Fallstufen schonend auf den Anhänger abgelassen.



Abbildung 9: Annahmehunker, Spiralwalzen, Förderband

Der Abstand von einem Fallsegel zum nächsten beträgt 30 cm. Das unterste Fallsegel ist bei leerem Transportfahrzeug noch 20 cm vom Anhängerboden entfernt (Abb. 10). Insgesamt haben die Knollen eine Fallstrecke von 4 Metern, die jedoch durch die Fallsegel abgefangen wird. Bei dieser Verladevariante wurden die weißen Versuchsknollen nicht in die Drahtkiste eingelegt, sondern auf das Band platziert, welches zu den Fallsegeln hochfördert. Da in diesem Verfahren des Versuches lediglich die Wirkung des Fallsegels betrachtet wird und nicht die des Annahmehunkers sowie des Enterders, wurden die weißen Probeknollen für den Versuch in genau festgelegten Abständen unten auf das schräg fördernde Band zwischen Bunker und Fallsegel gelegt. Die

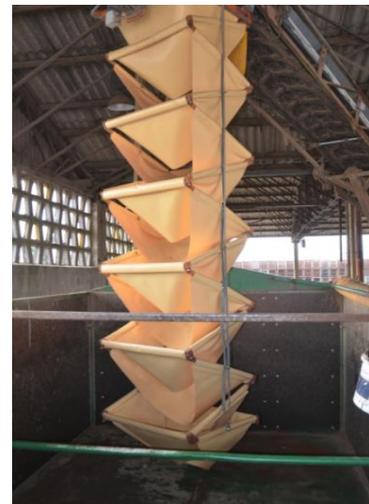


Abbildung 10: ausgefahrene Fallsegel

Füllkartoffeln („Eldena“) wurden in den Annahmehunker gefüllt. Die Menge der verladenen Kartoffeln entsprach der Füllmenge einer 1,5 t Drahtkiste. Sobald die ersten Füllkartoffeln das hochfördernde Band erreichten, wurde begonnen per Stoppuhr die Zeit zu nehmen. Jede dritte Sekunde auf der Stoppuhr wurde eine weiße Knolle auf das Förderband zwischen den Füllkartoffeln platziert (Abb. 11), sodass zwischen den unterschiedlichen Varianten, Sorten und Wiederholungen vergleichbare Voraussetzungen herrschten. Es wurde ebenso berücksichtigt und gekennzeichnet, dass das Transportfahrzeug bei jedem Verladevorgang auf der gleichen Position unter dem Fallsegel platziert war. Im Anschluss folgte das Auslesen bzw. Absammeln der weißen Knollen auf dem Transportfahrzeug. Die ausgelesenen Probekartoffeln wurden mit der jeweiligen Probenbezeichnung in Raschelsäcke abgefüllt. Die Füllkartoffeln wurden abermals in den Annahmehunker zurückgekippt und dienten der nächsten Versuchsprobe als Füllmaterial.



Abbildung 11: Auflegen der weißen Knollen (links) und Auftreffen auf dem Transportfahrzeug (rechts)

Variante 3: seitliches Kippen der Kiste über dem Transportfahrzeug

Bei dieser Variante wurde die Drahtkiste mit dem serienmäßigen, seitlich drehenden Drehgerät des Gabelstaplers direkt über dem leeren Transportfahrzeug ausgekippt. Die Kiste drehte dabei seitlich um 180° . Es wurde dabei berücksichtigt, dass die Abstände des Gabelstaplers und der Kiste zum Transportmittel bei jeder Variante, Sorte und Wiederholung annähernd übereinstimmen (Abb. 12). Dies konnte mithilfe von Messungen und Kennzeichnungen am Anhänger sowie Gabelstapler realisiert werden. Der Fall der ersten Knolle innerhalb des Drehvorgangs wurde bei einer Höhe von 1,62 m über dem Anhängerboden gemessen. Die letzte Knolle fiel in einer Höhe von 1,42 m. Ebenso eine möglichst analoge Geschwindigkeit des Kippvorgangs jeder Variante wurde angestrebt. Diese konnte durch die Drehzahl des Gabelstaplers beeinflusst werden. Die Zeit für die Drehungen bewegte sich zwischen 10-12 Sekunden, was eine durchschnittliche Verladezeit von 11 Sekunden pro Kiste bedeutet. Einheitliche Bedingungen sind für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse unerlässlich. Nach dem Verladevorgang folgte das Auslesen der weißen Versuchskartoffeln aus dem Anhänger. Der Anhänger wurde rückseitig an ein horizontal laufendes Förderband geschoben, etwas hoch gekippt und die Füllkartoffeln wurden über das Band wieder zurück in die Kiste gefüllt. Anschließend erfolgte sofort die Wiederbefüllung der Kiste mit der nächsten Probe weißer Knollen nach dem Einlagemuster in den drei Schichten.



Abbildung 12: Ausgangsposition (links) und Drehvorgang der seitlichen Drehung (rechts)

Variante 4: vorwärts Kippen der Kiste über dem Transportfahrzeug

Bei dieser Variante wurde die Drahtkiste mit einem speziellen Drehgerät der Marke WIFO vorwärts um 180° drehend direkt über dem Transportfahrzeug entleert. Die Kiste wird in den Rahmen des Drehgerätes eingespannt und der Rahmen dreht die Kiste unter Zuhilfenahme von Hydraulik.

Es wurde dabei berücksichtigt, dass die Abstände des Gabelstaplers und der Kiste zum Transportmittel bei jeder Variante, Sorte und Wiederholung annähernd übereinstimmen. Dies wurde mittels Messungen und Kennzeichnungen an Anhänger und Gabelstapler ermöglicht.

In der optimal möglichen Ausgangsposition befand sich die Unterkante der Kiste 1,70 m über dem Anhängerboden (Abb. 13). Die erste Knolle fiel aus einer Höhe von 2,20 m über dem Anhängerboden und die letzte verließ die Kiste in 1,60 m Höhe. Eine möglichst einheitliche Drehgeschwindigkeit jeder Variante wurde durch die Drehzahl des Gabelstaplers eingehalten. Die durchschnittliche Drehzeit betrug 9 Sekunden. Nach dem Verladevorgang erfolgte das Auslesen der weißen Knollen sowie die Wiederbefüllung der Kiste nach gleichem Muster, wie bei der Variante 3.



Abbildung 13: Ausgangsposition (links) und Drehvorgang der Verladung vornüber (rechts)

Im Anschluss an die Versuchsdurchführung wurden die Knollen zur Versuchsstation nach Dethlingen transportiert und dort in der Kühlung bei ca. 4°C eingelagert. Nach 7-wöchiger Lagerung, konnten die Kartoffeln mit Wasser von der weißen Farbe befreit und bonitiert werden.

3.5 Bonitieren der Beschädigungen und Verfärbungen

Die Bonitur der Proben wurde vom 25. bis 27. April 2017 im Labor der VSD durchgeführt. Berücksichtigt wurde die Anzahl der äußeren Beschädigungen sowie Anzahl und Fläche der Verfärbungen je Knolle. Dazu wurden die Knollen zunächst ungeschält betrachtet und anschließend geschält auf Verfärbungen untersucht. Zusätzlich wurden die Gesamtgewichte der beschädigten bzw. verfärbten Knollen einer Probe erfasst.

Beim Bonitieren der äußeren Beschädigungen wurde unterschieden zwischen einem normalen Schalenriss oder einer Abschürfung der Haut, und Thumbnails-Cracks als spezielle Form der äußeren Defekte. Beschädigungen wurden nach der Anzahl je Knolle und Probe aufgeführt. Die Menge der Thumbnails an einer Knolle wurde durch die Bewertung leicht (L), mittel (M) und schwer (S) beschrieben. Die Schwarzfleckigkeit wurde anhand der Anzahl an Verfärbungen je Knolle und Probe sowie der prozentual verfärbten Fläche an jeder Knolle bonitiert. Kriterien für die jeweiligen Schäden sind in Tabelle 4 dargestellt. Zusätzlich wurden die jeweiligen Gewichte beschädigter Knollen und das Gewicht prozentual vom Gesamtgewicht der Probe für äußere Beschädigungen sowie Verfärbungen erfasst.

Tabelle 4: Kriterien zur Bonitur der Schadbilder

Äußere Beschädigung	Thumbnails	Schwarzfleckigkeit
<ul style="list-style-type: none"> - Schürfwunden oder Schalenrisse - deutliche Verletzung des Gewebes erkennbar 	<ul style="list-style-type: none"> - halbmondförmige Einrisse der Schale (Fingernagelabdruck) - Leicht(L) = < 10% der Knollenoberfläche - Mittel(M) = 10 – 50% der Knollenoberfläche - Schwer(S) = > 50% der Knollenoberfläche 	<ul style="list-style-type: none"> - dunkle Verfärbung des Knollengewebes unter der Schale - keine deutliche Abgrenzung zu gesundem Gewebe erkennbar

3.6 Elektronische Messung der mechanischen Belastung

Zusätzlich wurde mithilfe des elektronischen Kartoffel-Dummys „TuberLog“ der Firma ESYS die mechanische Belastung jedes Verladeverfahrens gemessen. TuberLog kann Impulse und Stöße sowie die Temperatur speichern. Der Messbereich für die Stoßintensität beläuft sich auf 30 bis 250 ‚g‘. ‚g‘ steht für die Erdbeschleunigung (Gravitation).

Für Beschädigungen an Kartoffelknollen werden laut PRAGER et al. (2013) erst Stöße über 60 g als relevant erachtet. Von der Versuchsstation Dethlingen und in der vorliegenden Untersuchung werden jedoch auch die Stöße ab 30 g berücksichtigt. Die erfassten Daten können anschließend per USB oder Bluetooth auf dem Smartphone, Tablet oder PC ausgelesen werden (ESYS, 2017).

Die Platzierung der TuberLog in der Kiste bzw. auf dem Förderband variierte. Bei Variante 2 wurde die elektronische Knolle jeweils viermal zu Beginn, in der Mitte und zum Ende des Gutstroms auf das Förderband abgelegt. Die Ablage in der Drahtkiste im Zuge der Varianten 3 und 4 erfolgte an unterschiedlichen Positionen nach dem Muster der Einlage der Beschädigungsproben sowie in den verschiedenen Schichten (Abb. 14).



Abbildung 14: TuberLog oben in der Kiste platziert

Die Auswertung der gemessenen Werte erfolgte mit dem TuberLog-Auswertungsprogramm und der Software Microsoft Excel.

3.7 Statistische Auswertung

Die Darstellung der Werte wurde mit der Software Microsoft Excel vorgenommen. Die statistische Verrechnung erfolgte mit der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics.

Im Versuch werden mit der Verladevariante und der Sorte zwei Einflussgrößen für das Auftreten von Beschädigungen bzw. Schwarzfleckigkeit untersucht. Es wurde zunächst eine „Einfaktorielle ANOVA“ (Univariate Varianzanalyse) mit dem Faktor Verladevariante durchgeführt. Dabei stellt die Variante die unabhängige Variable dar und wird mit mehreren Zielvariablen verglichen. Die Mittelwerte der abhängigen Variablen werden innerhalb der Varianten verglichen und auf signifikante Unterschiede getestet. Das Signifikanzniveau wurde mit 5 % ($p \leq 0,05$) angenommen. Für die Varianzanalyse müssen die auszuwertenden Daten normalverteilt sein. Ein Nachweis der Normalverteilung wurde mittels

KS-Test durchgeführt. Außerdem wurde die „Einfaktorielle ANOVA“ mittels T-Test für die Faktoren Variante und Sorte durchgeführt. Die Auswertung mithilfe des Konfidenzintervalls der Mittelwerte gibt Aufschluss darüber, wie präzise die Lageschätzung eines Parameters ist. Es wird der Bereich (Minimum und Maximum) beschrieben, welcher mit einer 95 prozentigen Häufigkeit (Konfidenzniveau) den Mittelwert einschließt (WIKIPEDIA, 2017). Weiterhin wurde eine „Mehrfaktorielle ANOVA“ in Form eines Post-Hoc-Tests durchgeführt. So können Mittelwertvergleiche in mehreren Stufen vorgenommen werden und es kann überprüft werden, ob sich die Mittelwerte signifikant voneinander unterscheiden.

