

Justus-Liebig-Universität Gießen

Fachbereich 09 „Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement“  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II

Bachelorarbeit

**VERGLEICHENDE ÖKOLOGISCHE UND AGRONOMISCHE  
UNTERSUCHUNGEN ZUM EINSATZ VON ARBEITSPFERDEN UND  
HERKÖMMLICHER TECHNIK (TRAKTOR) IM KARTOFFELANBAU**

ERFASSUNG DES EINFLUSSES UNTERSCHIEDLICHER ANBAUSYSTEME AUF  
BODENPARAMETER SOWIE ERTRAGSBILDUNG DER KULTURPFLANZEN

gestellt von: Prof. Dr. Günter Leithold (Erstbetreuer)  
Dr. Christopher J. Brock (Zweitbetreuer)

eingereicht von: Iris Schröter

Gießen, den 03.10.2010

## INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
Gleichungen	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Hintergrund des Projektes	3
1.2. Zielsetzungen	4
1.3. Hypothesen	5
<b>2. Material und Methoden</b>	<b>6</b>
2.1. Standortbedingungen	6
2.2. Versuchsanlage und Versuchsdurchführung	6
2.3. Probennahme und Probenaufbereitung	9
2.3.1. Erhebung Bodenparameter	9
2.3.1.1. Abscherwiderstand	10
2.3.1.2. Trockenrohddichte und Wassergehalt	10
2.3.2. Erhebung der Ertragsdaten	12
2.3.2.1. Zeiternte	12
2.3.2.2. Ernte	13
2.4. Analyse der Daten	14
2.5. Beurteilung der Vermarktungssituation	14
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>15</b>
3.1. Wetterdaten	15
3.2. Bodenparameter	17
3.2.1. Abscherwiderstand	17
3.2.2. Trockenrohddichte und Wassergehalt	21
3.2.3. Zusammenhänge zwischen einzelnen Bodenparametern	24
3.3. Ertragsparameter	26

---

3.3.1. Zeiternte	26
3.3.2. Ernte	30
3.3.3. Knollenentwicklung zwischen Zeiternte und Ernte	35
3.4. Vermarktungssituation für die mittels Zugpferdeeinsatz erzeugten Kartoffeln	36
3.4.1. Marktanalyse	36
3.4.2. Einflussfaktoren der Vermarktungssituation	38
3.4.3. Untersuchungen zum Verbraucherverhalten beim Lebensmittelkauf	42
3.4.4. Erfahrungen der versuchsdurchführenden Personen	43
<b>4. Diskussion</b>	<b>44</b>
4.1. Versuchsbedingungen	44
4.2. Untersuchungsparameter	45
4.3. Überprüfung der aufgestellten Hypothesen	47
<b>5. Schlussfolgerungen</b>	<b>57</b>
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>60</b>
<b>7. Literaturverzeichnis</b>	<b>63</b>
<b>8. Anhang</b>	<b>71</b>

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1	Pferdezug mit vollautomatischer Kartoffelsetzmaschine der Marke Hassia (Foto: Schneider)	4
Abbildung 2	Hacken der Kartoffeln mittels Pferdehacke (Foto: Schneider)	8
Abbildung 3	Darstellung der Überrollhäufigkeiten während eines Bearbeitungsganges sowie der Beprobungspunkte in den Spuren und im Damm für die Anbauvariante „Traktor“	10
Abbildung 4	Aufzeichnungen der Privaten Wetterstation 61169 Frieberg/Hessen über die Regenereignis des Monats Juli 2009 (Quelle: <a href="http://wetter61169.de/wettergrafiken/monatsgrafiken2009/juli2009/index.php">http://wetter61169.de/wettergrafiken/monatsgrafiken2009/juli2009/index.php</a> )	16
Abbildung 5	Verteilung der Abscherwiderstände ( $N/m^2$ ) für die Anbauvariante „Traktor“ sowie die Anbauvariante „Pferd“ in Spur und Damm	20
Abbildung 6	Durchschnittliche Trockenrohdichten ( $g/cm^3$ ) im Spurvergleich für die Anbauvarianten „Traktor“ und „Pferd“	21
Abbildung 7	Durchschnittlicher Wassergehalt ( $g/cm^3$ ) im Spurvergleich für die Anbauvarianten „Traktor“ und „Pferd“	21
Abbildung 8	Streudiagramm zur Darstellung der Korrelation von Trockenrohdichte ( $g/cm^3$ ) und Abscherwiderstand ( $N/m^2$ ) zum Zeitpunkt der Zwischenernte am 24.07.2009	24
Abbildung 9	Streudiagramm zur Darstellung der Abhängigkeit des Bodenwassergehaltes ( $g/cm^3$ ) von der Trockenrohdichte ( $g/cm^3$ ) zum Zeitpunkt der Zwischenernte am 24.07.2009	25
Abbildung 10	Darstellung des Gesamtknollengewichtes je zwei Pflanzen und des Knollengewichtes je zwei Pflanzen unterteilt in drei Fraktionen ( $< 3,5$ cm; $3,5 - 5,5$ cm; $> 5,5$ cm), differenziert nach Anbauvariante	27
Abbildung 11	Darstellung der Gesamtknollenanzahl je zwei Pflanzen sowie der Knollenanzahl je zwei Pflanzen unterteilt in drei Fraktionen ( $< 3,5$ cm; $3,5 - 5,5$ cm; $> 5,5$ cm), differenziert nach Anbauvariante	28

---

Abbildung 12	Knollenertrag (g) je zwei Pflanzen in Abhängigkeit von der Krautrockenmasse (g) je zwei Pflanzen	29
Abbildung 13	Gesamtertrag marktfähiger Knollen (to/ha), sowie Ertrag der einzelnen Sortierungen (to/ha), differenziert nach Anbauvariante	31
Abbildung 14	Anzahl marktfähige Knollen pro Hektar differenziert nach Anbauvariante; dargestellt sind die gesamte Knollenanzahl sowie die Anzahl der Knollen je Größensortierung	31
Abbildung 15	Anteiliger Ertrag der einzelnen Größensortierungen (> 5,5 cm; 3,5 – 5,5 cm; < 3,5 cm) sowie Gesamtertrag an nicht marktfähigem Erntegut (to/ha) differenziert nach grünen und beschädigten Knollen (P = Pferd; T = Traktor)	33
Abbildung 16	Verbrauch an Speisekartoffeln und Selbstversorgungsgrad in Deutschland von 1955/56 – 2005/06) (Quelle: LFL 2008)	37
Abbildung 17	Typologie ökologischer Wettbewerbsstrategien (Quelle: Dyllick et al. 1997)	39

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1	tatsächliche Regenmengen Mai bis September 2009 ( $l/m^2$ ), Monatsnormalwerte ( $l/m^2$ ) und Abweichung vom Normalwert ( $l/m^2$ ) (Quelle: Private Wetterstation 61169 Friedberg/Hessen In: <a href="http://wetter61169.de/">http://wetter61169.de/</a> )	16
Tabelle 2	Abscherwiderstand ( $N/m^2$ ) in den Fahr- bzw. Trittsuren für die Varianten „Pferd“ und „Traktor“ (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung)	18
Tabelle 3	Abscherwiderstand ( $N/m^2$ ) im Damm für die Varianten „Pferd“ und „Traktor“ (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung)	19
Tabelle 4	Einstufung der Rohdichte (trocken) nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005)	23
Tabelle 5	Trockenrohddichte ( $g/cm^3$ ) und Wassergehalt ( $g/cm^3$ ) der praxisrelevanten Spuren (Variante „Pferd“: linke, mittlere und rechte Spur; Variante „Traktor“: linke und mittlere Spur) (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung)	23
Tabelle 6	Trockenrohddichte ( $g/cm^3$ ) und Wassergehalt ( $g/cm^3$ ) bei spurübergreifender Ermittlung (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung) sowie durchschnittlicher prozentualer Anteil des Bodenwassers an der Rohddichte (feucht)	25
Tabelle 7	Ernteverunreinigungen in g je Wiederholung sowie umgerechnete Werte in $to/ha$ für die Anbauvarianten „Pferd“ und „Traktor“	34
Tabelle 8	Knollendurchschnittsgewicht in Gramm (g) für die Zeiternte und die Ernte, differenziert nach Größensortierungen ( $< 3,5$ cm; $3,5 - 5,5$ cm; $> 5,5$ cm) sowie ohne Größenunterteilung für beide Anbauvarianten	35

**Gleichungen**

Gleichung 1	Berechnung der Trockenrohddichte	11
Gleichung 2	Berechnung Wassergehalt	11
Gleichung 3	Berechnung der Gesamtknollenanzahl	12
Gleichung 4	Berechnung des Gesamtknollengewichtes	12
Gleichung 5	Berechnung des Gesamtgewichtes des Erntegutes	13
Gleichung 6	Berechnung des prozentualen Anteils der Ernteverunreinigungen	13
Gleichung 7	Berechnung des Ernteertrages in to/ha	14
Gleichung 8	Berechnung der Knollenanzahl pro ha	14

**Abkürzungsverzeichnis**

Akh/ha	Arbeitskraftstunde pro Hektar
BBodSchG	Bundes – Bodenschutzgesetz
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
°C	Grad Celcius
g/cm <sup>3</sup>	Gramm pro Kubikzentimeter
g/to	Gramm pro Tonne
et al.	et alii (und andere)
DIN	Deutsches Institut für Normung
DWD	Deutscher Wetterdienst
ha/h	Hektar pro Stunde
IGZ	Interessengemeinschaft Zugpferde
LfL	Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft
LLH	Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
m <sup>2</sup> /ha	Quadratmeter pro Hektar
N/m <sup>2</sup>	Newton pro Quadratmeter
NN	Normal Null
PS	Pferdestärke
%	Prozent
to/ha	Tonnen pro Hektar

## 1. EINLEITUNG

Während der Nutzung tierischer Zugkraft im weltweiten Maßstab noch eine große Bedeutung zukommt, spielt der Einsatz von Arbeitstieren in Industrieländern seit der Mechanisierung in der Mitte des 20. Jahrhunderts nur noch eine untergeordnete Rolle. Die Entwicklung schlagkräftiger Technik in Land- und Forstwirtschaft sowie im Transportwesen ermöglichte den fast vollständigen Verzicht auf Zugtiere. Lediglich im Forstbereich wurde die Nutzung von Pferden für HolZRückstätigkeiten in einem gewissen Umfang beibehalten (HEROLD 2001).

In letzter Zeit ist jedoch ein zunehmendes Interesse an dem Einsatz von Arbeitspferden in land- und forstwirtschaftlichen Betrieben sowie im Naturschutz zu verzeichnen (HEROLD et al. 2009). Die Gründe dafür sind vielfältig, dabei liegen Vorteile gegenüber der Anwendung maschineller Zugkraft vor allem im ökologischen Bereich. Im Gegensatz zum Traktor benötigen Pferde keine fossilen Treib- und Schmierstoffe, sondern können über das Futter photosynthetisch umgewandelte Sonnenenergie direkt in Leistung umsetzen. Auch bezüglich der Verwertung der zugeführten Energie weist das Pferd mit einer Energieeffizienz von ungefähr 30 % bessere Werte auf als Traktoren, die lediglich Werte zwischen 12 % und 20 % erreichen (HEROLD et al. 2009).

Ein entscheidender ökologischer Vorteil der Pferdearbeit kann jedoch im Bodenschutz gesehen werden. Als nicht vermehrbare Gut erfüllt der Boden vielfältige Funktionen. Er dient als Lebensraum, ist wichtiger Bestandteil von Wasser- und Nährstoffkreisläufen und dient aufgrund seiner Puffer- und Filterungseigenschaften insbesondere dem Schutz des Grundwassers. Als Standort für Nutzpflanzen bildet er die Grundlage für die land- und forstwirtschaftliche Produktion. Nach § 4 BBodSchG hat sich bei Einwirkungen auf den Boden jeder so zu verhalten, dass keine schädlichen Bodenveränderungen hervorgerufen werden (BBODSCHG 1998). Jede über die Eigenfestigkeit des Bodens hinausreichende Belastung führt zu Bodendeformationen und über die Veränderung des Porengefüges zu einer Beeinträchtigung der Bodenfunktionen (BLUME et al. 2010). Im Zuge der wirtschaftlichen und technischen Entwicklung im Bereich der Land- und Forstwirtschaft ist jedoch eine stetige Zunahme der Maschinenleistung sowie der Maschinengewichte zu beobachten, wodurch die mechanische Tragfähigkeit der Böden in Abhängigkeit von

Bodenzustand und Bodenfeuchte leicht überfordert werden kann (VOSSBRINK 2004). Pferde können hier einen aktiven Beitrag zum Schutz des Bodens leisten. Trotz teilweise sehr hoher Kontaktflächendrücke direkt unter den Hufen treten ökologische Veränderungen in den Trittsuren in der Regel nicht auf. Da der Boden durch die Huftritte lediglich punktuell belastet wird, beginnt eine flächige Verdichtung erst nach etwa achtmaligen Begehen derselben Spur (FLEISCHER & SÜSS 2002). Traktoren verdichten den Boden dagegen stets flächenhaft. Während punktuelle Verdichtungen aufgrund ihrer relativ großen Oberfläche schnell durch das umgebende Bodenleben regeneriert werden können, beeinträchtigen befahrungsbedingte Bodenverformungen die Bodenfunktionen oft über Jahre (WILPERT & SCHÄFFER 2002). Interessant hierbei ist, dass die während der Fahrzeugbewegung auftretenden dynamischen Kräfte, die ein Vielfaches der statischen Kräfte betragen können, die dominierende Rolle in den Verformungsprozessen spielen. Daher kann allein auf Grundlage der Gesamtgewichte der Fahrzeuge nicht auf das Ausmaß eventuell möglicher Bodenschädigung geschlossen werden (HILDEBRANDT 2008). Von Bedeutung ist die Auflast jedoch für die Tiefenwirkung der mechanischen Bodenbeanspruchung. Bei gleichem Kontaktflächendruck pflanzt sich der Druck bei höheren Radlasten in tiefere Bodenschichten fort, wodurch die Gefahr der Unterbodenschädigung besteht (PLOEG et al. 2006). Traktoren weisen Radlasten zwischen einer und fünf Tonnen auf, bei Köpfrödebunkern wurden bei gefülltem Bunker Radlasten von mehr als zwölf Tonnen gemessen (MOITZI & BOXBERGER 2007). Ausgehend von einem 700 Kilogramm schweren Pferd beträgt dagegen die Auflast pro Pferdehuf der Hinterhand im Schritt lediglich ca. 500 Kilogramm, wobei eine Lastverteilung bei Zugarbeit von 30 % auf der Vorhand und 70 % auf der Hinterhand angenommen wird (VOSSBRINK 2004). Schädigungen des Unterbodens sind daher bei dem Einsatz von Arbeitspferden nicht zu erwarten.

Aber auch unter ökonomischen Gesichtspunkten kann der Einsatz von Zugpferden Vorteile bieten. Kostengünstiger erscheint er insbesondere dann, wenn sich Flächenleistung (ha/h) und Gesamtarbeitszeitbedarf (Akh/ha) von Schleppereinsatz und Pferdearbeit annähern (BLUMENSTEIN 2008). Im Bereich der Forstwirtschaft ist das insbesondere bei Vorlieferarbeiten der Fall. Untersuchungen ergaben, dass trotz geringfügig höherer Vorlieferleistung des Schleppers bei Durchführung der

Rückarbeiten mit dem Pferd ein höherer Deckungsbeitrag erzielt werden kann (WIRTH & WOLF 2008). In Landwirtschaft und Gartenbau eignet sich das Pferd vor allem für Arbeiten in Reihenkulturen. Konkurrenzfähig erweist sich das Pferd hauptsächlich dort, wo für eine effiziente Arbeitserledigung die höhere Schlagkraft des Schleppers nicht zweckdienlich ist (PINNEY 2003). Würden zusätzlich schwer monetär zu bewertende Leistungen wie die Schonung der Umwelt durch verringerte Treibhausgasemissionen und der Effekt der Pferde als Werbeträger berücksichtigt, so könnte sich Pferdearbeit gegenüber dem Einsatz von Traktoren in weiteren Bereichen als rentabler erweisen (BLUMENSTEIN 2008).

Dass trotz allem die Nutzung von Zugpferden in weiten Bereichen eher skeptisch betrachtet wird, liegt vermutlich nicht nur an einem zu geringen Kenntnisstand über die vorteilhaften Wirkungen der Pferdearbeit. Eine entscheidende Rolle dürfte auch der zur Versorgung der Tiere erforderliche Zeitaufwand spielen. Pferde sind Lebewesen, sie benötigen Erholungspausen während der Arbeit, Futter und Pflege auch in arbeitsfreien Zeiten sowie fachkundigen Umgang und Training. Ein Traktor arbeitet dagegen ermüdungsfrei und kann über einen langen Zeitraum kontinuierlich eingesetzt werden. Eine tägliche Wartung des Schleppers ist nicht notwendig, und bis zu seinem nächsten Einsatz steht er geduldig in der Maschinenhalle (PINNEY 2003).

## **1.1. Hintergrund des Projektes**

Der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Tastversuch wurde von Mitgliedern der Interessengemeinschaft Zugpferde Hessen angeregt. Die Nebenerwerbslandwirte Ulrich Winter und Karl-Heinrich Schneider setzen bereits seit einigen Jahren Arbeitspferde im Kartoffelanbau ein. Um auch die Pflanzung der Kartoffeln mit dem Pferd durchführen zu können, hat Ulrich Winter aus einer für den Traktor gedachten Kartoffelsetzmaschine der Marke „Hassia“ eine vollautomatische Setzmaschine für den Pferdezug konstruiert (SCHNEIDER 2007). Der Verkauf der mit Hilfe der Arbeitspferde kultivierten Kartoffeln erfolgt durch Direktvermarktung.

Von Interesse für die Mitglieder der IGZ Hessen sind dabei vor allem die Auswirkungen des Pferdeinsatzes gegenüber dem Schleppereinsatz auf Boden und Ertrag. Durch die vorliegende Arbeit sollen erste Anhaltspunkte gewonnen werden,

welches Anbauverfahren eine geringere Beeinträchtigung der natürlichen Bodenfunktionen darstellt. Ebenfalls sollen eventuell bestehende Beziehungen zwischen Anbauvariante und Ertrag aufgedeckt werden. Eine weitere Frage ergab sich dahingehend, ob durch den Kartoffelanbau mit Hilfe von Zugpferden Vermarktungsvorteile erzielt werden können.



**Abb. 1: Pferdezug mit vollautomatischer Kartoffelsetzmaschine der Marke „Hassia“ (Foto: Schneider)**

## **1.2. Zielsetzungen**

Die Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit ergeben sich aus den vorgenannten Fragestellungen. Es sollen eventuell bestehende Unterschiede der Anbauvarianten „Pferd“ und „Traktor“ bezüglich ihrer Wirkungen auf Boden- und Ertrageigenschaften sowie hinsichtlich der Vermarktungssituation ermittelt werden. Die gewonnenen Daten sollen erste Hinweise darauf geben, ob der Einsatz von Arbeitspferden im Kartoffelanbau eine Alternative zum Schleppereinsatz darstellen kann und eine Orientierungshilfe für weiterführende Untersuchungen sein.

Im Bereich der Bodeneigenschaften erfolgt der Vergleich der unterschiedlichen Anbauvarianten durch Erhebung und Auswertung ausgewählter bodenökologischer Parameter.

Die Wirkungen auf den Ertrag werden durch Erhebung und Auswertung verschiedener agronomischer Daten aufgezeigt.

Die Beurteilung der Vermarktungssituation für die mittels Pferdeinsatz erzeugten Kartoffeln erfolgt anhand von Literaturrecherchen und Erfahrungen der versuchsdurchführenden Personen, da die Erstellung einer aussagekräftigen Marktanalyse im Rahmen dieser Arbeit nicht leistbar ist.

### **1.3. Hypothesen**

- 1) Es wird vermutet, dass der Einsatz von Arbeitspferden im Kartoffelanbau die bodenschonendere Alternative ist. Für die bodenphysikalischen Kenngrößen werden daher Werte erwartet, welche in der Anbauvariante „Pferd“ auf einen besseren Strukturzustand des Bodens gegenüber der Anbauvariante „Traktor“ schließen lassen.
- 2) Ausgehend von der vorstehend formulierten Hypothese zur Bodenstruktur werden für die Ertragsparameter ebenfalls Vorteile zugunsten der Anbauvariante „Pferd“ erwartet. Ausschlaggebend für diese Annahme ist der Gedanke, dass ein besserer Strukturzustand des Bodens eine größere Bodenfruchtbarkeit und damit einen höheren Ertrag bedingt.
- 3) Bezüglich der Vermarktungssituation wird angenommen, dass für Ernterzeugnisse der Anbauvariante „Pferd“ Vermarktungsvorteile gegenüber konventioneller Anbauweise bestehen.

## **2. MATERIAL UND METHODEN**

### **2.1. Standortbedingungen**

Die Versuchsfläche befindet sich in 61203 Reichelsheim im Zentralbereich der Wetterau. Das Landschaftsgebiet der Wetterau bildet als Teil eines großen geologischen Grabenbruchsystems die nordöstliche Verlängerung des Oberrheingrabens. Die Region weist eine flachwellige Oberflächenstruktur mit mittleren Höhen zwischen 120 und 160 m über NN auf (PFLUG 1998).

Die Wetterau gilt mit mittleren Jahrestemperaturen von 8 – 10 °C als ausgesprochen klimabegünstigt (UMWELTATLAS HESSEN 2004), die mittleren Jahresniederschläge betragen für den Raum Friedberg etwa 620 mm (DWD 2006). In der vorliegenden Arbeit finden die Wetterdaten der etwa zehn Kilometer vom Versuchsstandort entfernten „Privaten Wetterstation 61169 Friedberg/Hessen“ (<http://wetter61169.de/>) Verwendung.

Äolische, vorwiegend aus Löß bestehende Sedimentablagerungen bilden die Grundlage für die hohe Fruchtbarkeit der Böden mit Ackerzahlen zwischen 85 und 90. Infolge der pedogenen und klimatischen Begünstigungen ist die Wetterau ein schon seit Jahrtausenden vom Menschen landwirtschaftlich genutztes Gebiet und zählt damit zu einer der ältesten Kulturlandschaften Europas (PFLUG 1998)

Bei der Versuchsfläche handelt es sich um einen Acker, welcher im Jahr 2006 von einem konventionell wirtschaftenden Landwirt übernommen wurde. Als Vorfrucht wurde einheitlich Winterweizen angebaut.

### **2.2. Versuchsanlage und Versuchsdurchführung**

Der Versuch wurde als On-Farm-Experiment angelegt. Die Versuchsdurchführung wurde von den Mitgliedern der IGZ Hessen Ulrich Winter (Eigentümer des Ackers) und Karl-Heinrich Schneider geleistet. Die technischen Aspekte der Versuchsanlage sowie die Abläufe der Versuchsdurchführung wurden im Vorfeld in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern des Lehrstuhls für Ökologischen Landbau der Universität Gießen festgelegt.

Die Grundbodenbearbeitung erfolgte im Herbst 2008 einheitlich für die gesamte Fläche mittels traktorgezogenem Pflug. Die Saattbettbereitung im Frühjahr 2009

wurde mit Hilfe einer traktorgetriebenen Kreiselegge ausgeführt. Das Setzen der Kartoffeln sowie die nachfolgenden Pflegegänge erfolgten differenziert, wobei der Hauptteil der Fläche mit dem Pferd und ein markiertes Teilstück mit dem Traktor bearbeitet wurde. Für den Versuch wurde einheitliches Pflanzgut der Kartoffelsorte „Belana“ verwendet. Dabei handelt es sich um eine frühe, festkochende Speisekartoffel von ovaler Form und gelber Farbe. Aufgrund des hohen Knollenansatzes wird ein Legeabstand von 32 - 34 cm bei einem Reihenabstand von 75 cm empfohlen. Ansprüche an Boden und Wasserversorgung sind mittel bis hoch, auf einen guten Kulturzustand des Bodens ist zu achten. Die Sorte ist nematodenresistent und weist eine gute Lagerfähigkeit auf. Sie liefert einen guten Ertrag mit hohem Marktwareanteil bei gleichmäßiger Sortierung (EUROPLANT 2009). Angebaut wurden die Kartoffeln konventionell in Dammkultur. Dieses Verfahren fördert die Bodenerwärmung im Frühjahr und erleichtert die Unkrautregulierung sowie die Ernte (SCHIEDER 2003).

