



Bodengefüge unter dem Einfluss verschiedener Landnutzungen im westsibirischen Getreidegürtel, Tyumen, Russland

Masterarbeit

Lisa Hagedorn B.Sc. Geographie

Studiengang: Geoökologie M.Sc.

Matrikelnr.: 4097592

Am Knochenhof 1, 49082 Osnabrück

E-Mail: lisa.hagedorn@gmx.net

Erstprüfer: Prof. Dr. Gabriele Broll

Universität Osnabrück

Institut für Geographie

Zweitprüfer: Prof. Dr. Rolf Nieder

Technische Universität Braunschweig

Institut für Geoökologie

Osnabrück den 03.03.2014

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung	1
2 Stand der Forschung.....	3
3 Untersuchungsgebiet	6
4 Material und Methoden	14
4.1 Geländearbeit und Feldmethoden.....	14
4.2 Datenaufarbeitung	19
5 Ergebnisse.....	20
5.1 Ackerstandorte	20
5.1.1 Gelände.....	20
5.1.1.1 Oberbodenansprache mit Hilfe des Soil Fingerprint Code.....	20
5.1.1.1.1 Bodengefüge.....	23
5.1.1.1.2 Bodenart	26
5.1.1.1.3 Korrelationsanalyse	26
5.1.1.2 Oberbodenansprache nach KA5	28
5.1.1.2.1 Bodengefüge.....	29
5.1.1.2.2 Bodenart	32
5.1.1.3 Vegetation	32
5.1.2 Labor	33
5.1.2.1 Lagerungsdichte	33
5.1.2.2 pH-Werte	35
5.2 Standorte ohne Nutzung	36
5.2.1 Gelände.....	36

5.2.1.1	Oberbodenansprache mit Hilfe des Soil Fingerprint Code.....	36
5.2.1.1.1	Bodengefüge.....	36
5.2.1.1.2	Bodenart	39
5.2.1.1.3	Korrelationsanalyse	39
5.2.1.2	Oberbodenansprache nach KA5	41
5.2.1.2.1	Bodengefüge.....	43
5.2.1.2.2	Bodenart	45
5.2.1.3	Vegetation	46
5.2.2	Labor	47
5.2.2.1	Lagerungsdichte	47
5.2.2.2	pH-Werte	48
5.3	Vergleich der Ergebnisse der Ackerstandorte mit den Standorten ohne Nutzung	49
5.3.1	Gelände.....	49
5.3.1.1	Oberbodenansprache mit Hilfe des Soil Fingerprint Code.....	49
5.3.1.1.1	Bodengefüge.....	50
5.3.1.1.2	Bodenart	52
5.3.1.1.3	Korrelationsanalyse	52
5.3.1.1.4	Clusteranalyse.....	53
5.3.1.2	Oberbodenansprache nach KA5	55
5.3.1.2.1	Bodengefüge.....	56
5.3.1.2.2	Bodenart	58
5.3.1.3	Vegetation	58
5.3.2	Labor	59
5.3.2.1	Lagerungsdichte	59
5.3.2.2	pH-Werte	60
5.4	Vergleich der Ergebnisse des Soil Fingerprint Code und der KA5.....	61
6	Diskussion	62

6.1	Ergebnisinterpretation	62
6.2	Methodendiskussion.....	73
7	Schlussfolgerungen.....	78
8	Zusammenfassung	81
	Literatur.....	82
	Anhang	87
	Danksagung.....	106
	Eidesstattliche Erklärung.....	107

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Geographische Lage Tyumens und der Testgebiete.....	7
Abb. 2: Klimadiagramm Tyumen.	8
Abb. 3: Anzahl der täglichen Regenstunden 2013 in Tyumen.....	9
Abb. 4: Tägliche Höchsttemperaturen in Tyumen im Probezeitraum 2013.....	9
Abb. 5: Bodenkarte der beiden Testgebiete	11
Abb. 6: „Acker Ost 4“ als charakteristisches Beispiel für eine Ackerfläche.	12
Abb. 7: "Wald West 4" als charakteristisches Beispiel für eine Waldfläche.	13
Abb. 8: "Brache Ost 2" als charakteristisches Beispiel für eine Brachefläche.....	13
Abb. 9: Lage der Testgebiete und der Messpunkte.	15
Abb. 10: Informationen zum Soil Fingerprint Code nach Fox et al. (in press). Exemplarisch hierzu dient „Brache Ost 1“ in der Tiefe 0-5 cm.....	18
Abb. 11: Deutliche Rissbildung auf "Acker Ost 4"	22
Abb. 12: Klumpengefüge auf der Fläche "Acker West 5".....	23
Abb. 13: Ausprägung des Bodengefüges der Fläche "Acker West 1" in 5-30 cm	25
Abb. 14: Organische Reststoffe innerhalb des Oberbodens auf den Ackerstandorten "Acker West 4 & 5".....	28
Abb. 15: Polyedergefüge auf "Acker West 5" in 5-30 cm.	30
Abb. 16: Polyedergefüge des Standortes "Acker West 2" in 5-30 cm Tiefe.....	31
Abb. 17: Deutlich durchmischter Getreidebewuchs mit Unkraut auf "Acker West 1".....	33
Abb. 18: Boxplot der Lagerungsdichten unterteilt nach Landnutzung und Tiefe.	34
Abb. 19: Boxplot der pH-Werte unterteilt nach Landnutzung.	35
Abb. 20: Ausprägung des Bodengefüges der Fläche "Wald West 4" in 5-30 cm.	38
Abb. 21: Organische Auflage auf "Wald West 3"	41
Abb. 22: Dicke Wurzelmatte auf "Wald Ost 3" durchmischt mit organischer Auflage.	42
Abb. 23: Starke Ausprägung der Bioporen in 5-30 cm auf "Wald West 4".....	43

Abb. 24: Gefügeausprägung der Fläche „Wald Ost 3“ mit dem erhöhten Vorkommen von Subpolyedergefüge in 5-30 cm.....	44
Abb. 25: Prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung, aus der Bestimmung mit Hilfe des Soil Fingerprint Code.....	51
Abb. 26: Dendrogramm der Clusteranalyse (Ward-Methode) des Soil Fingerprint Code in 0-5 cm und 5-30 cm.....	54
Abb. 27: Prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung, nach KA5.....	57
Abbildung A1: Vergleich des Bodengefüges der Flächenpaare nach den Ergebnissen der KA5...	104
Abbildung A2: Vergleich des Bodengefüges der Flächenpaare nach den Ergebnissen des A-horizon-framework.....	105

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Gesamtes Vegetationsvorkommen der drei Landnutzungsformen.	17
Tab. 2: Soil Fingerprint Code aller Landnutzungen beider Testgebiete.	21
Tab. 3: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte aus der Bestimmung mit Hilfe des Soil Fingerprint Code.	24
Tab. 4: Korrelationsmatrix des Soil Fingerprint Code der Ackerflächen in 0-5 cm.	27
Tab. 5: Korrelationsmatrix des Soil Fingerprint Code der Ackerstandorte in 5-30 cm.	27
Tab. 6: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte nach KA5.....	30
Tab. 7: Mittelwerte der Lagerungsdichten der Ackerstandorte in g/cm ³	33
Tab. 8: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Standorte ohne Nutzung aus der Bestimmung mit Hilfe des Soil Fingerprint Code.	37
Tab. 9: Korrelationsmatrix des Soil Fingerprint Code der Standorte ohne Nutzung in 0-5 cm.	40
Tab. 10: Korrelationsmatrix des Soil Fingerprint Code der Standorte ohne Nutzung in 5-30 cm... .	40
Tab. 11: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Standorte ohne Nutzung nach KA5.	44
Tab. 12: Mittelwerte der Lagerungsdichten der Standorte ohne Nutzung in g/cm ³	47
Tab. 13: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung aus der Bestimmung mit Hilfe des Soil Fingerprint Code.....	50
Tab. 14: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung nach KA5.....	56
Tab. 15: Mittelwerte der Lagerungsdichten der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung in g/cm ³	60
Tabelle A1.1: Feldbogen nach KA5. Dargestellt sind Datum, Witterung, Landnutzung/Vegetation, org. Auflage, Ah-Mächtigkeit, pH-Wert und Verdichtung der Standorte des östlichen Testgebietes.	87
Tabelle A1.2: Feldbogen nach KA5. Dargestellt sind Datum, Witterung, Landnutzung/Vegetation, org. Auflage, Ah-Mächtigkeit, pH-Wert und Verdichtung der Standorte des westlichen Testgebietes.	88

Tabelle A2.1: Feldbogen nach KA5 in 0-5 cm. Dargestellt sind Gefüge, Bodenart, Bodenfeuchte, Hydromorphie, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm ³ , Bodenporen und Notizen des östlichen Testgebietes.....	89
Tabelle A2.2: Feldbogen nach KA5 in 0-5 cm. Dargestellt sind Gefüge, Bodenart, Bodenfeuchte, Hydromorphie, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm ³ , Bodenporen und Notizen des westlichen Testgebietes	90
Tabelle A3.1: Feldbogen nach KA5 in 5-30 cm. Dargestellt sind Gefüge, Bodenart, Bodenfeuchte, Hydromorphie, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm ³ , Bodenporen und Notizen des östlichen Testgebietes.	91
Tabelle A3.2: Feldbogen nach KA5 in 5-30 cm. Dargestellt sind Gefüge, Bodenart, Bodenfeuchte, Hydromorphie, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm ³ , Bodenporen und Notizen des westlichen Testgebietes.....	92
Tabelle A4.1: Feldbogen nach KA5 des B-Horizontes. Dargestellt sind Gefüge, Bodenart, Bodenfeuchte, Hydromorphie, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm ³ , Bodenporen und Notizen des östlichen Testgebietes.	93
Tabelle A4.2: Feldbogen nach KA5 des B-Horizontes. Dargestellt sind Gefüge, Bodenart, Bodenfeuchte, Hydromorphie, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm ³ , Bodenporen und Notizen des westlichen Testgebietes.....	94
Tabelle A5.1: Ergebnisse des A-horizon-framework nach Fox et al.. Dargestellt sind Datum, Testgebiet, Feldname, Messtiefe, Horizontmerkmale, Horizont-Nummerierung, Bodengefüge und Lagerungsdichte.	95
Tabelle A5.2: Ergebnisse des A-horizon-framework nach Fox et al.. Dargestellt sind Feldname, Messtiefe, Bodenart, Messtiefe, pH-Wert, Oberflächengegebenheiten und Landnutzung. .	96
Tabelle A5.3: Ergebnisse des A-horizon-framework nach Fox et al.. Dargestellt sind Feldname, Messtiefe, Hangposition und Notizen.	97
Tabelle A6.1: Häufigkeitsauswertung nach KA5. Dargestellt sind, nach der Landnutzung und Tiefe, die Häufigkeiten des Auftretens der org. Auflage, Ah-Mächtigkeit, pH-Wert, Verdichtung, Gefüge und Bodenart der 20 Felder.	98
Tabelle A6.2: Häufigkeitsauswertung nach KA5. Dargestellt sind, nach der Landnutzung und Tiefe, die Häufigkeiten des Auftretens der org. Reststoffe, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Lagerungsdichte und Bodenporen der 20 Felder.....	99

Tabelle A7: Häufigkeitsauswertung der Ergebnisse des A-horizon-framework. Dargestellt sind, nach der Landnutzung und Tiefe, die Häufigkeiten des Auftretens der Horizontmerkmale, Gefüge, Gefügeklasse, Gefüge-Konsistenz, Lagerungsdichte, Bodenart, pH-Wert und Oberflächengegebenheiten der 20 Felder.	100
Tabelle A8.1: Einfaktorielle ANOVA der Lagerungsdichte in 0-5 cm, Ackerflächen und ungenutzte Flächen.....	101
Tabelle A8.2: Einfaktorielle ANOVA der Lagerungsdichte in 5-30 cm, Ackerflächen und ungenutzte Flächen.....	101
Tabelle A9: Codierung der Ergebnisse des SFC für die Korrelationsanalyse.....	102
Tabelle A10: GPS-Koordinaten der Messpunkte.....	103

Abkürzungsverzeichnis

Al – Aluminium

CaCl₂ - Calciumchloridsuspension

Fe – Eisen

HCL - Salzsäure

KA5 - Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Auflage

Ld – Lagerungsdichte

OBS – organische Bodensubstanz

SFC – Soil Fingerprint Code

1 Einleitung

In den letzten Jahren ist die Nachfrage nach verfügbarer Biomasse deutlich gestiegen. Der steigende Einsatz in der Futtermittelindustrie, als Energieträger und industrieller Rohstoff sowie die Nachfrage nach Lebensmitteln erhöht den Produktionsdruck auf die Ackerböden (DLG 2008). Damit gewinnt die Erhaltung der Bodenqualität im Hinblick auf die Bodenfruchtbarkeit an Bedeutung. Ein entscheidender Faktor der Bodenqualität ist das Bodengefüge (Mueller et al. 2008). Dieses steht durch seine Eigenschaften sowohl mit physikalischen, chemischen als auch biologischen Bodenprozessen in Zusammenhang und reguliert dadurch die Produktionsleistung der Böden (Mueller et al. 2009). Oftmals ist eine Degradierung des Gefüges auf das Landmanagement und eine unangepasste Bodenbearbeitung zurückzuführen (Bronick & Lal 2005; Ball et al. 2007; Rampazzo et al. 1998).

Wie in so vielen Teilen der Welt ist die Degradierung der Böden auch in der Region um Tyumen, Russland, aufgrund der zu erwartenden Veränderungen des Klimas und der erhöhten Nachfrage, zunehmend ein Thema, vor allem da die landwirtschaftliche Produktion in dieser Region des westsibirischen Getreidegürtels seit langem ein wichtiger Bestandteil der Ökonomie ist. Die hier stark verbreiteten Schwarzerden sind zwar sehr fruchtbar und weisen optimale Bodeneigenschaften auf, allerdings sind sie gleichzeitig anfällig für Erosion. Die hohe Beanspruchung durch die jahrzehntelange landwirtschaftliche Nutzung, mit größtenteils unangepasstem Management und Düngerkreislauf, ließ auch die ursprünglich fruchtbaren Böden des westsibirischen Tieflandes nicht unbeschadet (DLG 2008; Krupenikov et al. 2011).

Um, unter anderem die Fruchtbarkeit der Böden im westsibirischen Getreidegürtel zu erhalten wurde das SASCHA-Projekt (**SASCHA – Nachhaltiges Landmanagement und Anpassungsstrategien an den Klimawandel für den westsibirischen Getreidegürtel**) gegründet. Dieses wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm Forschung für nachhaltige Entwicklungen (FONA) gefördert. Ziel des Projektes ist es, Strategien für eine nachhaltige Landwirtschaft zu entwickeln und den Veränderungen, durch die zu erwartende Umstrukturierung der Landnutzung und den Klimawandel, mit fachlichen Grundlagen und praktischen Planungsinstrumenten zu begegnen. Diese Masterarbeit entstand im Rahmen des SASCHA-Projektes. Die Datenerhebung erfolgte für das Teilprojekt 530, welches im Bereich des regionalen Stoffstrommanagement für Nährstoffe und organischen Kohlenstoff Forschungen betreibt (BMBF 2013).

Das **Ziel dieser Arbeit** ist zum einen die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bearbeitung auf das Bodengefüge und den Oberboden zu quantifizieren. Um die Frage zu beantworten, ob und inwieweit Unterschiede im Bodengefüge der Oberböden unter verschiedenen Landnutzungen auftreten, sind Bodeneigenschaften auf landwirtschaftlich genutzten und ungenutzten Standorten verglichen worden. Zum anderen war das Ziel die Erprobung des A-horizon-frameworks nach Fox et al. (in press); mit Fokus auf die Bestimmung des Bodengefüges. Dieser Bestimmungsschlüssel ist in Zusammenarbeit internationaler Bodenforschung entstanden und dient der detaillierten Charakterisierung von Oberböden in landwirtschaftlichen und natürlichen Ökosystemen. Zudem liefert er erweiterte Möglichkeiten für die Oberbodenansprache und Beobachtung von dynamischen Veränderungen, um ökologische und anthropogene Einflüsse zu beobachten (Fox et al. in press). Sowohl die Anwendung im Gelände als auch die Auswertung der Ergebnisse in Form des Soil Fingerprint Codes (SFC) sind im Zuge dieser Arbeit erprobt worden. Für die Beantwortung der Forschungsfrage sind folgende Teilfragen entstanden:

- Unter welcher Landnutzung tritt welches Bodengefüge auf?
- Gibt es Unterschiede im Bodengefüge in 0-5 cm und 5-30 cm Tiefe?

Drei weitere Fragen sind für die Erprobung des A-horizon-framework formuliert worden:

- Unterscheiden sich die Ergebnisse der Bestimmungsmethoden der KA5 und des SFC?
- Ist der SFC zweckmäßig um die Unterschiede der Bodenstruktur zu quantifizieren?
- Gibt es Verbesserungsmöglichkeiten für die Anwendung des SFC?

Ausgehend von dieser Fragestellung ergibt sich das Vorgehen bzw. die **Gliederung** der vorliegenden Arbeit. Zu Beginn wird in Kapitel 2 der aktuelle Stand der Forschung bezüglich der bestehenden Bestimmungsmethoden für das Bodengefüge dargelegt. Es werden sowohl einzelne Methoden vorgestellt, als auch deren Probleme hinsichtlich der Internationalität und Anwendbarkeit. In Kapitel 3 wird das Untersuchungsgebiet in Tyumen, Russland, charakterisiert. Es wird auf die geographische Lage und die Vegetationszone eingegangen sowie die Geologie, das Klima und die vorherrschenden Böden vorgestellt. Der Aufbau und die Vorgehensweise bei der Geländearbeit, wie auch bei der Datenauswertung, werden in Kapitel 4 erläutert. Im fünften Kapitel sind die gesamten Ergebnisse der Datenerhebung und Auswertung beschrieben. Untergliedert ist der Ergebnisteil in die Ergebnisse der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung sowie daran anschließend ein Vergleich der jeweiligen Landnutzungen. Weiter gliedert sind die Kapitel in einen Gelände- und einen Laborteil in Anlehnung an die Vorgehensweise der Untersuchung. Außerdem ist die Gliederung nach den Ergebnissen des SFC und der KA5 ausgerichtet. Die Diskussion in Kapitel 6 beinhaltet zwei Teile: zum einen die Ergebnisinterpretation, zum anderen eine Methodendiskussion. Unter Betrachtung der wichtigsten Ergebnisse wird im siebten Kapitel eine

abschließende Schlussfolgerung formuliert. Am Ende der Bearbeitung folgt die Zusammenfassung in Kapitel 8: es wird ein Überblick über das Ziel der Arbeit, den gesamten Aufbau und den wichtigsten Ergebnissen zusammengestellt.

Mithilfe des vorgestellten Aufbaus soll diese Masterarbeit mögliche Unterschiede in der Ausprägung des Bodengefüges auf landwirtschaftlich genutzten und ungenutzten Böden darlegen. Erst die Untersuchung solcher Unterschiede kann zu einem besseren Verständnis der Einflussnahme verschiedener Nutzungspraktiken auf die Bodenentwicklung führen und zur Entwicklung nachhaltiger Nutzungsstrategien beitragen (Bronick & Lal 2005).

2 Stand der Forschung

Lange Zeit wurde den chemischen Bodeneigenschaften die größte Aufmerksamkeit in der Bodenkunde geschenkt. Sie galten als wichtigste charakterisierende Bodenparameter. Die Bedeutung des Bodengefüges wurde dabei lange unterschätzt. In den vergangenen Jahrzehnten hat sich diese Betrachtungsweise geändert. Das Bewusstsein für die tragende Rolle des Bodengefüges im Hinblick auf physikalische Bodeneigenschaften, Bodenqualität und -fruchtbarkeit ist in der Wissenschaft gestiegen (Rampazzo et al. 1998; Ball et al. 2007; Mueller et al. 2010). So ist heute bekannt, dass das Bodengefüge das **Schlüsselement** für die Erhaltung aller Bodenfunktionen ist (Bronick & Lal 2005; Mueller et al. 2009 & 2010; Rampazzo et al. 1998). Es stellt damit eines der wichtigsten Aspekte der Bodenqualität dar: es wirkt direkt auf den Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt des Bodens sowie auf das Pflanzenwachstum. Folglich spielt es eine entscheidende Rolle in der landwirtschaftlichen Produktion (Rampazzo et al. 1998; Mueller et al. 2010). Landwirtschaftlich unvorteilhafte Gefügezustände wie Verdichtung, Verschlämzung, Klumpenbildung, Riss- und Schuppenbildung (Weyer & Boeddinghaus 2010; DLG 2008) führen zu verringerten Ernteerträgen, erhöhter Auswaschung (Mueller et al. 2009) und Bodenerosion. Massive Erterückgänge können sich als Folge einstellen.

In die Entstehung und Ausprägung des Bodengefüges sind nahezu alle Bodenparameter (chemische, mineralische, biologische, mikromorphologische) involviert (Rampazzo et al. 1998). Die Aggregatbildung und die sie beeinflussenden Prozesse und Mechanismen sind aufgrund von mehrschichtigen Rückkopplungseffekten, und labilen Zuständen der Parameter, sehr komplex (Bronick & Lal 2005; Rampazzo et al. 1998; Ball et al. 2007). Als die entscheidenden natürlichen **Einflussparameter** der Aggregatbildung und -entwicklung gelten vor allem der Ton- und Humusgehalt, der Gehalt an organischer Bodensubstanz (OBS) und die Bodenart. Des Weiteren

wird das Gefüge auf natürliche Weise durch den Carbonatgehalt, das Edaphon, Koagulation und Peptisation, die Frostwirkung sowie Schrumpfung und Quellung gesteuert (DLG 2008; Kiem & Kandeler 1997; Bronick & Lal 2005; Mueller et al. 2010). Das wesentliche anthropogene Einflussmedium auf das Bodengefüge ist die Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft. Das Bodengefüge des Oberbodens wird dabei insbesondere durch das Nutzungsmanagement, die Überfahrung mit schwerem Gerät und das Umbrechen beim Pflügen beeinflusst (DLG 2008; Mueller et al. 2006, 2008 & 2010; Ball et al. 2007). Das Bewahren der Bodenfunktionen und der Bodenfruchtbarkeit führt zum Bedarf eines standardisierten Bestimmungsschlüssels, der zuverlässig und schnell die Qualität des Bodengefüges darlegt. Vor allem ein internationalisierter Bestimmungsschlüssel wird benötigt, um eine Vergleichbarkeit aller Böden erreichen zu können (Ball et al. 2007; Mueller et al. 2009). Mitunter waren Ende der 1990er Rampazzo et al. (1998) aufgrund der hohen Komplexität der Einflussparameter, der raschen Veränderbarkeit des Bodengefüges und der lokalen Unterschiede der Ansicht, dass es schwierig bis unmöglich sei, eine international anwendbare Methode für die Untersuchung des Gefüges für alle Böden zu entwickeln. Dennoch wurden in den letzten Jahrzehnten im Forschungsbereich der Beurteilung des Bodengefüges einige Bestimmungsmethoden entwickelt. Dies ist unter anderem die weitverbreitete Methode nach Peerlkamp von 1967, die von Ball et al. (2007) weiter ausgearbeitet wurde. Diese basiert darauf, dass das Aggregat- und Porenvorkommen mit vereinheitlichten Klassen verglichen wird. Weiter die Werner-Methode von Werner & Thaemert von 1989, die Diez-Methode von Diez & Weigelt von 1997, der VSA-Test von Shepherd aus dem Jahr 2000 und die Methode von Ball & Douglas aus Schottland von 2003 (siehe Ball et al. 2007 S.330; Mueller et al. 2009 S.187,180). Diese ermöglichen zum einen schnelle Entscheidungen für das Landnutzungsmanagement und zum anderen dienen sie der Forschung, in dem sie zuverlässige und differenzierte Aussagen über den Zustand des Bodengefüges und der Bodenqualität treffen können. Jedoch treten immer wieder Probleme bei der Anwendung hinsichtlich der Definition von Klassen, der Übertragbarkeit auf andere Bodenregionen und andere Bestimmungsmethoden sowie der Umsetzbarkeit für Laien auf (Ball et al. 2007). In den bisherigen Bestimmungsschlüsseln fehlt zudem oft die Möglichkeit, Bodenveränderungen zu erfassen. Der Grund ist oftmals in zu starren und/oder zu stark vereinheitlichten Klassifikationsvorgaben zu finden. Ebenso fehlt der Einbezug von dynamischen Bodeneigenschaften in die Bestimmung des Bodengefüges, um ein umfassendes Bild der Bodenqualität zu erhalten (Fox et al. in press). Bislang fehlt ein Bestimmungsschlüssel der eine umfassende Einschätzung der Bodenqualität für verschiedene Landnutzungen bietet und mit international anwendbaren Methoden durchführbar ist (Mueller et al. 2006).

Insofern erfolgt die Bestimmung des Bodengefüges in Russland, ebenso wie in anderen Nationalstaaten, nach einer eigens entwickelten Methode. Diese stammt von Zakharov aus dem Jahr 1961. Alle Aggregate werden dazu in drei Klassen unterteilt: 1.blockig, 2.prismatisch,

3.plattig. Diese Klassen sind weiter unterteilt mit genaueren Beschreibungen der Aggregatformen (Vadyunina & Korchagina 1961). Während der Analyse wird das Gefüge drei weiteren Klassen zugeteilt, der Makro-, Meso und Mikrostruktur. In der Savvinov-Analyse werden die Aggregate weiter nach ihrem Gehalt an landwirtschaftlich wertvollen Mesostrukturen und dem Auftreten von Wasserbeständigen Aggregaten eingeteilt (Terpelets & Slyusarev 2010). Für diese Bestimmung wird in Russland vorwiegend die Trocken- und Nasssiebung angewandt. Mittels derer werden die Gehalte an Makro- bis Mikrostrukturen erfasst. Bei einem Mesostruktur-Gehalt über 60 % handelt es sich um einen exzellent landwirtschaftlich nutzbaren Boden, zwischen 40-60 % um einen guten, unter 40 % um einen unzufrieden stellenden Boden (Korchagin et al. 2011). Da die Savvinov-Analyse bisher nicht in das Englische oder Deutsche übersetzt worden ist, ist sie nicht ohne Aufwendungen durchzuführen und daher für eine Vergleichsforschung ungeeignet.

Für den Bereich der Bodenforschung stellt der in dieser Arbeit angewandte Bestimmungsschlüssel (A-horizon-framework) nach Fox et al. (in press) eine vielversprechende taxonomisch aufgebaute Feldmethode für eine Oberbodenansprache dar. Dieser bietet durch die erhöhte Detailtreue, Flexibilität und Erfassungsmöglichkeit von biologischen, physikalischen und chemischen Bodenparametern die Möglichkeit dynamische Veränderungen des Bodens und der Bodenqualität aufzuzeigen. Des Weiteren ist der A-horizon-framework international ausgelegt. Bei der Entwicklung waren Experten aus unterschiedlichen Ländern beteiligt, so dass er in mehreren Ländern erprobt werden konnte und kontinuierlich weiter entwickelt werden kann (Fox et al. in press).

Da die Problematik der Bodenschadverdichtung der Ackerböden zumindest in Deutschland laut Weyer & Boeddinghaus (2010) noch zu geringe Aufmerksamkeit erhält und vor allem das Interesse der Landwirte noch sehr zurückhaltend ist, ist für die direkte Anwendung in der Landwirtschaft ein einfacher zu handhabender „Bestimmungsschlüssel zur Erkennung und Bewertung von Bodenschadverdichtungen im Feld“ in Zusammenarbeit der GKB (Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V.) und dem von Thünen-Institut-Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik entwickelt worden. Damit kann der aktive Bodenschutz für die direkten Bodennutzer vorangetrieben werden. Zusätzlich steht nach der Bestimmung der Bodenqualität ein Maßnahmenkatalog zur Verfügung der sofortige Handlungsmöglichkeiten erläutert.

Um die direkte Anwendung auf dem Feld umsetzen zu können, sowohl für die landwirtschaftliche Nutzung als auch für die Forschung, ist es wichtig, dass wenig Equipment benötigt wird und die Ergebnisse schnell verfügbar sind (Ball et al. 2007). Die visuelle Bestimmung des Gefüges im Feld gewinnt in dieser Hinsicht an Bedeutung. Deren Aussagekraft gilt als zuverlässig und stichhaltig (Mueller et al. 2008 & 2009). Eine zusätzliche Bestimmung im Labor ist somit für eine verwertbare Aussage über das Bodengefüge und den Allgemeinzustand der Bodenqualität nicht zwangsläufig

nötig. Ein ganzheitliches qualitativ hochwertiges Ergebnis erbringt jedoch nur die Kombination von Feldbestimmungen mit Laboruntersuchungen (Ball et al. 2007).

Der **Wissensstand der Forschung** bezüglich der Klumpengefüge-Bildung auf Ackerflächen ist relativ begrenzt. In der Literatur sind nur wenige Abhandlungen dazu zu finden. Der Grund für die Entstehung des Klumpengefüges ist bekannt: eine unsachgemäße Bodenbearbeitung auf ton- und schluffreichen Böden bei zu feuchtem oder zu trockenem Zustand (Scheffer & Schachtschabel 2010). Die genauen Prozesse, Wirkkräfte und Auswirkungen bei unterschiedlichen Bodenzusammensetzungen bieten dagegen noch Raum für zukünftige Forschungen (Czarnes et al. 1999). Weiterhin besteht laut Pachepsky & Rawls (2003) noch Forschungsbedarf, um eine quantitative Charakterisierung des Bodengefüges im Feld zu ermöglichen. Zum Einfluss der Wurzelmasse, der Durchwurzelung, der OBS sowie von Pilzen auf das Gefüge wurden schon mehrere Untersuchungen durchgeführt. Ein umfassendes Verständnis der Wirkung dieser Parameter erfordert jedoch weitere Forschungen, ebenso wie die unterschiedliche Beeinflussung durch verschiedene Pflanzenarten (Bronick & Lal 2005) und die zeitliche Veränderung des Gefüges mit dem Jahresverlauf (Mueller et al. 2008). Je besser das Verständnis der komplexen Wirkweisen der Einflussparameter mit dem Gefüge ist, desto gezieltere und nachhaltigere Konzepte kann die Wissenschaft der landwirtschaftlichen Produktion liefern (Bronick & Lal 2005).

3 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Region um die Stadt Tyumen, welche im südwestlichen Teil der gleichnamigen Oblast liegt. Damit liegt das Untersuchungsgebiet in der westsibirischen Tieflandebene Russlands, im Herzen des westsibirischen Getreidegürtels (Abb.1).

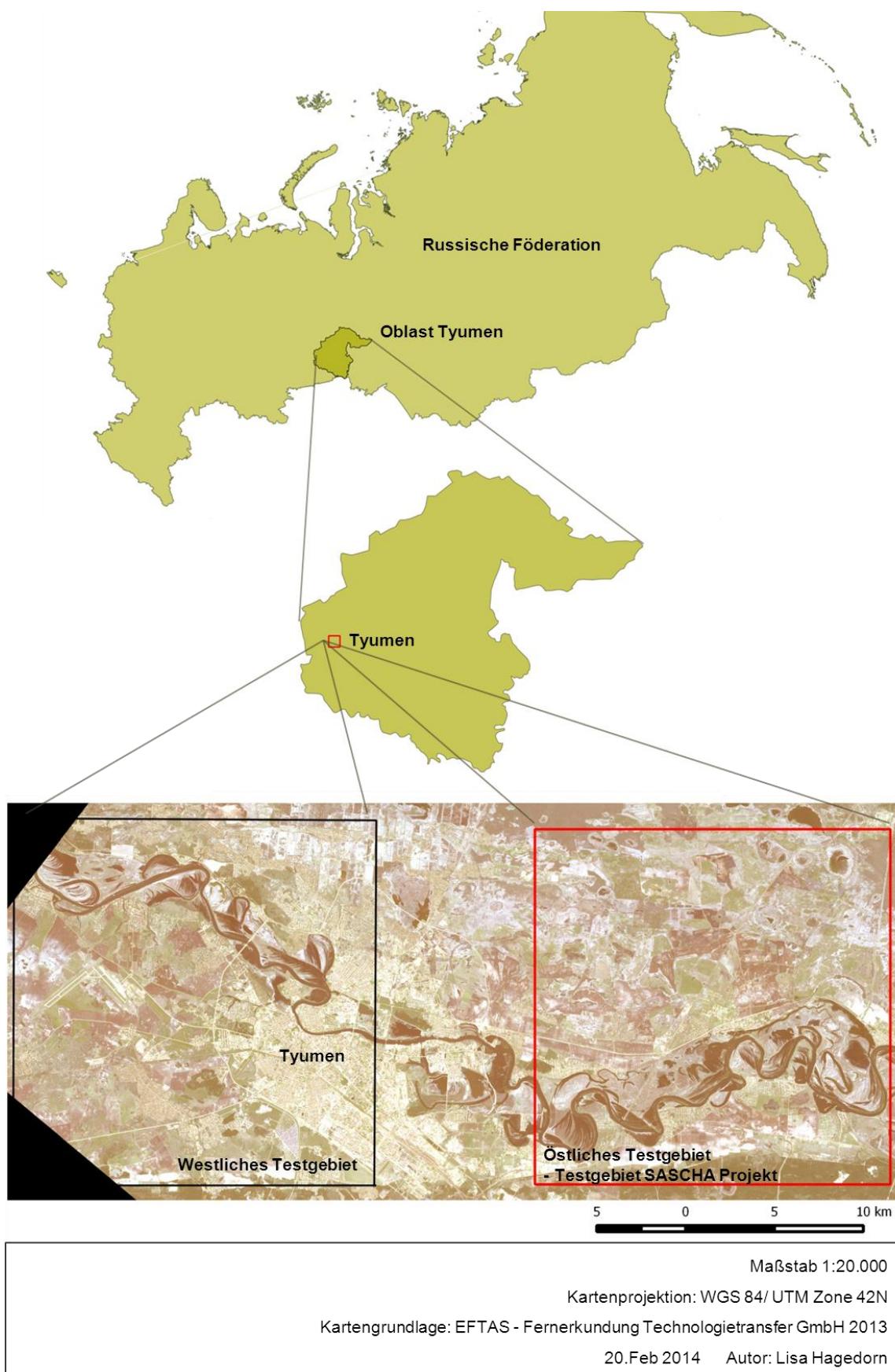


Abb. 1: Geographische Lage Tyumens und der Testgebiete.

Charakteristisch für die westsibirische Tiefebene ist das ausgeprägte Kontinentalklima. In der Steppe ist es winterkalt mit mittleren Januartemperaturen um -20°C und sommerheiß mit mittleren Julitemperaturen von 20°C (Franz 1973; Wein 1999). Im Messzeitraum, Juli und August 2013, lagen die Höchsttemperaturen zum Großteil über 20°C. An vier Tagen erreichten sie sogar mehr als 28°C (Abb.4). Neben starken jahreszeitlichen Temperaturschwankungen führt das kontinentale Klima auch zu geringen Niederschlägen. Diese unterliegen dabei einer ausgeprägten Jahreszeitlichen Schwankung mit einem Maximum in den Sommermonaten, wie in Abbildung 2 ersichtlich ist. Dieses resultiert aus charakteristischen sommerlichen Starkregenereignissen, die Teils zu erheblichen Erosionsschäden führen (Franz 1973; Wein 1999). Auch im Messzeitraum kam es vor allem im Juli zu täglichen Starkregenereignissen, wie Abbildung 3 zu entnehmen ist. Der August war hingegen deutlich trockener. Dennoch übersteigt im Sommer die potentielle Verdunstung die Niederschläge und bedingt so eine starke Austrocknung des Oberbodens. Durchschnittlich beträgt die Niederschlagsmenge der Waldsteppenzone etwa 150-200 mm. Es herrscht dabei ein Niederschlagsgradient von West nach Ost. So gelangen die feuchten Luftmassen durch die vorherrschende Westwindzirkulation vom Atlantik nach Sibirien, wo sie ihre Feuchtigkeit zum Großteil in den westlichen Gebieten verlieren. Von Bedeutung, vor allem für die Zone der intensiven Landwirtschaft, ist die Periode der frostfreien Tage, die im Süden der Tiefebene und um das Gebiet Tyumen etwa bei 110 Tagen liegt. Die Schneedeckung ist mit 20-30 cm relativ gering und bewegt sich in einer Zeitspanne von etwa 120-170 Tagen (Franz 1973; Wein 1999).

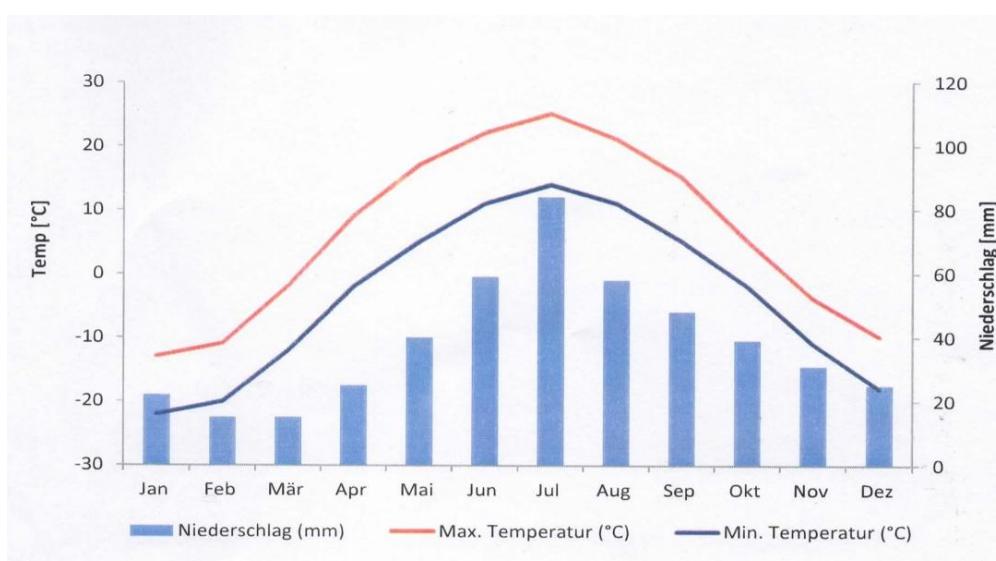


Abb. 2: Klimadiagramm Tyumen (Quelle: Kühling & Trautz 2012).

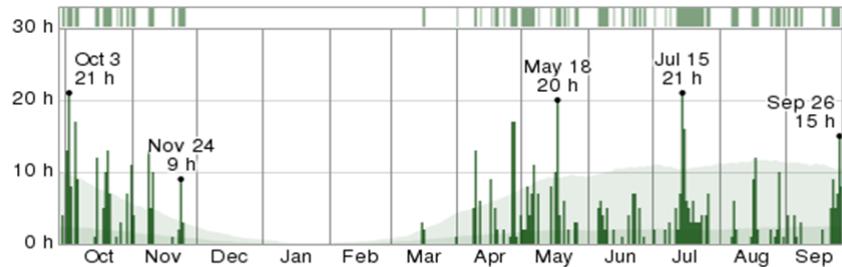


Abb. 3: Anzahl der täglichen Regenstunden 2013 in Tyumen (Quelle: www.weatherspark.com 2013).

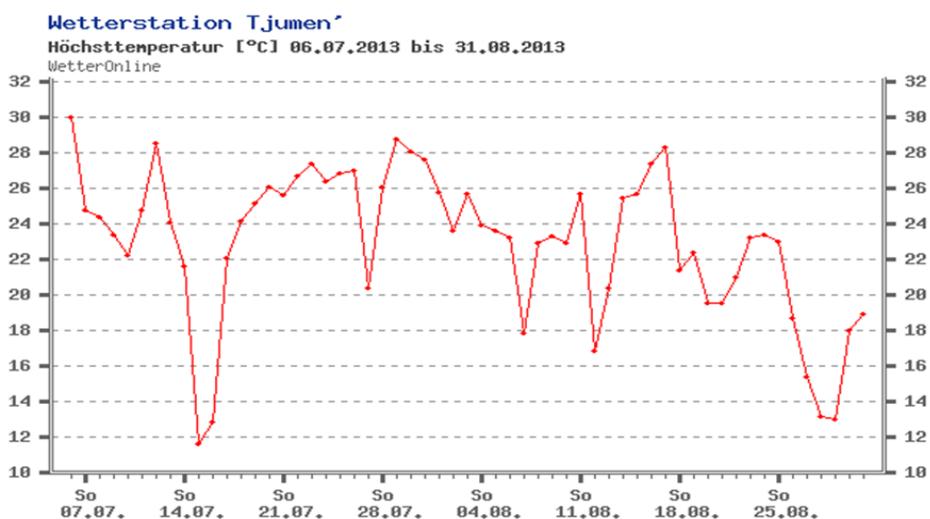


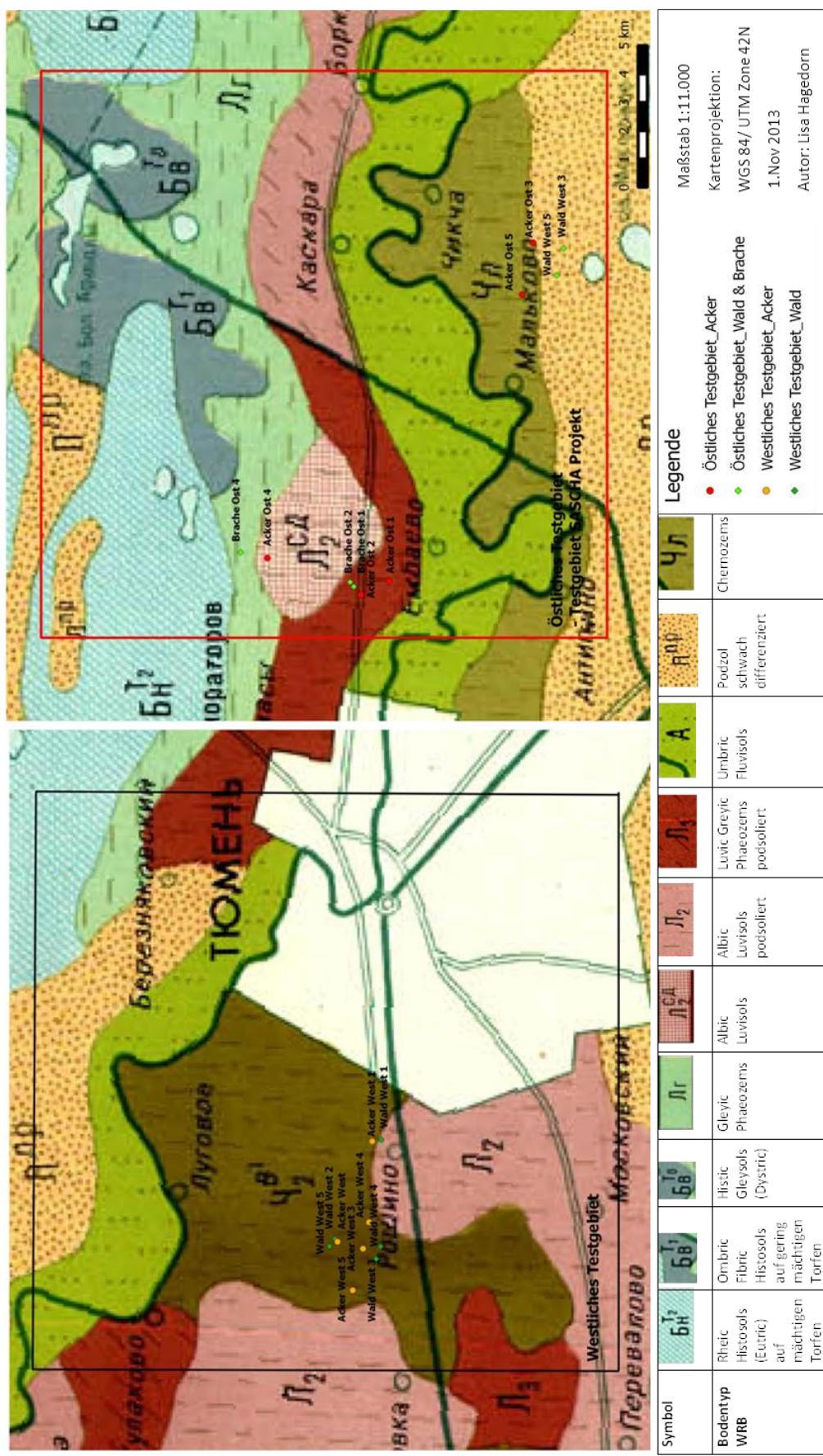
Abb. 4: Tägliche Höchsttemperaturen in Tyumen im Probezeitraum 2013 (Quelle: www.wetteronline.de 2013).