4 Ergebnisse

4.1 Einfluss der Sorte

Die äußeren Beschädigungen sowie innere Verfärbungen sind anhand des Gewichts der beschädigten bzw. verfärbten Knollen prozentual zum Gesamtgewicht der Probe betrachtet worden. In der Abbildung 15 und 16 sind die Mittelwerte der Gewichtsprozentage aller Proben einer Sorte für die Knollen mit Thumbnail-Rissen sowie den anderen äußeren Beschädigungen dargestellt. Bei den Thumbnails wurden unter Beachtung des Bewertungsschlüssels leicht, mittel und schwer, lediglich leichte Beanstandungen an den Knollen gefunden. Auffallend ist, dass die Sorte ‚Allians‘ beim Befall mit Thumbnails eine höhere Anfälligkeit zeigt, als die Sorten ‚Belana‘ und ‚Euroresa‘. Auch bei der Menge der Beschädigungen ist ‚Allians‘ ebenfalls vorn, dicht gefolgt von der ‚Euroresa‘. Zusammengefasst ist zu sagen, dass insgesamt unter Berücksichtigung aller Proben relativ wenige äußere Defekte aufgetreten sind. Ferner ist zu erkennen, dass bei allen Sorten mehr Beschädigungen, d.h. Schalenrisse und Hautabschürfungen auftraten, als Thumbnail-Cracks.

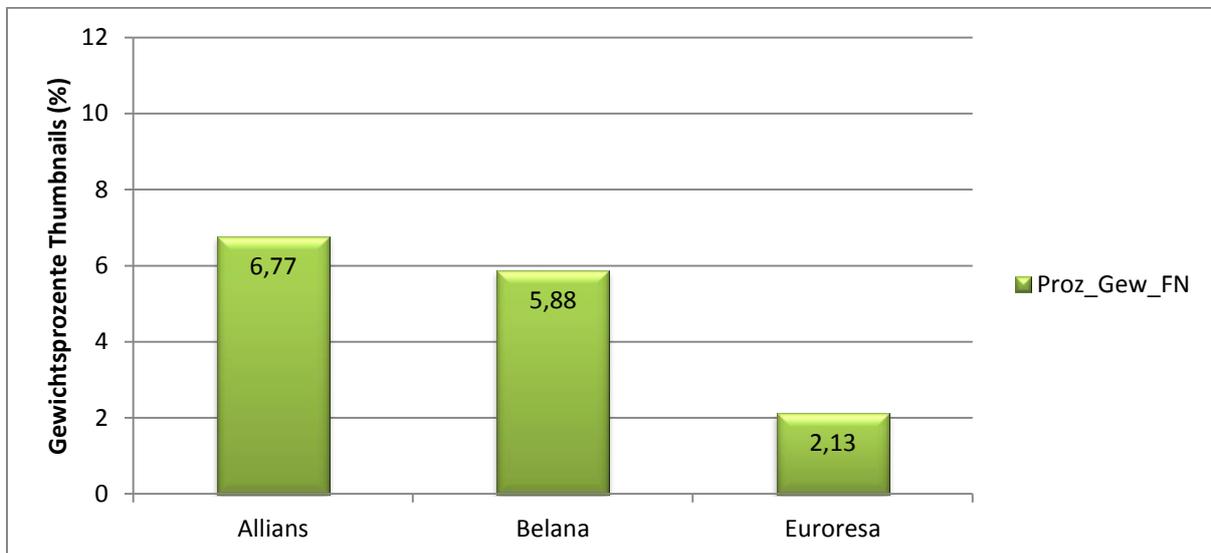


Abbildung 15: Gemittelte Gewichtsprozentage der Thumbnail-Cracks in Abhängigkeit der Sorte

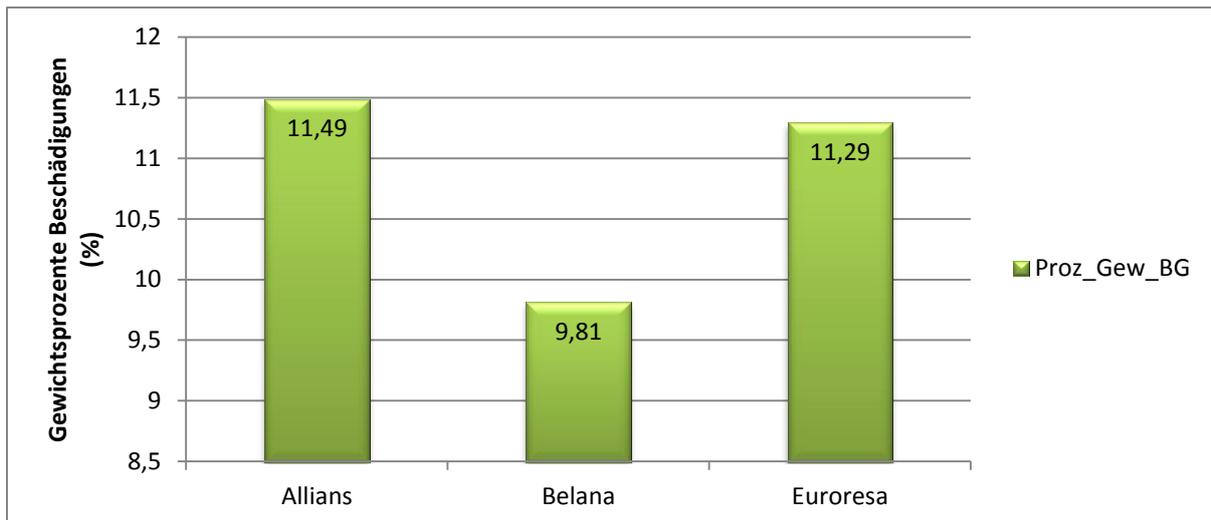


Abbildung 16: Gemittelte Gewichtsprozent der äußerlich beschädigten Knollen (ohne Thumbnails) in Abhängigkeit der Sorte

Betrachtet man die Gewichtsprozent der Thumbnails und der weiteren äußeren Defekte zusammen, stellt sich heraus, dass die Sorte ‚Allians‘ eine höhere Empfindlichkeit für äußere Beschädigungen aufzeigt und ‚Euroresa‘ den größten Anteil äußerlich unbeschädigter Knollen vorweist (Abb. A1a). Dem Ergebnis der Varianzanalyse ist zu entnehmen, dass die Sorten sich in den untersuchten Parametern der äußeren Schädigungen signifikant unterscheiden. In Abbildung A1a im Anhang ist der gemittelte Gewichtsanteil äußerlich unbeschädigter Knollen vom Gesamtgewicht für die drei Sorten dargestellt. Dieser bestätigt, dass ‚Euroresa‘ im Versuch die geringste äußere Beschädigungsrate zeigt. ‚Allians‘ wurde äußerlich am beschädigungsreichsten bonitiert.

Bei der Untersuchung der Schwarzfleckigkeit an den Knollen wurde deutlich, dass die Sorte ‚Allians‘ sichtlich weniger Knollenverfärbungen aufzeigt, als die anderen beiden Sorten. ‚Euroresa‘ weist eindeutig am meisten Verfärbungen vor. Anhand der mittleren Gewichte aller Proben wurde dies in Abbildung 17 verdeutlicht. ‚Allians‘ zeigte einen verschwindend geringen Anteil verfärbter Knollen von durchschnittlich 49,06 g bei 3934,18 g Probengesamtgewicht im Mittel der Proben, was einen prozentualen Wert von 1,2 % verfärbten Knollen ergibt. ‚Belana‘ überbot diesen Wert mit durchschnittlich 234,51 g bei gemitteltem 3320,75 g Probengesamtgewicht. Das ergibt 7,1 % verfärbte Kartoffeln im Mittel der Proben. ‚Euroresa‘ liegt mit einem durchschnittlichen Anteil von 787,25 g bei 3279,38 g gemitteltem Gesamtgewicht aller Proben und 24 % eindeutig höher im prozentualen Anteil verfärbter Knollen.

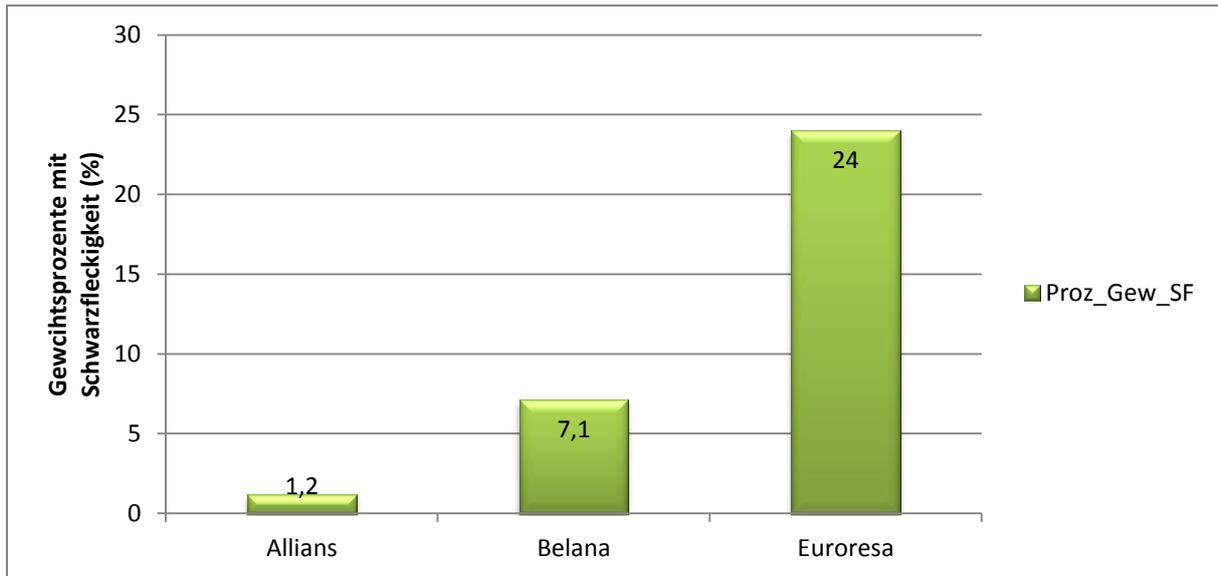


Abbildung 17: Gemittelte Gewichtsprozent der verfärbten Knollen in Abhängigkeit der Sorte

Die Varianzanalyse ergab zudem, dass die Ausprägung der Schwarzfleckigkeit zwischen den Sorten eine sehr hohe Signifikanz zeigt. Das unterschreibt die weitaus unterschiedlichen Ergebnisse der Gewichtsprozent.

4.2 Einfluss der Verladetechnik

Die Auswertung und der Vergleich der drei verschiedenen Verladevarianten sowie der Kontrolle erfolgten ebenso mittels der Gewichtsprozent beschädigter Knollen in Abhängigkeit vom Gesamtgewicht der Proben. Beim Vergleich der Varianten in den untersuchten Parametern zeigen sich nur geringe Unterschiede auf. In den Abbildungen 18 und 19 sind die mittleren Gewichtsprozent der Knollen mit Thumbnail-Cracks sowie der weiteren äußeren Schäden dargestellt. Unter Berücksichtigung des Bewertungsschlüssels der Thumbnail-Cracks in leicht, mittel und schwer, können die Bewertungen mittel und schwer vernachlässigt werden, da lediglich leichte Beanstandungen an den Knollen zu erkennen waren.