Die Pflanzung der Kartoffeln erfolgte sowohl in der Anbauvariante „Pferd“ als auch in der Anbauvariante „Traktor“ mittels einer zweireihigen, vollautomatischen Kartoffelsetzmaschine der Marke Hassia. Der durch die Setzmaschine vorgegebene Reihenabstand betrug 70 cm, als Legeabstand in der Reihe wurden 40 cm gewählt. Als Zugpferde wurden zwei Süddeutsche Kaltblüter mit einem Körpergewicht von jeweils etwa 800 kg eingesetzt. Bei dem Traktor handelte es sich um ein Fahrzeug der Marke Renault mit einem Leergewicht von 3,5 to und einer Leistung von 46 PS. Beide Versuchsvarianten wurden nebeneinander als Langstreifen angelegt. Jeder Langstreifen umfasste drei Täler (Spuren) und die zwei dazwischenliegenden Dämme.

Folgende Arbeitsgänge wurden nach der Grundbodenbearbeitung bis zur Durchführung der Untersuchungen auf der mit dem Pferd bearbeiteten Fläche ausgeführt:

- Kartoffeln setzen
- dreimaliges Häufeln der Kartoffeln
- einmaliges Hacken der Kartoffeln mit der Pferdehacke
- einmaliges Abschleppen der Fläche
- einmaliges Hacken mit der Handhacke



**Abb. 2: Hacken der Kartoffeln mittels Pferdehacke  
(Foto: Schneider)**

Folgende Arbeitsgänge wurden im gleichen Zeitraum in der Traktorvariante ausgeführt:

- Kartoffeln setzen
- einmaliges maschinelles Hacken der Kartoffeln
- einmaliges Häufeln der Kartoffeln
- einmaliges Hacken mit der Handhacke

Die Ernte der Kartoffeln erfolgte für beide Bearbeitungsverfahren maschinell mittels traktorgezogenem Kartoffelvollernter. Eine vorherige Krautminderung bzw. Krautabtötung erfolgte nicht, so dass eine Einflussnahme einer solchen Maßnahme auf die Ertragsparameter im vorliegenden Versuch ausgeschlossen werden kann. Im Speisekartoffelanbau dient die Lenkung der Krautentwicklung der Förderung der Schalenfestigkeit bei frühen Ernteterminen sowie der gezielten Steuerung der Größensortierung und des Stärkegehaltes (BENKER 2007).

## **2.3. Probennahme und Probenaufbereitung**

Verantwortlich für die Probennahme sowie die Probenaufbereitung war der Lehrstuhl für Ökologischen Landbau der Universität Gießen. Sowohl die Beprobung der Bodenparameter als auch die Entnahme der Proben für die Untersuchung der Ertragsparameter wurde durch Angehörige der Universität Gießen unter Mitwirkung der versuchsdurchführenden Personen Karl-Heinrich Schneider und Ulrich Winter vorgenommen. Die Probenaufbereitung sowie die Auswertung erfolgten anschließend am Lehrstuhl für Ökologischen Landbau durch Angehörige der Universität Gießen.

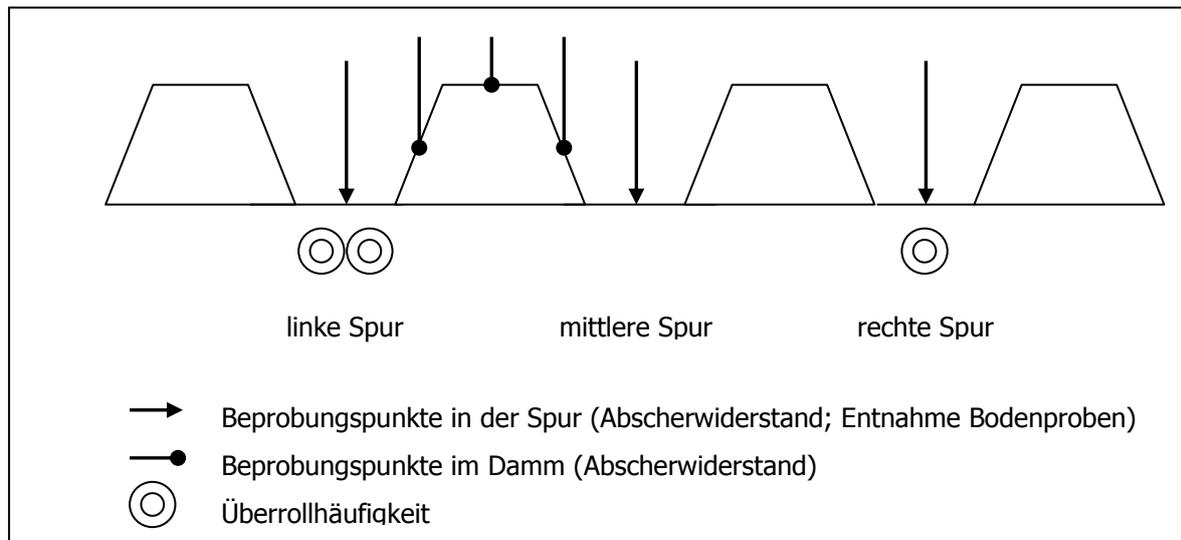
### **2.3.1. Erhebung Bodenparameter**

Zur späteren Interpretation der ermittelten Bodenparameter sind Kenntnisse der Überrollhäufigkeiten durch den Traktor bzw. der Häufigkeit des Begehens der Spuren durch die Pferde sowie die Positionierung der Beprobungspunkte von Bedeutung.

Für jedes Bearbeitungsverfahren wurden die Bodenparameter in jeweils drei nebeneinander liegenden Spuren ermittelt. Wie in Abbildung 3 dargestellt, wurde in der Anbauvariante „Traktor“ je Bearbeitungsgang die rechte Spur einmal und die linke Spur zweimal befahren, während die mittlere Spur nicht befahren wurde. Das einmalige Befahren der rechten Spur erklärt sich aus dem Umstand, dass diese Spur direkt an die Pferdevariante angrenzt, und damit eine zweifache Nutzung dieser Spur durch den Traktor nicht notwendig war. Die Ermittlung der Bodenparameter im Damm erfolgte zwischen linker und mittlerer Spur jeweils an beiden Flanken sowie in der Mitte des Dammes.

Ebenso wie in der mit dem Traktor bearbeiteten Fläche wurden auch in der Pferdevariante Bodenparameter in drei Spuren sowie im Damm zwischen linker und mittlerer Spur erhoben. Im Gegensatz zur Traktorvariante wurden hier jedoch alle Spuren je Bearbeitungsgang einmal vom Pferd begangen.

Die Beprobung erfolgte nach Durchführung des letzten Pflegegangs am 24.07.2009.



**Abb. 3: Darstellung der Überrollhäufigkeiten während eines Bearbeitungsganges sowie der Beprobungspunkte in den Spuren und im Damm für die Anbauvariante „Traktor“**

#### 2.3.1.1. Abscherwiderstand

Die Scherfestigkeit bzw. der Abscherwiderstand ist eine aus innerer Haftung und Reibung resultierende Kraft, welche zwischen gegeneinander bewegten Bodenteilchen oder auch Bodenmassen gegen die treibenden Kräfte wirkt (PLANAT o. J.).

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, wurde der Abscherwiderstand in allen drei Fahrspuren sowie im Damm bestimmt. Der Messbereich der dazu verwendeten Flügelsonde umfasste Werte von 0 – 400 N/m<sup>2</sup>. Für beide Bewirtschaftungsverfahren wurden die Messungen in vierfacher Wiederholung im Abstand von fünf Metern in einer Tiefe von 20 Zentimetern durchgeführt. In den Spuren wurden pro Beprobungsstelle jeweils drei Werte erhoben. Im Damm wurde der Abscherwiderstand immer mittig zwischen zwei Pflanzen in der Reihe gemessen, pro Beprobungsstelle wurde jeweils ein Wert ermittelt.

#### 2.3.1.2. Trockenrohdichte und Wassergehalt

Die Lagerungsdichte eines Bodens ist ein Maß für die Verfestigung des Bodens und lässt bei bekannter Festsubstanz des Bodens Rückschlüsse auf das Gesamtporenvolumen des Bodens zu. Sie wird nach DIN 19683 Teil 12 als Trockenrohdichte als Quotient aus Masse und Bodenvolumen unter Einschluss von Hohlräumen in g/cm<sup>3</sup> berechnet (KUNTZE et al. 1994).

Zur Ermittlung der Trockenrohddichte und des Wassergehaltes wurden für jede Anbauvariante Bodenproben aus den drei Fahr- bzw. Trittsuren in vierfacher Wiederholung im Abstand von fünf Metern entnommen. Die Probennahme wurde vertikal im Bereich der oberen Ackerkrume in einer Tiefe von 3 – 9 cm durchgeführt. Die Gewinnung der Bodenproben erfolgte mit Hilfe von zwei Metallstechzylindern mit einem Volumen von 250 cm<sup>3</sup> je Stechzylinder, so dass das Volumen jeder Probe 500 cm<sup>3</sup> betrug.

Die Bodenproben wurden für den Transport in gekennzeichnete Gefrierbeutel verpackt, die Beutel wurden anschließend verschlossen. Bis zur weiteren Untersuchung wurden die Proben in einem Gebäude der Universität Gießen (Lehrstuhl für Ökologischen Landbau) in verschlossenem Zustand kühl und dunkel aufbewahrt. Am 03.08.2009 wurde die Frischmasse der Bodenproben durch Wägung bestimmt. Anschließend wurden die Proben in markierten Trockenschalen im Trockenschrank für zwei Tage bei 60 °C und für 24 Stunden bei 105 °C getrocknet. Nach Abschluss des Trockenvorgangs wurden die Proben erneut gewogen. Aus dem Frischgewicht und dem Volumen der entnommenen Bodenproben wurde die Rohddichte (feucht) ermittelt, aus dem Trockengewicht und dem Volumen der Bodenproben wurde die Trockenrohddichte berechnet. Der Wassergehalt wurde als Differenz aus Rohddichte (feucht) und Trockenrohddichte bestimmt.

In die Berechnungen gingen folgende Kennwerte ein:

$$\begin{array}{ll}
 m_f = \text{Masse Boden feucht (g)} & r_t = \text{Trockenrohddichte (g/cm}^3\text{)} \\
 m_t = \text{Masse Boden trocken (g)} & r_f = \text{Rohddichte feucht (g/cm}^3\text{)} \\
 V = \text{Volumen der Bodenprobe (cm}^3\text{)} & w = \text{Wassergehalt (g/cm}^3\text{)}
 \end{array}$$

#### **Gleichung 1: Berechnung der Trockenrohddichte**

$$r_t = \frac{m_t}{V}$$

#### **Gleichung 2: Berechnung Wassergehalt**

$$w = r_f - r_t = \frac{m_f}{V} - \frac{m_t}{V}$$

### 2.3.2. Erhebung der Ertragsdaten

Zur Dokumentation der Entwicklung der Ertragsparameter wurden diese zu zwei unterschiedlichen Vegetationszeitpunkten erhoben.

#### 2.3.2.1. Zeiternte

Die Zeiternte wurde zum Termin der Bodenuntersuchung durchgeführt. Die Kartoffelpflanzen befanden sich zu diesem Zeitpunkt im Wachstumsstadium BBCH 91. Für jede Anbauvariante erfolgte eine Handerte von jeweils zwei Kartoffelpflanzen in vierfacher Wiederholung im Abstand von fünf Metern. Geerntet wurden sowohl die Knollen als auch das Kraut. Zum Abtransport vom Feld wurde das Erntegut in gekennzeichnete Plastiksäcke verpackt. Die Lagerung bis zur Durchführung der weiteren Untersuchungen am 03.08.2009 erfolgte in einem kühlen und dunklen Raum der Universität Gießen.

Zur Ermittlung des Trockengewichtes der oberirdischen Sprossmasse wurde das Kartoffelkraut zwei Tage bei 60 °C im Trockenschrank getrocknet und anschließend gewogen.

Die Kartoffelknollen wurden gewaschen und manuell mit Hilfe von Sortiersieben in drei Größen sortiert. Es standen dafür ein Sieb mit einer Maschenweite von 35 mm und ein Sieb mit einer Maschenweite von 55 mm zur Verfügung, so dass eine Unterteilung der Kartoffeln in die drei Fraktionen <35 mm, 35 - 55 mm und >55 mm vorgenommen werden konnte. Für die einzelnen Wiederholungen wurden für jede Größensortierung die Knollenanzahl durch Zählen und das Knollengewicht durch Wiegen ermittelt. Die Gesamtknollenanzahl und das Gesamtknollengewicht je Wiederholung wurden nach folgenden Formeln ermittelt:

#### **Gleichung 3: Berechnung der Gesamtknollenanzahl**

$$\text{Anzahl}_{\text{Knollen gesamt}} = \text{Anzahl}_{\text{Knollen} < 35 \text{ mm}} + \text{Anzahl}_{\text{Knollen } 35-55 \text{ mm}} + \text{Anzahl}_{\text{Knollen} > 55 \text{ mm}}$$

#### **Gleichung 4: Berechnung des Gesamtknollengewichtes**

$$m_{\text{Knollen gesamt}} [\text{g}] = m_{\text{Knollen} < 35 \text{ mm}} [\text{g}] + m_{\text{Knollen } 35-55 \text{ mm}} [\text{g}] + m_{\text{Knollen} > 55 \text{ mm}} [\text{g}]$$

### 2.3.2.2. Ernte

Die Ernte wurde maschinell mittels traktorgezogenem Kartoffelvollroder am 23.09.2009 durchgeführt. Für jede Anbauvariante erfolgte dabei eine Beerntung von jeweils zehn Metern in zweifacher Wiederholung. Die Bestimmung der Erntestrecke erfolgte mit dem Maßband. Da die Vermutung bestand, dass sich beide Anbauvarianten auch hinsichtlich des Gehaltes an Erdkluten im Erntegut und damit in der Rodbarkeit unterscheiden, erfolgte die Ernte ohne Verlesevorgang. Zum Abtransport vom Feld wurde das Erntegut in gekennzeichnete Sisalsäcke verpackt. Die Säcke wurden bis zur Durchführung der Analysen am 30.09.2009 kühl und dunkel in einem Gebäude der Universität Gießen aufbewahrt.

Die Größeneinteilung der Knollen und die Ermittlung der Ertragsparameter für den Knollenertrag wurden analog zur Zeiternte vorgenommen. Zusätzlich wurde für jede Größensortierung die nicht marktfähige Ware durch gesonderte Erfassung der grünen und beschädigten Knollen erhoben. Ernteverunreinigungen wurden durch Verwiegen der im Erntegut befindlichen Erdanteile und Steine erfasst. Zur Berechnung der prozentualen Anteile der Verunreinigungen am Erntegut wurden folgende Formeln verwendet:

#### **Gleichung 5: Berechnung des Gesamtgewichtes des Erntegutes**

$$m_{\text{gesamt}} [\text{g}] = m_{\text{Knollen} < 35 \text{ mm}} [\text{g}] + m_{\text{Knollen } 35\text{-}55 \text{ mm}} [\text{g}] + m_{\text{Knollen} > 55 \text{ mm}} [\text{g}] \\ + m_{\text{Erde/Steine}} [\text{g}]$$

#### **Gleichung 6: Berechnung des prozentualen Anteils der Ernteverunreinigungen**

$$\text{Anteile Erde/Steine} [\%] = \frac{m_{\text{Erde/Steine}} [\text{g}] * 100}{m_{\text{gesamt}} [\text{g}]}$$

Sofern die Ergebnisse der Ernteparameter auf den Hektar bezogen dargestellt sind, wurde die Umrechnung der für die einzelnen Wiederholungen ermittelten Gewichte und Stückzahlen folgendermaßen durchgeführt:

**Gleichung 7: Berechnung des Ernteertrages in to/ha**

$$m \text{ [to/ha]} = \frac{m_{\text{Wiederholung}} \text{ [g]} * 10.000 \text{ m}^2/\text{ha}}{0,7 \text{ m} * 10 \text{ m} * 1.000.000 \text{ g/to}}$$

**Gleichung 8: Berechnung der Knollenanzahl pro ha**

$$\text{Knollenanzahl/ha} = \frac{\text{Knollenanzahl}_{\text{Wiederholung}} * 10.000 \text{ m}^2/\text{ha}}{0,7 \text{ m} * 10 \text{ m}}$$

**2.4. Analyse der Daten**

Die Aufbereitung der Daten zur tabellarischen Darstellung wurde unter Verwendung des Programms „Excel“ der Firma Microsoft vorgenommen. Versuchsbedingt erfolgte die statistische Auswertung vorrangig mit Methoden der deskriptiven Statistik. Unterschiede in der Wirkung der beiden Bewirtschaftungsweisen auf ausgewählte Boden- und Ertragsparameter wurden mittels univariater Varianzanalyse (ANOVA) mit Hilfe des Programms STATISTICA überprüft. Ergebnisse mit einem Signifikanzwert von  $p < 0,05$  wurden als signifikant gewertet.

**2.5. Beurteilung der Vermarktungssituation**

Zur Einschätzung der Vermarktungssituation bezüglich der mittels Pferdearbeit erzeugten Kartoffeln im Vergleich zu konventionell angebauten Kartoffeln wurde vorhandene Literatur ausgewertet. Da das Marktpotential von durch Pferdearbeit erzeugten Produkten und erbrachten Leistungen bisher wenig erforscht ist, wurden vor allem Rückschlüsse aus Untersuchungen zum allgemeinen Verbraucherverhalten im Lebensmittelsektor gezogen. Erfahrungen der versuchsdurchführenden Personen mit der Direktvermarktung der unter Zugpferdeinsatz erzeugten Kartoffeln wurden ebenfalls berücksichtigt.

### **3. ERGEBNISSE**

#### **3.1. Wetterdaten**

Im Jahr 2009 lag die Jahresdurchschnittstemperatur für Deutschland mit 9,2 Grad ein Grad über dem langjährigen Mittel. Die Sonnenscheindauer betrug durchschnittlich 1664 Stunden, womit der Mittelwert von 1528 Stunden übertroffen wurde. Fast ausgeglichen fiel bei deutschlandweiter Betrachtung die Niederschlagsbilanz aus (SPIEGEL ONLINE 2009).

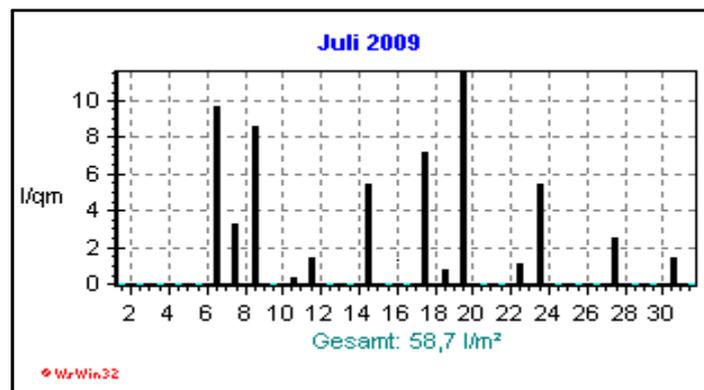
Zur Beurteilung der Anbau- und Wachstumsbedingungen auf dem Versuchsfeld wurden Wetterdaten der Region Friedberg/Hessen näher ausgewertet. Die Durchschnittstemperatur des Jahres 2009 lag entsprechend dem deutschlandweiten Trend mit 10,25 Grad etwa ein Grad über dem Normalwert. Die Niederschlagsmenge überstieg mit 710 l/m<sup>2</sup> den Normalwert um 95 l/m<sup>2</sup> (PRIVATE WETTERSTATION 61169 FRIEDBERG/HESSEN).

Bei Betrachtung der Witterung im Jahresverlauf ist erkennbar, dass die Monate April, August und November deutlich wärmer und der Monat Januar wesentlich kälter als im langjährigen Mittel ausfielen. Zur Einordnung der im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Boden- und Ertragparameter sind jedoch insbesondere die Niederschlagsverhältnisse im Vegetationszeitraum der Kartoffelkultur von Interesse. Der geplante Pflanztermin musste aufgrund starker Regenereignisse um eine Woche auf den 25.04.2009 verschoben werden. Der Monat Mai des Jahres 2009 wies im Vergleich zum langjährigen Mittel eine geringfügig niedrigere Niederschlagsmenge auf. Auch die Monate Juli, August und September fielen zu trocken aus, während der Monat Juni deutlich niederschlagsreicher war (PRIVATE WETTERSTATION 61169 FRIEDBERG/HESSEN). Die tatsächlichen Regenmengen der Monate Mai bis September 2009, die Normalwerte und die Abweichungen vom Normalwert für den Raum Friedberg sind aus Tabelle 1 ersichtlich.

**Tab. 1: tatsächliche Regenmengen Mai bis September 2009 (l/m<sup>2</sup>), Monatsnormalwerte (l/m<sup>2</sup>) und Abweichung vom Normalwert (l/m<sup>2</sup>) (Quelle: Private Wetterstation 61169 Friedberg/Hessen. In: <http://wetter61169.de/>)**

	Mai	Juni	Juli	August	September
Regenmenge (l/m <sup>2</sup> )	50,4	99,0	58,7	34,6	22,3
Normalwert (l/m <sup>2</sup> )	55,0	64,0	67,0	47,0	50,0
Abweichung (l/m <sup>2</sup> )	-4,6	35,0	-8,3	-12,4	-27,7

Die Erhebung der Bodenkennzahlen erfolgte am 24.07.2009. Wegen eines möglichen Einflusses der Niederschlagsereignisse auf die erhobenen Bodenparameter sind in Abbildung 4 die Regentage und Regenmengen des Monats Juli für den Raum Friedberg dargestellt.



**Abb. 4: Aufzeichnungen der Privaten Wetterstation 61169 Friedberg/Hessen über die Regenereignisse des Monats Juli 2009 (Quelle: <http://wetter61169.de/wettergrafiken/monatsgrafiken2009/juli2009/index.php>)**

## 3.2. Bodenparameter

Bei Auswertung der Bodenparameter im Spurbereich ist zu beachten, dass in der Anbauvariante „Traktor“ die Gegebenheiten der rechten Spur nicht den Verhältnissen unter Praxisbedingungen entsprechen. Aus technischen Gründen wurde diese Spur je Bearbeitungsgang nur einfach befahren, während im konventionellen Dammanbau von Kartoffeln bei zweireihiger Legetechnik im Wechsel eine Spur doppelt und eine Spur nicht befahren wird. Bei Darstellung von für den gesamten Acker repräsentativen Durchschnittswerten ist zusätzlich zu beachten, dass die Berücksichtigung einer ungeraden Anzahl nebeneinander liegender Spuren in der Traktorvariante zu falschen Ergebnissen führen würde. Daher werden nachfolgend für die Bodenparameter im Spurbereich zusätzlich die Mittelwerte für die Spuren dargestellt, die einen Rückschluss auf die Verhältnisse eines unter Praxisbedingungen bearbeiteten Ackers ermöglichen. Dafür werden für die mit dem Pferd bearbeitete Fläche alle untersuchten Spuren in die Berechnung einbezogen, im Bearbeitungsverfahren „Traktor“ werden lediglich die linke und die mittlere Spur erfasst.