Vegetationsökologisch ist das Untersuchungsgebiet in die Landschaftszone der Waldsteppe einzuordnen. Sie bezeichnet den Übergang zwischen der Tundra im Norden und der Grassteppe im Süden. Unter natürlichen Gegebenheiten wechseln sich in der Waldsteppe artenreiche Grasflächen mit meist rundlichen Waldgebieten, genannt Kolki, ab. Entscheidend für die Ausprägung entweder einer Wald- oder Grasvegetation sind die Standortverhältnisse. Vor allem der Bodenwasserhaushalt, der wiederum durch das Relief und den Boden beeinflusst wird, bedingt die Vegetation. So ist die typische Birkenwaldvegetation (*Betula*) meist um ein Feuchtgebiet angesiedelt. In Abbildung 7 ist und repräsentativ für alle Waldflächen steht. Er weist im Unterbewuchs Steinbeere (*Rubus saxatilis*) und Hagebutte (*Rosa canina*) auf. Auf sandigen Böden sind dagegen meist Kiefernwälder anzutreffen, die das für Birken zu schnell in die Tiefe sickernde Wasser nutzen können. Auf feinkörnigen Substraten ist meist eine Grasvegetation angesiedelt, da es dazu imstande ist, das Haftwasser näher an der Oberfläche zu halten. Eine solche typische Vegetationsausprägung ist auf einem Brachestandort in Abbildung 8 zu sehen. Sie ist

gekennzeichnet durch Wilde Pastinaken (*Pastinaca sativa*) mit Beifuss (*Artemisia vulgaris*) und Wiesen-Platterbse (*Lathyrus pratensis*). Doch zählt das Gebiet der Waldsteppe heutzutage zu den wichtigsten landwirtschaftlichen Produktionsgebieten Russlands, weshalb die typische Grasvegetation kaum noch anzutreffen ist (Franz 1973; Wein 1999).

Das geologische Fundament bildet im westsibirischen Tiefland ein paläozoisch gefaltetes Grundgestein, das von mächtigen Deckschichten durch marine und fluviale Akkumulationsprozesse überlagert wurde. Hinzukommend haben quartäre Vergletscherungen die Ebene stark geprägt und das heutige Erscheinungsbild geformt. Im Gebiet der Stadt Tyumen herrschen glazifluviale Ablagerungen vor, die im weiteren Verlauf erosiv durchschnitten wurden (Franz 1973; Wein 1999).

Kennzeichnend für den nördlichen Steppenrand und die Waldsteppenzone sind die grauen Waldböden, Schwarzerden, degradierten Schwarzerden und lokal bedingt auch Podsole. Glaziale feinkörnige Ablagerungen, wie Löß, lößartige Lehme, Mergel und Tone bilden das Ausgangsmaterial dieser Bodentypen. Bei der Entwicklung der grauen Waldböden spielten die klimatischen Gegebenheiten der Steppe eine entscheidende Rolle ebenso eine reiche Streuproduktion und Podsolierungsprozesse. Sie weisen einen tief entwickelten Ah-Horizont mit Mull als vorherrschender Humusform auf; meist ohne organische Auflage, da die Umsetzung der Streu durch günstige Verhältnisse gefördert wird. Der gesamte Boden ist durch Versickerung und Säurereproduktion entkalkt und weist Zeichen von Tonverlagerung auf. Das Gefüge der grauen Waldböden ist in der Regel ein gutes Krümelgefüge. Insgesamt bieten die Böden einen ausgeglichenen Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt. Dadurch sind sie gut als Ackerböden geeignet. Dieses gilt ebenso für die weit verbreiteten Schwarzerden. Schwarzerden sind die typischen Böden der winterkalten Steppe. Ihr mächtiger Ah-Horizont entsteht aufgrund hoher organischer Stoffproduktion der Grasvegetation. Die geringe Durchfeuchtung der Böden, vor allem im Sommer, hemmt die Auswaschung. Der winterliche Frost verringert zudem den mikrobiellen Stoffabbau. Zusammengenommen führt dies zu einer starken Humusanreicherung. Daher gelten Schwarzerden als klassisch gute Böden für den Ackerbau. Sie weisen ebenfalls ein Krümelgefüge und unter ungestörten Bedingungen ein reiches Bodenleben auf. Degradierten Schwarzerden weisen dagegen einen gering mächtigeren Ah-Horizont auf und ihre Kalkanreicherungszone liegt aufgrund der höheren Durchfeuchtung tiefer (Franz 1973; Stahr 2008). Die Bodenkarte (Abb.5) zeigt, dass die vorherrschenden Bodentypen im Bereich der Testgebiete Luvisols, Phaozem und Chernozems/Schwarzerden sind (Bezeichnungen der Karte nach WRB). Im westlichen Testgebiet sind die Schwarzerden dominant. Ein typisches Bodenprofil der dortigen Messpunkte gibt Abbildung 6 wieder. Nur der Messpunkt „Wald West 1“ liegt laut Karte im Bereich der Albic Luvisols podsoliert. An diesem Punkt muss darauf verwiesen werden, dass die zugrundeliegende



Bodenkarte eine sehr große Maßstabszahl hat (genaue Angabe unbekannt) und somit vereinheitlichend wirkt und keine feinen Unterschiede im Gelände wiedergibt. Im östlichen Testgebiet ist der Punkt „Brache Ost 4“ am nördlichsten gelegen und liegt im Bereich der Gleyic Phaeozems. Etwas südlicher liegt der Punkt „Acker Ost 4“ im Bereich der Albic Luvisols; Abbildung 6 zeigt ein Bodenprofil in diesem Bereich. Ein Bodenprofil für den angegebenen Bodentyp Luvic Greyic Phaeozem podsoliert zeigt Abbildung 8 mit dem Messpunkt „Brache Ost 2“. Genau wie „Brache Ost 1“ und „Acker Ost 1 und 2“ liegt er im Bereich dieses Bodentyps. Im Südosten des Testgebietes liegen „Acker Ost 5 und 3“ laut Bodenkarte auf dem Bereich der Schwarzerden. Weiter südlich befinden sich die Messpunkte „Wald West 5 und 3“ auf Podsole die, laut Karte, schwach differenziert sind. Ein Unterschied der Bodenarten zwischen den Testgebieten ergibt sich auch daraus, dass Tyumen direkt am Fluss Tura, der weiter nördlich in den Tobol mündet, liegt. Die Flächen die sich östlich der Stadt befinden liegen teils im Auegebiet des Flusses und sind durch einen hohen Sandanteil gekennzeichnet. Weiter südlich von Tyumen ändern sich die hydrologischen Verhältnisse und es beginnt das Ob-Irtysch-Tiefland das durch Moor- und Seenreichtum geprägt ist (Franz 1973; Wein 1999).



Abb. 6: „Acker Ost 4“ als charakteristisches Beispiel für eine Ackerfläche.



Abb. 7: "Wald West 4" als charakteristisches Beispiel für eine Waldfläche.



Abb. 8: "Brache Ost 2" als charakteristisches Beispiel für eine Brachefläche.

4 Material und Methoden

4.1 Geländearbeit und Feldmethoden

Die gesamte Feldarbeit und die weitere Probenverarbeitung wurde während eines Aufenthalts in Tyumen, Russland, vom 08.07. bis zum 12.08.2013 durchgeführt. Wie sich aus der Planung im Vorfeld der Reise ergab, unter Berücksichtigung der begrenzten Aufenthaltsdauer und um das Ziel zu erreichen, ein möglichst repräsentatives Ergebnis zu erhalten, wurden im Messzeitraum insgesamt 20 Flächen beprobt. Es wurden zwei Testgebiete bestimmt. Eines der Testgebiete („Östliches Testgebiet“) liegt östlich der Stadt Tyumen, im festgelegten ersten Testgebiet des SASCHA Projekts. Dieses umfasst 400 km^2 und ist um den Ort Kaskara angesiedelt (Abb.9) (BMBF 2013). Das zweite Testgebiet („Westliches Testgebiet“) befindet sich westlich von Tyumen auf den Versuchsäckern, Ackerflächen und Waldflächen der Agraruniversität Tyumen (TSAA Tyumen State Agricultural Academy). Die genauen Koordinaten können Tabelle A10 im Anhang entnommen werden. In diesen zwei Gebieten wurden jeweils 10 Flächen beprobt: fünf derzeit ackerbaulich genutzte Felder und fünf ungenutzte Flächen, meist Waldstandorte, sowie im östlichen Testgebiet neben zwei Waldstandorten, ebenfalls drei Langzeitbracheflächen, da in diesem Testgebiet nur wenige Waldgebiete zur Beprobung in Frage kamen. Es wurde jeweils eine ackerbaulich genutzte Fläche mit einer ungenutzten Wald- oder Brachefläche als Paar definiert (Beispiel: „Acker West 1“ und „Wald West 1“). Diese liegen möglichst nahe beieinander (Abb.9) und sind gut miteinander vergleichbar.

Die Auswahl der Probeflächen erfolgte vor Ort durch Begehen der Flächen und durch das Einstechen eines Hohlmeißel-Bohrers mit Fußraste, um die Tiefe und Beschaffenheit des Ah-Horizonts zu bestimmen. Bei der Auswahl der Felder und Waldgebiete wurde vor allem darauf geachtet, dass alle Flächen möglichst die gleichen Bodenmerkmale aufweisen. So sollte die Tiefe des Ah-Horizonts 30-40 cm betragen und der Humusgehalt sowie die Bodenart vergleichbar sein (Abb.6-8). Außerdem war entscheidend, dass die Flächen unter gleicher Landnutzung (Acker, Wald und Brache) vergleichbar sind. Die Wald- und Bracheflächen mussten daher jeweils die gleiche Vegetation aufweisen. Besonderheiten, wie Schutt- oder Müllablagerungen, Vertiefungen oder Fahrspuren durften nicht vorhanden sein. Weiterhin musste die hydrologische Situation auf den Flächen entsprechend sein.

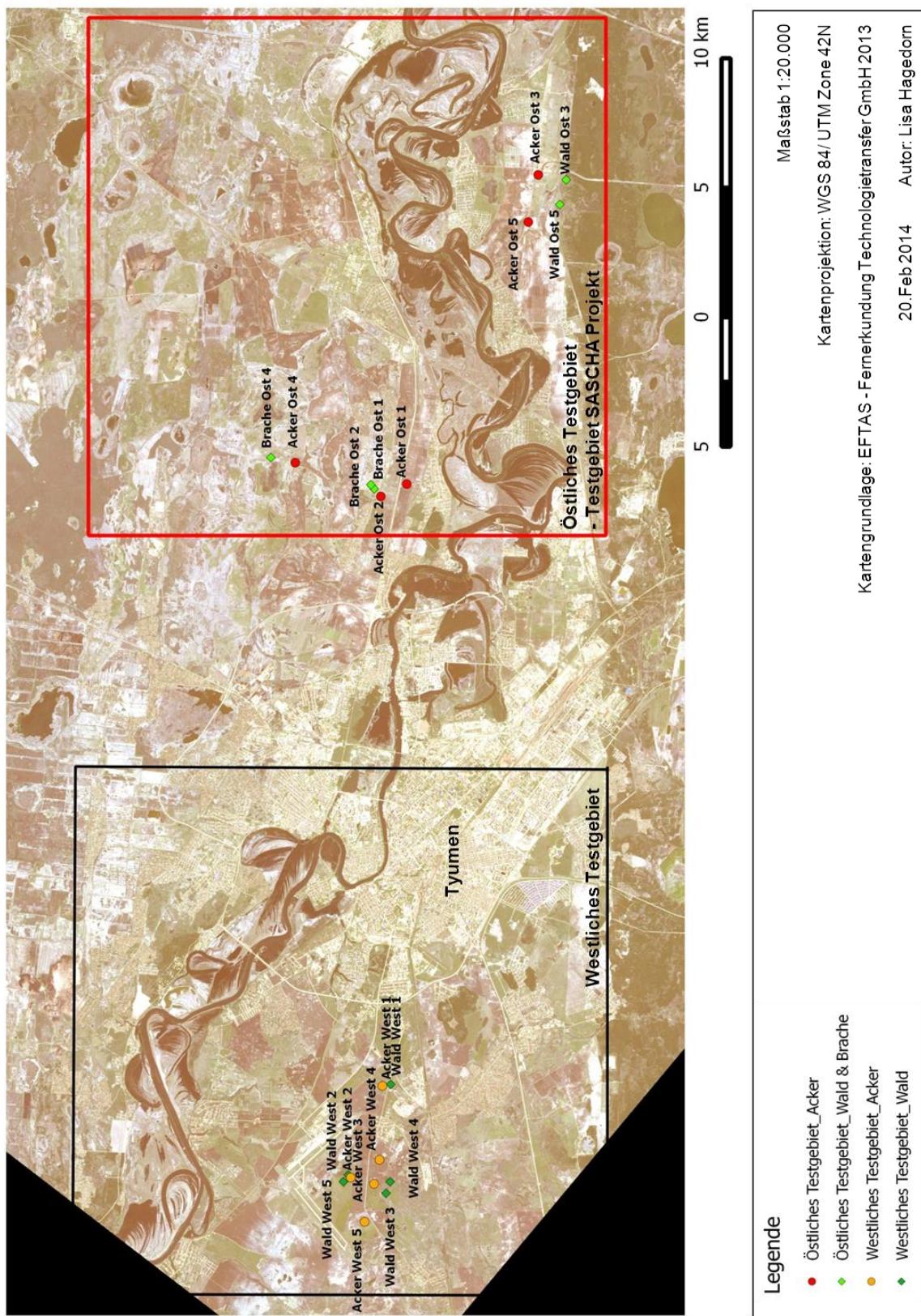


Abb. 9: Lage der Testgebiete und der Messpunkte (eigene Darstellung).

Für die Beprobung der Waldflächen wurden Birkenwälder (*Betula*) ausgewählt, mit Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) und Hagebutte (*Rosa canina*) im Unterbewuchs. Abbildung 7 zeigt einen repräsentativen Waldstandort. Für die Auswahl der Bracheplätze war wesentlich, dass es sich um Langzeitbrachen handelte, welche etwa 10 Jahre ackerbaulich ungenutzt waren, so dass das Bodengefüge nicht durch anthropogene Einflüsse verändert war. Die Bracheplätze waren durch wilde Pastinaken (*Pastinaca sativa*) mit Beifuss (*Artemisia vulgaris*) und Wiesen-Platterbse (*Lathyrus pratensis*) gekennzeichnet, wie Abbildung 8 zeigt. Für die Ackerplätze war es wichtig, der Feldfrucht möglichst wenig Schaden zuzufügen. Deshalb wurden wenn möglich kürzlich abgeerntete Flächen ausgewählt. Ebenso wurde darauf geachtet, dass die Gefügeausprägung nicht durch Düngegaben beeinflusst wurde. Da leider keine Bewirtschaftungspläne vorlagen, wurde dies subjektiv beurteilt. Einen Eindruck über einen repräsentativen Ackerstandort vermittelt Abbildung 6. Das jeweilige Vegetationsvorkommen der drei Landnutzungsformen ist in Tabelle 1 aufgeführt. Für eine detaillierte Beschreibung der Vegetationsausprägung je Probefläche siehe Tabelle A1.1-A1.4 im Anhang.

Die Beprobung der Flächen erfolgte nach dem folgenden Muster: Zu Beginn wurde für die Bodenansprache eine Grube ausgehoben. Diese war etwa 1 m² groß und 1 m tief, um auch den B-Horizont ausreichend erkennen und beurteilen zu können. Die Ansprache des Oberbodens erfolgte nach zwei Feldmethoden. Die erste war die klassische, deutsche Bodenansprache nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Boden 2005). Die zweite war die neu erarbeitete A-Horizont Bestimmung (A-horizon framework) nach Fox et al. (Fox et al. in press), die eine detaillierte Beschreibung des Oberbodens in Form des Soil Fingerprint Codes (SFC) als Ergebnis liefert (Kapitel 5.1.1.1, 5.2.1.1, 5.3.1.1). Um die Vergleichbarkeit der beiden Methoden zu ermöglichen, wurden zwei Messtiefen bestimmt: 0-5 cm und 5-30 cm.

Für die Ansprache des Oberbodens nach der KA5 wurden zunächst die A-Horizont-Mächtigkeit, die Verdichtung im Profil und die Organische Auflage beschrieben. Die folgenden Bodenparameter wurden für drei Tiefen bestimmt: 0-5 cm, 5-30 cm und den B-Horizont. Das Gefüge ist nach der Beschreibung der KA5 (Ad-hoc-AG Boden 2005, S.116ff.) mit einem eigens entwickelten Größensystem in Prozentangaben aufgenommen worden. Dieses beinhaltet die Kategorie „Klumpen“ in drei Größenstufen (5-15 cm, 15-25 cm und >25 cm), die Kategorie „Bröckel“, die nochmals zu unterteilen sind in Subpolyeder (sub), Polyeder (pol) und Krümel (kru) in zwei Größenstufen (<2,5 cm und 2,5-5 cm) und der Kategorie „Einzelkorn“ (einzel). Die Bodenart ist mittels der Fingerprobe nach KA5 (Ad-hoc-AG Boden 2005, S.143ff.) bestimmt worden. Weiter wurden organische Reststoffe im Boden, die Bodenfeuchte, hydromorphologische Merkmale, der Carbonatgehalt, die Durchwurzelung, die Bodenfarbe und Auffälligkeiten der Bodenporen sowie

Notizen und Besonderheiten der jeweiligen Tiefe aufgezeichnet. Für eine Übersicht über alle aufgenommenen Parameter mit der Feldmethode der KA5 siehe Tabelle A1.1-A1.4.

Tab. 1: Gesamtes Vegetationsvorkommen der drei Landnutzungsformen.

Landnutzung	Vegetation	Landnutzung	Vegetation
Acker	Hafer (<i>Avena sativa</i>) Erbse (<i>Pisum sativu</i>) Kleemischung (<i>Trifolium</i>) Weizen (<i>Triticum aestivum</i>) Kartoffelanbau (<i>Solanum tuberosum</i>) Unkraut: Ackerkratzdistel (<i>Cirsium arvense</i>) Zurückgebogener Amaranth (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	Wald	Ackerkratzdistel (<i>Cirsium arvense</i>) Alant (<i>Inula helenium</i>) Beifuß (<i>Artemisia vulgaris</i>) Birken (<i>Betula</i>) Blutwurz (<i>Potentilla erecta</i>) Boreales Labkraut (<i>Galium boreale</i>) Brenndolde (<i>Chidium dubium</i>) Breitblättrige Stendelwurz (<i>Epipactis helleborine</i>) Brennnessel (<i>Urtica</i>) Faulbaum (<i>Frangula dodonei</i>) Frauenmantel (<i>Alchemilla</i>) Frühlings-Platterbse (<i>Lathyrus vernus</i>) Großer Wiesenkopf (<i>Sanguisorba officinalis</i>) Gewöhnlicher Steinklee (<i>Melilotus officinalis</i>) Gewöhnlicher Schneeball (<i>Viburnum opulus</i>) Gewöhnliches Mädesüß (<i>Filipendula ulmaria</i>) Hagebutte (<i>Rosa canina</i>) Himbeere (<i>Rubus idaeus</i>) Krähenauge (<i>Strychnos nux-vomica</i>) Mariendistel (<i>Silybum marianum</i>) Mittlerer Klee (<i>Trifolium medium</i>) Pappeln (<i>Populus</i>) Rundblättriges Birnengrün Rundblättrige Wintergrün (<i>Pyrola rotundifolia</i>) Schachtelhalm (<i>Equisetum palustre</i>) Schilf (<i>Phragmites australis</i>) Steinbeere (<i>Rubus saxatilis</i>) Straußgras (<i>Agrostis</i>) Sumpf-Segge (<i>Carex acutiformis</i>) wehrlose Trespe (<i>Bromus inermis</i>) Trollblume (<i>Trollius europaeus</i>) Vogelbeere (<i>Sorbus aucuparia</i>) Walderdbeeren (<i>Fragaria vesca</i>) Weichhaariges Lungenkraut (<i>Pulmonaria mollis</i>) Wiesen-Storchenschnabel (<i>Geranium pratense</i>)
Brache	Ackerkratzdistel (<i>Cirsium arvense</i>) Ackerwinde (<i>Convolvulus arvensis</i>) Beifuss (<i>Artemisia vulgaris</i>) Brat- und Spitzwegerich (<i>Plantago lanceolata</i>) Breitwegerich (<i>Plantago major</i>) Doldige Habichtskraut (<i>Hieracium umbellatum</i>) Frühlings-Zahntros (<i>Odontites vernus</i>) Gewöhnlicher Steinklee (<i>Melilotus officinalis</i>) Grauweide (<i>Salix cinerea</i>) Gräser (<i>Poales</i>) Kriech-Quecke (<i>Elymus repens</i>) Knäuel-Glockenblume (<i>Campanula glomerata</i>) Land-Reitgras (<i>Calamagrostis epigejos</i>) Löwenzahn (<i>Taraxacum sect. Ruderalia</i>) Lupine (<i>Lupinus</i>) Mittlerer Klee (<i>Trifolium medium</i>) Moos (<i>Muscus</i>) Riesen-Straußgras (<i>Agrostis gigantea</i>) Quecke (<i>Elymus</i>) Schafgarbe (<i>Achillea millefolium</i>) Scharfes Berufkraut (<i>Erigeron acris</i>) Schilf (<i>Phragmites australis</i>) Schmalblättriges Weidenröschen (<i>Chamerion angustifolium</i>) Sumpf- Engelwurz (<i>Angelica palustris</i>) Wehrlose Trespe (<i>Bromus inermis</i>) Weißer Steinklee (<i>Melilotus albus</i>) Wicken (<i>Vicia</i>) Winden (<i>Convolvulaceae</i>) Wiesen-Lieschgras (<i>Phleum pratense</i>) Wiesen-Platterbse (<i>Lathyrus pratensis</i>) Wilde Pastinake (<i>Pastinaca sativa</i>)		

Für die Aufnahme nach der Feldmethode von Fox et al. sind für beide Probetiefen jeweils ein SFC erstellt worden. Zu Visualisierung und zum besseren Verständnis des SFC sind in Abbildung 10 alle enthaltenden Informationen dargestellt. Für die Oberbodenansprache wird mit der Excel-Arbeitsmappe „Electronic Field Form“ eine genaue Struktur vorgegeben mit deren Hilfe die Ansprache durchgeführt wird. Die einzusetzenden Parameter für die Beschreibung, die auf etablierten Bodenkundlichen-Anleitungen oder Experten Meinungen basieren, sind in Listen aufgeführt (Fox et al. in press).

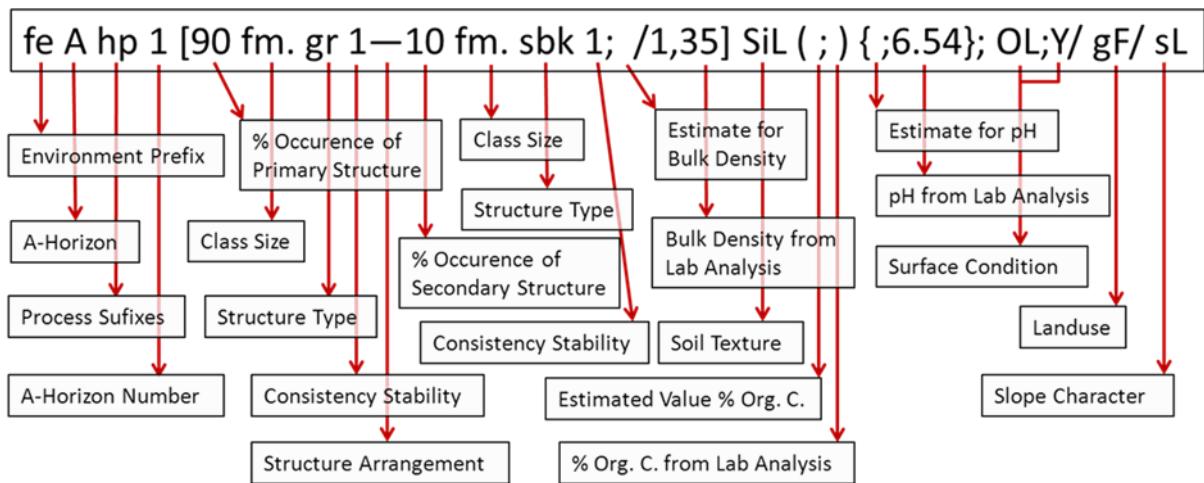


Abb. 10: Informationen zum Soil Fingerprint Code nach Fox et al. (in press). Exemplarisch hierzu dient „Brache Ost 1“ in der Tiefe 0-5 cm (eigene Darstellung).

Im ersten Abschnitt (Level 1: Horizon Designators) werden Environmental Prefixes ausgewählt, die die Art der Ablagerung kennzeichnen sowie Process Suffixes, die als Horizontmerkmale die genetischen Bodenprozesse und bestimmende Landschaftseinflüsse beschreiben (Fox et al. in press). Außerdem wird dem oberen Horizont, in diesem Fall in der vordefinierten Tiefe 0-5 cm, die Horizontnummer 1 zugewiesen und dem zweiten Horizont (Tiefe 5-30 cm) die Horizontnummer 2. Im zweiten Abschnitt (Level 2: Soil Structure Characterization and Bulk Density) wird das Bodengefüge aufgenommen. Dazu wird der Prozentanteil, die Größenausprägung (Class), die Gefügeart (Type) und die Konsistenz (Consistency) sowie die Anordnung der Gefügearten (Structure Arrangement) bestimmt. Es können bis zu vier Gefügearten für einen Horizont angegeben werden. Die am stärksten vertretene wird dabei zu Anfang genannt. Bei der Wahl der Größenausprägung (Class) steht die vorherrschende Größe vorn. Außerdem wird die Lagerungsdichte (Bulk Density) als Schätzung und als Laborergebnis angegeben. In diesem Fall wurden jedoch nur die Laborwerte eingefügt. Im nächsten Abschnitt (Level 5-A: Soil Texture) wird die Bodenart bestimmt. Sie beruht auf der Fingerprobe nach FAO (2006, S.28). Der Abschnitt (Level 3: % Organic Carbon), in dem die geschätzten und die gemessenen Kohlenstoffwerte angegeben werden können, findet für diese Ausarbeitung keine Anwendung. Im darauf folgendem Abschnitt (Level 4: pH CaCl₂ and EC Salinity) sind in dieser Arbeit die im Labor ermittelten pH-Werte erfasst. Die Oberflächengegebenheiten werden im nächsten Abschnitt aufgeführt (Level 5-B: Surface Conditions). Unter dieser Rubrik ist das Klumpengefüge, das auf einigen Flächen auftrat, genannt. Vorgesehen ist die Klasse CF - Coarse fragments ursprünglich für Gesteine. In dieser Arbeit gilt die Klassifizierung CF g,c,s & sl jedoch für mineralische Fragmente, zu welchen das Klumpengefüge zählt. In der überarbeiteten Version des framework ist die Klasse CF sowohl für

Gesteine als auch mineralische Fragmente bestimmt. Die aktuelle Landnutzung wird im darauffolgenden Abschnitt (Level 5-C: Land Use) vermerkt. Zum Abschluss (Level 5-D: Slope Character) wird die Exposition mit der Art der Neigung (Kind of Slope), der Hangposition (Slope Position) und der Steigung in Prozent (Gradient) angegeben. Bei dieser Bodenansprache wurden zusätzlich Notizen zugefügt um Besonderheiten der Probeflächen festzuhalten. Für eine Übersicht über alle aufgenommenen Parameter mit der Feldmethode des A-horizon-framework siehe Tabelle A2.1-A2.2.

Im weiteren Ablauf der Bodenuntersuchung wurde die Vegetationsausprägung jeder Messfläche bestimmt, sowie die GPS-Koordinaten des Standortes mit der Software ArcPad von Esri dokumentiert. Die Angaben der Koordinaten können Tabelle A10 entnommen werden. Verteilt um die Messgrube wurden außerdem sechs Stechzylinderproben in 0-5 cm und sechs Proben in 5-30 cm Tiefe genommen, um nach dem Trocknen, bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank, die Lagerungsdichte zu errechnen. Im Labor sind der Boden-pH-Wert für 0-30 cm und der Carbonatgehalt für 0-5 cm und 5-30 cm ermittelt worden. Der pH-Wert ist nach DIN ISO 10390, Teil 1 in einer Calciumchloridsuspension (CaCl_2) mit einem Teil Boden zu zweieinhalb Teilen CaCl_2 -Lösung bestimmt worden (Ad-hoc-AG Boden 2005). Da es sich ausschließlich um sehr carbonatarme Sedimente handelt, ist der Carbonatgehalt durch das Zufügen von 10-%-iger Salzsäure (HCL) in einem Mischungsverhältnis von einem Teil HCL zu 2,7 Teilen Wasser bestimmt worden. Die Bezeichnung des Gehalts erfolgte dabei über die optische und akustisch wahrnehmbare Reaktion anhand der Zuordnung in einer Tabelle (Ad-hoc-AG Boden 2005, S.169). Des Weiteren sind die Bodenproben aufgearbeitet worden, um die Gehalte an Phosphor (P), Kalium (K), Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) zu analysieren. Diese Werte finden jedoch in dieser Arbeit keine Verwendung.

4.2 Datenaufarbeitung

Zur statistischen Analyse wurden alle ermittelten Messwerte mit der Statistiksoftware SPSS 21.0 von IBM ausgewertet. Für die vereinfachte Darstellung der Streuung der pH-Werte und der Lagerungsdichte sowie der Extremwerte und des Median wurden Boxplots ebenfalls mit SPSS 21.0 erstellt (Stahel 1995). Als Datengrundlage dienten die Ergebnisse aller Messwiederholungen. Alle abgebildeten Diagramme wurden mit Excel 2010 von Microsoft erzeugt. Die Mittelwertvergleiche zwischen den pH-Werten und der Lagerungsdichte von ackerbaulich genutzten und ungenutzten Standorten wurde mit der einfaktoriellen ANOVA (Varianzanalyse) berechnet. Das Signifikanzniveau liegt dafür bei $p \leq 0,05$. Als Datengrundlage dienten hier ebenfalls die Ergebnisse aller Messwiederholungen.

Die statistische Auswertung des SFC wurde mit der hierarchischen Clusteranalyse durchgeführt, um durch die Prüfung von Ähnlichkeits- oder Unähnlichkeitsmaßen eine Mustererkennung und Gruppierung zwischen den Messpunkten aufzuzeigen (Lozán & Kausch 2007). Als Fusionsmethode wurde die Ward-Methode verwendet, diese vereinigt nicht die „ähnlichsten“ Gruppen miteinander, sondern diejenigen die die Fehlerquadratsumme (Varianzkriterium als Maß für die Heterogenität) am geringsten erhöhen (Lozán & Kausch 2007). Das dazugehörige Proximitätsmaß ist die quadrierte euklidische Distanz. Mit der nichtparametrischen Korrelationsanalyse wurden die bivariaten Zusammenhänge einzelner Parameter im SFC berechnet. Dafür liegt das Signifikanzniveau bei $p \leq 0,05$. Bei dem verwendeten Korrelationskoeffizienten handelt es sich um den Spearman-Rho-Koeffizient. Die nominalskalierten Variablen (Process Suffix, Current Landuse und Bodenart) wurden dafür codiert. Die Process Suffix- und Current Landuse-Codierung wurde nach der Zunahme der Landnutzungsintensität gewichtet. Die Gewichtung der Bodenart erfolgte nach der Zunahme des Tongehaltes. Die verwendete Codierung ist im Anhang in Tabelle A9 nachzulesen. Des Weiteren sind die Ergebnisse der Parameter des SFC und die Ergebnisse der Untersuchung mit der KA5 als einfache Häufigkeiten des Auftretens zusammengefasst worden. Mittelwertvergleiche von Gegenüberstellungen bei den Tiefen 0-5 cm und 5-30 cm sowie Ackerflächen und ungenutzten Flächen wurden mit dem t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt.

Das verwendete Kartenmaterial wurde mit der Software Quantum GIS Lisboa (1.8.0) (QGIS) erstellt.

5 Ergebnisse

5.1 Ackerstandorte

5.1.1 Gelände

5.1.1.1 Oberbodenansprache mit Hilfe des Soil Fingerprint Code

In Tabelle 2 sieht man den kompletten SFC, der mittels des A-horizon-framework nach Fox et al. (in press) erarbeitet wurde. Dargestellt ist die lange Version des SFC im Enhanced Detail Mode und die kurze Version des Minimum Detail Mode, in diesem liegt das Hauptaugenmerk auf der

Tab. 2: Soil Fingerprint Code aller Landnutzungen beider Testgebiete.

Testgebiet	Probefläche	Tiefe (cm)	Soil Fingerprint Code	
			Enhanced Detail Mode	Minimum Detail Mode
Östliches Testgebiet	Acker Ost 1	0-5	feAhp1 [50cf.sbk1--40vff.gr1--10mf.abk1;/0,89] SL (;) {6.62};R/aH/sL	Ahp [sbk--gr--abk] () {}
		5-30	feAhp2 [60mf.gr1--35cf.sbk1--5mc.abk1;/0,93] SL (;) {6.62};R/aH/sL	Ahp [gr--sbk--abk] () {}
Östliches Testgebiet	Brache Ost 1	0-5	feAhp1 [90fm.gr1--10fm.sbk1;/1,35] SiL (;) {6.54};OL;Y/gF/sL	Ahp [gr--sbk] () {}
		5-30	feAhp2 [60fc.gr1--40fc.sbk1;/1,35] SiL (;) {6.54};OL;Y/gF/sL	Ahp [gr--sbk] () {}
Östliches Testgebiet	Acker Ost 2	0-5	feAhp1 [90vfm.gr1--10m.sbk1;/0,92] SL (;) {6.72};R/aH/sL	Ahp [gr--sbk] () {}
		5-30	feAhp2 [60fm.gr1--40fc.sbk1;/0,94] SL (;) {6.72};R/aH/sL	Ahp [gr--sbk] () {}
Östliches Testgebiet	Brache Ost 2	0-5	feAhprt1 [85vfm.gr1--15mf.sbk1;/1,14] CL (;) {6.32};OL;Y/gF/sL	Ahprt [gr--sbk] () {}
		5-30	feAhp2 [65cm.sbk1--35mvf.gr1;/1,32] CL (;) {6.32};OL;Y/gF/sL	Ahp [sbk--gr] () {}
Östliches Testgebiet	Acker Ost 3	0-5	feAhp [85vfv.gr1--15mf.sbk1;/1,15] SL (;) {5.98};R/aC/sL	Ahp [gr--sbk] () {}
		5-30	feAhp [90vfv.gr1--10mf.sbk1;/1,23] SL (;) {5.98};R/aC/sL	Ahp [gr--sbk] () {}
Östliches Testgebiet	Wald Ost 3	0-5	feAhrt1 [100vfm.gr1;/0,50] SL (;) {7.47};OL/wD/sL	Ahrt [gr] () {}
		5-30	feAh2 [70vfm.gr1--30cf.sbk1;/0,77] L (;) {7.47};OL/wD/sL	Ah [gr--sbk] () {}
Östliches Testgebiet	Acker Ost 4	0-5	feAhpv1 [80vfm.gr1--20cf.sbk1;/1,01] SCL (;) {7.6};R/X/aC/sL	Ahpv [gr--sbk] () {}
		5-30	feAhp2 [65cf.abk2+20cf.sbk2+15mf.gr2;/1,15] SCL (;) {7.6};R/aC/sL	Ahp [abk+sbk+gr] () {}
Östliches Testgebiet	Brache Ost 4	0-5	feAhp1 [95vfm.gr1--5f.sbk1;/1,18] SCL (;) {7.58};OL/gF/sL	Ahp [gr--sbk] () {}
		5-30	feAhp2 [75mvf.gr1--20f.sbk1+5mf.abk1;/1,24] SCL (;) {7.58};OL/gF/sL	Ahp [gr--sbk+abk] () {}
Östliches Testgebiet	Acker Ost 5	0-5	feAhp1 [70vfm.gr1--25fm.sbk1+5vff.sg1;/1,21] L (;) {5.25};CFC;R/aH/sL	Ahp [gr--sbk+sg] () {}
		5-30	feAhp2 [50fm.gr1--50cf.sbk1;/1,33] LS (;) {5.25};CFC;R/aH/sL	Ahp [gr--sbk] () {}
Östliches Testgebiet	Wald Ost 5	0-5	feAhrt1 [85vfm.gr1--15fm.sbk1;/0,55] LS (;) {7.48};OL/wD/sL	Ahrt [gr--sbk] () {}
		5-30	feAh2 [85vfm.gr1--15mf.sbk1;/0,91] LS (;) {7.48};OL/wD/sL	Ah [gr--sbk] () {}
Westliches Testgebiet	Acker West 1	0-5	eAhp1 [75vfm.gr2+25mf.sbk2;/0,89] SiL (;) {6.93};R/aC/sL	Ahp [gr+sbk] () {}
		5-30	eAhp2 [65fc.abk2+35mf.gr2;/1,26] SiL (;) {6.93};R/aC/sL	Ahp [abk+gr] () {}
Westliches Testgebiet	Wald West 1	0-5	eAhqrt1 [95fc.gr1--5fm.sbk1;/0,83] SiL (;) {5.23};OL/wD/sL	Ahqrt [gr--sbk] () {}
		5-30	eAh2 [70fm.sbk1--30f.gr2;/1,01] SiL (;) {5.23};OL/wD/sL	Ah [sbk--gr] () {}
Westliches Testgebiet	Acker West 2	0-5	eAhpv1 [85mf.gr1--15cf.sbk1;/1,04] SiL (;) {6.34};OL/aC/sL	Ahp [gr--sbk] () {}
		5-30	eAhp2 [50mf.sbk1--45fm.gr1--5fm.abk1;/1,29] SiL (;) {6.34};OL/aC/sL	Ahp [sbk--gr--abk] () {}
Westliches Testgebiet	Wald West 2	0-5	eAhrt1 [85fm.gr1--15fm.sbk1;/0,70] SiCL (;) {4.61};OL/wD/sL	Ahrt [gr--sbk] () {}
		5-30	eAh2 [40fc.sbk1--40vfm.gr1--20vfm.abk1;/1,04] CL (;) {4.61};OL/wD/sL	Ah [sbk--gr--abk] () {}
Westliches Testgebiet	Acker West 3	0-5	eAhp1 [80fm.gr1+20fc.sbk2;/0,87] SiL (;) {5.5};CFC;R/aC/sL	Ahp [gr+sbk] () {}
		5-30	eAhp2 [70cf.sbk2+30mf.gr1;/1,21] SiL (;) {5.5};CFC;R/aC/sL	Ahp [sbk+gr] () {}
Westliches Testgebiet	Wald West 3	0-5	eAhrt1 [100mf.gr1;/0,67] SiL (;) {5.25};OL/wD/sL	Ahrt [gr] () {}
		5-30	eAh2 [60mf.sbk1--40fm.gr1;/0,91] SiL (;) {5.25};OL/wD/sL	Ah [sbk--gr] () {}
Westliches Testgebiet	Acker West 4	0-5	eAhpv1 [50cf.sbk2--50mf.gr1;/0,91] SiL (;) {5.75};RS;CFS/aC/sL	Ahp [sbk--gr] () {}
		5-30	eAhp2 [60cf.sbk2--40mf.gr1;/1,14] SiL (;) {5.75};RS;CFS/aC/sL	Ahp [sbk--gr] () {}
Westliches Testgebiet	Wald West 4	0-5	eAhrt1 [60mf.sbk2--35mf.gr2+5mf.abk2;/0,78] SiL (;) {4.76};OL/wD/sL	Ahrt [sbk--gr+abk] () {}
		5-30	eAh2 [70cm.sbk2--25mc.gr2+5cm.abk2;/0,84] SiL (;) {4.76};OL/wD/sL	Ah [sbk--gr+abk] () {}
Westliches Testgebiet	Acker West 5	0-5	eAhpv1 [65mf.sbk2+30mf.gr2+5f.abk2;/0,94] Si (;) {6.77};CR;CFS/aC/sL	Ahp [sbk+gr+abk] () {}
		5-30	eAhp2 [70mf.abk1--30fm.gr1;/1,53] SiL (;) {6.77};CR;CFS/aC/sL	Ahp [abk--gr] () {}
Westliches Testgebiet	Wald West 5	0-5	eAhrt1 [100fm.gr1;/0,65] SiL (;) {4.83};OL/wD/sL	Ahrt [gr] () {}
		5-30	eAh2 [80fm.gr1--15fm.sbk1+5fm.pt1;/0,99] SiL (;) {4.83};OL/wD/sL	Ah [gr--sbk+pt] () {}

Ausprägung des Bodengefüges. In den leeren Klammern fehlen in dieser Arbeit die Ergebnisse der geschätzten Kohlenstoff- und pH-Werte. Ersichtlich ist, dass auf jeder Probefläche, einschließlich den Ackerflächen, das Horizontsymbol „h - enriched organic carbon“ (h - angereichert mit organischem Kohlenstoff) vermerkt ist. Bei den Ackerflächen steht zusätzlich immer ein „p - affected by agricultural activities“ (p – betroffen von ackerbaulichen Maßnahmen). Dieses Suffix

ist aufgrund jüngster Eingriffe vermerkt worden. Als Kürzel für die Landnutzung ist für die Ackerstandorte „aC – cropland“ (aC – Anbauland) gewählt worden. Für die Beschreibung eines Kartoffelackers auf der Fläche „Acker Ost 2“ wurde das Kürzel „aH – horticultural“ (aH – Gartenbaulich genutzt) verwendet.

Weiter zeigt Tabelle A7 die Häufigkeiten des Auftretens der einzelnen Ergebnisse aus der Aufnahme des SFC. Zusätzlich zu „h“ und „p“ ist auf „Acker Ost 4“ und „Acker West 2,4 & 5“ in 0-5 cm ein „v - distinct and prominent features resulting from shrinkage, cracking and swelling“ (v – deutliche Merkmale durch Schrumpfung, Rissbildung und Anschwellen) als Horzontmerkmal festgestellt worden. Die deutlich erkennbaren Risse auf der Bodenoberfläche von „Acker Ost 4“ zeigt Abbildung 11.



Abb. 11: Deutliche Rissbildung auf "Acker Ost 4".

Es sind mehrere Oberflächengegebenheiten ermittelt worden. Hier dominiert auf den Ackerflächen eindeutig „R - recently cultivated“ (R – kürzlich kultiviert). Im östlichen Testgebiet ist R auf allen Flächen genannt, da alle Flächen landwirtschaftlich genutzt werden. Zudem wird auf der Fläche „Acker Ost 4“ „X - Surface flaking“ (X – abblättern der Oberfläche) sowie auf „Acker Ost 5“ „CFc - mineral fragments (clobby 8-25 cm in diameter)“ (CFc – Klumpen mit 8-25 cm Durchmesser) genannt. Im westlichen Testgebiet ist R nur auf „Acker West 1 & 3“ festgestellt worden. Auf „Acker West 2“ wurde „OL - Organic Layers“ (OL – Organische Auflage) als Oberflächengegebenheit, auf „Acker West 3“ CFc und auf „Acker West 4“ „RS - Redistributed sediments on surface, tillage erosion“ (RS – Umverteilte Sedimente, Pflugerosion) und „CFs –

Coarse fragments (stony, > 25 cm in diameter)“ (CFs – Klumpen >25 cm im Durchmesser) als Oberflächengegebenheit genannt. Auf „Acker West 5“ wurde „CR - Plant or crop residues; covers >30 % of surface“ (CR – Pflanzenrückstände bedecken >30 % der Oberfläche) sowie „CFsl - mineral fragments (shaly, slaty \leq 15 cm length)“ (CFsl – Klumpen \leq 15 cm in der Länge) vermerkt. Die enorme Größe des Klumpengefüges auf der Fläche „Acker West 5“ zeigt Abbildung 12.

Alle weiteren Ergebnisparameter werden in den folgenden Kapiteln erläutert.