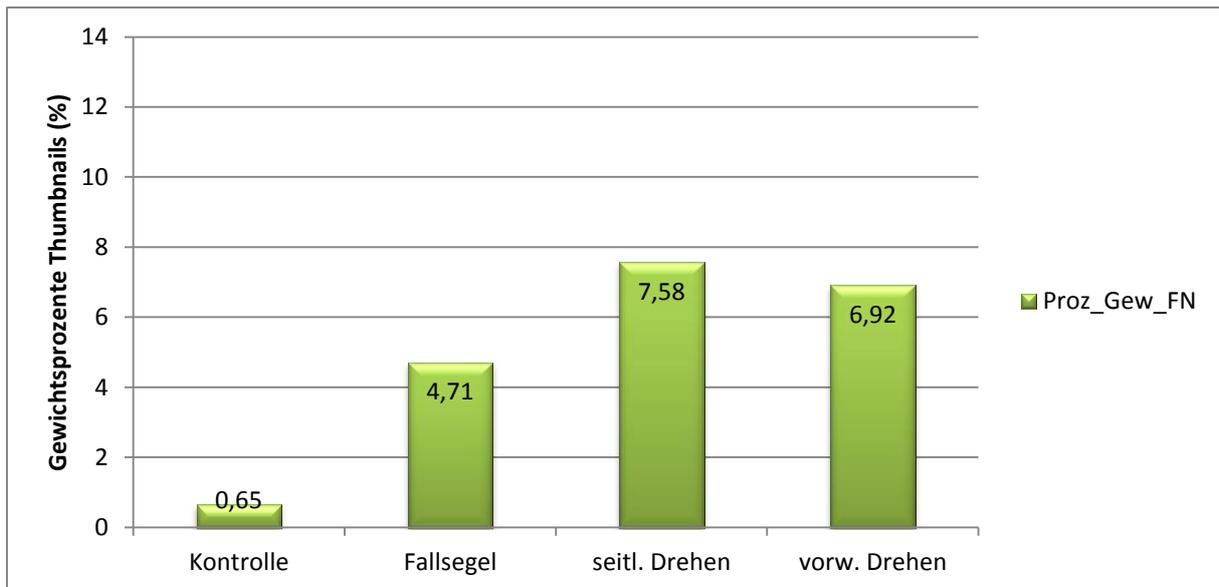


Abbildung 18: Gemittelte Gewichtsprozent der Thumbnail-Cracks in Abhängigkeit des Verladeverfahrens

Der Abbildung 18 ist zu entnehmen, dass die Unterschiede zwischen den Verfahren, was die Thumbnail-Verletzungen betrifft, geringfügig sind. Dennoch treten beim Fallsegel erkennbar weniger halbmondförmige Schalenrisse auf, als bei den kistendrehenden Verfahren. Der seitliche Drehvorgang zeigt geringfügig mehr Thumbnail-Verletzungen, als der Drehvorgang vorwärts. Dies spiegelt sich ebenfalls in der Auswertung der Anzahl der Thumbnails je Probe wieder. Ein Vergleich des Minimum und Maximum des Konfidenzintervalls sowie dem Mittelwert und der Standardabweichung im Mittel der Proben ist in einer veranschaulichenden Darstellung im Anhang in Abbildung A3 zu finden.

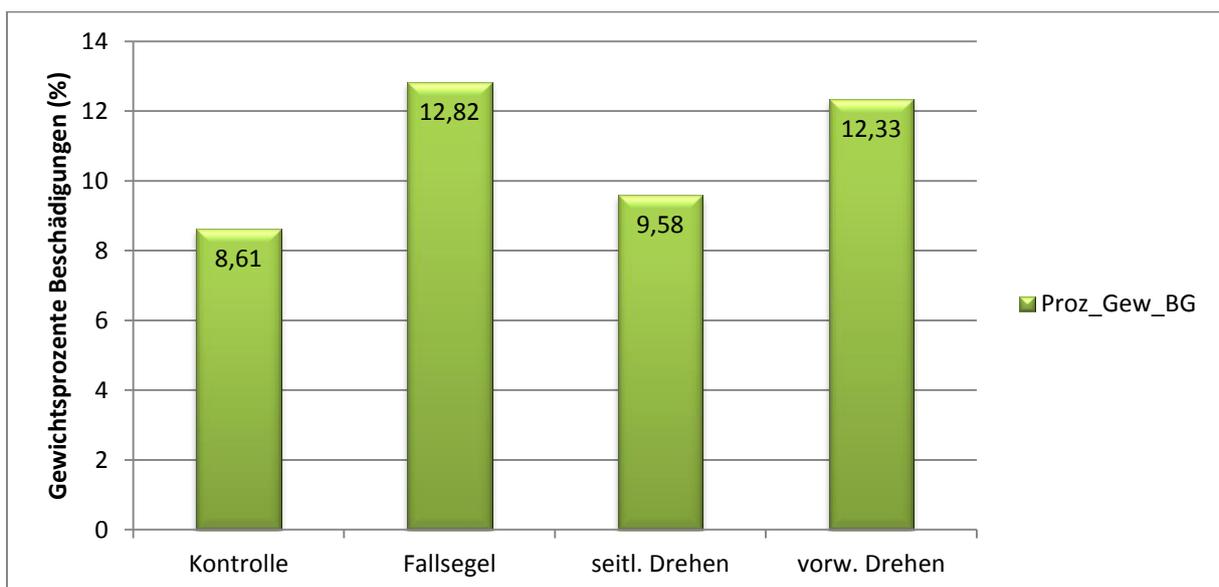


Abbildung 19: Gemittelte Gewichtsprozent der äußerlich beschädigten Knollen (ohne Thumbnails) in Abhängigkeit des Verladeverfahrens

Der Vergleich der äußeren Beschädigungen zeigt noch enger zusammenliegende Werte zwischen den Varianten. Hier ist hervorzuheben, dass die Kontrolle eine ungewöhnlich hohe Beschädigungsrate vorweist. Weiterhin fällt auf, dass das Verfahren mittels Fallsegel im Gegensatz zu den wenigen Thumbnail-Cracks, eine relativ hohe Beschädigungsrate anzeigt. Die Kistendrehung vorwärts weist hier die höchste Beschädigungsrate vor. Anhand der Gewichtsprozentage in Abb. 19 noch nicht erkennbar, sind diese Beobachtungen im Vergleich der Anzahl der äußeren Beschädigungen je Probe, anhand von Minimum, Maximum des Konfidenzintervalls sowie Mittelwert und Standardabweichung in der ausführlichen Abbildung A4 im Anhang bestätigt.

Die Gewichtsprozentage der Knollen ohne äußere Defekte in Abhängigkeit vom mittleren Gesamtgewicht aller Proben einer Variante unterstreichen diese geringen Unterschiede. Diese sind im Anhang der Abbildung A2 zu entnehmen. Allerdings kann trotz der geringen Differenzen festgestellt werden, dass das Verfahren Fallsegel insgesamt am wenigsten äußere Schäden, d.h. Thumbnail-Cracks und andere äußere Beschädigungen zusammengenommen, zeigt. Gefolgt von der seitlichen Drehung. Die Drehung der Kiste vornüber weist in diesem Versuch die meisten äußeren Schäden vor (Abb. A4/ Anhang).

Die Unterschiede zwischen den Verfahren was die Menge der schwarzfleckigen Knollen betrifft, sind insofern gegeben, dass die Variante Fallsegel im Mittel etwas weniger verfärbte Knollen hervorbrachte. Die beiden Kisten drehenden Varianten zeigten ungefähr die gleiche Menge an verfärbten Kartoffeln.

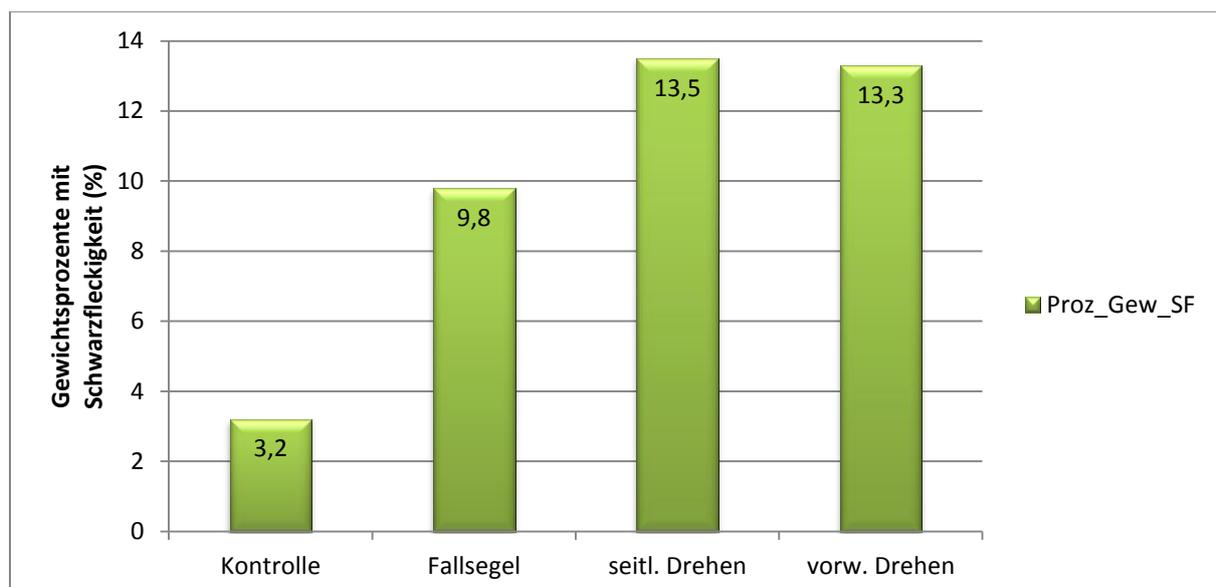


Abbildung 20: Gemittelte Gewichtsprozentage der verfärbten Knollen in Abhängigkeit des Verladeverfahrens

Ein Vergleich anhand der Gewichtsprozentage ist in der Abbildung 20 dargestellt. Zusätzlich ist im Anhang in Abbildung A5 ein Vergleich der Anzahl schwarzfleckiger Knollen je Probe anhand von Minimum und Maximum des Konfidenzintervalls sowie dem Mittelwert und der Standardabweichung dargelegt. In Abbildung A6 sind nach gleichem Auswertungsmuster die prozentual verfärbten Flächen der Knollen im Mittel der Proben dargestellt.

Alle untersuchten Parameter zeigen eine sehr hohe, deutlich über den Mittelwerten liegende Standardabweichung an (siehe Anhang Abb. 3-6). Daher ist davon auszugehen, dass die Streuung innerhalb der normalverteilten Werte überdurchschnittlich hoch ist.

4.3 Auswertung der elektronischen Messung

Die Auswertung der Messwerte der TuberLog erfolgte, auf Empfehlung der Versuchsstation Dethlingen, unter Zuhilfenahme eines Index. Dazu ist aus allen gemessenen Stößen einer Messreihe das Maximum, die durchschnittliche Stoßstärke sowie die Gesamtanzahl der Stöße zu berechnen. Diese drei Faktoren werden gemittelt für alle Messreihen einer Variante. Anschließend werden die Mittelwerte der Parameter Stoßstärke und Anzahl der Stöße multipliziert zu einem Belastungsindex. Anhand des Index kann die durchschnittliche Stoßbelastung einer oder mehrerer Messreihen verglichen werden. Die maximale Stoßbeschleunigung der Stöße wird in der Einheit ‚g‘ angegeben, welche für die Gravitation steht.

Vergleich der Stoßbelastung bezüglich der Verladevarianten

Entgegen der Erwartungen, dass das Verfahren Fallsegel aufgrund nur kleiner Fallhöhen geringere mechanische Belastungen für die Knollen nach sich zieht, hat die Auswertung der TuberLog-Daten den höchsten gemittelten Belastungsindex bei genau diesem Verfahren ergeben. Die weiteren Verladeverfahren im Vergleich ergaben ähnlich hohe Belastungsmuster, wobei die Variante des seitlichen Drehens eine geringfügig stärkere Belastung anzeigt. Allerdings ist in Abbildung A7 im Anhang erkennbar, dass bei der Variante Fallsegel zwar viele Stöße zu verzeichnen waren, jedoch die durchschnittliche Stoßstärke und die maximale Stoßbelastung im Mittel der Messungen deutlich geringer waren, als bei den kistendrehenden Varianten. Bei diesen Parametern, vor allem der maximalen Stoßintensität, liegt die vorwärts kippende Variante im Mittel deutlich über den anderen Verladetechniken.

Relativierend ist auch zu erwähnen, dass die Streuung beim vorwärts drehenden Verfahren sehr hoch ist. Daraus ist zu schließen, dass die Knollen neben schwächeren Stoßintensitäten auch sehr starken mechanischen Belastungen ausgesetzt waren. Die Mittelwerte der Belastungen sowie deren Standardabweichungen sind in der Abbildung 21 aufgeführt.