### 3.2.1. Abscherwiderstand

Die Messung des Abscherwiderstandes wurde in einer Tiefe von 20 cm mit Hilfe einer Flügelsonde mit einem Messbereich von 0 – 400 N/m<sup>2</sup> vorgenommen. Die Messung erfolgte sowohl in den Fahr- bzw. Tritts Spuren als auch im Damm (s. Kapitel 2.3.1.1.)

#### Fahr- bzw. Tritts Spuren

Die Ergebnisse der Messungen in den Fahr- bzw. Tritts Spuren sind in Tabelle 2 dargestellt. Aufgeführt sind hier jeweils die Mittelwerte der Messungen in den einzelnen Fahr- bzw. Tritts Spuren, die Durchschnittswerte aller Messergebnisse in den Spuren der jeweiligen Variante sowie die über die praxisrelevanten Spuren hinweg gebildeten Durchschnittswerte.

**Tab. 2: Abscherwiderstand ( $\text{N}/\text{m}^2$ ) in den Fahr- bzw. Trittspuren für die Varianten „Pferd“ und „Traktor“ (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung)**

	„Pferd“	„Traktor“	<i>P</i>
<b>linke Spur</b>	320 $\pm$ 57	400 $\pm$ 0	0,029
<b>mittlere Spur</b>	160 $\pm$ 36	109 $\pm$ 19	0,018
<b>rechte Spur</b>	222 $\pm$ 60	368 $\pm$ 38	0,003
<b>alle untersuchten Spuren*</b>	234 $\pm$ 84	292 $\pm$ 134	0,001
<b>alle praxisrelevanten Spuren**</b>	234 $\pm$ 84	255 $\pm$ 149	0,704

\* Durchschnittswert über alle Spuren der jeweiligen Variante (linke, mittlere, rechte Spur)

\*\* Durchschnittswert über alle praxisrelevanten Spuren der jeweiligen Variante (Pferd: linke, mittlere und rechte Spur; Traktor: linke und mittlere Spur)

Im Vergleich zur Variante „Pferd“ sind in der Variante „Traktor“ sowohl für die linke als auch für die rechte Spur signifikant höhere Abscherwiderstände erkennbar. Da der Messbereich der Flügelsonde nur bis  $400 \text{ N}/\text{m}^2$  reichte, stellt dieser Wert auch den Maximalwert dar, höhere Werte konnten nicht zuverlässig bestimmt werden. Sämtliche Messergebnisse der linken Spur der Traktorvariante weisen den Maximalwert von  $400 \text{ N}/\text{m}^2$  auf. Bei Durchführung der Messungen in dieser Spur waren jedoch bei Betätigung der Flügelsonde stets erhebliche Widerstände wahrnehmbar. Das lässt vermuten, dass die tatsächlichen Abscherwiderstände deutlich über den dargestellten Messwerten liegen.

Die mittlere Spur der Traktorvariante wurde während der Bearbeitungsgänge nicht befahren, wogegen in der Pferdevariante jede Spur pro Bearbeitungsgang einmal vom Pferd begangen wurde. In beiden Anbauverfahren weist im systeminternen Spurenvergleich jeweils die mittlere Spur die geringsten Abscherwiderstände auf. Im Vergleich der beiden Verfahren untereinander liegt der Traktor in dieser Spur mit einem Wert von  $109 \text{ N}/\text{m}^2$  signifikant unter dem Messergebnis der Pferdevariante mit  $160 \text{ N}/\text{m}^2$ .

Bei Betrachtung des arithmetischen Mittels aller Messergebnisse des Abscherwiderstandes in den Spuren des jeweiligen Systems zeigt die Pferdevariante mit einem Durchschnittswert von  $234 \text{ N}/\text{m}^2$  einen signifikant niedrigeren Wert als die Traktorvariante mit einem Durchschnittswert von  $292 \text{ N}/\text{m}^2$ . Werden nur die praxisrelevanten Spuren betrachtet, so zeigt sich auch hier für die Bearbeitungsweise „Pferd“ ein geringerer Abscherwiderstand. Bei Beurteilung dieser spurübergreifenden

Durchschnittswerte ist zu berücksichtigen, dass die tatsächlichen Mittelwerte in der Anbauvariante „Traktor“ vermutlich höher liegen. Auch hier begrenzt der eingeschränkte Messbereich der Flügelsonde die Aussagekraft des Ergebnisses.

### Damm

Die Messungen des Abscherwiderstandes wurden in beiden Bearbeitungsverfahren jeweils im Damm zwischen der linken und der mittleren Spur durchgeführt. Die Beprobung erfolgte dabei für jede Wiederholung an beiden Flanken sowie in der Mitte des Damms. Tabelle 3 zeigt die Mittelwerte für die einzelnen Dammbereiche sowie den Durchschnittswert für den gesamten Damm.

**Tab. 3: Abscherwiderstand ( $N/m^2$ ) im Damm für die Varianten „Pferd“ und „Traktor“  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung)**

	„Pferd“	„Traktor“	<i>P</i>
<b>linke Dammsflanke</b>	123 $\pm$ 33	275 $\pm$ 37	0,001
<b>Dammmitte</b>	130 $\pm$ 26	103 $\pm$ 74	0,509
<b>rechte Dammsflanke</b>	175 $\pm$ 60	120 $\pm$ 28	0,147
<b>Dammdurchschnitt</b>	143 $\pm$ 45	166 $\pm$ 93	0,235

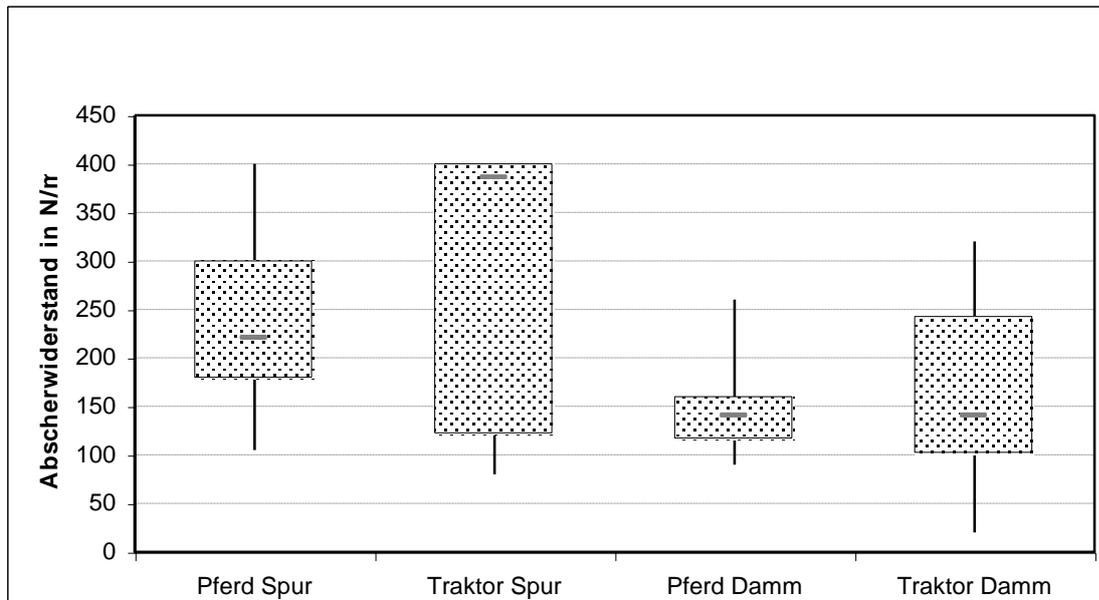
Auffällig sind insbesondere die Messergebnisse für die linke Dammseite der Traktorvariante, welche durchweg Werte über  $200 N/m^2$  erreichen. Im Gegensatz dazu weist die mit dem Pferd bearbeitete Fläche auf der rechten Dammseite die höchsten Messwerte auf, wobei der Abscherwiderstand hier in drei von vier Wiederholungen unter  $200 N/m^2$  liegt.

Die Messungen in der Anbauvariante „Traktor“ zeigen in der Dammmitte erwartungsgemäß die niedrigsten Werte. Im Gegensatz dazu wurden in der Pferdevariante in der Dammmitte ähnliche Werte wie auf der linken Dammseite gemessen, der Durchschnittswert für die linke Dammseite liegt hier  $7 N/m^2$  unter dem Wert der Dammmitte.

Werden die Mittelwerte für das jeweilige System betrachtet, so zeigt die Traktorvariante mit  $166 N/m^2$  ein höheres Ergebnis als die Pferdevariante mit  $143 N/m^2$ .

### Vergleich Damm – Spur

Zum Vergleich der Abscherwiderstände der Fahr- bzw. Trittspuren und des Dammes sowie zur besseren Visualisierung der Verteilung der Messergebnisse soll Abbildung 5 beitragen.



**Abb. 5: Verteilung der Abscherwiderstände ( $N/m^2$ ) für die Anbauvariante „Traktor“ sowie die Anbauvariante „Pferd“ in Spur und Damm**

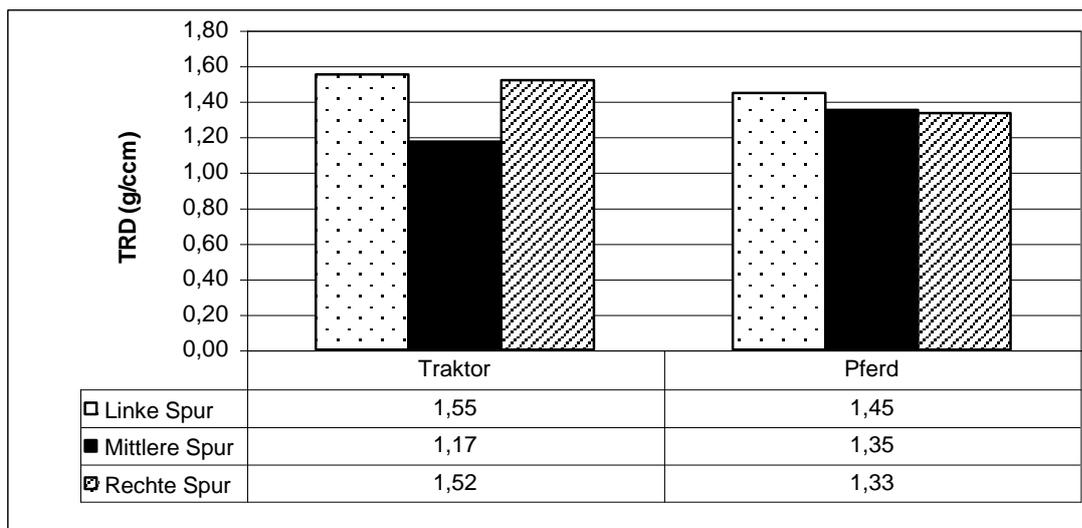
In beiden Anbauverfahren weisen die Messwerte der Spuren größere Schwankungsbreiten auf als die des Dammes. Wie erwartet, wurden sowohl in der Pferdevariante als auch in der Traktorvariante in den Spuren überwiegend größere Abscherwiderstände als im Damm ermittelt.

Die größere Streuung der Daten in der Traktorvariante sowohl in den Fahrspuren als auch im Damm ist vor allem auf den Einfluss der linken Spur sowie der an diese Spur angrenzenden linken Dammseite zurückzuführen. Im Anbauverfahren „Pferd“ ergibt sich für die Spuren ebenso wie für den Damm eine gleichmäßigere Verteilung der Messdaten.

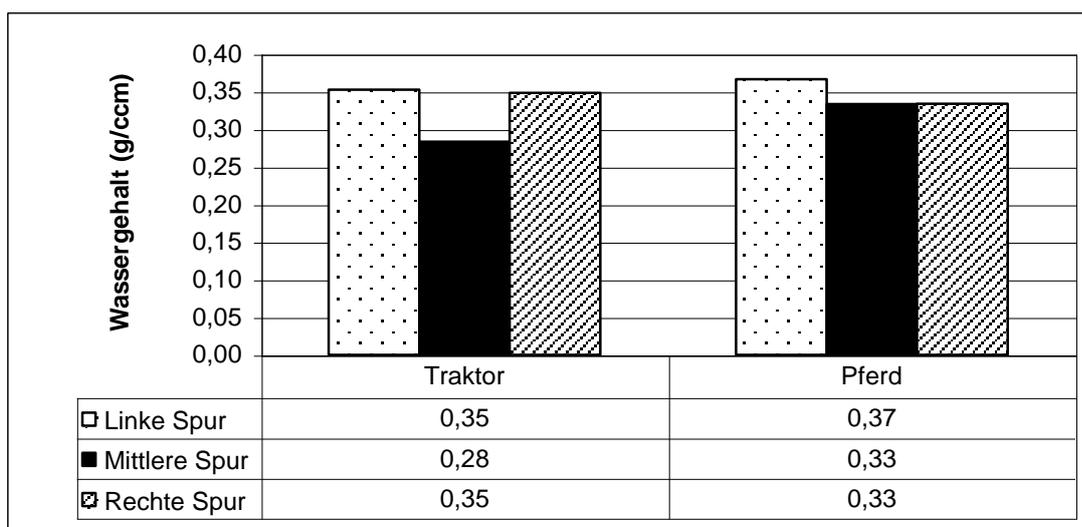
### 3.2.2. Trockenrohdichte und Wassergehalt

Die Entnahme der Bodenproben zur Ermittlung der Trockenrohdichte und des Wassergehaltes erfolgte ausschließlich in den Fahr- bzw. Trittspuren der jeweiligen Anbauvariante in einer Tiefe von 3 – 9 cm (s. 2.3.1.2.).

Abbildung 6 zeigt die Mittelwerte der Trockenrohdichte und Abbildung 7 die Mittelwerte des Wassergehaltes der einzelnen Spuren.



**Abb. 6: Durchschnittliche Trockenrohdichten(TRD) in  $\text{g}/\text{cm}^3$  im Spurvergleich für die Anbauvarianten „Traktor“ und „Pferd“**



**Abb. 7: Durchschnittlicher Wassergehalt in  $\text{g}/\text{cm}^3$  im Spurvergleich für die Anbauvarianten „Traktor“ und „Pferd“**

Im Bearbeitungsverfahren „Pferd“ liegen für alle Tritts Spuren die für die einzelnen Beprobungsstellen ermittelten Trockenrohdichten bis auf eine Ausnahme unter  $1,5 \text{ g/cm}^3$ . Im Gegensatz dazu weisen in der Anbauvariante „Traktor“ die befahrenen Spuren (linke und rechte Spur) fast durchweg Werte über  $1,5 \text{ g/cm}^3$  auf. Die unbefahrene, mittlere Spur der Traktorvariante zeigt mit etwa  $1,2 \text{ g/cm}^3$  erwartungsgemäß eine deutlich geringere Trockenrohdichte als die beiden befahrenen Spuren. Kein wesentlicher Unterschied besteht zwischen der linken, doppelt befahrenen Spur und der rechten, einfach befahrenen Spur. Eine ähnliche Verteilung ist bei Betrachtung des Bodenwassergehaltes zu beobachten. Dieser beträgt in der mittleren Spur durchschnittlich  $0,28 \text{ g/cm}^3$  und in den beiden befahrenen Spuren im Durchschnitt  $0,35 \text{ g/cm}^3$ .

Für die mit dem Pferd bearbeitete Fläche unterscheiden sich die mittlere und die rechte Spur bezüglich der Durchschnittswerte von Trockenrohdichte sowie Wassergehalt nur geringfügig. Dagegen ist für die linke Spur eine größere Trockenrohdichte sowie ein höherer Wassergehalt erkennbar.

Bei Gegenüberstellung beider Arbeitsweisen wird deutlich, dass in der Traktorvariante die befahrenen Spuren höhere durchschnittliche Trockenrohdichten aufweisen als alle untersuchten Spuren der Pferdevariante. Wie vermutet, zeigt die mittlere, unbefahrene Traktorspur im Vergleich aller Spuren der beiden Bearbeitungsverfahren die geringsten Durchschnittswerte sowohl bei der Trockenrohdichte als auch beim Wassergehalt. Gegenüber der Traktorvariante ist im Anbauverfahren „Pferd“ in den Spuren eine geringere Schwankung der Trockenrohdichte und eine gleichmäßigere Verteilung des Bodenwassers ersichtlich.

In Tabelle 4 ist die Einstufung der Trockenrohdichte gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden, 2005) dargestellt. Bei Anwendung dieser Einteilung auf die untersuchten Bodenproben ist erkennbar, dass die Trockenrohdichte der mittleren Spur der Traktorvariante mit einem Wert von  $1,17 \text{ g/cm}^3$  als sehr gering (Stufe 1) einzustufen ist. Dagegen sind die Werte der befahrenen Spuren dieses Bearbeitungsverfahrens mit etwa  $1,5 \text{ g/cm}^3$  im mittleren Bereich einzuordnen. In der Anbauvariante „Pferd“ sind die errechneten Trockenrohdichten für die mittlere und die rechte Spur mit ca.  $1,3 \text{ g/cm}^3$  als gering (Stufe 2) einzustufen, der Wert der linken Spur liegt mit  $1,45 \text{ g/cm}^3$  im unteren Bereich der Stufe 3 (mittel).

**Tab. 4: Einstufung der Rohdichte (trocken) nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden, 2005)**

Rohdichte $r_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	Stufe	Bezeichnung
< 1,2	1	Sehr gering
1,2 – 1,4	2	Gering
1,4 – 1,6	3	Mittel
1,6 – 1,8	4	Hoch
> 1,8	5	sehr hoch

Zur Visualisierung repräsentativer Durchschnittswerte für einen nach dem jeweiligen Verfahren bearbeiteten Acker sind nachfolgend in Tabelle 5 die Mittelwerte für die linke und mittlere Spur der Traktorvariante dem aus allen untersuchten Spuren der Pferdevariante gebildeten arithmetischen Mittel gegenübergestellt.

**Tab. 5: Trockenrohddichte (g/cm<sup>3</sup>) und Wassergehalt (g/cm<sup>3</sup>) der praxisrelevanten Spuren (Variante „Pferd“: linke, mittlere und rechte Spur; Variante „Traktor“: linke und mittlere Spur) (Mittelwert ± Standardabweichung)**

	Pferd	Traktor	P
<b>Trockenrohddichte</b>	1,38 ± 0,08	1,36 ± 0,21	0,817
<b>Wassergehalt</b>	0,34 ± 0,02	0,32 ± 0,04	0,080

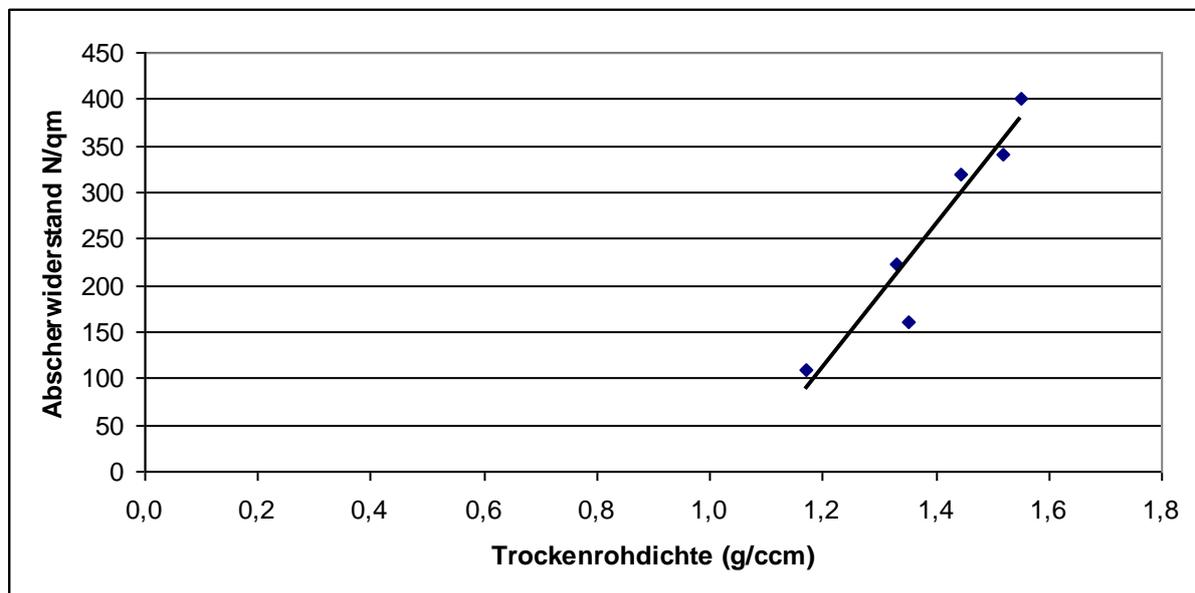
Für die mit dem Traktor bearbeitete Fläche ergibt sich bei dieser Betrachtung durchschnittlich eine etwas geringere Trockenrohddichte, der Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Werden die Werte gemäß Tabelle 4 eingeordnet, so weisen beide Anbauverfahren im Mittel eine Trockenrohddichte im Bereich der Stufe 2 (gering) auf. Die Anbauvariante Traktor zeigt ebenfalls einen geringeren durchschnittlichen Wassergehalt.

### 3.2.3. Zusammenhänge zwischen einzelnen Bodenparametern

Für den Zeitpunkt der Datenerhebung am 24.07.2009 wurden die Zusammenhänge zwischen Trockenrohdichte und Abscherwiderstand sowie zwischen Trockenrohdichte und Bodenwassergehalt näher untersucht.

#### Trockenrohdichte und Abscherwiderstand

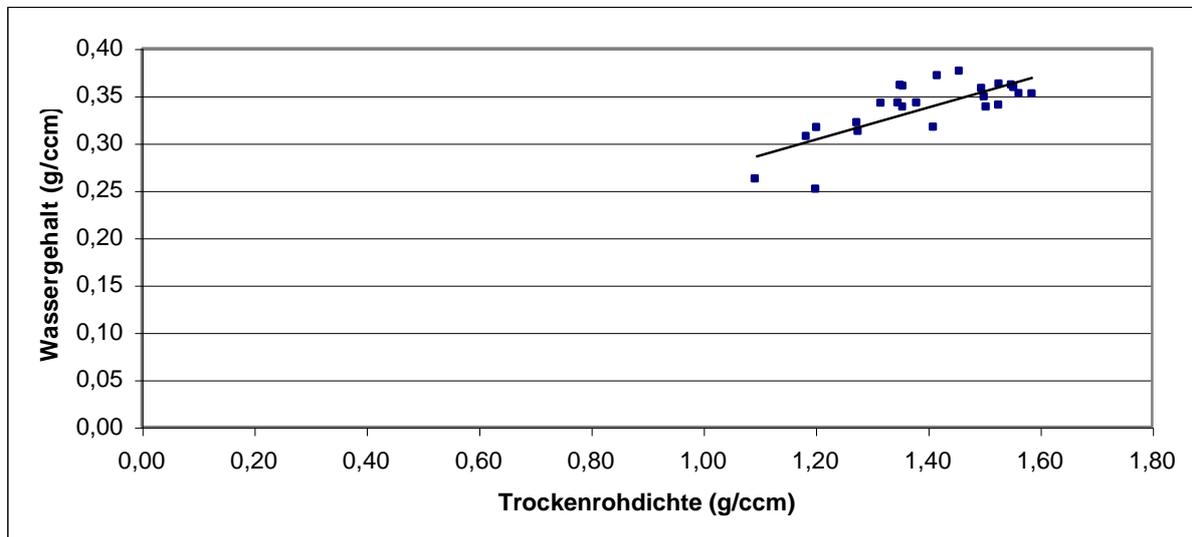
Der Zusammenhang zwischen Trockenrohdichte und Abscherwiderstand ist in Abbildung 8 dargestellt. Erkennbar ist eine deutlich positive Korrelation zwischen beiden Parametern.



**Abb. 8: Streudiagramm zur Darstellung der Korrelation von Trockenrohdichte ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) und Abscherwiderstand ( $\text{N}/\text{m}^2$ ) zum Zeitpunkt der Zwischenernte am 24.07.2009**

### Trockenrohdichte und Bodenwassergehalt

Aus Abbildung 9 ist bei Betrachtung der Einzelwerte über beide Anbausysteme hinweg ein tendenziell steigender Bodenwassergehalt bei zunehmender Lagerungsdichte erkennbar.