Abb. 12: Klumpengefüge auf der Fläche "Acker West 5".

5.1.1.1.1 Bodengefüge

Für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse des Bodengefüges der Ackerflächen wurden verschiedene Varianten gewählt. Es wurde jeweils darauf geachtet, dass ein möglicher Unterschied zwischen den beiden vordefinierten Tiefen und zwischen dem östlichen und westlichen Testgebiet berücksichtigt wird.

Tabelle 3 stellt die Mittelwerte des Bodengefüges für die Standorte unter landwirtschaftlicher Nutzung in Prozent dar. Diese Ergebnisse basieren auf der Bestimmung mit dem A-horizon-framework nach Fox et al. (in press). Es wird deutlich, dass auf den Ackerflächen das Krümel- und Subpolyedergefüge dominiert. In 5-30 cm Tiefe ist zudem das Polyedergefüge stark vertreten.

In 0-5 cm ist das Einzelkorngefüge mit 0,5 % wenig aufgetreten. Im tieferen Horizont (5-30 cm) kommt es nicht mehr vor. In beiden Tiefen dominiert das Krümelgefüge auf den Ackerflächen. In 0-5 cm reichen die Anteile bis 68,5 % und in 5-30 cm bei 45,5 %. Der SE ist jeweils mit 6,6 recht gering, was auf eine geringe Streuung der Werte hindeutet. Das Subpolyedergefüge liegt in 0-5 cm bei durchschnittlichen 28 %, in 5-30 cm etwas höher, bei 33,5 %. Bei 3 % liegen die Werte des Polyedergefüges in 0-5 cm, mit einem hohen SE von 1,7. Diese relativ hohe Streuung resultiert aus

dem seltenen Auftreten des Polyedergefüges auf den Ackerflächen in 0-5 cm. Nur auf zwei Flächen ist ein Auftreten verzeichnet, auf „Acker Ost 1“ und „Acker West 5“ (Abb.A2). In 5-30 cm Tiefe steigt der Anteil stark an, auf durchschnittliche 21 % (Tab.3).

Tab. 3: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte aus der Bestimmung mit Hilfe des Soil Fingerprint Code.

Tiefe	Gefügeart	Acker	SE
0-5 cm	Einzelkorn	0.5	0.5
	Krümel	68.5	6.6
	Subpolyeder	28	6.5
	Polyeder	3	1.7
5-30 cm	Einzelkorn	0	0
	Krümel	45.5	6.6
	Subpolyeder	33.5	7.9
	Polyeder	21	10
	Platten	0	0

SE = Standardfehler des Mittelwertes

In Abbildung A2 ist ebenfalls das Bodengefüge, in Kreisdiagrammen, dargestellt. Auch in dieser Abbildung wird ersichtlich, dass das Krümelgefüge auf den Ackerflächen dominiert, wobei im westlichen Testgebiet häufiger das Subpolyedergefüge auftritt als im östlichen. Als abweichend vom Durchschnitt, sind die folgenden Standorte anzusehen: „Acker Ost 4“ aufgrund des hohen Subpolyederanteils von 65 % in 5-30 cm; „Acker Ost 5“ bei dem in 0-5 cm zu 5 % das Einzelkorngefüge (sg – single grain) festgestellt wurde; „Acker West 1 & 5“, auf denen in 5-30 cm zu 65 % und 70 % das Polyedergefüge ermittelt wurde. Die Ausprägung des Bodengefüges der Fläche „Acker West 1“ in 5-30 cm zeigt Abbildung 13.

Aus Tabelle 2 und A7 ist ersichtlich, dass die Häufigkeiten des Auftretens der einzelnen Arten des Bodengefüges der Ackerstandorte die Dominanz des Krümelgefüges unterstützen. Kurz darauf folgt das Subpolyedergefüge. Ein Unterschied zwischen den beiden Testgebieten wird dadurch nicht ersichtlich. Auch innerhalb der beiden Tiefen wird kein Unterschied deutlich. Einzig das Polyedergefüge tritt in 5-30 cm häufiger auf.

Die Größenausprägung der Gefügearten ist mittels der Einteilung nach field manual for describing soils (1985, S.11) vorzunehmen. Vorherrschend ist die Klasse „mf – medium to fine“. Darauf folgt „cf – coarse to fine“ und „fm – fine to medium“. Im östlichen Testgebiet dominiert die Klasse „cf – coarse to fine“ und „mf – medium to fine“ mit leicht häufigerem Auftreten. Auf den westlichen Ackerstandorten ist es umgekehrt; die Klasse „mf – medium to fine“ ist vorherrschend, darauf folgt

„cf – coarse to fine“ und „fm – fine to medium“. Insgesamt lässt sich sagen, dass die feineren Größen in der ersten Tiefe häufiger vorkommen als in 5-30 cm. Dort treten hingegen vermehrt die größeren Klassen auf.



Abb. 13: Ausprägung des Bodengefüges der Fläche "Acker West 1" in 5-30 cm.

Die Konsistenz der Gefügeteilchen der Ackerstandorte ist hauptsächlich 1. Dies entspricht der folgenden Beschreibung: „loose, soft, very friable, friable“ (Fox et al. in press). Bei den Ackerflächen des westlichen Testgebietes tritt häufiger die Konsistenzklasse 2 „firm, hard“ auf. Dies trifft auf alle Flächen außer „Acker West 2“ zu. Bei den Ackerflächen des östlichen Testgebietes tritt die Konsistenz 2 viermal in 5-30 cm auf: auf den Flächen „Acker Ost 4“ und „Acker West 1, 3 & 4“.

Die Anordnung der Gefügearten zueinander (Structure Arrangement) ist in Tabelle A2.1 unter dem Punkt „Mod.Symb.“ aufgezeigt. Insgesamt dominiert das Symbol „-- - Parting to series of smaller soil peds“. Auf fünf Ackerstandorten tritt zudem, in beiden Tiefen gleichermaßen, das Symbol „+ - All structure types are present; random“ auf. Dies trifft auf „Acker Ost 4 & 5“ sowie „Acker West 1, 3 & 5“ zu.

5.1.1.1.2 Bodenart

Die Bodenartenbestimmung für den A-horizon framework erfolgt nach dem Bestimmungsschlüssel der FAO (FAO 2006, S.28). Im Gegensatz zum KA5 wird nach diesem in weniger Bodenarten unterteilt. Die ermittelten Bodenarten liegen alle in der Gruppe der Lehme, sowohl im östlichen und im westlichen Testgebiet, als auch in 0-5 cm und in 5-30 cm Tiefe (Tab.A2.2 & A7). Die vorherrschenden Bodenarten der Äcker sind schluffiger Lehm (SiL) und sandiger Lehm (SL). Im östlichen Testgebiet herrschen die sandigen Lehme (SL) vor, im westlichen Testgebiet die schluffigen Lehme (SiL). Mit der Tiefe ist kein Unterschied der Bodenarten festzustellen.

5.1.1.1.3 Korrelationsanalyse

Die Ergebnisse des SFC sind mittels der Korrelationsanalyse auf Zusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern getestet worden. Wie Tabelle 4 & 5 zeigen, bestehen zwischen einigen Parametern der Ackerstandorte sowohl positive als auch negative statistische Zusammenhänge.

In 0-5 cm Tiefe korreliert das Bodengefüge miteinander. So tritt eine sehr hohe negative Korrelation von -0.991 zwischen dem Krümelgefüge (gr) und dem Subpolyedergefüge (sbk) auf (Tab.4). Ebenso zwischen dem Krümelgefüge und dem Polyedergefüge (abk), diese beträgt -0.771. Das Subpolyedergefüge steht wiederum mit dem Polyedergefüge mit einer positiven Korrelation von 0.694 in Zusammenhang. Die beschriebenen Korrelationen sind durch hohe Signifikanzen belegt.

Zu den Werten der Horizontmerkmale (prozess), der Lagerungsdichte (BD), des pH-Wertes (pH), der Landnutzung (landuse) und den Oberflächengegebenheiten (surfCond) bestehen keine Korrelationen. Die Werte der Horizontmerkmale fehlen. Hier konnte keine Korrelation errechnet werden, da alle Ackerflächen die gleichen Merkmale tragen.

In der Tiefe von 5-30 cm treten zum Teil unterschiedliche Zusammenhänge auf (Tab.5). Das Krümelgefüge korreliert mit 0,573 mittelstark negativ mit der Landnutzung. Das Subpolyedergefüge steht mit -0,694 mittelstark negativ mit dem Polyedergefüge und mit -0.744 zum pH-Wert in Zusammenhang. Ebenso korreliert das Polyedergefüge mit dem pH-Wert mit 0,801 positiv. Alle erwähnten Zusammenhänge weisen hohe Signifikanzen auf.

Tab. 4: Korrelationsmatrix des Soil Fingerprint Code der Ackerflächen in 0-5 cm.

			Korrelationen								
Spearman-Rho	prozess	Korrelationskoeffizient	prozess	gr	sbk	abk	BD	texture	pH	surfCon	landuse
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
gr		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
sbk		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
abk		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BD		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
texture		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
pH		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
surfCon		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
landuse		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10

**. Korrelation ist bei Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig).

*. Korrelation ist bei Niveau 0,05 signifikant (zweiseitig).

Tab. 5: Korrelationsmatrix des Soil Fingerprint Code der Ackerstandorte in 5-30 cm.

			Korrelationen								
Spearman-Rho	prozess	Korrelationskoeffizient	prozess	gr	sbk	abk	BD	texture	pH	surfCon	landuse
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
gr		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
sbk		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
abk		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BD		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
texture		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
pH		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
surfCon		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
landuse		Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10

*. Korrelation ist bei Niveau 0,05 signifikant (zweiseitig).

**. Korrelation ist bei Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig).

5.1.1.2 Oberbodenansprache nach KA5

Die Oberbodenansprache nach der KA5 unterscheidet sich von der mit Hilfe des SFC, da andere Bodenparameter ermittelt wurden. Die Ergebnisse der Ackerstandorte sind im Folgenden beschrieben. Ausgenommen sind die Ergebnisse des Bodengefüges, der Bodenart, der Lagerungsdichte, der pH-Werte und der Vegetation, da diese in anderen Kapiteln erläutert werden. Tabelle A6.1 & 6.2 gibt die Häufigkeiten des Auftretens der einzelnen Ergebnisse der Bestimmung mit der KA5 wieder. Auf den Ackerflächen ist auf allen Standorten keine organische Auflage ermittelt worden. Eine Ausnahme bildet „Acker West 2“. Hier wurde eine Of-Lage von 0,5 cm bestimmt. Die Ah-Mächtigkeit liegt im östlichen Testgebiet bei 32-50 cm. Die höchste Ah-Mächtigkeit von 50 cm tritt auf dem Feld „Acker Ost 3“ auf (Tab.A1.1 & A1.2). Im westlichen Testgebiet ist die Mächtigkeit des Ah leicht geringer und liegt zwischen 30-42 cm. Die höchste Mächtigkeit tritt bei Fläche „Acker West 1“ auf. Die Verdichtung der Ackerstandorte beginnt durchschnittlich zwischen 10-25 cm. Im östlichen Testgebiet beginnt sie durchschnittlich zwischen 15-25 cm. Am frühesten setzt sie auf „Acker Ost 4“ ein. Dort sind die ersten 0-10 cm locker, darunter ist der Boden gleichmäßig verdichtet. Im westlichen Testgebiet setzt die Verdichtung in geringerer Tiefe ein als im östlichen Testgebiet, im Mittel zwischen 10-20 cm. Auf „Acker West 2“ wurde eine Verdichtung ab 6 cm Tiefe beschrieben. Eine deutliche Pflugsohle ist auf „Acker Ost 1“ und „Acker West 4“ beschrieben worden. Auf einigen Feldern sind organische Reststoffe innerhalb des Ah-Horizontes erkennbar gewesen. Beschrieben sind organische Reste zu 50 % auf den östlichen Ackerflächen. Auf den westlichen Ackerflächen sind häufiger Reste festgestellt worden. Beispiele für organische Reststoffe auf den Ackerstandorten zeigt Abbildung 14. Auf den westlichen Flächen treten in 5-30 cm leicht häufiger Reststoffe auf (nein:1 ja:4) als in 0-5 cm (nein:2 ja:3).



Abb. 14: Organische Reststoffe innerhalb des Oberbodens auf den Ackerstandorten "Acker West 4 & 5".

Der Carbonatgehalt der Ackerflächen ist insgesamt sehr gering. Am häufigsten tritt die Klasse c1 (sehr carbonatarm) auf, darauf folgt c0 (carbonatfrei). Auf „Acker Ost 4“ tritt zudem die Klasse c3.2 (schwach carbonathaltig) in beiden Tiefen auf. Insgesamt kann eine deutliche Änderung mit der Tiefe nicht bestimmt werden. Im westlichen Testgebiet überwiegt die Klasse c1 (sehr carbonatarm). Als Ausnahme ist in 0-5 cm auf „Acker West 1“ die Klasse c2 (carbonatarm) bestimmt worden. Die Durchwurzelung der Ackerflächen ist hauptsächlich als schwach zu bezeichnen. Im östlichen Testgebiet tritt in 0-5 cm nur auf „Acker Ost 4“ eine starke Durchwurzelung auf. Auf „Acker Ost 2“ in 5-30 cm wurde keine Durchwurzelung und auf „Acker Ost 3“ ein mittel ausgeprägtes Grobwurzel-Vorkommen bestimmt. Auf den westlichen Feldern ist in 0-5 cm auf den Flächen „Acker West 3 & 5“ keine Durchwurzelung festgestellt worden; auf den Flächen „Acker West 1 & 4“ eine mittlere Durchwurzelung und auf „Acker West 2“ eine starke. In 5-30 cm ist die Ausprägung der Durchwurzelung schwach und auf „Acker West 3“ ist keine sichtbare Durchwurzelung ermittelt worden. Auf allen Ackerflächen überwiegt die Häufigkeit an Feinporen. Darauf folgen die Mittelporen. Grobporen sind nur selten genannt. Im östlichen Testgebiet treten keine Grobporen auf. Hier überwiegen in beiden Tiefen die Feinporen. Im westlichen Testgebiet halten sich die Fein- und Mittelporen die Waage. Auf „Acker West 5“ sind in 0-5 cm Grobporen dominant und auf „Acker West 1 & 5“ treten in 5-30 cm Grobporen auf.

5.1.1.2.1 Bodengefüge

Tabelle 6 gibt die Mittelwerte des Bodengefüges für die Ackerstandorte, die durch die Bestimmung nach der KA5 ermittelt wurden in Prozent an. Zu erkennen ist, dass auf den Ackerflächen in 0-5 cm das Krümel- und Subpolyedergefüge dominieren. In 5-30 cm herrscht das Subpolyedergefüge vor.

In den oberen 5 cm liegt das Vorkommen von Einzelkorngefüge auf den Ackerstandorten bei durchschnittlich 6,3 %. In der Tiefe 5-30 cm reduziert sich der Anteil auf 3,5 %. Das Krümelgefüge dominiert in 0-5 cm mit 48,5 %. In 5-30 cm ist es mit 27 % weniger vertreten und der SE nimmt mit 6,5 im Verhältnis geringfügig zu, dies deutet auf eine geringe Streuung hin. Die mittlere Ausprägung des Subpolyedergefüges liegt in 0-5 cm Tiefe bei 30 %, mit einem geringen SE von 4,1. In der Tiefe 5-30 cm ist das Subpolyedergefüge mit 45,5 % das dominierende Gefüge der Ackerböden. Das Polyedergefüge ist in 0-5 cm nur schwach ausgeprägt und kommt selten vor, was der hohe SE von 3,7 zeigt. Nur auf den Flächen „Acker West 1, 4 & 5“ kommt es in 0-5 cm vor (Abb.A1). Das Polyedergefüge der Fläche „Acker West 5“ zeigt Abbildung 15. In 5-30 cm hingegen ist das Polyedergefüge mit 21,5 % stark vertreten. Das Vorkommen von Klumpen ist in 0-5 cm mit 9,2 % recht hoch, wobei der SE mit 6,4 im Verhältnis sehr hoch ist. In 5-30 cm treten

Klumpen nur noch zu 0,5 % auf (Tab.6). Insgesamt tritt das Klumpengefüge nur auf vier Flächen auf („Brache Ost 4“, „Acker Ost 5“ und „Acker West 4 & 5“).

Tab. 6: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte nach KA5.

Tiefe	Gefügeart	Acker	SE
0-5 cm	Einzelkorn	6.3	2
	Krümel	48.5	9
	Subpolyeder	30	4.1
	Polyeder	6	3.7
	Klumpen	9.2	6.4
5-30 cm	Einzelkorn	3.5	1.3
	Krümel	27	6.5
	Subpolyeder	45.5	7.7
	Polyeder	21.5	8.5
	Klumpen	0.5	0.5

SE = Standardfehler des Mittelwertes



Abb. 15: Polyedergefüge auf "Acker West 5" in 5-30 cm.

Abbildung A1 zeigt die Ausprägung des Bodengefüges der jeweiligen Paare (Acker und ungenutzter Standort) als Kreisdiagramm, die durch die Bestimmung nach der KA5 ermittelt wurden. Deutlich wird auch hier, dass das Krümelgefüge mit Anteilen an Subpolyedergefüge vorherrscht. Gut zu erkennen sind in dieser Darstellung die Standorte, die vom Durchschnitt abweichen. Dazu zählt „Acker Ost 4“ in der Tiefe von 5-30 cm. Als alleinige Probe im östlichen

Testgebiet tritt hier zu 75 % das Polyedergefüge mit einem Restanteil an Subpolyedern auf. Ebenfalls hohe Polyederanteile weisen „Acker West 1 & 2“ in 5-30 cm auf (Abb.16). Auf dem Standort „Acker West 4“ ist in 0-5 cm der Klumpengefügeanteil mit 60 % sehr hoch und in 5-30 cm das Subpolyedergefüge mit 80 %. Auf dem Standort „Acker West 5“ tritt nahezu derselbe Fall auf. Hier fehlt das Krümelgefüge und es dominieren das Subpolyeder- und Polyedergefüge, mit einem 30 %-gen Anteil an Klumpengefüge in 0-5 cm. Das Klumpengefüge tritt auf den Ackerflächen insgesamt dreimal auf; auf den obengenannten Standorten „Acker West 4 & 5“.



Abb. 16: Polyedergefüge des Standortes "Acker West 2" in 5-30 cm Tiefe.

In Tabelle A6.1 wird die Dominanz des Krümelgefüges nicht klar deutlich. Dort sind allerdings nur die Häufigkeiten der Nennung der einzelnen Gefügearten aufgeführt. Über die Ausprägung insgesamt gibt diese Auswertung keine Auskunft. Hier tritt das Subpolyedergefüge auf den Ackerflächen am häufigsten auf, danach das Krümelgefüge. Da auf vielen Flächen das Einzelkorngefüge zu geringen Prozentanteilen auftritt, ist auch dessen Anzahl relativ häufig. Im westlichen Testgebiet treten häufiger das Polyeder- und das Klumpengefüge auf. Das Polyedergefüge tritt auf den östlichen Standorten nur in 5-30 cm auf.

5.1.1.2.2 Bodenart

Die Bestimmung der Bodenart mittels der KA5 (Ad-hoc-AG Boden 2005, S.143ff.) zeigt, wie oben bereits erwähnt, dass sich die Bodenarten im östlichen Testgebiet von denen des westlichen unterscheiden. Die Böden im östlichen Testgebiet sind deutlich sandiger als im westlichen. Die vorherrschende Bodenartengruppe im Osten sind Sandlehme, im Westen sind es Tonschluffe und Schlufftone (Tab.A6.1). Insgesamt tritt auf den Ackerflächen am häufigsten schluffiger Lehm (Lu) auf, darauf folgt schluffig-lehmiger Sand (Slu) und schwach toniger Lehm (Lt2). Auf den Ackerflächen im östlichen Testgebiet tritt am häufigsten schluffig-lehmiger Sand (Slu) auf, darauf folgt stark lehmiger Sand (Sl4) und schluffiger Lehm (Lu). Ein Unterschied der Bodenarten mit der Tiefe ist nicht zu erkennen, wobei die Böden im B-Horizont plastischer waren und mehr Tonanteile aufwiesen (Tab. A2.1 – A4.2 & A6.1).

5.1.1.3 Vegetation

Die Ackerflächen waren zum Teil abgeerntet oder gepflügt und dadurch vegetationsfrei, dazu zählen „Acker Ost 1, 3 & 5“ und „Acker West 3, 4 & 5“ (Tab.A1.1 & A1.2). Auf der Fläche „Acker Ost 2“ ist Kartoffelanbau (*Solanum tuberosum*) betrieben worden. „Acker Ost 4“ und „Acker West 1“ waren Getreidefelder. Auf „Acker Ost 4“ stand eine Mischung von Weizen (*Triticum aestivum*) und Hafer (*Avena sativa*). Auf „Acker West 1“ wurde Hafer (*Avena sativa*) angebaut, mit teilweiser Erbse (*Pisum sativum*). Der Getreidebewuchs der Felder um Tyumen ist größtenteils stark durchmischt. Oft ist keine dominante Art erkennbar oder die Ackernutzung ist nicht auf den ersten Blick auszumachen. Diese starke Durchmischung der Arten dient oftmals als Kuhfutter, Abbildung 17 zeigt eine Ackerfläche als Beispiel. Auf dem Großteil der Ackerflächen ist deutlicher Unkrautbewuchs vorhanden gewesen. Dazu zählt der zurückgebogene Amaranth (*Amaranthus retroflexus*) und die Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*). Das Feld „Acker West 2“ stand unter Gründüngung, hier wuchs eine Kleemischung (*Trifolium*).



Abb. 17: Deutlich durchmischter Getreidebewuchs mit Unkraut auf "Acker West 1". Das Maßband wurde auf die Länge von 1 m ausgerollt.

5.1.2 Labor

5.1.2.1 Lagerungsdichte

Der Mittelwert der Lagerungsdichte (Ld) für die oberen 5 cm der Ackerböden liegt bei 1,00 g/cm³ und ist somit als sehr gering (Bezeichnungen nach Ad-hoc-AG Boden 2005) einzustufen (Tab.7). Der niedrigste Wert liegt bei 0,71 g/cm³, der Höchstwert bei 1,30 g/cm³. Die Boxplots der Lagerungsdichte in Abbildung 11 zeigen, dass die Messwerte der Ackerflächen in 0-5 cm eine relativ große Spannweite aufweisen. Die Verteilung ist dabei symmetrisch.

Tab. 7: Mittelwerte der Lagerungsdichten der Ackerstandorte in g/cm³.

Tiefe	Landnutzung	N	Mittelwert	Minimaler Wert	Maximaler Wert	SE	Varianz
0-5 cm	Ackernutzung	60	1.00	0.71	1.3	0.02	0.02
5-30 cm	Ackernutzung	60	1.17	0.78	1.53	0.02	0.03

SE = Standardfehler des Mittelwertes

In 5-30 cm Tiefe unterscheiden sich die Ld nicht maßgeblich von denen der oberen 5 cm. Der Mittelwert liegt mit $1,17 \text{ g/cm}^3$ (sehr gering) leicht höher, ebenso wie der minimale Wert ($0,78 \text{ g/cm}^3$ (sehr gering)) und der maximale Wert ($1,53 \text{ g/cm}^3$ (mittel)). Dies verdeutlicht auch Abbildung 18. Standardfehler (SE) und Varianz sind mit 0,02 und 0,02 sehr klein. Die Streuung ist nach Abbildung 18 deutlich größer als in 0-5 cm und die Verteilung der Messwerte ist leicht schief.

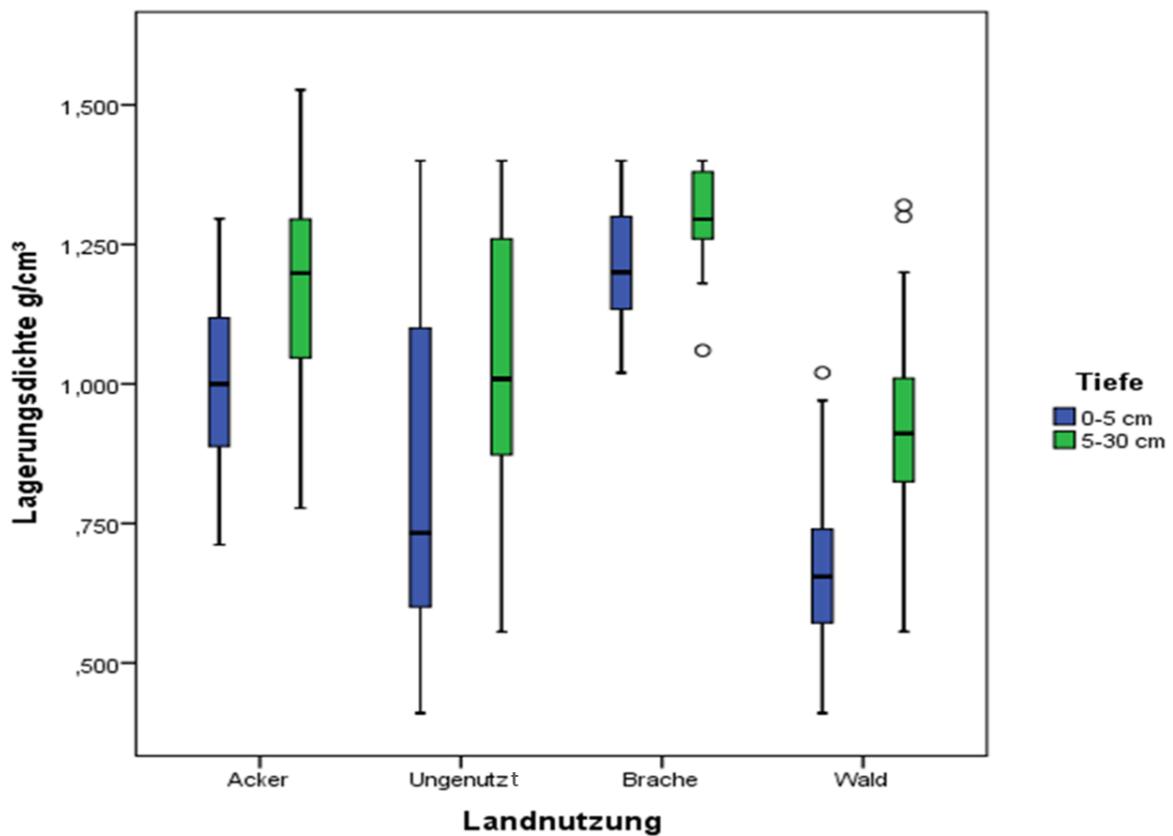


Abb. 18: Boxplot der Lagerungsdichten unterteilt nach Landnutzung und Tiefe.

Ein Unterschied zwischen den beiden Testgebieten ist nicht deutlich auszumachen. Die durchschnittlichen Ld des östlichen Testgebietes liegen in 0-5 cm bei $1,04 \text{ g/cm}^3$. Die des westlichen Testgebietes etwas niedriger bei $0,93 \text{ g/cm}^3$ (Tab.A6.2 & A7). In 5-30 cm sind die Ld leicht höher. Beim östlichen Testgebiet betragen sie durchschnittlich $1,12 \text{ g/cm}^3$ und beim westlichen Testgebiet $1,29 \text{ g/cm}^3$.

5.1.2.2 pH-Werte

Die Ergebnisse der pH-Analyse der landwirtschaftlich genutzten Standorte liegen durchschnittlich bei 6,35 (sehr schwach sauer (Bezeichnungen nach Ad-hoc-AG Boden 2005)) (Tab.A6.1 & A7). Bei den östlichen Ackerflächen liegt der pH-Wert durchschnittlich bei 6,43. Bei den westlichen Flächen etwas niedriger bei 6,26, beide sind als sehr schwach sauer zu bezeichnen. Im östlichen Testgebiet ist die Spannbreite der Messergebnisse größer, die Werte liegen zwischen 5,25 (mäßig sauer) und 7,6 (sehr schwach alkalisch). Im westlichen Testgebiet liegen sie zwischen 5,5 (schwach sauer) und 6,93 (neutral). Der niedrigste Wert tritt auf dem Messfeld „Acker Ost 5“ (5,25 schwach sauer) auf, der Höchstwert tritt bei „Acker Ost 4“ (7,6 sehr schwach alkalisch) auf (Abb.A1.1 & A1.2).

Die Darstellung der pH-Werte als Boxplot verdeutlicht die relativ geringe Streuung der Ergebnisse der Ackerstandorte (Abb.19). Der Höchst- und Niedrigwert sind als Extremwerte zu erkennen und liegen außerhalb der Streuung der mittleren 50% der Messwerte. Die Verteilung ist leicht unsymmetrisch, dabei liegt der Median im oberen Bereich der Streuung.

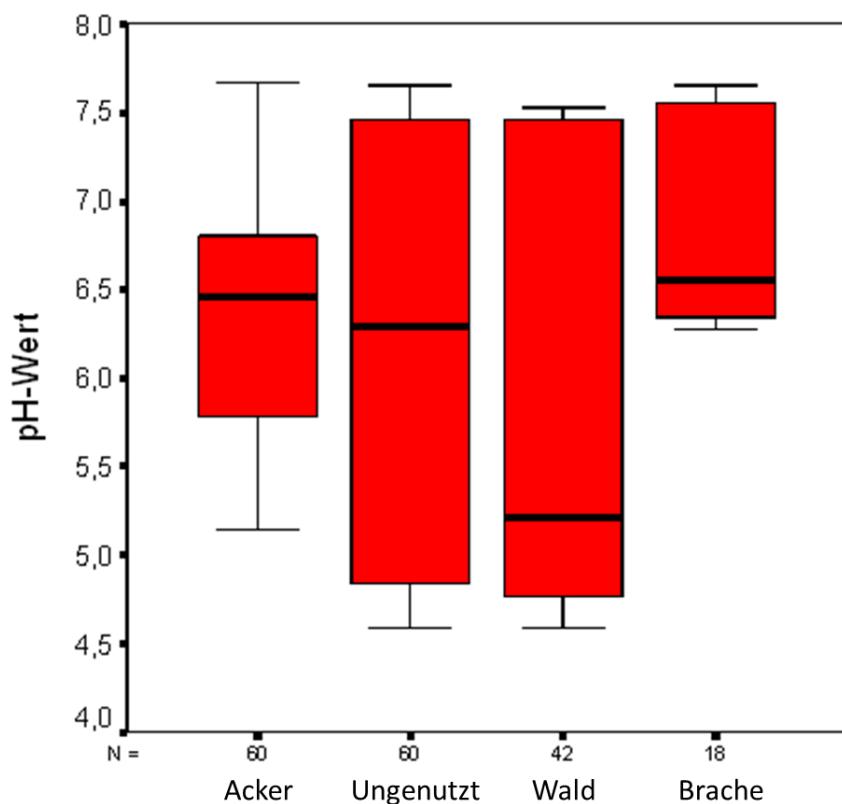


Abb. 19: Boxplot der pH-Werte unterteilt nach Landnutzung.

5.2 Standorte ohne Nutzung

5.2.1 Gelände

5.2.1.1 Oberbodenansprache mit Hilfe des Soil Fingerprint Code

Der SFC der Wald- und Brachestandorte ist in Tabelle 2 zu sehen, dort ist sowohl der Enhanced Detail Mode, also auch der Minimum Detail Mode dargestellt. Als Horizontmerkmal, welches die Bodenprozesse (Process Suffix) beschreibt, steht auf allen Probeflächen „h - enriched organic carbon“ (h - angereichert mit organischem Kohlenstoff). Bei den Brachestandorten steht zusätzlich immer ein „p – affected by agricultural activities“ (p – betroffen von ackerbaulichen Maßnahmen), aufgrund vergangener Eingriffe. Des Weiteren ist häufig das Horizontmerkmal „rt – Dominated by root material; forms >60 % of A-horizon“ (rt – deutliches Wurzelmaterial; bildet >60 % des A-Horizontes) genannt (Tab.A7). Nicht genannt wird dieses Merkmal auf den Flächen „Brache Ost 1 & 4“. Weiter treten auf den Standorten ohne Nutzung keine Horizontmerkmale auf. Die Brachestandorte sind als aktuelle Landnutzung mit „gF – abandoned farmland“ (gF – aufgegebene Ackerflächen) beschrieben und die Waldstandorte mit „wd - woodland deciduous, natural“ (wd – natürlicher sommergrüner Laubwald). Als Oberflächengegebenheiten tritt auf allen Probeflächen die Bezeichnung „OL – Organic Layers“ (OL – organische Auflagen) auf. Weiter ist auf den beiden Brachestandorten „Brache Ost 1 & 2“ des östlichen Testgebietes das Küzel „Y – Cryoptogram surface, crust of biologically stable material, algae, mosses, liverworts“ (Y – Oberfläche die Krusten aus biologisch stabilem Material, Algen, Moos, Lebermoose aufweist) aufgetreten. Weitere fehlende Ergebnisparameter des SFC der Standorte ohne Nutzung werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

5.2.1.1.1 Bodengefüge

In Tabelle 8 sind die Mittelwerte des Bodengefüges der Standorte ohne Nutzung in Prozent dargestellt, die Ergebnisse sind mit dem A-horizon-framework ermittelt worden. Das Bodengefüge wird nicht in Wald- und Bracheflächen unterschieden, sondern zusammen betrachtet als die Standorte ohne ackerbauliche Nutzung. Ersichtlich ist, dass auf den ungenutzten Flächen in beiden Tiefen das Krümelgefüge vorherrscht. In 5-30 cm ist, etwa zu gleichen Teilen, das Subpolyedergefüge vertreten.

Tab. 8: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Standorte ohne Nutzung aus der Bestimmung mit Hilfe des Soil Fingerprint Code.

Tiefe	Gefügeart	Ungenutzt	SE
0-5 cm	Einzelkorn	0	0
	Krümel	87	6.11
	Subpolyeder	12.5	5.64
	Polyeder	0.5	0.5
5-30 cm	Einzelkorn	0	0
	Krümel	54	7.1
	Subpolyeder	42.5	7.08
	Polyeder	3	2
	Platten	0.5	0.5

SE = Standardfehler des Mittelwertes

Das Einzelkorngefüge kommt in beiden Tiefen nicht auf den Standorten ohne Nutzung vor. Das Krümelgefüge ist mit 87 % in 0-5 cm vorherrschend. Der SE ist mit 6,11 im Verhältnis recht klein, was auf eine geringe Streuung der Werte hindeutet. In 5-30 cm reduziert sich der Anteil des Krümelgefüges auf 54 %. Das Subpolyedergefüge liegt in 0-5 cm bei durchschnittlichen 12,5 %. In 5-30 cm steigt der Anteil auf 42,5 % an. Mit 0,5 %, und einem hohen SE von 0,5, ist das Polyedergefüge in den oberen 0-5 cm vertreten. Diese große Streuung resultiert aus dem geringen Auftreten des Polyedergefüges in dieser Tiefe. Da es nur auf der Fläche „Wald West 4“ festgestellt wurde. In 5-30 cm erhöht sich der Anteil auf 3 %, die Ausprägung des Bodengefüges der Fläche „Wald West 4“ in 5-30 cm zeigt Abbildung 20. Der SE ist mit 2 hoch und verdeutlicht die große Streuung, die auftritt da das Polyedergefüge nur auf den Standorten „Brache Ost 4“, „Wald West 2,4 & 5“ ermittelt wurde. In 5-30 cm tritt zudem das Plattengefüge mit durchschnittlichen 0,5 % auf. Dies ist jedoch nur auf einer Fläche der Fall („Wald West 5“) (Abb.A1 & A2), deshalb liegt der SE ebenso hoch.



Abb. 20: Ausprägung des Bodengefüges der Fläche "Wald West 4" in 5-30 cm.

Nach der Bestimmung mit dem SFC ist in Abbildung A1 erkennbar, dass auf den Standorten ohne Nutzung das Krümelgefüge sehr stark vertreten ist. So kommt auf den Standorten „Wald Ost 3“ und „Wald West 3 & 5“ jeweils zu 100 % das Krümelgefüge in den oberen 0-5 cm vor. Vom Durchschnitt abweichend erscheinen die folgenden Flächen: „Wald West 1“ weist in 5-30 cm mit 70 % einen hohen Subpolyederanteil auf, ebenso wie „Wald West 4“ in beiden Tiefen. Bei „Wald West 5“ tritt einmalig zu 5 % das Plattengefüge (pt – Platy) auf. Die Dominanz des Krümelgefüges zeigt sich ebenfalls in Tabelle 8 und A7. Das Polyedergefüge ist dagegen deutlich seltener vertreten. Auf den Waldstandorten des östlichen Testgebietes ist es nicht ausgezeichnet worden. Als Größenausprägung der Gefügearten ist auf den Standorten ohne Nutzung die Klasse „fm – fine to medium“ vorherrschend (Classes nach field manual for describing soils 1985, S.11). Darauf folgen die Klassen „vfm – very fine to medium“ und „mf – medium to fine“. Auf den östlichen Waldflächen dominiert die feinere Klasse „vfm – very fine to medium“. Auf den Bracheflächen sind die Klassen sehr durchmischt und reichen von „vf – very fine“ bis „m – medium“. Das Bodengefüge der Waldflächen des westlichen Testgebietes ist vorwiegend der Klasse „fm – fine to medium“ zugeordnet. Bei der Konsistenz der Gefügeteilchen ist deutlich vorherrschend die Klasse 1 „loose, soft, very friable, friable“ (Fox et al. in press). Auf den östlichen Standorten tritt die Klasse 2 „firm, hard“ nicht auf. Auf den westlichen Standorten sind etwa ein Drittel der Klasse 2 zugeteilt. Dazu zählen „Wald West 1“ in 5-30 cm und „Wald West 4“ in beiden Tiefen. Die Anordnung der Gefügearten (Structure Arrangement) der ungenutzten Standorte ist durchgängig mit diesem Symbol beschrieben „-- - Parting to series of smaller soil peds“ (Tab.A5.1). Lediglich auf dem Standort „Wald West 5“ in 5-30 cm tritt zwischen dem Subpolyedergefüge und dem

Plattengefüge das Symbol „+ - All structure types are present; random“ auf, das bedeutet, dass das Subpolyedergefüge und das Plattengefüge deutlich getrennt nebeneinander auftreten.

5.2.1.1.2 Bodenart

Die Böden der Standorte ohne Nutzung sind, nach der Bestimmung mit der Fingerprobe nach FAO, Lehme (Tab. A5.2 & A7). Allgemein dominiert schluffiger Lehm (SiL) auf allen Flächen. Auf den östlichen Waldstandorten herrscht dagegen sandiger Lehm (SL) vor. Die Bracheböden im östlichen Testgebiet weisen neben schluffigem Lehm (SiL) auch tonigen Lehm (CL) auf. Auch hier ist kein Unterschied mit der Tiefe zu erkennen.

5.2.1.1.3 Korrelationsanalyse

Die Ergebnisse der Parameter des SFC der Standorte ohne Nutzung sind auf ihre Zusammenhänge hin überprüft worden, die Ergebnisse der Korrelationsanalyse zeigen Tabelle 9 & 10.

In 0-5 cm ergeben sich zwischen den folgenden Parametern Zusammenhänge: Die Horizontmerkmale (prozess) korrelieren deutlich positiv mit 0,881 mit der Lagerungsdichte (BD) und ebenso positiv mit 0,863 mit der Landnutzung (landuse). Das Bodengefüge korreliert untereinander, so besteht mit -1,000 ein absolut stark negativer statistischer Zusammenhang des Krümelgefüges (gr) mit dem Subpolyedergefüge (sbk). Die Ld (BD) korreliert stark positiv mit -0,798 mit der Landnutzung (landuse). Zu allen Korrelationen bestehen Signifikanzen. Zu den Oberflächengegebenheiten sind keine Werte angegeben, da nur zwei Codierungen auf den Standorten ohne Nutzung eingesetzt wurden und dadurch keine Zusammenhänge berechnet werden konnten.

Eine Korrelation besteht in 5-30 cm nicht so ausgeprägt innerhalb der Arten des Bodengefüges. Das Krümelgefüge (gr) korreliert deutlich negativ mit -0,985 mit dem Subpolyedergefüge (sbk). Die Lagerungsdichte (BD) weist einen starken positiven Zusammenhang von 0,798 mit der Landnutzung (landuse). Zu allen Korrelationen bestehen Signifikanzen.

Tab. 9: Korrelationsmatrix des Soil Fingerprint Code der Standorte ohne Nutzung in 0-5 cm.

			Korrelationen								
			prozess	gr	sbk	abk	BD	texture	pH	surfCon	landuse
Spearman-Rho	prozess	Korrelationskoeffizient	1.000	-.042	.042	-.264	.881**	.059	.440		,863**
		Sig. (2-seitig)		.907	.907	.462	.001	.872	.203		.001
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	gr	Korrelationskoeffizient	-.042	1.000	-1.000**	-.537	-.318	-.279	.218		-.156
		Sig. (2-seitig)		.907		.109	.371	.435	.545		.666
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	sbk	Korrelationskoeffizient	.042	-1.000**	1.000	.537	.318	.279	-.218		.156
		Sig. (2-seitig)		.907		.109	.371	.435	.545		.666
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	abk	Korrelationskoeffizient	-.264	-.537	.537	1.000	.058	-.309	-.406		-.218
		Sig. (2-seitig)		.462	.109	.109	.873	.384	.244		.545
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	BD	Korrelationskoeffizient	.881**	-.318	.318	.058	1.000	.006	.067		,798**
		Sig. (2-seitig)		.001	.371	.371	.873	.986	.855		.006
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	texture	Korrelationskoeffizient	.059	-.279	.279	-.309	.006	1.000	.187		.284
		Sig. (2-seitig)		.872	.435	.435	.384	.986	.604		.427
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	pH	Korrelationskoeffizient	.440	.218	-.218	-.406	.067	.187	1.000		.494
		Sig. (2-seitig)		.203	.545	.545	.244	.855	.604		.147
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	surfCon	Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	landuse	Korrelationskoeffizient	.863**	-.156	.156	-.218	.798**	.284	.494		1.000
		Sig. (2-seitig)		.001	.666	.666	.545	.006	.427	.147	
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10

**. Korrelation ist bei Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig).

Tab. 10: Korrelationsmatrix des Soil Fingerprint Code der Standorte ohne Nutzung in 5-30 cm.

			Korrelationen								
			prozess	gr	sbk	abk	BD	texture	pH	surfCon	landuse
Spearman-Rho	prozess	Korrelationskoeffizient	1.000	-.291	.293	-.215	.406	.497	.058		.509
		Sig. (2-seitig)		.415	.412	.551	.244	.144	.873		.133
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	gr	Korrelationskoeffizient	-.291	1.000	-.985**	-.225	-.073	.120	.578		.038
		Sig. (2-seitig)		.415		.000	.531	.841	.740		.917
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	sbk	Korrelationskoeffizient	.293	-.985**	1.000	.102	.086	-.187	-.471		0.000
		Sig. (2-seitig)		.412	.000		.779	.814	.606		1.000
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	abk	Korrelationskoeffizient	-.215	-.225	.102	1.000	.067	.385	-.337		0.000
		Sig. (2-seitig)		.551	.531	.779		.853	.272		1.000
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	BD	Korrelationskoeffizient	.406	-.073	.086	.067	1.000	.253	.079		,798**
		Sig. (2-seitig)		.244	.841	.814	.853		.481		.006
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	texture	Korrelationskoeffizient	.497	.120	-.187	.385	.253	1.000	.221		.325
		Sig. (2-seitig)		.144	.740	.606	.272	.481	.540		.359
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	pH	Korrelationskoeffizient	.058	.578	-.471	-.337	.079	.221	1.000		.494
		Sig. (2-seitig)		.873	.080	.169	.341	.829	.540		.147
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	surfCon	Korrelationskoeffizient									
		Sig. (2-seitig)									
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	landuse	Korrelationskoeffizient	.509	.038	0.000	0.000	.798**	.325	.494		1.000
		Sig. (2-seitig)		.133	.917	1.000	1.000	.006	.359	.147	
		N	10	10	10	10	10	10	10	10	10

**. Korrelation ist bei Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig).

5.2.1.2 Oberbodenansprache nach KA5

Die Ergebnisse der Oberbodenansprache nach KA5 der Standorte ohne Nutzung zeigen Tabelle A1.1 - A4.2 und A6.1 - A6.2. Eine organische Auflage ist auf allen Flächen ohne Nutzung aufgetreten. Es wurde jeweils größtenteils eine L- und eine Of-Lage ermittelt, eine Oh-Lage wurde auf keinem Standort festgestellt. Im Mittel ist die organische Auflage auf den östlichen Waldflächen etwa 3 cm mächtig, auf den Brache flächen ist sie mit etwa 0,5 – 2 cm geringer ausgeprägt. Im westlichen Testgebiet liegt sie bei 1-5 cm Mächtigkeit. Die Ausprägung der organischen Auflage auf dem Standort „Wald West 3“ ist in Abbildung 21 zu sehen.