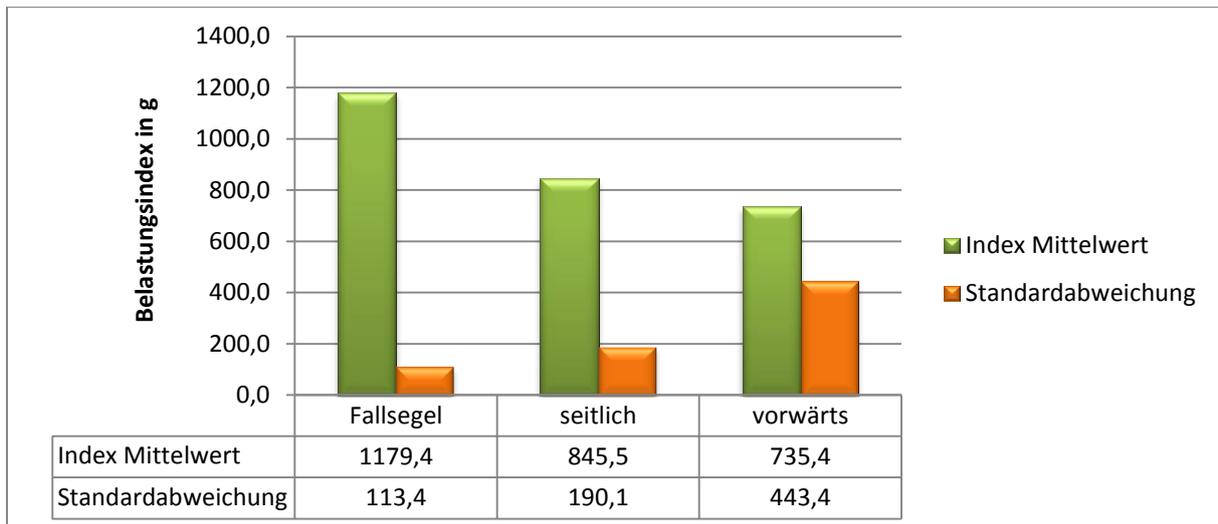


Abbildung 21: Mittelwerte und Standardabweichungen des Belastungsindex aller Verladevarianten

Vergleich der Stoßbelastung bezüglich der Einlageschichten in der Kiste

Verglichen wurden ebenfalls die Belastungsintensitäten in verschiedenen Schichten in der Kiste (siehe Abb. 7). Dabei wurde die elektronische Knolle abwechselnd in die drei Schichten platziert sowie ganz oben auf die Kartoffeln gelegt (Abb. 14). Erwartungsgemäß zeigten die Messungen der oben in die Kiste platzierten TuberLogs im Mittel die stärksten Stoßbelastungen an. Die Messwerte der anderen drei Schichten wiesen weniger Belastungen vor. Die Unterschiede zwischen den Schichten I bis III sind marginal und daher zu vernachlässigen. In Abbildung 22 sind die gemittelten Belastungsintensitäten im Vergleich der vier Schichten zu sehen.

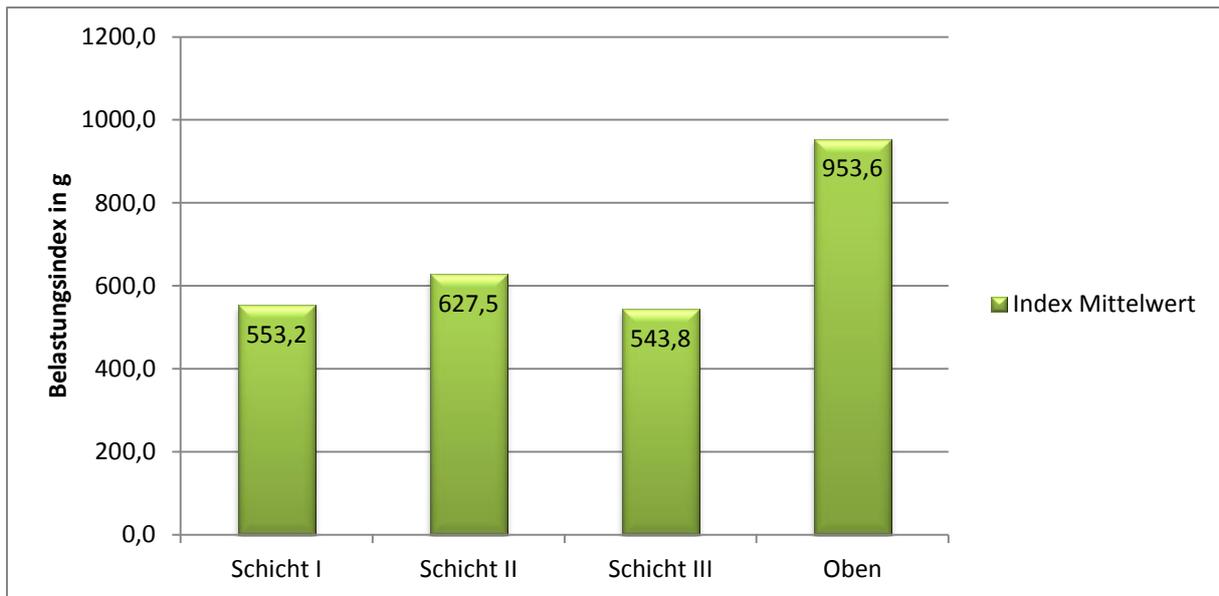


Abbildung 22: Belastungsindex in verschiedenen Schichten der Kiste

Vergleich der Stoßbelastung bezüglich der Ablage auf das Förderband

Zudem wurde die Ablage der TuberLog auf das Förderband im Zuge des Verfahrens Fallsegel variiert. Die vergleichende Auswertung ergab erwartungsgemäß eine erhöhte Belastungsintensität, wenn die elektronische Knolle zu Beginn des Gutstroms auf das Förderband platziert wurde. Die geringste Stoßbelastung zeigte die Knolle bei Platzierung am Ende des Gutstromes an. Allerdings ist erwähnenswert, dass die Unterschiede der mechanischen Belastung zwischen den Ablagepositionen sehr gering sind und daher nur bedingt aussagekräftig. Die Abbildung 23 zeigt einen Vergleich der Belastungsintensitäten der untersuchten Positionen.

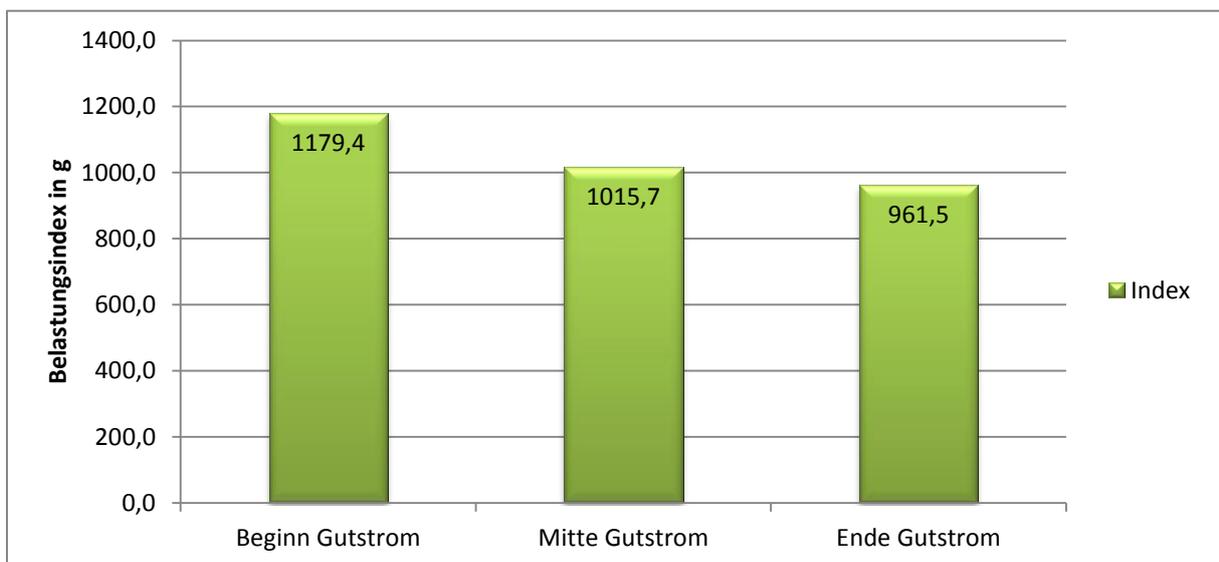


Abbildung 23: Belastungsindex der verschiedenen Ablagepositionen auf dem Förderband

5 Diskussion

Reliabilität der Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse zeigen neben den auffallend deutlichen Unterschieden zwischen den Sorten, ebenfalls Differenzen im Vergleich der Versuchsvarianten, was die Betrachtung der äußeren und inneren Knollenschäden betrifft. Allerdings kann ein derartiger Praxisversuch mit Fehlern behaftet sein, die die besagten Ergebnisse verfälschen. Trotz schonender Behandlung der Knollen im Zuge der Ernte, Lagerung und Aufbereitung, können in allen genannten Arbeitsgängen Knollendefekte infolge geringer mechanischer Belastung aufgetreten sein. Diese womöglich geringfügig aufgetretenen Beschädigungen können jedoch weitestgehend vernachlässigt werden. Weitere Fehlerquellen sind bei der Versuchsdurchführung zu erwarten. Bei der Einlage der Knollen in die Kiste bzw. auf das Förderband sowie beim Auslesen der Knollen aus dem Transportfahrzeug wurde auf eine sorgfältige Behandlung der Probekartoffeln geachtet. Jedoch können ungewollte Stoßbelastungen bei diesen Versuchsschritten nicht ausgeschlossen werden. Das System der Einlage der Versuchsknollen in die Drahtkiste kann zu unzureichenden Ergebnissen geführt haben. Die Versuchsknollen waren komplett umgeben und eingebettet von den Füllkartoffeln. Sie fielen nicht als Erstes aus der Kiste in den Anhänger. Das hat zur Folge, dass die Füllkartoffeln den Probeknollen als Puffer dienen und die Probeknollen beim Aufprall abgefedert werden. Vermutlich wären die Ergebnisse noch aussagekräftiger, wenn die Knollen oben in der Kiste gelegen hätten und zu Beginn des Kippvorgangs auf das Transportfahrzeug gefallen wären, als noch keine Kartoffeln auf dem Anhänger lagen. Relativierend ist zu erwähnen, dass alle Kisten nach dem gleichen Muster gefüllt wurden und somit die Vergleichbarkeit zwischen den Varianten 3 und 4 hinreichend gegeben ist.

Hinzu kommt die unumgängliche subjektive Betrachtung der verschiedenen Personen bei der Bonitur der Schadbilder. Zwar bonitierten an allen drei Boniturterminen die gleichen Personen, doch die unterschiedliche Differenzierung von äußeren Beschädigungen und Verfärbungen in der Ausprägung kann zu Fehlern führen.

Auch die Ergebnisse der elektronischen Knolle sind nicht vor Fehlern gefeit. Im Zuge der unterschiedlichen Auflage der TuberLog auf das Förderband bzw. der nicht exakten Einlage an die gleiche Stelle in der Kiste, können Inkorrektheiten entstanden sein.

Sorteneinfluss auf Beschädigungen und Verfärbungen

Die Resultate der Boniturauswertung ergaben äußere Beschädigungen, sowohl Thumbnail-Cracks als auch ‚herkömmliche‘ äußere Beschädigungen, an allen drei Sorten. Auch Verfärbungen waren an allen Sorten zu finden. Die Ausprägung und Menge der jeweiligen Defekte ist allerdings abhängig von der jeweiligen Sorte, was schon in Versuchen von VEERMAN (2000) sowie PAWELZIK und WULKOW (2013) bestätigt wurde.

Auf der Sorte ‚Euroresa‘ wurden sehr wenige Thumbnail-Cracks bonitiert, was auf eine geringe Anfälligkeit für die halbmondförmigen Schalenrisse schließen lässt. Anders die Sorten ‚Allians‘ und ‚Belana‘, an denen mehr Thumbnail-Risse erkennbar waren. Dennoch ist die geringe Menge der Defekte nicht mit einer besonders starken Sortenempfindlichkeit in Verbindung zu bringen. Betrachtet man die Boniturergebnisse der weiteren äußeren Beschädigungen, sprich der Schalenrisse und Hautabschürfungen, fällt eine hohe Beschädigungsrate der Sorten ‚Allians‘ und ‚Euroresa‘ auf. Das ist auf die langovale Form der ‚Allians‘ und die ungleichmäßige Oberfläche der ‚Euroresa‘ zurückzuführen ‚Belana‘ zeigte, auch aufgrund ihrer ebenen Oberfläche, weniger äußere Defekte. In der Summe aller äußeren Knollenschäden und der Thumbnail-Cracks weist ‚Allians‘ die höchste Beschädigungsrate vor (Abb. A1a/ A1b im Anhang). ‚Belana‘ zeigt eine etwas geringere Rate und die Sorte ‚Euroresa‘ war am wenigsten von äußeren Knollendefekten betroffen.