**Abb. 9: Streudiagramm zur Darstellung der Abhängigkeit des Bodenwassergehaltes ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) von der Trockenrohdichte ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) zum Zeitpunkt der Zwischenernte am 24.07.2009**

Trotz dieser dargestellten Abhängigkeit weist bei spurübergreifender Betrachtung die Pferdevariante zum Zeitpunkt der Untersuchung bei geringerer durchschnittlicher Trockenrohdichte einen geringfügig höheren Bodenwassergehalt im Vergleich zur Traktorvariante auf (s. Tab. 6).

**Tab. 6: Trockenrohdichte ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) und Wassergehalt ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) bei spurübergreifender Ermittlung (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung) sowie durchschnittlicher prozentualer Anteil des Bodenwassers an der Rohdichte (feucht)**

	Variante "Traktor"	Variante „Pferd“
<b>durchschnittliche Trockenrohdichte</b>	1,41 $\pm$ 0,18	1,38 $\pm$ 0,08
<b>durchschnittlicher Wassergehalt</b>	0,33 $\pm$ 0,04	0,34 $\pm$ 0,02
<b>durchschnittlicher Anteil Bodenwasser</b>	18,97 %	19,76 %

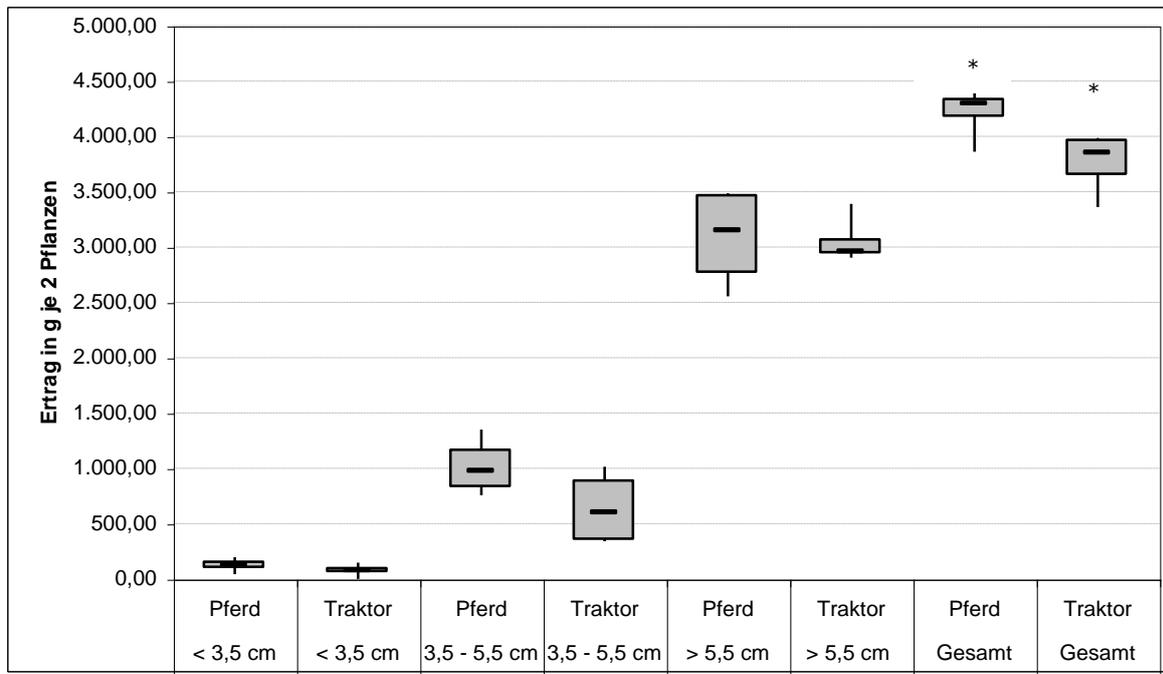
### **3.3. Ertragsparameter**

#### **3.3.1. Zeiternte**

Wie in Kapitel 2.3.2.1. erläutert, wurde die Zeiternte gleichzeitig mit der Erhebung der Bodenparameter durchgeführt. Die Kartoffelpflanzen befanden sich zu diesem Zeitpunkt im Wachstumsstadium BBCH 91 (Beginn der Laubblattvergilbung bzw. Laubblattaufhellung). Geerntet wurden sowohl die Knollen als auch die oberirdische Sprossmasse in vierfacher Wiederholung je Bearbeitungsvariante. Die geernteten Knollen der einzelnen Proben wurden jeweils in drei Größenklassen eingeteilt, anschließend wurde für jede Sortierung die Knollenanzahl und das Gewicht der Knollen ermittelt. Weiterhin wurde das Trockengewicht des Kartoffelkrautes bestimmt. Sofern nicht anders erwähnt, beziehen sich die nachfolgend vorgestellten Ergebnisse jeweils auf zwei Kartoffelpflanzen, da für jede Wiederholung zwei Pflanzen geerntet und zusammen untersucht wurden.

### Knollenertrag

Abbildung 10 zeigt die Verteilung des Knollenertrages der Proben, wobei für jede Variante das Gesamtgewicht sowie das Gewicht der einzelnen Sortierungen dargestellt ist. Die Angaben beziehen sich dabei jeweils auf zwei Pflanzen.



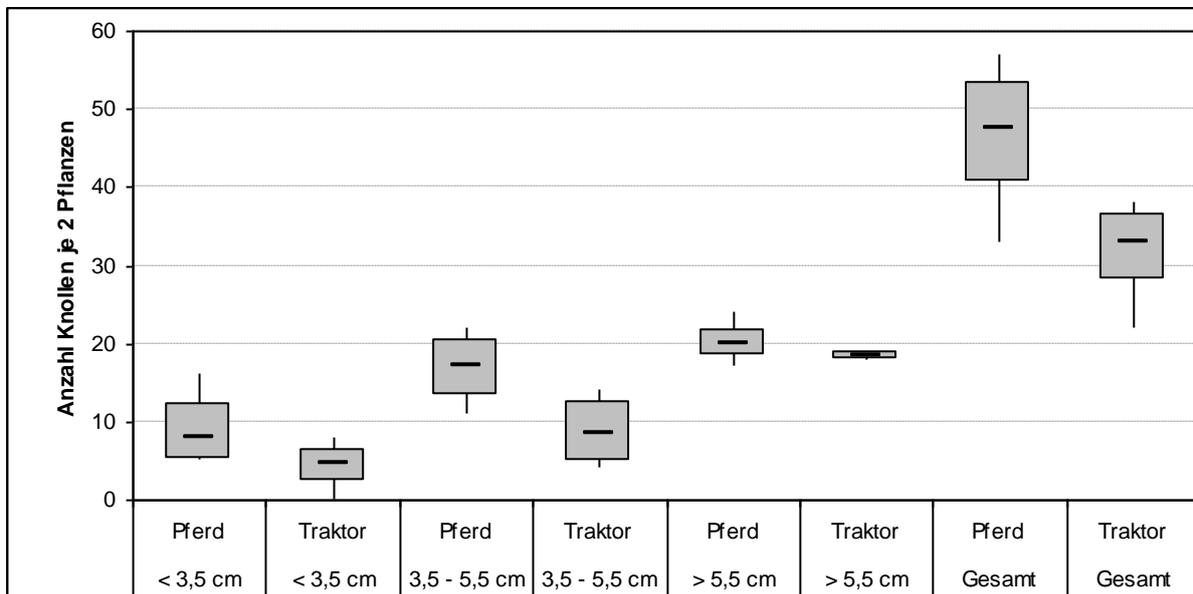
\* signifikant für  $p < 0,05$

**Abb. 10: Darstellung des Gesamtknollengewichtes je zwei Pflanzen und des Knollengewichtes je zwei Pflanzen unterteilt in drei Fraktionen (< 3,5 cm; 3,5 – 5,5 cm; > 5,5 cm), differenziert nach Anbauvariante**

Der Einfluss der unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren auf den Gesamtertrag konnte statistisch abgesichert werden, wobei die Pferdevariante einen signifikant höheren Gesamtertrag als die Traktorvariante aufweist.

Für die einzelnen Größensortierungen wurde der Einfluss der Bewirtschaftungsweise auf den Ertrag nicht statistisch überprüft. Aus Abbildung 10 geht hervor, dass der Ertrag im Bereich der mittleren Größensortierung (3,5 – 5,5 cm) im Anbauverfahren „Pferd“ deutlich höher als in der Traktorvariante ausfällt und eine geringere Streuung der einzelnen Probenergebnisse aufweist. Für die größte Fraktion (größer als 5,5 cm) ist der Unterschied der beiden Verfahren im Ertragsniveau nicht so ausgeprägt, hier ist für die Variante „Pferd“ eine größere Streuung erkennbar. Der Anteil der kleinsten

Fraktion (kleiner als 3,5 cm) liegt in beiden Varianten im Durchschnitt unter 5 %, und ist damit nicht nennenswert an der Zusammensetzung des Erntegutes beteiligt.



**Abb. 11: Darstellung der Gesamtknollenanzahl je 2 Pflanzen sowie der Knollenanzahl je zwei Pflanzen unterteilt in drei Größenfraktionen (< 3,5 cm; 3,5 – 5,5 cm; > 5,5 cm), differenziert nach Anbauvariante**

Bei Betrachtung der in Abbildung 11 dargestellten Verteilung der Knollenanzahl je Probe (jeweils zwei Pflanzen) zeigt die Pferdevariante deutlich mehr Knollen mittlerer Größe (3,5 – 5,5 cm) im Vergleich zur Traktorvariante. Dagegen bestehen in der Knollenanzahl der größten Fraktion (größer als 5,5 cm) keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Bearbeitungsverfahren. Auffällig ist jedoch die geringe Streuung der einzelnen Probenergebnisse im Bereich dieser Größensortierung in der Traktorvariante.

Wird die Gesamtzahl der für jeweils zwei Pflanzen ermittelten Knollen beider Varianten verglichen, so ist für das Anbausystem „Pferd“ eine deutlich höhere Knollenanzahl sowie eine größere Streuung der Probenergebnisse gegenüber dem Anbausystem „Traktor“ erkennbar. Die höhere Knollenanzahl der Pferdevariante ist dabei vor allem auf den größeren Anteil kleiner und mittlerer Knollen zurückzuführen. Die Knollen der Traktorvariante weisen ein höheres Durchschnittsgewicht im Vergleich zur Pferdevariante auf. Wie aus Tabelle 8 (Kap. 3.3.3.) entnommen werden

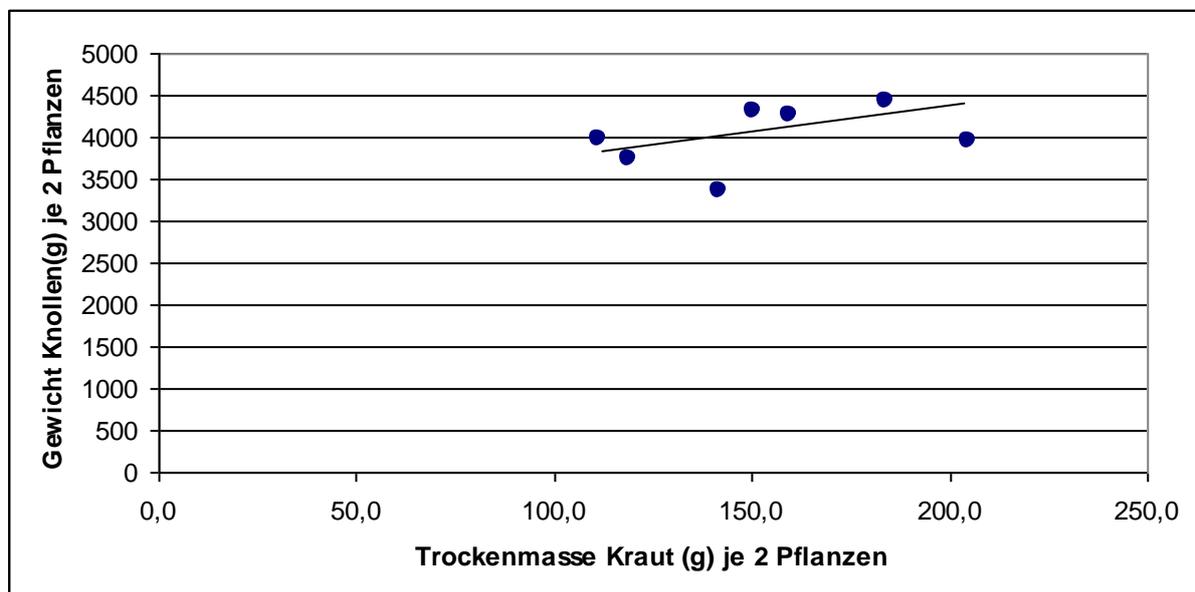
kann, trifft diese Aussage sowohl bei Gesamtbetrachtung als auch für alle Größensortierungen zu.

### Kartoffelkraut

Zu den Ergebnissen der Trockenmassebestimmung des Kartoffelkrautes ist anzumerken, dass für die zweite Wiederholung der Anbauvariante „Pferd“ das geerntete Kartoffelkraut irrtümlich auf dem Acker verblieben ist, und daher zur Bestimmung der Trockenmasse nicht mehr zur Verfügung stand. Die vorgestellten Ergebnisse beziehen sich damit auf vier Wiederholungen im Bearbeitungsverfahren „Traktor“ und drei Wiederholungen im Bearbeitungsverfahren „Pferd“.

Die durchschnittliche Krauttrockenmasse bezogen auf zwei Kartoffelpflanzen beträgt in der Traktorvariante 144,17 g und in der Pferdevariante 164,71 g.

Abbildung 12 zeigt die Wertepaare der einzelnen Wiederholungen für Knollenertrag und Krauttrockenmasse. Die Darstellung lässt einen Zusammenhang zwischen beiden Größen vermuten, wobei eine steigende Krauttrockenmasse mit einem höheren Knollenertrag einhergeht.



**Abb. 12: Knollenertrag (g) je zwei Pflanzen in Abhängigkeit von der Krauttrockenmasse (g) je zwei Pflanzen**

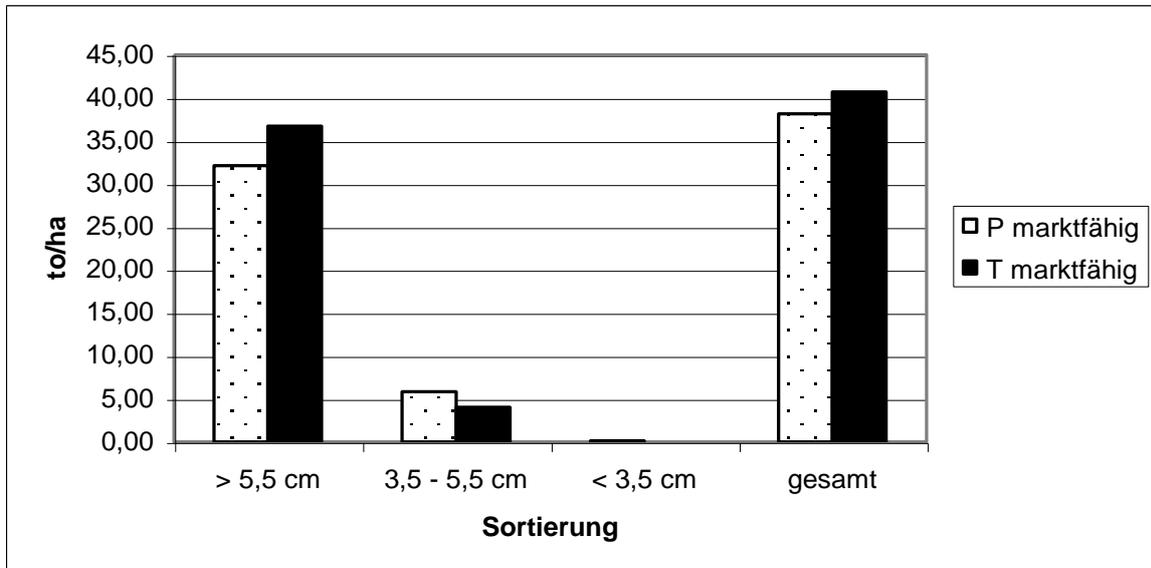
### 3.3.2. Ernte

Wie in Kapitel 2.3.2.2. ausgeführt, erfolgte die Ernte am 23.09.2009 maschinell mit Hilfe eines traktorgezogenen Kartoffelvollroders. Dabei wurden in jeder Variante jeweils zehn Meter in zweifacher Wiederholung beerntet. Das Erntegut wurde entsprechend der Zeiternte in drei Größenklassen ( $< 3,5$  cm;  $3,5 - 5,5$  cm;  $> 5,5$  cm) sortiert. Für jede Fraktion wurde das Gesamtgewicht der Knollen, die Knollenanzahl sowie der Anteil marktfähiger Ware ermittelt. Beschädigte oder grüne Knollen wurden als nicht marktfähig separat erfasst. Zur Vergleichbarkeit der Daten mit praxisüblichen Erträgen wurden die ermittelten Werte auf Hektarerträge umgerechnet. Der Berechnung wurde ein Reihenabstand von 70 cm zugrunde gelegt. Zusätzlich wurde für jede Wiederholung das Gewicht der Ernteverunreinigungen (Erdkluten und Steine) ermittelt.

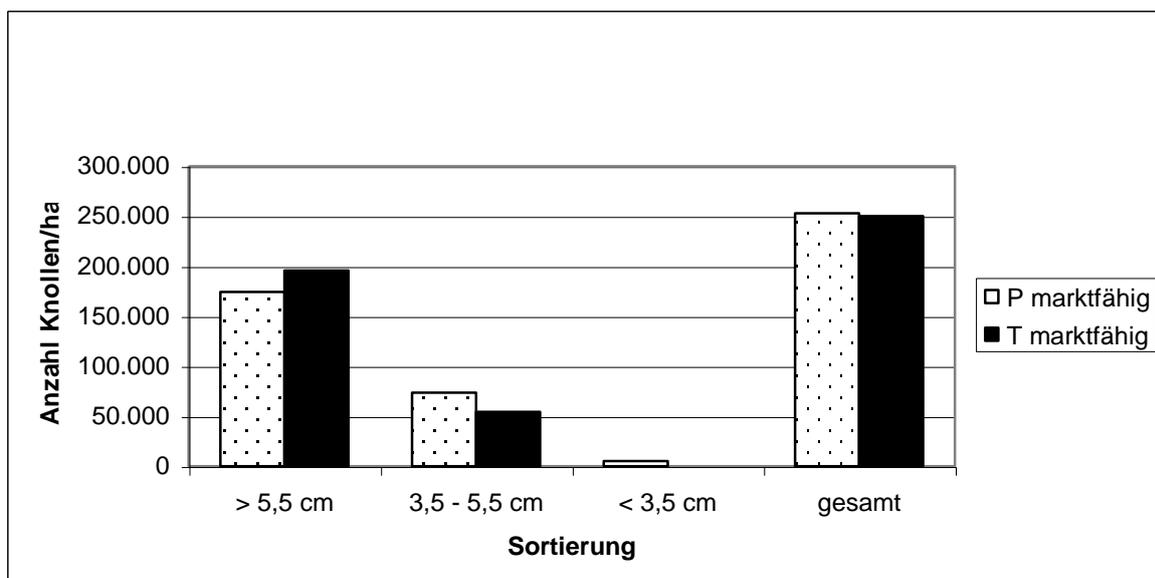
Die durchgeführte statistische Auswertung zeigt weder bei Gesamtbetrachtung noch bei Betrachtung der einzelnen Sortierungen einen signifikanten Einfluss der Bearbeitungsweise auf den Ernteertrag. Dennoch lassen sich Unterschiede erkennen.

#### Marktfähige Ware

Abbildung 13 zeigt den nach Anbauvarianten differenzierten durchschnittlichen Ertrag (t/ha) marktfähiger Ware. Dabei ist sowohl der Gesamtertrag als auch der in die drei Größenfraktionen unterteilte Ertrag dargestellt. Aus Abbildung 14 ist die Anzahl marktfähiger Knollen pro Hektar ersichtlich.



**Abb. 13: Gesamtertrag marktfähiger Knollen (to/ha), sowie Ertrag der einzelnen Sortierungen (to/ha), differenziert nach Anbauvariante**



**Abb. 14: Anzahl marktfähige Knollen pro Hektar differenziert nach Anbauvariante; dargestellt sind die gesamte Knollenanzahl sowie die Anzahl der Knollen je Größensortierung**

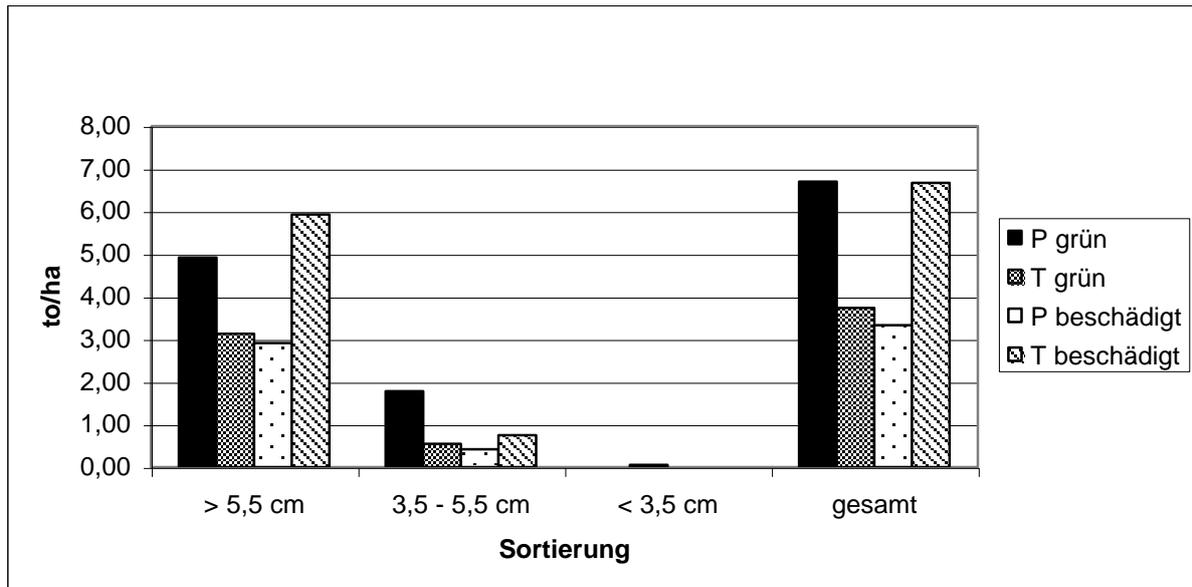
Das Bearbeitungsverfahren „Traktor“ weist mit einem Mittelwert von 40,7 to/ha eine höhere durchschnittliche marktfähige Ertragsleistung als das Verfahren „Pferd“ mit 38,1 to/ha auf. Im Gegensatz dazu liegt die Anzahl marktfähiger Knollen in der Pferdevariante mit etwa 252.800 Knollen pro Hektar etwas höher als in der

Traktorvariante mit 250.000 Knollen pro Hektar. Der massebezogene Mehrertrag (to/ha) der mit dem Traktor bearbeiteten Fläche ist vor allem auf eine höhere Knollenanzahl im Bereich der größten Sortierung (> 5,5 cm) zurückzuführen. Für diese Fraktion wurde ein Ertrag von rund 195.000 Knollen/ha ermittelt, das Durchschnittsgewicht der einzelnen Knollen beträgt 187 Gramm. In der Pferdevariante liegt das Durchschnittsgewicht der marktfähigen Knollen in der größten Sortierung mit 184 Gramm nur geringfügig unter dem Wert der Anbauvariante „Traktor“, die Knollenanzahl ist jedoch mit etwa 174.000 Knollen/ha um circa 21.000 Knollen/ha geringer.