Abb. 21: Organische Auflage auf "Wald West 3".

Die Ah-Mächtigkeit der ungenutzten Standorte liegt zwischen 20-40 cm. Die Waldflächen des östlichen Testgebietes weisen eine mittlere Ah-Mächtigkeit von 30 cm auf, die Brache flächen von 30-40 cm. Die Mächtigkeit der westlichen Waldflächen liegt bei etwa 20 cm. Die höchste Mächtigkeit von 40 cm tritt auf Fläche „Brache Ost 2 & Wald West 3“ auf. Die geringste weist Fläche „Wald West 1“ mit 15-20 cm auf. Im Mittel beginnt die Verdichtung der Standorte ohne landwirtschaftliche Nutzung zwischen 10-35 cm. Diese Wertespanne entspricht denen der Brache flächen. Auf der Fläche „Brache Ost 2“ beginnt die Verdichtung bereits in 13 cm Tiefe. Auf „Brache Ost 1“ hingegen wurde eine deutliche Verdichtung erst ab 35 cm registriert. Die Waldstandorte des östlichen Testgebietes sind nur wenig verdichtet. Die des westlichen Testgebietes weisen zwischen 10-20 cm eine Verdichtung auf. Organische Reststoffe innerhalb des

Ah-Horizontes sind auf relativ wenigen Flächen der ungenutzten Standorte aufgetreten. Insgesamt gibt es keinen Unterschied zwischen den Testgebieten. Die meisten Reststoffe sind auf den Bracheflächen festgestellt worden. In 0-5 cm sind auf allen drei Flächen Reststoffe registriert worden. Auf der Fläche „Wald Ost 3“ sind keine organischen Reststoffe erkennbar gewesen, auf „Wald Ost 5“ hingegen schon. Bei den westlichen Waldflächen sind Rückstände bei „Wald West 2,3 &4“ ermittelt worden. In 5-30 cm sind auf den Standorten ohne Nutzung keine organischen Reststoffe aufgefunden worden. Der Carbonatgehalt ist bei den Wald- und Brache flächen insgesamt gering. Es überwiegen, betrachtet man beide Tiefen, die Kennzeichnung c0 (carbonatfrei) und c1 (sehr carbonatarm) (Bezeichnungen nach Ad-hoc-AG Boden 2005). Die Standorte des östlichen Testgebietes weisen am häufigsten die Klasse c1 (sehr carbonatarm) auf, die Wertespanne reicht von c0 (carbonatfrei) bis c4 (carbonatreich). Dieser hohe Gehalt an Carbonat ist auf der Fläche „Wald Ost 3“ in 5-30 cm festgestellt worden. Auf den Waldflächen des westlichen Testgebietes sind keine so hohen Werte festgestellt worden. Hier reicht die Spanne von c0 (carbonatfrei) bis c2 (carbonatarm). Die Durchwurzelung ist stark ausgeprägt auf den Standorten ohne Nutzung. Es kann dabei kein Unterschied zwischen den Testgebieten festgestellt werden. Auf den Waldflächen „Wald Ost 3 & 5“ sind stark entwickelte Wurzelmatte ausgebildet gewesen, diese zeigt Abbildung 22. In 5-30 cm nimmt die Stärke der Durchwurzelung ab. Hier ist sie hauptsächlich als mittel bezeichnet worden.



Abb. 22: Dicke Wurzelmatte auf "Wald Ost 3" durchmischt mit organischer Auflage.

Auf den Standorten ohne Landnutzung ist insgesamt keine dominierende Porenart ermittelt worden. Mit der Tiefe geht die Tendenz von Mittelporen in 0-5 cm zu Feinporen in 5-30 cm. Die Anzahl an Nennungen der Grobporen ist konstant. Im östlichen Testgebiet sind auf den Waldflächen wenige Poren verzeichnet worden. Auffallend sind die gut entwickelten Bioporen in 5-30 cm auf „Wald West 4“ gewesen, diese sind auf Abbildung 23 zu sehen.



Abb. 23: Starke Ausprägung der Bioporen in 5-30 cm auf "Wald West 4".

5.2.1.2.1 Bodengefüge

In Tabelle 11 sind die Mittelwerte des Bodengefüges in Prozent dargestellt, als Ergebnisse nach der Bestimmung mit der KA5. Erkennbar ist, dass auf den ungenutzten Flächen in beiden Tiefen das Krümelgefüge vorherrschend ist. In 5-30 cm ist ebenso das Subpolyeder- und Polyedergefüge vertreten.

Das Einzelkorngefüge tritt in den oberen 0-5 cm mit durchschnittlichen 6,17 % auf. Der SE ist mit 4,9 jedoch hoch, was darauf schließen lässt, dass die Werte recht stark variieren. In 5-30 cm sinkt der Anteil des Einzelkorngefüges auf 4,64 %. Die Dominanz des Krümelgefüges wird in 0-5 cm mit durchschnittlichen 67,50 % deutlich. In 5-30 cm verringert sich der Anteil auf 37,62 %. Am zweithäufigsten ist im oberen Horizont das Subpolyedergefüge mit 25,62 % vertreten. Mit der Tiefe steigt der Prozentsatz des Subpolyedergefüges leicht an, auf 33,92 %. Abbildung 24 zeigt die Gefügeausprägung der Fläche „Wald Ost 3“, auf welcher in 5-30 cm der Subpolyederanteil deutlich zunimmt. Das Polyedergefüge tritt in 0-5 cm mit 0,72 % äußerst selten auf. In 5-30 cm

steigt der Prozentanteil jedoch auf 15,11 % an. Das Klumpengefüge ist auf den ungenutzten Flächen in 0-5 cm nicht vertreten. In 5-30 cm treten durchschnittlich 8,33 % Klumpen auf. Jedoch ist hier der SE mit 5,0 recht hoch, was auf eine starke Streuung hindeutet. Nimmt man die Ergebnisse der einzelnen Flächen hinzu (Abb.A1 & A2) wird deutlich, dass dieser Prozentsatz nur durch eine Fläche entsteht. Nur auf „Brache Ost 4“ ist das Klumpengefüge ermittelt worden.

Tab. 11: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Standorte ohne Nutzung nach KA5.

Tiefe	Gefügeart	Ungenutzt	SE
0-5 cm	Einzelkorn	6.17	4.9
	Krümel	67.5	8.2
	Subpolyeder	25.62	6.4
	Polyeder	0.72	1
	Klumpen	0	0
5-30 cm	Einzelkorn	4.64	4.9
	Krümel	37.62	11
	Subpolyeder	33.92	11
	Polyeder	15.11	7.9
	Klumpen	8.33	5

SE = Standardfehler des Mittelwertes



Abb. 24: Gefügeausprägung der Fläche „Wald Ost 3“ mit dem erhöhten Vorkommen von Subpolyedergefüge in 5-30 cm.

In Abbildung A1 ist als Kreisdiagramm die Gefügeausprägung der Standorte im Paarvergleich dargestellt, die mittels der KA5 bestimmt wurde. Erkennbar ist, dass auf den Standorten ohne Nutzung das Krümelgefüge dominiert, in einem höheren Prozentsatz als auf den Ackerstandorten. So tritt auf der Fläche „Wald Ost 3“ zu 100 % das Krümelgefüge auf und auf den Flächen „Wald West 1 & 3“ zu 95 % und 90 %. Als „Ausreißer“-Flächen kann der Standort „Brache Ost 4“ in 5-30 cm angesehen werden, da dort kein Krümelgefüge auftritt, wie in 0-5 cm, sondern zu jeweils 50 % Klumpen und Polyedergefüge. Ebenso weicht der Standort „Wald Ost 5“ aufgrund des hohen Einzelkorngefügeanteils von 50 % in beiden Tiefen ab. Im westlichen Testgebiet sind bei „Wald West 1 & 2“ in 5-30 cm Tiefe sehr hohe (100 % und 85 %) Subpolyedergefüge-Anteile aufgenommen worden. Sowie bei „Wald West 4“ mit 70 % ein hoher Prozentanteil an Polyedergefüge.

Betrachtet man das Bodengefüge der Wald- und Brachestandorte nach KA5 nach der Häufigkeit des Auftretens, wird das Vorherrschen des Krümelgefüges auch in Tabelle A6.1 deutlich. So tritt am häufigsten das Krümelgefüge auf, nur leicht weniger häufig das Subpolyedergefüge. Auch das Einzelkorngefüge ist relativ häufig genannt, da auf vielen Flächen geringe Anteile auftreten. Auf den Waldflächen des östlichen Testgebietes ist das Polyedergefüge nicht ermittelt worden. Auf den östlichen Bracheflächen ist nur auf „Brache Ost 4“ in 5-30 cm das Polyeder- und Klumpengefüge ermittelt worden.

5.2.1.2.2 Bodenart

Die dominierende Bodengruppe der Standorte ohne Nutzung beider Testgebiete ist, nach der Bestimmung mit der KA5, die der Tonschluffe. Im östlichen Testgebiet kommt noch die Gruppe der Sandschluffe hinzu, im westlichen Gebiet die der Normallehme (Tab. A1.1 - 4.2 & A6.1). Insgesamt dominieren auf den ungenutzten Standorten die Bodenarten stark schluffiger Ton (Tu4) und schluffiger Lehm (Lu). Im östlichen Testgebiet treten vermehrt Böden mit Sandanteilen auf. Hier dominieren die Bodenarten stark schluffiger Sand (Su4), schluffiger lehmiger Sand (Slu) und sandiger Schluff (Us). Auf den Brachestandorten, die weiter nördlich im Testgebiet liegen, treten hingegen stark schluffiger Ton (Tu4) und schluffiger Lehm (Lu) auf. Bodenarten wie schwach toniger Lehm (Lt2), stark schluffiger Ton (Tu4) und stark toniger Schluff (Ut4) herrschen auf den westlichen Waldböden vor. Zwischen den Tiefen 0-5 cm und 5-30 cm und dem B-Horizont ist kein deutlicher Unterschied festzustellen.

5.2.1.3 Vegetation

Die Vegetation der Waldstandorte unterscheidet sich naturgemäß von denen der Brachestandorte. Einige Arten sind sowohl auf Wald- als auch Brachestandorten festgestellt worden. Diese sind Beifuß (*Artemisia vulgaris*), Schilf (*Phragmites australis*), mittlerer Klee (*Trifolium medium*), Brenndolde (*Cnidium dubium*), wehrlose Trespe (*Bromus inermis*) und der gewöhnliche Steinklee (*Melilotus officinalis*).

Die Waldstandorte sind Birkenwälder (*Betula*) mit Steinbeere (*Rubus saxatilis*) und Hagebutte (*Rosa canina*) im Unterbewuchs. Pappeln (*Populus*) stehen auf allen Waldstandorten, ausgenommen „Wald Ost 3“ (Tab.A1.1 & A1.2). Auf allen westlichen Waldflächen sind Hagebutten (*Rosa canina*) und das weichhaarige Lungenkraut (*Pulmonaria mollis*) aufgefunden worden. Nur auf den östlichen Standorten sind hingegen die folgenden Arten aufgetreten: Krähenauge (*Strychnos nux-vomica*), Frühlings-Platterbse (*Lathyrus vernus*), gewöhnliches Mädesüß (*Filipendula ulmaria*), großer Wiesenkopf (*Sanguisorba officinalis*) und Schilf (*Phragmites australis*).

Vereinzelte Arten kamen nur auf wenigen Waldstandorten vor: die Walderdbeeren (*Fragaria vesca*) auf „Wald West 1,2 & 5“, der Schachtelhalm (*Equisetum palustre*) auf „Wald West 1 & 4“ und „Wald Ost 5“, das Boreales Labkraut (*Galium boreale*) auf „Wald West 1 & 5“ und „Wald Ost 5“, das rundliche Birnengrün (k.A.) auf „Wald West 1 & 2“ und „Wald Ost 5“, der mittlerer Klee (*Trifolium medium*) auf „Wald West 1 & 5“, die Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) auf „Wald West 2 & 5“, der Wiesen-Storchenschnabel (*Geranium pratense*) auf „Wald West 2 & 5“ und auf „Wald Ost 5“, der Faulbaum (*Frangula dodonei*) auf „Wald West 5“ und „Wald Ost 3“ und Brenndolde (*Cnidium dubium*) auf „Wald West 5“ und „Wald Ost 3 & 5“.

Auf allen Bracheflächen kamen die folgenden Arten vor: Löwenzahn (*Taraxacum sect. Ruderalia*), Beifuss (*Artemisia vulgaris*) und die Wiesen-Platterbse (*Lathyrus pratensis*). Zudem war die Wilde Pastinake (*Pastinaca sativa*) stark vertreten (Tab.A1.1).

Die Kriech-Quecke (*Elymus repens*), der gewöhnliche Steinklee (*Melilotus officinalis*) und die wilde Pastinake (*Pastinaca sativa*) sind auf den „Brachen Ost 1 & 2“, die Schafgarbe (*Achillea millefolium*) und Moos (k.A.) auf „Brache Ost 2 & 4“ festgestellt worden.

5.2.2 Labor

5.2.2.1 Lagerungsdichte

Wie Tabelle 12 zeigt, liegt die mittlere Ld der Standorte ohne Nutzung in 0-5 cm bei $0,82 \text{ g/cm}^3$, was der Bezeichnung sehr gering entspricht (Bezeichnungen nach Ad-hoc-AG Boden 2005). Der minimale Wert liegt bei $0,41 \text{ g/cm}^3$. Der maximale Wert ist mit $1,4 \text{ g/cm}^3$ relativ hoch und liegt im Bereich der gering bis mittel schweren Böden. In 5-30 cm nimmt die Ld der ungenutzten Standorte, mit $1,03 \text{ g/cm}^3$ (sehr gering) leicht zu. Deutlich wird dies auch in Abbildung 18: die Ld der Waldböden in 0-5 cm sind geringer als jene in 5-30 cm Tiefe. Die Mediane der beiden Verteilungen liegen weit auseinander. Die Streuung der Werte in beiden Tiefen ist, verdeutlicht durch die inhomogene Verteilung der Ld der ungenutzten Standorte, überaus groß. Die vergleichende Betrachtung der Wald- und Brache Flächen zusammen ist in diesem Fall ungünstig, da drei von sieben Flächen Brache Flächen sind. Deren Ld liegt im Mittel bei $1,26 \text{ g/cm}^3$ (gering) und somit über denen der Waldflächen (Tab. A6.2 & A7).

Tab. 12: Mittelwerte der Lagerungsdichten der Standorte ohne Nutzung in g/cm^3 .

Tiefe	Landnutzung	N	Mittelwert	Minimaler Wert	Maximaler Wert	SE	Varianz
0-5 cm	Ungenutzt	60	0.82	0.41	1.4	0.04	0.07
5-30 cm	Ungenutzt	60	1.03	0.56	1.4	0.03	0.05

SE = Standardfehler des Mittelwertes

Die Ld der Waldböden sind die geringsten. Deren Mittelwert liegt im östlichen Testgebiet bei $0,68 \text{ g/cm}^3$ (sehr gering) (Tab. A6.2 & A7), im westlichen Testgebiet bei $0,84 \text{ g/cm}^3$ und ist als sehr gering zu bezeichnen. Der niedrigste Wert liegt bei $0,50 \text{ g/cm}^3$ (sehr gering) bei Messpunkt „Wald Ost 3“ in 0-5 cm, der Höchstwert liegt bei $1,04 \text{ g/cm}^3$ (sehr gering) am Messpunkt „Wald West 2“ in 5-30 cm (Tab. A2.1 – A3.2 & A6.2). Die Streuung der Ld der Waldstandorte ist relativ groß (Abb. 17) und weist weit auseinander liegende Extremwerte sowie als Ausreißer gekennzeichnete Werte auf. Die Ausreißerwerte sind Einzelwerte aus der sechsfachen Messung der Ld und sind eher auf Messfehler oder Abweichungen im Gelände zurückzuführen.

Die Bracheböden weisen in beiden Tiefen sehr hohe Lagerungsdichten auf (Tab. A6.2 & A7). In 0-5 cm liegt diese durchschnittlich bei $1,22 \text{ g/cm}^3$ (gering). In der Tiefe 5-30 cm ist der Mittelwert der Ld höher, hier beträgt er $1,30 \text{ g/cm}^3$ (gering). Dies verdeutlicht auch Abbildung 18. Die

Streuung der Werte in 5-30 cm ist geringer als in 0-5 cm. Zudem ist die Verteilung schief und es tritt ein Ausreißerwert auf. Dieser weist eine besonders geringe Ld auf.

Da nur drei Brachestandorte auf dem östlichen Testgebiet beprobt und bodenkundlich angesprochen worden sind, kann kein Unterschied zwischen den Testgebieten festgestellt werden.

5.2.2.2 pH-Werte

Die pH-Werte der Standorte ohne Nutzung weisen eine sehr weite Streuung auf. Die Werte reichen von 4,61 (stark sauer) bis 7,58 (sehr schwach alkalisch) (Tab. A6.2 & A7 & Abb.9). Die pH-Werte der Waldstandorte unterscheiden sich dabei von denen der Brachestandorte und zwischen den Testgebieten, was die enorme Streuung in Abbildung 19 bedingt.

Die durchschnittlichen pH-Werte der Waldstandorte sind sehr inhomogen und unterscheiden sich innerhalb der zwei Testgebiete. Sie liegen im östlichen Testgebiet bei 7,47 (sehr schwach alkalisch (Bezeichnungen nach Ad-hoc-AG Boden 2005)), bei den westlichen Standorten hingegen bei 4,94 (mäßig sauer) (Tab. A6.2 & A7). Beide Messpunkte im östlichen Testgebiet weisen einen pH-Wert von 7,47 (sehr schwach alkalisch) auf. In der Boxplot-Darstellung in Abbildung 19 ist nicht ersichtlich, dass die Waldstandorte die niedrigsten pH-Werte unter den drei Landnutzungen aufweisen. Die hohen pH-Werte der östlichen Standorte sind als „Ausreißer“ anzusehen und bedingen die starke Schiefe der Verteilung.

Alle drei Brachestandorte befinden sich im östlichen Testgebiet und weisen einen durchschnittlichen pH-Wert von 6,81 (neutral (Bezeichnungen nach Ad-hoc-AG Boden 2005)) auf (Tab. A6.2 & A7). Die Spannweite der Werte ist relativ weit und reicht von 6,32 (sehr schwach sauer) am Messpunkt „Brache Ost 2“ bis 7,58 (sehr schwach alkalisch) am Punkt „Brache Ost 4“ (Tab. A1.1 & A1.2, A6.1 & A7). Die Brachestandorte weisen, auch aufgrund ihrer geringen Anzahl, die geringste Streuung auf. In Abbildung 19 ist außerdem zu erkennen, dass die Verteilung sehr unsymmetrisch ist, was auf mögliche Ausreißer bei höheren pH-Werten hindeutet. Der Median liegt deutlich im unteren Bereich der Verteilung. Die Extremwerte der Verteilung befinden sich nahe dem Interquartilsabstand und verdeutlichen die geringe Streuung.

5.3 Vergleich der Ergebnisse der Ackerstandorte mit den Standorten ohne Nutzung

5.3.1 Gelände

5.3.1.1 Oberbodenansprache mit Hilfe des Soil Fingerprint Code

Die folgenden Parameter sind bei der Ansprache des Oberbodens für alle Standorte und Flächen gleich. Als beschreibendes Merkmal für die Art der Ablagerung (Environment Prefix) ist für die Flächen des östlichen Testgebietes „fe - fluviaeolian“ (fluvial-äolisch) bestimmt worden, für die Standorte des westlichen Testgebietes „e - eolian“ (äolisch) (Tab. A5.1 & A7). Als Suffix, welches die Bodenprozesse (Process Suffix) beschreibt, steht für jeden Boden „h - enriched organic carbon“ (h - angereichert mit organischem Kohlenstoff). Bei den Acker- und Brachestandorten steht zusätzlich immer ein „p – affected by agricultural activities“ (p – betroffen von ackerbaulichen Maßnahmen). Bei den Ackerstandorten wurde dieses Suffix aufgrund dreizeitiger Eingriffe vermerkt und bei den Brachestandorten aufgrund vergangener Eingriffe. Die Nummerierung der Horizonte ist jeweils bei allen Standorten „1“ für die vordefinierte Tiefe 0-5 cm und „2“ für die darunterliegenden 5-30 cm. Schon als Auswahlkriterium war wichtig, dass alle Standorte die gleiche Exposition und Hanglage aufwiesen, demnach sind die beschreibenden Parameter für alle Flächen gleich. Sie beinhalten für die Art der Neigung „s – simple“ (s - einfach) und für die Hangposition „L – Level“ (L - Ebene) (Tab.A5.3 & A7). Verschieden sind für die unterschiedlichen Landnutzungen hingegen die Horizontmerkmale (Suffixes) und die Oberflächengegebenheiten (Surface Conditions). Alle weiteren Ergebnisse des SFC sind in speziellen Kapiteln erläutert worden. Auf den Ackerstandorten ist als Horizontmerkmal nur das Merkmal „v – Distinct and prominent features resulting from shrinkage, cracking, and swelling“ auf „Acker Ost 4“ genannt. Auf den Wald- und Brachestandorten hingegen ist bis auf „Brache Ost 1 & 4“ das Merkmal „rt – Dominated by root material; forms >60 % of A-horizon“ vorherrschend (Tab.A7). Als Oberflächengegebenheiten werden auf den Ackerflächen aufgrund der unterschiedlichen Stadien der landwirtschaftlichen Nutzung mehrere genannt. Deutlich dominant ist das Merkmal „R – recently cultivated“. Da auf einigen Flächen das Klumpengefüge auftritt, sind auf „Acker Ost 5“ und „Acker West 3 & 5“ Unterpunkte der Kategorie „CF – Mineral Fragments“ genannt. Des Weiteren sind auf der Fläche „Acker Ost 4“ „X - Surface flaking“, auf „Acker West 2“ „OL - Organic Layers“, auf „Acker West 4“ „RS - Redistributed sediments on surface, tillage erosion“ und auf „Acker West 5“ „CR - Plant or crop residues; covers >30 % of surface“ genannt.

5.3.1.1.1 Bodengefüge

Die Ergebnisse der Tabelle 13 lassen erkennen, dass es Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede, im Bodengefüge zwischen den landwirtschaftlich genutzten und den ungenutzten Standorten gibt. Allen Landnutzungen ist gemein, dass das Krümelgefüge in beiden Tiefen vorherrschend ist. Außerdem nimmt das Polyedergefüge ebenso wie das Subpolyedergefüge in 5-30 cm Tiefe zu. Als Unterschied ist anzuführen, dass das Krümelgefüge auf den ungenutzten Standorten höhere Prozentanteile aufweist als auf den Ackerflächen. Das Polyedergefüge hingegen ist auf den Ackerflächen stärker vertreten.

Tab. 13: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung aus der Bestimmung mit Hilfe des Soil Fingerprint Code.

Tiefe	Gefügeart	Acker	SE	Ungenutzt	SE
0-5 cm	Einzelkorn	0.5	0.5	0	0
	Krümel	68.5	6.6	87	6.11
	Subpolyeder	28	6.5	12.5	5.64
	Polyeder	3	1.7	0.5	0.5
5-30 cm	Einzelkorn	0	0	0	0
	Krümel	45.5	6.6	54	7.1
	Subpolyeder	33.5	7.9	42.5	7.08
	Polyeder	21	10	3	2
	Platten	0	0	0.5	0.5

SE = Standardfehler des Mittelwertes

Betrachtet man die Ergebnisse der Mittelwerte des Bodengefüges aus der Bestimmung nach Fox et al. (in press) in Abbildung 25, so werden Unterschiede zwischen den Standorten deutlich. Auffallend ist auch hier die Dominanz des Krümelgefüges, der Prozentsatz liegt zwischen 45-85 %. Auf den Standorten ohne Nutzung in 0-5 cm tritt es am häufigsten auf, auf den Ackerstandorten in 5-30 cm am seltensten. Insgesamt ist das Krümelgefüge auf den ungenutzten Flächen stärker vertreten als auf den Ackerflächen. Ebenso ist es in den oberen 0-5 cm stärker ausgeprägt als in 5-30 cm Tiefe. Das Subpolyedergefüge liegt auf allen Standorten bei 15-40 %. Am wenigsten tritt es auf den ungenutzten Flächen in 0-5 cm auf, am häufigsten auf den ungenutzten Flächen in 5-30 cm. Am geringsten ausgeprägt ist das Polyedergefüge. Zudem tritt es in den oberen 0-5 cm seltener auf als in 5-30 cm Tiefe. Auf den Ackerflächen in 0-5 cm liegt es etwa bei 4 %, auf den ungenutzten Flächen bei 1-2 %. Am häufigsten tritt das Polyedergefüge auf den Ackerflächen in 5-30 cm auf. Hier liegt es bei durchschnittlichen 20 %.

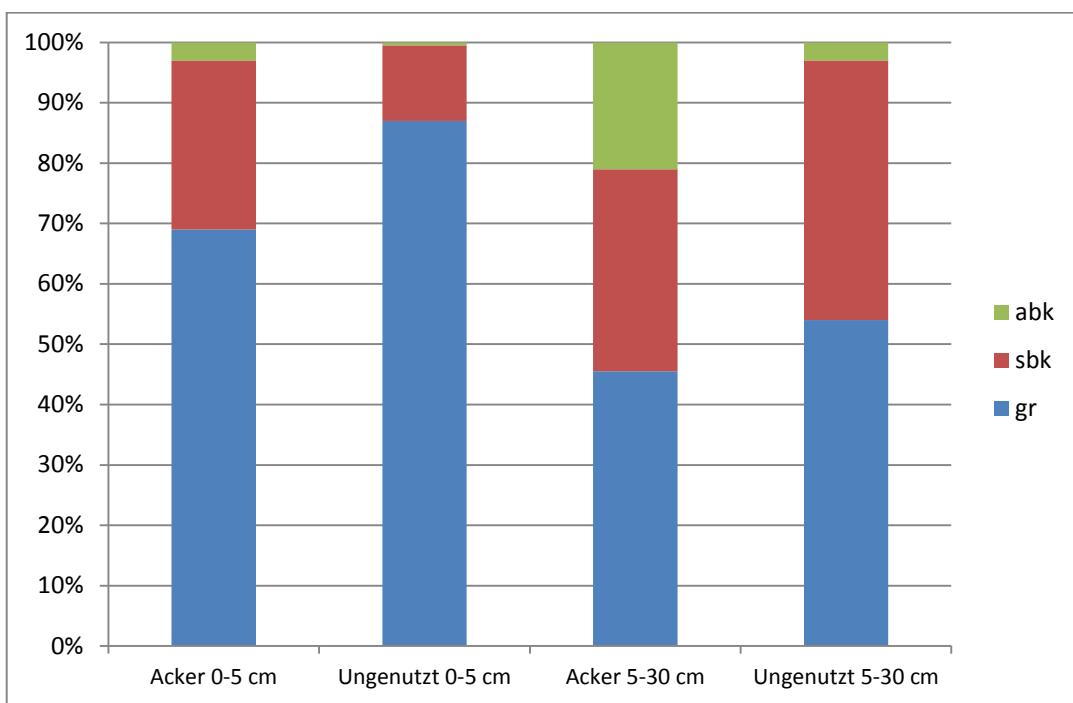


Abb. 25: Prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung, aus der Bestimmung mit Hilfe des Soil Fingerprint Code. Die Datengrundlage bilden errechnete Mittelwerte.

(abk = Polyedergefüge, sbk = Subpolyedergefüge, gr = Krümelgefüge)

Auch Abbildung A1 & A2 verdeutlichen insgesamt die starke Ausprägung des Krümelgefüges. Ebenso wird beim Betrachten der Kreisdiagramme deutlich, wo Abweichungen und „Ausreißer“-Standorte auftreten und in welchem Fall ein Paar sich deutlich unterscheidet.

Die Ergebnisse der Bodengefügeanteile aus der Bestimmung des A-horizon-framework in Abbildung A2 weisen das Krümelgefüge bei dieser Bestimmungsmethode eindeutig als vorherrschendes Bodengefüge aus. Davon abweichend treten auch hier einige Standorte als Ausreißer auf: Im östlichen Testgebiet unterscheidet sich „Acker Ost 4“ in 5-30 cm durch den hohen Anteil an Polyedergefüge von den restlichen Standorten und von „Brache Ost 4“ als Flächenpaar. Im westlichen Testgebiet weicht „Acker West 1“ in 5-30 cm mit einem hohen Anteil an Polyedergefüge, wie auch „Wald West 1“ mit einem hohen Anteil an Subpolyedergefüge vom Durchschnitt ab. Bei den Flächen des Paares „Acker & Wald West 4“ kommen relativ hohe Subpolyedergefüge-Anteile vor. Auf der Fläche „Acker West 5“ tritt in 0-5 cm zu 65 % das Subpolyedergefüge auf, in 5-30 cm Tiefe wechselt es zu Polyedergefüge. Mit diesem rapiden Wechsel fällt die Fläche als Ausreißer auf. Zudem ist der Standort grob unterschiedlich zu „Wald West 5“, auf welchem das Krümelgefüge dominiert.

Die Auswertung der Häufigkeiten des Auftretens in Tabelle A7 und zudem in Tabelle 13 unterstützt das Ergebnis, dass das Krümelgefüge auf allen Landnutzungen dominant auftritt.

Insgesamt zeigen die Häufigkeiten keine besonderen Unterschiede zwischen den Landnutzungen. Deutlich wird jedoch, dass das Polyedergefüge auf den Ackerstandorten häufiger auftritt. Die Größenausprägung der Gefügeteilchen ist zwischen den Landnutzungen leicht unterschiedlich. So tritt auf den Ackerflächen hauptsächlich die Klasse „mf – medium to fine“ und danach die Klasse „cf – coarse to fine“ auf. Auf den Standorten ohne Nutzung dominiert hingegen die Klasse „fm – fine to medium“, gefolgt von „vfm – very fine to medium“ und „mf – medium to fine“. Die Konsistenz der Gefügepartikel ist auf allen Landnutzungen hauptsächlich der Klasse 1 „loose, soft, very friable, friable“ (Fox et al. in press) zugeordnet. Auf den Ackerflächen tritt doppelt so oft wie auf den Standorten ohne Nutzung die Klasse 2 „firm, hard“ auf. Dies trifft vor allem für die Standorte des westlichen Testgebietes in 0-5 cm zu. Mit der Tiefe ändert sich die Konsistenz nicht. Die Betrachtung der Anordnung der Gefügearten (Structure Arrangement) in Tabelle A5.1 zeigt, dass es einen Unterschied zwischen den Landnutzungen gibt. So tritt auf den Standorten ohne Nutzung, mit nur einer Ausnahme auf „Wald West 5“, das Symbol „-- - Parting to series of smaller soil peds“ auf. Auf der Hälfte der Ackerflächen tritt außerdem das Symbol „+ - All structure types are present; random“ auf.

5.3.1.1.2 Bodenart

Es handelt es sich bei den untersuchten Böden mit Hilfe des SFC hauptsächlich um Lehme mit verschiedenen Gewichtungen an Schluff-, Ton- und Sandanteilen. Die Bodenarten der Ackerstandorte unterscheiden sich nicht von denen der ungenutzten Standorte. Ein Unterschied besteht hingegen zwischen den Böden des östlichen zu denen des westlichen Testgebietes (Tab. A2.1-3.2 & A7). So sind die Böden des östlichen Testgebietes deutlich sandiger. Nach dem SFC sind im Osten vor allem sandige Lehme (SL) und schluffige Lehme (SiL). Im Westen überwiegt die Bodenart schluffiger Lehm (SiL). Es wurde kein Unterschied der Bodenart mit der Tiefe festgestellt.

5.3.1.1.3 Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse der Ergebnisse des SFC zeigt, dass nur wenige Gemeinsamkeiten der Korrelationsergebnisse der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung bestehen (Tab.4,5,9 & 10). In 0-5 cm ist die Gemeinsamkeit, dass das Krümelgefüge der Landnutzungen stark negativ mit dem Subpolyedergefüge korreliert. Des Weiteren bestehen in 0-5 cm einige Unterschiede zwischen den Standorten mit und ohne landwirtschaftliche Nutzung. Auf den Flächen ohne Nutzung sind Korrelationen mit den Horizontmerkmalen angegeben, da hier verschiedene Merkmale eingesetzt

wurden. Diese korrelieren mit der Lagerungsdichte und mit der Landnutzung. Auf den Ackerstandorten ist das Gefüge untereinander deutlicher korreliert. Hier steht das Polyedergefüge mit dem Krümel- und ebenso mit dem Subpolyedergefüge in Zusammenhang.

In 5-30 cm unterscheiden sich die Landnutzungen in allen Korrelationen voneinander. So korreliert das Krümelgefüge hier anders: auf den Ackerflächen besteht ein statistischer Zusammenhang mit der Landnutzung, auf den ungenutzten Standorten mit dem Subpolyedergefüge. Das Subpolyeder- und Polyedergefüge korreliert auf den Ackerflächen mit dem pH-Wert. Auf den Standorten ohne Nutzung besteht dieser Zusammenhang nicht. Hier weist die Lagerungsdichte einen positiven statistischen Zusammenhang mit der Landnutzung auf.

5.3.1.1.4 Clusteranalyse

Die hierarchische Clusteranalyse zeigt eine relativ deutlich Mustererkennung und Gruppierung der Messpunkte. Die Analyse unterscheidet zwischen den beiden Messtiefen 0-5 cm und 5-30 cm. In die Analyse fließen alle Ergebnisse des SFC ein. In Abbildung 26 ist der Gehalt an Krümelgefüge der Gruppierungen dargestellt, da dieser eine gute Übereinstimmung mit der Clusterbildung zeigt.

In 0-5 cm Tiefe sind drei Cluster ermittelt worden. Innerhalb der Cluster ist insgesamt eine Tendenz zwischen Acker- und ungenutzten Standorten auszumachen. Den Clustern sind die Gehalte an Krümelgefüge der Standorte zugeteilt. Diese umfassen die Gruppierung 30-50 %, 90-100 % und 70-80 % Krümelgefüge. In der ersten Gruppe sind hauptsächlich Ackerstandorte aus dem westlichen Testgebiet vertreten. Die Ausnahme bildet „Acker Ost 1“. Der Waldstandort „Wald West 4“ ist ebenfalls in diesem Cluster angesiedelt. Die zweite Gruppe, mit einem sehr hohen Krümelgefügegehalt, bildet die größte Clusterung in der die Standorte ohne Nutzung vorherrschen, speziell die Waldstandorte. Ausnahme bildet hier die Ackerfläche „Acker Ost 2“. Außerdem treten die Bracheflächen „Brache Ost 1 & 4“ in diesem Cluster auf. Im dritten Cluster sind größtenteils Ackerflächen vertreten. Insgesamt ist diese Gruppe stark durchmischt. Hier treten außerdem die Flächen „Brache Ost 2“, „Wald Ost 5“ und „Wald West 2“ ohne Nutzung auf.

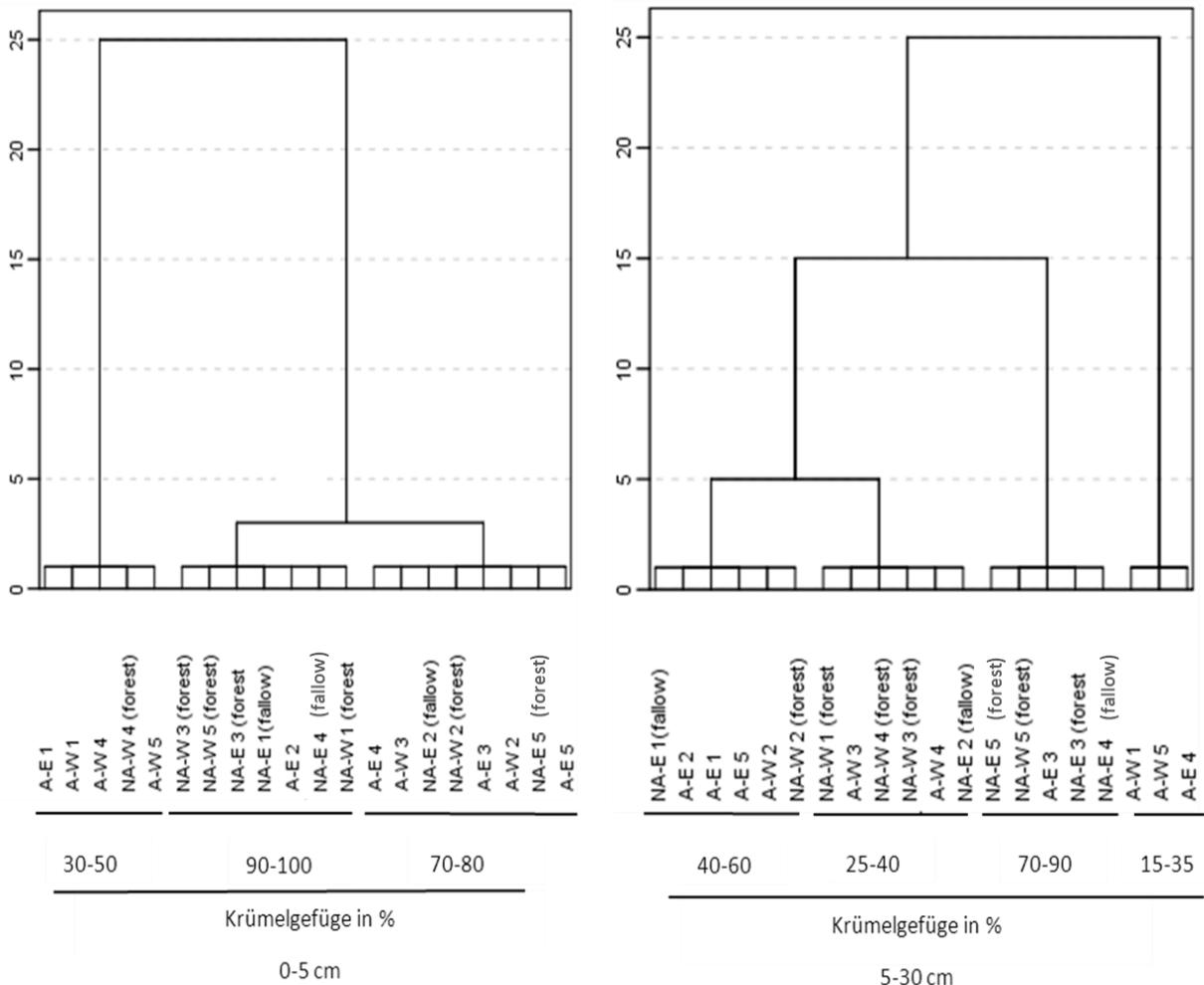


Abb. 26: Dendrogramm der Clusteranalyse (Ward-Methode) des Soil Fingerprint Code in 0-5 cm und 5-30 cm. A-E = Ackerfläche im östlichen Testgebiet, A-W = Ackerfläche im westlichen Testgebiet, NA-E = Fläche ohne Nutzung im östlichen Testgebiet, NA-W = Fläche ohne Nutzung im westlichen Testgebiet, Forest = Wald, Fallow = Brache.

In der zweiten Tiefe von 5-30 cm sind vier Cluster gebildet worden. Die Gehalte an Krümelgefüge liegen in der ersten Gruppierung zwischen 40-60 %, in der zweiten bei 25-40 %, in der dritten bei 70-90 % und in der vierten Gruppe bei 15-35 %. In der Tiefe von 5-30 cm ist die Gruppierung zwischen dem östlichen und dem westlichen Testgebiet deutlicher als in den oberen 0-5 cm. Im ersten Cluster sind überwiegend Ackerstandorte vertreten, überwiegend aus dem östlichen Testgebiet. Ausnahmen bilden „Brache Ost 1“ und „Wald West 2“. Im zweiten Cluster dominieren die Standorte ohne Nutzung, vor allem die Waldstandorte aus dem westlichen Testgebiet. Weiter sind hier die Flächen „Acker West 3 & 4“ und „Brache Ost 2“ vertreten. In der dritten Gruppierung sind größtenteils ungenutzte Standorte aus dem östlichen Testgebiet. Überwiegend sind diese

Waldstandorte sowie „Acker Ost 3“ und „Brache Ost 4“. Im letzten Cluster liegen, mit dem geringsten Gehalt an Krümelgefüge, nur Ackerflächen.

Zusammenfassend sind relativ eindeutige Ergebnisse aus der Clusteranalyse des SFC zu schließen. So lässt sich erkennen, dass in den Clustern mit den höchsten Anteilen an Krümelgefüge in beiden Tiefen, bis auf jeweils eine Ausnahme, nur Wald- und Brachestandorte sind. In 0-5 cm sind die ersten beiden Cluster relativ gut in Ackerstandorte mit niedrigen Krümelgefügegehalten und ungenutzte Standorte mit hohen Anteilen zu trennen. In 5-30 cm ist die Gruppierung etwas durchmischter. Hier dominieren die Ackerstandorte in den Clustern mit geringen Anteilen an Krümelgefüge.

5.3.1.2 Oberbodenansprache nach KA5

Die Ausprägung einiger Parameter, die mit der KA5 ermittelt wurden, ist für alle Messpunkte gleich. So ist die Bodenfeuchte aller beprobten Böden in beiden Tiefen als „schwach feucht“ beschrieben worden (Tab. A1.1 - 4.2 & A6.1 - 6.2). Merkmale wie Marmorierungen, Mangan- und Eisenkonkretionen als Zeichen für Hydromorphie treten nur im B-Horizont auf. Die Bodenfarbe der oberen 30 cm wurde meist als grau, schwarz oder grau-schwarz bezeichnet. Im B-Horizont ist die Bodenfarbe durchgängig als braun bis hell-braun bezeichnet worden. Unterschiedliche Ergebnisse traten bei den verschiedenen Landnutzungen für die Angabe einer organischen Auflage auf. Auf keinem der Ackerstandorte ist eine solche erkennbar gewesen. Auf den Wald- und Brachestandorten ist dagegen auf allen Flächen eine L- und Of-Lage festgestellt worden.

Bei der Betrachtung der Ah-Mächtigkeit und der Verdichtung ergeben sich keine gravierenden Unterschiede. Organische Reststoffe innerhalb des Ah-Horizontes sind mit Ausnahme der Bracheplätze verstärkt auf den Ackerflächen aufgetreten. In 5-30 cm sind auf den ungenutzten Standorten keine Rückstände erkennbar gewesen. Auf den Ackerflächen sind hingegen teilweise erhöhte Anteile aufgetreten. Der Carbonatgehalt der Standorte ohne Nutzung ist tendenziell leicht höher als der der Ackerstandorte. Es treten auf häufiger Carbonatgehalte oberhalb der Klasse c1 (sehr carbonatarm) auf. Die Durchwurzelung weist große Unterschiede zwischen den Landnutzungen auf. Auf den Ackerstandorten ist sie nur sehr schwach ausgeprägt, auf den Standorten ohne Nutzung ist sie hingegen stark entwickelt. Die Ausprägung der Bodenporen ist ebenfalls auf den verschiedenen Nutzungen unterschiedlich. Auf den Ackerflächen dominieren die Feinporen und nur selten werden Grobporen genannt. Auf den Wald- und Brachestandorten hingegen sind zu annähernd gleichen Teilen Fein-, Mittel- und Grobporen ermittelt worden.

5.3.1.2.1 Bodengefüge

Der Vergleich der Ackerstandorte mit den ungenutzten Standorten in Tabelle 14 zeigt, dass nach der Bestimmung mit der KA5 leichte Unterschiede zwischen den Landnutzungen bestehen. In 0-5 cm ist auf allen Standorten das Krümelgefüge mit relativ hohen Anteilen des Subpolyedergefuges dominant. Auf den Ackerflächen ist zudem das Polyedergefüge mit 6 % aufgetreten. In 5-30 cm ist auf den Ackerflächen das Subpolyedergefüge mit 45 %, auf den ungenutzten Standorten hingegen zu etwa gleichen Anteilen das Krümel- und Subpolyedergefüge vorherrschend. Außerdem steigt auf allen Landnutzungen das Polyedergefüge in 5-30 cm an, auf den Ackerstandorten jedoch stärker. Das Klumpengefüge dominiert in 0-5 cm auf den Ackerflächen. In 5-30 cm Tiefe dominiert es auf den ungenutzten Standorten.