Das Auftreten von Schwarzfleckigkeit im Mittel der Proben (Abb. 20) geht mit den Sorteneinstufungen einher. Die dunklen Gewebeverfärbungen sind bei der Sorte ‚Euroresa‘ deutlich am stärksten ausgeprägt. ‚Allians‘ zeigt dagegen auffallend wenig schwarze Flecken. Das ist vorrangig mit den unterschiedlichen Stärkegehalten und den damit zusammenhängenden Trockensubstanzgehalten der Sorten zu begründen. Die hohe Korrelation des Trockensubstanzgehalts mit der Neigung zur Schwarzfleckigkeit wird von PAWELZIK und WULKOW (2013) sowie KOLBE und HAASE (1997) bestätigt.

Zwischen der Beschädigungsrate äußerer Defekte und der auftretenden Schwarzfleckigkeit konnten keine Zusammenhänge ausgemacht werden. Sowohl im Vergleich der Sorten, als auch im Vergleich der Verladetechniken war kein Bezug der beiden Qualitätsmängel erkennbar.

Einfluss der Verladetechnik auf Beschädigungen und Verfärbungen

Die Versuchsergebnisse der Verladevarianten im Vergleich spiegeln größtenteils die vorangegangenen Erwartungen wieder. Die unbehandelte bzw. nicht verladene Kontrolle zeigt verglichen mit den drei Verladetechniken eindeutig die geringsten Beschädigungs- und Verfärbungsraten an. Lediglich der Parameter der ‚herkömmlichen‘ äußeren Beschädigungen fällt etwas aus der Reihe, da die Kontrollvariante bei diesem eine relativ

hohe Belastungsrate vorweist. Gründe dafür können ungewollte mechanische Belastungen bei der Vorsortierung und Einfärbung sowie bei der Lagerung sein. Auch Belastungen nach der Versuchsdurchführung im Zuge des Transportes zur VSD sind nicht auszuschließen. In der Betrachtung der weiteren Parameter sowie der gesamten Beschädigungsrate liegt die Kontrolle naturgemäß deutlich unter den Werten der Verladetechniken.

Das System Fallsegel zeigt in der Summe die geringste Beschädigungsrate sowie die geringste Menge schwarzfleckiger Knollen im Vergleich der drei Verladetechniken. Das ist auf die vergleichsweise niedrigeren Fallhöhen, aufgrund des Abfangens durch die Leitsegel zurückzuführen. WORMANNS (1999) bestärkt diesen Fakt durch seine Aussage, dass wenige starke Stöße einen größeren Schaden nach sich ziehen, als viele kleine Stöße. Dies gilt sowohl für äußere Beschädigungen, als auch für innere Gewebeverletzungen. Allerdings fällt der Wert der äußeren Beschädigungen etwas aus der Reihe. Hier zeigt die Variante Fallsegel mit geringfügigem Unterschied gegenüber den anderen Varianten die höchste Beschädigungsrate an. Ein weiterer Einflussfaktor für das ungewöhnlich hoch ausfallende Resultat könnte die Pufferwirkung der Füllkartoffeln in den Kisten im Zuge der Varianten 3 und 4 sein. Die ca. 27 cm hohe Schicht von Füllkartoffeln über den eigentlichen Versuchsknollen in der Kiste wirkte womöglich abfedernd. Denn der Fall einer Knolle auf andere Knollen ist um ein Vielfaches belastungsärmer, als der Aufprall auf härtere Materialien, wie dem Anhängerboden. Untersuchungen von PRAEGER et al. (2013) ergaben bereits, dass die Elastizität bzw. Härte der Aufprallunterlage einen erheblichen Einfluss auf die Stoßintensität hat. Bei der Variante Fallsegel waren die Fallstufen sowie die Fallgeschwindigkeit weitaus geringer als bei den anderen Verladevarianten, jedoch befanden sich beim Aufprall der ersten Knollen auf den Anhänger nicht so viele Füllkartoffeln zur Abfederung zwischen Versuchsknollen und Anhängerboden. Dieser Faktor kann für die relativ hohe Beschädigungsrate verantwortlich sein.

Ein Vergleich der beiden Kisten drehenden Verladevarianten zeigt auf, dass sich die Beschädigungsraten dieser zwar nur geringfügig unterscheiden, jedoch die Kartoffeln aus der vorwärts drehenden Technik in der Summe der äußeren Defekte etwas stärker beschädigt wurden, als die der seitlich drehenden Technik (Abb. A2/ Anhang). Ein Grund dafür kann im unterschiedlichen Auftreffen der Knollen auf dem Transportfahrzeug liegen. Der seitliche Drehvorgang erfolgte im ersten Abteil in Richtung der vorderen Bordwand des Anhängers, wodurch die zu Beginn fallenden Knollen zunächst gegen die besagte vordere Bordwand fielen und anschließend auf den Anhängerboden. Demzufolge wurde der Aufprall durch die Bordwand etwas gedämpft. Die zuerst fallenden Knollen im Zuge der Drehung vorwärts hingegen, wurden durch keine Wand abgefangen und fielen aus voller Höhe auf den blanken Anhängerboden.

Hinzu kommt, dass die Fallhöhe der ersten Knollen bei der vorwärts drehenden Variante um knapp 60 cm höher war, als bei der seitlich drehenden Variante. Außerdem entspricht die Aufprallfläche der Knollen der gesamten Breite der Kiste, so dass sich erst später als beim seitlichen Drehen eine polsternde Kartoffelschicht auf dem Anhängerboden bildet.

Das Kriterium Schwarzfleckigkeit ist zwischen den Varianten ähnlich verteilt, wie die äußeren Knollenschäden. Die unbehandelte Kontrolle weist erwartungsgemäß verschwindend geringe Anteile verfärbter Knollen auf. Ebenfalls den Erwartungen entsprechend zeigt die Verladetechnik mittels Fallsegel verglichen mit den kistendrehenden Techniken im Mittel die wenigsten Verfärbungen. Gemittelt sind dennoch immerhin 9,8 % vom Gesamtgewicht einer Probe verfärbt und auch der Mittelwert der prozentual verfärbten Stellen je Knolle und Probe ist im Vergleich zu den Kisten drehenden Varianten hoch (Abb. A6/Anhang). Nach WORMANN (1999) ist das nicht ungewöhnlich, da auch kleine Stöße zu Verfärbungen an Kartoffelknollen führen können. Vergleicht man die beiden Kisten drehenden Verfahren, sind keine erwähnenswerten Unterschiede in der Verfärbungsrate zu erkennen. Einzig die prozentual verfärbte Fläche je Knolle und Probe zeigt Unterschiede auf (Abb. A6/Anhang). Die vorwärts drehende Verladetechnik weist dabei eine minimal höhere Verfärbungsrate vor, was einher geht mit der Ausprägung der äußeren Schädigungen. Betrachtet man jedoch die Gesamtheit der verfärbten Knollen anhand der mittleren Gewichtsprozente, sind nur marginale Differenzen zwischen den Kisten drehenden Verfahren auszumachen, wobei die seitlich drehende Variante sogar etwas mehr Verfärbungen zeigt. Die eng beieinanderliegenden Ergebnisse der Bonitur entsprechen den vorangegangenen Erwartungen der sich ähnelnden Beschädigungsraten.

Elektronische Messung der Stoßbelastung

Die Ergebnisse des elektronischen Kartoffel-Dummy (TuberLog) ergaben nicht nur erwartete Unterschiede zwischen den Verladetechniken, sondern brachten ebenso aufschlussreiche Erkenntnisse bezüglich der Stoßintensität verschiedener Einlageschichten in der Kiste sowie unterschiedlicher Ablagezeitpunkte auf das Förderband zum Fallsegel.

Die Verladetechniken im Vergleich erbrachten, dem Belastungsindex zufolge, auf den ersten Blick ungewöhnliche Resultate. Demnach ist die Variante Fallsegel am belastungsintensivsten und die Drehung der Kiste vorwärts weist die geringste mechanische Belastung vor. Bezieht man allerdings die Faktoren des Index mit ein und vergleicht die Anzahl der Stöße, die durchschnittliche Stoßstärke sowie die maximalen Stöße im Mittel der Messungen, wird deutlich, dass beim Fallsegel sehr viele kleine Stöße zu verzeichnen sind.

Etliche Stöße zeigen lediglich eine maximale Stoßbeschleunigung zwischen 30 g und 40 g, welches eine geringe Stoßintensität darstellt. Die große Anzahl der Stöße als Faktor für den Index ist die Ursache für den hohen Gesamtindex der Fallsegel-Proben (Abb. A7/Anhang). Laut PRAEGER et al. (2013) werden an Kartoffeln erst die Stöße mit einer maximalen Beschleunigung von über 60 g relevant. Die Versuchsstation Dethlingen betrachtet in ihren Versuchen allerdings ebenso die Stöße ab 30 g, da auch kleine Stöße zu Beschädigungen führen können. Vergleicht man die Boniturergebnisse mit den Resultaten des Belastungsindex der elektronischen Knolle, kann man feststellen, dass die Werte nicht in Zusammenhang gebracht werden können. Dahingehend ist der Index als Vergleichswert der Verladevariante in dieser Versuchsdurchführung nicht hinreichend aussagekräftig. Die Einzelparameter der Fallsegel-Messungen, also die mittlere Stoßstärke sowie die mittleren maximalen Stöße, zeigen geringere Stoßintensitäten, die sich in den geringen bonitierten Beschädigungsraten widerspiegeln.

Eine Gegenüberstellung der beiden Verladetechniken direkt aus der Kiste in das Transportfahrzeug hat ergeben, dass der Belastungsindex der beiden Varianten im Vergleich sehr nah beieinander liegt, wobei die seitlich drehende Technik einen etwas höheren Belastungsindex vorweist (Abb. 21). In allen Einzelparametern des Index allerdings, liegt die vorwärts drehende Variante mit dem Drehgerät von WIFO bei höheren Werten, als die seitlich drehende Variante. Sowohl die mittlere Anzahl der Stöße, als auch die durchschnittliche Stoßstärke und die mittlere maximale Stoßbeschleunigung zeigen höhere Werte beim Drehvorgang vornüber an (Abb. A7/Anhang). Somit lassen sich diese beiden Varianten mit den Ergebnissen der elektronischen Knolle nicht hinreichend vergleichen. Weiterhin ist das Problem der Pufferwirkung der Füllkartoffeln auch hier gegeben, wenn die TuberLog mittig in der Kiste platziert wurde.

Die Gegenüberstellung der Messwerte in den verschiedenen Einlageschichten der Kiste ergab die erwartungsgemäß höchste Belastungsrate in der obersten Schicht auf den Kartoffeln liegend. Das überrascht nicht, da die Knollen, die oben in der Kiste liegen, aus voller Höhe und ohne Kartoffelunterlage als ‚Polsterung‘ auf den Anhängerboden auftreffen. Die Knollen in den unteren Schichten der Drahtkiste werden durch umliegende Knollen abgefangen und haben mit der Kartoffelunterlage einen weicheren Aufprall. Wie PRAEGER et al. (2013) erkannten, hat die Härte der Aufprallunterlage großen Einfluss auf die gemessenen maximalen Stoßbeschleunigungen.

Diese Beobachtungen sind ebenfalls bei dem Vergleich der mechanischen Belastungen der unterschiedlichen Ablagezeitpunkte auf das Förderband erkennbar. Zu Beginn des Gutstromes, als sich noch wenige Kartoffeln auf dem Transportfahrzeug als abfedernde Aufprallunterlage befanden, ist die mechanische Belastung am stärksten. Mit zunehmend

gefülltem Anhänger nimmt die Belastung zusehends ab, sodass die Stoßintensität am Ende des Gutstromes sichtlich geringer ist. Das unterstreicht die Aussage von PRAEGER et al. (2013), dass die Unterlage beim Aufprall die Stoßbelastung beeinflusst.