Im Bereich der mittleren Sortierung (3,5 – 5,5 cm) ist sowohl ein höherer Ertrag in to/ha als auch eine höhere Knollenanzahl je Hektar in der Bearbeitungsvariante „Pferd“ erkennbar. Dabei wurde ein Hektarertrag von ca. 5,9 Tonnen bei etwa 74.000 Knollen ermittelt. Die Traktorvariante zeigt in dieser Fraktion mit ca. 54.000 Knollen einen marktfähigen Ertrag von rund 4,0 to/ha.

#### Nicht marktfähige Ware

Der Anteil nicht marktfähiger Ware liegt in beiden Bearbeitungsverfahren auf ähnlichem Niveau. Für die Anbauvariante „Pferd“ wurden 10,03 to/ha als nicht marktfähig ermittelt, was einem Anteil von 20,83 % am Gesamtertrag entspricht. In der Traktorvariante beträgt der Anteil des nicht marktfähigen Erntegutes mit 10,40 to/ha 20,35 % des Gesamtertrages. Erfolgt eine differenzierte Betrachtung der Qualitätsmängel, so ist für die mit dem Pferd bearbeitete Fläche ein vermehrtes Auftreten grüner Knollen zu beobachten, während im Bearbeitungsverfahren „Traktor“ die Beschädigung der Knollen die größte Rolle spielt. Abbildung 15 zeigt für beide Anbauvarianten die nach Größensortierung unterteilten sowie die gesamten nicht marktfähigen Ernteerträge, wobei in grüne und beschädigte Knollen unterschieden wurde.



**Abb. 15: Anteiliger Ertrag der einzelnen Größensortierungen (> 5,5 cm; 3,5 – 5,5 cm; < 3,5 cm) sowie Gesamtertrag an nicht marktfähigen Erntegut (to/ha), differenziert nach grünen und beschädigten Knollen (P = Pferd; T = Traktor)**

Aus der Abbildung geht hervor, dass der entscheidende Anteil des nicht marktfähigen Erntegutes im Bereich der größten Sortierung (> 5,5 cm) zu finden ist. Dabei weist die Pferdevariante mit etwa 4,9 to/ha einen größeren Anteil an grünen Knollen auf als die Traktorvariante mit etwa 3,1 to/ha. Bei den beschädigten Knollen stellt sich die Situation für die Sortierung > 5,5 cm mit ca. 2,9 to/ha beschädigten Knollen in der Anbauvariante „Pferd“ im Vergleich zu ca. 5,9 to/ha in der Anbauvariante „Traktor“ gegenteilig dar. Grüne Knollen treten in der Pferdevariante auch im Bereich der mittleren Fraktion (3,5 – 5,5 cm) noch in einer Größenordnung von über einer Tonne pro Hektar auf, während die Erträge an beschädigten Knollen beider Anbauverfahren und an grünen Knollen des Anbauverfahrens „Traktor“ in dieser Sortierung unter einer Tonne pro Hektar liegen. Im Bereich der kleinsten Fraktion sind die Verluste durch Qualitätsmängel geringfügig und nicht praxisrelevant.

Insgesamt setzt sich der Anteil nicht marktfähiger Ware in der Pferdevariante aus 6,70 to/ha grünen Knollen und 3,33 to/ha beschädigten Knollen zusammen. In der Traktorvariante setzt sich der mit Qualitätsmängeln behaftete Gesamtertrag aus 3,73 to/ha grünen Knollen und 6,67 to/ha beschädigten Knollen zusammen.

### Ernteverunreinigungen

Die Ernteverunreinigungen im durchgeführten Versuch bestehen aus Erdkluten und Steinen, wobei im Rahmen der Probenuntersuchung nur ein geringfügiger Anteil an Steinen festzustellen war. Tabelle 7 zeigt das ermittelte Gewicht der Ernteverunreinigungen für die einzelnen Wiederholungen sowie den berechneten Mittelwert für das jeweilige Bearbeitungsverfahren. Dabei wird nach Erdkluten und Steinen unterschieden. Zusätzlich werden die ermittelten Werte jeweils auf den Hektarwert (to/ha) umgerechnet.

**Tab. 7: Ernteverunreinigungen in g je Wiederholung sowie umgerechnete Werte in to/ha für die Anbauvarianten „Pferd“ und „Traktor“**

	<b>Erdkluten (g) je Wiederholung</b>	<b>Erdkluten (to) je ha</b>	<b>Steine (g) je Wiederholung</b>	<b>Steine (to) je ha</b>
Pferd 1. Wdh.	4.887,02	6,98	192,63	0,27
Pferd 2. Wdh.	2.575,54	3,68	0,00	0,00
<b>Pferd Durchschnitt</b>	<b>3.731,28</b>	<b>5,33</b>	<b>96,31</b>	<b>0,14</b>
Traktor 1. Wdh.	6.176,17	8,82	0,00	0,00
Traktor 2. Wdh.	4.260,57	6,09	0,00	0,00
<b>Traktor Durchschnitt</b>	<b>5.218,37</b>	<b>7,45</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Aus der Tabelle geht hervor, dass in der Pferdevariante die geringeren Erdbeimengungen zu finden sind, Steine treten lediglich in einer Wiederholung auf. Der durchschnittliche Erd- und Steinanteil an der Gesamtmasse beträgt in der Variante „Pferd“ 10,2 %. Die Traktorvariante weist mit einem Wert von 12,7 % einen um 2,5 % höheren Anteil an Ernteverunreinigungen auf, wobei es sich hier ausschließlich um Erdbeimengungen handelt.

### 3.3.3. Knollenentwicklung zwischen Zeiternte und Ernte

Im Zeitraum zwischen Zeiternte und Ernte kam es noch zu relevanten Zuwächsen der unterirdischen Biomasse. Eine Gegenüberstellung der Knollendurchschnittsgewichte des jeweiligen Bearbeitungsverfahrens für die Zeiternte und die Ernte erfolgt in Tabelle 8. Die für die Ernte ermittelten Durchschnittsgewichte betreffen den gesamten Knollenertrag und umfassen damit sowohl den marktfähigen als auch den nicht marktfähigen Ernteertrag.

**Tab. 8: Knollendurchschnittsgewicht in Gramm (g) für die Zeiternte und die Ernte, differenziert nach Größensortierungen (< 3,5 cm; 3,5 - 5,5 cm; > 5,5 cm) sowie ohne Größenunterteilung für beide Anbauvarianten**

	Sortierung < 3,5 cm	Sortierung 3,5 – 5,5 cm	Sortierung > 5,5 cm	Ohne Größen- differenzierung
Variante „Pferd“ Zeiternte	12,97	60,47	152,19	91,13
Variante „Pferd“ Ernte	32,13	75,21	183,94	146,26
Variante „Traktor“ Zeiternte	17,27	72,81	164,84	119,37
Variante „Traktor“ Ernte	38,96	75,05	187,24	161,50

Ohne Berücksichtigung der Größensortierung beträgt das Knollendurchschnittsgewicht für die Anbauvariante „Pferd“ zum Zeitpunkt der Ernte mit 146,26 Gramm 160,5 % des Knollendurchschnittsgewichtes der Zeiternte. Das mittlere Gewicht der Kartoffelknollen in der Traktorvariante erreicht mit 161,50 Gramm 135,3 % des durchschnittlichen Knollengewichtes der Zeiternte.

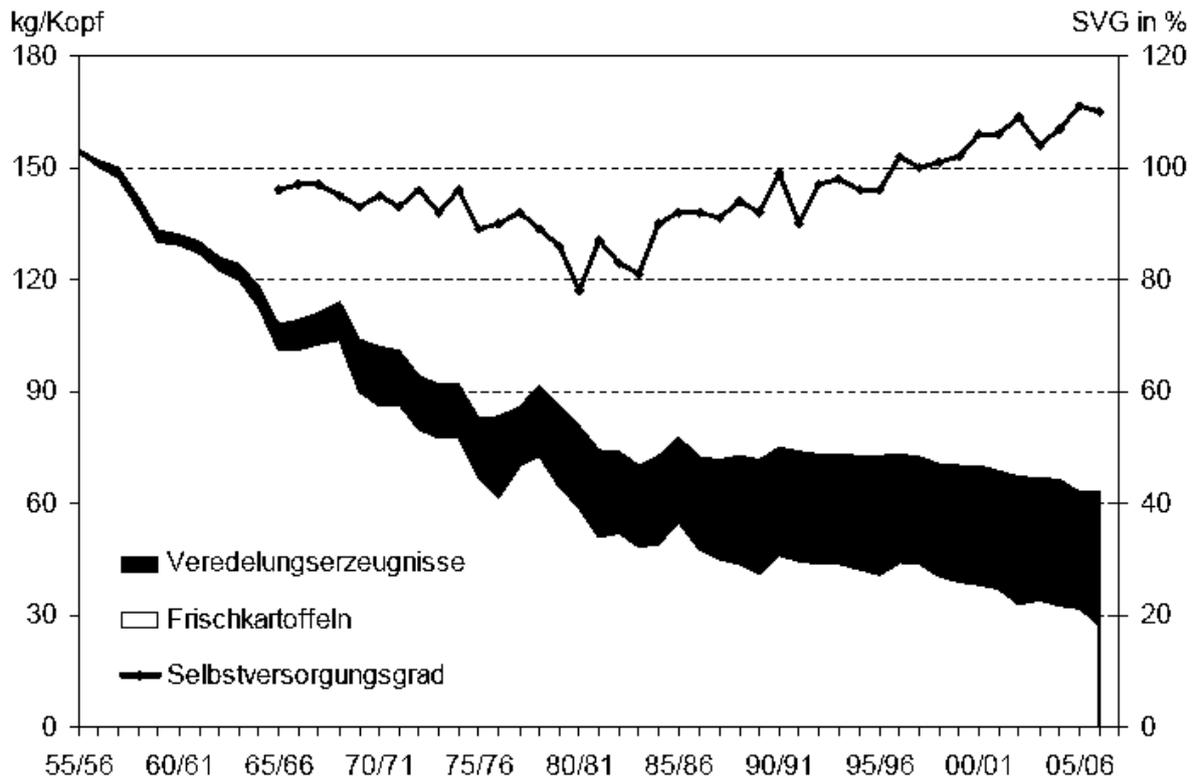
### **3.4. Vermarktungssituation für die mittels Zugpferdeeinsatz erzeugten Kartoffeln**

Die Vermarktungssituation für die mit Hilfe von Zugpferden kultivierten Kartoffeln wurde vorrangig aufgrund vorhandener Literatur beurteilt. Dabei wurden vor allem Rückschlüsse aus dem allgemeinen Verbraucherverhalten im Lebensmittelsektor gezogen. Zusätzlich sind Erfahrungen der versuchsdurchführenden Personen im Bereich der Direktvermarktung dieser Kartoffeln berücksichtigt.

#### **3.4.1. Marktanalyse**

Die Kartoffel gilt als inferiores Gut und scheint damit in der Wertschätzung der Verbraucher keinen besonders hohen Stellenwert einzunehmen. Als inferior werden Güter dann bezeichnet, wenn bei steigendem Einkommen diese Güter in absolut geringerer Menge nachgefragt werden, da sie durch höherwertige (superiore) Güter ersetzt werden können (BEHRENS & KIRSPEL 2001). Diese Einschätzung wird bei Beobachtung der Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs an Speisekartoffeln in Deutschland bestätigt. So lag um 1900 der durchschnittliche Kartoffelverbrauch pro Person bei etwa 285 kg im Jahr, während heutzutage in Deutschland lediglich noch etwa 60 kg Kartoffeln und Kartoffelerzeugnisse pro Person verzehrt werden. Abbildung 16 zeigt die Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs von 1955/1956 bis 2005/2006. Dabei ist ein steigender Trend zu industriell verarbeiteten Produkten festzustellen. Heutzutage entfällt etwa die Hälfte des Bedarfs auf Veredelungsprodukte wie Chips, Pommes frites oder Püreepulver (LFL 2008)

Der hohe Selbstversorgungsgrad von über 100 % (GÜLL 2010) und im Durchschnitt fallende Erzeugerpreise weisen auf eine derzeitige Sättigung des deutschen Speisekartoffelmarktes hin. Lagen im Mai 2009 die Erzeugerpreise frei Erfasser für lose, festkochende Ware noch bei durchschnittlich 12,75 Euro pro 100 kg, so konnten im Mai 2010 lediglich noch durchschnittlich 11,50 Euro dafür erzielt werden. Im Erzeuger – Verbraucher – Direktverkehr liegt der Abgabepreis für gesackte Ware (10 kg bzw. 12,5 kg – Säcke) im Mai 2010 bei durchschnittlich 38,30 Euro pro 100 kg (LLH 2010)



**Abb. 16: Verbrauch an Speisekartoffeln und Selbstversorgungsgrad in Deutschland von 1955/56 bis 2005/06 (Quelle : LfL 2008)**

Der Kartoffelanbau in Deutschland erfolgte im Jahr 2009 auf einer Ackerfläche von 263.700 ha (BMELV 2009). Lediglich ein geringer Anteil der Kartoffelanbauflächen wird ökologisch bewirtschaftet, allerdings mit steigender Tendenz. Betrug der Flächenanteil für ökologisch erzeugte Kartoffeln im Jahr 2002 nur etwa 1 % der gesamten Kartoffelanbaufläche (KNICKEL et al. 2003), so waren es im Jahr 2008 bereits mehr als 3 % (FILBRANDT 2009)

Die Vermarktung der für die menschliche Ernährung angebauten Kartoffeln erfolgt vorrangig durch den Verkauf an Handel, Genossenschaften und verarbeitende Industrie sowie durch Direktabsatz an den Verbraucher. Dabei werden etwa 30 % der erzeugten Kartoffeln im Erzeuger-Verbraucher-Direktverkehr vermarktet (KNICKEL et al. 2003)

### 3.4.2. Einflussfaktoren der Vermarktungssituation

#### Wettbewerbsstrategien

Aus betriebswirtschaftlich-wettbewerbsstrategischer Sicht erwerben Kunden dann ein bestimmtes Produkt oder eine bestimmte Dienstleistung, wenn sie sich davon im Vergleich zu Konkurrenzangeboten geringere Kosten und/oder einen höheren individuellen Nutzen versprechen. Sowohl Kosten als auch Nutzen können für analytische Zwecke weiter aufgeteilt werden. Bezüglich des Nutzens kann dabei zwischen Gebrauchsnutzen, Anmutungsnutzen (Ästhetik), Selbstachtungsnutzen (Gewissen, Selbstbewusstsein) und Fremdachungsnutzen (Image) unterschieden werden. Besonders im Hinblick auf den Selbstachtungsnutzen könnten ökologische Produkte entscheidende Vorteile bieten. Als ökologisch werden bei dieser Betrachtungsweise alle Produkte eingestuft, die über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg weniger Umweltbelastungen verursachen als aus Konsumentensicht hinsichtlich des Nutzens vergleichbare Produkte (MEYER 2000). Ein Kauf dieser ökologischen Erzeugnisse könnte durch den Kunden als ein Beitrag seinerseits zum Umweltschutz gesehen werden und damit seine Selbstachtung erhöhen. Aber auch Gebrauchs-, Anmutungs- und Imagenutzen könnten aus Konsumentensicht für ökologische Produkte höher als für konventionelle Produkte bewertet werden.

Wettbewerbsstrategien für ökologische Produkte und Dienstleistungen können dabei unterschiedlich ausgerichtet sein. DYLLICK et al. 1997 differenzieren hinsichtlich des unternehmerischen Umweltmanagements sowohl auf Gesellschaftsebene als auch auf Ebene des Marktes zwischen defensiven und offensiven Strategien (s. Abb. 17)

Strategieausrichtung \ Strategiebezug	Gesellschaft	Markt
<b>Defensiv</b>	Ökologische Marktabsicherungsstrategien („clean“)	Ökologische Kostenstrategien („effizient“)
<b>Offensiv</b>	Ökologische Marktentwicklungsstrategien („progressiv“)	Ökologische Differenzierungsstrategien („innovativ“)

**Abb. 17: Typologie ökologischer Wettbewerbsstrategien (Quelle: DYLLICK et al. 1997)**

Defensiv ausgerichtete ökologische Marktabsicherungsstrategien stellen eine Anpassung an gesellschaftliche Forderungen dar. Noch vor einer Resonanz des Marktes soll dabei durch Beachtung ökologischer Ansprüche die bisherige Marktposition auch zukünftig gesichert werden. Ökologische Marktentwicklungsstrategien zeichnen sich dagegen durch ein offensives, gezieltes Vorgehen auf gesellschaftlicher Ebene aus. Ziel ist eine aktive Mitgestaltung der wettbewerblichen Rahmenbedingungen im Bereich des ökologischen Marktes (WÜSTENHAGEN 2000).

Ein marktbezogenes, defensives Verhalten wird bei Anwendung ökologischer Kostenstrategien gezeigt. Dabei streben Unternehmen nach einer möglichst kostengünstigen Erfüllung marktgebener ökologischer Anforderungen. Im Gegensatz dazu stellt die ökologische Differenzierung eine offensive, auf den Absatzmarkt ausgerichtete Positionierungsstrategie dar. Sie verspricht insbesondere in gesättigten Märkten einen gewissen Erfolg, vor allem wenn konventionelle Produkte in Bezug auf Preis und Qualität zunehmend austauschbar werden. Eine Produktprofilierung wird dabei hauptsächlich durch die Betonung der ökologischen Vorteile angestrebt (MEYER 2000). Ziel ist die Akzeptanz eines Preisaufschlages auf Konsumentenseite durch Vermittlung eines Nutzensvorteils für den Kauf umweltschonend erzeugter Produkte gegenüber konventionellen Produkten.

Wie bereits ausgeführt, kann der Kartoffelmarkt derzeit als gesättigt betrachtet werden, so dass hier zur Sicherung von Wettbewerbsvorteilen die Strategie der ökologischen Differenzierung geeignet erscheint. Dabei stellt der Kartoffelanbau

mittels Zugpferden eine Möglichkeit zur Umsetzung dieser Strategie dar. Die ökologischen Vorteile der Anwendung tierischer Zugkraft gegenüber dem Traktoreneinsatz dürften auch einer breiten Bevölkerungsschicht vor allem bezüglich der Einsparung fossiler Brennstoffe und der Vermeidung von umwelt- und gesundheits-schädlichen Abgasen vermittelbar sein. Der Erwerb der unter Zugpferdeeinsatz erzeugten Kartoffeln könnte sowohl einen höheren Selbstachtungsnutzen („mein Beitrag zum Umweltschutz“) als auch einen höheren Fremdnutzungsnutzen (durch Kommunikation des eigenen ökologischen Verhaltens) vermitteln. Da die Wahrnehmung von Nutzensvorteilen individuell erfolgt, ist auch größerer Gebrauchsnutzen denkbar. So wurde von einigen Kunden der versuchsdurchführenden Personen geäußert, dass sie die mittels Zugpferdeeinsatz erzeugten Kartoffeln geschmacklich konventionell angebauten Kartoffeln vorziehen. Einen weiteren Nutzensvorteil könnten Erwerber darin sehen, mit dem Kauf der „Pferdekartoffeln“ einen Beitrag zur Erhaltung traditioneller landwirtschaftlicher Arbeitsweisen und alter Nutztierassen zu leisten. Die vorgenannten Aspekte könnten durchaus bei potentiellen Verbrauchern zur Akzeptanz eines Preisaufschlages gegenüber konventionell angebauten Kartoffeln führen.

#### Kommunikationspolitik

Voraussetzung für die erfolgreiche Positionierung am Markt und die Durchsetzung eines Preisaufschlages ist eine wirkungsvolle Kommunikation der Produktvorteile. Informative Werbung verfehlt in der heutigen, informationsüberlasteten Gesellschaft häufig ihr Ziel. Aussichtsvoll erscheint dagegen die Ansprache emotionaler Aspekte. Gelingt es, ein Produkt mit emotionalen Qualitäten auszustatten, so kann das zu entscheidenden Wettbewerbsvorteilen führen (v. ALVENSLEBEN 2000).

Nach v. ALVENSLEBEN (2000) weisen Produkte emotionale Qualitäten auf, wenn sie:

- mit einem bestimmten Erlebnis verknüpft werden
- Anonymität und Entfremdung z.B. durch persönliche Bekanntschaft mit dem Anbieter überwinden
- authentisch sind, d.h. deren Hersteller, Region oder Produktionsverfahren genießen einen bestimmten Ruf und auf deren Echtheit kann vertraut werden

- einen besonderen Prestigewert aufweisen oder einen bestimmten Lebensstil verkörpern
- dem Verbraucher sympathisch sind, weil sie ihm vertraut sind oder weil sie bereits emotional positioniert sind

Im Bereich der Lebensmitteldirektvermarktung sind vor allem die erstgenannten Sachverhalte relevant. Zum angebotenen Produkt durchgeführte Aktionstage (z.B. „Apfelfest“ oder „Tolle Knolle“) sind öffentlichkeitswirksam und kommen dem Erlebnisbedürfnis der Verbraucher entgegen. Organisierte Hofbesichtigungen erzeugen Transparenz, tragen zur Überwindung der Anonymität bei und führen zu einer stärkeren Identifikation der Kunden mit den Produkten. Als besonders wichtige Verkaufsförderungsmaßnahmen gelten Verkostungsaktionen. Werden diese von den Erzeugern selbst durchgeführt, so gewinnen die Produkte durch den unmittelbaren Kontakt zwischen Produzent und Kunde nachhaltig an Authentizität (STOCKEBRAND & SPILLER 2009).

Im vorliegenden Projekt dürfte eine emotionale Ansprache der Kunden vor allem durch den jährlich im Frühjahr veranstalteten „Reichelsheimer Kartoffeltag“ erfolgen. Dabei kann interessiertes Publikum das unter Zugpferdeeinsatz durchgeführte Kartoffelsetzen beobachten. Zu dem im April 2010 durchgeführten Kartoffeltag waren trotz schlechtem Wetters etwa 150 Besucher gekommen (WETTERAUER ZEITUNG 2010). Durch diese Veranstaltung wird sowohl das Erlebnisbedürfnis der Verbraucher berücksichtigt, als auch der Forderung nach Transparenz im Herstellungsprozess Folge geleistet. Im Rahmen der Veranstaltung besteht die Möglichkeit zur persönlichen Kontaktaufnahme mit dem Erzeuger ebenso wie die Gelegenheit, diesen selbst bei der Arbeit beobachten zu können. Das dürfte wesentlich zur Entanonymisierung und zur Steigerung der Produktauthentizität beitragen.