Tab. 14: Gemittelter prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung nach KA5.

Tiefe	Gefügeart	Acker	SE	Ungenutzt	SE
0-5 cm	Einzelkorn	6.3	2	6.17	4.9
	Krümel	48.5	9	67.5	8.2
	Subpolyeder	30	4.1	25.62	6.4
	Polyeder	6	3.7	0.72	1
	Klumpen	9.2	6.4	0	0
5-30 cm	Einzelkorn	3.5	1.3	4.64	4.9
	Krümel	27	6.5	37.62	11
	Subpolyeder	45.5	7.7	33.92	11
	Polyeder	21.5	8.5	15.11	7.9
	Klumpen	0.5	0.5	8.33	5

SE = Standardfehler des Mittelwertes

Abbildung 27 zeigt die Mittelwerte des Bodengefüges in Prozent in einem Balkendiagramm. Dargestellt ist das Gefügevorkommen für Ackerstandorte und ungenutzte Standorte nach der Bestimmung mit der KA5. Das Auftreten von Einzelkorngefüge ist auf allen Flächen und in beiden Tiefen mit 5-8 % etwa gleich. Auf den Flächen ohne ackerbauliche Nutzung liegt das Vorkommen von Krümelgefüge um etwa 15-20 % höher als auf Flächen unter landwirtschaftlicher Nutzung. In 5-30 cm ist auf den Ackerflächen das Krümelgefüge am geringsten vertreten. Hier beträgt es durchschnittlich nur 25 %. Mit 65 % tritt es am häufigsten hingegen auf den ungenutzten Standorten in 0-5 cm auf. Insgesamt ist das Krümelgefüge in den oberen 0-5 cm stärker ausgeprägt als in 5-30 cm. Das Subpolyedergefüge liegt durchschnittlich zwischen 25-45 %. Auf den

Ackerflächen in 5-30 cm ist es am häufigsten vertreten; auf den ungenutzten Standorten in 0-5 cm am geringsten. Das Polyedergefüge ist insgesamt nicht stark ausgeprägt. Auf den ungenutzten Standorten in 0-5 cm liegt es nur bei etwa 2 %. Am häufigsten vertreten ist es auf den Ackerflächen in 5-30 cm (25 %). Das Auftreten von Klumpengefüge ist auf die Ackerflächen in 0-5 cm (8 %) und die Standorte ohne Nutzung in 5-30 cm (10 %) beschränkt. Aufgenommen wurde das Klumpengefüge auf den Ackerstandorten „Acker West 4 & 5“ und auf den ungenutzten Standorten bei „Brache Ost 4“ (Abb.A1 & A2).

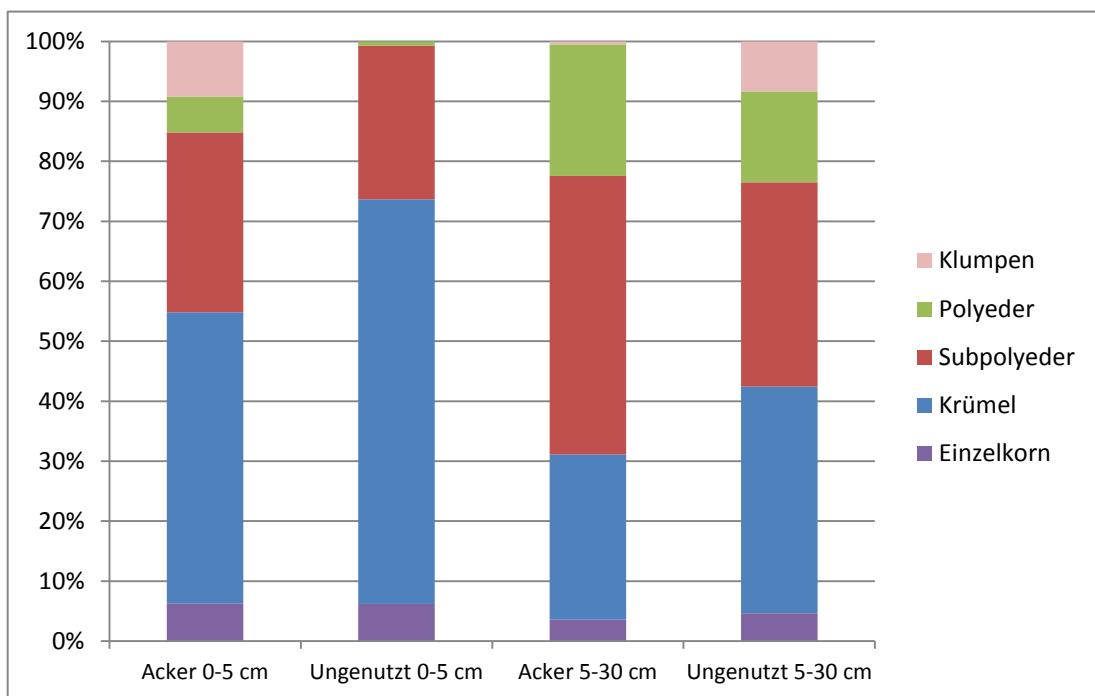


Abb. 27: Prozentualer Anteil des Bodengefüges der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung, nach KA5. Die Datengrundlage bilden errechnete Mittelwerte.

Die Kreisdiagramme der Flächenpaare in Abbildung A1 mit den Ergebnissen nach KA5 zeigen, dass die Werte des Paares „Acker Ost 4“ und „Brache Ost 4“ in 5-30 cm als deutliche Abweichung beurteilt werden können. Ausschließlich hier treten hohe Werte des Polyedergefüges und bei der Brachefläche zudem Klumpengefüge auf. Diese Werte sind mit denen der oberen 0-5 cm nicht vergleichbar und unterscheiden sich stark von den anderen Probeflächen. Die Fläche „Acker Ost 5“ weist aufgrund der hohen Sandanteile der Bodenart hohe Prozentanteile des Einzelkorngefüges auf. Dadurch muss es als Einzelfall betrachtet werden. Als Paar unterscheidet es sich ebenfalls, da bei „Acker Ost 5“ das Einzelkorngefüge zu kleineren Anteilen auftritt. Im westlichen Testgebiet treten mehr Probleme beim Vergleich der Standorte untereinander auf. Bei „Acker West 1 & 2“ sowie

den Paarkomponenten „Wald West 1 & 2“ treten in der Tiefe 5-30 cm auf den Ackerflächen relativ hohe Polyedergefüge-Anteile auf. Auf den Waldflächen ist daneben auch zu hohen Anteilen das Subpolyedergefüge vertreten. Auf dem Standort „Wald West 1“ liegt der Wert sogar bei 100%. Damit unterscheiden sich die Standorte stark innerhalb der beiden Tiefen, als Paar und von den anderen Probeflächen. Untereinander wären diese beiden Standorte wiederrum gut vergleichbar. Bei dem Flächenpaar „Acker West 3“ und „Wald West 3“ tritt auf dem Ackerstandort relativ viel Subpolyedergefüge auf. „Acker West 4“ fällt mit seinem hohen Anteil an Klumpengefüge in 0-5 cm als Ausreißer auf. Zudem tritt in beiden Tiefen kein Krümelgefüge auf. Bei „Wald West 4“ sind die Krümelgefügeanteile ebenso sehr niedrig. In 5-30 cm tritt ein sehr hoher Anteil an Polyedergefüge auf. Dadurch sind die Standorte als Paar schwer zu vergleichen und weichen deutlich vom Durchschnitt ab.

Bei der Betrachtung der Häufigkeiten des Auftretens der Bodengefügearten aller Landnutzungen sind leichte Unterschiede in Tabelle A6.1 festzustellen. So ist die Anzahl des Subpolyedergefüges auf den Ackerstandorten höher als das Krümelgefüge, das sonst vorherrschend ist. Auf den Standorten ohne Nutzung ist die Dominanz des Krümelgefüges hingegen deutlich. Auf den Ackerflächen ist die Nennung des Einzel- und des Klumpengefüges höher als auf den Standorten ohne Nutzung. Ebenfalls ist das Polyedergefüge auf den Ackerflächen erhöht aufgetreten. Mit der Tiefe ergeben sich nach dieser Auswertung keine deutlichen Unterschiede im Bodengefüge.

5.3.1.2.2 Bodenart

Die Bestimmung der Bodenart mit der KA5 unterscheidet sich nicht stark von der mit Hilfe des SFC. Die Böden unter den verschiedenen Landnutzungen sind hauptsächlich Lehme mit unterschiedlichen Anteilen an Schluff-, Ton- und Sandanteilen. Nach der KA5 dominieren im östlichen Testgebiet Sandlehme auf den Ackerflächen und Sandschluffe auf den ungenutzten Flächen. Der höhere Sandanteil der Böden im Osten ist auf den hohen Sandanteil der Böden der Waldstandorte zurückzuführen ist. Im Westen sind überwiegend schluffige Böden, speziell Tonschluffe, anzutreffen, (Tab.A6.1 & A7).

5.3.1.3 Vegetation

Erwartungsgemäß ist ein Unterschied der Vegetationsausprägung zwischen den Landnutzungen vorzufinden (Tab.1 & A1.1 – 1.2). So sind die Ackerstandorte mit Kulturpflanzen bewachsen, oft mit einer deutlichen Durchmischung der Arten und Unkrautbewuchs. Die Standorte ohne Nutzung

weisen eine Vielzahl von Arten auf, wobei sich die Wald- und Bracheflächen naturgemäß unterscheiden. Innerhalb der Nutzung sind sie jedoch gut vergleichbar. Die Waldstandorte sind Birkenwälder (*Betula*) mit Steinbeere (*Rubus saxatilis*) und Hagebutte (*Rosa canina*) im Unterbewuchs. Außerdem stehen Pappeln (*Populus*) auf allen Waldstandorten. Die Brachestandorte weisen vor allem Löwenzahn (*Taraxacum sect. Ruderalia*), Beifuss (*Artemisia vulgaris*) und die Wiesen-Platterbse (*Lathyrus pratensis*) auf. Zudem war die Wilde Pastinake (*Pastinaca sativa*) stark vertreten. Allein die Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) ist auf allen drei Landnutzungen aufgetreten.

5.3.2 Labor

5.3.2.1 Lagerungsdichte

Im Vergleich wird in Tabelle 15 deutlich, dass sich die Ackerstandorte von den Standorten ohne Nutzung unterscheiden. Mit ANOVA wurde berechnet, dass die Werte sich in allen Tiefen statistisch unterscheiden. Die ungenutzten Standorte weisen eine geringere Ld auf als die Ackerstandorte. In beiden Tiefen sind die Ld der Ackerböden höher. Der maximale Wert der ungenutzten Standorte liegt in 0-5 cm jedoch höher als der der Ackerflächen. Ebenso sind die Varianz und der SE dort relativ hoch, was auf eine starke Streuung hindeutet. Deutlich wird die inhomogene Verteilung der Ld der ungenutzten Standorte in Abbildung 18. Ein Unterschied nur zwischen Ackerflächen und ungenutzten Standorten ist für die Ld nicht sinnvoll, da sich die Ld der Waldböden signifikant von denen der Bracheflächen unterscheiden. So weisen die Ld der Waldböden zwar eine starke Streuung auf, jedoch sind sie insgesamt am niedrigsten (Tab.A6.2 & A7). Des Weiteren sind sie im östlichen Testgebiet geringer als im westlichen. Betrachtet man die einzelnen Boxplots der Bracheflächen wird deutlich, dass die Ld insgesamt sehr hohe Werte aufweisen. Die Mediane liegen oberhalb derer der Ackerstandorte. Die Dichte nimmt sowohl bei den Acker- als auch bei den Wald- und Brachestandorten mit der Tiefe zu.

Der Vergleich der pH-Werte zeigt, dass die drei Landnutzungen sich in diesem Punkt deutlich unterscheiden. Die durchschnittlichen Werte der Waldstandorte sind mit 4,94 (mäßig sauer (Bezeichnungen nach Ad-hoc-AG Boden 2005)) am sauersten, die Brachestandorte liegen mit 6,81 (neutral) im neutralen-Bereich und die Ackerstandorte liegen mit 6,35 (sehr schwach sauer) dazwischen (Abb.A1.1 – 1.2, A5.2, A6.1 & A7). Die pH-Werte der Ackerflächen weisen eine geringere Streuung auf als die Standorte ohne Nutzung. Auch der Unterschied zwischen den beiden Testgebieten ist eher gering. Ein Vergleich nur zwischen genutzten und ungenutzten Flächen ist

nicht ohne weiteres möglich, da sich die Werte der Waldstandorte des östlichen Testgebietes mit 7,47 (sehr schwach alkalisch) zu stark von denen der Brachestandorte (6,81 (neutral)) und des westlichen Testgebietes (4,94 (mäßig sauer)) unterscheiden und als „Ausreißer“ betrachtet werden müssen. Werden dennoch die Werte beider Standorte zusammen betrachtet, zeigt sich, dass die Streuung der pH-Werte der ungenutzten Standorte sehr groß ist. Die Verteilung ist symmetrisch, das heißt die Werte sind normalverteilt (Abb.19).

Tab. 15: Mittelwerte der Lagerungsdichten der Ackerstandorte und der Standorte ohne Nutzung in g/cm³.

Tiefe	Landnutzung	N	Mittelwert	Minimaler Wert	Maximaler Wert	SE	Varianz
0-5 cm	Ackernutzung ^a	60	1.00	0.71	1.3	0.02	0.02
	Ungenutzt ^b	60	0.82	0.41	1.4	0.04	0.07
5-30 cm	Ackernutzung ^a	60	1.17	0.78	1.53	0.02	0.03
	Ungenutzt ^b	60	1.03	0.56	1.4	0.03	0.05

^{a,b}: Signifikante Unterschiede innerhalb einer Tiefe. Berechnet mit einfaktorieller ANOVA bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$. SE = Standardfehler des Mittelwertes

5.3.2.2 pH-Werte

Im Paarvergleich treten Unterschiede zwischen den Landnutzungen auf (Abb.A1 & A2). Bei dem Flächenpaar „Acker und Wald Ost 3“ liegt der Ackerstandort mit 5,98 (schwach sauer) im saureren Bereich als die Waldfläche mit 7,47 (sehr schwach alkalisch). Auch der zweite Waldstandort des östlichen Testgebietes „Wald Ost 5“ weist einen mit 7,48 (sehr schwach alkalisch) hohen pH-Wert auf. „Acker Ost 5“ hat dagegen einen pH-Wert von 5,25 (mäßig sauer). Im westlichen Testgebiet sind die Waldstandorte durchgängig saurer als die Ackerstandorte. Hier besteht ein Unterschied zwischen „Acker und Wald West 2“, wobei der Wald einen niedrigeren pH-Wert von 4,61 (stark sauer) zu 6,34 (sehr schwach sauer) auf dem Ackerstandort aufweist. „Acker und Wald West 5“ zeigen einen ähnlichen Unterschied auf. Hier hat die Ackerfläche einen pH-Wert von 6,77 (sehr schwach sauer) und die Waldfläche von 4,83 (mäßig sauer).

5.4 Vergleich der Ergebnisse des Soil Fingerprint Code und der KA5

Im Vergleich der beiden Bestimmungsmethoden werden Unterschiede deutlich. Tabelle 13 & 14 beinhalten in anderer Darstellungsart die gleichen Ergebnisse zum Bodengefüge wie Abbildung 25 & 27. Es wird deutlich, dass das Einzelkorngefüge bei der Bestimmung nach der KA5 durchschnittlich mit etwa 5 % auftritt und es nach der Bestimmung mit Hilfe des SFC fehlt. Der Anteil des Krümelgefüges bei der Bestimmung nach Fox et al. (in press) ist größer als derjenige nach der KA5. Die Ausprägung des Subpolyeder- und Polyedergefüges ist gut vergleichbar. Das Klumpengefüge wurde nur bei der Bestimmung mit der KA5 unter der Rubrik Bodengefüge aufgenommen. Bei der Erstellung des SFC ist das Klumpengefüge dagegen unter Oberflächengegebenheiten (Surface Conditions) aufgenommen worden.

Vergleicht man in Abbildung A1 & A2 die Ergebnisse der zwei unterschiedlichen Bestimmungsmethoden für das Bodengefüge, so sind neben den Übereinstimmungen einige Unterschiede zu erkennen. Die hier folgenden Standorte weisen grob unterschiedliche Ergebnisse der beiden Bestimmungsmethoden auf. Insgesamt fällt auf, dass die Anteile an Polyedergefüge, die meist 5-10 % erreichen, nicht bei den gleichen Standorten auftreten. So tritt es bei den Flächen „Acker Ost 1“ und „Acker Ost 3“ in 5-30 cm nach der Bestimmung mit Hilfe des SFC auf, nach der KA5 jedoch nicht. Ebenso bei „Acker West 1“ in 0-5 cm, bei „Acker West 4“ und „Wald West 5“ in 5-30 cm bei der Methode nach der KA5 zu beobachten. Nach beiden Bestimmungsmethoden ist „Acker Ost 4“ in 5-30 cm aufgrund der hohen Polyederanteile als Ausreißer erkennbar. Nach der KA5 trifft dies ebenso auf „Brache Ost 4“ zu. Dieser Standort unterscheidet sich deutlich innerhalb der Bestimmungsmethoden. Zu massiven Unterschieden im Prozentanteil des Subpolyedergefüges kommt es bei den Flächen „Acker Ost 3“ in 5-30 cm und „Brache Ost 4“ in 0-5 cm. Sowie bei „Wald West 3 & 4“ in 5-30 cm bei denen nach den Ergebnissen des A-horizon-framework ein erheblich größerer Subpolyedergefügeanteil ermittelt wurde. In 0-5 cm Tiefe sind die Ergebnisse dieser Standorte hingegen gut miteinander vergleichbar. Bei der Fläche „Wald Ost 5“ treten deutliche Unterschiede auf. Nach der Methode der KA5 wurde zu 50 % Einzelkorngefüge ermittelt. Nach der des A-horizon-framework dominiert jedoch das Krümelgefüge. Auch „Acker West 5“ unterscheidet sich in 5-30 cm innerhalb der Methoden eindeutig, da nach der KA5 zu 60 % Subpolyedergefüge ermittelt wurde, für den SFC jedoch zu 70 % Polyedergefüge.

6 Diskussion

6.1 Ergebnisinterpretation

Mit Hilfe zweier unterschiedlicher Feldmethoden ist das Bodengefüge unter dem Einfluss verschiedener Landnutzungen im Gebiet um die Stadt Tyumen, Russland, untersucht worden. Ziel dieser Arbeit ist es mögliche Unterschiede im Bodengefüge zwischen Ackerstandorten und Standorten ohne landwirtschaftliche Nutzung zu ermitteln und damit Rückschlüsse auf den Zustand der Bodenqualität zu ziehen.

Das **Bodengefüge** spielt eine entscheidende Rolle für die Funktionalität des Bodens (Rampazzo 1998; Bronick & Lal 2005). Durch den Aufbau und die Anordnung der Aggregate werden wichtige physikalische Bodenfunktionen, wie die Lagerungsdichte, die Durchwurzelbarkeit, der Wasserhaushalt und die Belüftung beeinflusst. Auch chemische Vorgänge, wie der Nährstoffkreislauf und der pH-Wert stehen mit dem Gefüge in Verbindung. Ebenso übt es Einfluss auf die Aktivität des Bodenlebens, als biologischen Faktor, aus. Die Bildung der Aggregate, der Aufbau, die Stabilität und Wirkung des Bodengefüges sind komplex und stehen mit verschiedenen Einflussparametern in Zusammenhang (Bronick & Lal 2005). Aufgrund dieser Vielschichtigkeit ist die Diskussion in einzelne Hauptthemen gegliedert. In den Abschnitten der jeweiligen Thematik sind die ermittelten Ergebnisse erörtert.

Die **erhobenen Daten** zum Bodengefüge zeigen, dass auf allen untersuchten Landnutzungen Rund um Tyumen das Krümelgefüge vorherrschend ist. Dabei dominiert das Vorkommen besonders die Wald- und Brachestandorte, also diejenigen ohne ackerbauliche Nutzung. Hier liegt der prozentuale Anteil am Krümelgefüge höher als auf den Ackerstandorten. Das Polyeder- und Subpolyedergefüge nehmen in 5-30 cm Tiefe auf allen Landnutzungen an Prozentanteilen zu. Wobei das Polyedergefüge verstärkt auf den Ackerstandorten auftritt.

Die untersuchten **Böden der Waldsteppe** im Gebiet um Tyumen sind hauptsächlich graue Waldböden und Schwarzerden, sowie nach der Bodenkarte (Abb.5) Luvisols und Phaozems (Bezeichnungen der Karte nach WRB). Diese Böden bieten hervorragende physikalische und chemische Bodeneigenschaften, weshalb die Dominanz des Krümelgefüges auf allen Landnutzungen zu erklären ist. Die Böden weisen grundlegend einen hohen und tiefreichenden Humusanteil, mit stabilen Ton-Humus-Komplexen auf, die ein günstiges Bodengefüge mit hoher Aggregatstabilität hervorbringen (Zech & Hintermaier-Erhard 2002; Franz 1973; FAO 2001; DLG

2008; Devyatova & Shcherbakov 2006; Stolbovoi 2000). Auch die untersuchten Böden geben diese guten Bodeneigenschaften wieder.

Der, im Gegensatz zu den Standorten ohne landwirtschaftliche Nutzung, verringerte Anteil des Krümelgefüges auf den Ackerstandorten kann aus der intensiven Beanspruchung der **konventionellen Bodenbearbeitung** resultieren. Auch in der Literatur wird die Veränderung des Gefüges durch die Bodenbearbeitung bestätigt. Bereits 1988 trafen Kay et al. (1988) die Aussage, dass das Bodengefüge immer als Resultat seiner vorherigen Nutzungsgeschichte zu sehen ist. Mueller et al. (2005, 2008 & 2010) thematisieren dies wiederholt über Jahre hinweg und auch Bronick & Lal (2005) beschreiben in ihrem Review die deutliche Beeinflussung des Gefüges durch das Landmanagement und die Bodenbearbeitung.

Durch die alljährliche Lockerung des Oberbodens und die mehrfache Überfahrung nimmt das Gefüge auf Ackerstandorten deutlichen Schaden. Es kommt neben Schadverdichtungen auch zu Verschlammung, Verkrustung und Bodenerosion. Die Bodenaggregate im Oberboden der Ackerflächen werden durch die Bearbeitung mit dem Pflug zerstört. Unterhalb der Pflugtiefe wird die Kontinuität des Gefüges unterbrochen und die Transporteigenschaften für Luft und Wasser dadurch vermindert (Wöllecke 2006; Bronick & Lal 2005; Weyer & Boeddinghaus 2010). Gleichzeitig kommt es durch die Druckbelastung des Überfahrens zu einer Verdichtung der Aggregate. Dabei verringert sich das Porenvolumen in der Tiefe, was zusätzlich die Transportleistung des Gefüges verschlechtert. Des Weiteren ist das Wirken und Vorkommen des Edaphons auf konventionell bearbeiteten Ackerböden durch die regelmäßige Störung verringert. Da das Edaphon für die Bildung eines Krümelgefüges unerlässlich ist (Scheffer & Schachtschabel 2010), kann dies einer der Gründe für den reduzierten Anteil des Krümelgefüges auf den untersuchten Ackerböden sein. Das Makroporensystem der Böden ist nur bis zur Pflugtiefe entwickelt und wird wiederkehrend mit jedem Bearbeitungsgang zerstört. Ausschlaggebend für ein degradiertes Bodengefüge auf den Ackerböden ist ebenfalls der Verlust an OBS (Wöllecke 2006; Bronick & Lal 2005; Paré et al. 1999). Vor allem in Schwarzerden ist der hohe Gehalt der OBS ausschlaggebend für das gute Bodengefüge (Kiem & Kandeler 1997). Durch den stetigen Abtrag der Biomasse mit der Ernte und die in der Region Tyumen unausgewogene Rückführung mittels Dünger (DLG 2008; Kühling & Trautz 2012), geht den Böden mit der organischen Substanz der wichtigste Bindungskomplex für eine stabile Aggregatbildung verloren (Bronick & Lal 2005; Devyatova & Shcherbakov 2006). Dieser Verlust wird dadurch verstärkt, dass durch die Störung der Bodenaggregate die OBS, die zuvor physikalisch unzugänglich war, der mikrobiellen Mineralisation zur Verfügung gestellt wird (Hassink 1992). Allgemein ist die mikrobielle Aktivität und das Vorkommen von Pilzen- und Bakterien in Ackerböden aufgrund der verringerten OBS und des stellenweise verschlechterten Luft- und Wasserhaushaltes ebenfalls herabgesetzt (Bronick &

Lal 2005; Scheffer & Schachtschabel 2010). Die Minderung der genannten Faktoren, wie sie in der Literatur beschrieben ist, wird durch die ermittelten Daten der Oberbodenansprache bestätigt. So tritt in der Kategorie der Konsistenz der Gefügeteilchen im SFC der Ackerstandorte doppelt so häufig, wie auf den ungenutzten Standorten, die Klasse „2 - firm, hard“ auf. Ebenso ist die Größenausprägung der Gefügeteilchen auf den Ackerflächen dominant in der Klasse „mf – medium to fine“ und „cf – coarse to fine“ vertreten. Dies deutet auf größere Aggregate hin. Beides ist durch eine reduzierte OBS und biologische Aktivität zu erklären. Der verringerte Anteil der OBS wird durch das Fehlen einer organischen Auflage auf den Ackerböden induziert. Nach der Bestimmung mit der KA5 wies „Acker West 2“ als Ausnahme hiervon eine organische Auflage auf, da dieses Feld unter Gründüngung stand. Das vermehrte Auftreten von organischen Reststoffen im Oberboden der Ackerflächen, insbesondere in 5-30 cm, deutet auf eine verminderte mikrobielle Aktivität und eine insgesamt gestörte Mineralisation hin. Auch die schwache Ausprägung der Durchwurzelung trägt zur Degradation des Gefüges bei (siehe Abschnitt „Böden ohne landwirtschaftliche Nutzung“). Die als stark bezeichnete Durchwurzelung auf „Acker Ost 4“ kann durch die insgesamt gute Beschaffenheit des Bodens, wie satte schwarze Färbung, hoher pH-Wert und hohem Carbonatgehalt, begründet werden. Die ebenso starke Durchwurzelung auf „Acker West 2“ ist eine Folge der relativ (etwa 1 Jahr) langen ungestörten Nutzung als Grünbrache. Auch das dominante Auftreten von Feinporen und das dementsprechende Fehlen von Grobporen sind typisch für ein gestörtes Bodengefüge unter Ackernutzung. Eine konventionelle Bodenbearbeitung erhöht zwar das Bodenvolumen im Oberboden, reduziert jedoch deutlich das Vorkommen von stabilen Grobporen und führt zu einem vertikal ausgerichteten Porenverlauf (Grevers & de Jong 1992; Wöllecke 2006; Scheffer & Schachtschabel 2010). Die untersuchten Ackerböden weisen zwar insgesamt einen geringeren Krümelgefügeanteil auf, jedoch ist der Oberboden nicht schadverdichtet. Die Bodenfunktionen sind ebenfalls nicht irreversibel beeinträchtigt. Die genannten Parameter wirken demnach nur geringfügig qualitätsmindernd auf das Bodengefüge. Dies ist laut Krupenikov et al. (2011) nicht ungewöhnlich. Sie beschreiben Schwarzerden als erstaunlich widerstandsfähig gegenüber Humus- und Nährstoffverlust sowie Erosion und Verdichtung unter Kultivierung. Dies sei auf die herausragenden physikalischen und mineralischen Eigenheiten und die Fähigkeit der Selbstregulierung zurückzuführen (Krupenikov et al. 2011). Auch Devyatova & Shcherbakov (2006) berichten von Untersuchungen, die keine erheblichen Unterschiede der biologischen Aktivität zwischen naturbelassenen und landwirtschaftlich genutzten Schwarzerden in der russischen Tiefebene festgestellt haben. Semizorov (2013) untersuchte die Veränderung des Bodengefüges teilweise auf den gleichen Ackerflächen auf denen die hier zu Grunde liegende Datenerhebung stattfand; auf dem Testgelände der Agraruniversität Tyumen. Seine Ergebnisse sind mit denjenigen dieser Arbeit vergleichbar. So beschreibt er ebenfalls eine leichte Degradation des Gefüges auf Ackerböden. Außerdem zeigen

seine Daten, dass auf konventionell bearbeiteten Flächen zum Versuchsende im Oberboden (0-30 cm) eine Abnahme der Aggregate der Größe 0,25 mm- 10 mm zu verzeichnen ist. Der Anfangswert von 77-87 % nahm auf 42-62 % ab. Verantwortlich für die Bildung größerer Aggregate (> 10 mm) und der Abnahme der agronomisch wertvollen Aggregate sowie der höheren Bodendichte kann der trockene Sommer im letzten Jahr des Versuchs sein (Semizorov 2013).

Das erhöhte Auftreten des **Subpolyeder- und Polyedergefüges** auf den Ackerflächen wird auch von Stolbovoi (2000) beschrieben. Er gibt für Schwarzerden, Phaeozems und Greyzems (graue Waldböden) das Krümelgefüge als dominierende Gefügeart an. Für ihn steht jedoch ebenfalls fest, dass im Falle einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug das Gefüge oftmals zu grobkörnigen Subpolyedern wechselt (Stolbovoi 2000). Dies resultiert aus dem Umbrechen des Bodens. Laut Devyatova & Shcherbakov (2006) wird durch das Umbrechen mit dem Pflug der Humusgehalt der Böden verringert und die Voraussetzung zur Bildung eines Krümelgefüges schwindet. Die Zunahme des Subpolyeder- und Polyedergefüges in 5-30 cm, sowohl auf den Ackerböden als auch auf den ungenutzten Böden, ist durch die natürliche Gefügeentwicklung ton- und lehmreicher Böden zu erklären. Bei Lehmböden, wie sie im Gebiet um Tyumen anzutreffen sind, bildet sich im humus- und nährstoffreichen Oberboden durch eine hohe biologische Aktivität ein stabiles Krümelgefüge. Mit der Tiefe verändert sich das Gefüge hin zu einem Subpolyeder- und Polyedergefüge. Grund dafür ist, dass durch die wiederholten scherenden Bewegungen bei Schrumpfungs- und Quellungsprozessen durch Be- und Entwässerung das Gefüge immer feiner und stabiler wird. In der Tiefe ist jedoch der Gesamtzustand des Bodens verschlechtert und die Durchfeuchtung erhöht und kontinuierlicher. Hierbei ist der Tongehalt die entscheidende Komponente. Dementsprechend ist in tonhaltigen Böden mit der Tiefe oft ein Wechsel der Gefügeform, hin zu grobkörnigen Polyedern, festzustellen (Scheffer & Schachtschabel 2010). Dieser Umstand kann auch die Erklärung für die abrupten Wechsel der Gefügeform bei den Paarvergleichen in Abbildung A1 & A2 sein. Zusätzlich tritt auf „Acker West 4 & 5“ nach der KA5 aufgrund der hohen Verdichtung des Bodens und der ausgeprägten Pflugsohle kein Krümelgefüge auf sowie nach dem A-horizon-framework viel Subpolyedergefüge. Das Gefüge ist also insgesamt massiv durch die Bodenbearbeitung verändert worden. Der Unterschied zwischen den Bestimmungsmethoden bei „Brache Ost 4“ in 5-30 cm kann außerdem durch stellenweise auftretende organische Substanz erklärt werden, die das Gefüge punktuell aufwertet.

Auf den **Böden ohne landwirtschaftliche Nutzung** kommt die fördernde Wirkung auf die Aggregatbildung der zuvor genannten Parameter weitestgehend uneingeschränkt zum Tragen. So ist, ohne die Störung durch das landwirtschaftliche Management, die OBS im Gleichgewicht und die Gehalte steigen aufgrund der dauerhaften Pflanzendecke (Bronick & Lal 2005). Für ein gut entwickeltes Bodengefüge ist die OBS, durch ihre Eigenschaft als Bindungspartner mit

anorganischen Bodenpartikeln, ein entscheidender Faktor (Paré et al. 1999; Scheffer & Schachtschabel 2010; Bronick & Lal 2005). Diese wichtigen Verbindungen resultieren aus der höheren mikrobiellen Aktivität und der aggregierenden Wirkung von Pilzhyphen und Bakterienkolonien. Außerdem erhöht ein hoher Gehalt an OBS das Vorkommen des Edaphons, welches durch die Vermischung von organischem und anorganischem Material im Verdauungstrakt stabile Aggregate hervorbringt. Insbesondere eine hohe Anzahl von Regenwürmern ist für ein gutes Gefüge entscheidend (Scheffer & Schachtschabel 2010; Bronick & Lal 2005; Kiem & Kandeler 1997). Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die dauerhafte, tiefgreifende und gut entwickelte Durchwurzelung. Durch die erhöhte Aktivität der Mikroorganismen, insbesondere in der Rhizosphäre, der intensivierten Schrumpfung und Wiedervernässung im Randbereich der Wurzeln werden physikalische, chemische und biologische Vorgänge im Boden angeregt. Diese bewirken eine zunehmend kleinteilige Aggregation und Aggregatstabilität (Scheffer & Schachtschabel 2010; Bronick & Lal 2005). Als Resultat dieser begünstigenden Aspekte ist der Anteil des Krümelgefüges auf den Wald- und Bracheflächen erhöht. Die Daten der Oberbodenansprache bestätigen die obengenannten günstigen Bedingungen für die Ausprägung eines gesunden Krümelgefüges auf den Standorten ohne Nutzung. So ist die Konsistenz der Gefügeteilchen auf den Flächen durchgängig der Klasse „1 - loose, soft, very friable, friable“ zugeordnet. Ebenso ist die Größenausprägung der Gefügeteilchen insgesamt geringer und hauptsächlich den Klassen „fm – fine to medium“, gefolgt von „vfm – very fine to medium“, angerechnet worden. Bei der Oberbodenansprache für den SFC wird häufig das Horizontsymbol „rt – Dominated by root material; forms >60 % of A-horizon“ genannt und die Durchwurzelung nach der KA5 ist als stark bezeichnet worden. Auf den Waldflächen des östlichen Testgebietes treten zudem Wurzelmatten auf. Nur bei zwei von drei Brachestandorten wird das Symbol „rt“ aufgrund der Möglichkeiten der Methodik nicht genannt (siehe Methodendiskussion). Im Gegensatz zu den Ackerböden tritt auf allen Flächen eine organische Auflage auf. Diese ist meist sehr geringmächtig, was auf einen schnellen Umsatz hindeutet. Auf den Waldstandorten ist diese, aufgrund des hohen Streuanfalls, mächtiger ausgeprägt. Organische Reststoffe im Oberboden sind auf den Wald- und Bracheflächen deutlich seltener beschrieben worden als auf den Ackerflächen. Dies ist ebenfalls ein Zeichen für eine erhöhte Mineralisationsrate und eine gesteigerte mikrobielle Aktivität. Ein weiterer Grund hierfür ist die fehlende Umverteilung durch das Pflügen. Die Poren der ungestörten Böden weisen keine Dominanten auf, das heißt alle Arten von Poren sind gleichmäßig vertreten, was auf ein gesundes Gefüge schließen lässt. Zudem treten vermehrt Bioporen auf.

Auch die **Clusteranalyse** der Ergebnisse des SFC zeigt, dass die Standorte ohne Nutzung vermehrt in den Gruppen mit hohen Krümelgefügeanteilen vertreten sind. Die Cluster sind relativ gut in Ackerstandorte mit niedrigen Krümelgefügegehalten und ungenutzte Standorte mit hohen Anteilen zu trennen. Dieses Ergebnis unterstützt die Annahme, dass das Gefüge der Ackerböden durch die

Bodenbearbeitung leicht degradiert ist. Zum Teil sind die Cluster jedoch auch durchmischt. So tritt in 0-5 cm in dem Cluster mit hohem Krümelgefügeanteil die Fläche „Acker Ost 2“ auf, sowie in 5-30 cm die Fläche „Acker Ost 3“. Beide Böden weisen einen hohen Humusgehalt auf. Zudem war der Ah-Horizont sehr tiefgründig und der Oberboden stark aufgelockert. Da der Anteil des Krümelgefüges aufgrund der guten Bodeneigenschaften der Schwarzerden und Pheozems auch auf den Ackerflächen vornehmlich sehr hoch ist, ist die Gruppe mit einem Krümelgefügeanteil zwischen 70-80 % stark durchmischt und enthält sowohl Acker- als auch Wald- und Bracheböden. Das die Gruppierung in 5-30 cm eine Tendenz zwischen dem östlichen und dem westlichen Testgebiet aufweist, resultiert eventuell aus den verringerten Klebeeigenschaften des erhöhten Sandanteils im östlichen Gebiet. So beinhaltet die Gruppierung mit einem relativ geringen Krümelgefügeanteil von 40-60 % überwiegend Ackerböden aus dem östlichen Testgebiet. Das ebenfalls die Standorte „Brache Ost 1“ und „Wald West 2“ darin vorkommen, ist auf die hohe Ld der Brachefläche zurückzuführen und auf die wahrscheinlich erhöhte Nässe des Waldstandortes. Ebenso verhält es sich mit der Gruppe mit einem Krümelgefügeanteil zwischen 25-40 %. Diese beinhaltet überwiegend Waldstandorte aus dem westlichen Testgebiet, die aufgrund der Vegetation eine höhere Vernässung aufweisen als die Ackerflächen.

Die **Vegetation** der Standorte beeinflusst die Gefügeausprägung vor allem durch die Durchwurzelung und den Anfall der Streu. Schließlich erhöhen Wurzeln die Stabilität und Größe von Bodenaggregaten (Bronick & Lal 2005; Monreal et al. 1995). Die Brachestandorte bieten durch die dichte Grasvegetation und große Wurzelmasse beste Bedingungen für die Entwicklung stabiler Aggregate (Pennock et al. 2011). Devyatova & Shcherbakov (2006) beschreiben für Bracheplätze in der russischen Tiefebene im Gegensatz zu Ackerflächen keinen Rückgang der Enzymaktivität.

Die **Dichte der Lagerung** der Böden ermöglicht Rückschlüsse auf die Ausprägung des Bodengefüges und die Bodenqualität. So werden durch Bodenverdichtungen viele Bodenprozesse geschädigt (siehe Abschnitt „Konventionelle Bodenbearbeitung“). Bei der Betrachtung der gemittelten Lagerungsdichten geben die Daten einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Ackerböden und den Böden ohne Nutzung an, wobei die Ld der Ackerböden höher sind. Diese Verdichtung der Bodenaggregate resultiert aus der Störung des Gefüges und der Druckbelastung durch die konventionelle Bodenbearbeitung. Die Stabilität des Gefüges ist, durch die in den oberen Abschnitten genannten nachteiligen Faktoren, weniger stabil und wird durch die Bearbeitung mit dem Pflug komprimiert (Wöllecke 2006). Dabei nehmen die Wasserinfiltrationsleistung, die Durchlüftung und die Durchwurzelbarkeit erheblichen Schaden. Werden diese Faktoren geschwächtigt kommt es unter anderem durch die Verringerung der mikrobiellen Aktivität zu weiteren negativen Folgen für die Entwicklung des Bodengefüges (siehe Abschnitt „Böden ohne

landwirtschaftliche Nutzung“) (Wöllecke 2006; DLG 2008). Durchschnittlich sind die Ld der Ackerböden sehr gering und liegen in der Tiefe 0-5 cm bei $1,00 \text{ g/mc}^3$, in 5-30 cm bei $1,17 \text{ g/mc}^3$. Zu vergleichbaren Ergebnisse kamen auch Milanovskij et al. (2005) bei der Untersuchung von Schwarzerden westlich des Urals. Die Werte der Ackerflächen liegen in 0-5 cm bei $0,84 \text{ g/mc}^3$ und in 20-25 cm Tiefe bei $0,98 \text{ g/mc}^3$. Die genauen Ursachen warum die Werte von Milanovskij et al. leicht niedriger sind, können nicht genau geklärt werden. Möglicherweise können der Bearbeitungszustand der Böden oder die Bodenart dafür verantwortlich sein. Cendev et al. (2011) ermittelten bei ihren Untersuchungen von Albe Luvisols im südlichen Teil der zentral russischen Hochebene durchschnittliche Ld von $1,36 \text{ g/mc}^3$ in 0-20 cm Tiefe. Dieser leicht höhere Wert kann aus den höheren Tongehalten (60 %) und dem allgemeinen Zustand des Gefüges der Albe Luvisols resultieren. Die große Streuung der Werte ergibt sich durch den unterschiedlichen Bearbeitungszustand der Ackerflächen, von gepflügt bis Grünbrache. In 5-30 cm ist die Streuung zudem höher als in 0-5 cm, da hier neben dem Bearbeitungszustand die Tiefe der Probenahme verstärkt variiert. Milanovskij et al. (2005) und Cendev et al. (2011) untersuchten ebenfalls in ihren Arbeiten sowohl Acker- als auch Waldböden. Wie auch in dieser Arbeit festgestellt wurde, ermittelten sie auf den Waldflächen geringere Ld als auf den Ackerflächen. Betrachtet man die Ld der Landnutzungen einzeln, so wird jedoch ein erheblicher Unterschied zwischen den Wald- und Bracheböden deutlich. Die Bracheböden weisen in beiden Tiefen sehr hohe Ld auf, die sichtbar über denen der Waldflächen liegen. Dieser Unterschied basiert vor allem auf der unterschiedlichen Vegetation der Standorte. Die Streu der Baumvegetation ist im Gegensatz zu der Grasstreu der Brachestandorte sehr leicht und reichlich. Zudem ist sie stark in die ersten Zentimeter des Oberbodens eingearbeitet. Infolgedessen weisen die Waldböden die geringsten Ld auf. Im östlichen Testgebiet liegen die Werte bei $0,53 \text{ g/mc}^3$ (0-5 cm) und $0,84 \text{ g/mc}^3$ (5-30 cm). Im westlichen Testgebiet bei $0,84 \text{ g/mc}^3$ (0-5 cm) und $0,95 \text{ g/mc}^3$ (5-30 cm). Bei Milanovskij et al. (2005) sind die Werte sehr ähnlich und liegen in 0-10 cm bei $0,50 \text{ g/mc}^3$ und in 10-30 cm bei $0,92 \text{ g/mc}^3$. Auf der Fläche „Wald West 2“ sind die höchsten Ld aller beprobten Waldböden ermittelt worden. Grund dafür ist der Bodentyp. Dieser ist ein typischer grauer Waldboden, der ein weniger lockeres Bodengefüge aufweist als die reinen Schwarzerden und vermutlich einmal landwirtschaftlich genutzt wurde.

Die Daten zeigen, dass die Ld auf allen Nutzungen mit der Tiefe zunehmen. Dies ist laut Wöllecke (2006) das Resultat einer gesteigerten Auflast des Oberbodens und der abnehmenden OBS. Deutlich wird dies auf allen Standorten. Auf den Waldflächen ist die Zunahme jedoch am auffälligsten. Dies ist durch den hohen Anfall von leichter Blattstreu zu begründen, der stark in die oberen 0-5 cm eingearbeitet ist.

Der Datengrundlage nach weisen die verschiedenen Landnutzungen im Mittel unterschiedliche pH-Werte auf. Der mittlere **pH-Wert** der Ackerstandorte liegt mit 6,35 im sehr schwach sauren Bereich. Dies ist für die untersuchten Bodenarten Chernozem und Phaeozem ein durchschnittlicher Wert. Typischerweise liegen, der Literatur nach, die pH-Werte um 6,5 im Oberboden (Zech & Hintermaier-Erhard 2002) und variieren insgesamt im Bereich zwischen pH 5-7 (FAO 2001). Auch die Böden der Standorte ohne Nutzung liegen in diesem Wertebereich, wobei die Streuung hier sehr weit ist. Dies ist auf die Waldstandorte zurückzuführen, die inhomogen sind und sich innerhalb der zwei Testgebiete unterscheiden. Im östlichen Testgebiet liegt der pH-Wert durchschnittlich bei 7,47, auf den westlichen Standorten hingegen bei 4,94. Die Ausprägung des pH-Wertes der Böden steht mit der Bodenart in Zusammenhang. Auf den Ton- und humusreichen Böden des westlichen Testgebietes ist die Austauschkapazität höher als auf den sandigeren Böden des östlichen Gebietes. Aufgrund dessen können die Sandböden besser gepuffert werden, wodurch der pH-Wert höher liegt (Galler 2008).