Nutzen für die Praxis

Die Versuchsergebnisse bestätigen, wie im Vorfeld erwartet, dass die Verladung über Fallsegel im Vergleich zu den Kisten drehenden Verladungen die geringste Beschädigungsrate aufzeigt. Wenn der Platz und die Kapazität vorhanden sind, stellt es eine empfehlenswerte Möglichkeit der Überladung von Kartoffeln dar. Besonders im Bereich der Speisekartoffelvermarktung sowie im Pflanzkartoffelvertrieb, in denen die äußere und innere Qualität der Knollen essentiell für den Vermarktungserfolg ist, kann die etwas zeit- und arbeitsaufwändigere Verladung über die Fallsegel eine lohnenswerte Alternative sein. Erwähnenswert ist allerdings, dass diese Variante der Verladung mehr Zeit in Anspruch nimmt, als die Kisten drehende Verladung direkt über dem Transportfahrzeug. Die direkte Verladung aus der Kiste auf den Anhänger kostet weniger Zeit, ist allerdings mit einer höheren Beschädigungsrate belastet. Der Vergleich der beiden Verlademöglichkeiten aus der Kiste direkt über dem Transportfahrzeug zeigen nur sehr geringe Unterschiede auf. Diese Beobachtung ist mit der annähernd gleichen Fallhöhe der Knollen aus der Drahtkiste zu begründen. Will man geringfügige Differenzen dieser beiden Verladetechniken hervorheben, kann man erwähnen, dass in der Summe eine etwas höhere Beschädigungsrate bei der vornüber drehenden Variante mittels speziellen Drehgeräts festzustellen war.

Eine Erweiterung dieses Versuches könnte interessante Aufschlüsse zum unterschiedlichen Feldaufgang und der Jugendentwicklung der Beschädigungsproben sowie zu möglichen Fehlstellen im Feld geben. Indem die verladenen Versuchsknollen gepflanzt werden und im Anschluss der Bestand bonitiert wird, können die infolge von Beschädigungen mit Bakteriosen oder Pilzkrankheiten infizierten Mutterknollen anhand des Blattapparates erkannt werden und dahingehend eine Auswertung getätigt werden.

6 Schlussfolgerung

Die vorliegenden Ergebnisse des Versuchs lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Die Sorteneigenschaften sind ein entscheidendes Kriterium für die Ausprägung äußerer und innerer Knollenschäden. Dabei sind vorrangig die Knollengröße und Knollenform für die äußeren Knollenschäden verantwortlich und der Stärkegehalt bzw. Trockensubstanzgehalt der Kartoffeln für die inneren Verfärbungen ausschlaggebend. Ein Zusammenhang zwischen äußeren Knollendefekten und folgender Schwarzfleckigkeit ist anhand dieser Untersuchungen nicht auszumachen.
- Die Verladung über die Fallsegel zeigt in der Summe die geringste Beschädigungsrate und ist damit die, für die Knollen, schonendste Variante im beschriebenen Versuch. Diese Technik ist daher vorrangig für die Überladung von Speise- und Pflanzkartoffeln geeignet, bei denen die Qualitätsmängel der Knollen besonders ins Gewicht fallen und zu Vermarktungsschwierigkeiten führen können. Für die Überladung von Kartoffeln für die Stärkeproduktion ist dieses System nicht zwangsweise notwendig, da das Verladesystem Fallsegel, im Gegensatz zu den Verladungen direkt aus der Kiste über dem Transportfahrzeug, zeitintensiver ist. Hinzu kommt, dass der Platz und die Kapazität für die Verladestrecke mittels Fallsegel gegeben sein müssen.
- Ein direkter Vergleich der beiden kistendrehenden Verladetechniken ist nur bedingt aussagekräftig. Die Boniturergebnisse der Beschädigungsraten liegen in allen Versuchsparametern nah beieinander. Wenn überhaupt, sind sehr geringfügig höhere Beschädigungen bei der vornüber drehenden Technik auszumachen.
- Die Auswertung der gemessenen maximalen Stoßbeschleunigung mittels elektronischer Knolle brachte ähnliche Resultate hervor. Hier ist zu erwähnen, dass unter Berücksichtigung der Belastungsparameter maximale Stoßstärke, durchschnittliche Stoßstärke und Anzahl der Stöße die höchste Stoßbelastung beim System der Kistendrehung mittels Drehgerät vornüber auftrat. Das System der Verladung mittels Fallsegel zeigt in Bezug auf diese Parameter die geringste Belastung, wenn man bedenkt, dass in der Verladestrecke zwar zahlenmäßig die meisten Stöße gemessen wurden, jedoch die Stoßbeschleunigung der meisten Aufprälle sehr schwach war.
- Eine Optimierung des Versuchs könnte darin liegen, die Versuchsknollen in der Kiste zusätzlich in der Einlageschicht ganz oben zu platzieren. So würde die Pufferwirkung der oben liegenden Füllkartoffeln nicht so stark ins Gewicht fallen und man hätte womöglich deutlichere Unterschiede zwischen den drei Verladetechniken zu erwarten.

7 Zusammenfassung

Im Zuge eines Versuches wurde die unterschiedliche mechanische Stoßbelastung bei drei verschiedenen Möglichkeiten der Verladung von Kartoffeln auf ein Transportfahrzeug verglichen. Die zu untersuchenden Parameter waren die äußeren Beschädigungen, wozu häufig auftretende Schalenrisse oder Abschürfungen der Schale und Thumbnail-Cracks gehören, sowie die inneren Verfärbungen infolge von Stößen, welche in der Kartoffelvermarktung zu erheblichen Qualitätseinbußen und Verlusten führen können. Es wurden zwei Sorten aus dem Speisekartoffelsegment und eine Sorte aus dem Stärkesegment untersucht. Nachdem diese per Hand geerntet wurden, überwinterten die Knollen unter Belüftung in der Lagerhalle. Nach der Lagerperiode folgte die Aufbereitung. Die Knollen wurden vor der anstehenden Versuchsdurchführung auf eine einheitliche Knollentemperatur von 3 bis 3,5°C gekühlt, um die Beschädigungsempfindlichkeit herauszufordern. Es wurde auf möglichst annähernd gleiche Voraussetzungen während jeder Verladungstechnik sowie zwischen den Sorten und Wiederholungen geachtet. Verglichen wurden die Verladung mittels Förderband und Fallsegeln, die Kistendrehung seitlich direkt über dem Transportfahrzeug und die Kistendrehung vornüber direkt über dem Transportfahrzeug mithilfe eines speziellen Drehgerätes für den Gabelstapler. Im Anschluss an die Verladung und folgende Auslesung der Versuchsknollen aus dem Anhänger, lagerten die Knollen nochmals 5 Wochen unter Kühlung, bevor sie auf die äußeren und inneren Qualitätsmängel bonitiert wurden.

Es wurde festgestellt, dass deutliche Sortenunterschiede bezüglich der betrachteten Mängel, vor allem der Schwarzfleckigkeit, auftreten. Im Vergleich der Verladetechniken war die Variante mittels Fallsegel, wie erwartet, am geringsten von Beschädigungen betroffen. Die beiden Varianten der Kistendrehung direkt über dem Anhänger zeigten, aufgrund der größeren Fallhöhe, höhere Beschädigungsraten. Zwischen den beiden kistendrehenden Varianten traten nur geringe Unterschiede in den Beschädigungsraten auf. Die Messwerte der elektronischen Knolle bestätigten diese Beobachtungen weitestgehend. Für weitere Versuche dieser Art, würde sich anbieten, die zu untersuchenden Knollen nicht nur mittig in der Kiste zu platzieren, sondern zusätzlich ganz oben, sodass sie direkt zu Beginn auf das Transportfahrzeug auftreffen. So hat die Pufferwirkung der Füllkartoffeln nicht den starken Einfluss. Insbesondere für die Bereiche des Speisekartoffel- und Pflanzkartoffelvertriebs ist die Überladung mithilfe der Fallsegel empfehlenswert, um qualitätsmindernde Mängel zu reduzieren und erhöhte Verluste auch im Zusammenhang mit dem Anbau von Pflanzware auf dem Feld zu begrenzen. Allerdings ist aus arbeitswirtschaftlicher Sicht zu berücksichtigen, dass dieses Verfahren gegenüber den kistendrehenden Systemen deutlich zeitintensiver ist. Das spricht vor allem in der Vermarktung von Kartoffeln für die Stärkeproduktion für eine Verladung der Kisten direkt über dem Transportfahrzeug.

Abstract

In the course of an experiment, the different mechanical impact loads were compared in three different ways of loading potatoes onto a transport vehicle. The parameters to be investigated were the external damage, including conventional necrosis and thumbnail cracking, as well as black spot bruise due to impacts which could lead to considerable quality losses in potato marketing. Potato tubers from three different varieties ('Allians', 'Belana', 'Euroresa') were compared. After harvesting the tubers by hand, the storage period followed. Afterwards the preparation and the loading process were carried out. The tubing temperature during charging was at 3 °C to 3,5 °C to challenge the damage sensitivity. The loading by means of conveyor belt and drop sails and two variants of the crate rotation directly above the transport vehicle were compared. After the selection of the test tubers, the evaluation of the quality deficiencies was followed.

Results were statistically evaluated and it was possible to make significant statements. It was found that significant varietal differences occur with regard to the observed deficiencies, especially the black spot. In comparison with the loading techniques, the variant loading by drop sails was hit the least by damages. The two variants of the crate rotation directly above the trailer showed higher damage rates because of the larger drop height. Among the two crate-turning variants, only slight differences in the damage rates occurred. Furthermore, electronic measurements of the mechanical load were carried out using TuberLog. The evaluation of these measurements yielded similar results as the evaluation of the damages. Recommended for practice, in particular for the cultivation of seed potato and vegetable potato distributing, is the overloading by means of the drop sail to reduce quality-deficient deficiencies

Literaturverzeichnis

BENKER (2014)

M. Benker: Knollen-Schäden klar erkannt. In: Verlagsbeilage zu top agrar 9/2014, Landwirtschaftsverlag GmbH

BOHL (2011)

W. H. Bohl: Put the Brakes on Bruises. In: Growing Produce 6/2011.
<http://www.growingproduce.com/vegetables/potatoes/put-the-brakes-on-bruises/>
(Zugriff am 19.06.2017)

BOHL, THORNTON (2006)

W. H. Bohl, M. K. Thornton: Thumbnail cracks of potato tubers. University of Idaho Extension. Idaho Agricultural Experiment Station. 4/2006

BUNDESSORTENAMT (2013)

Beschreibende Sortenliste Kartoffeln 2013. Bundessortenamt (Hrsg.).
https://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/bsl_kartoffeln_2013.pdf
(Zugriff am 10.05.2017)

DIE KARTOFFEL (2017)

Basiswissen rund um die Kartoffel, Inhaltstoffe – Kalorien – Lagerung. Landesverband der Kartoffelkaufleute Rheinland-Westfalen e.V. im DKHV e.V. (Hrsg.), Artikel vom 05.02.2014. <http://www.die-kartoffel.de/pressebereich/presse-details/news/basiswissen-rund-um-die-kartoffel/> (Zugriff am 28.04.2017)

ELFRICH (2010)

R. Elfrich: Kartoffel-Qualitäten leiden unter Mangel an Kalium. In: Kartoffelbau 1&2/2010, (61. Jg.), 37-39

FABICH (2011)

S. Fabich: Infoblatt. Pflanzenschutz Informationen Pectobakterien und Dickeya spp. an Kartoffeln. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten. Mainz (06/2011)

HEINECKE (2007)

A. Heinecke: Beitrag zur Ermittlung der biochemischen Ursachen der Schwarzfleckigkeit bei Kartoffeln. Dissertation der Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen. <https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-B00E-A/heinecke.pdf?sequence=1> (Zugriff am 04.05. 2017)

IMA-AGRAR (2017)

Die Kartoffel, Sachinformationen, Information. Medien. Agrar (i.m.a.) e.V. (Hrsg.)
http://www.ima agrar.de/fileadmin/redaktion/download/pdf/materialien/Sachinfo_Kartoffel.STAND.pdf (Zugriff am 28.04.2017)

KOLBE (1995)

H. Kolbe: Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel. I. Trockensubstanz und Stärke. In: Kartoffelbau Nr. 10/1995, 404 – 411

KOLBE (1996)

H. Kolbe: Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel VI. Organische Säuren. In: Kartoffelbau Nr. 9/1996, 345 – 347

KOLBE (1997)

H. Kolbe: Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel. VII. Vitamine. In: Kartoffelbau Nr. 1 – 2/1997, 34 – 39

KOLBE, HAASE (1997)

H. Kolbe, N.- U. Haase: Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel. VIII. Die wichtigsten Verfärbungsreaktionen. In: Kartoffelbau Nr. 6/1997, S. 234-240.