### 3.4.3. Untersuchungen zum Verbraucherverhalten beim Lebensmittelkauf

Studien zu Verbraucherpräferenzen beim Kauf von Lebensmitteln sind in großer Zahl verfügbar, Untersuchungen zum Einfluss von Pferden auf das Verhalten der Konsumenten wurden bisher dagegen nur ansatzweise durchgeführt. RODEWALD et al. (2006) führten Erhebungen zur Beeinflussung des Absatzes durch den Einsatz von Arbeitspferden durch. Im Rahmen dieser Studie wurden Betriebsleiter von zwölf landwirtschaftlichen Betrieben zu den Auswirkungen der Pferdearbeit auf die Direktvermarktung befragt. Elf der zwölf Betriebe betreiben einen Hofladen, was den Kundenkontakt mit den Pferden begünstigt. Die Hälfte der Betriebsleiter ist der Ansicht, dass die Anbaumethode der landwirtschaftlichen Kulturen ein wichtiger Aspekt für die Kunden ist. Zudem erwecke der Einsatz der Pferde auf dem Acker Interesse und schaffe so Kontakte. Auf die Frage, ob der Einsatz der Arbeitspferde den Absatz beeinflusst, antworteten 50 % der Betriebsleiter mit ja, 43 % mit nein, einer konnte das zur Zeit der Datenerhebung nicht einschätzen. Für den Fall, dass die Arbeitspferde ganz bewusst als Werbeträger eingesetzt würden, erwarten 83 % der Betriebsleiter einen positiven Einfluss auf die Vermarktung (RODEWALD et al. 2006)

Erhebungen zum Nachfrageverhalten auf Konsumentenseite bezüglich mittels Pferdeinsatz erzeugter Lebensmittel sind derzeit keine bekannt. Aus Analysen zum Einkaufs- und Verbraucherverhalten bei regional erzeugten Lebensmitteln können jedoch gewisse Rückschlüsse gezogen werden. Konsumenten assoziieren mit regionalen Produkten häufig umweltschonende Effekte, hervorgerufen durch kürzere Transportwege und eine natürlichere Produktionsweise (BANIK et al. 2007). Häufiger Grund für den Kauf der in der näheren Umgebung erzeugten Lebensmittel ist der Wille, die heimische Wirtschaft zu unterstützen und einen Beitrag zur Sicherung regionaler Arbeitsplätze zu leisten. Zudem wird die regionale Herkunft der Lebensmittel oft als ein Indiz für Lebensmittelsicherheit gewertet (BANIK et al. 2007). Gegenüber Produkten ohne Regionsbezug wird den regionalen Lebensmitteln häufig eine höhere Qualität, eine größere Frische und ein besserer Geschmack zugeschrieben. Aufgrund der vorgenannten Aspekte ist ein Teil der Verbraucher bereit, einen Aufpreis für regional erzeugte Produkte zu bezahlen (BANIK et al. 2007). BESCH & HAUSLADEN (1998) ermittelten dafür als Durchschnittswert über alle

Verbraucher des Bundeslandes Bayern einen akzeptierten Preisaufschlag von 20 %. Untersuchungen von WIRTHGEN (2001) zeigen für die Region des niedersächsischen Elbetals ebenfalls eine Aufpreisbereitschaft von 20 % (Median). Sind die regionalen Lebensmittel zusätzlich naturschutzgerecht erzeugt, so sind 40 % der Befragten bereit, einen Preisaufschlag von über 30 % zu bezahlen. Dabei ist die naturschutzgerechte Produktion nicht mit ökologischem Landbau gleichzusetzen, vielmehr geht es um die Erzeugung von Lebensmitteln unter besonderer Rücksicht auf die Schonung der Natur. Derartig umweltschonend erzeugte Nahrungsmittel sind in den Augen der Konsumenten gesünder als konventionelle und vermutlich daher einen höheren Preis wert (WIRTHGEN 2001).

#### 3.4.4. Erfahrungen der versuchsdurchführenden Personen

Die versuchsdurchführenden Personen Karl-Heinrich Schneider und Ulrich Winter vermarkten die unter Einsatz von Zugpferden erzeugten Kartoffeln im Direktverkauf. Sie weisen darauf hin, dass die Kunden den Geschmack der „Pferdekartoffeln“ besonders schätzen: „Die Kunden haben es bemerkt, als wir einmal Kartoffeln zugekauft haben, weil aus eigener Ernte keine mehr vorhanden waren“. Bevorzugt werden von den Kunden eher Kartoffelgrößen im Bereich der mittleren Sortierung, Übergrößen sind weniger erwünscht.

## 4. DISKUSSION

### 4.1. Versuchsbedingungen

Der durchgeführte Versuch sollte als Tastversuch erste Hinweise darauf geben, ob sich im konventionellen Kartoffelanbau der Einsatz von Arbeitspferden hinsichtlich der Auswirkungen auf Boden und Ertrag vom Traktoreinsatz unterscheidet. Bedingt durch die Anlage als On-Farm-Experiment und des damit verbundenen Versuchsdesigns ist die statistische Auswertbarkeit der Ergebnisse begrenzt (Wagner et al. 2005). Weitere Kompromisse hinsichtlich der Anforderungen an das erhobene Datenmaterial waren notwendig, da der Versuch von einem Praxisbetrieb ohne Erfahrung in der Durchführung wissenschaftlicher Untersuchungen weitgehend selbständig ausgeführt wurde. Vor allem die häufigere Bearbeitung der Kartoffeln in der Pferdevariante schränkt die Vergleichbarkeit der beiden Anbauverfahren ein. Bei weiterführenden Experimenten sollte daher bis auf den zu variierenden Faktor auf eine exakte Gleichbehandlung der Parzellen geachtet werden.

Auch spiegeln die ermittelten Daten des Anbauverfahrens „Traktor“ nicht in vollem Maße die Verhältnisse eines komplett maschinell bearbeiteten Kartoffelackers wieder. Im Versuch wurde die rechte Spur je Bearbeitungsgang vom Traktor nur einfach befahren, da dieses die letzte Spur des Versuchstreifens war. Ein Ausweichen auf andere Spuren war nicht möglich, da innerhalb der Anbauvariante „Traktor“ ein Sortenwechsel vorgenommen wurde. Außerdem führt die Ermittlung von Durchschnittswerten aus in einer ungeraden Anzahl von Traktorspuren erhobenen Bodenparametern nicht zu repräsentativen Werten für einen mit dem Traktor in diesem Verfahren bearbeiteten Acker. Das ist darin begründet, dass im Wechsel eine Spur nicht befahren und eine Spur doppelt befahren wird. Somit ergibt sich im Spurbereich eine Verteilung von 50 % befahrenen Spuren und 50 % unbefahrenen Spuren. Werden drei nebeneinander liegende Spuren untersucht, so wird bei Bildung von Mittelwerten über diese drei Spuren hinweg eine Verteilung von 67 % zu 33 % unterstellt. Für zukünftige Versuche wäre daher darauf zu achten, dass die Verhältnisse der untersuchten Flächen den Gegebenheiten des gesamten Ackers entsprechen. Die Beprobung sollte so erfolgen, dass alle Untersuchungsergebnisse in

die Erstellung statistischer Auswertungen zur Darstellung eines unter Praxisbedingungen bearbeiteten Ackers einfließen können.

Zur genaueren Beurteilung der Vorteilhaftigkeit eines Anbauverfahrens bezüglich seiner Auswirkungen auf Bodeneigenschaften und Ertrag wäre in der Anbauvariante „Pferd“ eine Durchführung aller Bearbeitungsgänge inklusive Grundbodenbearbeitung und Ernte unter Einsatz von Arbeitspferden wünschenswert. Wird eine nach tierischer bzw. maschineller Zugkraft differenzierte Bearbeitung über einen Zeitraum von mehreren Jahren durchgeführt, könnte das Aufschluss über die Langzeitfolgen des jeweiligen Anbauverfahrens geben.

Eine Versuchsdurchführung an verschiedenen Standorten könnte zu Erkenntnissen bezüglich der Auswirkungen der unterschiedlichen Bearbeitungsvarianten unter anderen Boden- und Witterungsverhältnissen führen.

## **4.2. Untersuchungsparameter**

### Bodenparameter

Um detaillierte Rückschlüsse hinsichtlich des Einflusses des jeweiligen Bearbeitungsverfahrens auf die Bodenfruchtbarkeit ziehen zu können, sind weitergehende Untersuchungen notwendig. Die Erhebung aussagekräftiger Daten im Bereich des Unterbodens könnte Hinweise auf Auswirkungen der verschiedenen Verfahren auf tiefer liegende Bodenschichten geben. Dabei werden unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Verdichtungswirkung erwartet, da der Bodendruck in tiefer liegenden Bodenschichten hauptsächlich eine Funktion der wirkenden Auflasten ist (MOITZI & BOXBERGER 2007). Besonders problematisch sind Schadverdichtungen des Unterbodens, da diese im Rahmen der normalen Bodenbearbeitung nicht beseitigt werden können. Eine Regeneration durch natürliche Vorgänge erfolgt nur sehr langsam, da in tieferen Bereichen des Bodens eine Frostgare in der Regel nicht zu erwarten ist und die Aktivität der Mikroorganismen stark eingeschränkt ist (PLOEG et al. 2006). Als negative Folge von Schadverdichtungen kann nach starken Niederschlägen Staunässe sowie in Hanglagen Bodenerosion auftreten. Eine schlechtere Durchwurzelbarkeit des Bodens und vermehrte Stickstoffverluste durch anaerobe Verhältnisse sind weitere negative Effekte (PLOEG et al. 2006). Zur Untersuchung des Zustandes tiefer liegender Bodenschichten kann der Durchdringungswiderstand des

Bodens mit Hilfe eines Penetrometers ermittelt werden. Gegebenenfalls im Bodenprofil vorhandene Schadverdichtungen können so erkannt werden (DIEPENBROCK et al. 2005).

Zur genaueren Beurteilung der Zustände in der Ackerkrume könnten neben den durchgeführten Messungen von Abscherwiderstand und Trockenrohdichte zusätzliche Parameter ermittelt werden. So lassen sich technikbedingte Bodenverdichtungen durch weitere Indikatoren identifizieren. Denkbar wären Untersuchungen zur Ermittlung der Porengrößenverteilung und Porenkontinuität sowie der hydraulischen Leitfähigkeit und der Luftpermeabilität (MOITZI & BOXBERGER 2007).

Eine Untersuchung des Nährstoffgehaltes und der Nährstoffverfügbarkeit im Boden zu ausgewählten Vegetationszeitpunkten könnte eventuell Erklärungen zu Unterschieden in der Ertragsentwicklung der beiden Anbauvarianten liefern.

### Ertragsparameter

Im Rahmen dieser Arbeit wurden lediglich quantitative Ertragsparameter ermittelt. Für eine umfassende Beurteilung ist jedoch auch die qualitative Beschaffenheit des Erntegutes von entscheidender Bedeutung.

Zur Einschätzung der durch die verschiedenen Bearbeitungsweisen möglicherweise auftretenden Qualitätsunterschiede der Ernteerzeugnisse könnten Analysen der Inhaltsstoffe der Kartoffelknollen erfolgen. Relevant für die innere Qualität sind insbesondere Trockensubstanzgehalt, Stärke- und Eiweißgehalt sowie der Anteil reduzierender Zucker (DIEPENBROCK et al. 2005). Für Speisekartoffeln wichtige Eigenschaften sind eine ausreichende Lagerfähigkeit und ein guter Geschmack, so dass auch eine Datenerhebung hierzu in Erwägung gezogen werden kann.

Die statistische Aussagekraft der ermittelten Ernteparameter ist durch die geringe Anzahl an Stichproben (zwei Erntewiederholungen je Variante) stark eingeschränkt. Hier wäre bei weiterführenden Untersuchungen eine Erhöhung der Stichprobenanzahl sinnvoll. Auch methodische Fehler bei der Probennahme sind insbesondere für die Zeiternte nicht auszuschließen. Werden die dabei für jeweils zwei Pflanzen ermittelten durchschnittlichen Erträge auf den Hektar umgerechnet, so ergibt sich ein unrealistisch hohes Ertragsniveau von 75,3 to/ha für die Pferdevariante und 67,1 to/ha für die Traktorvariante, welches durch die Ernte nicht bestätigt werden konnte.

### Daten zur Beurteilung der Vermarktungssituation

Zur Einschätzung der Vermarktungssituation für die unter Einsatz von Arbeitspferden kultivierten Kartoffeln könnten Befragungen auf der Verbraucherseite zu neuen Erkenntnissen führen. So könnten Untersuchungen sowohl zu wahrgenommenen Vor- und Nachteilen der Ernteerzeugnisse, zu Präferenzen bezüglich der Einkaufsstätte (z.B. direkt ab Hof, Wochenmarkt, Lebensmitteleinzelhandel) sowie zur Aufpreisbereitschaft durchgeführt werden. Weiterhin könnte der Kenntnisstand der Verbraucher hinsichtlich der ökologischen Wirkungen des Zugpferdeeinsatzes erfragt werden.

## **4.3. Überprüfung der aufgestellten Hypothesen**

### 1. Hypothese:

*Es wird vermutet, dass der Einsatz von Arbeitspferden im Kartoffelanbau die bodenschonendere Alternative ist. Für die bodenphysikalischen Kenngrößen werden daher Werte erwartet, welche in der Anbauvariante „Pferd“ auf einen besseren Strukturzustand des Bodens gegenüber der Anbauvariante „Traktor“ schließen lassen.*

Die Untersuchungsergebnisse bestätigen diese Hypothese in eingeschränktem Umfang. Die durchschnittlichen Abscherwiderstände der mit dem Traktor befahrenen Spuren liegen durchweg über den Werten der mit dem Pferd begangenen Spuren. Diese Aussage trifft auch für den über die praxisrelevanten Spuren der jeweiligen Variante hinweg ermittelten Durchschnittswert zu (Pferd: linke Spur, mittlere Spur, rechte Spur; Traktor: linke und mittlere Spur), obwohl die mittlere Spur der Traktorvariante nicht befahren wurde, während in der Pferdevariante alle Spuren begangen wurden. Die Unterschiede zwischen beiden Bearbeitungsverfahren würden vermutlich noch deutlicher hervortreten, wenn eine Messsonde mit einem größeren Messbereich Verwendung gefunden hätte, da sämtliche Messungen in der doppelt befahrenen Traktorspur den Maximalwert von  $400 \text{ N/m}^2$  aufweisen.

Erkennbar ist in der Traktorvariante auch ein gewisser Einfluss der Spur auf den Kartoffeldamm. So zeigt hier die linke Dammflanke mit einem durchschnittlichen Abscherwiderstand von  $275 \text{ N/m}^2$  den mit Abstand höchsten Wert. Verantwortlich dafür könnte das je Bearbeitungsgang notwendige, doppelte Befahren der an-

grenzenden linken Traktorspur sein. Im Anbauverfahren „Pferd“ ergeben die Messungen der Abscherwiderstände im Damm relativ gleichmäßig verteilte Werte, ein Einfluss der Pferdespuren auf den Damm kann daraus nicht abgeleitet werden.

Bezüglich der Trockenrohddichte und des Bodenwassergehaltes ist festzustellen, dass diese Größen im Bearbeitungsverfahren „Pferd“ im Spurenvergleich geringeren Schwankungen unterliegen als im Bearbeitungsverfahren „Traktor“. Das lässt auf einheitlichere Wachstumsbedingungen für die Kartoffelpflanzen in der Pferdevariante schließen. Auch zeigen beide befahrenen Traktorspuren eine höhere Trockenrohddichte als die vom Pferd betretenen Spuren. Die unbefahrene Spur in der Variante „Traktor“ scheint allerdings die Wirkung der doppelt befahrenen Spur auszugleichen. Bei Betrachtung der praxisrelevanten Mittelwerte weist das Bearbeitungsverfahren „Pferd“ eine etwas höhere Trockenrohddichte auf, der Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Dabei ist auch zu bedenken, dass in der Bewirtschaftungsweise „Pferd“ Pflegemaßnahmen häufiger stattfanden und damit die Spuren öfter als in der Traktorvariante benutzt wurden. Bei einer gleichen Anzahl von Bearbeitungsgängen würde die Variante „Pferd“ wahrscheinlich auch bei Ermittlung von Durchschnittswerten für eine nach diesem Verfahren bearbeitete Fläche eine geringere Trockenrohddichte im Vergleich zur Variante „Traktor“ aufweisen. Ebenfalls darf nicht verkannt werden, dass die Erhebung der Parameter lediglich im oberen Bereich der Ackerkrume erfolgte und somit die Auswirkungen der beiden Verfahren auf tiefer liegende Bodenschichten nicht erfasst wurden. Auch spielt die räumliche Ausdehnung einer Bodenverformung eine größere Rolle als deren Intensität (SCHACK-KIRCHNER et al. 1994). Grund dafür ist die Bedeutung des Oberbodens für den Gasaustausch zwischen Bodenluft und Atmosphäre. Eine Einschränkung des Gasaustausches führt zu einer schlechteren Versorgung der Wurzeln mit Sauerstoff. Ebenso können vor allem flächige Verdichtungen zu einer ungünstigen Beeinflussung der Lebensbedingungen sauerstoffbedürftiger Strukturbildner führen, was die natürliche Erhaltung des Hohlraumsystems des Bodens gefährdet (FLECHSIG et al. 2006). Die geringe flächenhafte Ausdehnung der durch Pferdehufen verursachten Verformungszonen stellt durch überbrückende Bypassseffekte den Bodengashaushalt sicher. Damit ist eine schnelle Regeneration des Bodens durch das umgebende Bodenleben gewährleistet (FLEISCHER & SÜSS 2002). Im Gegensatz dazu werden flächige

Bodenverformungen in Traktorspuren wegen Beeinträchtigung der bodenbiologischen Aktivität nur langsam durch strukturbildende Prozesse wieder aufgebrochen (FLEISCHER & SÜSS 2002).

Wie in Kapitel 3.2.3. dargestellt, besteht im Spurbereich eine starke positive Korrelation von Abscherwiderstand und Trockenrohdichte. Wird diese Beziehung beider Größen zueinander auch für den Dammbereich unterstellt, kann für die Anbauvariante „Pferd“ hier auf eine geringere durchschnittliche Trockenrohdichte im Vergleich zur Traktorvariante geschlossen werden. Eine bessere Durchwurzelung des Dammbereichs in der Pferdevariante ist damit denkbar, da Wurzelanzahl und Lagerungsdichte eng miteinander korrelieren (FRIELINGHAUS et al. 2001). Eine ausreichende Durchwurzelung des Bodens sorgt für eine optimale Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanze und stellt damit die Grundlage für die Ertragsbildung dar. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Lagerungsdichte und Ertrag konnte in Untersuchungen von FRIELINGHAUS et al. (2001) in einer umfangreichen Anzahl von Feld- und Laborversuchen für die Mehrzahl der Ergebnisse nachgewiesen werden. Im Bereich der optimalen substratspezifischen Lagerungsdichte werden dabei maximale Pflanzenerträge erzielt. Über den Optimalbereich hinaus zunehmende Trockenrohdichten führen dagegen zu deutlichen Ertragseinbußen (FRIELINGHAUS et al. 2001). Allerdings wirkt sich auch eine „Überlockerung“ des Bodens mit der Folge zu geringer Lagerungsdichten im Bereich der Ackerkrume nachteilig aus. Das durch den hohen Grobporenanteil (> 60 %) reduzierte Wasserspeichungsvermögen des Bodens kann vor allem bei Niederschlagsmangel die Ertragsbildung negativ beeinflussen (TEBRÜGGE 2000).

Für den Zeitpunkt der Zwischenernte am 24.07.2009 wurde mit zunehmender Lagerungsdichte ein tendenziell steigender Bodenwassergehalt festgestellt. In welchem Umfang es sich dabei um pflanzenverfügbares Wasser handelt, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden. In Anbetracht der für die Einzelwerte ermittelten positiven Korrelation von Trockenrohdichte und Wassergehalt ist die Feststellung interessant, dass bei Bildung der Durchschnittswerte über alle Spuren hinweg das Bearbeitungsverfahren „Pferd“ im Vergleich zum Bearbeitungsverfahren „Traktor“ trotz einer geringeren durchschnittlichen Trockenrohdichte einen höheren durchschnittlichen Wassergehalt aufweist. Bei Gegenüberstellung der für die

einzelnen Spuren ermittelten Werte fällt dabei insbesondere die linke Spur auf. So zeigt die linke, doppelt befahrene Traktorspur bei einer um  $0,1 \text{ g/cm}^3$  höheren durchschnittlichen Trockenrohddichte einen um  $0,02 \text{ g/cm}^3$  geringeren Wassergehalt im Vergleich zur linken Spur der Pferdevariante. Die Interpretation dieser Werte ist aufgrund der fehlenden Kenntnis über die Niederschlagsereignisse des Jahres 2009 auf dem Versuchsfeld schwierig. So könnte ein kurz vor der Untersuchung niedergegangener Regenschauer aufgrund der möglicherweise besseren Infiltration in den Pferdespuren dieses Ergebnis verursacht haben. Aufzeichnungen der PRIVATEN WETTERSTATION 61169 FRIEDBERG/HESSEN legen die Annahme eines solchen Regenereignisses kurz vor der Probenahme auf dem untersuchten Acker nahe (s. Abb. 4 in Kapitel 3.1.).

## 2. Hypothese

*Ausgehend von den vorstehend formulierten Erwartungen zur Bodenstruktur werden für die Ertragsparameter ebenfalls Vorteile zugunsten der Anbauvariante „Pferd“ erwartet. Ausschlaggebend für diese Vermutung ist der Gedanke, dass ein besserer Strukturzustand des Bodens eine größere Bodenfruchtbarkeit und damit einen höheren Ertrag bedingt.*

Diese Vermutung kann durch die vorliegende Arbeit nur für die Zeiternte bestätigt werden. Die am 24.07.2009 geernteten Einzelpflanzen weisen für das Bearbeitungsverfahren „Pferd“ sowohl eine höhere Knollenanzahl als auch einen signifikant höheren Knollenertrag (g/zwei Pflanzen) im Vergleich zur Anbauvariante „Traktor“ auf. Allerdings ist bereits zu diesem Zeitpunkt für die Traktorvariante über alle Größensortierungen hinweg ein höheres Knollendurchschnittsgewicht feststellbar.

Da eine gezielte Krautminderung bzw. Krautabtötung nicht erfolgte, konnten die Kartoffelpflanzen bis zur Ernte am 23.09.2009 ihre physiologische Reife erreichen. Die Ernteerträge beider Bearbeitungsvarianten liegen unter dem für Deutschland ermittelten Durchschnittsertrag des Jahres 2009 von  $443 \text{ dt/ha}$  (BMELV 2010). Auch zum Erntezeitpunkt ist in der Pferdevariante eine höhere Knollenanzahl zu verzeichnen. Im Gegensatz zur Zeiternte zeigt hier jedoch die Bearbeitungsvariante „Traktor“ einen höheren gewichtsbezogenen Ertrag ( $\text{t/ha}$ ). Diese Aussage gilt sowohl für den Gesamtertrag als auch für den Ertrag an marktfähigen Knollen.

Bei Betrachtung der sortierungsbezogenen Knollendurchschnittsgewichte liegen diese in der Traktorvariante für die kleine und die große Sortierung etwas höher, unterscheiden sich jedoch nicht gravierend von denen der Pferdevariante. In der mittleren Größenfraktion zeigen die Kartoffeln des Bearbeitungsverfahrens „Pferd“ ein minimal höheres Durchschnittsgewicht. Die deutlichen Ertragsdifferenzen resultieren aus der Tatsache, dass die Anbauvariante „Pferd“ im Bereich der größten Sortierung mit rund 217.000 Knollen pro Hektar circa 27.000 Knollen weniger aufweist als die Anbauvariante „Traktor“ mit rund 244.000 Knollen pro Hektar. Die mittlere Sortierung zeigt ein gegensätzliches Bild. Der Knollenertrag dieser Größenfraktion liegt für die Pferdevariante mit circa 107.000 Knollen pro Hektar über dem der Traktorvariante mit etwa 70.000 Knollen pro Hektar. Diese unterschiedliche Knollenverteilung erklärt auch die erkennbar voneinander abweichenden sortierungsunabhängigen Knollendurchschnittsgewichte beider Anbauverfahren. Die Knollenerträge im Bereich der kleinsten Sortierung sind in beiden Varianten von untergeordneter Bedeutung. Die vorgenannten Zahlen beziehen sich auf den Gesamtertrag und umfassen sowohl marktfähiges als auch nicht marktfähiges Erntegut.