Die Wirkung des pH-Wertes auf das Bodengefüge muss als indirekt beschrieben werden: Der pH-Wert des Bodens wirkt sich auf das Pflanzenwachstum, auf die Löslichkeit von Metall-Ionen, die mikrobielle Aktivität und die Ton-Dispersion aus (Bronick & Lal 2005). All diese Faktoren nehmen wiederum Einfluss auf die Bildung und Stabilität von Bodenaggregaten. Die mikrobielle Aktivität wird unter höheren pH-Werten gesteigert, was zu einer Erhöhung des Pflanzenwachstums und der organischen Bodensubstanz führt und damit die Aggregatbildung fördert (Bronick & Lal 2005). Die erhobenen Daten zeigen dahingehend keine Tendenz. Diejenigen Böden mit hohen pH-Werten weisen keine erkennbaren Unterschiede im Gefüge zu anderen Flächen auf. Weiter beeinflusst der pH-Wert die Löslichkeit von Metall-Ionen. Vor allem Eisen (Fe) ist davon betroffen. Fe wirkt unter niedrigen pH-Werten als starker Bindungspartner mit Bodenpartikeln, insbesondere mit Tonsilikaten (Rampazzo et al. 1998; Bronick & Lal 2005). Ab pH-Werten unter 5 wird die Freisetzung von Aluminium (Al)-Ionen im Boden gesteigert. Aufgrund der hohen aggregierenden Wirkung des Al steigt die Stabilität der Aggregate in diesem sauren Milieu (Scheffer & Schachtschabel 2010; Bronick & Lal 2005). Die gesamte stabilisierende Wirkung kann jedoch nicht zum Tragen kommen, da bei niedrigen pH-Werten das Pflanzenwachstum deutlich verringert wird und insgesamt eine Bodendegradierung einsetzt (Scheffer & Schachtschabel 2010). Solch niedrige pH-Werte treten auf den Waldstandorten im westlichen Testgebiet auf („Wald West 2,4 & 5“). Diese Flächen weisen jedoch keine Auffälligkeiten bezüglich des Bodengefüges auf. Dies könnte ebenfalls auf die hervorragenden physikalischen und mineralischen Eigenschaften der Schwarzerden und die hohe Resistenz gegenüber anthropogenen Eingriffen zurückzuführen sein, wie sie Krupenikov et al. (2011) beschreiben.

Des Weiteren wird der pH-Wert des Bodens auch vom **Carbonatgehalt** bestimmt, da dieser eines der wichtigsten Puffersysteme in Böden darstellt (Scheffer & Schachtschabel 2010). Die Untersuchung der Böden um die Stadt Tyumen zeigt, dass diese weitestgehend carbonatfrei sind. Der Carbonatgehalt entspricht hauptsächlich der Klasse c1 (sehr carbonatarm) und c0 (carbonatfrei). Diese Werte werden durch die Literatur bestätigt, wonach die Böden der russischen Waldsteppe durchschnittlich bis über 1 m Tiefe entkalkt sind (FAO 2001; Zech & Hintermaier-Erhard 2002; Devyatova & Shcherbakov 2006; Stolbovoi 2000). Der Carbonatgehalt ist für die Bildung des Bodengefüges entscheidend, da Calcium als Bindungselement zwischen Ton- und Humuspartikeln fungiert. Durch diese organo-mineralischen Verbindungen entstehen stabile Aggregate und das Bodenleben wird angeregt. Beides begünstigt die Entwicklung eines Krümelgefüges (Galler 2008). Das trotz der tiefen Entkalkung auf den untersuchten Böden das Krümelgefüge vorherrscht, ist darauf zurückzuführen, dass die Böden große Mengen an OBS aufweisen sowie hohe Nährstoffgehalte und ein reges Bodenleben zeigen (Zech & Hintermaier-Erhard 2002). Besonders hohe Carbonatgehalte wurden auf den Flächen „Acker Ost 4“ (c3.2 schwach carbonathaltig) und „Wald Ost 3“ (c4 carbonatreich) nachgewiesen. „Acker Ost 4“ weist zudem eine starke Durchwurzelung auf, was für Ackerböden eher ungewöhnlich ist. Da sonst keine Zusammenhänge erkennbar sind, könnte der hohe Carbonatgehalt hier eine Rolle als Einflussparameter der Nährstoffversorgung und als eigener Pflanzennährstoff spielen (Galler 2008) und damit die Wurzelbildung angeregt haben.

Die **Bodenart** wird naturgemäß nicht durch die landwirtschaftliche Nutzung beeinflusst. Bei der Bodenbestimmung ist jedoch ein Unterschied zwischen den beiden Testgebieten festgestellt worden. Die ermittelten Bodenarten liegen alle in der Gruppe der Lehme, mit erhöhten Anteilen an Schluff und vor allem im östlichen Testgebiet an Sand. Dies ist auf die Art der Ablagerung der Sedimente zurückzuführen. Im westlichen Testgebiet sind die Sedimente äolischen Ursprungs, im östlichen Testgebiet hingegen fluvial-äolischen, da dort der Lauf der Tura sehr nahe ist. Stolbovoi (2000) bestätigt dieses Ergebnis, denn die vorherrschende Bodenart im Süden der russischen Waldsteppenzone sind Lehme. Des Weiteren geben auch Devyatova & Shcherbakov (2006) grobkörnige Schluff- und Tonfraktionen als dominante Bodenart der Waldsteppenzone an.

Die Bodenart wiederum beeinflusst maßgeblich die Bildung des Gefüges. Dabei ist vor allem der Sand- und Tongehalt der Böden ausschlaggebend (Bronick & Lal 2005; Kiem & Kandeler 1997; Krupenikov et al. 2011). Sandige Böden weisen laut Kiem & Kandeler (1997) von sich aus die niedrigste Gefügestabilität auf, da ihnen innere Bindekräfte fehlen. Hier sind die OBS und die Organismentätigkeit enorm wichtig. In verschiedenen texturierten Böden ist die Aktivität der Mikroorganismen für die letztendliche Ausprägung des Gefüges entscheidend (Kiem & Kandeler 1997). Die Gefügestabilität hängt entscheidend vom Tongehalt der Böden ab (Kiem & Kandeler

1997; Bronick & Lal 2005). Tonpartikel sind durch ihre große reaktionsstarke Oberfläche, die KAK, ihre Ladungsdichte und Dispersion entscheidend für die Aggregation. Des Weiteren beeinflusst Ton durch Schrumpfen und Schwellen die Anordnung der Partikel. Je mehr Ton im Boden ist, desto stärker ist die Stabilisation der OBS (Bronick & Lal 2005; Pennock et al. 2011). In humusreichen Böden, wie der Schwarzerde, gilt der hohe Anteil an OBS als essenzieller Bindungskomponente (Kiem & Kandeler 1997). Mueller et al. (2008) beschreiben in ihren Ergebnissen, dass die Varianz der Gefügequalität und der gemessenen Bodenparameter mit steigendem Tongehalt zunimmt. Grund dafür ist der Zusammenhang zwischen Bodenart, Bodenbearbeitung und OBS. So hängen die Auswirkungen des Pflügens auf die OBS von der Bodenart ab (Needelman et al. 1999). In schweren Böden ist, durch die Störung des Gefüges, die Mineralisation deutlicher erhöht als auf Sandböden (Hassink (1992), denn der reguläre Gasaustausch, der die Mineralisation anregt, ist hier geringer (Adu. & Oades 1977). Laut Wölleke (2006) spiegeln schluffhaltige Böden aufgrund der Struktureigenschaften die Form der Landnutzung deutlicher wieder als Sandböden. Da die erhobenen Daten dementsprechend keine Tendenzen zeigen, trifft Grevers & de Jongs (1992) Aussage eher auf die Böden um Tyumen zu. Nach ihnen verstärkt tiefes Pflügen nachteilige Auswirkungen, wie Bodenverlust, Verlust der Fruchtbarkeit und verringerte Wasserhaltefähigkeit, besonders auf tonhaltigen Schwarzerden, im Gegensatz zu lehmhaltigen. Durch die starke Reaktion auf Nässe und Trockenheit (Schrumpfen und Schwellen) der Tonpartikel, die in den untersuchten Böden zu nicht unerheblichen Anteilen erhalten sind, kommt es während der Trockenphasen im Sommer oftmals zu Rissbildung an der Bodenoberfläche. Diese treten abhängig vom Bearbeitungszustand vor allem auf den Ackerböden auf. Die dichte Vegetation auf den ungenutzten Standorten verhindert dagegen eine Austrocknung. Auch Paré et al. (1999) beschreiben für die Böden der kanadischen Prärie eine solche Rissbildung. Durch die gesteigerte Belüftung kommt es zusätzlich zur Steigerung der Mineralisation, sofern die Austrocknung nicht zu stark ist. Eine sichtbare Rissbildung und das abblättern der Oberfläche ist auf „Acker Ost 4“ festgestellt worden.

Vom Tongehalt ist ebenfalls die Bildung des **Klumpengefüges** abhängig. Für Mueller et al. (2006) ist die Bildung von großen blockigen Bodenaggregaten ein sicheres Zeichen für den Verlust eines intakten Bodengefüges. Dieses tritt auf den gepflügten Feldern in der Region um Tyumen in immenser Größe auf. Insgesamt wurde es nur auf vier Flächen aufgenommen („Brache Ost 4“ (Klumpengröße 5-15 cm), „Acker Ost 5“ (8-25 cm), „Acker West 4“ (>25 cm) und „Acker West 5“ (≤ 15 cm)). Die beiden zuletzt genannten Felder wurden zuvor gepflügt, „Acker Ost 5“ wurde geeggt. Daher sind die Klumpen auf diesen deutlich kleiner. Die Bildung derart großer Aggregate resultiert aus der Bodenbearbeitung von Lehm- und Tonböden in zu feuchtem oder zu trockenem Zustand (Scheffer & Schachtschabel 2010). Wie zuvor erwähnt steht die Bildung des Klumpengefüges mit dem Tongehalt in Verbindung (Czarnes et al. 1999). Die Klumpen entstehen

zwar durch Druck und Scherung, dennoch sind große Bindekräfte nötig um derart große Aggregate entstehen zu lassen. Einzelkörner haben zu wenig Haftung. Je mehr Ton und je höher der Wassergehalt, desto formbarer ist der Boden (Czarnes et al. 1999). In der Region Tyumen bestehen demnach alle Voraussetzungen für die Entstehung des Klumpengefüges, da außerdem die Niederschlagsintensität sehr hoch war. Das Auftreten des Klumpengefüges auf „Brache Ost 4“ ist durch die Einteilung des Feldbogens zu erklären, in welchem die Größe des Bröckelgefüges bis 5 cm reicht; darüber werden Aggregate als Klumpen bezeichnet. Da der Boden auf dieser Brachefläche sehr kompakt war und gut durchwurzelt, zerfielen die Aggregate nur wenig.

Die **Korrelationsergebnisse** des SFC geben nur wenige Gemeinsamkeiten zwischen den Ackerstandorten und den Standorten ohne Nutzung wieder. Gemeinsam ist ihnen, dass in 0-5 cm das Krümelgefüge stark negativ mit dem Subpolyedergefüge korreliert. Dies spricht dafür, dass das Krümelgefüge hauptsächlich dominant auftritt und selten mit anderen Gefügeformen vermischt ist. Außerdem verdeutlicht es, dass die Bodenqualität auf den Standorten entweder im ganzen Boden hoch ist oder durchgängig degradiert. Diese Annahme unterstützt ebenfalls die negative Korrelation des Krümelgefüges mit dem Polyedergefüge auf den Ackerflächen, sowie die positive Korrelation des Subpolyeder- mit dem Polyedergefüge. Die letztgenannten Gefügeformen treten vermehrt gemeinsam auf den Ackerstandorten auf. Wenn das Gefüge auf einer Fläche demnach degradiert ist, so ist dies stringent. Des Weiteren korreliert das Subpolyedergefüge auf den Ackerflächen in 5-30 cm negativ mit dem Polyedergefüge, dieser Zusammenhang zeigt, dass entweder das Subpolyeder- oder das Polyedergefüge in dieser Tiefe dominant auftritt, nicht beide Gefügeformen nebeneinander. Zudem unterscheiden sich die Landnutzungen in 5-30 cm voneinander. Hier steht das Krümelgefüge auf den Ackerflächen mittelstark positiv mit der Landnutzung in Zusammenhang. Dies gibt den Einfluss der Landnutzung auf das Gefüge wieder: je höher die Nutzungsintensität, desto wahrscheinlicher ist die Entwicklung eines Krümelgefüges, und umgekehrt. Diese Aussage ist konträr zu dem, was diese Untersuchung als Ergebnis erbracht hat. Jedoch unterstützt sie die Hypothese, dass die Ackerböden in der Region um Tyumen trotz intensiver Nutzung ein sehr gutes Gefüge bewahren konnten. Auf den Standorten ohne Nutzung sind in beiden Tiefen sowohl die Horizontmerkmale positiv mit der Landnutzung korreliert, als auch die Ld. Diese Korrelationen zeigen einen gegenteiligen Zusammenhang an; je höher die Intensität der Landnutzung, eine desto höhere Nutzungsintensität geben die Horizontmerkmale an und desto höher die Ld. Dieses Ergebnis entspricht den Schlussfolgerungen im Abschnitt über die Ld. Des Weiteren gibt die Korrelationsanalyse Zusammenhänge des Gefüges mit den pH-Werten auf den Ackerflächen in 5-30 cm an. So steht der pH-Wert negativ mit dem Subpolyedergefüge in Zusammenhang und positiv mit dem Polyedergefüge. Das sich bei höherem pH der Anteil an Subpolyedergefüge verringert, und umgekehrt, könnte dadurch erklärt werden, dass bei höheren pH-Werten die günstigen Voraussetzungen, wie die mikrobielle Aktivität, für die Ausprägung eines

Krümelgefüges steigen und dieses dadurch dominant auftritt. Der Zusammenhang mit den steigenden Polyedergefügeanteilen bei höheren pH-Werten, ist eher auf den Einfluss anderer Bodenparameter zurückzuführen als auf den direkten Einfluss des pH-Wertes. Hier wirken wahrscheinlich eher bodenphysikalische Kräfte, die aus dem Feuchtezustand des Bodens resultieren.

6.2 Methodendiskussion

Ball et. al. (2007) sind der Meinung, dass eine Bestimmungsmethode für die Oberbodenansprache von sowohl Landwirten als auch Beratern und Forschern gleichermaßen genutzt werden können sollte. Diese Anforderungen an eine Bestimmungsmethode haben sich im Verlauf der Forschung zur vorliegenden Arbeit als unrealistisch herausgestellt. Eine Methode die allen Anforderungen genügt kann es nur in einem stark eingeschränkten Maß geben, schließlich liegen die Bedürfnisse aller Betroffenen Parteien weit auseinander. Deshalb sollte unterschieden werden zwischen Bestimmungsmethoden, die für die Anwendung in der Landwirtschaft nützlich sind, und denjenigen, die der Bodenforschung dienen. Der in dieser Arbeit zur Probe angewandte Bestimmungsschlüssel nach Fox et al. (in press) ist eindeutig nicht für die Nutzung in der Landwirtschaft geeignet, sondern für den **Einsatz in der Forschung** ausgerichtet. Denn eine sinngemäße Durchführung setzt tiefgreifende Kenntnisse in der Bodenkunde voraus. Weiterhin stellt der A-horizon-framework keine vereinfachte Methode zur schnellen Vergleichbarkeit von Ackerböden dar, bei welcher Ackerland in Qualitätsstufen eingeteilt wird und dadurch global kategorisiert werden kann, so wie es Mueller et al. fordern (2010). Er ist vielmehr dafür konzipiert worden, eine umfassende und detaillierte taxonomische Aufnahme des Bodenqualitätszustandes zu ermöglichen, um diese im Monitoring einzusetzen. Außerdem ist der Bestimmungsschlüssel eine internationale Anwendung ausgerichtet, um die Oberbodenansprachen von Böden aus aller Welt beurteilen zu können (Fox et al. in press). Dies ist mit den gegenwärtigen Methoden zur Gefügebestimmung nicht möglich (Mueller et al. 2010), wäre allerdings von großer Bedeutung für die Bodenforschung. Da die Bestimmungsmethoden oft nur für spezifische Bedingungen einsetzbar sind, erbringen diese keine Ergebnisse unter abweichenden Umständen. Zudem ist es durch die hohe Komplexität und Unbeständigkeit des Bodengefüges schwierig, eine internationale Methode zu entwickeln, um die Qualität des Gefüges zu erfassen (Ball et al. 2007; Rampazzo 1998).

Es gibt viele potentielle Indikatoren die den Zustand des Bodengefüges charakterisieren. In den meisten Untersuchungen werden jedoch nur wenige verwendet (Mueller et al. 2009). Werden für die Gefügebestimmung nur wenige oder einzelne Parameter untersucht, kann das laut Mueller et al. (2009) zu einem unvollständigen oder gar fehlerhaften Bild des Gefügezustandes führen. Welche

Parameter für eine umfassende Aussage über das Bodengefüge letztendlich wichtig sind, ist noch nicht gänzlich geklärt (Rampazzo 1998). Die Mehrzahl der Untersuchungen fokussiert sich auf die Beschreibung der Aggregate und des Oberbodens mit den vorhandenen Bioporen. Als physikalische Indikatoren werden meist die Lagerungsdichte und der Eindringwiderstand ermittelt. Auch wenn Mueller et al. (2009) die Aussage treffen, dass die Regenwurmtätigkeit nicht dementsprechend zuverlässig ist als Element der Bodenqualität, wie es die visuelle Bestimmung der Aggregatform ist, ist die Regenwurmdichte ein klassischer biologischer Indikator für das Gefüge und die Bodenqualität und wird dementsprechend oft untersucht (Mueller et al. 2008 & 2009). Für den A-horizon-framework spielt die Aktivität des Edaphons keine gesteigerte Rolle, sie kann allerdings vermerkt werden. Es ist durchaus möglich für einen ausführlicheren Überblick weitere Indikatoren für den SFC aufzunehmen. Da wären zum Beispiel der Eindringwiderstand, die Wasser- und Luftpermeabilität (Mueller et al. 2008) oder die gesättigte Wasserleitfähigkeit und die Luftkapazität (Götze et al. 2013). Inwieweit das zum Bild der Bodenqualität beitragen würde, bleibt jedoch fraglich. Natürlich muss bei der Auswahl der aufzunehmenden Parameter immer bedacht werden, dass eine Oberbodenansprache möglichst einfach, ohne viele Hilfsmittel und schnell erfolgen soll. Mit den Parametern die für den SFC aufgenommen werden können, bietet der A-horizon-framework, im Gegensatz zu den bisherigen Methoden (Mueller et al. 2009), einen umfangreichen Gesamteindruck über die wichtigsten chemischen, physikalischen und biologischen Indikatoren der Bodenqualität. Er ermöglicht eine Betrachtung des Bodens mit allen Parametern auf einen Blick und gibt sofort die Verknüpfung des Bodengefüges mit zusätzlichen Parametern wieder (Abb.10).

Ein weiterer wichtiger und kritischer Punkt, der auch in der Literatur schon behandelt wurde (z.B. Ball et al. 2007), ist die **Definition der Klassen**, auf denen die taxonomische Bestimmung beruht. Auf der einen Seite engen vorgegebene Klassen den Handlungsspielraum des Anwenders ein, auf der anderen Seite sind sie nötig, um eine Vergleichbarkeit zu garantieren und um subjektive Bestimmungsfehler zu reduzieren. Ebenfalls gut für die Minimierung von Fehleinschätzungen sind Abbildungen und Tabellen, die die visuelle Ansprache unterstützen (Mueller et al. 2006 & 2009). Weitere Charakterisierungen und Beschreibungen der auszuwählenden Klassen wären auch bei der Ausführung des A-horizon-framework hilfreich. Problematisch wird die Verwendung von Klassen, wenn diese zu weit definiert sind oder Ergebnisse zwischen zwei Klassen liegen. Der Anwender ist dann gezwungen, einen Kompromiss zu finden. Dadurch kommt es oft zu Fehleinschätzungen und grober Vereinheitlichung der Böden (Mueller et al. 2009 & 10), wodurch detaillierte Informationen verloren gehen.

Das Ziel dieser Arbeit war neben der Bodenforschung auch der Praktischen Erprobung des A-horizon-frameworks. Während der Anwendung bei den Messungen in Tyumen wurden einige

Punkte entdeckt, die derzeit **Probleme** bei der Anwendung aufwerfen. Ein Problem stellte die Einschränkung der Aufnahmemöglichkeit von nur zwei Oberflächengegebenheiten im Abschnitt Level 5-B: Surface Conditions dar. Des Öfteren sind mehr als zwei Gegebenheiten aufgefunden worden, die jedoch nicht im SFC erfasst werden konnten. Dies führt unweigerlich zu Informationsverlust, wodurch der A-horizon-framework an Detailtreue verliert. Weiterhin war die Entscheidung, welche Gegebenheit von höherer Wichtigkeit für die spätere Analyse war und im SFC notiert werden sollte, schwer zu treffen. Wie im Kapitel 5.1.1.1 beschrieben, unterscheiden sich die Angaben der Oberflächengegebenheiten der Ackerflächen. So wird im westlichen Testgebiet nur auf „Acker West 1 & 3“ das Symbol R für „recently cultivated“ angemerkt, wobei dies bei „Acker West 4 & 5“ eindeutig auch der Fall war. Durch diesen Datenverlust kommt es, wie schon im oberen Abschnitt beschrieben, zu Fehleinschätzungen. Ein weiteres Problem das die taxonomische Klassenbildung mit sich bringt, ist die Vereinheitlichung. Diese tritt beim A-horizon-framework unter anderem bei der Verwendung der Oberflächengegebenheit von OL „organische Auflage“ auf. Der framework bietet nicht die Möglichkeit die Art der Auflage zu unterscheiden oder eine Mächtigkeit anzugeben, wie sie bei der KA5 üblich ist. Infolgedessen ist die Unterscheidung eines mächtigen Of-Auflagehorizont im Wald von einem wenige Millimeter dicken L-Horizont auf einer Brache nicht möglich. Dadurch gehen Informationen über die Dekompositionseigenschaften der Böden verloren. Eine weitere Untergliederung oder detailliertere Angaben wären jedoch nicht sinnvoll, da damit die Handhabung und Auswertung verkompliziert werden würde. Ein weiteres Problem ergab sich bei der Auswahl der Horizontmerkmale im Abschnitt Level 1: Horizon Designators. Die angegebene Grenze von >60 %, die für die Angabe einer deutlichen Wurzelbildung überschritten werden musste, ist relativ hoch gewählt. Auf den Flächen in Tyumen wäre bei der Einhaltung dieser Klassengrenze kein Boden mit dem Kürzel rt versehen worden. Dadurch wäre es zum Verlust wichtiger Informationen gekommen, denn die Durchwurzelungsintensität markiert einen wichtigen Unterschied zwischen Acker- und ungenutzten Standorten. Ebenso verhält es sich mit den Merkmalen pr für organische Reststoffe in Ackerböden, q für Pilzbildung und fn für biologische Aktivität. In späteren Versionen des framework wurden die Klassengrenzen verändert.

Die **Messkampagne** ist mit jeweils zehn Messstandorten für Ackerböden und Böden ohne landwirtschaftliche Nutzung eher knapp bemessen. Für signifikante Aussagen über die Gefügeausprägung unter verschiedenen Nutzungen sollten mehr Flächen in die Analyse einfließen. Die Ergebnisse dieser Arbeit bieten jedoch einen guten Einblick in die Veränderung des Gefüges, die von der landwirtschaftlichen Bearbeitung des Bodens ausgeht. Die Zusammenstellung der Vergleichspaare im westlichen Testgebiet ist mit ausschließlichen Acker- und Waldflächen passend. Im östlichen Gebiet standen nicht ausreichend Birkenwaldflächen zur Verfügung. Da vor allem ein gleichförmiger Bodentyp für die Flächenauswahl (Kapitel 4) entscheidend war und im

östlichen Testgebiet große Bereiche mit hohen Sandanteilen vertreten sind, konnte die Flächenauswahl nicht optimal umgesetzt werden. Ungünstig ist, dass im östlichen Testgebiet zwei Waldflächen untersucht wurden, die sich zum einen leicht von denen im westlichen Gebiet unterscheiden und zum anderen nicht ideal mit den Bracheblächen vergleichbar sind. Ersichtlich wird dies unter anderem bei der Ld. Hier unterscheiden sich die Ld der Waldflächen eindeutig von denen der Bracheblächen, die deutlich höher liegen (Abb.18). Ferner ist die Gesamtanzahl der untersuchten Bracheblächen zu niedrig und der Unterschied zu den Waldböden zu groß.

Wie bei jeder visuellen Bodenuntersuchung sind auch in dieser Messkampagne **subjektive Fehler** gemacht worden. So ist in der Aufnahme mit der KA5 auf allen Flächen ein geringer Anteil an Einzelkorngefüge festgestellt worden. In der des SFC fehlt dieser. Alle auftretenden Unterschiede zwischen den Bestimmungsmethoden resultieren aus natürlichen Unregelmäßigkeiten sowie unterschiedlicher subjektiver Ansprache, da die jeweilige Bestimmungsmethode größtenteils von einer und derselben Person angewandt wurde. Auf einen menschlichen Fehler ist ebenfalls das Fehlen der Gefügeansprache von 20 % in Abb.A1 bei „Brache Ost 4“ zurückzuführen. Des Weiteren sind Messfehler oder Abweichungen im Gelände bei der Entnahme der Stechzylinder kaum zu vermeiden, wodurch es zu Ausreißerwerten in der Reihe der Ld kommen kann, zu sehen bei den Brache- und Waldflächen (Abb.18). Diese subjektiven Bestimmungsfehler können laut Mueller et al. (2007) mit zwei Methoden verringert werden. Erstens ist ausreichend Anschauungsmaterial wichtig und Abbildungen sind als Abgleich hilfreich. Zweitens sollte die Ansprache von mehr als einer Person durchgeführt werden (Mueller et al. 2009; Ball et al. 2007). Einige Parameter in der Aufnahme der KA5 sind zusätzlich zu den entscheidenden Parametern aufgezeichnet worden um einen vollständigeren Überblick über den Bodenzustand zu erhalten. Darunter fallen die Verdichtung im Profil, die Bodenfeuchte, Hydromorphiemarkmale, die Durchwurzelung, die Bodenfarbe und die Porenverteilung sowie die Ansprache des B-Horizontes. Diese sind teilweise nicht vollständig und nach keiner strikten Klassifizierung erfasst worden.

Die Ackerflächen in der Region Tyumen weisen oftmals in Folge des Pflügens, ein enorm großes **Klumpengefüge** auf (Abb.12). Einen Nachteil für die Interpretation stellt die unterschiedliche Art der Aufnahme und Niederschrift der beiden Bestimmungsmethoden dar. Das Klumpengefüge ist für den SFC anders als für die KA5 erfasst worden, was bei der Auswertung zu Fehlinterpretationen geführt haben könnte. In der Bestimmung der KA5 sind die Klumpen im Abschnitt für das Bodengefüge nach Größe kategorisiert. Im A-horizon-framework gibt es im Abschnitt des Gefüges keine Klassifizierung für derart große Klumpen. Aufgrund dessen sind diese im Abschnitt Level 5-B: Surface Conditions aufgeführt. Diese unterschiedliche Ansprache führte dazu, dass die Ergebnisse der Gefügebestimmung der beiden Bestimmungsmethoden sich von vornherein unterschieden, obwohl die Ausprägung gleich eingeschätzt wurde. Ein weiteres

Problem stellt die Aufnahme des Klumpengefüges dadurch dar, dass diese nur als direkte Folge des Pflügens auftreten und nur dann überhaupt erfasst werden können. Wahrscheinlich ist, dass auch andere Ackerstandorte Klumpengefüge aufgewiesen hätten, wären sie zum Messzeitpunkt gepflügt gewesen, was die Statistik verändert hätte. Derart verändert sich die Gefügezusammensetzung durch die Wahl des **Messzeitpunktes**. Auch Mueller et al. (2009) und Ojeniyi & Dexter (1983) weisen auf die entscheidende Rolle des Messzeitpunktes für die Bestimmung des Gefüges hin. Während der Hauptwachstumsphase unterscheiden sich der Bodenzustand und die Durchwurzelung von dem nach der Ernte. Für eine Bestimmung eignet sich laut Mueller et al. (2009) der Zeitpunkt nach der Ernte, da durch die Begehung und Grabung nichts zerstört werden kann, die Wurzeln ausgebildet und die Regenwürmer ungestört sind. Während der hier angewandten Beprobung befanden sich die Ackerflächen in unterschiedlichen Bearbeitungszuständen. So stand auf einigen Flächen das Getreide, andere wurden vor Kurzem abgeerntet, gegrubbert oder gepflügt und eine Fläche befand sich unter Gründüngung mit einer Kleemischung. Dadurch treten zweifelsohne Unterschiede im Gefüge auf. Doch auch ohne anthropogene Eingriffe verändert das Klima durch den Verlauf der Temperatur und des Feuchtezustandes die Aggregate. Die Zyklen von Trockenheit und Nässe wie auch von Gefrieren und Schmelzen ordnen die Partikeln neu an und strukturieren die Aggregate um (Bronick & Lal 2005). Das Gefüge verändert sich über das Jahr hinweg ohnedies aufgrund der Entwicklung der biologischen und mikrobiellen Aktivität durch den Verlauf des Klimas (Mueller et al. 2009).

Wie im vorherigen Kapitel erläutert, ist der Gehalt der organischen Substanz für die Entwicklung der Aggregate entscheidend. Eine Einbeziehung der Gehalte an Boden-inertem Kohlenstoff (C) wäre daher auskunftsreich gewesen und hätte den Versuchsaufbau komplettiert. Die Laboranalyse der Bodenproben beansprucht jedoch in Russland zu viel Zeit als das die Ergebnisse in diese Arbeit hätten einfließen können.

Die **Datenauswertung** ist bei den meisten Bestimmungsmethoden relativ schwierig, da die Daten in Klassen kategorisiert oder nominal skaliert sind. Eine umfangreiche statistische Analyse mit klassischen statistischen Regressionen ist dadurch kaum anzuwenden (Pachepsky & Rawls 2003; Mueller et al. 2009). Pachepsky & Rawls (2003) analysierten ihre klassifizierten und numerischen Datenvariablen mittels eines Regressionsbaummodels, um dadurch die wichtigsten Prädiktoren und die beste Gruppierung der Proben zu ermitteln. Dieses Vorgehen ähnelt sehr der hier angewandten Clusteranalyse. Bei den Untersuchungen von Mueller et al. (2008 & 2009) waren die Daten des Gefüges ordinal skaliert und sind mit nichtparametrischen Methoden getestet worden. Metrisch skalierte Daten wurden mit ANOVA mit SPSS getestet, ebenso wie in dieser Arbeit die Daten des pH und der Ld (Mueller et al. 2008). In ihrer Arbeit von 2009 haben Mueller et al. zudem eine Korrelationsanalyse angewandt, um Korrelationen zwischen den Ergebnissen des Peerkamptests

mit physischen und biologischen Bodenparametern zu verdeutlichen (Mueller et al. 2009). Diese Art der Datenauswertung ist in dieser Arbeit auch für die Analyse des SFC durchgeführt worden. Für die statistische Auswertung des SFC sind in der vorliegenden Arbeit verschiedene Methoden getestet worden. Wie schon zuvor erwähnt ist die Bearbeitung der Daten aufgrund der Nominalskalierung erschwert. Dennoch sind Wege gefunden worden die Daten aufzuarbeiten. Der SFC ist als übersichtliches Gesamtergebnis der Oberbodenansprache praktisch. Für seine statistische Auswertung können noch weitere Wege gefunden werden.

Betrachtet man die gesamte Messkampagne wird deutlich, dass der Umfang und Aufbau der Messkampagne ausreicht um einen Einblick in die Ausprägung des Bodengefüges unter verschiedenen Landnutzungen in der Region um Tyumen zu erhalten. Obwohl einige Punkte nicht optimal umgesetzt worden sind, um etwa eine maßgebliche Aussage über die Gefügebeschaffenheit auf den verschiedenen Landnutzungen zu treffen, so wird doch die Beeinflussung des Gefüges durch die Landnutzung deutlich. Die Erprobung des A-horizon-framework war erfolgreich. Der SFC bietet neben umfassenden Möglichkeiten der Oberbodenansprache gute Werkzeuge für eine detaillierte Bestimmung des Bodengefüges. Weiterhin konnten einige Punkte ausgemacht werden, die im Anschluss diskutiert und für spätere Versionen des framework optimiert wurden.

7 Schlussfolgerungen

Der Einfluss der verschiedenen Landnutzungen auf die Ausprägung des Bodengefüges ist in dieser Arbeit gut ersichtlich geworden. Das Ziel, mögliche Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bearbeitung auf das Bodengefüge und den Oberboden zu quantifizieren, konnte umgesetzt werden. Die wichtigsten Untersuchungsergebnisse, die gleichzeitig Antworten auf die zu Beginn gestellten Teilfragen liefern, sind im Folgenden dargelegt.

Unter welcher Landnutzung tritt welches Bodengefüge auf?

Die Bestimmung des Gefüges zeigt, dass auf den untersuchten Böden unter allen Landnutzungen das Krümelgefüge vorherrscht. Ebenso sind deutliche Unterschiede zwischen landwirtschaftlich genutzten Böden und Böden ohne Nutzung festgestellt worden. So weisen die untersuchten Ackerböden geringere Anteile an Krümelgefüge als die Wald- und Bracheböden auf. Die Böden ohne Nutzung sind in der angewandten Clusteranalyse überwiegend den Gruppierungen mit hohen Krümelgefügeanteilen zugeteilt. Weiterhin tritt auf den Ackerböden nach der Bearbeitung mit dem Pflug vermehrt das Klumpengefüge auf, welches in der Region um Tyumen enorm große Klumpen (>30 cm) bildet.

Gibt es Unterschiede im Bodengefüge in 0-5 cm und 5-30 cm Tiefe?

In beiden Tiefen ist das Krümelgefüge dominant vertreten. Jedoch geben die Daten hier ebenfalls Unterschiede zwischen den Landnutzungen wieder. So verringern sich die Durchschnittsgehalte des Krümelgefüges in 5-30 cm. Auf den Standorten ohne landwirtschaftliche Nutzung vermindert sich in der Tiefe der Krümelgefügeanteil. Der Anteil an Subpolyedergefüge nimmt zu. Auf den Ackerstandorten hingegen steigt in 5-30 cm deutlich der Anteil des Polyedergefüges.

Die Oberbodenansprache liefert zudem die Erkenntnis, dass die Ackerböden insgesamt höhere Lagerungsdichten aufweisen als die Wald- und Bracheböden. Hinzukommend steigen unter allen Landnutzungen die Lagerungsdichten in 5-30 cm an. Des Weiteren sind auf den Ackerflächen vermehrt organische Reststoffe im Oberboden aufgezeichnet worden. Die Flächen ohne Nutzung hingegen weisen eine erhöhte Durchwurzelung und geringmächtige organische Auflagen auf.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung kann gesagt werden, dass die landwirtschaftliche Nutzung auf den Böden im Umkreis um Tyumen wahrnehmbare Veränderungen im Bodengefüge hervorruft. Allem Anschein nach sind durch die Bodenbearbeitung die Gehalte an organischer Bodensubstanz sowie die bodenbiologische Aktivität soweit herabgesetzt, dass die Böden vermindert in der Lage sind, ein stabiles Krümelgefüge zu entwickeln. Hinzu kommt natürlich die wiederkehrende Störung des Gefüges durch den Pflug, die Entnahme der Biomasse und die Zerstörung der Durchwurzelung. Die Bodenqualität ist demnach auf den ungenutzten Standorten höher.

Die Bodenqualität ist auf den Ackerflächen zwar verringert und das Gefüge leicht degradiert, insgesamt sind diese Böden jedoch in gutem Zustand und weisen hohe Krümelgefügeanteile auf. Demzufolge sind die Böden in der Region um Tyumen sehr widerstandsfähig gegenüber jahrzehntelanger landwirtschaftlicher Nutzung. Dies wird auch von der Literatur bestätigt, in der Schwarzerden unter Landnutzung als bemerkenswert beständig bezeichnet werden (Krupenikov et al. 2011). Dennoch wäre eine konservierende und reduzierte Bodenbearbeitung sowie eine angepasste Düngung für die dauerhafte Erhaltung der Fruchtbarkeit der Steppenböden sehr empfehlenswert. Dies haben verschiedene Projekte in Nordkasachstan gezeigt (DLG 2008).

Ein weiteres Ziel der Arbeit war die Erprobung des A-horizon-framework von Fox et al. (in press). Im Zuge dessen sind folgende Teilfragen beantwortet worden:

Unterscheiden sich die Ergebnisse der Bestimmungsmethoden der KA5 und des SFC?

Im Vergleich der beiden Bestimmungsmethoden werden stellenweise Unterschiede deutlich. Einige davon resultieren aus der subjektiven Entscheidung der Anwender im Feld. Andere basieren auf der

unterschiedlichen Art der Aufnahme und Niederschrift der Bestimmungsmethoden. Dies stellte stellenweise einen Nachteil bei der Interpretation dar. Deutlich wird dies bei der Betrachtung des Klumpengefüges. Hier entstand aufgrund der unterschiedlichen Vorgehensweise der Aufnahme ein deutlicher Unterschied zwischen den Bestimmungsmethoden, obwohl die visuelle Einschätzung zu gleichen Ergebnissen geführt hat. Dennoch sind die Gehalte des Gefüges zwischen den Methoden insgesamt gut vergleichbar.

Ist der Soil Fingerprint Code zweckmäßig, um die Unterschiede der Bodenstruktur zu quantifizieren?

Der SFC bietet neben umfassenden Möglichkeiten der Oberbodenansprache sehr gute Werkzeuge für eine detaillierte Bestimmung des Bodengefüges. Mit den aufgenommenen Parametern bietet der A-horizon-framework, im Gegensatz zu den bisherigen Methoden, einen umfangreichen Gesamteindruck über die wichtigsten chemischen, physikalischen und biologischen Indikatoren der Bodenqualität. Damit ist er für das Monitoring gut einsetzbar. Eine sinngemäße Durchführung setzt jedoch tiefgreifende Kenntnisse in der Bodenkunde voraus, was den framework zu einer für die Forschung ausgerichteten Methode macht.

Gibt es Verbesserungsmöglichkeiten für die Anwendung des SFC?

Während der Ansprache im Feld sind einige Probleme bei der Anwendung des SFC aufgetreten. Dazu zählen die Einschränkung der Aufnahmemöglichkeit von nur zwei Oberflächengegebenheiten im Abschnitt Level 5-B: Surface Conditions. Dies führt unweigerlich zu Informationsverlust, da viele Flächen mehr als nur zwei Gegebenheiten aufweisen. Dadurch verliert der A an Detailtreue. Weiter waren einige Klassen mit schlecht übertragbaren Klassengrenzen eingeteilt oder unverständlich. Außerdem wären weitere Charakterisierungen und Beschreibungen der auszuwählenden Kürzel teilweise hilfreich. In neueren Versionen des framework wurden die aufgetretenen Probleme behoben und angepasst.

Insgesamt ist die Messkampagne mit jeweils zehn Messstandorten für Ackerböden und Böden ohne landwirtschaftliche Nutzung eher knapp bemessen. Eine höhere Anzahl an Probeflächen wäre für eine signifikante Aussage über die Gefügeausprägung unter verschiedenen Nutzungen erforderlich. Die Flächenauswahl für die Oberbodenansprache war aufgrund der Gegebenheiten in den Testgebieten teilweise nicht optimal umzusetzen, wodurch eine 100 %ige Vergleichbarkeit nicht gewährleistet werden konnte. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass diese Arbeit durchaus einen guten und informativen Einblick in die Veränderung des Bodengefüges unter verschiedenen Landnutzungen bietet.

8 Zusammenfassung

Diese Masterarbeit hat zwei Schwerpunkte. Zum einen war das Ziel, die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bearbeitung auf das Bodengefüge und den Oberboden zu quantifizieren. Dazu sollten mögliche Unterschiede im Bodengefüge unter verschiedenen Landnutzungen auf Böden in der Region um Tyumen, Russland, ermittelt werden. Die dafür zu Grunde liegenden Daten sind während eines Russlandaufenthalts im Juli und August des Sommers 2013 erhoben worden. Zehn Standorte unter landwirtschaftlicher Nutzung und zehn Standorte ohne Nutzung wurden dafür bodenkundlich angesprochen und verglichen.

Die Böden der Waldsteppe in Russland wiesen hauptsächlich ein gut entwickeltes Krümelgefüge im Oberboden auf, welches auf allen Standorten vorherrschend war. Die Ergebnisse der Ackerböden verdeutlichen, dass die Steppenböden erstaunlich beständig gegenüber jahrzehntelanger landwirtschaftlicher Nutzung sind. Zudem geben die Daten einen sichtbaren Einfluss der verschiedenen Landnutzungen auf die Ausprägung des Gefüges wieder. So wiesen die untersuchten Ackerböden geringere Anteile an Krümelgefüge sowie, nach der Bearbeitung mit dem Pflug, ein stark ausgeprägtes Klumpengefüge auf. In 5-30 cm trat auf den Ackerböden zudem verstärkt das Polyedergefüge auf.

Zum anderen war die Erprobung des A-horizon-frameworks nach Fox et al. (in press), mit Fokus auf die Bestimmung des Bodengefüges, Ziel dieser Arbeit. Dieser neu entwickelte Bestimmungsschlüssel liefert erweiterte Möglichkeiten für eine taxonomische Oberbodenansprache. Er ist für die Beobachtung von dynamischen Veränderungen in Böden entwickelt worden, um ökologische und anthropogene Einflüsse quantifizieren zu können (Fox et al. in press). Sowohl die Anwendung im Gelände als auch die Auswertung der Ergebnisse in Form des Soil Fingerprint Codes sind im Zuge dieser Arbeit erprobt worden. Die Oberbodenansprache erfolgte infolgedessen mit dem A-horizon-framework und als Vergleichsmaß zusätzlich mit der Bodenkundlichen Kartieranleitung. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass der A-horizon-framework umfassende Möglichkeiten für eine Oberbodenansprache bietet und für eine detaillierte Bestimmung des Bodengefüges geeignet ist.

Schlussfolgernd bietet diese Arbeit unter Thematisierung der wichtigsten Einflussfaktoren einen detaillierten Einblick in die Unterschiede des Bodengefüges unter verschiedenen Landnutzungen und gibt die Veränderungen, die durch langjährige Bodenbearbeitungsmaßnahmen hervorgerufen werden, wieder.

Literatur

Ad-hoc-AG Boden (2005⁵): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.).

Adu, J.K. & J.M. Oades (1977): Physical factors influencing decomposition of organic materials in soil aggregates. – *Soil Biology & Biochemistry*, Nr.10, S.109-115.

Ahl, C. (1987): Veränderungen von Art und Menge der organischen Substanz in der Ackerkrume von Langzeit-Feldversuchen, gemessen an einigen physikalischen und chemischen Parametern. In: Göttinger Bodenkundliche Berichte, Band 92. B. Meyer & B. Ulrich (Hrsg.), Anstalten für Bodenkunde der Universität Göttingen.

Ball, B.C., T. batey & L.J. Munkholm (2007): Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. - *Soil use and Management*, Nr.23, S.329-337.

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2013): Förderschwerpunkt “Nachhaltiges Landmanagement” – Projekt SASCHA. < <http://modul-a.nachhaltiges-landmanagement.de/de/projekte/sascha/> > (Zugriff: 13.10.2013).

Bronick, C.J. & R. Lal (2005): Soil structure and management: a review. - *Geoderma - The Global Journal of Soil Science*, Nr.124, S.3-22.