KTBL (2013)

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), (Hrsg.): Lagerung von Kartoffeln. Fachartikel. https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Gartenbau/Kartoffellagerung/Lagerung_von_Kartoffeln.pdf (Zugriff am 09.05.2017)

LEPPACK (1997)

E. Leppack: Beschädigungen in Aufbereitungsanlagen vermeiden. In: Landtechnik 4/1997, (52. Jg.), 186-187

MEYER (2011)

K. P. Meyer: Einfluss der rheologischen Eigenschaften und der Zellwandzusammensetzung auf Thumbnails als äußere Schalenverletzungen an Kartoffeln. Masterarbeit der Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen.

MOLEMA, VERWIJS, BOSMA (1998)

G. J. Molema, B. R. Verwijs, A. H. Bosma: Einfluss mehrmaliger Belastung auf Schwarzfleckigkeit bei Speisekartoffeln. In: Kartoffelbau (1/2) /1998 (49. Jg.), 20-23

OVERBECK (2014)

H. Overbeck: Verfärbung des Gewebes von Kartoffelknollen aufgrund erntebedingter mechanischer Belastungen in Abhängigkeit von der Rodetemperatur. Bachelorarbeit der Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur der Hochschule Osnabrück.

PAWELZIK, WULKOW (2013)

E. Pawelzik, A. Wulkow: Ursachen der Schwarzfleckigkeit bei Kartoffeln. In: Kartoffelbau 11/2013 (64. Jg.), 27-31

PAWELZIK, DELGADO (1999)

E. Pawelzik, E. Delgado: Wirkung von Trockenstreß auf die Verfärbungsneigung von Kartoffelknollen. In: Kartoffelbau 9/10 /1999, (50. Jg.), 358-360

PETERS (1996)

R. Peters: Beschädigungen an Kartoffeln. In: Kartoffelbau 8/1996 (47. Jg.), 277-279

PETERS (1999)

R. Peters: Qualitätskartoffeln erzeugen – Beschädigungen vermeiden. In: aid-Broschüre 1078/ 1999. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (aid) e.V. (Hrsg.)

PETERS (2015)

R. Peters: Kartoffeln – Knollenbeschädigungen ernst nehmen. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Artikel vom 02.09.2015. (Zugriff am 02.05.2017)

PRAEGER, SURDILOVIC, GEYER (2013)

U. Praeger, J. Surdilovic, M. Geyer: TuberLog und Co. – Messverhalten künstlicher Früchte im Labor. In: Landtechnik 4/2013 (68 Jg.), 259-264, <https://www.landtechnik-online.eu/ojs-2.4.5/index.php/landtechnik/article/viewFile/2013-4-259-264/251> (Zugriff am 19.06.2017)

RADTKE, RIECKMANN, BRENDLER (2000)

W. Radtke, W. Rieckmann, F. Brendler: Kartoffel – Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter. Verlag Th. Mann. Gelsenkirchen

SCHUHMANN (2009)

P. Schuhmann: Schwarzfleckigkeit vermeiden – Qualitätsmängel durch optimierte Lagerung begrenzen. In: Kartoffelbau 7/2009 (60.Jg.), 296-298

SCHUHMANN (2014)

P. Schuhmann: Kartoffeln in der Fruchtfolge Teil 2. Krankheiten, Ernte, Lagerung, Vermarktung. Reihe: AgrarPraxis kompakt. DLG-Verlag GmbH

TEMIKA (2017)

Inhaltsstoffe der Kartoffel. Temika GmbH, (Hrsg.)
<http://www.temika.de/index.php/inhaltsstoffe-der-kartoffel.html> (Zugriff am 29.04.2017)

UNIKA (2017)

Union der Kartoffelwirtschaft e.V.: Kartoffelanbau in Deutschland.
http://www.unikaev.de/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=183, (Zugriff am 28.04.2017).

VEERMAN (2000)

A. Veerman: Erntebeschädigungen nicht auf die leichte Schulter nehmen – Einfluss auf Unterwassergewicht, Stärke-, TM-Gehalt und Lagerverluste von Stärkekartoffeln. In: Kartoffelbau 9/10/2000 (51. Jg.), 438-439

WETTERKONTOR (2017)

Monats- und Jahreswerte für Seehausen. Wetterkontor (Hrsg.)
<http://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/monatswertestation.asp?id=10261&yr=2016&mo=-1> (Zugriff am 10.05.2017)

WIKIPEDIA (2017)

Konfidenzintervall. Wikipedia (Hrsg.). <https://de.wikipedia.org/wiki/Konfidenzintervall>
(Zugriff am 17.06.2017)

WORMANNS (1999)

G. Wormanns: Qualitätssicherung von Kartoffeln im Nacherntebereich. In:
Landtechnik 4/1999 (54.Jg.) 210-211

WORMANNS, HOFFMANN, JACOBS (2001)

G.Wormanns, T. Hoffmann, A. Jacobs: Zur Bestimmung der Stoßbelastung und
Schwarzfleckigkeit bei Kartoffeln. In: Landtechnik 1/2001, (56), 32-33

Anhang

Vergleich der Beschädigungsrate bezüglich der Sorten

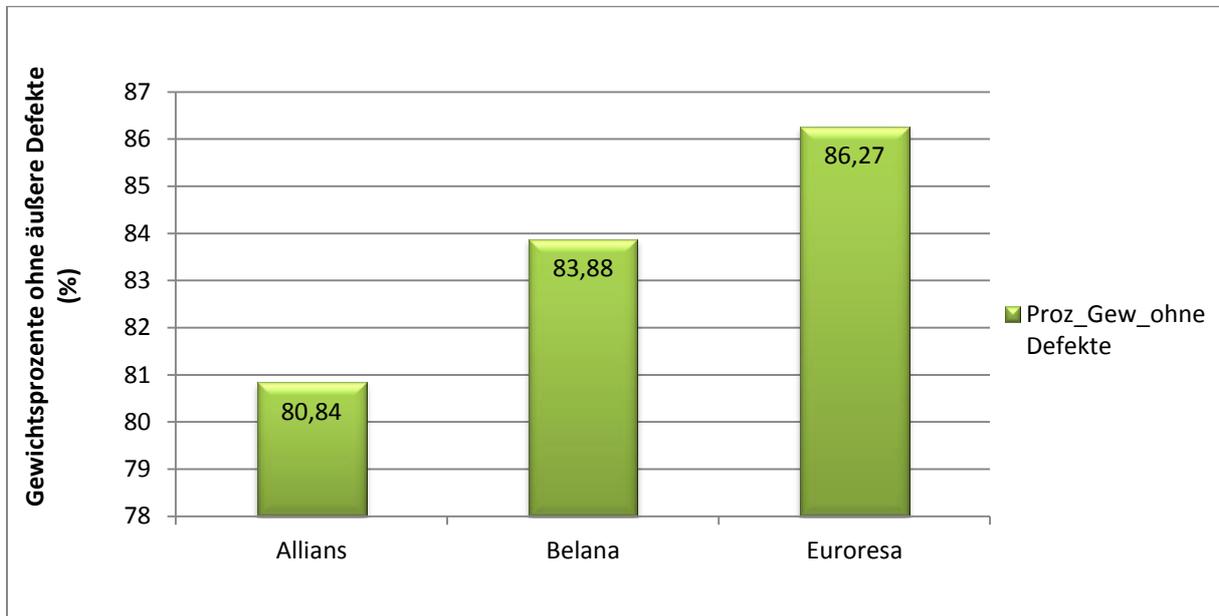


Abbildung A 1a: Mittlere Gewichtsprozente der Kartoffelknollen ohne äußere Knollenschäden in Abhängigkeit der Sorte

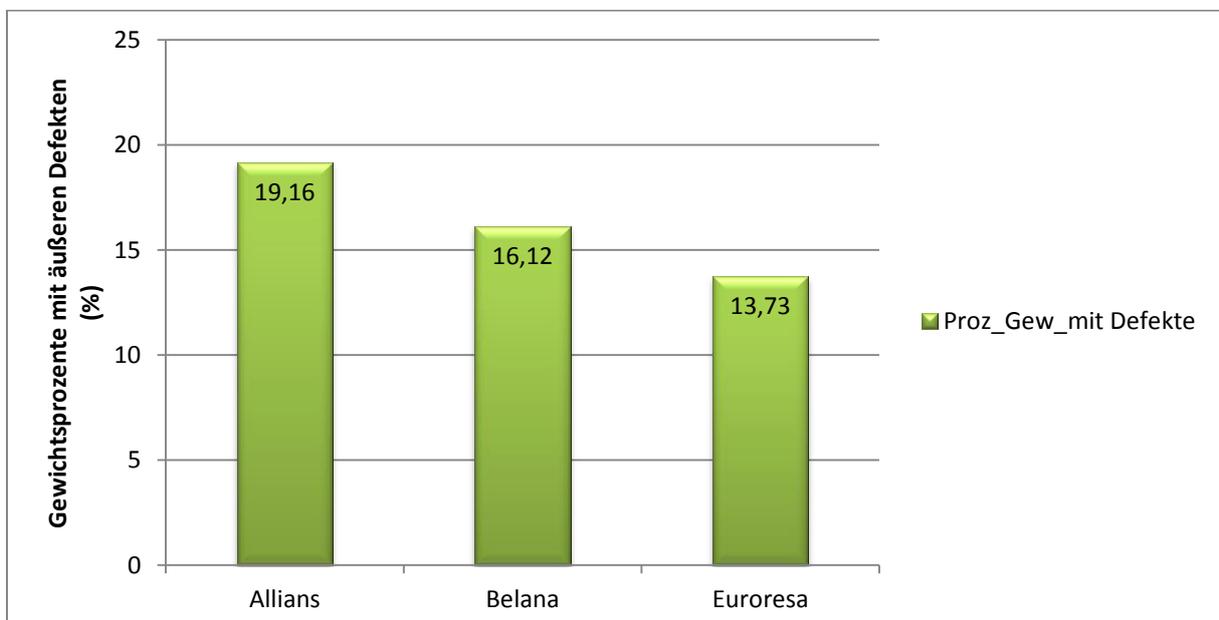


Abbildung A 1b: Mittlere Gewichtsprozente der Kartoffelknollen mit äußeren Knollenschäden in Abhängigkeit der Sorte

Vergleich der Beschädigungsrate bezüglich der Verladetechnik

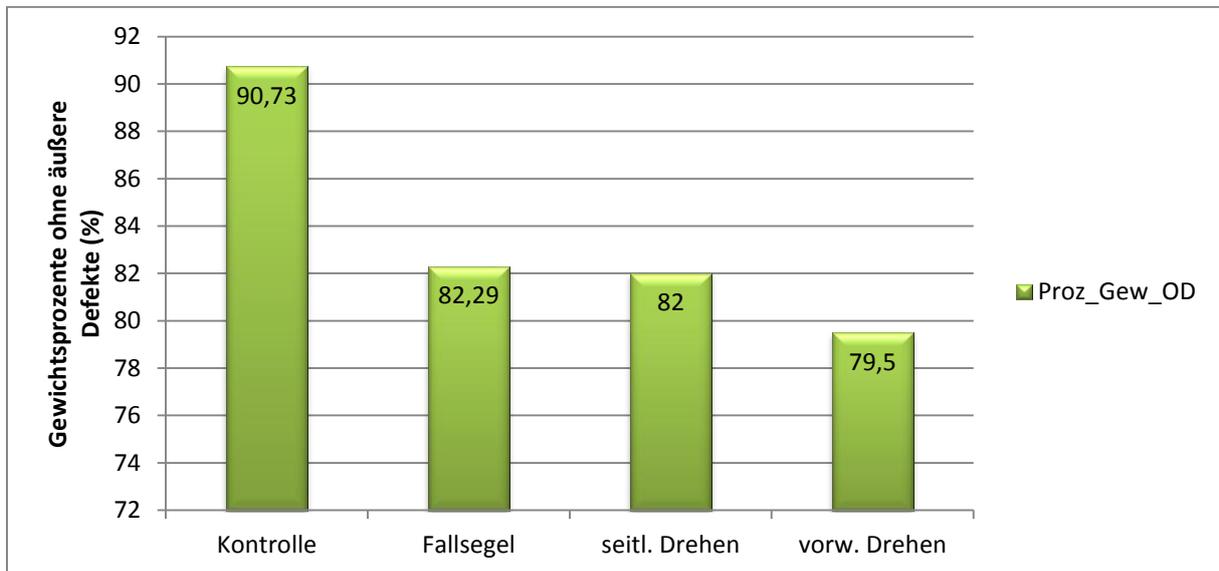


Abbildung A 2: Mittlere Gewichtsprozente der Knollen ohne äußere Knollenschäden in Abhängigkeit vom Verladeverfahren

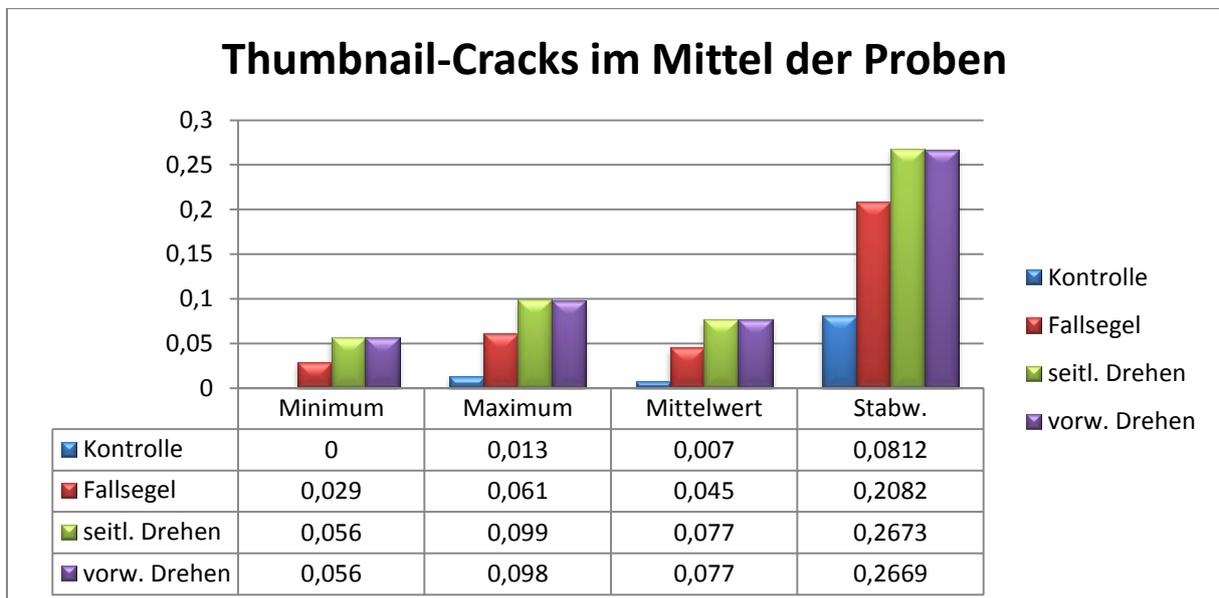


Abbildung A 3: Mittleres Konfidenzintervall (Minimum, Maximum), Mittelwerte und Standardabweichungen der Thumbnail-Cracks in Abhängigkeit der Verladevariante

Äußere Beschädigungen im Mittel der Proben

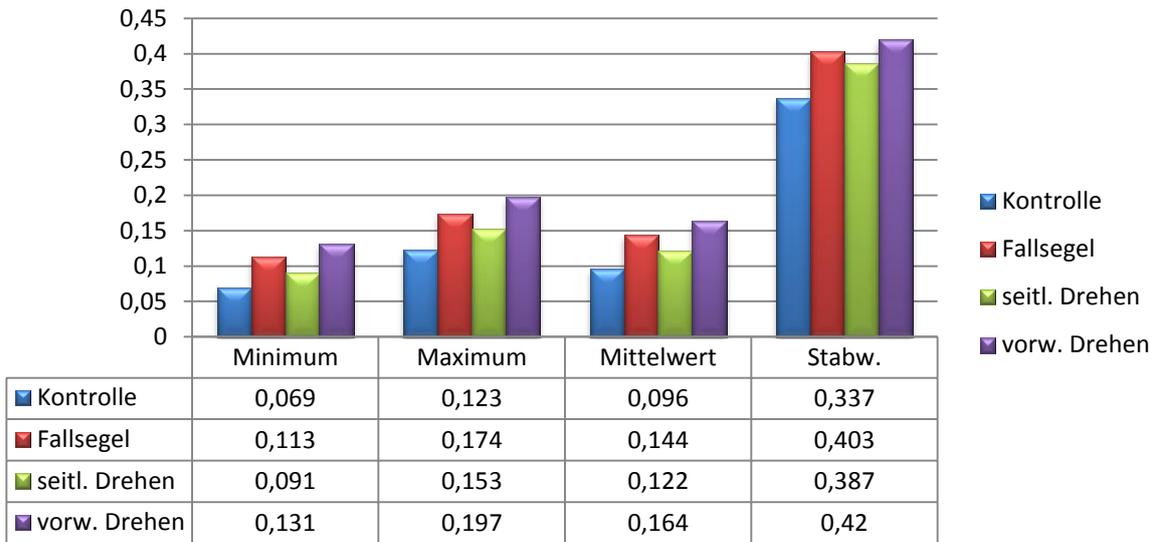


Abbildung A 4: Mittleres Konfidenzintervall (Minimum, Maximum), Mittelwerte und Standardabweichungen der äußeren Beschädigungen in Abhängigkeit der Verladevariante

Anzahl verfärbter Stellen im Mittel der Proben

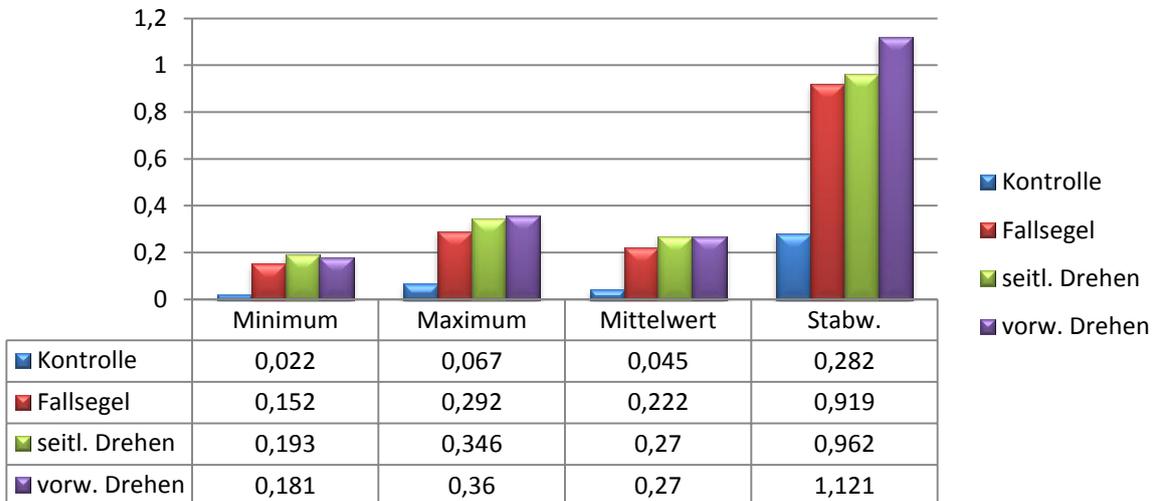


Abbildung A 5: Mittleres Konfidenzintervall (Minimum, Maximum), Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl schwarzfleckiger Stellen in Abhängigkeit der Verladevariante

Prozentual verfärbte Fläche der Knollen im Mittel der Proben

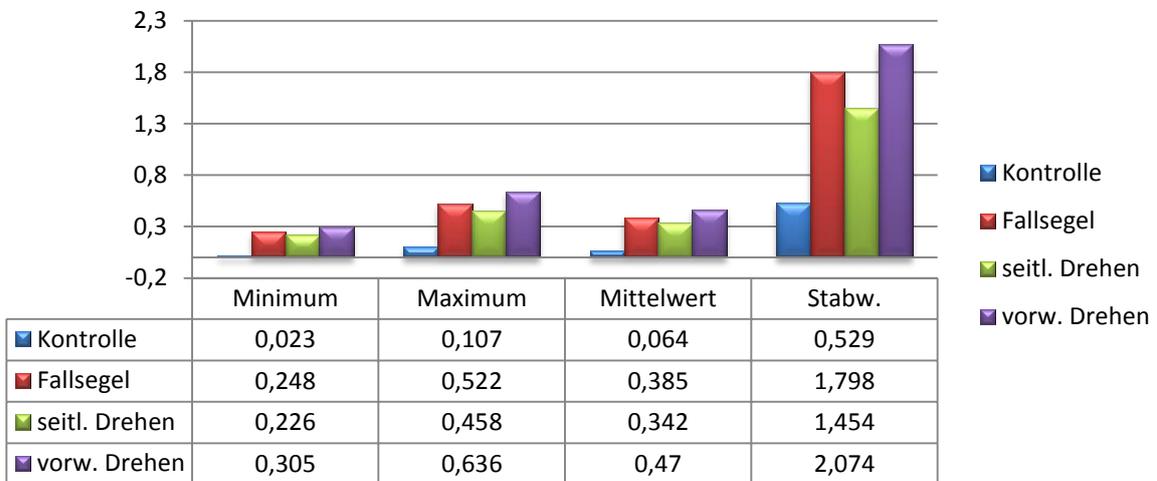


Abbildung A 6: Mittleres Konfidenzintervall (Minimum, Maximum), Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentual schwarzfleckigen Fläche in Abhängigkeit der Verladevariante

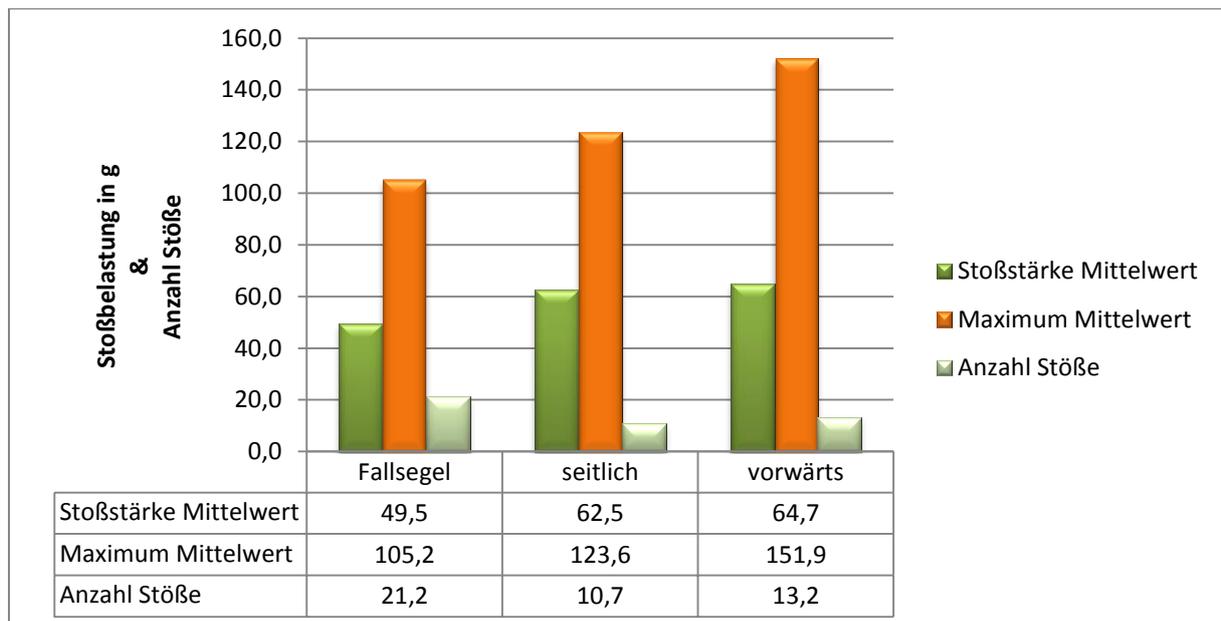


Abbildung A 7: Mittlere Stoßstärke, mittlere maximale Stoßkraft und Anzahl der Stöße der elektronischen Messung mittels TuberLog in Abhängigkeit der Verladevariante

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich,

1. dass ich diese Projektarbeit mit dem Thema:
„Einfluss der Verladetechnik auf die Beschädigungsrate ausgewählter
Pflanzkartoffelsorten“
ohne fremde Hilfe angefertigt habe,
2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die
Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen
innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und
3. dass ich meine Abschlussarbeit bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Bernburg, den 23.08.2017

Unterschrift _____