Von der Universität Kiel im Jahr 2006 durchgeführte vergleichende Untersuchungen zu den Bearbeitungsverfahren „Pferd“ und „Traktor“ kommen bezüglich des Gesamternteertrags (t/ha) zu gegenteiligen Feststellungen. So wurde für den Anbau von Kartoffeln ein Mehrertrag von 9 % auf der Pferdeseite festgestellt (STRÜBER 2007). Ebenfalls im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden im Jahr 2007 Rote Rüben angebaut, dabei zeigte die Anbauvariante „Pferd“ in diesem kühlen und feuchten Jahr deutlich höhere Erträge als die Traktorvariante (STRÜBER 2008). Für den im Jahr 2008 angebauten Winterroggen wurde dagegen für die Traktorseite ein Mehrertrag ermittelt (STRÜBER 2009). Möglicherweise sind Witterungseinflüsse ein Grund für die unterschiedlichen Ertragseffekte des jeweiligen Bearbeitungsverfahrens. Scheinbar beeinflusst die Bearbeitung mit Pferden vor allem in feuchten Jahren den Ertrag positiv, vermutlich als Folge einer geringeren Bodenverdichtung. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit festgestellten niedrigeren gewichtsbezogenen Hektarerträge in der Anbauvariante „Pferd“ könnten auf die verhältnismäßig geringen Niederschläge im Vegetationszeitraum der Kartoffelkultur zurückzu-

führen sein. Unterschiede in der Wasserversorgung der Kartoffelpflanzen könnten ursächlich für die Ertragsdifferenzen zwischen beiden Bearbeitungsvarianten sein, da sich die Ertragsleistung eines Kartoffelbestandes linear zur Menge des transpirierten Wassers verhält (SCHIEDER 2003). Feste Bodenhorizonte wie Pflugsohlen können durch die geringen osmotischen Drücke der Wurzeln nur schwer durchwachsen werden (SCHIEDER 2003). Daraus kann geschlossen werden, dass die Kartoffelpflanzen ihr Wasser hauptsächlich aus dem Bereich der Oberkrume beziehen, wie auch Untersuchungen von MICHEL et al. (o. J.) zeigen. Dabei erfolgt die Wasserentnahme der Kartoffelpflanzen sowohl aus dem Damm als auch aus der Dammerbe, wobei der Wasserentzug aus dem Dammbereich überwiegt (MICHEL et al. o. J.). Da mit steigender Trockenrohdichte aufgrund der Veränderung des Porenvolumens zugunsten von Mittel- und Feinporen auch die Menge des Haftwassers zunimmt, konnte der Oberboden der Traktorvariante möglicherweise in den dichter gelagerten Bereichen des Dammes und der Spuren mehr pflanzenverfügbares Wasser als der Boden der Pferdevariante speichern. Insbesondere in sandigen und schluffigen Böden nimmt bei Bodendeformationen anfänglich die nutzbare Feldkapazität zu, um dann bei weiter steigenden Auflasten wieder abzunehmen (BLUME et al. 2009). Auch weisen Forschungsergebnisse von MICHEL et al. (o. J.) darauf hin, dass sehr stark gelockerte Böden in ihrem Wasserspeichervermögen gegenüber normal gelagerten Böden abnehmen. Speziell im Bereich des Damms könnte daher der etwas dichter gelagerte Boden der Traktorvariante den Ertrag positiv beeinflusst haben. Ebenfalls ist es denkbar, dass die häufiger durchgeführten Pflegegänge in der Pferdevariante zu einer Rissbildung im Damm und dadurch zu einer schnelleren Verdunstung des Bodenwassers geführt haben. Eine gesicherte Aussage zu den vorgenannten Annahmen ist allerdings nicht möglich, da keine regelmäßigen Bodenfeuchte- und Bodentemperaturuntersuchungen im Vegetationszeitraum durchgeführt wurden. Porenvolumenverteilung, Porenkontinuität und Durchwurzelung des Bodens wurden ebenfalls nicht ermittelt.

Möglich ist aber auch, dass bedingt durch eine größere Lagerungsdichte des Bodens im Bereich der befahrenen Spuren sowie im Damm der Anbauvariante „Traktor“ niedrigere Bodentemperaturen und höhere Bodenfeuchten vor und kurz nach dem Auflauf der Kartoffelkultur zu einer verzögerten Bestandesentwicklung geführt haben.

Das könnte auch eine Erklärung für den im Vergleich zur Bearbeitungsvariante „Pferd“ höheren Anteil an Übergrößen sein. So stellte SCHIEDER (2003) im Rahmen von Untersuchungen zum Sommerdammanbau von Kartoffeln fest, dass eine durch niedrige Bodentemperaturen und hohe Bodenfeuchten verursachte verzögerte Bestandesentwicklung zu hohen Erntemengen mit einem hohen Anteil an Übergrößen führt. Gleiche Einflüsse auf den Übergrößenanteil stellte EKEBERG (1988) fest.

Die nicht marktfähigen Ernteerträge weichen mit 10,03 to/ha im Bearbeitungsverfahren „Pferd“ und 10,40 to/ha im Verfahren „Traktor“ nicht wesentlich voneinander ab. Bei Betrachtung der die Marktfähigkeit ausschließenden Ursachen ergeben sich jedoch deutliche Unterschiede. In der Traktorvariante bilden mit 6,67 to/ha die beschädigten Knollen den Hauptanteil des nicht marktfähigen Erntegutes, während in der Pferdevariante lediglich 3,33 to/ha beschädigte Knollen geerntet wurden. Als Ursache für diesen Unterschied zwischen beiden Anbauverfahren wird der erhöhte Klutenanteil (s. Kap. 3.3.2. Tab. 7) in der Traktorvariante vermutet. Ein hoher Anteil an Kluten führt während der Pflege- und Erntemaßnahmen zu mechanischen Schäden am Erntegut und bedingt einen erhöhten Energieaufwand bei der Ernte (SCHIEDER 2003). Der umfangreichere Klutenanteil in der Anbauvariante „Traktor“ könnte auf die größere bodenverdichtende Wirkung des Traktors in den Fahrspuren und angrenzenden Bereichen zurückzuführen sein.

In der Pferdevariante fällt mit 6,7 to/ha ein stark erhöhter Anteil grüner Knollen auf. In der Traktorvariante wurden lediglich 3,73 to/ha grüne Knollen ermittelt. Ursache des Ergrürens von Kartoffelknollen ist die Synthese von Chlorophyll unter Lichteinfluss. Einhergehend mit der Chlorophyllbildung kommt es zu einer Anreicherung von Glycolalkaloiden, vor allem von Solanin und Chaconin, so dass die Grünfärbung ein Indikator für die Bildung dieser antinutritiven Inhaltsstoffe ist. Stark erhöhte Glycolalkaloidkonzentrationen können zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen bis hin zu tödlichen Vergiftungen führen (WÖLFEL 2000). Das Ergrünen der Kartoffelknollen während der Vegetationsperiode ist auf eine unzureichende Bedeckung der Knollen mit Erde zurückzuführen. Hauptursache sind Risse und Spalten in den Dämmen, die häufig in sehr feinkrümeligem Boden auftreten. Starke Niederschlagsereignisse mit anschließender Trockenheit können hier leicht zu einem Aufreißen der Dämme führen. Passiert das nach dem letzten Pflegegang, bleiben

diese Risse bis zur Ernte bestehen (WÖLFEL 2000). Möglicherweise wurde im vorliegenden Versuch durch die zusätzlich durchgeführten Pflegegänge in der Anbauvariante „Pferd“ die Rissbildung im Damm begünstigt, so dass der höhere Anteil an grünen Knollen auf die Bearbeitungshäufigkeit zurückgeführt werden kann.

### 3. Hypothese

*Bezüglich der Vermarktungssituation wird angenommen, dass für Ernteerzeugnisse der Anbauvariante „Pferd“ Vermarktungsvorteile gegenüber konventioneller Anbauweise bestehen.*

Diese Hypothese konnte nicht durch eigene Erhebungen überprüft werden. Aufgrund der theoretischen Überlegungen sind Vermarktungsvorteile für die mittels Zugpferdeinsatz erzeugten Kartoffeln jedoch naheliegend. Durch die besondere Produktionsweise der Kartoffeln unterscheiden sich diese von konventionell erzeugten Kartoffeln. Unter betriebswirtschaftlich-wettbewerbsstrategischer Sicht kann der Kartoffelanbau mit Hilfe von Zugpferden als eine Maßnahme zur ökologischen Differenzierung betrachtet werden. Nutzenvorteile können dabei für den Verbraucher vor allem aus der umweltschonenderen Wirkung des Zugpferdeinsatzes gegenüber dem Einsatz von Traktoren resultieren. Wie Untersuchungen von WIRTHGEN (2001) zeigen, besteht für regionale, umweltgerecht erzeugte Lebensmittel teilweise eine Aufpreisbereitschaft von über 30 % gegenüber konventionell erzeugten Lebensmitteln (s. Kap. 3.3.3.). Untersuchungen zu regionalen Produkten legen nahe, dass Kunden hohen Wert auf Frische, Geschmack, Qualität und Lebensmittelsicherheit legen. Diese Eigenschaften werden in besonderem Maße regionalen Produkten zugeschrieben, für die ein gewisser Preisaufschlag auch ohne Berücksichtigung der Produktionsweise akzeptiert wird (BANIK et al. 2007). Da es sich bei den mit Hilfe von Zugpferden erzeugten Kartoffeln um regionale Produkte handelt, deren Produktionsweise zudem noch als in hohem Maße umweltverträglich bezeichnet werden kann, dürfte auf Kundenseite eine Aufpreisbereitschaft bei Erwerb dieser Kartoffeln vorhanden sein.

Anschauliche Informationen zum Anbauverfahren der Kartoffeln können Kunden im Rahmen des „Reichelsheimer Kartoffeltages“ erhalten. Das Setzen der Kartoffeln mit Hilfe von Zugpferden wird als öffentliche Veranstaltung durchgeführt. Diese

Vorgehensweise trägt den Kundenforderungen nach Transparenz im Produktionsprozess, Nähe und Kontrollierbarkeit Rechnung. Auch dürfte der Erlebnischarakter der Veranstaltung die emotionale Qualität der Ernteprodukte wesentlich erhöhen und eine gewisse Werbewirksamkeit haben.

Von den versuchsdurchführenden Personen wurden zudem geschmackliche Vorteile der mittels Pferdearbeit erzeugten Kartoffeln genannt. Ob sich der Geschmack der Kartoffeln der unterschiedlichen Anbauvarianten bei sonst gleicher Behandlung bei objektiver Betrachtung tatsächlich unterscheidet, wurde nicht untersucht. Eine mögliche Begründung für Geschmacksdifferenzen könnten allerdings Unterschiede im Wassergehalt der Knollen sein. So wiesen die Knollen der Anbauvariante „Pferd“ sowohl bei der Zeiternte als auch bei der Ernte ein geringeres Durchschnittsgewicht auf. Das könnte ein Hinweis auf einen geringeren Wassergehalt und damit auf einen intensiveren Geschmack der Knollen sein. Zur Überprüfung dieser Annahme könnte bei zukünftigen Untersuchungen eine Bestimmung der Knollentrockenmassen erfolgen. Den größten Einfluss auf den Geschmack dürfte jedoch die Kartoffelsorte haben. So weist die angebaute Sorte „Belana“ einen relativ hohen Stärkegehalt auf, welcher ihr den typisch kräftigen Kartoffelgeschmack verleiht (LÖVENICH 2009)

Als ein weiterer Vorteil der Pferdevariante wurde ein geringerer Anteil an Kartoffeln der größten Sortierung erwähnt. Die Kunden bevorzugen Ware im Bereich der mittleren Sortierung (3,5 – 5,5 cm). Das ist eine nachvollziehbare Aussage, wenn das Angebot des Lebensmitteleinzelhandels näher betrachtet wird. Dort werden hauptsächlich Kartoffeln im Bereich der mittleren Größenfraktion angeboten. Für größere Sortierungen werden gesonderte Bezeichnungen wie „Heichelheimer Klob-kartoffeln“ (Edeka) gewählt. Das drückt aus, dass Kartoffeln dieser Sortierung eher einer speziellen Verwendung zugeführt werden.

Empfehlenswert könnte ein umfangreicherer, bewusster Einsatz der Pferde zu Werbezwecken sein. So könnte zusätzlich zum „Reichelsheimer Kartoffeltag“ im Zusammenhang mit der Ernte eine öffentliche Kartoffelverkostung durchgeführt werden. Dabei wäre es wichtig, derartige Aktionstage bereits im Vorfeld in der regionalen Presse anzukündigen, um die Informationen einem breiteren Publikum zugänglich zu machen. Die Verwendung eines Logos zur Hofidentifikation und die

Bereitstellung von Informationsmaterial könnten sich ebenfalls positiv auf die Vermarktungssituation auswirken (RODEWALD et al. 2006).

## 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Boden- und Ertragsparameter zur Charakterisierung der Auswirkungen von Pferde- und Traktoreinsatz im Kartoffelanbau basieren auf Untersuchungen in einem einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb. Die Beurteilung der Vermarktungssituation wurde anhand von Literaturrecherchen vorgenommen, eigene Erhebungen dazu erfolgten nicht.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich die beiden Anbauvarianten hinsichtlich ihrer Wirkungen auf Bodeneigenschaften im Bereich der Ackerkrume unterscheiden. Tendenziell deuten die im Damm ermittelten Abscherwiderstände auf eine Boden schonendere Wirkung des Pferdeeinsatzes im Vergleich zum Traktor hin. Im Spurbereich scheint die unbefahrene Traktorspur die nachteiligen Wirkungen der doppelt befahrenen Spur auszugleichen, so dass bei Berechnung von spurübergreifenden Mittelwerten unter Einbezug der praxisrelevanten Spuren zwischen beiden Bearbeitungsvarianten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der erhobenen Bodenparameter erkennbar sind. Möglicherweise muss jedoch die stets flächige Verdichtungswirkung des Traktors hinsichtlich des Einflusses auf fruchtbarkeitsrelevante Bodeneigenschaften anders als die durch Pferdehufe hervorgerufene, punktuelle Verdichtung bewertet werden. Zu berücksichtigen ist auch, dass in der Bewirtschaftungsweise „Pferd“ häufiger Pflegemaßnahmen stattfanden, und damit die Spuren öfter als in der Traktorvariante benutzt wurden. Daher kann angenommen werden, dass der Einsatz von Zugpferden auch im Spurbereich eine Boden schonendere Wirkung im Vergleich zum Traktor erzielt. Der Einfluss der unterschiedlichen Bearbeitungsweisen auf den Wasserhaushalt des Oberbodens kann anhand der vorliegenden Daten nur sehr eingeschränkt beurteilt werden. Der zum Untersuchungszeitpunkt etwas höhere durchschnittliche Wassergehalt der Pferdespuren könnte in einem kurz vor dem Untersuchungszeitpunkt aufgetretenem Niederschlagsereignis begründet sein. Dabei wird wegen der bereits angeführten Unterschiede in der Verdichtungswirkung eine bessere Infiltrationsleistung als für die befahrenen Traktorspuren vermutet. Aussagen zur nutzbaren Feldkapazität lassen sich aus diesen Ergebnissen allerdings nicht ableiten. Einflüsse der unterschiedlichen Anbauvarianten auf tiefer liegende Bodenschichten wurden nicht untersucht. Für eine genauere Bewertung der Auswirkungen der Pferdearbeit im Vergleich zur

Schleppernutzung auf durch Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflussbare Bodeneigenschaften ist die Durchführung zusätzlicher bodenökologischer Untersuchungen sowohl im Bereich der Ackerkrume als auch im Unterboden notwendig. Zeitliche Wiederholungen könnten die Langzeitwirkungen einer Bearbeitungsvariante verdeutlichen.

Für die ermittelten Ernteparameter ergibt sich kein eindeutiges Bild zugunsten einer Bearbeitungsweise. Während für die Zeiternte für die mit dem Pferd bearbeitete Fläche sowohl eine höhere Knollenanzahl als auch ein signifikant höherer gewichtsbezogener Ernteertrag zu verzeichnen sind, weist zum Zeitpunkt der Ernte die Traktorvariante trotz einer geringeren Knollenanzahl einen höheren Ernteertrag in Tonnen je Hektar auf. Unter Berücksichtigung bereits vorliegender, anderslautender Forschungsergebnisse bedarf es einer Überprüfung hinsichtlich der Gründe dieses Resultates. Eine Erklärung könnten die Niederschlagsverhältnisse in Verbindung mit der nutzbaren Feldkapazität des Bodens liefern. Zum Nachweis eines solchen Zusammenhangs sind jedoch zusätzliche Datenerhebungen notwendig. Auffällig ist auch der erhöhte Anteil an grünen Knollen in der Anbauvariante „Pferd“. Mögliche Ursache könnten Rissbildungen im Damm aufgrund der häufigeren Bearbeitung sein. Der höhere Anteil beschädigter Knollen in der Traktorvariante ist wahrscheinlich auf den größeren Klutenanteil zurückzuführen. Als Grund für die vermehrte Klutenbildung wird die höhere Lagerungsdichte des Bodens vermutet. Eine Beurteilung von Geschmack und Lagerfähigkeit könnte Aufschluss darüber geben, ob sich die unterschiedlichen Anbauverfahren auf die Qualität der Ernteerzeugnisse auswirken. Auch würde die Bestimmung ausgewählter Inhaltsstoffe Informationen über die Güte der Kartoffelknollen liefern.

Hinsichtlich der Vermarktungssituation kann der Einsatz von Arbeitspferden gegenüber der Schlepperanwendung im Kartoffelanbau Vorteile bieten. Diese als ökologische Differenzierung einzuordnende Wettbewerbsstrategie könnte bei entsprechender Kommunikation durchaus bei den Kunden zur Akzeptanz eines Preisaufschlages gegenüber konventionell hergestellten Produkten führen. Um die Präferenzen potentieller Kunden genauer einschätzen zu können, wäre die Durchführung von Befragungen auf Verbraucherseite eine wichtige Maßnahme. Ein

umfangreicherer, bewusster Einsatz der Pferde zu Werbezwecken könnte zu einer Stärkung der Marktposition beitragen.

Bei zukünftigen Praxisversuchen sollten Versuchsanlage und Beprobung so erfolgen, dass bei Verwendung aller Untersuchungsergebnisse die statistischen Auswertungen ein repräsentatives Bild eines unter Praxisbedingungen bearbeiteten Ackers liefern. Bei Versuchsdurchführung ist bis auf den zu variierenden Faktor auf eine exakte Gleichbehandlung der Parzellen zu achten. Eine größere Präzision der Versuchsergebnisse ist durch eine höhere Zahl an Wiederholungen erreichbar.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Einsatz von Arbeitspferden im Kartoffelanbau eine Alternative darstellen kann. Vor allem hinsichtlich der zu verkaufsfördernden Zwecken nach außen kommunizierbaren ökologischen Wirkungen könnte der Zugpferdeeinsatz Vorteile zu bieten. Für eine präzise Beurteilung der unterschiedlichen Anbauverfahren sind weiterführende Untersuchungen erforderlich, wobei eine lediglich auf kurzfristige ökonomische Ziele ausgerichtete Sichtweise fehl am Platz ist. Nur durch die Berücksichtigung langfristiger ökologischer Wirkungen wird die Funktion des Bodens als Standort für Nutzpflanzen und als Grundlage für die menschliche Ernährung gesichert.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Einleitend wird die Nutzung tierischer Zugkraft in der Vergangenheit und in der heutigen Zeit dargestellt. Vor- und Nachteile des Einsatzes von Zugtieren im Vergleich zum Traktoreinsatz werden erläutert. Anhand des von Mitgliedern der IGZ Hessen angeregten und weitgehend eigenständig durchgeführten Tastversuches werden die Auswirkungen der unterschiedlichen Anbauvarianten „Pferd“ und „Traktor“ auf ausgewählte Boden- und Ertragsparameter im Kartoffelanbau untersucht. Zusätzlich wird der Frage nachgegangen, ob für die mit Hilfe von Arbeitspferden erzeugten landwirtschaftlichen Produkte Vermarktungsvorteile bestehen. Die gewonnenen Daten sollen erste Hinweise darauf geben, ob der Einsatz von Arbeitspferden im Kartoffelanbau eine Alternative zum Schleppereinsatz darstellen kann und eine Orientierungshilfe für weiterführende Untersuchungen sein. Im Bereich der Bodeneigenschaften erfolgt der Vergleich durch Ermittlung von Abscherwiderstand, Trockenrohdichte und Wassergehalt in der Ackerkrume.

Die Ernteparameter werden zu zwei unterschiedlichen Vegetationszeitpunkten dargestellt, um die Ertragsentwicklung im Vegetationsverlauf zu dokumentieren.

Die Vermarktungssituation wird anhand von Literaturrecherchen unter Berücksichtigung von Erfahrungen der versuchsdurchführenden Personen im Bereich der Direktvermarktung der mit Hilfe von Zugpferden erzeugten landwirtschaftlichen Produkte beurteilt.

Die durchgeführten Untersuchungen und Literaturrecherchen führen zu folgenden Ergebnissen:

### Bodeneigenschaften:

- Die Anbauvariante „Pferd“ weist in den Spuren im Durchschnitt geringere Trockenrohdichten sowie geringere Abscherwiderstände als die befahrenen Spuren der Traktorvariante auf.
- Bei Bildung praxisrelevanter spurübergreifender Durchschnittswerte bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Bearbeitungsvarianten. Dabei scheint die unbefahrene Spur in der Traktorvariante die Wirkung der doppelt befahrenen Spur zu kompensieren.

- Im Dammbereich zeigt die Variante „Pferd“ durchschnittlich einen geringeren Abscherwiderstand.
- Alle untersuchten Bodenparameter unterliegen in der Traktorvariante größeren Schwankungen als in der Pferdevariante.
- Tendenziell lässt sich ein steigender Bodenwassergehalt mit zunehmender Trockenrohdichte beobachten. Unabhängig davon weist das Anbausystem Pferd zum Zeitpunkt der Untersuchung im Mittel einen geringfügig höheren Bodenwassergehalt auf.

#### Ertragsparameter:

- Zum Zeitpunkt der Zwischenernte weist das Bearbeitungsverfahren „Pferd“ sowohl eine höhere Knollenanzahl als auch einen höheren gewichtsbezogenen Ernteertrag auf.
- Im Rahmen der Ernte zeigt die Traktorvariante einen höheren gewichtsbezogenen Ernteertrag bei geringerer Knollenanzahl als die Pferdevariante.
- Für die mit Zugpferden bearbeitete Fläche wird für den Erntezeitpunkt ein höherer Ertrag an Knollen der mittleren Sortierung ermittelt, die Anbauvariante „Traktor“ zeigt einen höheren Ertrag an Knollen der größten Fraktion.
- Das Durchschnittsgewicht der Knollen liegt bei sortierungsunabhängiger Betrachtung zu beiden Ernteterminen in der Traktorvariante höher.
- Der Anteil nicht marktfähiger Ware zeigt in beiden Anbausystemen ähnliche Werte. Unterschiede bestehen hinsichtlich der Gründe. In der Pferdevariante führen hauptsächlich grüne Knollen zum Ausschluss, während in der Traktorvariante mehr beschädigte Knollen auftreten.

#### Vermarktungssituation:

- Der Einsatz von Arbeitspferden im Kartoffelanbau kann durch ökologische Differenzierung als auf den Absatzmarkt ausgerichtete Wettbewerbsstrategie angesehen werden. Die Anwendung einer solchen Differenzierungsstrategie kann insbesondere bei gesättigten Märkten erfolgsversprechend sein.
- Untersuchungen zum Verbraucherverhalten weisen darauf hin, dass Konsumenten für regional erzeugte Produkte einen Aufpreis akzeptieren. Erfolgt

die Produktion zudem umweltgerecht, erhöht sich die Aufpreisbereitschaft zusätzlich.

Insgesamt kann die Nutzung von Arbeitspferden im Kartoffelanbau eine Alternative zum Traktoreneinsatz darstellen. Anhand der bisher vorliegenden Ergebnisse lässt sich jedoch keine endgültige Aussage zur Vorteilhaftigkeit eines Anbauverfahrens treffen. Zu einer abschließenden Beurteilung sind weiterführende Untersuchungen sowohl ökologischer als auch ökonomischer Parameter notwendig.

## 7. LITERATUR

AG BODEN (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden) (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.). Hannover. 5. verbesserte und erweiterte Auflage.

ALVENSLEBEN R. v. (2000): Welche Produkte will der Markt? Agrarpolitisches Symposium der Akademie für Politik und Zeitgeschehen der Hanns-Seidel-Stiftung e.V. in Zusammenarbeit mit dem Bayrischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten am 1.-3.11.2000 in Wildbad-Kreuth.

BANIK I., SIMONS J. UND M. HARTMANN (2007): Regionale Herkunft als Erfolgsfaktor für die Qualitätswahrnehmung von Verbrauchern in Nordrhein-Westfalen. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn. Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL. Nr. 152. 142 Seiten.

BAYRISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (Hrsg.) (2008): Agrarmärkte Jahreshaft 2008. Teilauszug: Kartoffeln. Unterlagen für Unterricht und Beratung in Bayern. 5. Jahrg. Schriftenreihe der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft.

BEHRENS C.-U. UND M. KIRSPEL (2001): Grundlagen der Volkswirtschaftslehre. 2. Auflage. 2., ergänzte Auflage. München. Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH.

BENKER M. (2007): Krautminderung – eine Maßnahme zur Qualitätssicherung. In: Wissenswertes rund um die Kartoffel. Broschüre. Syngenta Agro GmbH (Hrsg.). Maintal. 28-31.

- BESCH M. UND H. HAUSLADEN (1998): Verbraucherpräferenzen für Nahrungsmittel aus der Region, Professur für landwirtschaftliche Marktlehre Arbeitsbericht Nr. 23. München-Weihenstephan.
- BBODSCHG (1998): Bundes-Bodenschutzgesetz – Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. BGBl. Teil I. Nr. 16. 502-510.
- BLUMENSTEIN B. (2008): Arbeitswirtschaftliche Erhebungen beim Arbeitspferdeeinsatz als Kalkulationsgrundlage der Produktionsplanung (Diplomarbeit). Witzenhausen: Universität Kassel.
- BLUME H.P., BRÜMMER G.W., HORN R., KANDELER E. KÖGEL-KNABER I., KRETSCHMER R., STAHR K. UND B.-M. WILKE (2010): Scheffer/Schachtschnabel. Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMELV) (Hrsg.) (2009): Mehr Kartoffeln als im vergangenen Jahr geerntet. Kartoffelernte 2009 mit guten Erträgen und niedrigen Verbraucherpreisen. Pressemitteilung vom 227 vom 23.09.2009. In: [http://www.bmelv.de/clin\\_181/sid\\_B02656D0869642F94077BF291A05A%20277/SharedDocs/Pressemitteilungen/2009/227-Kartoffelernte.html](http://www.bmelv.de/clin_181/sid_B02656D0869642F94077BF291A05A%20277/SharedDocs/Pressemitteilungen/2009/227-Kartoffelernte.html). 04.05.2010.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMELV) (Hrsg.) (2010): Hohe Hektarerträge bei Getreide, Winterraps und Kartoffeln für 2009 bestätigt. Referat 425 vom 10.02.2010. In: <http://berichte.bmelv-statistik.de/WBB-0600001-2010.pdf>. 07.06.2010.
- DIEPENBROCK W., ELLMER F. UND LEON J. (2005): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. UTB Grundwissen Bachelor. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag & Co.

- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (Hrsg.) (2006): Mittelwerte des Niederschlags 1961 bis 1990. In: [http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=\\_dwdwww\\_menu2\\_leistungen\\_az\\_freiemetinfos&T115202758871200642573928gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima\\_\\_Umwelt%2FKlimadatenzentren%2FNKDZ%2FKldaten\\_\\_akt%2Fausgabe\\_\\_mittelwerte\\_\\_node.html%3F\\_\\_nnn%3Dtrue](http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_menu2_leistungen_az_freiemetinfos&T115202758871200642573928gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima__Umwelt%2FKlimadatenzentren%2FNKDZ%2FKldaten__akt%2Fausgabe__mittelwerte__node.html%3F__nnn%3Dtrue). 16.06.2010.
- DYLLICK T., BELZ F. UND U. SCHNEIDEWIND (1997): Ökologie und Wettbewerbsfähigkeit. Hanser Verlag. München.
- EKEBERG E. (1988): Directplanting of potatoes. 11th international conference of istro. Edingburgh. 2: 643-647.
- EUROPLANT PFLANZENZUCHT GMBH (EUROPLANT) (2009): Sorten, Kompetenz und Service, Sortenbeschreibung Belana. In: [http://www.europlant.biz/downloads/de-de/varieties/variety/Belana\\_09.pdf](http://www.europlant.biz/downloads/de-de/varieties/variety/Belana_09.pdf). 02.06.2010.
- FILBRANDT U. (2009): Erzeugerpreisbericht 2008 Ökoprodukte. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (SMUL) (Hrsg.).
- FLEISCHER M. UND D. SÜß (2002): Die Beanspruchung des Bodens beim Pferderücken. Starke Pferde. 6. Jahrg. 24. 11-13.
- FLECHSIG B., WINKLER B., BREZINA T., SCHEIBER J. UND R. GEMBALLA (2006): Holzernte-technologien. Richtlinie zur Anwendung im Staatswald des Freistaates Sachsen. Staatsbetrieb Sachsenforst (Hrsg.). Pirna.
- GÜLL R. (2010): Rund um die Kartoffel. Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 6/2010. 34-38.
- HEROLD P. (2001): Moderner Arbeitspferdeeinsatz in Landwirtschaft und Naturschutz – Illusion oder Alternative? Starke Pferde. 5. Jahrg. 19. 11-16.

- HEROLD P., JUNG J. UND R. SCHARNHÖLZ (2009): Arbeitspferde im Naturschutz. Beispiele, Einsatzbereiche und Technik. BfN-Skripten 256. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.). Bonn.
- HILDEBRANDT E.E. (2008): Lässt sich das „Großraumexperiment Waldbodenverformung“ stoppen? AFZ - Der Wald. 6/2008. 291-292.
- KNICKEL K., SCHAER B. UND B. SPRENGER (2003): Macro-level analysis of food supply chain dynamics and diversity: An overview für Germany. Europäische Kommission (Hrsg.): "Marketing Sustainable Agriculture: An analysis of the potential rule of new food supply chains in sustainable rural development". SUS-CHAIN QLK5-CT-2002-01349. SUS-CHAIN deliverable no. 8.7.
- KUNTZE H., ROESCHMANN G. UND G. SCHWERDTFEGER (1994): Bodenkunde. 5. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.
- LANDESBETRIEB LANDWIRTSCHAFT HESSEN (LLH) (Hrsg.) (2010): Pflanzliche Erzeugnisse – APH – Agrarpreise Hessen – Speisekartoffeln. In: <http://www.agrarberatung-hessen.de/markt/pflanze1/010424.html>. 20.05.2010.
- LÖVENICH P. (2009): Landessortenversuche Speisekartoffeln 2009. 2009 – ein schwieriges Kartoffeljahr. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). In: <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/kartoffeln/speisekartoffeln-sv-2009.htm>. 07.06.2010.
- MEYER A. (2000): Wettbewerbsstrategien für ökologische Produkte. Ein forschungsprogrammatisches Leerstellengerüst für die Entwicklung und Umsetzung von Positionierungs- und Ressourcenstrategien für ökologische Produkte. Diskussionsbeitrag Nr. 1 am Lehrstuhl für Produktion und Umwelt an der C.v. Ossietzky Universität Oldenburg.

- MICHEL R., SCHNEIDER J. UND ST. SCHWEDT (o. J.): Untersuchungen der Bodenfruchtbarkeit und Berechnungseinsatz in Landwirtschaftsbetrieben. Thema: Untersuchungen zum Bodenfeuchteverlauf unter Kartoffeln und Vergleiche zwischen Ergebnissen von Bodenfeuchtemessungen mit Modellergebnissen. Auswertung im Weiterbildungsprojekt: Nutzung schlag- und regionalspezifischer Wetter- und Bodenfeuchtedaten zur Förderung der Umweltgerechtigkeit in Landwirtschaftsbetrieben. In: <http://www.zephyr-berechnung.de/assets/bodenfeuchtemessungen.pdf>. 02.05.2010.
- MOITZI G. UND J. BOXBERGER (2007): Vermeidung von Bodenschadverdichtungen beim Einsatz von schweren Landmaschinen – eine aktuelle Herausforderung. Ländlicher Raum. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Jahrgang 2007. 1-27. In: [www.laendlicher-raum.at/filemanager/download/22176/](http://www.laendlicher-raum.at/filemanager/download/22176/) -. 05.05.2010
- PFLUG W. (Hrsg.) (1998): Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie – Folgenutzung – Naturschutz. Springer Verlag. Berlin.
- PINNEY C. (2003): „Living Horse Power“. Gebt das Pferd nicht auf! Starke Pferde. 7. Jahrg. 27. 24-27.
- NATIONALE PLATTFORM NATURGEFAHREN PLANAT (Hrsg.) (o. J.): Scherfestigkeit/Scherwiderstand. In: <http://www.agnat.ch/printview.php?nav=4,472,194,650>. 12.09.2009.
- PLOEG VAN DER R.R., EHLERS W. UND R. HORN (2006): Schwerlast auf dem Acker. Spektrum der Wissenschaft. August 2006. 80-88.
- PRIVATE WETTERSTATION 61169 FRIEDBERG/HESSEN (Hrsg.) (2010): Wetterstatistik 2009. In: <http://wetter61169.de/archiv/wetterstatistik-2009/index.php>. 02.04.2010.

- RODEWALD M.-C., HOFFMANN H. UND P. HEROLD (2006): Die Nutzung von Arbeitspferden im betrieblichen Marketing. Ergebnisse aus einer Bachelorarbeit der Humboldt Universität zu Berlin. *Starke Pferde*. 10. Jahrg. 37. 17-18.
- SCHACK-KIRCHNER, H. UND E.E. HILDEBRANDT (1994): Wie lässt sich das Vorsorgeprinzip bei Holzerntekonzepten berücksichtigen? In: *AFZ – Der Wald*. 49. Jahrg. 13. 720-722.
- SCHIEDER A. (2003): Erosionsmindernde Kartoffelproduktion unter besonderer Berücksichtigung phytopathologischer Aspekte (Dissertation). München: Technische Universität Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan. In: <http://tumb1.biblio.tu-muenchen.de/publ/diss/ww/2004/schieder.pdf>.
- SCHNEIDER K.-H. (2007): Vollautomatische Kartoffelsetzmaschine für den Pferdezug. *Starke Pferde*. 11. Jahrg. 43. 27.
- SPIEGEL ONLINE (Hrsg.) (2009): Deutsche Wetterbilanz. Jahr 2009 bestätigt Erwärmungstrend. Artikel vom 29.12.2009. In: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,669481,00.html>. 14.04.2010.
- STRÜBER K. (2007): Humussphäre. Projekt zu Energie sparen und Humus aufbauenden Methoden in der Landwirtschaft. Teil 2: Das Jahr 2006. *Starke Pferde*. 11. Jahrg. 42. 35-38.
- STRÜBER K. (2008): Humussphäre. Projekt zu Energie sparen und Humus aufbauenden Methoden in der Landwirtschaft. Teil 3: Das Jahr 2007. *Starke Pferde*. 12. Jahrg. 46. 62-65.
- STRÜBER K. (2009): Humussphäre. Projekt zu Energie sparen und Humus aufbauenden Methoden in der Landwirtschaft. Teil 4: Das Jahr 2008. *Starke Pferde*. 13. Jahrg. 50. 42-45.

- STOCKEBRAND N. & SPILLER A. (2009): Verknüpfung regionaler Beschaffungskonzepte mit innovativen regionalen Marketingsansätzen (Kooperatives Erzeuger-Handels-Konzept/KEHK). Abschlussbericht. Georg-August-Universität Göttingen. In: [http://orgprints.org/16111/1/16111-06OE235-uni\\_goettingen-spiller-2009-beschaffungskonzept\\_KEHK.pdf](http://orgprints.org/16111/1/16111-06OE235-uni_goettingen-spiller-2009-beschaffungskonzept_KEHK.pdf). 12.05.2010.
- TEBRÜGGE F. (2000): Visionen für die Direktsaat und ihr Beitrag zum Boden- Wasser und Klimaschutz. Landwirtschaftliche Beratungszentrale. LBL-Kurs 28.06.2000. Zollikofen-Bern.
- UMWELTATLAS HESSEN (2004): Hessisches Landesamt für Geologie (Hrsg.). Tagesmitteltemperatur 1991-2000. Wiesbaden. In: <http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas/>. 14.04.2009.
- VOSSBRINK J. (2004): Bodenspannungen und Deformationen in Waldböden durch Ernteverfahren (Dissertation). In: R. Horn, J. Lamp, B. Sattelmacher (Hrsg.): Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde Universität Kiel. Nr. 65 (2005). Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- WAGNER P., WEIGERT G., GANDORDER M. UND A. MEYER-AURICH (2005): On-Farm-Research – Eine neue Herausforderung in der Versuchsanstellung. Zeitschrift für Agrarinformation 3/2005. 52-53
- WETTERAUER ZEITUNG (Hrsg.) (2010): Moderne Ackermaschinen funktionieren auch hinter Pferden. Artikel vom 13.04.2010. In: [http://www.wetterauer-zeitung.de/Home/Kreis/Staedte-und-Gemeinden/Reichelsheim/Artikel,-ModerneAckermaschinen-funktionieren-auch-hinter-Pferden\\_arid,174052\\_regid,3\\_puid,1\\_pageid,79.html](http://www.wetterauer-zeitung.de/Home/Kreis/Staedte-und-Gemeinden/Reichelsheim/Artikel,-ModerneAckermaschinen-funktionieren-auch-hinter-Pferden_arid,174052_regid,3_puid,1_pageid,79.html). 15.04.2010.
- WILPERT K. V. UND J. SCHÄFFER (2002): Regeneration von Befahrungsschäden auf verformungsempfindlichen Schlufflehmsubstraten. In: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) (Hrsg.). Jahresbericht 2002. 5-9.

- 
- WIRTH J. UND WOLFF D. (2008): Vergleich von Pferde- und Seilschleppereinsatz beim Vorliefern von Vollbäumen. AFZ - Der Wald. 63. Jahrg. 18. 968-971.
- WIRTHGEN A. (2001): Möglichkeiten und Grenzen regionaler Vermarktungskonzepte in strukturschwachen Regionen – eine Untersuchung im Elbetal. Challenges for regional marketing in less favoured areas – a survey in the Elbe-Valley. In: Penker, M. und S. Pfusterschmidt (Hrsg.): Wie steuerbar ist die Landwirtschaft? – Tagungsband zur 11. ÖGA- Jahrestagung (Österreichische Gesellschaft für Agrarökonomie). Wien. 91-100.
- WÖLFEL, S. (2000): Möglichkeiten der Qualitätssicherung im Kartoffelanbau durch moderne Dammbearbeitungsmaßnahmen. Abschlussbericht. Themenblatt-Nr.: 09.02. 420/2000 Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.). Jena.
- WÜSTENHAGEN R. (2000): Ökostrom – von der Nische zum Massenmarkt. Entwicklungsperspektiven und Marketingstrategien für eine zukunftsfähige Elektrizitätsbranche. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH.

## 8. ANHANG

**Tab. A 1: Abscherwiderstand ( $N/m^2$ ) in den Spuren der Variante „Traktor“ am 24.07.2009**

Meßpunkt	linke Spur			mittlere Spur			rechte Spur		
	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 1	Wert 2	Wert 3
1	400	400	400	100	120	100	400	400	300
2	400	400	400	140	80	140	320	360	320
3	400	400	400	120	100	90	380	340	390
4	400	400	400	120	100	100	400	400	400

**Tab. A 2: Abscherwiderstand ( $N/m^2$ ) in den Spuren der Variante „Pferd“ am 24.07.2009**

Meßpunkt	linke Spur			mittlere Spur			rechte Spur		
	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 1	Wert 2	Wert 3
1	300	240	320	160	220	190	240	340	280
2	350	380	400	120	110	130	200	200	220
3	240	240	300	140	120	200	240	200	280
4	340	350	380	190	180	160	170	190	105

**Tab. A 3: Abscherwiderstand ( $N/m^2$ ) im Damm der Variante „Traktor“ am 24.07.2009**

Messpunkt	linke Dammsflanke	Dammmitte	rechte Dammsflanke
1	240	20	100
2	250	90	100
3	290	100	160
4	320	200	120

**Tab. A 4: Abscherwiderstand ( $N/m^2$ ) im Damm der Variante „Pferd“ am 24.07.2009**

Messpunkt	linke Dammsflanke	Dammmitte	rechte Dammsflanke
1	140	100	120
2	90	140	260
3	100	120	160
4	160	160	160

**Tab. A 5: Frischmasse (g), Trockenmasse (g), Wasser (g), Trockenroh-dichte (g/cm<sup>3</sup>) und Wassergehalt (g/cm<sup>3</sup>) der Bodenproben vom 24.07.2009 für die Variante „Traktor“ (L = links; M = Mitte; R = rechts)**

Spur	Messpunkt	Frischmasse (g)	Trockenmasse (g)	Wasser (g)	Trockenroh-dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Wassergehalt (g/cm <sup>3</sup> )
L	4	945,15	764,33	180,82	1,53	0,36
L	3	933,52	763,99	169,53	1,53	0,34
L	2	969,48	793,89	175,59	1,59	0,35
L	1	956,50	777,54	178,96	1,56	0,36
M	4	759,62	601,92	157,70	1,20	0,32
M	3	745,86	592,74	153,12	1,19	0,31
M	2	677,90	547,30	130,60	1,09	0,26
M	1	726,22	601,02	125,20	1,20	0,25
R	4	921,29	752,70	168,59	1,51	0,34
R	3	927,21	748,79	178,42	1,50	0,36
R	2	957,82	782,21	175,61	1,56	0,35
R	1	924,94	750,97	173,97	1,50	0,35

**Tab. A 6: Frischmasse (g), Trockenmasse (g), Wasser (g), Trockenroh-dichte (g/cm<sup>3</sup>) und Wassergehalt (g/cm<sup>3</sup>) der Bodenproben vom 24.07.2009 für die Variante „Pferd“ (L= links; M = Mitte; R = rechts)**

Spur	Messpunkt	Frischmasse (g)	Trockenmasse (g)	Wasser (g)	Trockenroh-dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Wassergehalt (g/cm <sup>3</sup> )
L	4	894,53	709,43	185,10	1,42	0,37
L	3	856,58	676,50	180,08	1,35	0,36
L	2	916,58	729,11	187,47	1,46	0,37
L	1	955,61	775,33	180,28	1,55	0,36
M	4	858,62	678,99	179,63	1,36	0,36
M	3	847,18	678,65	168,53	1,36	0,34
M	2	798,12	637,75	160,37	1,28	0,32
M	1	863,84	705,91	157,93	1,41	0,32
R	4	861,77	691,02	170,75	1,38	0,34
R	3	845,18	674,39	170,79	1,35	0,34
R	2	829,84	659,28	170,56	1,32	0,34
R	1	794,56	638,77	155,79	1,28	0,31

**Tab. A 7: Knollengewicht in g sowie Knollenanzahl differenziert nach Sortierung sowie ohne Größensortierung für die einzelnen Zeiterntewiederholungen (T 1 – T 4) zum 24.07.2009 für die Anbauvariante „Traktor“. Die Angaben beziehen sich auf jeweils zwei Pflanzen.**

		Knollengröße < 3,5 cm	Knollengröße 3,5 - 5,5 cm	Knollengröße > 5,5 cm	Gesamt
T 1	Gewicht in g	0,00	342,58	3.388,96	3.731,54
	Anzahl	0	4	18	22
T 2	Gewicht in g	80,68	340,55	2.940,77	3.362,00
	Anzahl	6	5	19	30
T 3	Gewicht in g	64,52	1.015,86	2.903,98	3.984,36
	Anzahl	3	14	19	36
T 4	Gewicht in g	148,41	849,44	2.964,44	3.962,29
	Anzahl	8	12	18	38

**Tab. A 8: Knollengewicht in g sowie Knollenanzahl differenziert nach Sortierung sowie ohne Größensortierung für die einzelnen Zeiterntewiederholungen (P1 – P 4) zum 24.07.2009 für die Anbauvariante „Pferd“. Die Angaben beziehen sich auf jeweils zwei Pflanzen.**

		Knollengröße < 3,5 cm	Knollengröße 3,5 - 5,5 cm	Knollengröße > 5,5 cm	Gesamt
P 1	Gewicht in g	140,61	1.349,00	2.821,76	4.311,37
	Anzahl	16	22	19	57
P 2	Gewicht in g	197,38	1.107,74	2.555,99	3.861,11
	Anzahl	11	20	21	52
P 3	Gewicht in g	99,64	837,28	3.484,93	4.421,85
	Anzahl	5	14	24	43
P 4	Gewicht in g	42,21	757,50	3.464,42	4.264,13
	Anzahl	5	11	17	33

**Tab. A 9: Trockenmasse Kartoffelkraut in g für die einzelnen Zeiterntewiederholungen am 24.07.2009 für die Anbauvarianten „Traktor“ und „Pferd“. Die Angaben beziehen sich auf jeweils zwei Pflanzen**

Zeiterntewiederholung	Krauttrockenmasse (g) Anbauvariante „Traktor“	Krauttrockenmasse (g) Anbauvariante „Pferd“
1	204,78	159,73
3	111,06	183,84
3	141,97	*
4	118,88	150,55

\* Kartoffelkraut ist versehentlich auf dem Feld verblieben, Trockenmassebestimmung war daher nicht möglich

**Tab. A 9: Ernteertrag vom 23.09.2009: Knollengewicht in g sowie Knollenanzahl differenziert nach Sortierung sowie ohne Größendifferenzierung je Erntewiederholung (T1 – T2) für die Anbauvariante „Traktor“. Dabei wird in marktfähige, grüne und beschädigte Knollen unterschieden. Jede Erntewiederholung umfasste zehn Meter einer Reihe.**

		> 5,5 cm		3,5 – 5,5 cm		< 3,5 cm		Gesamt	
		Anzahl	Gewicht (g)	Anzahl	Gewicht (g)	Anzahl	Gewicht (g)	Anzahl	Gewicht (g)
T1	marktfähig	132	25.641,12	28	1.994,09	0	0,00	160	27.635,21
	grün	9	1.675,82	5	372,68	0	0,00	14	2.048,50
	beschädigt	24	4.384,83	4	375,00	0	0,00	28	4.759,83
T2	marktfähig	142	25.716,16	48	3.628,70	0	0,00	190	29.344,86
	grün	15	2.706,73	6	391,13	2	77,92	23	3.175,78
	beschädigt	20	3.911,43	8	668,57	0	0,00	28	4.580,00

**Tab. A 10: Ernteertrag vom 23.09.2009: Knollengewicht in g sowie Knollenanzahl differenziert nach Sortierung sowie ohne Größendifferenzierung je Erntewiederholung (P1 – P2) für die Anbauvariante „Pferd“. Dabei wird in marktfähige, grüne und beschädigte Knollen unterschieden. Jede Erntewiederholung umfasste zehn Meter einer Reihe.**

		> 5,5 cm		3,5 – 5,5 cm		< 3,5 cm		Gesamt	
		Anzahl	Gewicht g	Anzahl	Gewicht g	Anzahl	Gewicht g	Anzahl	Gewicht g
P1	marktfähig	135	22.680,41	60	4.744,86	4	129,78	199	27.555,05
	grün	5	859,92	4	252,40	0	0,00	9	1.112,32
	beschädigt	13	2.118,60	5	334,53	0	0,00	18	2.453,13
P2	marktfähig	109	22.283,68	43	3.458,81	3	95,15	155	25.837,64
	grün	35	6.020,14	34	2.242,15	0	0,00	69	8.262,29
	beschädigt	7	1.955,80	4	249,13	0	0,00	11	2.204,93

## **Eidesstattliche Versicherung**

Ich versichere, dass ich vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung verwendet.

Gießen, den 03.10.2010