Cendev, U.G., A.L. Alexandroski, O.S. Hochlova, L.G. Smirnova, L.L. Novych & A.W. Dolgich (2011): Anthropogene Evolution der Albe Luvisols im südlichen Teil der zentral russischen Hochebene. – *Bodenwissenschaften*, Nr.1, S.1-13. (russ.)

Czarnes, S., A.R. Dexter & F. Bartoli (1999): A simplified method for analyzing the mechanics of clod: clod interactions in topsoils with a wide range of clay content. – *Soil & Tillage Research*, Nr.52, S.59-71.

Devyatova, T.A. & A.P. Shcherbakov (2006): Biological Activity of Chernozems in the Centre of the Russian Plain. – *Eurasian Soil Science*, Vol.39, Nr.4, S.450-456.

DLG e.V. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (Hrsg.) (2008): Schonende Bodenbearbeitung. Systemlösungen für Profis. Frankfurt a.M.: DLG-Verlags-GmbH.

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations (Hrsg.) (2006⁴): Guidelines for soil description. Rome.

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations (Hrsg.) (2001): Lecture notes on the major soils of the world. Rome.

Field manual for describing soils (1985³) (Hrsg.): University of Guelph, Ontario; Ontario Institute of Pedology; Guelph Agriculture Centre.

Fox, C.A., C. Tarnocai, G. Broll & M. Joschko (in press): New taxonomic framework for enhanced A horizon designations to enable monitoring of dynamic soil change in topsoils at field to landscape scale. - Canadian Journal of Soil Science.

Franz, H.-J (etwa 1973): Physische Geographie der Sowjetunion. Gotha, Leipzig: VEB Hermann Haack.

Galler, J. (2008): Kalkdüngung. Basis für fruchtbare Böden, Praxisratgeber. (Hrsg.): Landwirtschaftskammer Salzburg, Betriebsentwicklung und Umwelt.

Götze, P., J. Rücknagel & O. Christen (2013): Bodenstrukturzustand der unteren Ackerkrume auf langjährig konservierend und tiefenreduziert bearbeiteten mitteldeutschen Ackerflächen. - Bodenschutz, Jahrgang 18, Nr.3, S.88-92.

Grevers, M.C.J. & E. de Jong (1992): Soil structure changes in subsoiled Solonetzic and Chernozemic soils measured by image analysis. - Geoderma, Nr.53, S.289-307.

Hassink, J. (1992): Effects of soil texture and structure on carbon and nitrogen mineralization in grassland soils. - Biology and Fertility of Soils, Nr.14, S.126-134.

Historical weather for the last twelve months in Tyumen, Russian Federation (2013) < <http://weatherspark.com/history/33867/2013/Tyumen-Tyumenskaya-oblast-Russian-Federation> > (Zugriff: September 2013).

Kay, B. D., D. A. Angers, P.H. Groenevelt, & J.A. Baldock (1988): Quantifying the influence of cropping history on soil structure. - Canadian Journal of Soil Science, Nr.68, S. 359-368.

Kiem, R. & E. Kandeler (1997): Stabilization of aggregates by the microbial biomass as affected by soil texture and type. - Applied Soil Ecology, Nr.5, S.221-230.

Korchagin, A.A., N.I. Zakharov & N.I. Shushkевич (2011): Soils physics: laboratory practical. – Vladimir: Univ VSU. (russ.)

Krupenikov, I.A., B.P. Boincean & D. Dent (2011): The Black Earth. Ecological Principles for Sustainable Agriculture on Chernozem Soils. Heidelberg, London, New York: Springer Dodrecht.

Kühling, I. & D. Trautz (2012): Workingpaper Agrarstruktur. Vorläufige Charakterisierung der landwirtschaftlichen Produktion in der Region Tjumen «Milestone M511». Hochschule Osnabrück.

Lozán, J.L. & H. Kausch (2007⁴): Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler. Hamburg: Naturwissenschaftliche Auswertungen.

Milanovskij, E.U., E.W. Schejn, A.M. Rusanov, D.I. Zasipkina, E.I. Nikolaeva & L.V. Anilova (2005): Bodenstruktur und organische Bodensubstanz von typischen Schwarzerden westlich des Urals unter Wald und auf alten Ackerstandorten. Westnik OGU. (russ.)

Monreal, C. M., Zentner, R. P. & Robertson, J. A. (1995): The influence of management on soil loss and yield of wheat in Chernozemic and Luvisolic soils. - Canadian Journal of Soil Science, Nr.75, S. 567-574.

Mueller, L., T.G. Shepherd, B. Kay, A. Behrendt & U. Schindler (2006): Evaluation of soil structure and soil quality under arable and grass lands. - Sustainability - its impact on soil management and environment: proceedings of ISTRO 17, S.1550-1555; Kiel (Christian-Albrechts-Universität).

Mueller, L., B.D. Kay, C. Hu, Y. Li, U. Schindler, A. Behrendt, T.G. Shepherd & B. C. Ball (2009): Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany. Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. - Soil & Tillage Research, Nr.103, S.178-187.

Mueller, L., B.D. Kay, B. Deen, C. Hu, Y. Zhang, M. Wolff, F. Eulenstein & U. Schindler (2008): Visual assessment of soil structure: Part II. Implications of tillage, rotation and traffic on sites in Canada, China and Germany. - Soil & Tillage Research (2008), doi:10.1016/j.still.2008.09.010.

Mueller, L., U. Schindler, W. Mirschel, T.G. Shepherd, B.C. Ball, K. Helming, J. Rogasik, F. Eulenstein & H. Wiggering (2010): Assessing the productivity function of soils. A review. - Agronomy for Sustainable Development, Nr.30, Issue 3, S.601-614.

Needelman, B.A., M.M. Wander, G.A. Bollero, C.W. Boast, G.K. Sims & D.G. Bullock (1999): Interaction of Tillage and Soil Texture: Biologically Active Soil Organic Matter in Illinois. – Soil Science Society of America Journal, Nr.63, S.1326-1334.

Pachepsky, Y.A. & W.J. Rawls (2003): Soil structure and pedotransfer functions. - European Journal of Soil Science, Nr.54, S.443-451.

Paré, T., H. Dinel, A.P. Moulin & L. Townley-Smith (1999): organic matter quality and structural stability of a Black Chernozemic soil under different manure and tillage practices. - Geoderma, Nr.91, S.311-326.

Pennock, D., A. Bedard-Haughn & V. Viaud (2011): Chernozemic soils of Canada: Genesis, distribution and classification. – Canadian Journal of Soil Science, Nr.91, S. 719-747.

Rampazzo, N., W.E. Blum & B. Wimmer (1998): Assessment of soil structure parameters and functions in agricultural soils. In: Universität für Bodenkultur Wien (Hrsg.): Die Bodenkultur. Band 49, Heft 2,S.69-84.

Scheffer , F. & P. Schachtschabel (2010¹⁶): Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg, Berlin: Spektrum Verlag.

Semizorov, S. (2013): Differenzierte Bodenbearbeitung auf gleic Chernozems bei verschiedenen Düngemengen im nördlichen Transural. Doktorarbeit bei der Universität Krasnojarsk. (russ.)

Stahel, W.A. (1995): Statistische Analyse. Eine Einführung für Naturwissenschaftler. Braunschweig, Wiesbaden: Verlag Vieweg & Sohn.

Stahr, K. (2008): Bodenkunde und Standortlehre. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

Stolbovoi, V. (2000): Soils of Russia: Correlated with the Revised Legend of the FAO Soil Map of the World and World Reference base for Soil Resources. (Hrsg.): International Institute for Applied systems Analyses, Laxenburg Austria.

Terpelets, V.I. & V.N. Slyusarev (2010): Teaching manual for the study of agrophysical and of agrochemical of methods soil investigations. – Krasnodar: KubGAU. (russ.)

Vadyunina, A.F. & Z.A. Korchagina (1961): Methods for determination of the physical properties of soils (in the field and laboratory). - Moscow: Higher School (russ.)

Wein, N. (1999): Sibirien. Gotha, Stuttgart: Klett-Perthes.

Weyer, T. & R. Boeddinghaus (2010): Neue Feldmethode zur Erkennung und Bewertung von Bodenschadverdichtungen. - Bodenschutz, 15.Jahrgang, Nr.1,S.16-19.

Wetter im Rückblick. Wetterstation Tyumen (2013) < http://www.wetteronline.de/wetterdaten/tjumen?pcid=pc_rueckblick_data&gid=28367&pid=p_rueckblick_diagram&sid=StationHistory&iid=28367&month=08&year=2013&period=8¶id=TXLD > (Zugriff: September 2013).

Wöllecke, B. (2006): Einfluss von Acker- und Waldnutzung auf Wasseraufnahme und Wasserspeicherung von Löss- und Sandböden. In: Brandenburgische Technische Universität Cottbus (Hrsg.): Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung. Band 35.

Zech, W. & G. Hintermaier-Erhard (2002): Böden der Welt. Berlin: Springer Spektrum.

Anhang

Tabelle A1.1: Feldbogen nach KAS. Dargestellt sind Datum, Witterung, Landnutzung/Vegetation, org. Auflage, Ah-Mächtigkeit, pH-Wert und Verdichtung der Standorte des östlichen Testgebietes.

Feld	Datum	Witterung	Landnutzung/Vegetation	org. Auflage	Ah-Mächtigkeit	pH (CaCl ₂) (0-30cm)	Verdichtung
Acker Ost 1	29.07.2013	Sonne, Regen am Vorabend	Acker, Schwarzbrache, Brache / zurückgebohner Amaranth (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	nein	35 cm	6.62	0-10cm locker, 11-21cm dichter, 21-B-Horizont etwas dichter - Pflugsohle
Acker Ost 2	29.07.2013	Sonne, Regen am Vorabend	Kartoffelacker/ Unkraut: zurückgebohner Amaranth (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	nein	40 cm, obenauf 20-25 cm Damm	6.72	Profil ab Boden ohne Hochbeet: 0-10cm locker, 10-25cm dichter, >25cm hart
Acker Ost 3	30.07.2013	sonnig, windig	Schwarzbrache/ vor zwei Wochen gepflügt, jetzt geegrubbert/ leichter Unkrautbewuchs	nein	50 cm	5.98	0-25cm locker, 25-50cm fest, >50cm fest
Acker Ost 4	31.07.2013	sonnig	Acker/ Weizen (<i>Triticum aestivum</i>), Hafer (<i>Avena sativa</i>)	L sehr dünn	38 cm	7.6	0-10cm locker, der Rest gleichmäßig dicht, verdichtet
Acker Ost 5	06.08.2013	Sonne	Acker // zuvor Kartoffelanbau (<i>Solanum tuberosum</i>), jetzt geegrubbert	nein	32 cm	5.25	0-15cm locker, >15cm dicht
Brache Ost 1	25.07.2013	Sonne	Brache/ Löwenzahn (<i>Taraxacum sect. Ruderalia</i>), mittlerer Klee (<i>Trifolium medium</i>), Beifuß (<i>Lactuca sativa</i>), Wicken (<i>Vicia</i>), Winden (<i>Convolvulaceae</i>), Land-Reitgras (<i>Calamagrostis epigejos</i>), Quecke (<i>Elymus</i>), wilde Pastinake (<i>Pastinaca sativa</i>), schmalblättriges Weidenröschen (<i>Chamerion angustifolium</i>), gewöhnlicher Steinklee (<i>Mellotus officinalis</i>), Wiesen-Platterbse (<i>Lathyrus pratensis</i>)	L 1cm	35 cm	6.54	0-2cm locker, 2-6cm mittel, 6-24cm mittel, ab 24cm bis 35cm dichter (Pflugsohle), 35-45cm mittig dichter, 45-55cm richtig hart
Brache Ost 2	03.08.2013	Sonne	Brache/ Schafgarde, wilde Pastinake (<i>Pastinaca sativa</i>), Löwenzahn (<i>Taraxacum sect. Ruderalia</i>), Gräser (<i>Panico</i>), Breitwegerich (<i>Plantago major</i>), Wiesen-Platterbse (<i>Lathyrus pratensis</i>), Beifuß (<i>Artemisia vulgaris</i>), Ackerrwinde (<i>Convolvulus arvensis</i>), Steiniklee (<i>Melilotus</i>), Moos, Schafes Beerkraut (<i>Erigeron acris</i>), Wiesen-Lieschgras (<i>Phleum pratense</i>), Riesen-Straußgras (<i>Agrastis glomerata</i>), Kried-Quicke (<i>Elymus repens</i>), Krauel-Glockenblume (<i>Campanula glomerata</i>), Frühlings-Zahntrost (<i>Odonites vernus</i>), Doldige Habichtskraut (<i>Hieracium umbellatum</i>), Weißer Steinklee (<i>Mellotus albus</i>)	L 0-1cm nur	40 cm	6.32	0-13 cm etwas hart, 13-40cm dicht
Wald Ost 3	06.08.2013	teils bedeckt, sonnig	Birkenwald (ansonsten ein Kieferngelände, da sandig!) Steinbeere (<i>Rubus saxatilis</i>), Faulbaum (<i>Fraxinus excelsior</i>), Käthleinauge (<i>Strychnos nux-vomica</i>), Schilf (<i>Phragmites australis</i>), Bräunelätzchen (<i>Artemisia vulgaris</i>), Wiesen-Platterbse (<i>Lathyrus vernus</i>), Breitblättrige Stendelwurz (<i>Epipactis helleborine</i>), Brennholde (<i>Cnidium dubium</i>), Blutwurz (<i>Potentilla erecta</i>), gewöhnliches Mädesüß (<i>Filipendula ulmaria</i>), großer Wiesenkopf (<i>Sanguisorba officinalis</i>), Sumpf-Segge (<i>Carex acutiformis</i>)	L 3cm/ Of viele	30 cm	7.47	0-15cm locker, 15-20cm fester, >20cm mittel = feuchter Sand
Brache Ost 4	31.07.2013	Sonne	Brache (alt) Löwenzahn (<i>Taraxacum sect. Ruderalia</i>), Brat- und Spitzwegerich (<i>Plantago lanceolata</i>), Beifuß (<i>Artemisia vulgaris</i>), Wiesen-Platterbse (<i>Lathyrus pratensis</i>), Rundblättrige Wintergrün (<i>Pyrrola rotundifolia</i>), Lupine (<i>Lupinus</i>), Ackerkratzdistel (<i>Cirsium arvense</i>), Moos, Sumpf-Engelwurz (<i>Angelica palustris</i>), Grauweide (<i>Stachys satureoides</i>), Schilf (<i>Phragmites australis</i>), wehrlose Trespe (<i>Bromus nemoris</i>), Schafgarbe (<i>Achillea millefolium</i>), Birken (<i>Betula</i>)	Of 0,5-1 cm	30 cm	7.58	0-10cm locker, 10-30 dicht, B-horizont etwas lockerer als 10-30
Wald Ost 5	06.08.2013	Sonne	Birkenwald/ Birken (<i>Betula</i>), Papeln (<i>Populus</i>), Schachtelhalm (<i>Equisetum</i>), Steinbeere (<i>Rubus saxatilis</i>), Käthleinauge (<i>Strychnos nux-vomica</i>), Wiesen-Storchenschnabel (<i>Geranium pratense</i>), Rundblättrige Wintergrün (<i>Pyrrola rotundifolia</i>), Schilf (<i>Phragmites australis</i>), Brennholde (<i>Cnidium dubium</i>), Aiant (<i>Antennaria nemorum</i>), großer Wiesenkopf (<i>Sanguisorba officinalis</i>), Boreles Lakraut (<i>Gaultheria borealis</i>), Frühlings-Platterbse (<i>Lathyrus vernus</i>), Gewöhnlicher Schneeball (<i>Viburnum opulus</i>), Binnengrün, gewöhnliches Mädesüß (<i>Filipendula ulmaria</i>)	L 2cm/ Of 3cm	32 cm	7.48	Ah mitteldicht, B etwas dichter

Tabelle A1.2: Feldbogen nach KA5. Dargestellt sind Datum, Witterung, Landnutzung/Vegetation, org. Auflage, Al-Mächtigkeit, pH-Wert und Verdichtung der Standorte des westlichen Testgebietes.

Feld	Datum	Witterung	Landnutzung/Vegetation	6g. Auflage	Al-Mächtigkeit	[pH (CaCl ₂) 0-30cm]	Verdichtung
Acker West 1 TSAA Feld 49	05.08.2013	sonnig, trocken	Getreidefeld unter Nutzung/Hafer (<i>Avena sativa</i>), Erbse (<i>Psium sativum</i>), Unkraut: Ackerkratzstiel (<i>Cirsium arvense</i>)	nein	42 cm	6.93	0-10cm locker, darunter alles hart
Acker West 2 TSAA Feld 40	02.08.2013	teil Sonne, teils Wolken	Acker, Gründüngung, Kleemischung (<i>Trifolium</i>)	0-0,5 cm	30 cm	6,34	0-6cm locker, darunter alles gleich dicht
Acker West 3 TSAA Versuchsfeld	28.07.2013	Sonne, am Vorasend Regen	Acker/ geflügt, gelockert	nein	30 cm	5,5	10cm locker, 10-20cm dichter, B-Horizont 30cm dicht (Pflugsohle), B-Horizont genauso hart
Acker West 4 TSAA Feld 42	02.08.2013	Bewölkt	Acker geflügt/ durchwachsender Hafer (<i>Avena sativa</i>), Stoppeln	nein	30 cm	5,75	0-17cm locker, 17-25cm dichter, 25cm dichter - Pflugsohle
Acker West 5 TSAA Feld 26	23.07.2013	Sonne, Tage davor Regen	Acker, Schwarzbrache/ keine Vegetation	nein	35 cm	6,77	0-15cm mittlere Verdichtung, eher locker, darunter stellenweise sehr lockeres Material -> nicht zersetzter Wirtschaftsstücker aus dem Vorjahr, Pflugsohle in 30cm-> Verdichtung danach gleich dicht, auch im B- Horizont
Wald West 1	22.07.2013	Sonne, davor 4 Tage Regen	Birkenwald/ Birken (<i>Betula</i>), Papeln (<i>Populus</i>), Walderdbeeren (<i>Fragaria vesca</i>), Himbeere (<i>Rubus idaeus</i>), Steinbeere (<i>Rubus saxatilis</i>), Hagebutte (<i>Rosa canina</i>), Schachtelhalm (<i>Episetum paustre</i>), Brennessel (<i>Urtica</i>), weichhaariges Lungenkraut (<i>Pulmonaria mollis</i>), Breitales Labkraut (<i>Gallium boreale</i>), rundliches Brimengrün, mittlerer Klee (<i>Trifolium medium</i>), Straußgras (<i>Agrostis</i>), Trollblume (<i>Trollius europaeus</i>), Ackerkratzstiel (<i>Cirsium arvense</i>)	0,5 cm verblebt Of 0,3cm	15-20 cm	5,23	ab 15cm dichter, ab 25cm sehr hart
Wald West 2	24.07.2013	Sonne, am vorabend Regen	Birkenwald/ Birken (<i>Betula</i>), Papeln (<i>Populus</i>), Hagebutten (<i>Rosa canina</i>), Storchenschnabel (<i>Geranium pratense</i>), Steinbeere (<i>Rubus saxatilis</i>), weichhaariges Lungenkraut (<i>Pulmonaria mollis</i>), rundblättriges Brimengrün	0,5-1cm/ Of 4-5cm/ 0-2cm	23 cm	4,61	0-10cm dichter, 20-24cm fester, 25cm dicht
Wald West 3 (2012)	02.08.2013	Sonne	Birkenwald/ gewöhnlicher Steinklee (<i>Mellotus officinalis</i>), Birken (<i>Betula</i>), Papeln (<i>Populus</i>), weichhaariges Lungenkraut (<i>Pulmonaria mollis</i>), Hagebutte (<i>Rosa canina</i>), Steinbeere (<i>Rubus saxatilis</i>), Triske, Beifuß (<i>Artemisia vulgaris</i>), Mariendstiel (<i>Silybum marianum</i>)	0,5-1cm/ Of 1-2cm/ 0-2cm	40 cm	5,25	nach org. Auflage, 5-10cm locker, 10-40cm dicht, B-Horizont noch dichter
Wald West 4	03.08.2013	Sonne	Birkenwald/ vorwiegend Hagebutte (<i>Rosa canina</i>), Steinbeere (<i>Rubus saxatilis</i>), Frauennmantel (<i>Achillea millefolium</i>), weichhaariges Lungenkraut (<i>Pulmonaria mollis</i>), Birken (<i>Betula</i>), Papeln (<i>Populus</i>), Schachtelhalm (<i>Episetum pilosstre</i>)	1,1cm/ Of 1cm	30 cm	4,76	0-10cm locker, 10 bis B-Horizont nicht sehr hart
Wald West 5	08.08.2013	Sonne	Birkenwald/ Wiesenstorchschnabel, weichhaariges Lungenkraut (<i>Pulmonaria mollis</i>), Steinbeere (<i>Rubus saxatilis</i>), Walderdbeeren (<i>Fragaria vesca</i>), Birken (<i>Betula</i>), Papeln (<i>Populus</i>), Hagebutte (<i>Rosa canina</i>), Vogelbeere (<i>Sorbus aucuparia</i>), mittlerer Klee (<i>Trifolium medium</i>), Faltblatt (<i>Fragaria ananassa</i>), Boreale Labkraut (<i>Gallium boreale</i>), Brenndolde (<i>Cnidium dubium</i>)	1,1cm/ Of 2cm	30 cm	4,83	0-10cm locker, 10-B-Horizont dicht

Tabelle A2.1: Feldbogen nach KA5 in 0-5 cm. Dargestellt sind Gefüge, Bodenart, Bodenfeuchte, Hydromorphie, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm³, Bodenporen und Notizen des östlichen Testgebietes.

0-5 cm		Gefüge	Bodenart	Org. Reststoffe	Bodenfeuchte	Hydromorphie	Carbonatgehalt	Durchwurzelung	Bodenfarbe	ld (g/cm3)	Bodenporen	Notizen
Feld												
Acker Ost 1	10% sub <2,5cm/ 55% kru <2,5cm/ 30% sub 2,5-5cm/ 5% einzell	Siu	nein		schwach feucht	nein	c1 kleine Carbonatfeilich en 1-2 mm Durchmesser	schwach nur Feinwurzeln	schwarz	0,89	nur Feinporen	
Acker Ost 2	30% sub <2,5cm/ 50% kru <2,5cm/ 10% sub 2,5-5cm/ 10% einzell	S14	ja: Stroh ein weng	schwach feucht	nein	c1	sehr wenig	hell schwarz	0,92	sehr feine Poren, nicht viele		
Acker Ost 3	30% sub <2,5cm/ 50% kru <2,5cm/ 5% sub 2,5-5cm/ 15% einzell	Siu	nein	trocken	nein	c0	Restwurzeln zu sehen, Feinwurzeln schwach	grau-schwarz schnitzig	1,15	mittlere Poren	beginnende Rissbildung durch Austrocknung (leicht)	
Acker Ost 4	30% sub <2,5cm/ 65% kru <2,5cm/ 5% einzell	Lu	ja	trocken	nein	c3,2	stark	hell schwarz	1,01	viele Fein- und Mittelporen		
Acker Ost 5	2% Klumpen 5- 15cm	Su4	ja: wenig	trocken	nein	c0	sehr schwach	grau	1,21	nicht auffällig	kleine Kartoffeln liegen auf	
Brache Ost 1	20% sub <2,5cm/ 80% kru <2,5cm	Urt4	ja	schwach feucht	nein	c1	Feinwurzeln: stark	hell schwarz	1,35	nur Feinporen		
Brache Ost 2	30% sub <2,5cm/ 60% kru <2,5cm/ 10% einzell	Tu4	ja	trocken	nein	c0	sehr stark	grau	1,14	viele Mittelporen		
Wald Ost 3	100% kru <2,5cm	Us	nein	ganz schwach feucht	nein	c3,3	dichte Wurzelmatte, schwer zu zerstechen gräulich	schwarz	0,50			
Brache Ost 4	10% sub <2,5cm/ 40% kru <2,5cm/ 50% sub 2,5-5cm	Lu	ja	schwach feucht	nein	c3,3	extrem stark bis Wurzelfilz	hell schwarz	1,18	viele Mittelporen		
Wald Ost 5	20% sub <2,5cm/ 30% kru <2,5cm/ 50% einzell	Su4	ja	schwach feucht	nein	c1	Wurzelfilz	grau	0,55	wenig		

Tabelle A2.2: Feldbogen nach KA5 in 0-5 cm. Dargestellt sind Gefüge, Bodenart, Bodenfeuchte, Hydromorphie, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm³, Bodenporen und Notizen des westlichen Testgebietes.

0-5 cm		Feld	Gefüge	Bodenart	Org. Reststoffe	Bodenfeuchte	Hydromorphe	Carbonatgehalt	Durchwurzelung	Bodenfarbe	Ld (g/cm ³)	Bodenporen	Notizen
feld	Ge												
Acker West 1	10% sub <2,5cm/ 5% pol <2,5cm/ 80% kru >2,5cm/ 5% einzeln	TSAA Feld 49				trocken			mittel nur Feinwurzen	dunkel grau	1,04	wie Feinporen,	
Acker West 2	10% sub <2,5cm/ 85% kru >2,5cm/ 5% einzeln	TSAA Feld 40	Lu	nein		trocken	nein	c1	stark				Bodenp. Albeluvisol
Acker West 3	20% sub <2,5cm/ 50% kru >2,5cm/ 30% sub 2,5-5cm	TSAA Versuchsfeld	lt3	ja-Vorkultur aber nicht viel		feucht	nein	c1	nein	schwarz	0,87	Tief viel mittlere Poren aufällig; besseres Gefüge als letztes Jahr und keine Risse. >viel Regen dieses Jahr -> Einfluss auf das Gefüge	
Acker West 4	20% Klumpen 5- 15mm/ 30% Klumpen 15- 25mm/ 10% Klumpen >25cm/ 10% sub <2,5cm/ 10% pol <2,5cm/ 10% sub 2,5-5cm/ 10% pol 2,5-5cm	TSAA Feld 42	Lu	nein		trocken	nein	c1	Feinwurzen: mittel	dunkel grau	0,91	nur Feinporen	
Acker West 5	30% Klumpen 15- 25mm/ 35% sub <2,5cm/ 35% pol 2,5-5cm	TSAA Feld 26	Tu3/Tu4	ja		feucht	nein	c1	nein	hell schwarz	0,94	Grob-hoch Risse, Mittel: hoch fermentiert oder & kleine Risse, Fein: mittel & feine Risse	in einigen Fragmenten org. Material Mistreste
Wald West 1	5% sub <2,5cm/ 90% kru 2,5-5cm	Urt/Tu4		nein		schwach feucht	nein	c1	Grobwurzen schwach, Feinwurzen stark	dunkel braun	0,83	Grob-hoch, Mittel: mittel, Fein: mittel	viele Pilzhyphen, Regenwurm-Lösungen
Wald West 2	17% sub <2,5cm/ 80% kru >2,5cm/ 3% einzeln	St4/Tu4	ja			schwach feucht	nein	c0	mittel, Feinwurzen: mittel		0,70		Vermutung vor ca. 70 Jahren Acker bewesen, podsolart, typischer grauer Waldboden
Wald West 3 (2012)	10% sub <2,5cm/ 90% kru >2,5cm	Lu	ja			schwach feucht	nein	c2	stark, Grob- und Feinwurzen	schwarz	0,67	mittlere Poren	viele umgestürzte Bäume
Wald West 4	50% sub <2,5cm/ 10% pol <2,5cm/ 40% kru >2,5cm	Lu	ja			schwach feucht	nein	c0	sehr stark	hell schwarz	0,78	auch Grobporen	
Wald West 5	90% kru >2,5cm/ 10% einzeln	lt2	nein			schwach feucht	nein	c0	sehr stark	grau	0,65	viele vorhanden	

Tabelle A3.1: Feldbogen nach KA5 in 5-30 cm. Dargestellt sind Gefüge, Bodenart, Bodenfeuchte, Hydromorphie, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm³, Bodenporen und Notizen des östlichen Testgebietes.

5-30 cm		Gefüge	Bodenart	Org. Reststoffe	Bodenfeuchte	Hydromorphie	Carbonatgehalt	Durchwurzelung	Bodenfarbe	Ld (g/cm ³)	Bodenporen	Notizen
Feld	5-30 cm											
Acker Ost 1	10% sub >2,5cm/ 55% kru >2,5cm/ 30% sub 2,5-5cm/ 5% einzeln	Siu	nein	Schwach feucht	nein	cl. Kleine Carbonat-teilchen 1-2 mm Durchmesser	wenig Feinwurzeln	schwarz	0,93	nur Feinporen		
Acker Ost 2	15% sub >2,5cm/ 55% kru >2,5cm/ 20% sub 2,5-5cm/ 10% einzeln	Si4	nein	Schwach feucht	nein	cl.	nein	hell braun	0,94			
Acker Ost 3	35% sub >2,5cm/ 5% pol <2,5cm/ 30% kru >2,5cm/ 20% sub 2,5-5cm/ 10% einzeln	Siu	ja: vereinzelt Halme unzersetzt	Schwach feucht	nein	c0	Feinwurzeln schwach, Grobwurzeln mittel	grau-schwarz schmutzig	1,23	nur Feinporen		
Acker Ost 4	5% sub >2,5cm/ 35% pol >2,5cm/ 40% pol 2,5-5cm	Lu	ja	Schwach feucht	nein	c3:2	gering	hell schwarz	1,15	Feinporen wenig		
Acker Ost 5	50% sub >2,5cm/ 35% kru >2,5cm/ 10% sub 2,5-5cm/ 5% einzeln	Ls3	nein	Schwach feucht	nein	c0	sehr gering	grau braunlich	1,33	Mittelporen		
Brache Ost 1	30% sub >2,5cm/ 70% kru >2,5cm	L12	nein	Schwach feucht	nein	cl.	Feinwurzeln: mittel	schwarz	1,35	Feinporen	deutliche Grenze zum B-Horizont	
Brache Ost 2	30% sub >2,5cm/ 40% kru >2,5cm/ 30% sub 2,5-5cm	Tu4	nein	Schwach feucht	nein	c0	schwach	hell schwarz	1,32	Feinporen	Pilznyzel	
Wald Ost 3	30% sub >2,5cm/ 70% kru >2,5cm	L12	nein	Schwach feucht	nein	c4 - c5	vereinzelt Grobwurzeln	grau bis schwach schwarz	0,77		kein gerader Übergang zwischen A- und B-Horizont	
Brache Ost 4	50% Klumpen 5- 15cm/ 25% pol <2,5cm/ 25% pol 2,5-5cm	Lu	nein	Schwach feucht	nein	c3:3	mittel	schwarz	1,24	Feinporen	Gefüge leicht plattig	
Wald Ost 5	20% sub >2,5cm/ 30% kru >2,5cm/ 50% einzeln	Siu	nein	Schwach feucht	nein	c3	stark, auch Grobwurzeln	dunkel grau	0,91			

Tabelle A3.2: Feldbogen nach KA5 in 5-30 cm. Dargestellt sind Gefüge, Bodenart, Bodenfeuchte, Hydromorphie, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm^3 , Bodenporen und Notizen des westlichen Testgebietes.

5-30 cm		Gefüge	Bodenart	org. Reststoffe	Bodenfeuchte	Hydromorphe	Carbonatmorphie	durchwurzelung	Bodenfarbe	Ld (g/cm ³)	Bohrporen	Notizen
Feild	TSAA											
Acker West 1 TSAA A Feld 49	10% sub >2,5cm/ 50% pol >2,5cm/ 40% kru >2,5cm	lt2	nein						dunkel grau	1,26		
Acker West 2 TSAA A Feld 40	40% sub >2,5cm/ 30% pol >2,5cm/ 20% kru >2,5cm/ 5% pol 2,5-5cm/ 5% einzeln	U3	ja	trocken	nein	c1	gering	dunkel grau	1,29	Fengporen		
Acker West 3 TSAA A Versuchsfeld	20% sub >2,5cm/ 30% kru >2,5cm/ 50% sub 2,5-5cm	U3	ja	feucht	nein	c1	nein	schwarz	1,21	nur Feinporen an der Pflugsohle Strohreste		
Acker West 4 TSAA A Feld 42	5% Klumpen 5- 15cm 60% sub >2,5cm/ 5% pol >2,5cm/ 5% kru >2,5cm/ 20% sub 2,5-5cm/ 5% pol 2,5-5cm	Lu	ja in 25 cm Tiefe	schwach feucht	nein	c0	gering	dunkel grau	1,14	mittlere		
Acker West 5 TSAA A Feld 26	30% sub >2,5cm/ 10% pol >2,5cm/ 30% sub 2,5-5cm/ 30% pol 2,5-5cm	U2/Tu4	ja: stellenweise Wirtschaftslüge r. unterge pfügtes Unkraut	schwach feucht	nein	c1	Feinwurzeln gering	schwarz	1,53	Grob: hoch, Mittel: mittel, Fein: mittel- gering		
Wald West 1 (2012)	90% sub >2,5cm/ 10% sub 2,5-5cm	Tu4/T1	nein	schwach feucht	ja: hellrostfarben, ockerfarben	c1	Feinwurzeln 0, Grobwurzeln >1 auf dm2	braun	1,01	Grob: gering, Mittel: gering, Fein: gering		
Wald West 2 (2012)	70% sub >2,5cm/ 10% pol >2,5cm/ 15% sub 2,5-5cm/ 5% einzeln	T1/lt2	nein	schwach feucht	nein	c1	Grob: wenig, Fein: mittel	grau	1,04			
Wald West 3 (2012)	10% sub >2,5cm/ 90% kru >2,5cm	U4	nein	schwach feucht	nein	c2	schwach, Grob- und Feinwurzeln	schwarz	0,91	deutliche Trennung A- zu B-Horizont		
Wald West 4 (2012)	20% sub >2,5cm/ 70% kru >2,5cm	Tu4	nein	schwach feucht	nein	c1	mittel	schwarz	0,84	viel Fein- und Mittel poren		
Wald West 5 (2012)	15% pol >2,5cm/ 70% kru >2,5cm/ 10% einzeln/ 5% blattig	U2	nein	trocken	nein	c1	Stark, Fein- und Grobwurzeln	dunkel grau	0,99	wenige	Gefüge: Krumel etkige kleine Teile Durchmesser 0-3cm, eigentlich Polyeder, aber klein.	

Tabelle A4.1: Feldbogen nach KA5 des B-Horizontes. Dargestellt sind Gefüge, Bodenfeuchte, Hydromorphe, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm³, Bodenporen und Notizen des östlichen Testgebietes.

Feld	B-Horizont		Bodenart	Org. Reststoffe	Bodenfeuchte	Hydromorphe	Carbonatgehalt	Durchwurzelung	Bodenfarbe	Bodenporen	Lagerungsdichte FAO	Notizen
	Gefüge	Größe										
Acker Ost 1	30% sub >2,5cm/ 20% pol >2,5cm/ 15% kru >2,5cm/ 30% pol 2,5-5cm/ 5% einzeln	S4	nein	feucht	nein	nein	nein	wenig Feinwurzeln	hell braun	viel mehr Feinporen	BD3	
Acker Ost 2	40% sub >2,5cm/ 10% pol >2,5cm/ 35% kru >2,5cm/ 10% sub 2,5-5cm/ 5% einzeln	Ls3	nein	schwach feucht	nein	nein	Feinwurzeln wenig	hell schwarz			BD4	Mangan Eisen
Acker Ost 3	20% sub >2,5cm/ 30% pol >2,5cm/ 10% kru >2,5cm/ 40% einzeln	S13	nein	schwach feucht	nein	nein	grau-braun ästig hell		nur Feinporen		BD3	
Acker Ost 4	30% sub >2,5cm/ 70% kru >2,5cm	Tu3	nein	feucht	ja: Eisen, Mangan	C1 sehr arm	nein	hell braun	deutlich sichtbar Fein- und Mittelporen		BD3	
Acker Ost 5	30% sub >2,5cm/ 30% pol >2,5cm/ 35% kru >2,5cm/ 5% einzeln	Ts2	nein	schwach feucht	nein	sehr carbonatarm	nein	braun	viele kleine und mittlere Poren		BD3	
Brache Ost 1	30% sub >2,5cm/ 60% kru >2,5cm/ 10% einzeln	Ls2	nein	schwach feucht	nein	C3.3-2.4%	schwach	hell braun	mittlere Poren		BD2	Mangan und Lötkindel
Brache Ost 2	30% sub >2,5cm/ 10% einzeln, weitere Angaben fehlen	Tu3	nein	schwach feucht	ja: hellrost, evtl Mangan	C1 sehr carbonatarm	sehr gering	braun	wenige		BD3	starke Durchmischung A- mit B-Horizont, keine eindeutige Grenze
Wald Ost 3	40% sub >2,5cm/ 60% kru >2,5cm	Ss	nein	feucht	ja: Punkte mit dunkelrostfarben Eisen-Mangan- Verbindungen	schwach	sehr schwach	braun sehr hell mittels dunkel gelb			BD2	Gefüge deutlich zusammen- hängender als 0-30cm (siehe Foto)
Brache Ost 4	10% Klumpen (Clods) 5-15cm/ 30% sub >2,5cm/ 30% sub 2,5-5cm	Tu3	ja	schwach feucht	ja: Eisenkonkretionen- hellrostfarben	C1 sehr arm	schwach	grau	mittlere und große Poren		BD3.1-4-1-6	Gefüge leicht plattig
Wald Ost 5	30% sub >2,5cm/ 50% kru >2,5cm/ 20% einzeln	Ss	nein	schwach feucht	ja: hellrost ein wenig	stark carbonatarm	nein	hell grau	deutliche Mittelporen		Bd1	

Tabelle A4.2: Feldbogen nach KA5 des B-Horizontes. Dargestellt sind Gefüge, Bodenfeuchte, Hydromorphie, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Bodenfarbe, Lagerungsdichte in g/cm³, Bodenporen und Notizen des westlichen Testgebietes.

	B-Horizont											
Feld	Gefüge	Bodenart	org. Reststoffe	Bodenfeuchte	Hydromorphie	Carbonatgehalt	Durchwurzelung	Bodenfarbe	Bodenporen	Lagerungsdichte FAO	Notizen	
Acker West 1 TSAA Feld 49	50% sub <2,5cm/ 50% kru <2,5cm	Tl	nein	schwach feucht	ja: leichte heilstarbene Flecken	nein	gering	grau	viele Grobporen	BD3	viele Würmer die zusammen-gerollt sind (siehe Foto). Kalkkon-kretionen tiefer als 30 cm.	
Acker West 2 TSAA Feld 40	10% sub <2,5cm/ 60% pol <2,5cm/ 25% kru <2,5cm/ 5% einzeln	Tu4	nein	schwach feucht	nein	nein	Fein- und Grobwurzeln gering	braun	viel Feinporen	BD3	Lößkindel, wenig Mangan	
Acker West 3 TSAA Versuchsfeld	20% sub <2,5cm/ 40% pol <2,5cm/ 30% kru <2,5cm	Ls3	nein	feucht	nein	nein	nein	hellbraun		BD3	leicht plattiges Gefüge. Höherer Sandgehalt.	
Acker West 4 TSAA Feld 42	30% sub <2,5cm/ 60% pol <2,5cm/ 10% kru <2,5cm	Tu3	nein	schwach feucht	nein	nein	gering	braun	nur Feinporen	BD4		
Acker West 5 TSAA Feld 26	60% sub <2,5cm/ 15% pol <2,5cm/ 15% pol 2,5-5cm	Tu3	nein	feucht	nein	nein	Feinwurzeln gering	hellbraun	nur Feinporen	BD4	0-30cm Unterschied zu Fox et al. (Subpolyeder aufgenommen aber daneben viele Polyeder). Schlechte Durchmischung durch den Pflug, Stellenweise Wirtschaftsdünger -> anderes Gefüge)	
Wald West 1	70% sub <2,5cm/ 20% pol <2,5cm/ 10% pol 2,5-5cm	Tu4/Ts2	nein	schwach feucht aber trockener als 0-5	ja: hellrostfarben, ockerfarben	nein	nein	braun	alle gering	BD4	Übergang zum B-Horizont nicht klar erkennbar. Wenige Würmer.	
Wald West 2	30% sub <2,5cm/ 30% pol <2,5cm/ 20% pol 2,5-5cm	Tu3/Tu3	nein	schwach feucht	ja: Mangan (siehe Foto)	nein	Fein: schwach	hell braun	Feinporen überall	BD3	deutliche Trennung A- zu B- Horizont. leichtes Plattengefüge. Mangan.	
Wald West 3 (2012)	50% sub <2,5cm/ 5% pol <2,5cm/ 45% kru <2,5cm	Tu3	nein	schwach feucht	nein	nein	nein	hell braun	viele Mittelporen	BD4	stark durchmischt mit A-Horizont	
Wald West 4	50% sub <2,5cm/ 50% kru <2,5cm	Tu3	nein	schwach feucht	ja: hellrost Flecken	nein	gering nur Grobwurzeln	hell braun	Mittelp- und Feinporen	Bd3		
Wald West 5	30% sub <2,5cm/ 40% pol <2,5cm/ 27% kru <2,5cm/ 3% einzeln	Lt2	nein	schwach feucht	ja: ganz wenige heilst Flecken und minimal Mangan	nein	schwach Fein- und Grobporen	dunkel grau	gut sichtbar	BD3		

Tabelle A5.1: Ergebnisse des A-horizon-framework nach Fox et al.. Dargestellt sind Datum, Testgebiet, Feldname, Messtiefe, Horizontmerkmale, Horizont-Nummerierung, Bodengefüge und Lagerungsdichte.

Date:	Field	Field	Depth (cm)	Level 1 : Horizon Designators				Level 2] Soil Structure Characterization (up to maximum of 4 types) and Bulk Density																			
				Site	Plot	Environment Prefixes	A	Process Suffixes	A Hor	Primary Structure	Mod.	Secondary Structure	Mod.	Tertiary Structure	Mod.	Bulk Density											
						Upper	Lower	Hor	No.							Class	Type	Cons.	Symb.	Class	Type	Cons.	Symb.	Class	Type	Cons.	Est.
29.07.2013	Östliches Testgebiet	Acker Ost 1	0	5		fe	A	h	p		1	50	cf.	sbk	1	--	40	vff.	gr	1	--	10	mf.	abk	1	0,89	
				5	30	fe	A	h	p		2	60	mf.	gr	1	--	35	cf.	sbk	1	--	5	mc.	abk	1	0,93	
25.07.2013	östliches Testgebiet	Brache Ost 1	0	5		fe	A	h	p		1	90	fm.	gr	1	--	10	fm.	sbk	1							1,35
				5	30	fe	A	h	p		2	60	fc.	gr	1	--	40	fc.	sbk	1							1,35
29.07.2013	östliches Testgebiet	Acker Ost 2	0	5		fe	A	h	p		1	90	vfm.	gr	1	--	10	m.	sbk	1							0,92
				5	30	fe	A	h	p		2	60	fm.	gr	1	--	40	fc.	sbk	1							0,94
03.08.2013	östliches Testgebiet	Brache Ost 2	0	5		fe	A	h	p	rt	1	85	vfm.	gr	1	--	15	mf.	sbk	1							1,14
				5	30	fe	A	h	p		2	65	cm.	sbk	1	--	35	mvf.	gr	1							1,32
30.07.2013	östliches Testgebiet	Acker Ost 3	0	5		fe	A	h	p		1	85	vt.	gr	1	--	15	mf.	sbk	1							1,15
				5	30	fe	A	h	p		2	90	vfv.	gr	1	--	10	mf.	sbk	1							1,23
06.08.2013	östliches Testgebiet	Wald Ost 3	0	5		fe	A	h	rt		1	100	vfm.	gr	1											0,50	
				5	30	fe	A	h	rt		2	70	vfm.	gr	1	--	30	cf.	sbk	1							0,77
31.07.2013	östliches Testgebiet	Acker Ost 4	0	5		fe	A	h	p	v	1	80	vfm.	gr	1	--	20	cf.	sbk	1							1,01
				5	30	fe	A	h	p	v	2	65	cf.	abk	2	+	20	cf.	sbk	2	+	15	mf.	gr	2		1,15
31.07.2013	östliches Testgebiet	Brache Ost 4	0	5		fe	A	h	p		1	95	vfm.	gr	1	--	5	f.	sbk	1							1,18
				5	30	fe	A	h	p		2	75	mvf.	gr	1	--	20	f.	sbk	1	+	5	mf.	abk	1		1,24
06.08.2013	östliches Testgebiet	Acker Ost 5	0	5		fe	A	h	p		1	70	vfm.	gr	1	--	25	fm.	sbk	1	+	5	vff.	sg	1		1,21
				5	30	fe	A	h	p		2	50	fm.	gr	1	--	50	cf.	sbk	1							1,33
06.08.2013	östliches Testgebiet	Wald Ost 5	0	5		fe	A	h	rt		1	85	vfm.	gr	1	--	15	fm.	sbk	1							0,55
				5	30	fe	A	h	rt		2	85	vfm.	gr	1	--	15	mf.	sbk	1							0,91
05.08.2013	westliches Testgebiet	Acker West 1	0	5		e	A	h	p		1	75	vfm.	gr	2	+	25	mf.	sbk	2							0,89
				5	30	e	A	h	p		2	65	fc.	abk	2	+	35	mf.	gr	2							1,26
22.07.2013	westliches Testgebiet	Wald West 1	0	5		e	A	h	q	rt	1	95	fc.	gr	1	--	5	f.	sbk	1							0,83
				5	30	e	A	h	q	rt	2	70	fm.	sbk	1	--	30	f.	gr	2							1,01
02.08.2013	Westliches Testgebiet	Acker West 2	0	5		e	A	h	p	v	1	85	mf.	gr	1	--	15	cf.	sbk	1							1,04
				5	30	e	A	h	p	v	2	50	mf.	sbk	1	--	45	fm.	gr	1	--	5	fm.	abk	1		1,29
24.07.2013	Westliches Testgebiet	Wald West 2	0	5		e	A	h	rt		1	85	fm.	gr	1	--	15	fm.	sbk	1							0,70
				5	30	e	A	h	rt		2	40	fc.	sbk	1	--	40	vfm.	gr	1	--	20	vfm.	abk	1		1,04
28.07.2013	westliches Testgebiet	Acker West 3	0	5		e	A	h	p		1	80	fm.	gr	1	+	20	fc.	sbk	2							0,87
				5	30	e	A	h	p		2	70	cf.	sbk	2	+	30	mf.	gr	1							1,21
02.08.2013	westliches Testgebiet	Wald West 3	0	5		e	A	h	rt		1	100	mf.	gr	1												0,67
				5	30	e	A	h	rt		2	60	mf.	sbk	1	--	40	fm.	gr								0,91
02.08.2013	westliches Testgebiet	Acker West 4	0	5		e	A	h	p	v	1	50	cf.	sbk	2	--	50	mf.	gr	1							0,91
				5	30	e	A	h	p	v	2	60	cf.	sbk	2	--	40	mf.	gr	1							1,14
03.08.2013	westliches Testgebiet	Wald West 4	0	5		e	A	h	rt		1	60	mf.	sbk	2	--	35	mf.	gr	2	+	5	mf.	abk	2		0,78
				5	30	e	A	h	rt		2	70	cm.	sbk	2	--	25	mc.	gr	2	+	5	cm.	abk	2		0,84
23.07.2013	Westliches Testgebiet	Acker West 5	0	5		e	A	h	p	v	1	65	mf.	sbk	2	+	30	mf.	gr	2	+	5	f.	abk	2		0,94
				5	30	e	A	h	p	v	2	70	mf.	abk	1	--	30	fm.	gr	1	+	5	fm.	abk	2		1,53
05.08.2013	westliches Testgebiet	Wald West 5	0	5		e	A	h	rt		1	100	fm.	gr	1												0,65
				5	30	e	A	h	rt		2	80	fm.	gr	1	--	15	fm.	sbk	1	+	5	fm.	pt	1		0,99

Tabelle A5.2: Ergebnisse des A-horizon-framework nach Fox et al.. Dargestellt sind Feldname, Messstiefe, Bodenart, Messstiefe, pH-Wert, Oberflächengegebenheiten und Landnutzung.

Field	Depth		Level 5-A		(Level 3)		{Level 4}				Level 5-B		Level 5-C	
	(cm)		Soil		% Org. Carbon		pH CaCl2		EC Salinity		Surface Cond.		Land Use	
	Upper	Lower	Texture	Est.	Lab Anal.	Est.	Lab An.	Est.	Lab An.	1	2			
Acker Ost 1	0	5	SL					6.62		:R				aH
	5	30	SL					6.62		:R				aH
Brache Ost 1	0	5	SIL					6.54		:OL	:Y			gF
	5	30	SIL					6.54		:OL	:Y			gF
Acker Ost 2	0	5	SL					6.72		:R				aH
	5	30	SL					6.72		:R				aH
Brache Ost 2	0	5	CL					6.32		:OL	:Y			gF
	5	30	CL					6.32		:OL	:Y			gF
Acker Ost 3	0	5	SL					5.98		:R				aC
	5	30	SL					5.98		:R				aC
Wald Ost 3	0	5	SL					7.47		:OL				wD
	5	30	L					7.47		:OL				wD
Acker Ost 4	0	5	SCL					7.6		:R	:X			aC
	5	30	SCL					7.6		:R				aC
Brache Ost 4	0	5	SCL					7.58		:OL				gF
	5	30	SCL					7.58		:OL				gF
Acker Ost 5	0	5	L					5.25		:CFc	:R			aH
	5	30	LS					5.25		:CFc	:R			aH
Wald Ost 5	0	5	LS					7.48		:OL				wD
	5	30	LS					7.48		:OL				wD
Acker West 1	0	5	SIL					6.93		:R				aC
	5	30	SIL					6.93		:R				aC
Wald West 1	0	5	SIL					5.23		:OL				wD
	5	30	SIL					5.23		:OL				wD
Acker West 2	0	5	SIL					6.34		:OL				aC
	5	30	SIL					6.34		:OL				aC
Wald West 2	0	5	SICL					4.61		:OL				wD
	5	30	CL					4.61		:OL				wD
Acker West 3	0	5	SIL					5.5		:CFc	:R			aC
	5	30	SIL					5.5		:CFc	:R			aC
Wald West 3	0	5	SIL					5.25		:OL				wD
	5	30	SIL					5.25		:OL				wD
Acker West 4	0	5	SIL					5.75		:RS	:CFs			aC
	5	30	SIL					5.75		:RS	:CFs			aC
Wald West 4	0	5	SIL					4.76		:OL				wD
	5	30	SIL					4.76		:OL				wD
Acker West 5	0	5	Si					6.77		:CR	:CFsI			aC
	5	30	SIL					6.77		:CR	:CFsI			aC
Wald West 5	0	5	SIL					4.83		:OL				wD
	5	30	SIL					4.83		:OL				wD

Tabelle A5.3: Ergebnisse des A-horizon-framework nach Fox et al.. Dargestellt sind Feldname, Messstiefe, Hangposition und Notizen.

Field	Depth	Level 5-D Slope Character			Notizen:	
		(cm)		Kind of Slope		
		Upper	Lower			
Acker Ost 1	0	5s	L		absolut keine org. Reststoffe/ zwar sbk aber nicht aus einzelnen Krümeln sondern schon polyedrisch/ zur Zeit Brache zuvor Kartoffeln oder Karotten, daneben stehen Karotten	
	5	30s	L			
Brache Ost 1	0	5s	L		eigtl im Suffices relativ viele Wurzeln also rt aber nicht über 60%/ es gibt eine L-Lage aber das ist komplett anders als im Wald (kein Unterschied hier anzugeben)/ bei Surface Cond. wenige Moose also Y/ vereinzelt Pilzhyphen q im 0-30cm aber nicht genug	
	5	30s	L			
Acker Ost 2	0	5s	L		als Besonderheit fast kein Unkraut/ sehr tiefer Ah aufgrund von Kartoffelaufhäufung/ Ah 0-5cm fällt extrem auseinander, 5-30cm ebenso/ Land use: Ah weil Kartoffelacker/ gut erkennbare Pflusohle in 40-45cm, darüber org. reste (Torfähnlich)	
	5	30s	L			
Brache Ost 2	0	5s	L		p = historical/ OL da viele Halmreste vorhanden sind	
	5	30s	L			
Acker Ost 3	0	5s	L		zur Zeit Schwarzbrache, zwei Wochen zuvor war es grob geflügt, jetzt ist es gegrubbert/ im 1 und auch 2 relativ viele org. Reste	
	5	30s	L			
Wald Ost 3	0	5s	L		extreme Wurzeldecke von 0-10cm mit Streu/ "Birken-Insel" in eigtl Kieferngelände da hier Aue= Sandgebiet/ 0-5cm Material ist sehr leicht/ auch im Ah deutlich Sand zu erkennen	
	5	30s	L			
Acker Ost 4	0	5s	L		Vegetation ist durchmischt, viel Gras zwischen den Kornähren/ bei Surface Cond. X da leichtes abblättern wegen Trockenheit und eigtl noch C jedoch nur oberflächlich/ in 10cm Tiefe sind deutlich unzersetzte Stroh/Halmreste zu finden und in 22cm Tiefe nochmal Strohrest jedoch zerstellt - Cr ist nur für Surface deshalb entfernt/ im B-Horizont sind deutliche Rostflecken	
	5	30s	L			
Brache Ost 4	0	5s	L		sehr fester Boden, schwer zu graben und dichte Wurzeln/ p = historical/ gr ist ziemlich scharfkantig	
	5	30s	L			
Acker Ost 5	0	5s	L		deutlich sandiger und heller als böden bisher/ kürzlich Kartoffelernte, jetzt gegrubbert/ 5-30cm deutlich andere Struktur, 0-5cm aber sehr ausgetrocknet -> Feuchteunterschied ist deutlich und es ist sehr windig/ bei 0-5cm könnten wenige Einzelkörper aufgenommen werden/ bei 5-30cm sind einige Kanten scharfkantig wenn man die Aggregate bricht	
	5	30s	L			
Wald Ost 5	0	5s	L		0-10cm strake Wurzelschicht = Wurzelmatte, leicht geringer als bei Wald Ost 3/ Material ist sehr leicht/ 0-5cm sbk wird hauptsächlich durch Wurzeln zusammengehalten, ebenfalls Sandkörper zu erkennen	
	5	30s	L			
Acker West 1	0	5s	L		Acker bewachsen mit Hafer und Erbse und zwei weiteren Getreiden und Mariebdistel als Unkraut	
	5	30s	L			
Wald West 1	0	5s	L			
	5	30s	L			
Acker West 2	0	5s	L		geringe L Auflage mit vereinzelten Strohhalmen/ mit Klee bewachsen, evtl schon im 2. Jahr, 40cm hoch/ bis in den B-Horizont vereinzelt durchwurzelt	
	5	30s	L			
Wald West 2	0	5s	L		evtl bei Suffices noch p, war vermutlich einmal Acker da ab 15-20cm verdichtet	
	5	30s	L			
Acker West 3	0	5s	L		Vermutung, dass wenn es nicht so viel geregnet hätte hier Risse zu sehen wären/ in 0-5cm Struktur eigtl Bröckel von bis zu 3-5cm also lu oder cr siehe Foto DSC04047	
	5	30s	L			
Wald West 3	0	5s	L		A- und B-Horizont nicht deutlich getrennt/ gr sind relativ scharfkantig, werden durch Feinwurzeln zusammengehalten	
	5	30s	L			
Acker West 4	0	5s	L		frisch geplügtes Feld, Clods von 50-15cm Größe =CFs/ in 25cm Tiefe Strohreste untergegraben/ bis 15 cm viele Wurzeln/ vereinzelt mit Hafer durchwaschen auf umgekippten Clods/ bei Surface Cond. fehlt CF und R/ in 0-5cm eigtl + clods - hier nur Aufnahme über Surface Cond/ in 5-30cm sind die Aggregate runder und feuchter	
	5	30s	L			
Wald West 4	0	5s	L		in 5-30cm viele Bioporen, siehe Foto DSC04360 und 61, also ginge B bei surface aber nicht 60%/ in 0-5cm sind sbk recht scharfkantig/ Boden ist durchgängig sehr feucht/ Foto DSC04375-77 Gefüge von 5-30cm	
	5	30s	L			
Acker West 5	0	5s	L		in 0-5cm bei Surface Cond. außerdem CF und R/ direkt unterhalb 30 cm Pflugsohle - sehr fest/ erwähnen das hier zu erheblichen Unterschieden in der Struktursprache gekommen ist zu KA5 weil der Boden aufgrund des Wirtschaftsdüngers enorm unhomogen ist	
	5	30s	L			
Wald West 5	0	5s	L		evtl Cr bei Surface Cond. jedoch dann auch bei Wald West 4/ vereinzelt plattige Struktur gefunden in 5-30cm, zerfällt sehr schnell/ auch in 5-30cm noch relativ viele Wurzeln/ gr relativ scharfkantig, defensiv keine Wurmlosung	
	5	30s	L			

Tabelle A6.1: Häufigkeitsauswertung nach KA5. Dargestellt sind, nach der Landnutzung und Tiefe, die Häufigkeiten des Auftretens der org. Auflage, Ah-Mächtigkeit, pH-Wert, Verdichtung, Gefüge und Bodenart der 20 Felder.

Je Fläche:	Org. Auflage	Ah-Mächtigkeit	pH	Ø	Verdichtung	Gefüge	Bodenart	
Acker Ost	nein	32-50 cm	5,25-7,6	6,43	zw 15-25 cm beginnt Verdichtung	ein2:9 kru:9 sub:10 pol:2 klump:1	Slu4, Sl4:2, Lu2, Su4, ls3	
Wald Ost	ja mittl ca 3 cm	30 cm	7,47	7,47	wenig verdichtet	ein2:2 kru:4 sub:3	Us, Su4, lt2, Su	
Brache Ost	ja gering ca 0,5-2 cm	30-40 cm	6,32-7,58	6,81	zw 10-35 cm beginnt Verdichtung	ein1:1 kru:5 sub:5 pol:1 klump:1	Uf4, Tu4:2, Lu:2, lt2	
Acker West	nein	30-42 cm	5,5-6,93	6,26	zw 10-20 cm beginnt Verdichtung	ein2:3 kru:7 sub:10 pol:7 klump:3	ls4, Lu3, lt3:2, Tu3, lt2, Ut3,	
Wald West	ja mittl 1-5 cm	20-23	4,61-5,25	4,94	zw 10-20 cm beginnt Verdichtung	ein2:4 kru:9 sub:8 pol:4 plat:1	Uf4:2, Tu4:2, Lu2, lt2:3	
oder...	Acker Ost	nein	32-50 cm	5,25-7,6	6,43	zw 15-25 cm beginnt Verdichtung	ein2:9 kru:9 sub:10 pol:2 klump:1	Slu4, Sl4:2, Lu2, Su4, ls3
Ungenutzt Ost	ja gering-mittel 0-3 cm	30-40 cm	6,32-7,58	7,08	weniger bis 10-35 cm beginnt Verdichtung	ein2:3 kru:9 sub:8 pol:1 klump:1	Us, Su4, lt2, Su, Ut4, Tu4:2, Lu2, lt2	
Acker West	nein	30-42 cm	5,5-6,93	6,26	zw 10-20 cm beginnt Verdichtung	ein2:3 kru:7 sub:10 pol:7 klump:3	ls4, Lu3, lt3:2, Tu3, lt2, Ut3,	
Ungenutzt West	ja mittl 1-5 cm	20-23	4,61-5,25	4,94	zw 10-20 cm beginnt Verdichtung	ein2:4 kru:9 sub:8 pol:4 plat:1	Uf4:2, Tu4:2, Lu2, lt2:3	
oder...	Acker	nein	32-50 cm	5,25-7,6	6,35	zw 10-20 cm beginnt Verdichtung	ein2:12 kru:16 sub:16 pol:5 plat:1 klump:4	Slu4, Sl4:2, Lu5, Su4, ls4, lt3:2, Tu3, ls3, lt2:3, Ut3
Ungenutzt	ja mittl 0-5 cm	20-40 cm	4,61-7,47	6,01	wenig verdichtet und 10-35 cm beginnt Verdichtung	ein2:7 kru:18 sub:16 pol:5 plat:1 klump:1	Us, Su4, Ut4:3, Tu4:5, Lu4, lt2:3, Su	
Je Fläche und Tiefe:					nur 0-30 cm gemessen			
0-5								
Acker Ost								
Wald Ost								
Brache Ost								
Acker West								
Wald West								
Acker Ost								
Ungenutzt Ost								
Acker West								
Ungenutzt West								
Acker								
Ungenutzt								
5-30								
Acker Ost								
Wald Ost								
Brache Ost								
Acker West								
Wald West								
Acker Ost								
Ungenutzt Ost								
Acker West								
Ungenutzt West								
Acker								
Ungenutzt								

Tabelle A6.2: Häufigkeitsauswertung nach KA5. Dargestellt sind, nach der Landnutzung und Tiefe, die Häufigkeiten des Auftretens der org. Reststoffe, Carbonatgehalt, Durchwurzelung, Lagerungsdichte und Bodenporen der 20 Felder.

Je Fläche:	org. Reststoffe	Carbonatgehalt	Durchwurzelung	Lagerungsdichte \varnothing	Bodenporen
nur Auftälligkeiten aufgenommen:					
Acker Ost	nein:5 ja:5	c0:4, c1:4, c3:2; 2	nein, schwach;7, mittel, stark	0,89-1,33	1,08
Wald Ost	nein:3 ja:1	c1, c3, c3, c4	mittel, stark, Wurzelfilz:2	0,50-0,91	0,68
Brache Ost	nein:3 ja:3	c0:2, c1:2, c3:3; 2	mittel:2, schwach, stark:3	1,14-1,35	1,26
Acker West	nein:3 ja:7	c0:1, c1:8, c2	nein:3, schwach:4, mittel:2, stark	0,87-1,53	1,03
Wald West	nein:7 ja:3	c0:3, c1:5, c2:2	schwach:2, mittel:3, stark:5	0,65-1,04	0,84
oder...	nein:5 ja:5	c0:4, c1:4, c3:2; 2	nein, schwach:7, mittel, stark	0,89-1,33	1,08
Acker Ost	nein:6 ja:4	c0:2, c1:3, c3, c3:3; c4	mittel:3, schwach, stark:6	0,50-1,35	1,72
Ungenutzt Ost	nein:3 ja:7	c0, c1:8, c2	nein:3, schwach:4, mittel:2, stark	0,87-1,53	1,03
Acker West	nein:7 ja:3	c0:3, c1:5, c2:2	schwach:2, mittel:3, stark:5	0,65-1,04	0,84
Acker	nein:8 ja:12	c0:5, c1:12, c2, c3, 3:2; 2	nein:4, schwach:8, mittel:2, stark:8, stark:11	0,87-1,53	1,09
Ungenutzt	nein:13 ja:7	c0:5, c1:8, c2:2, c3, c3:3, c4	schwach:3, mittel:6, stark:11	0,50-1,35	0,94
Je Fläche und Tiefe:					
0-5	Acker Ost	nein:2 ja:3	c0:2, c1:2, c3, 2	Schwach:4, stark	0,89-1,21
	Wald Ost	nein ja	c1, c3, 3	Wurzelfilz:2	0,50-0,55
	Brache Ost	ja:3	c0, c1, c3, 3	stark:3	1,14-1,35
	Acker West	nein:2 ja:3	c1:4, c2	nein:2, mittel:2, stark	0,87-1,04
	Wald West	nein:2 ja:3	c0:3, c1, c2	mittel, sehr stark:4	0,65-0,83
	Acker Ost	nein:2 ja:3	c0:2, c1:2, c3, 2	Schwach:4, stark	0,89-1,21
	Ungenutzt Ost	nein:1 ja:4	c0, c1:2, c3, 3:2	stark:3, Wurzelfilz:2	0,50-1,35
	Acker West	nein:2 ja:3	c1:4, c2	nein:2, mittel:2, stark	0,87-1,04
	Ungenutzt West	nein:2 ja:3	c0:3, c1, c2	mittel, sehr stark:4	0,65-0,83
	Acker	nein:4 ja:6	c0:2, c1:6, c2, c3, 2	nein:2, schwach:4, mittel:2, stark:8, stark:11	0,87-1,21
	Ungenutzt	nein:3 ja: 7	c0:4, c1:3, c2, c3:2	schwach:4, mittel, stark:5	0,50-1,35
5-30	Acker Ost	nein:3 ja:2	c0:2, c1:2, c3, 2	nein, schwach:3, mittel	0,93-1,33
	Wald Ost	nein:2	c3, c4	mittel, stark	0,77-0,91
	Brache Ost	nein:3	c0, c1, c3, 3	mittel:2, schwach	1,24-1,35
	Acker West	nein:1 ja:4	c0, c1:4	nein:1, schwach:4	1,14-1,53
	Wald West	nein:5	c1:4, c2	schwach:2, mittel:2, stark	0,84-1,04
	Acker Ost	nein:3 ja:2	c0:2, c1:2, c3, 2	nein, schwach:3, mittel	0,93-1,33
	Ungenutzt Ost	nein:5	c0, c1, c3, c3, c4	Schwach, mittel:3, stark	0,77-1,35
	Acker West	nein:1 ja:4	c0, c1:4	nein, schwach:4	1,14-1,53
	Ungenutzt West	nein:5	c1:4, c2	schwach:2, mittel:2, stark	0,84-1,04
	Acker	nein:4 ja:6	c0:3, c1:6, c3, 2	nein:2, schwach:7, mittel	0,93-1,53
	Ungenutzt	nein:5	c0, c1:5, c2, c3, 3, c4	schwach:3, mittel, 5, stark	0,77-1,35

Tabelle A7: Häufigkeitsauswertung der Ergebnisse des A-horizon-framework. Dargestellt sind, nach der Landnutzung und Tiefe, die Häufigkeiten des Auftretens der Horizontmerkmale, Gefüge, Gefügeklasse, Gefüge-Konsistenz, Lagerungsdichte, Bodenart, pH-Wert und Oberflächengegebenheiten der 20 Felder.

je Fläche:	Suffixes	Structur	Class	Consistency			∅	Soil Texture	pH Labor	∅	Surface Conditions
				3D	1D	2D					
Acker Ost	v	gr:10:sk3:abk3:sg:1	ctf6,vftf2,mtf5,vfrm3,m, fm:3, fc, f,f:2	1:21, 2:3	0.89-1.33	1.08	7SL2SCL1/10	5,25-7,6	6,43	10 R, 1X, 2 CfC	
Wald Ost	rt	gr:4:skb:3	vfm:4, cf, fm, mf	1:7	0.59-0.91	0.68	3SL1L/4	7,47	7,47	4 OL	
Brache Ost	2 rt	gr:6:skb:3:abk:1	fm:2, fcf2, vfm:2, mtf:2, cm, mvf:2, f, vf	1:13	1.14-1.35	1.26	2SL2CL2SCL/6	6,32-7,58	6,81	6 OL, 2 Y	
Acker West		gr:10:skb:9:abk:4	vfm, mf:10, fc:2, cf:4, fm:4, f	1:10, 2:11	0.87-1.53	1.03	9SL1Sf/10	5,5-6,93	6,26	2 R, 2 OL, 2 CfC, 2 RS, 4 CfSf, 2 CR	
Wald West	5 rt	gr:10:skb:8:abk:3:pt:1	fc:2, fm:9, f, vfm:2, mtf:5, cm:2, mc	1:14, 2:7	0.65-1.04	0.84	8SL1SCL1CL/	4,61-5,25	4,94	10 OL	
oder...		gr:10:skb:9:abk3:sg:1	ctf6,vftf2,mtf5,vfrm3,m, fm:3, fc, f,f:2	1:21, 2:3	0.89-1.33	1.08	7SL2SCL1/10	5,25-7,6	6,43	10 R, 1X, 2 CfC	
Ungenutzt Ost	3 rt	gr:10:skb:9:abk:1	vfm:6, cf, fm:3, mt:3, fc:2, cm, mvf:2, f, vf	1:20	0.80-1.35	1.72	3SL1L2Sf2CL2SCL/10	6,32-7,58	7,08	10 OL, 2 Y	
Acker West		gr:10:skb:9:abk:4	vfm, mf:10, fc:2, cf:4, fm:4, f	1:10, 2:11	0.87-1.53	1.03	9SL1Sf/10	5,5-6,93	6,26	2 R, 2 OL, 2 CfC, 2 RS, 4 CfSf, 2 CR	
Ungenutzt West	5 rt	gr:10:skb:8:abk:3:pt:1	fc:2, fm:9, f, vfm:2, mtf:5, cm:2, mc	1:14, 2:7	0.65-1.04	0.84	8SL1SCL1CL/10	4,61-5,25	4,94	10 OL	
oder...		gr:20:skb:18:abk:7:sg:1	ctf10,vftf2,mtf:2, mtf:15, vfm:4, m, fm:7, fc:3, mvf:3, mf:8, fc:4, cm:3, mvf:3, f, mc	1:31, 2:14	0.87-1.53	1.09	7SL2SCL1L9SL1Sf/20	5,25-7,6	6,35	12 R, 1X, 4 CfC, 2 OL, 2 RS, 4 CfSf, 2 CR	
Acker	v	gr:20:skb:17:abk:4:pt:1	vfm:8, cf, fm:12, mf:8, fc:8, cm:8, mvf:8, f, mc	1:34, 2:7	0.50-1.35	0.94	3SL1L10Sf3CL1SfCL2SCL/20	4,61-7,58	6,01	20 OL, 2 Y	
Ungenutzt	8 rt										
je Fläche und Tiefe:											
0-5		gr:4:skb:5:abk:1:sg:1	ctf2,vftf2,mtf2,vfrm3,m, mvf, fm	1:12	0.89-1.21	1.04	3SL1SCL1L/5				
Acker Ost		gr:2:skb:1	vfm:2, fm	1:3	0.50-0.55	0.53	2SL/2				
Wald Ost		gr:3:skb:3:abk:1	fm:2, vfm:2, mtf: f	1:6	1.14-1.35	1.22	1Sf1CL1SCL/3				
Brache Ost		gr:5:skb:5:abk:1	vfm, mf:4, cf:2, fm, fc, f	1:4, 2:7	0.87-1.04	0.93	4Sf1Sf/5				
Acker West		gr:5:skb:3:abk:1	fc, fm:4, mtf:5, cf	1:6, 2:3	0.65-0.83	0.73	4Sf1SfCL/5				
Wald West		gr:4:skb:5:abk:1:sg:1	ctf2,vftf2,mtf2,vfrm3,m, mvf, fm	1:12	0.89-1.21	1.04	3SL1SCL1L/5				
Acker Ost		gr:5:skb:4:abk:1	vfm:4, fm:3, mf: f	1:9	0.50-1.35	1.47	2Sf1Sf1CL1SCL/5				
Ungenutzt Ost		gr:5:skb:5:abk:1	fm:4, cf:2, fm, fc, f	1:4, 2:7	0.87-1.04	0.93	4Sf1Sf/5				
Acker West		gr:5:skb:3:abk:1	fc, fm:4, mtf:5, cf	1:6, 2:3	0.65-0.83	0.73	4Sf1SfCL/5				
Ungenutzt West		gr:9:skb:10:abk:2:sg:1	ctf4,vftf2,mtf6,vfm:4, m, mvf, fm:2, fc, f	1:16, 2:7	0.87-1.21	0.98	3SL1SCL1L4Sf1Sf/10				
Acker		gr:10:skb:7:abk:2	vfm:4, fm:7, mf:6, f, fc, cf	1:15, 2:3	0.50-1.35	0.84	2Sf1SfCL5Sf1CL1SCL/10				
Ungenutzt											
5-30		gr:5:skb:5:abk:2	mtf3, cf4, mc, fm:2, fc, Mf,	1:9, 2:3	0.83-1.33	1.12	4Sf1SCL/5				
Acker Ost		gr:2:skb:2	vfm:2, cf, mf	1:4	0.77-0.91	0.84	1L1Sf/2				
Wald Ost		gr:3:skb:3:abk:1	fc, cm, mvf:2, f	1:7	1.24-1.35	1.30	1Sf1CL1SCL/3				
Brache Ost		gr:5:skb:3:abk:3	fc, mtf5, fm:3, cf:2	1:7, 2:4	1.14-1.53	1.29	5Sf1Sf/5				
Acker West		gr:5:skb:5:abk:2:pt:1	fm:5, f, fc, vfm:2, mf, cm:2, mc	1:8, 2:4	0.84-1.04	0.95	4Sf1CL/5				
Wald West		gr:5:skb:5:abk:2	mtf3, cf4, mc, fm:2, fc, Mf,	1:9, 2:3	0.93-1.33	1.12	4Sf1SCL/5				
Acker Ost		gr:5:skb:5:abk:1	vfm:2, cf, mf, fc:2, cm, mvf:2, f	1:11	0.77-1.35	1.12	1L1Sf1Sf1CL1SCL/5				
Ungenutzt Ost		gr:5:skb:3:abk:3	fc, mtf5, fm:3, cf:2	1:7, 2:4	1.14-1.53	1.29	5Sf1Sf/5				
Acker West		gr:5:skb:5:abk:2:pt:1	fm:5, f, fc, vfm:2, mf, cm:2, mc	1:8, 2:4	0.84-1.04	0.95	4Sf1CL/5				
Ungenutzt West		gr:10:skb:8:abk:5	mf:8, cf6, mc, fm:5, fc:2, mvf:2, f, fm:5, mc	1:16, 2:7	0.93-1.53	1.20	4Sf1SCL5Sf1CL1SCL/10				
Acker		gr:10:skb:10:abk:3:pt:1	vfm:4, cf, mf:2, fc:2, cm:3, mvf:2, f, fm:5, mc	1:19, 2:4	0.77-1.35	1.04	1L1Sf5Sf1CL1SCL/10				
Ungenutzt											

immer

für bei der Horizont aufgekommen

nur 0-30 cm gemessen

Tabelle A8.1: Einfaktorielle ANOVA der Lagerungsdichte in 0-5 cm, Ackerflächen und ungenutzte Flächen.

BD 0-5 cm

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	,982	1	,982	19,368	,000
Innerhalb der Gruppen	5,984	118	,051		
Gesamt	6,966	119			

Tabelle A8.2: Einfaktorielle ANOVA der Lagerungsdichte in 5-30 cm, Ackerflächen und ungenutzte Flächen.

BD 5-30 cm

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	,587	1	,587	13,370	,000
Innerhalb der Gruppen	5,180	118	,044		
Gesamt	5,766	119			

Tabelle A9: Codierung der Ergebnisse des SFC für die Korrelationsanalyse. Die Codierung der Bodenart erfolgte nach der Zunahme des Tongehaltes, die der Oberflächengegebenheiten, Horizontsymbole und der Landnutzung erfolgte nach der Zunahme der Nutzungsintensität.

0-5 cm	Prozess	gr	sbk	abk	BD	Soil Texture	pH	Surface Cond	Curr. Landuse	Codierung für Soil Texture
Acker Ost 1	5	40	50	10	2	4	6	5	3	SiL
Acker Ost 2	5	90	10	0	5	4	7	5	3	Si
Acker Ost 3	5	85	15	0	9	4	4	5	4	LS
Acker Ost 4	5	80	20	0	7	6	10	5	4	SL
Acker Ost 5	5	70	25	0	10	5	1	6	3	L
Acker West 1	5	40	50	10	3	4	9	5	2	SCL
Acker West 2	5	85	15	0	8	1	5	2	4	CL
Acker West 3	5	80	20	0	1	1	2	6	4	SiCl
Acker West 4	5	50	50	0	4	1	3	4	4	
Acker West 5	5	30	65	5	6	2	8	3	4	

5-30 cm	Prozess	gr	sbk	abk	BD	Soil Texture	pH	Surface Cond	Curr. Landuse	Codierung für Surface Conditions
Acker Ost 1	5	60	35	5	1	4	6	5	3	Y
Acker Ost 2	5	60	40	0	2	4	7	5	3	OL
Acker Ost 3	5	90	10	0	6	4	4	5	4	CR
Acker Ost 4	5	15	20	65	4	6	10	5	4	RS
Acker Ost 5	5	50	50	0	9	3	1	6	3	R
Acker West 1	5	35	0	65	7	1	9	5	4	CFc
Acker West 2	5	45	50	5	8	1	5	2	4	
Acker West 3	5	30	70	0	5	1	2	6	4	
Acker West 4	5	40	60	0	3	1	3	4	4	
Acker West 5	5	30	0	70	10	1	8	3	4	

0-5 cm	Prozess	gr	sbk	abk	BD	Soil Texture	pH	Surface Cond	Curr. Landuse	Codierung Landuse
Brache Ost 1	4	90	10	0	10	1	7	2	2	wD
Brache Ost 2	3	85	15	0	8	7	6	2	2	gF
Wald Ost 3	2	100	0	0	1	4	8	2	1	aH
Brache Ost 4	4	95	5	0	9	6	10	2	2	aC
Wald Ost 5	2	85	15	0	2	3	9	2	1	
Wald West 1	3	95	5	0	7	1	4	2	1	
Wald West 2	2	85	15	0	5	8	1	2	1	
Wald West 3	2	100	0	0	4	1	5	2	1	
Wald West 4	2	35	60	5	6	1	2	2	1	
Wald West 5	2	100	0	0	3	1	3	2	1	

5-30 cm	Prozess	gr	sbk	abk	BD	Soil Texture	pH	Surface Cond	Curr. Landuse
Brache Ost 1	4	60	40	0	10	1	7	2	2
Brache Ost 2	5	35	65	0	9	7	6	2	2
Wald Ost 3	4	70	30	0	1	5	8	2	1
Brache Ost 4	4	75	20	5	8	6	10	2	2
Wald Ost 5	4	85	15	0	3	3	9	2	1
Wald West 1	4	30	70	0	6	1	4	2	1
Wald West 2	4	40	40	20	7	7	1	2	1
Wald West 3	4	40	60	0	4	1	5	2	1
Wald West 4	4	25	70	5	2	1	2	2	1
Wald West 5	4	80	15	0	5	1	3	2	1

Tabelle A10: GPS-Koordinaten der Messpunkte. Die Koordinaten basieren auf dem geodätischen Referenzsystem WGS 84 Zone 42N.

Feld	X-Koordinate	Y-Koordinate
Acker Ost 1	304744.544	6339941.861
Acker Ost 2	316688.9218	6334862.645
Acker Ost 3	305566.9864	6344249.141
Acker Ost 4	304267.8102	6340943.405
Acker Ost 5	314866.0853	6335243.563
Acker West 1	281496.668	6340881.625
Acker West 2	277956.0395	6342107.687
Acker West 3	277712.6887	6341207.037
Acker West 4	278643.4773	6340997.147
Acker West 5	276244.161	6341569.761
Brache Ost 1	304557.3054	6341196.353
Brache Ost 2	304718.0858	6341327.351
Wald Ost 3	316497.2695	6333779.858
Wald Ost 5	315542.0724	6334027.061
Brache Ost 4	305769.1357	6345192.182
Wald West 1	281553.6817	6340562.236
Wald West 2	278057.7709	6342198.689
Wald West 3	277349.3028	6340742.344
Wald West 4	277793.0947	6340586.788
Wald West 5	277794.6909	6342388.216

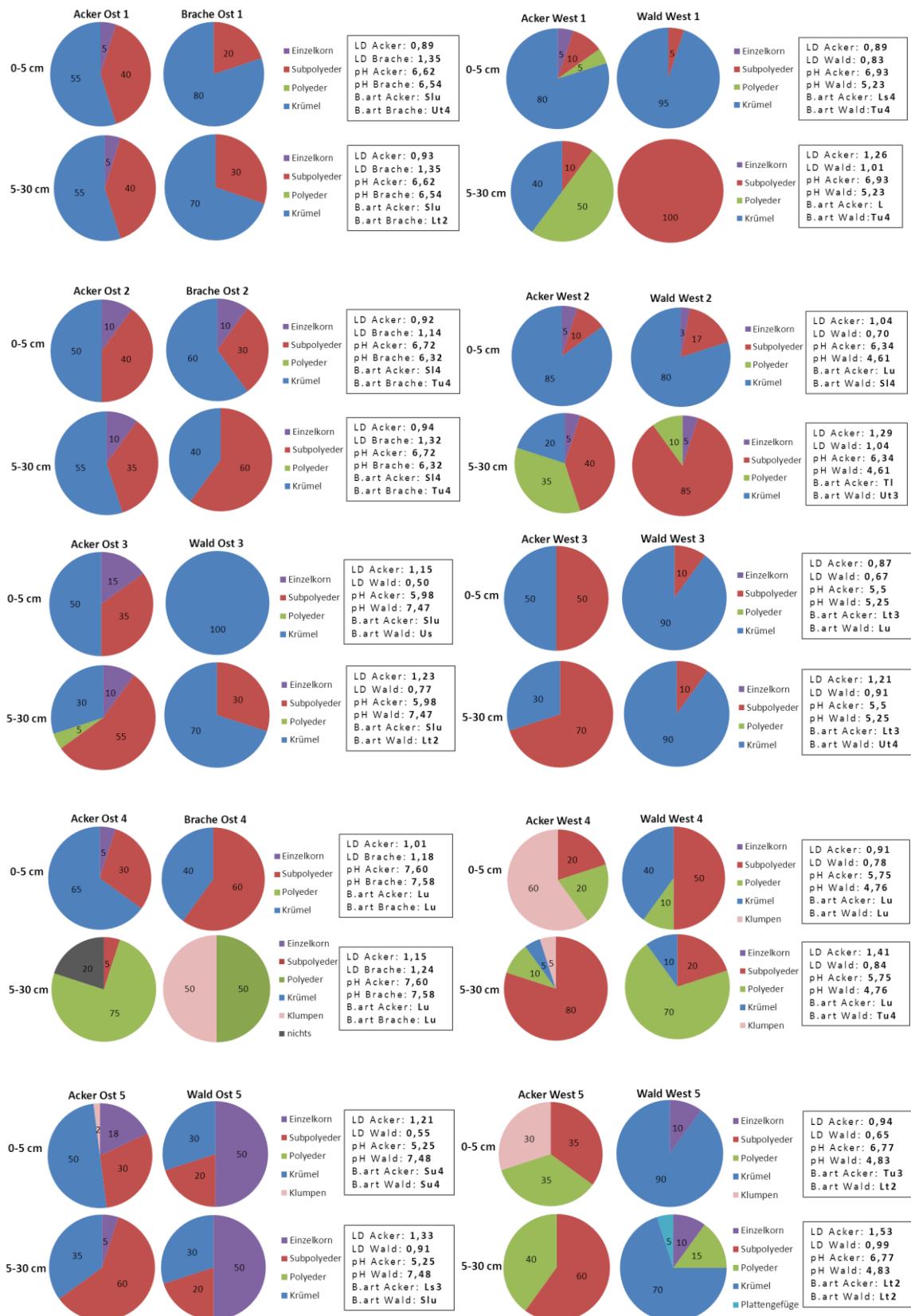


Abbildung A1: Vergleich des Bodengefüges der Flächenpaare nach den Ergebnissen der KA5.

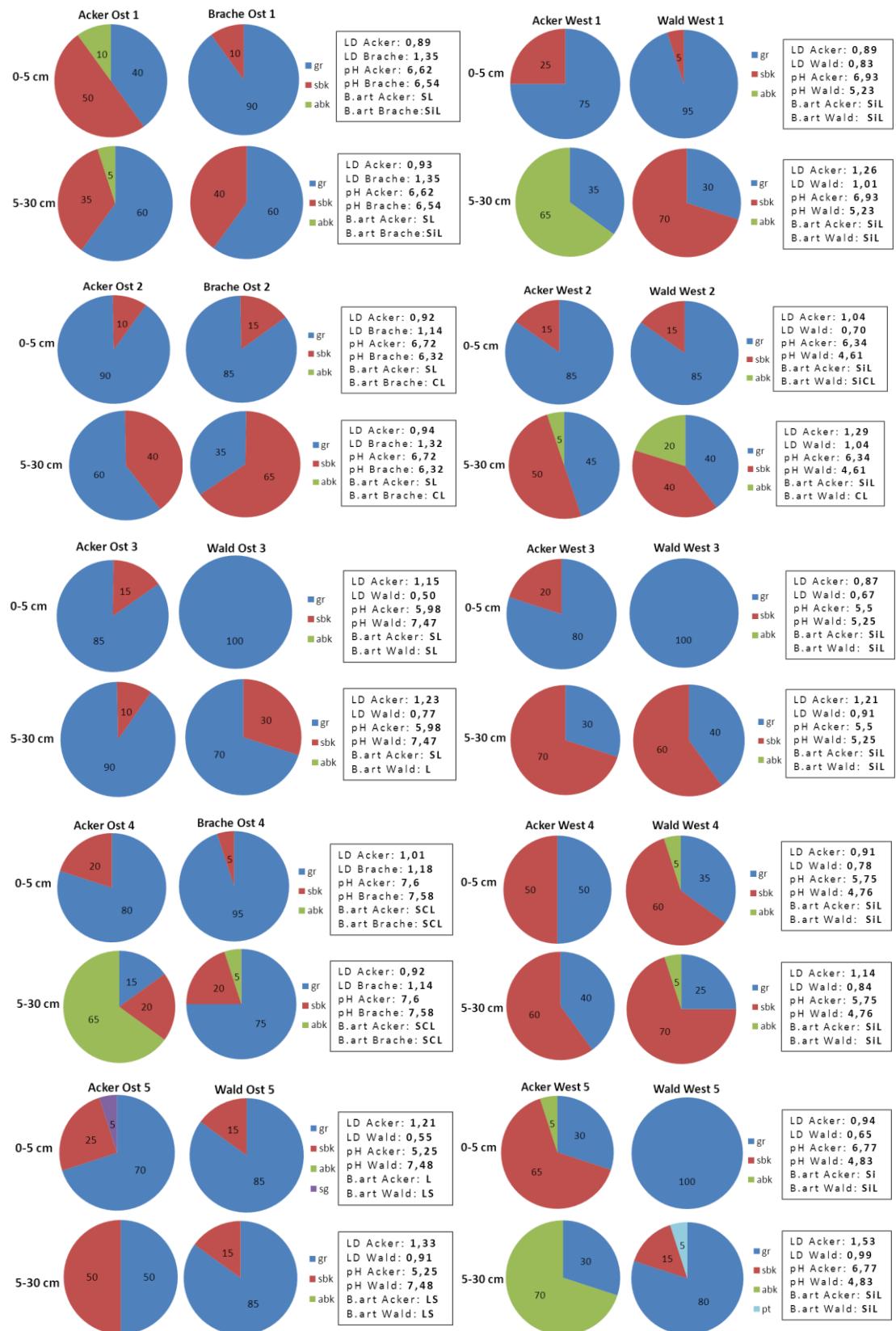


Abbildung A2: Vergleich des Bodengefüges der Flächenpaare nach den Ergebnissen des A-horizon-framework.

Danksagung

Zu Beginn möchte ich Frau Prof. Dr. Gabriele Broll herzlich dafür danken, dass sie mir die Möglichkeit gab meine Masterarbeit am Institut für Geographie an der Universität Osnabrück zu verfassen. Ihr Engagement und ihr Interesse an der Fertigstellung meiner Arbeit waren für mich nicht selbstverständlich und ich schätze das sehr. Außerdem war es für mich eine großartige Chance einmal nach Sibirien reisen zu können und direkt am SASCHA-Projekt mitarbeiten zu dürfen. Weiterhin gilt großer Dank der Doktorandin Maria Störrle, die mich sehr unterstützt hat. Nicht nur in Russland war sie für mich unersetzlich, auch bei fachlichen Fragen war sie immer erreichbar für mich. Des Weiteren danke ich den Studenten Slava und Nadja, die uns in Russland tatkräftig bei den Probenahmen und vor allem beim Ausheben der Gruben geholfen haben. Alle Doktoranden des SASCHA-Projektes, die ich in Tyumen kennenlernen durfte, waren sehr hilfsbereit und haben mir viele hilfreiche Ratschläge gegeben, für die ich mich bedanken will.

Herrn Prof. Dr. Rolf Nieder danke ich dafür, dass er die Zweitkorrektur für meine Arbeit übernommen hat.

Zum Schluss gilt mein Dank meiner Familie und meinen Freunden, die mir in dieser Zeit immer zur Seite standen, die mich angetrieben haben wenn es nötig war und mich immer moralisch und tatkräftig unterstützen.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig angefertigt habe. In der Arbeit habe ich nur die Quellen und Hilfsmittel benutzt, die ich ausdrücklich benannt habe. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift