

NÄHRSTOFFSTRÖME IN AGRARÖKOSYSTEMEN IN DER WESTSIBIRISCHEN OBLAST TYUMEN, RUSSLAND

Kumulative Dissertation zur Erlangung des Grades Doktorin der Naturwissenschaften (Dr. rer.
nat.) am Fachbereich Kultur- und Sozialwissenschaften der Universität Osnabrück

vorgelegt von

MARIA STÖRRLE

aus

Tomsk, Russland

Osnabrück, den 01.09.2017

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Stand der Forschung	5
2.1 Nachhaltige landwirtschaftliche Bodennutzung	5
2.2 Wirtschaftsdünger.....	8
2.3 Bodenforschung in der Oblast Tyumen.....	9
3 Untersuchungsgebiet	11
3.1 Lage und administrative Gliederung der Oblast Tyumen.....	11
3.2 Vegetationszonen und Klima	13
3.3 Böden in der Oblast Tyumen	15
3.4 Landwirtschaftliche Struktur	19
4 Material und Methoden	23
5 Ergebnisse	24
5.1 Soil structure of arable and non-arable land in the Western Siberian Grain Belt in Russia— Application of the soil fingerprint code for topsoil characterization.....	24
5.2 Livestock manure management in agroecosystems of southwestern Siberia, Russia.....	43
5.3 Greenhouse gas emissions from livestock manure management in southwestern Siberia, Russia.....	67
6 Diskussion	92
6.1 Bodenqualität in der Oblast Tyumen	92
6.2 Wirtschaftsdünger und Treibhausgase	97
6.3 Handlungsempfehlungen	98
7 Schlussfolgerungen	103
8 Zusammenfassung	105
9 Summary	107
Literatur	109
Danksagung	129

Anhang	130
Anhang 1: Wirtschaftsdünger-Rechner für Großproduzenten in der Oblast Tyumen, Russland - Working Paper 534	130
Anhang 2: Liste der wissenschaftlichen Publikationen und Vorträge	149
Anhang 3: Erklärung über die Eigenständigkeit der erbrachten wissenschaftlichen Leistung ...	151

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Oblast Tyumen innerhalb der GUS und Rajons in der Oblast Tyumen	12
Abbildung 2: Landnutzung und Vegetationszonen in der Oblast Tyumen	13
Abbildung 3: Mittlere Temperaturen im Januar in der Oblast Tyumen	14
Abbildung 4: Mittlere Temperaturen im Juli in der Oblast Tyumen	14

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Anteil der Ackerflächen mit geringen Phosphat-, Kalium- und Humusgehalten sowie pH-Werten in der Oblast Tyumen in den Jahren 2008 bis 2014.....	18
Tabelle 2: Produktionsmengen für tierische Erzeugnisse in den drei Betriebsformen in der Oblast Tyumen im Jahr 2011	20
Tabelle 3: Durchschnittliche Größe der Ackerflächen und Anzahl der Nutztiere je Betrieb in verschiedenen Betriebsformen in der Oblast Tyumen im Jahr 2006.....	21
Tabelle 4: Viehzahlen in den Betriebsformen und Vegetationszonen in der Oblast Tyumen im Jahr 2011	22
Tabelle 5: Landwirtschaftlich genutzte Fläche und Ackerland in Betriebsformen und Vegetationszonen der Oblast Tyumen	22

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a - anno, Jahr

AF - Ackerfläche

Anz. - Anzahl

CH₄ - Methan

C_{inert} - inerter Kohlenstoff

C_{org} - organischer Kohlenstoff

CO₂ - Kohlenstoffdioxid

LF - Landwirtschaftlich genutzte Fläche

Mill. - Millionen

N - Anzahl

N₂O - Lachgas

OBS - Organische Bodensubstanz

SFC - Soil Fingerprint Code

SD - Standardabweichung

St. - Stück

THG - Treibhausgas

TP - Teilprojekt

UdSSR - Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken

vgl. - vergleiche

WD - Wirtschaftsdünger

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Nachhaltige Landnutzung unter Berücksichtigung des Klimawandels zielt auf die Reduzierung von CO₂ in der Atmosphäre und somit auf die Speicherung des organischen Kohlenstoffs in Böden ab (IPCC 2014a). Um dieses Ziel zu erreichen, müssen Kenntnisse über die Mechanismen, durch die der Kohlenstoff in Böden gespeichert wird, vorliegen. Böden enthalten mehr Kohlenstoff als die terrestrische Vegetation und die Atmosphäre zusammen (Lal 2008; Lehmann und Kleber 2015). Zahlreiche Übersichtsartikel über Einflussfaktoren auf organischen Kohlenstoff (C_{org}) wurden in den letzten zwei Jahrzehnten geschrieben (Post and Kwon 2000; Conant et al. 2001; Guo und Gifford 2002; Houghton und Goodale 2004; Ogle et al. 2005; Poeplau et al. 2011), doch die wenigsten beinhalten Daten aus Russland, obwohl die C_{org}-Vorräte in russischen Böden auf 20 % der weltweiten Vorräte geschätzt werden (Stolbovoi 2002). Das Augenmerk in der Wissenschaft sollte vor allem auf die sibirischen Böden mit hohen Kohlenstoffvorräten gelenkt werden. Erstens sagen Studien von Frey und Smith (2003), Shulgina et al. (2011) und von Degeffie et al. (2014) eine Erhöhung der Lufttemperatur in Sibirien voraus, so dass Kohlenstoffverluste in Ackerböden über die Mineralisation verstärkt werden könnten. Zweitens sind fruchtbare Bodentypen mit hohen Humusgehalten in Sibirien stark verbreitet. Je höher die anfänglichen C_{org}-Gehalte, desto intensiver ist der C_{org}-Verlust beim unangepassten Bodenmanagement (Franco 1997; Klenov 1998; Bellamy et al. 2005; Romanovskaja 2008; Kurganova et al. 2014; Kämpf et al. 2016b).

Der landwirtschaftlich genutzte Boden spielt die wichtigste Rolle in der Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln und ist Bestandteil ökologischer Stoffkreisläufe sowie von Produktionskreisläufen, die durch eine gezielte Steuerung die Bodenfunktionen erhalten oder verbessern können (Schröder et al. 2016). Die Bedeutung von Kreisläufen in der Landwirtschaft wurde bereits von dem Bodenbiologen Stöckli (1946) erkannt. Er schrieb, dass eine anhaltende und zunehmende Bodenfruchtbarkeit nur unter der Voraussetzung eines Kreislaufes der Stoffe möglich sei. Der Kreislaufgedanke ist ein Grundsatz in der heutigen ökologischen Landwirtschaft (Hülsbergen und Küstermann 2007). Die zunehmende Spezialisierung der heutigen Landwirtschaft hat zu einer Entkopplung der Stoffkreisläufe geführt, so dass Stoffkreisläufe innerhalb eines Betriebes nicht mehr geschlossen werden können (Werner 2005; Divanbeigi und Saliola 2016). In der industrialisierten Landwirtschaft muss die Schließung der Stoffkreisläufe über größere Entfernung stattfinden und mehrere Akteure miteinbinden. Nährstoffproduzenten und Nährstoffabnehmer sind die Akteure in einem Nährstoffkreislauf, die die globalen Nährstoffkreisläufe für Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphat durch ihr Handeln beeinflussen. Andere biotische und abiotische Faktoren, auf die der Mensch keinen Einfluss hat, wirken ebenfalls auf die Nährstoffkreisläufe ein (Schröder et al. 2016).

Durch den Anbau, die Verarbeitung und den Konsum landwirtschaftlicher Erzeugnisse werden bei den Nährstoffproduzenten unterschiedliche biogene Stoffe verwertet oder entsorgt. Nährstoffproduzenten sind Betriebe, bei denen organische Abfälle anfallen wie z.B. pflanzliche Bioabfälle, organisch belastete Abwässer und tierische Nebenprodukte. Der Wirtschaftsdünger ist die wichtigste Unterkategorie der tierischen Nebenprodukte. Nährstoffabnehmer sind Ackerbau- und Gartenbaubetriebe, die mineralische Düngungsmittel durch organische ersetzen. In den meisten Fällen wird Wirtschaftsdünger verwendet, aber auch andere organische Dünger, die zuvor aus anderen tierischen Nebenprodukten oder pflanzlichen Bioabfällen erzeugt wurden, finden vor allem in der ökologischen Landwirtschaft Anwendung (Berner et al. 2012). Weitere Nährstoffabnehmer sind landwirtschaftliche Betriebe mit Biogaserzeugung und Veredelungsbetriebe, die Nebenprodukte aus der Lebensmittelweiterverarbeitung als Futtermittel oder als Co-Fermente nutzen (Knappe et al. 2007).

Werden Stoffkreisläufe von Nährstoffproduzenten und -abnehmern nicht geschlossen, entstehen Verschiebungen in Ökosystemen, die nachteilige Effekte auf die Umwelt und insbesondere das Klima haben. Besonders problematisch ist der Umgang mit Wirtschaftsdünger in Veredelungsbetrieben. Nährstoffauswaschung, vor allem die Nitratauswaschung und die damit verbundene Belastung des Grundwassers, ist das bekannteste Problem (Gauger 2002; Schmidt et al. 2007). Eine unsachgemäße Entsorgung des Wirtschaftsdüngers führt zu weiteren Problemen wie erhöhte Treibhausgasemissionen, Bodenversalzung, Belastung des Bodens mit Antibiotika und Schwermetallen. Hinzu kommt die Vergeudung des Düngepotentials (Moore et al. 1995; DeLuca und DeLuca 1997; Jongbloed und Lenis 1998; Sharpley et al. 1998; Nicholson et al. 1999; Hao und Chang 2003; IPCC 2006; Li-Xian et al. 2007; Otabong et al. 2007; Ji et al. 2012). Richtig angewendet hat der Wirtschaftsdünger neben der Nährstoffversorgung positive Effekte auf physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften (Schjønning et al. 1994; Darwish et al. 1995; Gerzabek et al. 1997; Smith et al. 1997; Whalen et al. 2000; Parham et al. 2003; Maillard und Angers 2014). Die richtige Anwendung des Wirtschaftsdüngers setzt Kenntnisse über die Qualität des Wirtschaftsdüngers, der Bodeneigenschaften und der Nährstoffbedarfe der Kultur voraus (Schröder et al. 2016). Die Bodeneigenschaften werden durch eine große Anzahl von Faktoren beeinflusst. Die Bestimmung der lokalen Bodenqualität und der Einflussfaktoren auf die Bodenqualität bilden somit die Basis für die Erarbeitung von Nutzungsempfehlungen für Wirtschaftsdünger, die eine effiziente und umweltfreundliche Verwertung von Nährstoffen bei gleichzeitiger Kohlenstoffsequestrierung gewährleisten.

Die starke Verbreitung der Moorböden und der fruchtbaren mineralischen Böden wie Chernozeme in der Oblast Tyumen zeugen von hohen Kohlenstoffvorräten, die sich durch unangepasste landwirtschaftliche Nutzung und Klimawandel verringern können. Demgegenüber ste-

hen große Areale von brachgefallenen Ackerflächen, die zurzeit eine Kohlenstoffsenkenfunktion erfüllen (Kämpf et al. 2016). Zukünftig wird in der Oblast Tyumen eine Zunahme der landwirtschaftlichen Produktion erwartet. Die lokale Agrarpolitik verfolgt das Ziel, die landwirtschaftliche Produktion bis zum Jahr 2020 um 9,7% zu erhöhen (Stupak 2017). Wachsende Bevölkerung und Rekultivierung von Brachen sind weitere Faktoren für die landwirtschaftliche Expansion oder Intensivierung (Kühling et al. 2015). Auch das aus dem Ukraine-Konflikt resultierende Importverbot für Agrarprodukte aus der Europäischen Union bedingt eine Stärkung der inländischen landwirtschaftlichen Produktion (Wegren 2014; Wengle 2016).

Hinzu kommt der Klimawandel mit einer Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur von 0,2-0,5 °C pro Jahrzehnt. Es wird mit einer Verlängerung der Vegetationsperiode für das nächste Jahrzehnt um 4 Tage gerechnet (Frey und Smith 2003; Shulgina et al. 2011). Neben der erhöhten Temperatur werden weitere negative Effekte des Klimawandels für die Landwirtschaft erwartet. Degefie et al. (2014) und Stupak (2017) beschreiben eine höhere klimatische Variabilität, die sich nachteilig auf die landwirtschaftliche Produktion in der Oblast Tyumen auswirken wird. Obwohl die lokalen Politiker und Produzenten sich der klimatischen Variabilität und der damit verbundenen Ernteverluste bewusst sind, wird eine Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel seitens der lokalen Politik bislang nicht unterstützt (Stupak 2017).

All die genannten Faktoren für die landwirtschaftliche Expansion und der bereits stattfindende Klimawandel in der Oblast Tyumen bedingen Landnutzungsänderungen. Deren Untersuchung ist das zentrale Ziel des interdisziplinären Verbundprojektes „SASCHA - Nachhaltiges Landmanagement und Anpassungsstrategien an den Klimawandel für den Westsibirischen Getreidegürtel“. Im Fokus der Arbeiten stehen die wechselseitigen Effekte des Klima- und Landnutzungswandels auf Naturressourcen und Ökosystemfunktionen. Das angestrebte Projektergebnis ist die Bereitstellung von Basisinformationen, praktischen Managementwerkzeugen und die Erarbeitung von Anpassungsstrategien für die Akteure in der Politik, Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft, um ungesteuerten zukünftigen Landschaftsveränderungen in der Oblast Tyumen begegnen zu können.

Das Projekt SASCHA besteht aus mehreren interdisziplinär agierenden Teilprojekten. Im Projekt sind fünf deutsche Universitäten, die russische Staatliche Universität Tyumen, die Agraruniversität Tyumen und das deutsche Fernerkundungsunternehmen EFTAS sowie zahlreiche Stakeholder aus Politik, Wirtschaft und Forschung eingebunden. Acht Teilprojekte (TP) analysieren die Ist-Situation und erarbeiten gemeinsam Lösungsansätze zu folgenden Themen: Landnutzung (TP 200), Wasser- und Stoffflüsse (TP 300), Treibhausgase (TP 400), nachhaltige Landwirtschaft (TP 500), Kohlenstoffvorräte und Biodiversität in nicht ackerbaulich genutzten Ökosystemen

(TP 600), Planungsinstrumente (TP 700), Institutionen, Eigentumsrechte, Governance-Strukturen und Umsetzungskapazitäten (TP 800). Die Koordination des Projektes wird vom TP 100 der Universität Münster ausgeführt (SASCHA Projekt 2011).

Das TP 500 befasst sich mit der Landwirtschaft und wird in weitere drei TP unterteilt: Das TP 510 behandelt schwerpunktmäßig die Analyse und die Optimierung nachhaltiger landwirtschaftlicher Nutzungsstrategien auf Betriebsebene. Das TP 520 untersucht die Biodiversität und die Kohlenstoffvorräte von landwirtschaftlichen Flächen unterschiedlicher Nutzungsintensität. Die Arbeitsgruppe *Agrarökologie und Bodenforschung* der Universität Osnabrück bearbeitet das TP 530: *Regionales Stoffstrommanagement für Nährstoffe und organischen Kohlenstoff* (SASCHA Projekt 2011). Die Ergebnisse des TP 530 werden in der vorliegenden Arbeit vorgestellt.

Für die Oblast Tyumen sollen Informationen über den Zustand der landwirtschaftlich genutzten Böden, die natürlichen und anthropogenen Einflussfaktoren auf die Bodeneigenschaften, die Anbaumethoden, die Bodenmanagementmaßnahmen, die Nutztierhaltungssysteme und -bestände sowie deren räumliche Verteilung erhoben werden. Auf der Basis dieser Daten sollen Handlungsempfehlungen entwickelt werden, wie die Nährstoffüberschüsse bei den Nährstoffproduzenten die Nährstoffbedarfe bei den Nährstoffabnehmern decken könnten, um somit eine umwelt- und klimafreundliche, nachhaltige und rentable landwirtschaftliche Produktion zu gewährleisten. Daher wurden folgende Ziele für die vorliegende Arbeit formuliert:

1. Bewertung des Bodenzustandes ackerbaulich genutzter Flächen unter besonderer Berücksichtigung des Kohlenstoffhaushaltes und des Bodengefüges;
2. Analyse der Nährstoffströme in landwirtschaftlichen Produktionssystemen im Hinblick auf Düngungspotentiale und Umweltbelastung aus Reststoffen sowie Nährstoffdefizite in landwirtschaftlich genutzten Böden;
3. Bewertung des Wirtschaftsdünger-Handlings unter besonderer Berücksichtigung des Nährstoffhaushaltes und der Treibhausgasemissionen;
4. Empfehlungen für eine nachhaltige, umweltfreundliche sowie ökonomisch rentable landwirtschaftliche Produktion.

2 STAND DER FORSCHUNG

2.1 NACHHALTIGE LANDWIRTSCHAFTLICHE BODENNUTZUNG

Um Konzepte für eine nachhaltige Bodennutzung zu entwickeln, ist zuerst ein grundlegendes Verständnis von der **Bodenqualität** und von der Rolle des Bodens in Nährstoffkreisläufen notwendig. Laut Karlen et al. (1997) sollen Bodenfunktionen drei übergeordnete Aufgaben erfüllen: (1) nachhaltige biologische Produktivität, (2) Umweltqualität und (3) Gesundheit von Tieren und Pflanzen. Die Bodenqualität ist hoch, wenn der Boden alle seine Funktionen erfüllt. Dazu zählt zum Beispiel die Filterfunktion zur Erhaltung der Grundwasserqualität. Die Bodenqualität wird sowohl von der Art der Bodennutzung als auch zunehmend in vielen Regionen weltweit vom Klimawandel beeinflusst (IPCC 2014b). Es stellt sich daher die Frage, mit welchen Maßnahmen die Bodenqualität erhalten und verbessert werden kann. Um zu entscheiden, welche Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenqualität angewendet werden sollen, ist eine möglichst objektive Bewertung der Bodenqualität notwendig. Standardisierte Bodenbewertung, wie die Bodenschätzung, begann in Deutschland und Österreich vor 80 Jahren (Rothkegel 1950). Auch weltweit existieren unterschiedliche Ansätze zur Bewertung der Bodenqualität seit 60-100 Jahren (Müller et al. 2010). Dazu zählen Methoden wie die Visual Soil Fast methodology (McGarry 2006), der Soil Quality Index (Andrews und Carroll 2001), das Agro-ecological zoning (Fischer et al. 2002), das Visual Soil Assessment (Shepherd 2000), das Muencheberg Soil Quality Rating (Müller et al. 2014) sowie die Methode nach Peerlkamp (1959), die von Ball et al. (2007) weiter ausgearbeitet wurde. Die Komplexität der Böden, deren räumliche und zeitliche Variabilität sowie die Auswirkungen klimatischer und anthropogener Faktoren werden in keiner der genannten Methoden gleichzeitig berücksichtigt. Um ein besseres Verständnis der Bodenqualität zu erhalten, sind interdisziplinäre Studien, die das Zusammenwirken von Bodeneigenschaften und -prozessen in Ökosystemen berücksichtigen, vonnöten (Elmholt et al. 2000; Karlen und Andrews 2000; Fox et al. 2014). Der Soil Fingerprint Code (SFC) nach Fox et al. (2014) stellt eine Feldmethode dar, die international ausgelegt ist. Der SFC bietet durch die erhöhte Detailtreue, Flexibilität und Erfassungsmöglichkeit von biologischen, physikalischen und chemischen Bodenparametern die Möglichkeit, dynamische Veränderungen der Bodeneigenschaften über die Zeit und über verschiedene räumliche Ebenen aufzuzeigen.

Das Bodengefüge ist ein Schlüsselindikator für die Bodenqualität (Rampazzo et al. 1998; Carter 2002; Bronick und Lal 2005; Müller et al. 2009, Müller et al. 2010). Es beeinflusst die Durchwurzelung und die Wasserhaltekapazität. Diese haben wiederum Auswirkungen auf die Mineralisierung der organischen Bodensubstanz und damit auf die Bodenatmung (Bouma 1994). Als die entscheidenden natürlichen Einflussparameter der Aggregatbildung gelten vor allem der Gehalt

an organischer Bodensubstanz und die Bodenart. Des Weiteren wird das Gefüge auf natürliche Weise durch den Carbonatgehalt, das Edaphon, die Koagulation und die Peptisation, die Frostwirkung sowie die Schrumpfung und die Quellung gesteuert (Kiem und Kandeler 1997; Kay 1998; Bronick und Lal 2005; Müller et al. 2010). Das wesentliche anthropogene Einflussmedium auf das Bodengefüge in der Landwirtschaft ist die Bodenbearbeitung. Das Bodengefüge wird dabei insbesondere durch die Überfahung mit schweren landwirtschaftlichen Maschinen und das Umbrechen beim Pflügen beeinflusst (Ball et al. 2007; Müller et al. 2008, Müller et al. 2010). Maßnahmen wie No-till, organische Düngung (Gründüngung und Wirtschaftsdünger) oder Brachlegung führen zur Verbesserung des Bodengefüges (Rhoton 2000; Shepherd et al. 2002). Der positive Effekt von Brachlegung und von Gründüngung lässt sich durch den Einfluss der erhöhten Wurzelmasse auf das Bodengefüge erklären (Angers und Caron 1998; Czarnes et al. 2000).

Der atmosphärische Kohlenstoff wird in **organischen Kohlenstoffverbindungen** im Boden gespeichert. Zum einen wird durch diese Kohlenstoffsequestrierung CO₂ in der Atmosphäre reduziert, zum anderen wird dadurch organischer Kohlenstoff im humosen Oberboden angereichert. Der Anteil des organischen Kohlenstoffs im Humus steht im engen Zusammenhang mit der Ertragsfähigkeit der Ackerböden. Somit bedienen Studien zur Dynamik des organischen Kohlenstoffs die naturwissenschaftliche Sparte, die sich mit der Reduzierung der THG-Emissionen aus der Atmosphäre befasst, als auch die agrarwissenschaftliche Sparte, die Themenbereiche für eine produktive und nachhaltige landwirtschaftliche Produktion bearbeitet. Im Folgenden werden Reviews und Meta-Analysen aus dem natur- als auch aus dem agrarwissenschaftlichen Zweig vorgestellt. Zudem findet noch eine räumliche Eingrenzung der vorgestellten Studien auf die gemäßigte Klimazone statt, um eine Vergleichbarkeit mit der Oblast Tyumen zu gewährleisten.

Die Meta-Analyse von Kämpf et al. (2016b) beschäftigt sich mit der Dynamik des organischen Kohlenstoffs durch Landnutzungsänderungen und durch unterschiedliche Bodenmanagementmaßnahmen. Das höchste Potential für Kohlenstoffsequestrierung sehen Kämpf et al. (2016b) in *konservierender Bodenbearbeitung* (No-till) und in Ackerbrachen. Weitere Meta-Analysen von VandenBygaart et al. (2003), Ogle et al. (2005), Angers und Eriksen-Hamel (2008), Luo et al. (2010) und Virto et al. (2012) belegen ebenfalls eine positive Wirkung von No-till auf die Kohlenstoffsequestrierung im Oberboden. Die Ergebnisse der Meta-Analyse von West und Post (2002) zeigen, dass die Umstellung von wendender Bodenbearbeitung zu No-Till eine Kohlenstoffsequestrierung von $57 \pm 14 \text{ g C m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ bewirken kann. West und Post (2002) verdeutlichen auch die Bedeutung der *Fruchtfolge* im Hinblick auf die Kohlenstoffspeicherung. Knowler und Bradshaw (2007) nennen weitere Vorteile von No-till: Der verbesserte Wasserhaushalt des

Bodens führt langfristig zu höheren und stabileren Erträgen, geringerer Auswaschung und besserer Infiltration, geringerer Erosionsgefährdung und zur Erhaltung der Biodiversität. Die höheren Erträge werden aufgrund der höheren N-Vorräte durch No-till erreicht (Follett 2012). Über Anreicherung des organischen Kohlenstoffs schreibt auch Díaz-Zorita et al. (2002) im Review über No-till und setzt zusätzlich die C_{org} -Anreicherung in Zusammenhang mit der Bodenart. Eine C_{org} -Anreicherung durch No-Till allein konnten Piccoli et al. (2016) nicht messen. Sie stellten jedoch eine vertikale Umverteilung von organischen Kohlenstoff im Profil (0-50 cm) fest. Aktuelle Studien von Powlson et al. (2014) und VandenBygaert et al. (2016) sowie von Du et al. (2017) berichten von einer Überschätzung von No-Till in Bezug auf die Kohlenstoffsequestrierung, belegen jedoch eine positive Wirkung auf die Bodenqualität und eine bessere Anpasstheit an den Klimawandel.

Weitere Faktoren, die im Kohlenstoffhaushalt von Ackerböden eine zentrale Rolle spielen, sind die *Ernte- und Wurzelreste*. Der Kohlenstoffinput aus den Ernte- und Wurzelresten ist in erster Linie von der Höhe und der Qualität der nach der Ernte verbleibenden Biomasse abhängig. Eine Reihe weiterer kulturabhängiger Faktoren beeinflusst die C_{org} -Umsetzung im Boden. Jede Fruchtart verfügt über spezifische Merkmale, die zum Aufbau oder Abbau der organischen Bodensubstanz beitragen. Dazu zählen der maximale Bedeckungsgrad und die Tage bis zur Keimung (Franko 1997). Diese zwei Faktoren werden vor allem von der Sorte, dem Klima und der Bewirtschaftung beeinflusst. Eine stärkere Bodenbedeckung wird durch das Mulchen erreicht (Lal et al. 2007). Ein weiterer wichtiger Faktor für die C_{org} -Umsetzung der Ernte- und Wurzelreste oder des Mulchmaterials ist deren stoffliche Zusammensetzung. Das C/N-Verhältnis der Ernte- und Wurzelreste und die fruchtartspezifischen Abbau- und Syntheseraten spielen dabei eine weitere Rolle (Franko 1997).

Eine gezielte Erhöhung der Ernte- und Wurzelreste geschieht über die *Gründüngung*. Die Implementierung einer Gründüngungskultur in die Fruchtfolge führt zu zahlreichen positiven Effekten für die Bodenfunktionen (Boydston und Hang 1995; Biederbeck et al. 1996; Drinkwater et al. 1998; Krishnan et al. 1998; Thorup-Kristensen et al. 2003; Crews und Peoples 2005; Cherr et al. 2006; Piotrowska und Wilczewski 2012). Cherr et al. (2006) verdeutlichen, dass die C_{org} -Anreicherung durch Gründüngung in Böden mit höheren Schluff- und Tonanteilen höher ist als in Sandböden.

Eine weitere Maßnahme für die C_{org} -Sequestrierung ist die *Brachlegung* von Ackerflächen und Grünland (Kämpf et al. 2016b). Die jährliche durchschnittliche Sequestrierungsrate für aufgegebene Ackerflächen liegt bei $0,75 \text{ t C ha}^{-1}$. Die jährliche Sequestrierungsrate für ehemaliges Grünland liegt zwischen $0,33$ und $1,01 \text{ t C ha}^{-1}$ (Post und Kwon 2000; Conant et al. 2001). Agrarforst-

systeme stellen eine weitere Möglichkeit dar, die C_{org} -Sequestrierung zu forcieren (Montagnini und Nair 2004; Lal et al. 2007).

Die Bodenfunktionen und vor allem die Kulturpflanzen werden über die *Düngung* beeinflusst. Es gibt verschiedene Düngemittel und Düngungsstrategien, um eine Steigerung der Erträge zu erzielen. N-Düngungsempfehlungen haben das Ziel, die Erträge zu erhöhen, ohne dabei die Umwelt zu belasten oder die Qualität des Produktes zu mindern (Anbessa und Juskiw 2012; Follet 2012; Diacono et al. 2013). Einige Wissenschaftler empfehlen eine, an die Kulturbedarfe und die variablen Bodeneigenschaften, angepasste Düngung. Dies erfordert Nährstoffmessungen und genaue Kenntnisse über die Nährstoffansprüche der ausgewählten Kultur (Anbessa und Juskiw 2012; Diacono et al. 2013). Alleinige mineralische Düngung reicht nicht aus, um die organische Bodensubstanz (OBS) aufzubauen (Khan et al. 2007). Nährstoffversorgung und C_{org} -Akkumulation sind bei einer kombinierten Düngung mit organischem und mineralischem Dünger am höchsten (Anbessa und Juskiw 2012; Ding et al. 2013; Triberti et al. 2016).

2.2 WIRTSCHAFTSDÜNGER

Wirtschaftsdünger-Handling

Zusammenhänge zwischen organischer Bodensubstanz und Bodenmanagement werden mit dem Ziel, die Ertragskraft der Böden in der Landwirtschaft zu erhöhen, seit vielen Jahrzehnten untersucht. Ein Instrument ist der Einsatz von Wirtschaftsdünger, der kostengünstig ist und zur Verbesserung von physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften beiträgt (Schjønning et al. 1994; Darwish et al. 1995; Gerzabek et al. 1997; Smith et al. 1997; Whalen et al. 2000; Parham et al. 2003; Maillard und Angers 2014). Der rationelle Einsatz von Wirtschaftsdünger findet nicht auf allen landwirtschaftlichen Betrieben statt. Einzelne Betriebsleiter treffen beim Bodenmanagement unterschiedliche Entscheidungen. Die Entscheidungen sind von Faktoren wie Nährstoffgehalt, Rottegrad, Hygiene, Betriebskosten, Wetterlage, maschineller Ausstattung, Standortbedingungen, Betriebsgröße u.v.m. abhängig. Das primäre Ziel der Betriebsleiter liegt in der Ertrags- und Qualitätssteigerung des Ernteguts für ein optimales betriebswirtschaftliches Ergebnis. Dabei werden Ziele wie die Kohlenstoffsequestrierung und der umwelt- und klimafreundliche Einsatz von Wirtschaftsdünger als zweitrangig betrachtet oder gänzlich außer Acht gelassen. Die Handlungsweisen einzelner Betriebe wirken sich somit positiv oder negativ auf die Bodeneigenschaften und den Klimawandel aus. So ist bekannt, dass in kleinen Betrieben und bei Selbstversorgern die Umwelt in der Regel nicht belastet wird und der Wirtschaftsdünger sinnvoll eingesetzt wird (Jarvis 1993; Devendra und Thomas 2002; Rufino et al. 2007), während in Großbetrieben der Einsatz von Wirtschaftsdünger ohne ein gezieltes Wirtschaftsdüngermanagement häufig zu Umweltbelastungen und zur Vergeudung des Düngepotentials führt (Moore

et al. 1995; DeLuca und DeLuca 1997; Jongbloed und Lenis 1998; Sharpley et al. 1998; Otabbong et al. 2007).

Treibhausgase aus dem Wirtschaftsdünger

Aus dem Wirtschaftsdünger entweichen Treibhausgase (THG) wie Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4). Die Höhe der THG-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger hängt von mehreren Faktoren ab. Die Außentemperatur und der Wassergehalt beeinflussen die mikrobiellen Prozesse wie Nitrifikation, Denitrifikation, Methanogenese und Methan-Oxidation (Chadwick et al. 2011). Der Umgang mit dem Wirtschaftsdünger beeinflusst die Temperatur und den Wassergehalt. Durch anaerobe Verhältnisse in der Güllelagerung wird mehr Methan emittiert als beim Weidegang. Unter aeroben Bedingungen, wie beim Weidegang, wird mehr Lachgas emittiert als in der Güllelagerung. Die Nährstoffgehalte im Wirtschaftsdünger haben auch einen Einfluss auf die Höhe der THG-Emissionen (IPCC 2006).

2.3 BODENFORSCHUNG IN DER OBLAST TYUMEN

In der gesamten Oblast Tyumen finden administrative und wissenschaftliche Bodenuntersuchungen statt. Der Bodenwissenschaftler Lev Karetin leitete die Arbeiten für die Erstellung einer Bodenkarte für die Oblast Tyumen und beschrieb sehr detailliert einzelne Bodentypen (Karetin 1990; Karetin et al. 1998). Zum heutigen Zeitpunkt arbeiten vor allem die Wissenschaftler Dmitri Eremin und Nikolai Abramov an bodenwissenschaftlichen Fragestellungen mit agrarischem Schwerpunkt in der Oblast Tyumen.

Das Vorkommen einzelner Bodentypen unter landwirtschaftlicher Nutzung, deren Eigenschaften und Zustand werden im Kapitel 3 *Untersuchungsgebiet* vorgestellt. In diesem Kapitel werden relevante wissenschaftliche Befunde von lokalen Wissenschaftlern zu Einflussfaktoren auf die Bodenqualität zusammengefasst. Insgesamt fanden an sechs Standorten landwirtschaftliche Langzeitversuche mit mehreren Versuchsvarianten in der Oblast Tyumen statt. Von den sechs Versuchen sind fünf auf einem Chernozem und ein Versuch auf einem Phaeozem angelegt. In drei Versuchen wurden verschiedene Bodenbearbeitungsvarianten, in zwei Versuchen verschiedene Landnutzungsformen und in einem Versuch unterschiedliche Düngungshöhen miteinander verglichen.

Die drei Bodenbearbeitungsversuche in der Oblast Tyumen belegen eine negative Wirkung der traditionellen wendenden Bodenbearbeitung (Bearbeitungstiefe 20-22 cm) sowie durch die Direktsaat auf die C_{org} -Vorräte. Bei der Direktsaat findet eine C_{org} -Anreicherung im Oberboden in der Tiefe 0-10 cm statt. In weiteren Tiefen wurde eine C_{org} -Abnahme verzeichnet. Die Bodenbe-

arbeitsvariante „Kombiniert“ lieferte die besten Ergebnisse im Hinblick auf die C_{org} -Vorräte. Bei einer kombinierten Bodenbearbeitung findet ein jährlicher Wechsel zwischen Grubber und Pflug, bei jeweils einer Bearbeitungstiefe von 20-22 cm, statt (Meijsjamova und Abramov 2008; Eremin 2012; Perfilyev 2014).

In der Oblast Tyumen wurde ebenfalls nachgewiesen, dass sowohl eine fehlende als auch eine zu hohe mineralische Düngung zu Verlusten der organischen Bodensubstanz führt. Im Düngungsversuch auf Luvic Chernozem wurden eine Kontrollvariante ohne Düngung und vier Varianten mit unterschiedlichen Düngungsintensitäten mit mineralischem Dünger (NPK) angelegt. Die höchste Düngergabe beinhaltete $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. In diesem Versuch wurden C_{org} -Verluste bei der Kontrollvariante und bei den stark gedüngten Varianten verzeichnet (Eremin 2012).

In zwei Versuchen auf Luvic Chernozem wurde die Landnutzungsänderung von Acker zu Mähwiese und von Acker zu Brache untersucht. In beiden Fällen fand eine C_{org} -Sequestrierung statt. Bei der Mähwiese ist nach 15 Jahren in 0-100 cm eine Zunahme von 21 t C ha^{-1} und bei der Brache nach 30 Jahren eine Zunahme in der gleichen Tiefe um 27 t C ha^{-1} gemessen worden (Eremin 2012).

In einem Landnutzungsvergleich auf Luvic Chernozem wurde die Ackernutzung mit einem natürlichen Grasland verglichen. Nach 16 Jahren Ackernutzung ist eine C_{org} -Abnahme von 20 t C ha^{-1} in der Tiefe 0-100 cm gemessen worden. Durch die Ackernutzung haben sich die Lagerungsdichte und das Gesamtporenvolumen nicht verändert. Es gab jedoch Verschiebungen bei den Porenklassen hin zu mehr Grobporen. Die Grobporen bieten mehr Hohlräume für die Mineralisierung der organischen Substanz, die sich in der erhöhten Bodenatmung widerspiegelt (Eremin 2012).

Karetin (1990) erkannte schon in den 1990ern die Tatsache, dass durch zu geringe Nachlieferung an organischer Substanz die Böden in der Oblast Tyumen degradieren. Er empfahl eine Düngungshöhe von $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ organischer Düngung, um die Humusgehalte stabil zu halten. Zusätzliche Gaben von $10\text{-}20 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ sollten die Humusgehalte auf weniger produktiven Bodentypen erhöhen. Zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen empfahl er als organische Düngung Gründüngung, Torf und Wirtschaftsdünger. Weitere Probleme sah er beim hohen Anteil an Böden mit niedrigen pH-Werten sowie beim Vorkommen von Böden mit hohen Salzgehalten wie Solonchake und Solonetze im Süden der Oblast. Er empfahl den Einsatz von Kalk gegen die Versauerung und den Einsatz von Gips gegen die Versalzung der Böden (Karetin 1990).

Im Fokus der heutigen bodenwissenschaftlichen Forschung in der Oblast Tyumen steht der Einfluss von Bodenbearbeitungsvarianten, von Fruchtfolgen und von der mineralischen Düngung

auf die Bodenfunktionen und auf die Erträge (Eremin 2012; Abramov 2013; Semizorov 2013; Rzaeva 2014). Im Hinblick auf die Erträge werden Versuche durchgeführt, in denen unterschiedliche Fruchtfolgen getestet werden. Die höchsten Erträge werden nach einer Schwarzbrache erreicht. Zur Ertragssteigerung in Getreidefruchtfolgen werden in landwirtschaftlichen Versuchen auch Gründüngungskulturen eingesetzt (Fedotkin et al. 2009; Abramov 2013). Änderungen der Bodenfunktionen bei landwirtschaftlich genutzten Moorböden werden in weiteren Versuchen in der Oblast Tyumen getestet (Sivkov 2006; Motorin 2013).

Nach einer eingehenden Recherche ließen sich nur wenige Versuche in der Oblast Tyumen mit organischer Düngung finden. Die einzige organische Düngung, die geprüft und empfohlen wird, ist die Gründüngung (Abramov 2013). Der Einfluss von gehäckseltem Stroh auf die Kohlenstoffvorräte wurde von Eremin (2012) untersucht. Der Einsatz von Wirtschaftsdünger wird in landwirtschaftlichen Versuchen nicht untersucht.

3 UNTERSUCHUNGSGEBIET

3.1 LAGE UND ADMINISTRATIVE GLIEDERUNG DER OBLAST TYUMEN

Die Oblast Tyumen befindet sich in Südwestsibirien und hat mit 151.323 km² ungefähr die dreifache Größe von Niedersachsen. Eine Oblast ist eine russische Verwaltungseinheit und ist vergleichbar mit einem Bundesland in Deutschland. Die Oblast Tyumen gliedert sich in 22 Rajons (Abb. 1). Ein Rajon in der Oblast Tyumen ist unterteilt in 6-22 Siedlungen. Auf dem Gebiet der Oblast Tyumen liegen vier Städte: Tyumen, Ischim, Tobolsk und Jalutorovsk, die zusammen eine Fläche von 758 km² einnehmen. Die restliche Fläche wird den Rajons zugerechnet. In der gesamten Oblast Tyumen leben aktuell 1.430.000 Menschen. Die Hauptstadt der Oblast Tyumen ist die Stadt Tyumen, in der 49 % der Bevölkerung leben (ROSSTAT 2016).

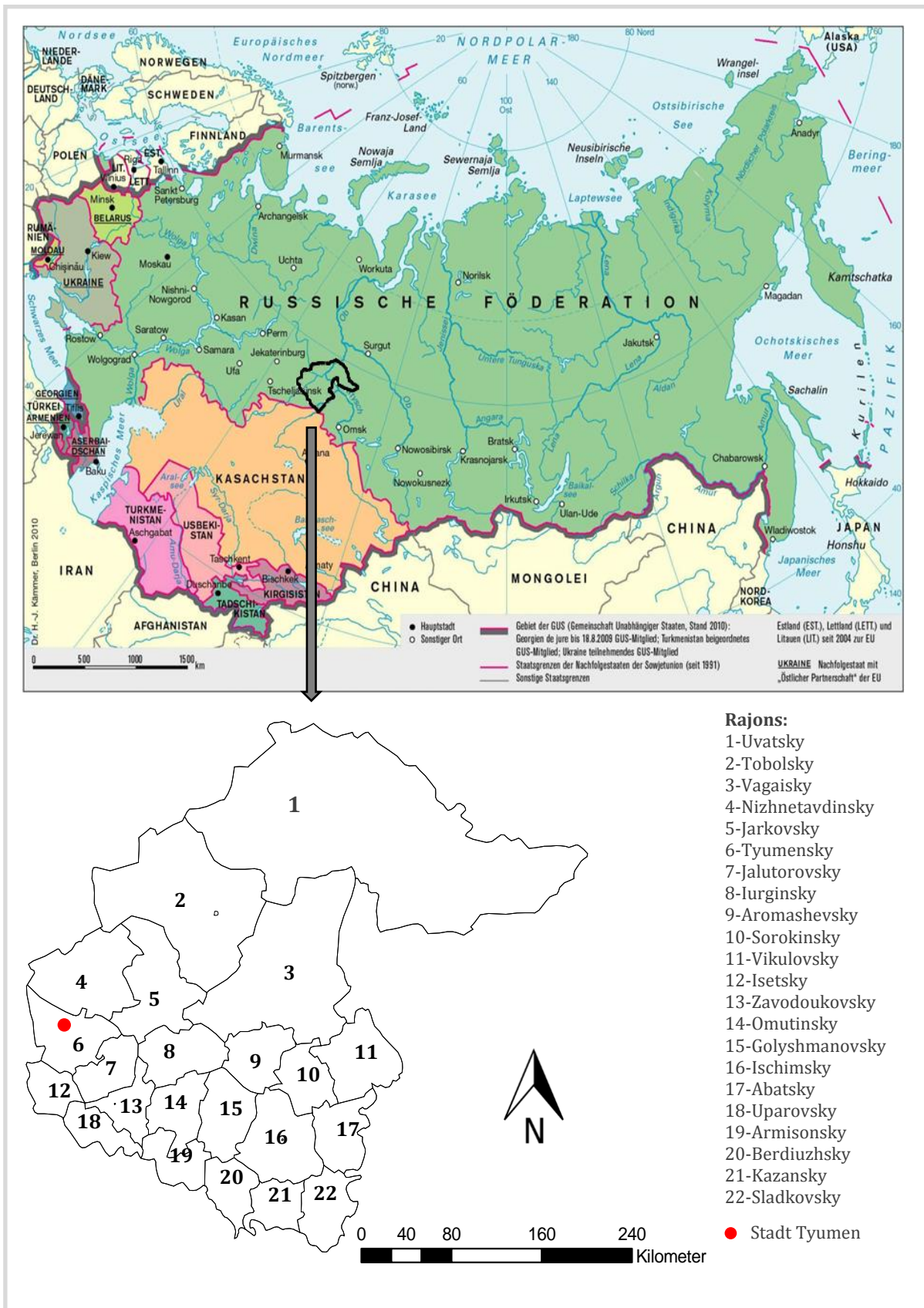


Abbildung 1: Oblast Tyumen innerhalb der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (oben) und Rajons in der Oblast Tyumen (unten) (verändert aus Bundeszentrale für politische Bildung 2012; ROSREESTR 2013)

3.2 VEGETATIONSZONEN UND KLIMA

Die Oblast Tyumen ist in drei Vegetationszonen unterteilt - in Taiga, Pre-Taiga und Waldsteppe (Abb. 2). Die Taiga breitet sich über die Nordhälfte der Oblast Tyumen aus. Stark verbreitet sind Moore mit Histosolen (53 %). Trockene Gebiete mit Podsolen sind überwiegend mit Mischwäldern bedeckt – bestehend aus *Abies*, *Picea*, *Cedrus*, *Pinus* und *Betula* (Karetin 1990). Entlang der Südgrenze der Taiga schließt sich die Pre-Taiga mit einer Breite von 100 km an. Kiefernwälder (*Pinus sylvestris*) kommen auf sandigen Böden vor. Auf dem restlichen Gebiet der Pre-Taiga dominieren *Betula*- oder *Betula-Populus*-Wälder, die in der südlich angrenzenden Waldsteppe in großen Beständen auf Albic Luvisols wachsen. *Pinus sylvestris*-Wälder kommen weiterhin auf sandigen Böden vor. Feuchtgebiete nehmen in der Waldsteppe ca. 11 % der Fläche ein. In den südlichen Rajons prägt Graslandvegetation mit verstreuten Baumhainen die Landschaft. Wegen der offenen Kronen-Struktur ist bei der Bodenvegetation ein großer Artenreichtum vorzufinden (Karetin 1990; Freitag et al. 2015). Auf fruchtbaren Böden besteht die natürliche Vegetation zu 60-70 % aus Mesophyten. Darunter kommen häufig *Libanotis sibirica*, *Veronica spicata*, *Pimpinella saxifraga*, *Phlomis tuberosa*, *Thalictrum minus*, *Leucanthemum vulgare*, *Phloem pratense* u.a. vor. Die Meso-Xerophyten machen anteilig 25-30 % aus. Dazu zählen *Heracleum sibiricum*, *Dianthus deltoides*, *Galium verum* u.a. (Eremin 2012).

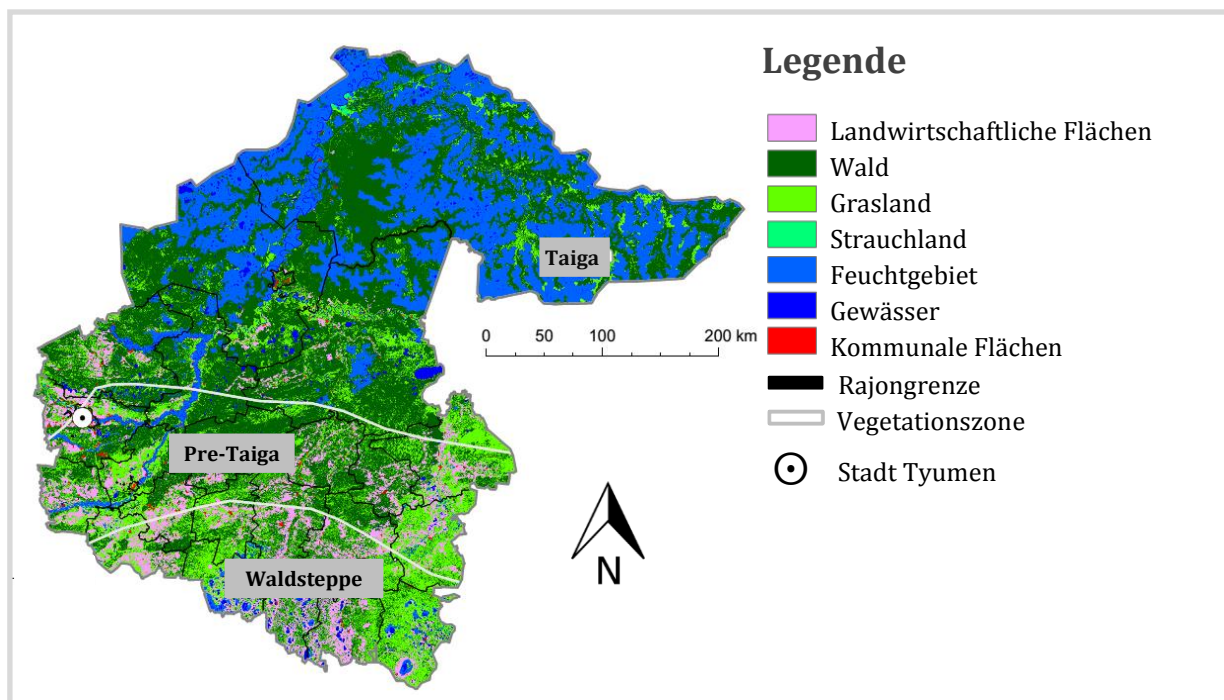


Abbildung 2: Landnutzung und Vegetationszonen in der Oblast Tyumen (verändert aus Kühling et al. 2016)

Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt in Tyumen bei 1,8 °C (Degefeie et al. 2014). Die mittleren Temperaturen im Januar liegen bei -19 °C und im Juli bei 18 °C (Abb. 3 und 4).

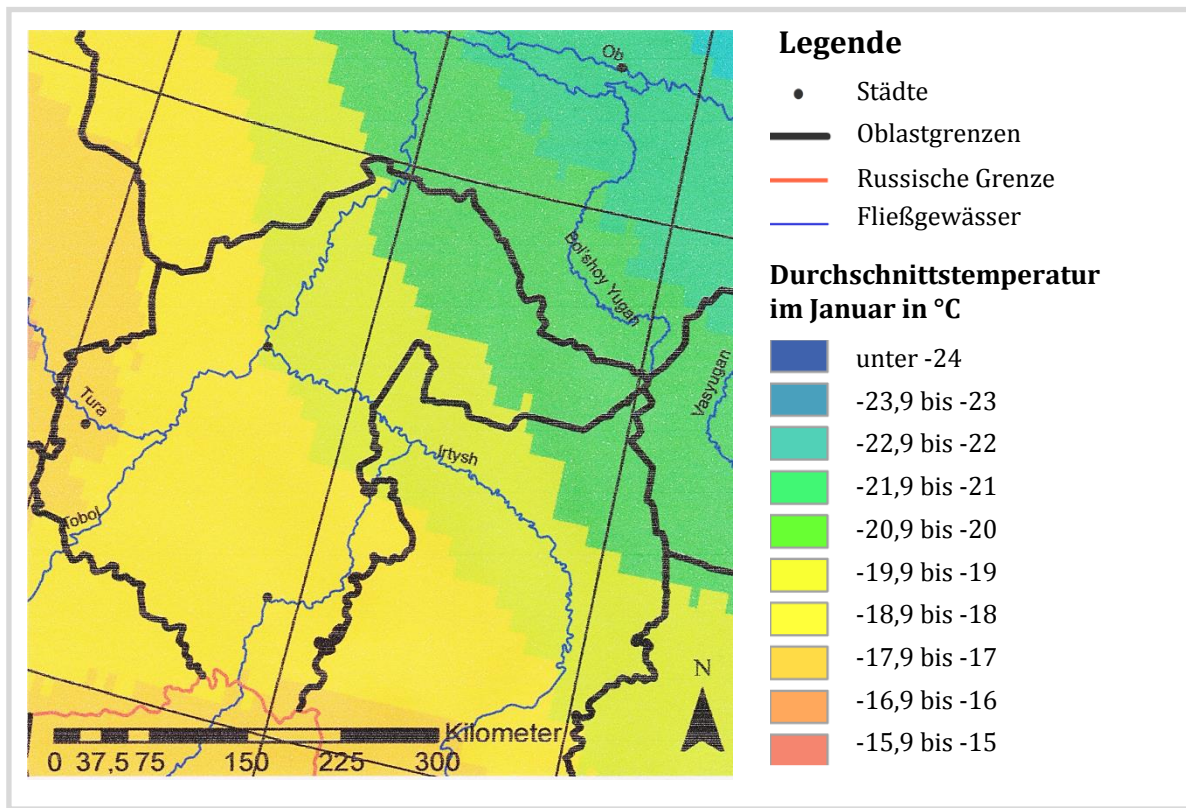


Abbildung 3: Mittlere Temperaturen im Januar in der Oblast Tyumen (Wagener 2012)

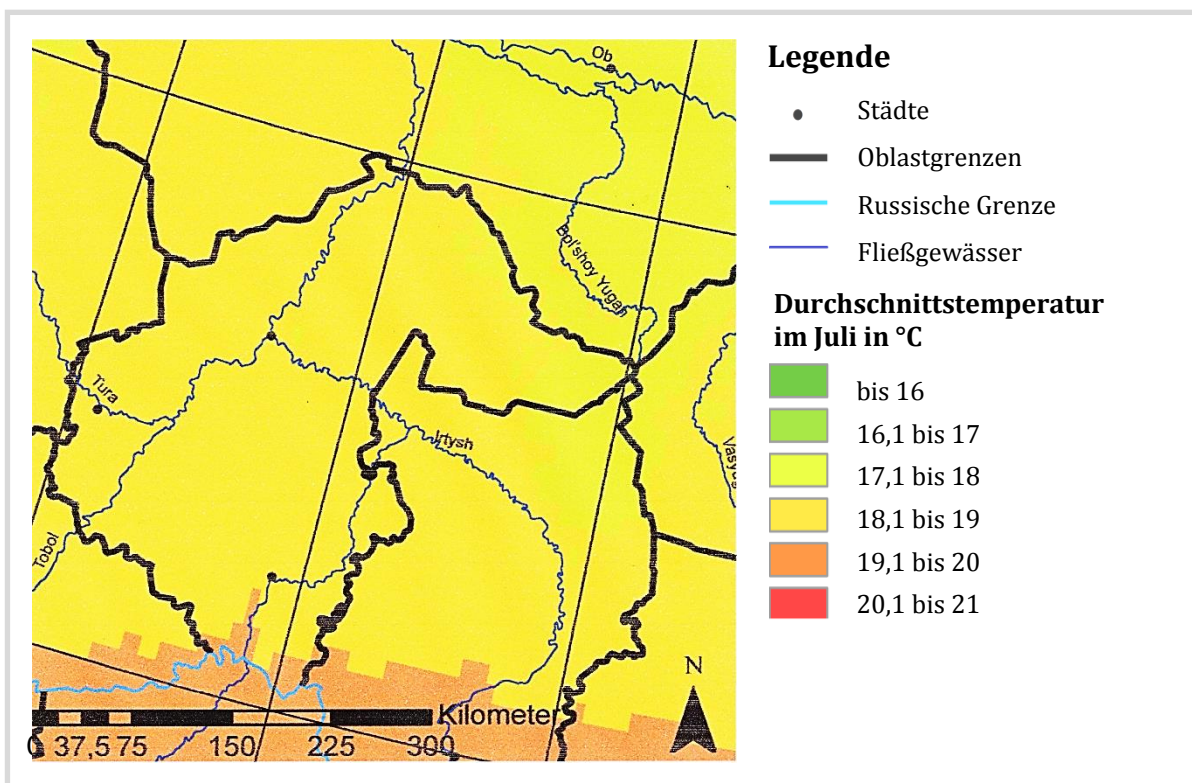


Abbildung 4: Mittlere Temperaturen im Juli in der Oblast Tyumen (Wagener 2012)

Durch das ebene Relief gelangen sowohl kalte arktische als auch warme Luftmassen aus Zentralasien schnell in das Untersuchungsgebiet. Das führt zum raschen Temperaturwechsel und somit zum typischen Kontinentalklima in der Oblast Tyumen. Die Winterkälte nimmt von Süd-West nach Nord-Ost zu (ROSREESTR 2012). Die durchschnittliche Länge der sommerlichen Dürreperiode beträgt im Süden der Oblast Tyumen 24-27 Tage. Zum Norden hin verkürzen sich die regenfreien Perioden auf 5 Tage (Ivanenko und Kuljasova 2008). Der Boden in der Oblast Tyumen ist 5 bis 7 Monate im Jahr frostfrei (GIDROMETEIOIZDAT 1998). Die Vegetationsperiode im Norden der Oblast beträgt 106 Tage und im Süden 125-130 Tage. Die Jahresniederschlagsmenge liegt im Norden bei 454 mm und im Süden bei 330 mm der Oblast (Agrarklimatische Ressourcen in der Oblast Tyumen 1972, zitiert in Karetin 1990).

3.3 BÖDEN IN DER OBLAST TYUMEN

Natürliche Faktoren der Bodenentwicklung

Der natürliche Prozess der Bodenentwicklung wird wesentlich vom Ausgangsgestein beeinflusst. In Westsibirien bilden hauptsächlich quartäre glaziale, fluvioglaziale, limnische, limnischmoorige, alluviale, marine und glaziomarine Sedimente eine bis zu 300 m mächtige Deckschicht. Von diesen bis zu 1,8 Mio. Jahre alten Schichten sind im Süden Westsibiriens die fluvioglazialen vorherrschend (Dolginow und Kropatschjow 1994; Stadelbauer 1996). In der Oblast Tyumen bestehen die quartären Ablagerungen in der Waldsteppe aus lössähnlichem und carbonathaltigem Lockersediment, das über einen hohen Feinsandanteil verfügt. Die vorherrschende Bodenart der Ablagerungen in der Oblast Tyumen ist Lehm. Die Tongehalte nehmen von der Taiga zur Steppe ab (Karetin et al. 1989; ROSREESTR 2012).

Im Tiefland Transurals steht das Grundwasser hoch an und prägt somit die Bodenbildung. Aufgrund des schlechten Abflusses entstehen hydromorphe Böden. In der Taiga befindet sich das Grundwasser in einer Tiefe von 3-4 m. Weiter südlich in der Pre-Taiga und der Waldsteppe befindet sich das Grundwasser in 6-12 m Tiefe. Örtlich kommt es zur Ausbildung von zeitweiligem Stauwasser in 1-3 m Tiefe. Gleyic Phaeozem entsteht durch den Grundwassereinfluss bei einer Tiefe von 1-2 m. In 3-4 m Tiefe führt das Grundwasser zur Bildung von Endogleyic Chernozem (Karetin 1990). Eine höhere Wassersättigung während der Vegetationsperiode beeinflusst den Zelluloseabbau bei Standorten mit Endogleyic Chernozem positiv (Eremin 2012). In Depressionen ist das Grundwasser die Ursache für die Torfentstehung (Karetin 1990).

Bodentypen unter landwirtschaftlicher Nutzung

Vielfältige Bodentypen haben sich im Laufe der Bodengese in der Oblast Tyumen entwickelt. Im Folgenden werden nur ackerbaulich genutzte Bodentypen vorgestellt. Die Bodennomenklatur aus russischen Quellen stammt aus zwei Klassifikationssystemen: Nomenklatur aus der UdSSR 1977 und aus Russland 2004. Kirjuschin (2011) gibt einen Überblick über diese Nomenklaturen und vergleicht sie mit dem Klassifikationssystem der IUSS Working Group WRB (2006). Die vorliegende Arbeit orientiert sich an Kirjuschin (2011) und nimmt darüber hinaus eine Anpassung an die Nomenklatur der IUSS Working Group WRB (2014) vor. Bei den angegebenen pH-Werten handelt es sich um die potentielle Acidität, die in Russland in einer Kaliumchloridlösung gemessen wird. Die Ermittlung des organischen Kohlenstoffs erfolgt in Russland mit der Tyurin-Methode (Terpelec und Slysarev 2010). Diese Methode entspricht der deutschen Lichterfeld-Methode (Wessolek et al. 2008).

Chernozeme nehmen eine Fläche von 562.000 Hektar in der Oblast Tyumen ein. Der Subtyp *Luvic Chernozem* ist mit 308.000 Hektar am stärksten unter den *Chernozemen* in der Oblast Tyumen verbreitet und wurde vielfach untersucht. Seine Ertragsfähigkeit für den Anbau von Sommerweizen beträgt $1,8 \text{ t ha}^{-1}$ (Abramov et al. 2010; Osipov 2011). *Chernozeme* in der Oblast Tyumen sind aus lössähnlichem carbonathaltigem Lockersediment entstanden. Die Carbonate bestehen vorwiegend aus Calcit (Eremin 2012). Kennzeichnend für den *Luvic Chernozem* ist der entkalkte A-Horizont über dem tonakkumulierten und ebenfalls entkalkten B-Horizont (Bronger 2003; Bome und Rjabikova 2012). *Chernozeme* in der Waldsteppe Westsibiriens verfügen über hohe Schluff- und Tongehalte. Bei höheren Tongehalten besteht ein höherer C_{inert} -Pool, der bei Umsetzungsprozessen weitgehend unbeteiligt bleibt (Körschens und Schulz 1999).

Der Subtyp *Greyzemic-Luvic Phaeozem* kommt auf 357.000 Hektar vor. *Greyzemic-Luvic Phaeozem* ähnelt von den Eigenschaften einem podsolierten *Chernozem*. Die Mächtigkeit des humosen Oberbodens kann 25-35 cm erreichen, und die C_{org} -Gehalte liegen bei 2,9-4 % (Karetin 1990; Telizyn 2006). Die natürliche Ertragsfähigkeit für den Anbau von Sommerweizen liegt bei $1,7 \text{ t ha}^{-1}$ (Abramov et al. 2010).

Der Bodentyp *Albic Luvisol* kommt auf 531.000 Hektar vor. Der humose Oberboden bei *Albic Luvisol*, der hellgrau bis dunkelgrau gefärbt sein kann, weist eine Mächtigkeit bis zu 20 cm auf. Die Hauptbodenart ist Lehm, und die pH-Werte liegen bei 5. Die Gehalte des organischen Kohlenstoffs liegen zwischen 1,3 und 1,9 % im A-Horizont (Karetin 1990; Telizyn 2006).

Der Bodentyp *Podzol* hat eine gesamte Fläche von 2.546.000 Hektar in der Oblast Tyumen und ist unter mineralischen Böden am stärksten verbreitet. Die Gehalte des organischen Kohlenstoffs

im Oberboden liegen bei Podzolen maximal bei 0,8 %. Bei den Korngrößen dominieren Grobschluff und Feinsand. Der pH-Wert liegt bei 4,5-5 (Karetin 1990; Telizyn 2006). Abramov et al. (2010) quantifizierten die Ertragsfähigkeit für Sommerweizen ungedüngter Böden, ausgehend vom pflanzenverfügbaren Stickstoff, mit $1,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei Podzolen und bei Luvisolen mit $1,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Fluvisole bedecken eine Fläche von > 1 Million Hektar in der Oblast Tyumen. Davon werden 8,8 % landwirtschaftlich genutzt (Karetin 1990). Die Fluvisole unterscheiden sich standortbedingt stark in den bodenchemischen Eigenschaften. Die C_{org} -Gehalte liegen bei 0,2-3,0 %, und die pH-Werte variieren zwischen 5,4 und 6,0. Eine Ausnahme bildet der Subtyp Calcic Umbric Fluvisol mit pH-Werten von 8-8,4. Charakteristisch sind sehr niedrige Stickstoffgehalte (Motorin und Bukin 2012).

In der Oblast Tyumen kommen im Ackerbau auch salzhaltige Böden wie *Solonchake* und *Solonetze* vor. Die landwirtschaftliche Nutzung von Solonchaken ist mit 0,2 % der gesamten landwirtschaftlichen Fläche nicht sehr bedeutend. Solonetze kommen auf 602.000 Hektar vor. Auf 352.000 Hektar müssen meliorative Maßnahmen durchgeführt werden. Die flächenhafte Düngung mit Phosphorgips im Jahr 1972 hat zur Verbesserung der Böden und der Erträge beigetragen. Die positive Wirkung ist nach wie vor nachweisbar (Guseeva 2007). Solonetze kommen in ihrer reinen Form sehr selten vor. Meist sind *gleyic*-, *histic*- und *sodic*-Einflüsse stark ausgeprägt. Solonetze sind in den Rajons Sladkowsky, Abatsky und im Ischim-Tobol-Zwischenstromland vorzufinden. Im Ackerbau werden Solonetze genutzt, die in Vergesellschaftung mit einem nicht salzhaltigen Bodentyp auftreten. Die C_{org} -Vorräte in Solonetzen schwanken zwischen 95 und 135 t ha^{-1} in 0-50 cm Tiefe (Karetin 1990).

Moorböden nehmen in der Oblast Tyumen die größte Fläche mit 6.863.000 Hektar ein (44 % von der Gesamtfläche). Auf großen Flächen wird Torf abgebaut, oder die Moore werden für die landwirtschaftliche Nutzung entwässert (Karetin 1990). In der Oblast Tyumen sind insgesamt 88.600 Hektar der Moore bzw. der wasserbeeinflussten Böden drainiert (ROSREESTR 2013). In den 1980er Jahren wurden bei Bedarf Flächen einzelner Betriebe ohne Berücksichtigung ökologischer und geomorphologischer Gegebenheiten drainiert (Karetin 1990). Der größte Teil davon wird heute als Grünland genutzt (77.500 Hektar). Als Acker werden 4.500 Hektar verwendet (ROSREESTR 2013). Von den Moorböden werden die Niedermoore (Rheic Histosol) am stärksten landwirtschaftlich genutzt, deren Torfmächtigkeit beträgt im Mittel 2,8 m, kann aber auch 7 m erreichen (Karetin 1990).

Es befinden sich 35.800 Hektar der ursprünglich drainierten Flächen in schlechtem Zustand und benötigen nach Meinung russischer Wissenschaftler meliorative Maßnahmen (ROSREESTR

2013). Zum heutigen Zeitpunkt werden nach wie vor neue Entwässerungskanäle auf landwirtschaftlichen Flächen verlegt, und der Torf wird als Dünger oder als Heizmaterial genutzt (coroma.ru 2015). Zum 01.01.2013 betrug die Fläche der genutzten Moore 352.000 Hektar (ROSREESTR 2013). Zum 01.01.2014 wurde der Torfbestand in der Oblast Tyumen auf ca. 2,6 Mill. Tonnen geschätzt (Administration der Oblast Tyumen 2015).

Zustand der landwirtschaftlich genutzten Böden

Die Bodenqualität in der Oblast Tyumen wird von lokalen Wissenschaftlern und von Behörden großflächig untersucht. Die Behörden verfolgen die Ziele, den Marktwert für das Katasteramt und die Produktivität für die landwirtschaftliche Produktion zu ermitteln sowie Düngeempfehlungen zu erarbeiten. Auf den untersuchten Ackerflächen werden standardmäßig Kali-, Phosphat- und Humusgehalte sowie pH-Werte gemessen. Behördliche Bodenanalysen finden auf Grünland oder Brachen nicht statt (ROSREESTR 2012).

Der Bodenzustand wird von den Behörden der Oblast Tyumen als befriedigend bewertet. Jedoch werden in den Berichten auch negative Einflussgrößen hervorgehoben. Dazu zählen bei den Ackerböden Degradierung (Tabelle 1), Vernässung, Verschmutzung mit Hausmüll und Erosion. In den Rajons Vikulovsky, Golyschmanovsky und Nizhnedavdinsky wurden die stärksten Abnahmen des organischen Kohlenstoffs in den Ackerböden festgestellt. Insgesamt überwiegen im Ackerbau Flächen mit einer hohen Fruchtbarkeit. Auf diesen Flächen nehmen Nährstoff- und C_{org} -Gehalte sowie die pH-Werte kontinuierlich durch die Ackernutzung ab (ROSREESTR 2012).

Tabelle 1: Anteil der Ackerflächen mit geringen Phosphat-, Kalium- und Humusgehalten sowie pH-Werten in der Oblast Tyumen in den Jahren 2008 bis 2014

	2008	2011	2012	2013	2014
Untersuchte Ackerfläche (AF), tausend Hektar	1238	1155	1098	1109	1102
AF mit geringen Phosphatgehalten [%]	33	36	35	37	38
AF mit geringen Kaliumgehalten [%]	3	15	3	3	3
AF mit geringen Humusgehalten [%]	28	26	25	25	25
AF mit niedrigen pH-Werten [%]	56	57	60	59	60

Quelle: Administration der Oblast Tyumen. Berichte über die ökologische Situation in der Oblast Tyumen in Jahren 2008, 2011, 2012, 2013, 2014, zitiert in Stupak 2015

Neben konventioneller wendender Bodenbearbeitung wird auch im geringen Umfang reduzierte Bodenbearbeitung in der Oblast Tyumen praktiziert (Kühling und Trautz 2012). Reduzierte Bo-

denbearbeitung wird angewendet, um Wasservorräte für die Kulturpflanzen zu erhöhen (Fedotkin et al. 2009). Konventionelle wendende Bodenbearbeitung erhöht die erosiven Prozesse, verstärkt die Carbonatauswaschung und die Mineralisierung, erhöht die Tonverlagerung, führt zur Verschlechterung des Bodengefüges und verändert den Lebensraum der Bodenfauna (Sazonova 2004; Eremin 2012).

In der Oblast Tyumen werden Schwarzbrachen in die Fruchtfolgen integriert, um höhere Erträge bei der nachfolgenden Kultur durch verbesserte Wasser- und Stickstoffvorräte zu erzielen (Ganzikov 2011; Abramov 2013). Dabei wird der Boden drei- bis sechsmal in der Vegetationsperiode flach bearbeitet und somit vegetationsfrei gehalten (Kühling und Trautz 2012). Schwarzbrachen machten im Jahr 2014 in der Oblast Tyumen 4,8 % (55.200 Hektar) von der gesamten Ackerfläche aus (Dontschenko et al. 2014). In Veredelungs- oder Gemischtbetrieben wird der anfallende Wirtschaftsdünger auf Schwarzbrachen eingearbeitet. Somit werden Entsorgungsflächen für den Wirtschaftsdünger geschaffen. Aufgrund klimatischer Verhältnisse ist eine Ausbringung vor oder nach der Kultur in einer Vegetationsperiode nicht möglich. Zum heutigen Zeitpunkt ist diese Vorgehensweise die einzige legale Möglichkeit für die Landwirte, Nährstoffe aus dem Wirtschaftsdünger kostengünstig wieder in den Betriebskreislauf zu bringen. Um Transportkosten zu sparen, werden die Schwarzbrachen in einem Radius von maximal 10 km um den Stall angelegt. Je Hektar werden bis zu 300 t Festmist oder Gülle jährlich auf Schwarzbrachen ausgebracht.

Erosionsschäden werden durch Deflation auf sandigen Böden in den südlichen Rajons beobachtet. Entlang der Flüsse Ischim, Tobol, Iset und Irtisch besteht das höchste Potential für Wassererosion. Das Maximum der Wassererosion wird im Frühjahr erreicht (ROSREESTR 2012; Schmalz et al. 2016).

Nach dem Zerfall der UdSSR wurden große Areale der landwirtschaftlich genutzten Flächen aufgegeben. In der Oblast Tyumen betrug die landwirtschaftlich genutzte Fläche im Jahr 2011 ca. 3.383.000 Hektar. Dazu zählen Ackerflächen, Brachen, Mähwiesen, Weiden und mehrjährige Obstkulturen. Die Größe der Brachen belief sich im Jahr 2011 auf ca. 531.500 Hektar (ROSREESTR 2012).

3.4 LANDWIRTSCHAFTLICHE STRUKTUR

Die landwirtschaftliche Struktur in der Oblast Tyumen ist geprägt von gegensätzlichen Betriebsformen. Großbetriebe mit moderner technischer Ausstattung stehen den in Nebenerwerb produzierenden Haushalten gegenüber. Die Produktionsmengen beider Produktionssysteme für

den Absatzmarkt halten sich bei Fleisch und Milch ungefähr die Waage (Tabelle 2). Die Eierproduktion wird von Großbetrieben dominiert.

Tabelle 2: Produktionsmengen für tierische Erzeugnisse in den drei Betriebsformen in der Oblast Tyumen im Jahr 2011

Betriebsformen	Fleisch [t]	Milch [t]	Eier [Mill. St.]
Landwirtschaftliche Organisationen	62.300	284.400	1.319
Einzelunternehmer und Bauernvereinigungen	5.434	26.101	6
Haushalte	47.900	286.400	74
<i>Gesamtproduktion</i>	<i>115.634</i>	<i>596.901</i>	<i>1.399</i>

Quelle: ROSSTAT 2013

In der landwirtschaftlichen Produktion der Oblast Tyumen sind drei Betriebsformen rechtlich definiert:

1. Haushalte;
2. Bauernvereinigungen und Einzelunternehmer – im Weiteren auch „Kleinbetriebe“ genannt;
3. landwirtschaftliche Organisationen – im Weiteren auch „Großbetriebe“ genannt.

Die Haushalte betreiben Landwirtschaft im Nebenerwerb und für ihren eigenen Bedarf. Bauernvereinigungen und Einzelunternehmer sind offiziell als Familienunternehmen im Haupterwerb definiert. Maximal fünf Personen, die nicht mit dem Betriebsleiter in einem familiären Verhältnis stehen, können in Kleinbetrieben beschäftigt werden. Alle anderen Arten von landwirtschaftlichen Erzeugern, unabhängig von ihrer Größe und Rechtsform, fallen in die Kategorie der landwirtschaftlichen Organisation (Duma, Russische Föderation 2003). Von den landwirtschaftlichen Organisationen zählen 50 % zu großen und mittleren, 38 % zu kleinen sowie 12 % zu landwirtschaftlichen Organisationen im Nebenerwerb mit kleineren Ackerflächen und Tierzahlen (Menova et al. 2008). In der Tabelle 3 sind die durchschnittlichen Größen der drei Betriebsformen dargestellt. Ein Drittel der Einzelunternehmer, Bauernvereinigungen und landwirtschaftlicher Organisationen betreiben Pflanzenproduktion und Tierhaltung als Gemischtbetrieb (ROSSTAT 2013; Kühling et al. 2016).

Tabelle 3: Durchschnittliche Größe der Ackerflächen und Anzahl der Nutztiere je Betrieb in verschiedenen Betriebsformen in der Oblast Tyumen im Jahr 2006

Betriebsformen	Aufschlüsselung der Betriebsformen	Ackerfläche [ha]	Tiere pro Betrieb [Anz.]		
			Rinder	Schweine	Geflügel
Landwirtschaftliche Organisationen (Großbetriebe)	Große und mittlere landwirtschaftliche Organisationen	3.233	760	2.189	572.678
	Kleine landwirtschaftliche Organisationen	1.208	233	365	233
	Bauern im Nebenerwerb	74	30	105	345
Einzelunternehmer und Bauernvereinigungen (Kleinbetriebe)	Bauernvereinigungen und Einzelunternehmer	109	49	88	62
	Einzelunternehmer ohne Zugehörigkeit zu Bauernvereinigungen	160	51	61	145
Haushalte	Haushalte	0,6	3	4	20
	Gemeinnützige Vereinigungen von Kleingärtnern u. a.	11	11	28	72

Quelle: ROSSTAT 2013

Sowohl die landwirtschaftliche Bodennutzung als auch die Viehzucht werden stark von den klimatischen Bedingungen beeinflusst. Die Viehbestände in den Vegetationszonen und die Größe der Ackerflächen steigen in den drei Betriebsformen mit dem Klimagefälle nach Süden. Die Viehdichten liegen in der Taiga bei 0,05, in der Pre-Taiga bei 0,08 und in der Waldsteppe bei 0,20 Großvieheinheiten pro Hektar landwirtschaftliche Fläche (Europäische Kommission 2009).

Landwirtschaftliche Organisationen haben einen Anteil von 84 % an der gesamten Ackerfläche in der Oblast Tyumen (Menova et al. 2008). In der Tabelle 4 sind die Viehzahlen in den Betriebsformen und in den Vegetationszonen dargestellt. Die Mehrzahl der Pferde und Schafe wird in den Haushalten gehalten. Das Geflügel, die Rinder und die Schweine werden überwiegend in Großbetrieben gehalten. Der Großteil der Geflügelbestände (94 %) der gesamten Oblast ist auf vier Großbetriebe verteilt. Die Viehzucht ist vorwiegend von Rindern, Schweinemast und Geflügelproduktion gekennzeichnet. Während in Großbetrieben die ganzjährige Stallhaltung üblich ist, findet bei den Haushalten die Viehzucht durch kollektive Beweidung und Heuproduktion mit geringer Intensität statt (Störrle et al. 2015a; Kühling et al. 2016).

Tabelle 4: Viehzahlen in den Betriebsformen und Vegetationszonen in der Oblast Tyumen im Jahr 2011

Vegetationszonen	Nutztiere [Anz.]				
	Rinder	Schweine	Pferde	Schafe	Geflügel
	Haushalte				
Taiga	11.761	6.441	1.961	11.524	24.235
Pre-Taiga	20.412	33.879	2.942	28.447	114.317
Waldsteppe	77.769	114.635	9.193	79.927	374.831
	Einzelunternehmer und Bauervereinigung				
Taiga	544	55	67	135	106
Pre-Taiga	5.320	1.140	322	337	503
Waldsteppe	5.398	2.271	179	1.940	3.252
	Landwirtschaftliche Organisationen				
Taiga	4.680	1.013	240	1.939	0
Pre-Taiga	27.798	2.200	724	2.667	0
Waldsteppe	102.709	163.832	2.242	1.061	7.597.393
<i>Summe</i>	<i>256.391</i>	<i>325.466</i>	<i>17.870</i>	<i>127.977</i>	<i>8.114.637</i>

Quelle: ROSSTAT 2013

Zu 60 % wird die landwirtschaftliche Fläche (LF) als Ackerland genutzt. 18 % der LF zählt zum gemähten Grünland und 16 % zu Weiden (Menova et al. 2008). Die Ackerfläche, unterteilt nach den Betriebsformen, ist in der Tabelle 5 dargestellt. Wegen der kurzen Vegetationsperiode wird Ackerbau von Sommerkulturen dominiert, vor allem vom Sommerweizen (Kühling et al. 2016).

Tabelle 5: Landwirtschaftlich genutzte Fläche und Ackerland in Betriebsformen und Vegetationszonen der Oblast Tyumen

Vegetationszonen	Landwirtschaftliche Fläche ¹⁾ [ha]	Ackerland [ha]		
		Haushalte	Einzelunternehmer und Bauernvereinigungen	Landwirtschaftliche Organisationen
Taiga	290.700	2.681	2.682	11.179
Pre-Taiga	786.200	8.367	20.610	109.087
Waldsteppe	2.306.400	14.387	94.881	469.842
<i>Gesamt</i>	<i>3.383.300</i>	<i>25.435</i>	<i>118.173</i>	<i>590.108</i>

Quelle: ROSREESTR 2012; ROSSTAT 2013

¹⁾Obstbau-Flächen, Ackerland, Grünland und Brachen

4 MATERIAL UND METHODEN

Die wesentlichen Methoden in der vorliegenden Arbeit waren die Literaturrecherche, die Betriebsbesichtigungen, die Bodenuntersuchungen und die Auswertung der russischen Agrarstatistik. Für die Erstellung von Kartenmaterial ist die Software ArcGIS 10.2.2 verwendet worden. Statistische Auswertungen wurden mit SPSS Statistics 22 und 23 durchgeführt.

Bei der Literaturrecherche wurden überwiegend Quellen in englischer und russischer Sprache ausgewertet. Englische Artikel, d.h. peer-review Publikationen, Meta-Analysen oder Buchbeiträge dienten der Vertiefung und dem Verständnis einzelner Sachverhalte in Agrar- und Bodenwissenschaften. Die russische Literatur ermöglichte den Einblick in lokale Konstellationen, Forschungsergebnisse, Abläufe in der Landwirtschaft in der Oblast Tyumen und die Kenntnis ökosystemarer Zusammenhänge in Westsibirien. Die russische Agrarstatistik lieferte Daten über die Viehbestände, die Altersverteilung und die regionale Verteilung der Viehbestände in verschiedenen Betriebsformen der Nutztierhaltung sowie die regionale Flächennutzung (Menova et al. 2008; Tumstat 2012; ROSSTAT 2013). Die Daten aus der russischen Agrarstatistik bilden somit die Grundlage für die Berechnung des Düngepotentials aus dem anfallenden Wirtschaftsdünger und die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Handling für die gesamte Oblast Tyumen. Die genaue Methode für die Berechnung der Düngepotentiale und die Vorgehensweise bei den Betriebsbesichtigungen sind im Artikel „Livestock manure management in agroecosystems of southwestern Siberia, Russia“ beschrieben (Kapitel 5.2). Die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Handling erfolgte nach den Vorgaben von IPCC (2006) und ist im Artikel „Greenhouse gas emissions from livestock manure management in southwestern Siberia, Russia“ dargestellt (Kapitel 5.3).

Die notwendigen Bodenuntersuchungen wurden im Tyumensky Rajon durchgeführt. Böden mit den Landnutzungsformen Acker, Brache und Wald wurden paarweise miteinander verglichen, um den Einfluss der jeweiligen Landnutzung auf die Bodenfunktionen zu ermitteln. Die dabei verwendete Feldmethode ist der Soil Fingerprint Code nach Fox et al. (2014). Die Details sind im Artikel “Soil structure of arable and non-arable land in the Western Siberian Grain Belt in Russia: Application of the soil fingerprint code for topsoil characterization” beschrieben (Kapitel 5.1).

5 ERGEBNISSE

5.1 SOIL STRUCTURE OF ARABLE AND NON-ARABLE LAND IN THE WESTERN SIBERIAN GRAIN BELT IN RUSSIA—APPLICATION OF THE SOIL FINGERPRINT CODE FOR TOPSOIL CHARACTERIZATION

Maria Störrle¹, Lisa Hagedorn², Andrey Yurtaev³, Hans-Jörg Brauckmann¹ & Gabriele Broll¹

¹Institute of Geography, University of Osnabrück, Seminarstraße 19 a/b, 49074 Osnabrück, Germany

²Institute of Geoecology, Technical University Braunschweig, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig, Germany

³State University of Tyumen, Ul. Lenina 23, 625003 Tyumen, Russia

DOI: 10.1002/jpln.201500450

Accepted: May 03, 2016

Published: Journal of Plant Nutrition and Soil Science 179(4), 510-519

©2016 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Autorenbeiträge

Maria Störrle: Durchführung der Geländearbeiten, Erstellung des Manuskripts

Lisa Hagedorn: Durchführung der Geländearbeiten, Diskussion der wissenschaftlichen Ergebnisse

Andrey Yurtaev: Inhaltliche Ergänzungen zu russischen Untersuchungsmethoden, Mitarbeit im Gelände

Hans-Jörg Brauckmann: Wissenschaftliche Beratung bei der Erstellung des Manuskripts

Gabriele Broll: Einführung bei den Geländearbeiten, wissenschaftliche Beratung bei der Erstellung des Manuskripts

Abstract

Soil structure is a key indicator for soil quality. Often, a degradation of the soil structure is the result of inappropriate land management. This investigation was carried out in the Western Siberian forest steppe, because soil degradation is an important issue in this part of the Siberian Grain Belt. Therefore, soil structure and further soil properties were examined in the vicinity of the city of Tyumen, Russia. Arable and non-arable sites were compared by means of the soil fingerprint code (SFC). With SFC the soil surface conditions, chemical and physical parameters of the topsoil were recorded and evaluated in two depths: 0–5 cm and 5–30 cm. The suitability of the SFC to quantify changes of the soil structure of the topsoil was tested. The SFCs of arable and non-arable sites show that soil structure deteriorates due to arable use. The percentage of granular aggregates decreases and the percentage of subangular blocky and angular blocky aggregates increases. Furthermore, ploughing leads to strong clod formation. Differences in soil structure between 0–5 cm and 5–30 cm soil depth were smaller at arable sites in comparison to non-arable sites. It was ascertained the SFC is suitable to quantify changes of the soil structure.

Key words: land use / soil fingerprint code / topsoil

1 Introduction

Soil structure is a key indicator for the conservation of all soil functions and for soil quality (Rampazzo et al., 1998; Bronick and Lal, 2005; Mueller et al., 2009, 2010). Through its properties it is related with physical, chemical and biological soil functions and thereby it regulates the soil productive capacity (Mueller et al., 2009). Often a degradation of soil structure is the result of inappropriate conventional forms of agriculture (Rampazzo et al., 1998; Bronick and Lal, 2005; Ball et al., 2007). This investigation was carried out in the Western Siberian forest steppe, because soil degradation is an important issue in this part of the Siberian Grain Belt (ROSREESTR, 2012). Therefore, soil structure and further physical and chemical soil properties were examined within the scope of the interdisciplinary joint project SASCHA (Sustainable land management and adaptation strategies to climate change for the Western Siberian Grain Belt) (SASCHA Project, 2011; Kühling and Trautz, 2015, Kühling et al., 2016). The first aim of this work was to detect differences of the soil structure in soils with agricultural use and soils without land use in the vicinity of the city of Tyumen, Russia. To answer this, the following two research questions were formulated:

(1) Are there any differences in the soil structure of the topsoil in soils with and without agricultural land use?

(2) Are there any differences in the soil structure between 0–5 cm depth and 5–30 cm depth?

To preserve soil functions and fertility, a standardized framework is needed to determine the quality of the soil structure reliably and fast. One of the first approaches was the FAO topsoil characterization for sustainable land management (FAO, 1998). Detailed frameworks, focusing on soil structure, are available by Ball et al. (2007) and Mueller et al. (2009). A higher level of detail for soil structure assessment and influencing parameters is given by the soil fingerprint code of Fox et al. (2014). The soil fingerprint code is a promising taxonomic field method for topsoil characterization and soil quality assessment. This method provides new possibilities for tracking dynamic changes of soil quality with a high level of detail, flexibility and with the possibility for individual-related acquisition options of biological, physical and chemical soil characteristics. The framework is intended to have international application. Thus, the second aim of this survey was to test the A horizon-framework of Fox et al. (2014) with particular focus on soil structure assessment. The respective research question in this study is:

(3) Is the soil fingerprint code suitable to quantify changes of the soil structure?

2 Material and Methods

2.1 Study sites

The two study areas are located in the Western Siberian province of Tyumen. One of the test areas ("eastern test area") is located in the east of the city of Tyumen (57° 8' 60" N, 65° 31' 59" E) (Fig. 1). The second test area ("western test area") is situated in the west of the city of Tyumen, on the experimental farm and in wooded areas of the State Agrarian University of North Transural.

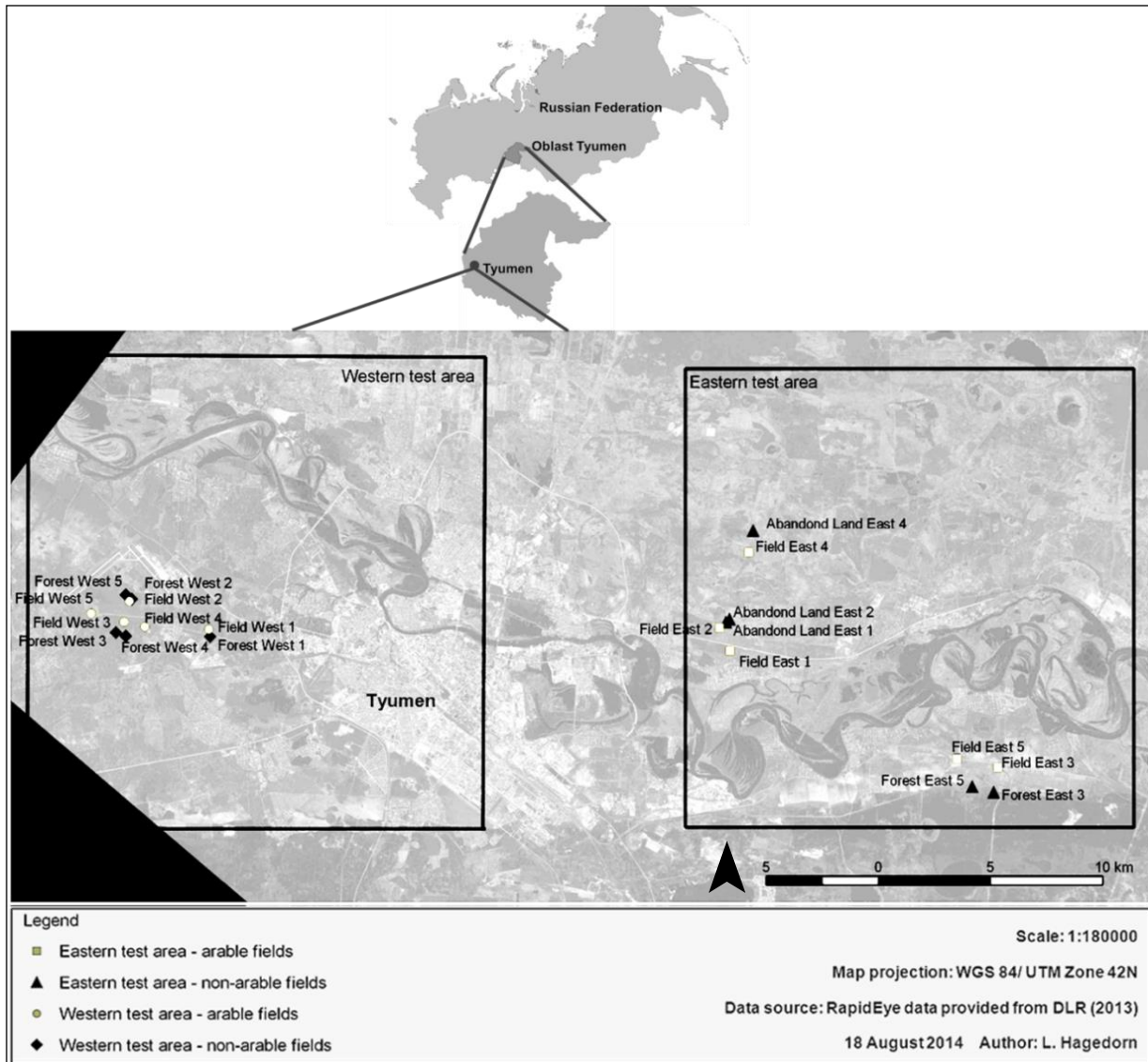


Figure 1: Study areas in the province of Tyumen, Russian Federation.

The study areas are located in the forest steppe (Karetin, 1990). The average annual precipitation is about 476 mm. Mean annual air temperature ranges from +7 °C up to -2.8 °C (Degefe et al., 2014). The average frost-free period lasts 114 days (Gidrometeoizdat, 1998). The relief is flat, and elevation above sea level is 79 m. The soil parent material consists predominantly of fluvial deposits mixed with loess (Karetin, 1990). Soil types with high fertility were selected: Chernozem, Phaeozem and Luvisol (IUSS Working Group WRB, 2014). Five arable sites and five forest sites were chosen in the western test area and five arable sites, two forest sites and three abandoned field sites were chosen in the eastern test area (Fig. 1). At the time of investigation, five of the ten arable sites were recently ploughed or otherwise tilled (and hence unvegetated), while five arable sites were covered with crop plants. For non-arable sites predominately forest-sites were selected. In the eastern test area forest-sites were not sufficiently present. Therefore, abandoned field sites were selected, which are at least 20 years old and have advanced vegeta-

tion like shrubs and trees. For the sampling of the forest sites, *Betula* forests with *Sorbus aucuparia* and *Rosa majalis* in the undergrowth were selected. The abandoned field sites are vegetated with grasses, herbs (e.g., *Pastinaca sativa*, *Artemisia vulgaris*, *Lathyrus pratensis*), shrubs and single trees (e.g., *Betula spec.*).

The soil texture of the topsoil (0–30 cm) was classified as loam ranging from loamy sand to clay loam. The mean of the C/N ratio for the topsoil of all sites is 13 (SD 3). The mean pH value (CaCl₂) of the topsoil of all arable sites is 6.3. At forest sites in the western test area, a mean pH value of 5 was measured. In the eastern test area, the abandoned field sites have a mean pH value of 6.8 and all of the eastern forest sites have a pH value of 7.5. All in all, arable as well as non-arable sites represent a spectrum of environmental conditions that is typical for the study region.

2.2 Soil description with the soil fingerprint code

A soil profile of about 1 m³ was dug for topsoil description. The topsoil description was carried out according to the new method of Fox et al. (2014), the “soil fingerprint code” (SFC). All soil parameters for the SFC were recorded at two depths (0–5 cm and 5–30 cm). Data were entered into a given “electronic field form”—an Excel worksheet (Fox et al., 2014)—so that the SFC was generated automatically in the field and could immediately be validated. Five levels of soil dynamic properties are constituent parts of the SFC: Level 1–Soil processes and environmental context; Level 2–Soil structure and bulk density; Level 3–Organic carbon; Level 4–pH and electrical conductivity; and Level 5–Soil and landscape context. All levels are expressed by designators. All possible designators for SFC are described in Fox et al. (2014). The designators which were used in this study are presented in Table 1. Figure 2 displays an example of the SFC from this study with an explanation for each designator.

Table 1: Designators for soil structure assessment in the eastern and western test areas in the vicinity of the city of Tyumen in Western Siberia using soil fingerprint codes as applied in this study. The full list of designators is documented in Fox et al. 2014.

Level No.	Level	Sub-division	Designators
Level 1	Level 1-p		Prefix Designators f - fluvial fl - fluviolacustrine
		Level 1-s	Soil Process Designators h - organic enriched p - affected by agricultural activities rt - dominated by root material v - cracks
Level 2 []	Level 2-a		Soil Structure Type gr - granular sbk - subangular blocky abk - angular blocky pt - platy
		Level 2-b	Structure Size Class ^a f - fine m - medium c - coarse v - very
		Level 2-c	Kind of Arrangement - - breaking to series of smaller soil peds + all structure types are present, random
		Level 2-d	Structure Type Occurrence Estimated occurrence of structure type [%]
	Level 2-e	Consistency-Stability 1 - loose, soft, friable 2 - firm, hard	
	Level 2-f	Bulk Density Actual lab data [g cm ⁻³]	
Level 3 ()			Organic Carbon Actual lab data [%]
Level 4 { }			pH Actual lab data (0.01 M CaCl ₂)
Level 5	Level 5-A		Soil Texture LS - loamy sand SL - sandy loam L - loam SiL - silt loam Si - silt SCL - sandy clay loam SiCL - silty clay loam CL - clay loam
		Level 5-B	Surface conditions OL - organic layer Y - cryptogram surface X - surface flaking R - recently cultivated CFc - coarse fragments 8-25 cm in diameter CFs - coarse fragments > 25 cm in diameter CFsl - slaty coarse fragments < 15 cm in length
		Level 5-C	Current Land Use aH - horticulture aC - cropland gF - abandoned farmland wD - woodland deciduous
		Level 5-D	Slope Character sL - simple level

^a Transition sizes are expressed with two or three letters e.g. “fm-fine to medium” or “fvf-fine to very fine”.

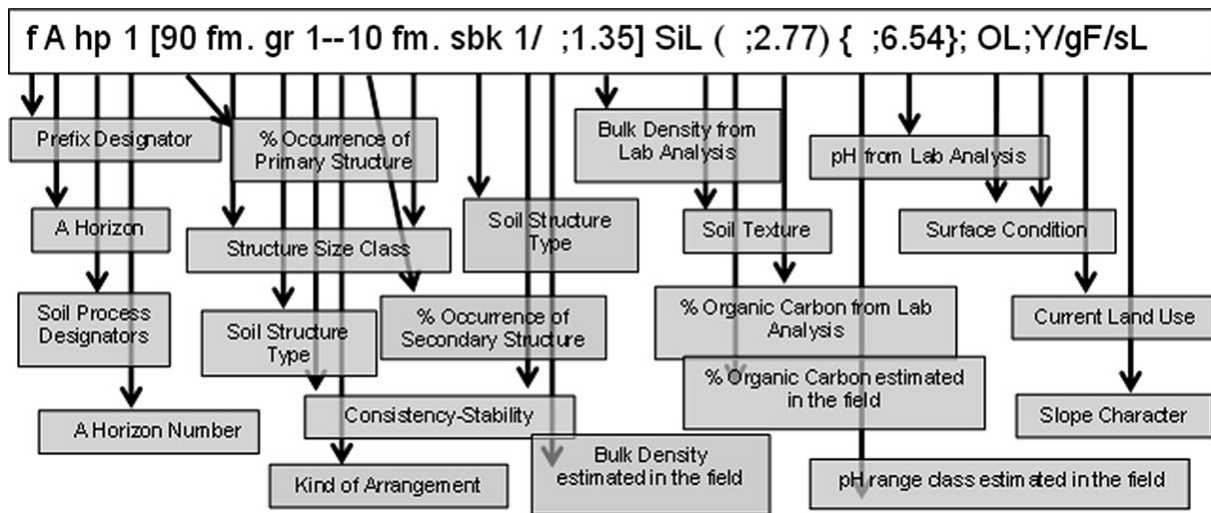


Figure 2: Example of the soil fingerprint code (Enhanced Detail Mode) with explanation for the site “Abandoned Land East 1” at 0–5 cm sampling depth. The soil texture designator, Level 5-A, is being placed between soil structure (Level 2) and organic carbon (Level 3) to provide immediate textural context for Levels 2 and 3.

2.3 Soil sampling and lab analyses

The soil samples were taken in August 2012 and 2013. For the nutrient measurements composite samples were collected with an auger at two depths: 0-5 cm and 5-30 cm. Composite samples for pH measurements were collected at the depth 0-30 cm. For each composite sample, 20 to 30 soil samples were collected randomly across the site, with three replicates. The samples were sieved (< 2 mm) and thoroughly mixed. After removing the carbonates by adding hydrochloric acid (HCl, 10% solution), the soil organic carbon content and nitrogen content were determined by elemental analysis (EA 1110, CE Instruments, Milan, Italy). Measurement of pH values was carried out in CaCl₂ solution (0.01 mol L⁻¹). Bulk density was determined according to DIN ISO 11272 (DIN, 1998) at 0-5 cm and 5-30 cm depth with six replicates.

2.4 Statistical analysis

The data were statistically tested using the software package SPSS 23. The differences in soil structure, bulk density, SOC content and pH between the arable and non-arable sites were compared for each depth (0–5 cm and 5–30 cm) by means of the t-test with a significance level of $P \leq 0.05$. Variance homogeneity was tested with Levene-test within the t-test. Normality of the distribution was tested with the Kolmogorov–Smirnov-test. The Kruskal–Wallis test was used for testing data without normal distribution and equal variances. To discover similarities between the sites with different soil structure the hierarchical cluster analysis has been applied by using

the between-groups linkage method. The related proximity measure is the squared Euclidean distance.

3 Results

3.1 Soil structure

Granular aggregates are common in both depths (0–5 cm, 5–30 cm) at all sites (Table 2). Under arable land use, lower contents of granular aggregates were measured in comparison to non-arable sites. The difference between the percentage of granular aggregates at arable and non-arable sites is statistically significant at 0–5 cm depth, however, not at 5–30 cm depth. Within the non-arable sites higher contents of granular aggregates were determined at the depth 0–5 cm as at 5–30 cm.

Table 2: Pairwise comparison of soil structure types between soil depth and land use. Normal distribution of data was tested by Kolmogorov-Smirnov-test. Homogeneity of variance was tested by Levene-test. Data with normal distribution and homogeneity of variance were analyzed by t-test. Data without normal distribution or homogeneity of variance were analyzed by Kruskal-Wallis test. Significant differences are given at $P < 0,05$. SD = standard deviation.

Depth	Soil structure type	Mean of soil structure type [%] (SD) n = 10		P value by comparing land use
		Arable sites	Non-arable sites	
0–5 cm	Granular	65 (23)	87 (19)	$P = 0.008^b$
	Subangular blocky	32 (20)	13 (18)	$P = 0.008^b$
	Angular blocky	3 (4)	1 (2)	$P = 0.234^b$
5–30 cm	Granular	46 (21)	54 (22)	$P = 0.390^a$
	Subangular blocky	34 (25)	43 (22)	$P = 0.407^a$
	Angular blocky	21 (31)	3 (6)	$P = 0.247^b$
P value by comparing depths	Granular	$P = 0.061^a$	$P = 0.002^b$	
	Subangular blocky	$P = 0.880^a$	$P = 0.002^b$	
	Angular blocky	$P = 0.285^b$	$P = 0.255^b$	

^aP value obtained by t-test

^bP value obtained by Kruskal-Wallis test

Higher percentage of subangular blocky aggregates was measured at arable sites at 0–5 cm in comparison to non-arable sites at 0–5 cm. At the depth 5–30 cm no significant differences were found at arable and non-arable sites. Between the two depths on arable sites, the percentage of subangular blocky aggregates does not differ much. Significant lower contents of subangular blocky aggregates were measured at 0–5 cm in comparison to 5–30 cm at non-arable sites.

The highest percentage of angular blocky aggregates is at arable sites at 5–30 cm depth with a mean value of 21%. Between arable and non-arable sites, no significant difference exists at the depth of 0–5 cm and 5–30 cm. Also between the two depths there are no significant differences, neither at arable sites nor at non-arable sites.

On the arable sites, the alteration of soil structure by anthropogenic activities, like harvesting and ploughing, needs to be considered. Regarding the differences in percentage of granular aggregates between the two depths, the arable sites can be divided into two groups at the time of investigation: (1) recently ploughed or otherwise tilled (as can be seen from the designator “R” in Table 3) and (2) covered by crop plants. At the time of investigation, the arable sites Field East 3, Field East 5, Field West 3, Field West 4, and Field West 5 were ploughed or otherwise tilled. At these unvegetated sites the average decrease of the percentage of granular aggregates from 0–5 cm (63% mean granular content) to 5–30 cm (48% mean granular content) was about 15 percentage points. Plant covered arable sites (Field East 1, Field East 2, Field East 4, Field West 1, and Field West 2) show a stronger decrease (31 percentage points) of the granular aggregates between the two depths (0–5 cm: 74% mean granular; 5–30 cm: 43% mean granular).

The percentage of granular aggregates of the groups (Fig. 3) can be considered as a quality criterion. At both depths, the non-arable sites are predominantly present in the groups with high percentage of granular aggregates, and groups with low percentage of granular aggregates contain mainly arable sites. In province of Tyumen the soils have a high natural fertility, which probably decreases due to agricultural land use, accompanied by the change of the soil structure.

3.2 Soil fingerprint code

The dynamic changes in soil properties due to intensive land use can be identified by comparing the SFCs of arable and non-arable land use types (Table 3). Moreover, the comparison of the depths 0–5 cm and 5–30 cm provides an overview of the differences in the soil properties within the topsoil.

At Level 1 the process suffix “h - organic enriched” in the A horizon occurs in all locations. Root material dominance (“rt”) in 0–5 cm was detected in all forest sites and on two abandoned field sites. At Field West 4 fine soil cracks (“v”) were detected on the ploughed soil surface.

The features of the Level 2 about soil structure and bulk density are presented in the first bracket. The mean bulk density of arable sites at the depth 0–5 cm is 0.98 g cm^3 (SD 0.1) and at 5–30 cm 1.17 g cm^3 (SD 0.2). The difference between both depths on arable sites is significant at $P = 0.005$. On the non-arable sites the mean bulk density at 0–5 cm depth is 0.84 g cm^3 (SD 0.3)

and at 5-30 cm 1.03 g cm^3 (SD 0.2). The difference of bulk density of non-arable sites shows a non-significant trend with $P = 0.085$ between both depths. The difference in bulk density between arable and non-arable sites at 0–5 cm ($P = 0.16$) is non-significant. The difference in bulk density between arable and non-arable sites in 5–30 cm shows a non-significant trend ($P = 0.071$) for higher bulk density at arable sites. Fig. 4 displays a tendency for higher bulk densities at arable sites compared to non-arable sites for both soil depths. The box plots of non-arable sites show higher spread in measured values. Seven of the ten non-arable sites are forest sites, and three are abandoned field sites. The lowest bulk density was measured at the forest sites with a mean of 0.66 g cm^3 at 0–5 cm and 0.91 g cm^3 at 5–30 cm. The mean of the abandoned field sites with 1.22 g cm^3 is higher than that of arable sites with 0.98 g cm^3 at 0–5 cm depth. Also in the second depth at 5–30 cm, the bulk density is higher on abandoned field sites (1.3 g cm^3) than on arable sites (1.17 g cm^3).

On Field East 4 and 5, Abandoned Land East 4, Field West 1, 3 and 5 as well as on Forest West 4 and 5 all soil structure types are present randomly (marked with “+”, *cf.* Table 1 and Table 3). At seven sites hard consistency of the peds (“2”) appeared together with a random structure type arrangement (“+”), and at eleven sites loose or friable consistency (“1”) appeared together with soil peds that were breaking to series of smaller soil peds by squeezing (“- -”).

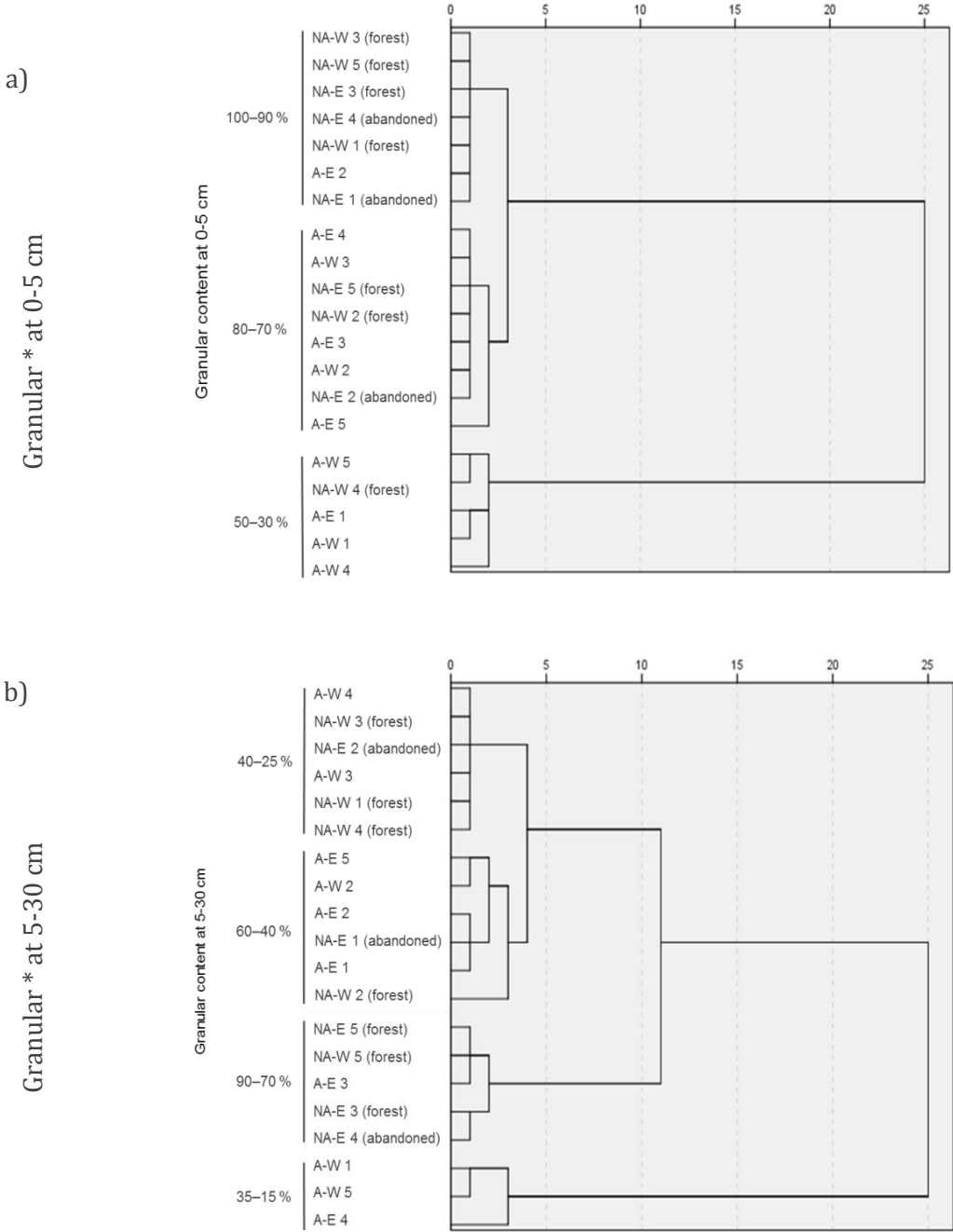
Silt loams (SiL) occur predominantly in the western test area and sandy loams (SL) in the eastern test area. Both soil textures are typical for the Western Siberian Grain Belt.

In Level 3 organic carbon contents are presented. The highest values were measured at the non-arable sites in 0–5 cm with a mean of 6 % (SD 2.82). At the soil depth 5–30 cm the mean organic carbon content is 2.6 % (SD 0.96) on non-arable sites. The difference between both depths at non-arable sites is highly significant with $P = 0.005$. At the arable sites the mean organic carbon content in 0-5 cm is 3.4 % (SD 1.22) and is not significantly different to the mean organic carbon content of 3.0 % (SD 0.86) at 5-30 cm ($P = 0.505$). Difference in organic carbon contents between arable and non-arable sites are significant at 0–5 cm ($P = 0.019$), however not at 5–30 cm ($P = 0.385$).

The next value presented in the curly bracket is the pH value (Level 4) that was measured for topsoil (0–30 cm). At the arable sites the mean pH value is 6.3 (SD 0.73). The mean pH value at non-arable sites is 6.0 (SD 1.21). Differences in pH values between arable and non-arable sites are not significant ($P = 0.460$).

In the province of Tyumen ploughing leads to typical clod formation. In Level 5 clods are marked with “CF-coarse fragments”. At four field sites clods have been identified. The last parameters in

SFC are the type of inclination "s-simple" and the slope position "L-level". These two codes were part of the selection criteria and are equal in all locations.



*Maximum and minimum contents of granular aggregates of the soil fingerprint codes of

Figure 3: Soil structure of each site: a) 0–5 cm depth; b) 5–30 cm depth. Abbreviations: A-E: Arable site in the eastern test area, A-W: Arable site in the western test area, NA-E: Non-arable site in the eastern test area, NA-W: Non-arable site in the western test area. Groups with other contents like 0–15% (in b) or 50–70% (in a) do not exist.

Table 3: Soil fingerprint codes from the eastern and western test area in the vicinity of the city of Tyumen in Western Siberia. The “Minimum Detail Mode” shows soil process designators, occurrence of the structural types, the measured organic carbon content and the pH value.

Test Area	Site	Depth (cm)	Soil Fingerprint Code	
			Enhanced Detail Mode	Minimum Detail Mode
Eastern Test Area	Field East 1	0-5	fAhp1 [50cf.sbk1--40vff.gr1--10mf.abk1;/0.89] SL (;4.41) {;6.62};aH/sL	Ahp [sbk--gr--abk] (4.41) {6.62}
		5-30	fAhp2 [60mf.gr1--35cf.sbk1--5mc.abk1;/0.93] SL (;3.72) {;6.62};aH/sL	Ahp [gr--sbk--abk] (3.72) {6.62}
	Abandoned Land East 1	0-5	fAhp1 [90fm.gr1--10fm.sbk1;/1.35] SiL (;2.77) {;6.54};OL;Y/gF/sL	Ahp [gr--sbk] (2.77) {6.54}
		5-30	fAhp2 [60fc.gr1--40fc.sbk1;/1.35] SiL (;2.15) {;6.54};OL;Y/gF/sL	Ahp [gr--sbk] (2.15) {6.54}
	Field East 2	0-5	fAhp1 [90vfm.gr1--10m.sbk1;/0.92] SL (;4.91) {;6.72};aH/sL	Ahp [gr--sbk] (4.91) {6.72}
		5-30	fAhp2 [60fm.gr1--40fc.sbk1;/0.94] SL (;3.51) {;6.72};aH/sL	Ahp [gr--sbk] (3.51) {6.72}
	Abandoned Land East 2	0-5	fAhp1 [85vfm.gr1--15mf.sbk1;/1.14] CL (;2.22) {;6.32};OL;Y/gF/sL	Ahp [gr--sbk] (2.22) {6.32}
		5-30	fAhp2 [65cm.sbk1--35mvf.gr1;/1.32] CL (;2.22) {;6.32};OL;Y/gF/sL	Ahp [sbk--gr] (2.22) {6.32}
	Field East 3	0-5	fAhp [85vfv.gr1--15mf.sbk1;/1.15] SL (;2.32) {;5.98};R/aC/sL	Ahp [gr--sbk] (2.32) {5.98}
		5-30	fAhp [90vfv.gr1--10mf.sbk1;/1.23] SL (;2.62) {;5.98};R/aC/sL	Ahp [gr--sbk] (2.62) {5.98}
	Forest East 3	0-5	fAhp1 [100vfm.gr1;/0.50] SL (;9.75) {;7.47};OL/wD/sL	Ahp [gr] (9.75) {7.47}
		5-30	fAhp2 [70vfm.gr1--30cf.sbk1;/0.77] L (;3.75) {;7.47};OL/wD/sL	Ah [gr--sbk] (3.75) {7.47}
	Field East 4	0-5	fAhp1 [80vfm.gr1--20cf.sbk1;/1.01] SCL (;3.46) {;7.60};X/aC/sL	Ahp [gr--sbk] (3.46) {7.60}
		5-30	fAhp2 [65cf.abk2+20cf.sbk2+15mf.gr2;/1.15] SCL (;3.09) {;7.60};aC/sL	Ahp [abk+sbk+gr] (3.09) {7.60}
	Abandoned Land East 4	0-5	fAhp1 [95vfm.gr1--5f.sbk1;/1.18] SCL (;3.00) {;7.58};OL/gF/sL	Ahp [gr--sbk] (3.00) {7.58}
		5-30	fAhp2 [75mvf.gr1--20f.sbk1+5mf.abk1;/1.24] SCL (;1.62) {;7.58};OL/gF/sL	Ahp [gr--sbk+abk] (1.62) {7.58}
	Field East 5	0-5	fAhp1 [70vfm.gr1--25fm.sbk1+5vff.sg1;/1.21] L (;0.70) {;5.25};R;CFc/aH/sL	Ahp [gr--sbk+sg] (0.70) {5.25}
		5-30	fAhp2 [50fm.gr1--50cf.sbk1;/1.33] LS (;0.88) {;5.25};R;CFc/aH/sL	Ahp [gr--sbk] (0.88) {5.25}
	Forest East 5	0-5	fAhp1 [85vfm.gr1--15fm.sbk1;/0.55] LS (;9.74) {;7.48};OL/wD/sL	Ahp [gr--sbk] (9.74) {7.48}
		5-30	fAhp2 [85vfm.gr1--15mf.sbk1;/0.91] LS (;2.90) {;7.48};OL/wD/sL	Ah [gr--sbk] (2.90) {7.48}
Western Test Area	Field West 1	0-5	fAhp1 [75vfm.gr2+25mf.sbk2;/0.89] SiL (;4.40) {;6.93};aC/sL	Ahp [gr+sbk] (4.40) {6.93}
		5-30	fAhp2 [65fc.abk2+35mf.gr2;/1.26] SiL (;3.67) {;6.93};aC/sL	Ahp [abk+gr] (3.67) {6.93}
	Forest West 1	0-5	fAhp1 [95fc.gr1--5fm.sbk1;/0.83] SiL (;4.60) {;5.23};OL/wD/sL	Ahp [gr--sbk] (4.60) {5.23}
		5-30	fAhp2 [70fm.sbk1--30f.gr2;/1.01] SiL (;2.20) {;5.23};OL/wD/sL	Ah [sbk--gr] (2.20) {5.23}
	Field West 2	0-5	fAhp1 [85mf.gr1--15cf.sbk1;/1.04] SiL (;2.78) {;6.34};OL/aC/sL	Ahp [gr--sbk] (2.78) {6.34}
		5-30	fAhp2 [50mf.sbk1--45fm.gr1--5fm.abk1;/1.29] SiL (;2.64) {;6.34};OL/aC/sL	Ahp [sbk--gr--abk] (2.64) {6.34}
	Forest West 2	0-5	fAhp1 [85fm.gr1--15fm.sbk1;/0.70] SiCL (;6.02) {;4.61};OL/wD/sL	Ahp [gr--sbk] (6.02) {4.61}
		5-30	fAhp2 [40fc.sbk1--40vfm.gr1--20vfm.abk1;/1.04] CL (;2.09) {;4.61};OL/wD/sL	Ah [sbk--gr--abk] (2.09) {4.61}
	Field West 3	0-5	fAhp1 [80fm.gr1+20fc.sbk2;/0.87] SiL (;3.27) {;5.50};R;CFc/aC/sL	Ahp [gr+sbk] (3.27) {5.50}
		5-30	fAhp2 [70cf.sbk2+30mf.gr1;/1.21] SiL (;3.29) {;5.50};R;CFc/aC/sL	Ahp [sbk+gr] (3.29) {5.50}
	Forest West 3	0-5	fAhp1 [100mf.gr1;/0.67] SiL (;8.33) {;5.25};OL/wD/sL	Ahp [gr] (8.33) {5.25}
		5-30	fAhp2 [60mf.sbk1--40fm.gr;/0.91] SiL (;4.87) {;5.25};OL/wD/sL	Ah [sbk--gr] (4.87) {5.25}
	Field West 4	0-5	fAhp1 [50cf.sbk2--50mf.gr1;/0.91] SiL (;4.06) {;5.75};R;CFs/aC/sL	Ahp [sbk--gr] (4.06) {5.75}
		5-30	fAhp2 [60cf.sbk2--40mf.gr1;/1.14] SiL (;3.78) {;5.75};R;CFs/aC/sL	Ahp [sbk--gr] (3.78) {5.75}
	Forest West 4	0-5	fAhp1 [60mf.sbk2--35mf.gr2+5mf.abk2;/0.78] SiL (;7.55) {;4.76};OL/wD/sL	Ahp [sbk--gr+abk] (7.55) {4.76}
		5-30	fAhp2 [70cm.sbk2--25mc.gr2+5cm.abk2;/0.84] SiL (;2.23) {;4.76};OL/wD/sL	Ah [sbk--gr+abk] (2.23) {4.76}
	Field West 5	0-5	fAhp1 [65mf.sbk2+30mf.gr2+5f.abk2;/0.94] Si (;3.27) {;6.77};R;CFsl/aC/sL	Ahp [sbk+gr+abk] (3.27) {6.77}
		5-30	fAhp2 [70mf.abk1--30fm.gr1;/1.53] SiL (;3.14) {;6.77};R;CFsl/aC/sL	Ahp [abk--gr] (3.14) {6.77}
	Forest West 5	0-5	fAhp1 [100fm.gr1;/0.65] SiL (;5.88) {;4.83};OL/wD/sL	Ahp [gr] (5.88) {4.83}
		5-30	fAhp2 [80fm.gr1--15fm.sbk1+5fm.pt1;/0.99] SiL (;2.67) {;4.83};OL/wD/sL	Ah [gr--sbk+pt] (2.67) {4.83}

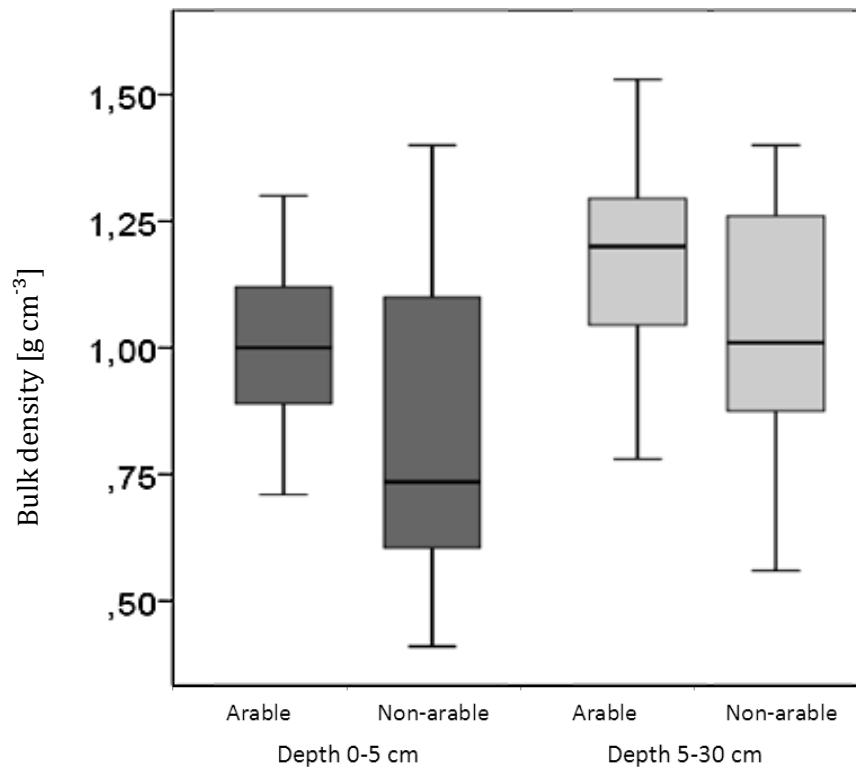


Figure 4: Bulk density of arable and non-arable sites at 0-5 cm and 5-30 cm depth.

4 Discussion

4.1 Soil Structure under different land use and in different soil depths

Soil structure is significantly affected by the land management (*Bronick and Lal, 2005; Müller et al., 2008, 2010*). This is in line with our observation that the investigated arable sites show smaller percentages of granular aggregates in the A horizon than the non-arable sites. Degradation of soil structure is also being studied in three regional long-term experiments in the province of Tyumen. Russian methods for soil structure assessment differ widely from the SFC, e.g. regarding morphological structure types and structure size classes (*Terpelets and Slyusarev, 2010; Korchagin et al., 2011*). Nevertheless, those regional studies on soil structure in the province of Tyumen come to the same conclusion: Conventional agricultural land use leads to deterioration of soil structure, accompanied by SOC losses (*Eremin, 2012; Abramov, 2013*). Crucial for a degraded soil structure on the arable sites is, among other things, loss of SOC (*Paré et al., 1999; Bronick and Lal, 2005; Wöllecke, 2006*). State and university studies across the province of Tyumen show constant SOC losses due to arable use in the last 40 years (*ROSREESTR, 2012*). One long term field experiment (40 years) on *Luvic Chernozem* in a forest steppe of Tyumen province

shows SOC losses with approximately 1 ton per hektar and year due to arable land use in comparison to unmanaged soils (*Eremin, 2012*). Typical for agriculture in the province of Tyumen are low mineral fertilization rates and very few areas that are organically fertilized (*ROSSTAT, 2013, Kühling et al., 2016*). Additional SOC losses are caused by conventional soil tillage that increases mineralization rates in the province of Tyumen (*Eremin, 2012*). A further factor for decreasing SOC contents on arable sites is the reduced biomass supply from litter and roots in comparison to natural steppe vegetation. According to *Rusalimova et al. (2006)* only approximately 20 % of biomass remain on the fields compared to the native vegetation in the forest-steppe of Western Siberia. Regional studies have proven that organic fertilization is needed to improve soil structure and SOC contents in the province of Tyumen (*Karetin, 1990; Eremin, 2012; Abramov, 2013*).

During the growing season the roots have an influence on the soil structure (*Czarnes et al., 1999; Bronick and Lal, 2005*). Soil structure stabilization occurs by anchorage of roots and the exudation of cementing material (*Angers and Caron, 1998*). *Czarnes et al. (2000)* conclude that the production of exudates by plant roots and microorganisms in the rhizosphere, together with intense wetting and drying cycles due to evapotranspiration, stimulate changes in soil structure. In this study, the non-arable sites show higher contents of granular aggregates and lower bulk density in the soil depth 0–5 cm, which is more affected by roots in comparison to arable sites in 0–5 cm. Regarding the arable sites in this study, higher contents of granular aggregates were detected in 0–5 cm on arable sites with crop plants compared to arable sites with bare soil, due to influence of roots in the upper centimeters (0–5 cm).

A positive influence of the roots on the soil structure in 0–5 cm can also be seen in SFC at non-arable sites. At all forest sites and at one abandoned field site the root dominance is marked with “rt” in Level 1. Significant difference is given for granular and subangular blocky aggregates between 0–5 cm and 5–30 cm soil depths. Higher contents of granular aggregates are in the root-active zone at non-arable sites in comparison to arable sites. Also, the SOC content is higher in the root-active zone (0–5 cm) than in 5–30 cm at non-arable sites. SOM protection mechanisms are enhanced by root activities. Moreover, the root C has a longer residence time in soil than shoot C (*Rasse et al., 2005*). At non-arable sites SOC content in 0–5 cm is significant higher as in 0–5 cm at arable sites. At arable sites ploughing leads to mixing of the topsoil. This leads to equivalent SOC contents in both depths. Living and dead roots provide a filamentous network, which resists compact loads (*Soane, 1990*). Thus, the bulk density of non-arable sites is lower in 0–5 cm than in 5–30 cm.

4.2 Suitability of the SFC for soil structure assessment

It is common to display suffixes and prefixes with specific definition in other taxonomic protocols (*Ad-hoc-AG Boden*, 2005; *FAO*, 2006; *McDonald and Isbell*, 2009; *Schoeneberger et al.*, 2012), but the taxonomic protocols are insufficient for the description of dynamic soil processes (*Fiedler et al.*, 2002; *Broll et al.*, 2006). Usually, taxonomic protocols include more or less detailed information related to the soil structure like in the SFC: Soil structure type, proportions, size classes, consistency and structure arrangement. One advantage of the SFC is the focus on soil structure. Another advantage is the numerical representation of topsoil properties, for example in this study: bulk density, pH and SOC content. Further influencing factors on soil structure or soil quality in general are displayed with designators describing surface conditions. By applying SFC, it is possible to recognize genetic processes and soil properties as well as the surface conditions at a glance and to compare with other sites, to see the dynamic changes of soil parameters. Therefore, the use of the electronic field form enables a more detailed description of A horizons (beyond a characterization as just e.g. "Ah" or "Ap").

A disadvantage of SFC is the complexity that requires some expertise. Visual estimation of the class size or of the occurrence of structure types can lead to subjective assessments. In order to avoid faulty assessments figures with graphic depiction of soil structure types and tables with structure size classes could support the visual estimation (*Müller et al.*, 2009).

5 Conclusions

- Strong clod formation and higher contents of angular blocky aggregates were measured at arable sites in comparison to non-arable sites.
- Different soil structure types and occurrences were detected in 0–5 cm and in 5–30 cm soil depth. In 0–5 cm, higher contents of granular aggregates can be detected at vegetated sites compared to sites with bare soils.
- The application of the SFC proved to be suitable for topsoil characterization in the province of Tyumen. In the presented SFCs, it is possible to recognize, that land use and soil tillage influence soil structure in the western and eastern test areas in the province of Tyumen. Also differences in the main chemical, physical and biological soil properties between both soil depths are shown in the SFCs.
- Higher application rates especially of organic amendment as well as reduced tillage could improve the present situation. In consequence, many changes, new measures and

further research in soil management are needed to prevent soil structure deterioration and to stabilize or to enhance SOC contents in the province of Tyumen.

6 Acknowledgments

This work was conducted as part of the project SASCHA ('Sustainable land management and Adaptation strategies to climate change for the Western Siberian Grain Belt'). We are grateful for funding by the German Government, Federal Ministry of Education and Research within their Sustainable Land Management funding framework (funding reference 01LL0906G). We thank the DLR (German Aerospace Center) for providing data from the RapidEye Science Archive. We are grateful to Dr. Catherine Fox (Agriculture and Agri-Food Canada, Science and Technology Branch - GPCRC, Harrow, Ontario, Canada) for productive discussion on the soil fingerprint code and Dr. Kerstin Anschlag for helpful corrections of the manuscript. Moreover, we thank Dr. Pavel Barsukov (ISSA Novosibirsk) and Dr. Nikolay Tretyakov (State University of Tyumen) for lab analysis.

7 References

- Abramov, N. W.* (2013): Production in agroecosystems and condition of soil fertility in Western Siberia. State Agricultural University of Northern Transural, Tyumen (in Russian).
- Ad-hoc-AG Boden* (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5th ed. E. Schweizerbart, Hannover, Germany.
- Angers, D. A., Caron, J.* (1998): Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks, in Van Breemen, N.: Plant-induced soil changes: processes and feedbacks. Springer, Wageningen, pp. 55-72.
- Ball, B. C., Batey, T., Munkholm, L. J.* (2007): Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. *Soil Use Manag.* 23, 329-337.
- Broll, G., Brauckmann, H.-J., Overesch, M., Junge, B., Erber, C., Milbert, G., Baize, D., Nachtergaele, F.* (2006): Topsoil characterization – recommendations for revision and expansion of the FAO-Draft (1998) with emphasis on humus forms and biological features. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169, 453–461.

Bronick, C. J., Lal, R. (2005): Soil structure and management: a review. Geoderma - Glob. J. Soil Sci. 124, 3-22.

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

Czarnes, S., Hallett, P. D., Bengough, A. G., Young, I. M. (2000): Root-and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport. Eur. J. Soil Sci., 51(3), 435-443.

Degefe, T., Fleischer, E., Klemm, O., Soromotin, A. V., Soromotina, O. V., Tolstikov, A. V. (2014): Climate extremes in South Western Siberia: past and future. Stoch. Environ. Res. Risk Assess. 28, 2161-2173.

DIN - Deutsches Institut für Normung (1998): DIN ISO 11272:1998 – Soil Quality – Determination of Dry Bulk Density. Beuth Verlag, Berlin, Germany.

Eremin, D. I. (2012): Transformation of Luvic Chernozems due to agricultural land use in the northern Transural. PhD thesis. Agricultural Academy of the province of Tyumen. Russia (in Russian).

Fiedler, S., Jungkunst, H. P. F., Jahn, R., Kleber, M., Sommer, M., Stahr, K. (2002): Linking soil classification and soil dynamics — pedological and ecological perspectives. J. Plant Nutr. Soil Sci. 165, 517–529.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1998): Topsoil characterization for sustainable land management. Draft. Land and Water Development Division, Soil Resources, Management and Conservation Service, Rome, Italy.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2006): Guidelines for soil description. 4th ed. FAO, Rome, Italy.

Fox, C. A., Tarnocai, C., Broll, G., Joschko, M., Kroetsch, D., Kenney, E. (2014): Enhanced A Horizon Framework and Field Form for detailed field scale monitoring of dynamic soil properties. Can. J. Soil Sci. 94, 189-208.

Gidrometeoizdat (1998): Scientific and practical handbook of the climate in the USSR. Part 3 Issue 17, Province of Tyumen and Omsk. Saint Petersburg. Gidrometeoizdat (in Russian).

IUSS Working Group WRB (2014): World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106, FAO, Rome.

Karetin, L. N. (1990): Soils of the Tyumen Oblast. Novosibirsk, Nauka (in Russian).

Korchagin, A. A., Zakharov, N. I., Shushkievich, N. I. (2011): Soil physics: Laboratory practical. University of VSU, Vladimir (in Russian)

Kühling, I., Trautz, D. (2015): Potential of adapted tillage and seeding operations for sustainable spring wheat cultivation under climate change in Western Siberia. Procedia Environmental Sciences 29,115 – 116. doi:10.1016/j.proenv.2015.07.193

Kühling, I., Broll, G., Trautz, D. (2016): Spatio-temporal analysis of agricultural land-use intensity across the Western Siberian grain belt. Sci. Total Environ. 544,271–280. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.11.129

McDonald, R. C., Isbell, R. F. (2009): Soil profile, in National Committee on Soil and Terrain: Australian soil and land survey field handbook. 3rd ed., CSIRO Publishing, Melbourne, Australia, 147-204.

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

Müller, L., Kay, B. D., Hu, C., Li, Y., Schindler, U., Behrendt, A., Sheperd, T. G., Ball, B. C. (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 Res. 103, 178-187.

Müller, L., Schindler, U., Mirschel, W., Shepherd, T. G., Ball, B. C., Helming, K., Rogasik, J., Eulenstein, F., Wiggering, H. (2010): Assessing the productivity function of soils. A review. Agron. Sustain. Dev. 30, 601-614.

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

Rampazzo, N., Blum, W. E., Wimmer, B. (1998): Assessment of soil structure parameters and functions in agricultural soils. *Die Bodenkultur* 49(2), 69-84.

Rasse, D. P., Rumpel, C., Dignac, M. F. (2005): Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant Soil*, 269(1-2), 341-356.

ROSREESTR (2012): Office of the Federal Service for State Registration, Cadaster and Cartography in the province of Tyumen. Report on the condition and use of land in the province of Tyumen in 2011 (in Russian).

ROSSTAT (2013): Statistical Office of the Russian Federation. <http://www.fedstat.ru/indicators/start.do> (16.10.2014).

Rusalimova, O., Savenkov, O., Smirnova, N., Barsukov, P. (2006): Soil organic carbon losses from seasonally-frozen soils of agricultural ecosystems in West Siberia for the 20th century, in Hatano R., Guggenberger G.: Symptom of Environmental Change in Siberian Permafrost Region. Hokkaido University Press, Sapporo, 85-91.

SASCHA Project (2011): SASCHA - Sustainable land management and adaptation strategies to climate change for the Western Siberian Grain Belt, <http://www.uni-muenster.de/SASCHA/en/> (16.06.2015).

Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., Soil Survey Staff (2012): Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

Soane, B. D. (1990): The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil Till. Res.* 16(1), 179-201.

Terpelets, V. I., Slyusarev, V. N. (2010): Teaching manual for the study of agrophysical and of agrochemical methods for soil investigations. KubGAU, Krasnodar, Russia p. 6.

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

5.2 LIVESTOCK MANURE MANAGEMENT IN AGROECOSYSTEMS OF SOUTHWESTERN SIBERIA, RUSSIA

Wirtschaftsdüngermanagement in Agrarökosystemen in Südwest-Sibirien, Russland

Maria Störrle¹, Hans-Jörg Brauckmann¹ & Gabriele Broll¹

¹Institute of Geography, University of Osnabrück, Seminarstraße 19 a/b, 49074 Osnabrück, Germany

Accepted: June 01, 2016

Published: GEO-ÖKO 36(3-4), 133-154

©2015 Förderverein Geographie für Umwelt und Entwicklung e.V. (GfUE)

Autorenbeiträge

Maria Störrle: Erstellung des Manuskripts

Hans-Jörg Brauckmann: Wissenschaftliche Beratung bei der Erstellung des Manuskripts, Unterstützung bei Betriebsbesichtigungen

Gabriele Broll: Wissenschaftliche Beratung bei der Erstellung des Manuskripts, Unterstützung bei Betriebsbesichtigungen

Zusammenfassung

Die Agrarlandschaft der Oblast¹ Tiumen in Südwest-Sibirien ist geprägt durch eine heterogene Landnutzung. Extensive Landnutzung durch Kleinbauern einerseits und Großbetriebe mit großen Viehzahlen andererseits beeinflussen die Agrarökosysteme auf unterschiedliche Weise. In dieser Studie wurde der Nährstoffanfall aus dem Wirtschaftsdünger unterschiedlicher Produktionsformen sowie das Düngepotential auf regionaler und lokaler Ebene berechnet. Des Weiteren wurde der Einfluss der unsachgemäßen Handhabung des Wirtschaftsdüngers auf die Umwelt untersucht. Die punktuelle Ansammlung von Gülle oder Festmist auf Großbetrieben führt zu erheblichen Umweltbelastungen. Die vorliegende Auswertung ergab, dass ein regionaler Nährstoffüberschuss bei Großbetrieben nur im Tiumenskii Distrikt besteht. Eine effiziente regionale Nährstoffverteilung findet in keinem Distrikt statt. Von den derzeit 2 % mit Wirtschaftsdünger gedüngten Ackerflächen bei den Großbetrieben könnten laut Düngepotential 23 % der Ackerflächen gedüngt werden. Bei den Haushalten besteht ein sehr großer Nährstoffüberschuss in allen Distrikten.

Schlüsselworte: Südwest-Sibirien, Wirtschaftsdüngermanagement, organische Düngung, Viehhaltung, regionale Nährstoffproduktion

¹ Oblast is an administrative division and is analogous to state or province.

Summary

In this study in the southwestern Siberian Tiumen oblast the regional production of manure from livestock farming and its potential for nutrient recycling as well as its impact on the environment were assessed. In Tiumen oblast, peasant farms and mega farms dominate in livestock farming. A calculative method was applied to determine the amounts of manure, nutrient contents and the fertilization potential of manure for three main livestock production systems at local and regional scale. At peasant farms and small farms the nutrients from manure are being recycled through grazing on pastures and manure application on own arable fields. At mega farms manure is oversupplied on fields in the close proximity of the confinement buildings, is stored in open slurry lagoons or is disposed in the landscape. This handling leads to several environmental and agricultural risks. The main part of arable land belongs to mega farms, but only 2 % of arable land in mega farms is fertilized with manure. According to the calculated fertilization potential 23 % of arable land in mega farms could be fertilized with manure.

Keywords: southwestern Siberia, manure management, organic fertilization, livestock, regional nutrient production

1 Introduction

Disintegration of the USSR has been followed by a strong decrease of agricultural production in Russia (Prishchepov et al. 2013). The number of cattle decreased by 65 % from 57 million in 1990 to 20 million in 2012 (Schierhorn et al. 2014). After 1990, on arable fields negative nutrient balances due to reduced or missing fertilization have risen. Maximum humus losses ($0.8\text{--}1\text{ ton ha}^{-1}$) are observed in republics, krais and oblasts located in the steppe zone (Kosolapov et al. 2010). A similar trend was observed in Tiumen oblast as well. Cattle and pigs stocks decreased after 1990 until 2011 by 75 % and 60 %, respectively.

There is a trend to increase agricultural production in Russia during the last years (ROSSTAT 2013). Nutrient demand for crop production and manure production will increase too. Manure handling and fertilization will be important factors for sustainability of agricultural production in the future (Burton and Turner 2003; Manna et al. 2005; Wortmann and Shapiro 2008; Materechera 2010; Kimura et al. 2011). High manure amount from intensive livestock production requires responsible handling, as inadequate manure handling causes environmental impacts like over-fertilization and water pollution (Otabbong et al. 2007). Over-fertilization leads to many agricultural and environmental problems, e.g. greater vulnerability of crops to diseases,

delayed grain maturation, groundwater pollution due to nitrate leaching and high GHG emissions from manure (Zebarth et al. 1998; Doody et al. 2012; Hutchings et al. 2014). Moreover, knowledge of the manure qualities and quantities is necessary for sustainable agricultural production (Materchera 2010). Thus, aim of this study is to investigate the potential of nutrient recycling on local and regional scale in Tiumen oblast, Western Siberia, Russia to support sustainability in livestock and arable farming.

In Tiumen oblast livestock producer systems differ widely in farm sizes as well as in the farming practices. Mega farms and subsistence farms produce agricultural goods for the consumer market (ROSSTAT 2013). Impacts of different livestock producer systems on environmental pollution or on environmental benefits due to manure handling need to be considered. Therefore, a local assessment of manure management practices and of the nutrients in the livestock manure in Tiumen oblast in Western Siberia was carried out. For this purpose, a calculative method was applied to assess manure amounts and nutrient contents with available data from Russian statistics. The nutrient amounts in manure will be used for calculation of the fertilization potential at regional scale. Potentials for fertilization and substitution of mineral fertilizers are estimated to determine best practice manure nutrient recycling strategies. Objectives of this study are: (1) Local assessment of manure management practices at peasant farms, small farms and mega farms; (2) calculation of manure amounts, nutrients in manure and the fertilization potential from manure at regional scale and (3) the development of recommendations for best practice management for manure.

2 Study site

Tiumen oblast is located in the Western Siberian grain belt of the Russian Federation. The area of Tiumen oblast occupies about 160,000 km² of the Western Siberian plain. Its administrative center is the city of Tiumen (Fig. 1). Twenty-two districts are located in Tiumen oblast (Fig. 2). The city and district names were transliterated after ICAO (2013). Continental climate, flat relief, and high occurrence of peatland and also fertile mineral soils are typical for this region. In the southern districts salinity affected soils are typical. Two ecozones occupy the Tiumen oblast: Taiga in the north and forest-steppe in the south (Karetin 1990).

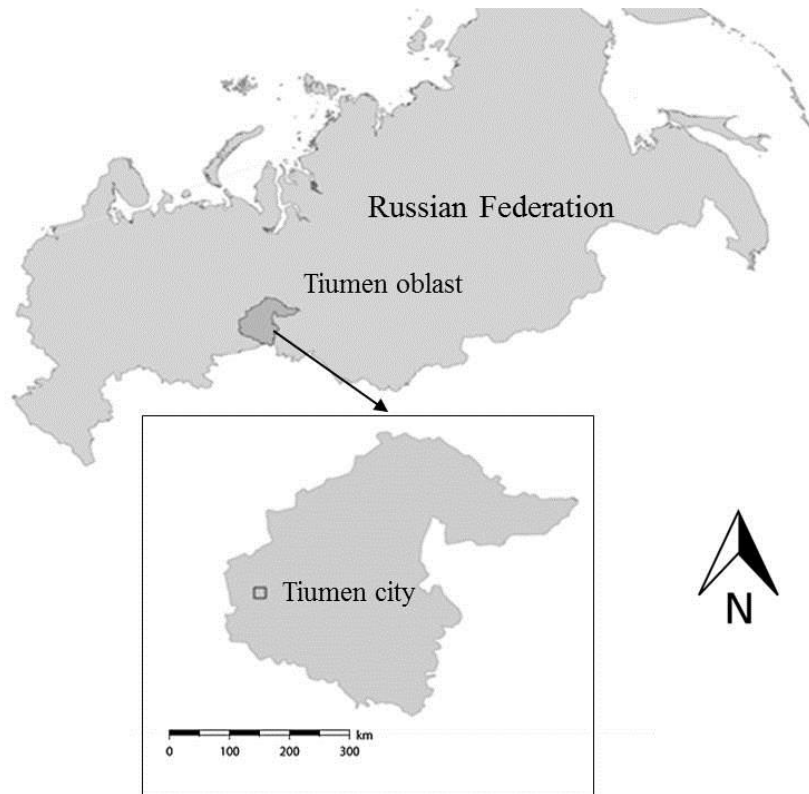


Fig. 1 Map of Russian Federation and location of Tiumen oblast

Abb. 1 Karte der Russischen Föderation und Lage der Oblast Tiumen

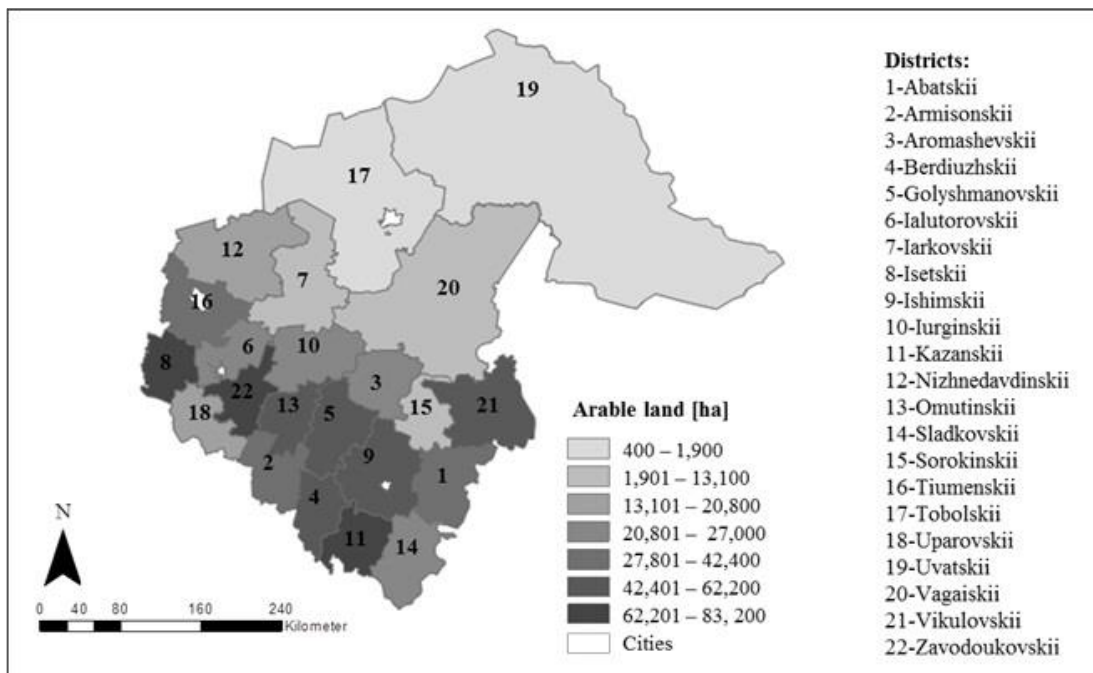


Fig. 2 Arable land in districts of Tiumen oblast, Russia

Abb. 2 Ackerflächen in den Distrikten der Oblast Tiumen, Russland

3 Methods

3.1 Manure handling assessment

Information about manure handling was obtained from farm visits and interviews of eight mega farm managers. All major mega farms were surveyed across Tiumen oblast in the years 2012 and 2013. Three poultry mega farms, three cattle and two pig mega farms, five small farms and twenty peasants were visited and interviewed in five districts of Tiumen oblast. Information about environmental damage due to manure handling on mega farms were obtained from state environmental reports of the year 2011 (Administration of Tiumen oblast 2012; ROSREESTR 2012).

3.2 Calculation of nutrient content in manure

The nutrient content and the amount of manure were calculated according to the guidelines of the Lower Saxony Chamber of Agriculture, Germany (LWK 2009). Livestock population data of each district were extracted from the official Russian statistics of the year 2011 as a basis for calculation (ROSSTAT 2013). Livestock categories taken into account are non-dairy cattle, dairy cows, horses, sheep/goats, pigs and poultry. In addition, a subdivision into the categories poultry broilers, layers, free range and cage systems as well as a production-related poultry manure type (solid manure, dry chicken dung and slurry) was made. The excreted amount of manure is dependent on the age of the animal. The age of the animals in the different producer types was recorded in the All-Russian agricultural statistical survey in the year 2006 (Menova et al. 2008). Since there is usually no statistical record of the age groups, the percentage distribution of 2006 had to be transferred to the livestock numbers in 2011.

Livestock production in mega farms in Tiumen oblast is at a high technical level which is comparable to international standards. A notable difference is, however, the low milk yields in the Tiumen oblast which result from low nutrient and low protein fodder (Bulatov and Kurdogljan 2006). The amount and the nutrient composition of manure depend on the milk yield (Steinwider and Guggenberger 2003; Pötsch and Gruber 2006; Dämmgen et al. 2007). The average milk yield in Tiumen oblast was approx. 5,000 liters per dairy cow in 2011 (ROSSTAT 2013). In the guidelines of the Lower Saxony Chamber of Agriculture (LWK 2009) the lowest milk yield per cow is 6,000 liters per year. The nutrient excretion rates were adjusted with regression models to the low milk yields. Regression models (Eq. 1-4) were calculated with data pairs from the guidelines of the Lower Saxony Chamber of Agriculture (LWK 2009) and were validated with nutrient data from the feeding experiment from Bulatov and Kurdogljan (2006) as well as with nutrient data from lab analysis commissioned by the local mega farms. The calculation of nutri-

ent contents resulting from lower milk yields is accomplished according to the following equations:

$$V = 0.0005 * MY + 16 \quad (R^2 = 1) \quad (1)$$

$$N = 0.0075 * MY + 73.33 \quad (R^2 = 0.99) \quad (2)$$

$$P = (0.002 * MY + 26.3) * 0.4364 \quad (R^2 = 0.97) \quad (3)$$

$$K = (0.0005 * MY + 121.67) * 0.8303 \quad (R^2 = 0.99) \quad (4)$$

MY Milk yield (L a⁻¹)

V Slurry volume (m³ a⁻¹)

N Nitrogen (kg a⁻¹)

P Phosphorus (kg a⁻¹)

K Potassium (kg a⁻¹)

Additionally, international computing approaches have been tested for the calculation of the nutrient content in manure. Equations according to IPCC (2006), FAO (Brandjes et al. 1996) and the EC-method (European Commission 2002) were compared with the results of the Lower Saxony Chamber of Agriculture (LWK 2009) and the lab values of nutrient in manure from mega farms of the Tiumen oblast. Guidelines of Lower Saxony Chamber of Agriculture (LWK 2009) proved to be suitable, since differences of diet, production, gender and different age groups of animals are taken into account in the calculation.

3.3 Livestock units and fertilization potential

Livestock units were calculated according to the commission regulation of the European Community (EC) No 1200/2009 (European Commission 2009) with livestock population data of the year 2011. The agricultural land includes arable land, grassland, abandoned land and orchards in the year 2011 for each district in Tiumen oblast provided by the cadastral office (ROSREESTR 2012).

To indicate the regional fertilization potential of manure, the nutrient amounts of manure for each district are related to arable land in the respective district and livestock production system. The arable land includes acreages for vegetables, potatoes, grain and forage crops. The average nitrogen demand in crop production is 120 kg N ha⁻¹ in Tiumen oblast (Abramov 2013). The

available nitrogen from manure was related to arable land for the calculation of the potential area of arable land which could be fertilized with 120 kg N ha⁻¹.

4 Results

4.1 Characterization of livestock production systems and stocks

Three types of livestock production systems are prevalent in Tiumen oblast: Peasant farms, small farms and mega farms:

1. The smallest kind of livestock production system is peasant farming. **Peasant farms** have on average 20 animals and 5 ha arable land.
2. **Small farms** include individual companies and farmers' associations. The small farms keep approx. 100 animals and have on an average 100 ha arable land.
3. **Mega farms** are characterized through large stocks of animals: On average 1000 animals or up to 3 million poultry at one production site. The main part of arable land (80 %) belongs to mega farms in Tiumen oblast. One third of the mega farms operate as mixed farm with arable and livestock production (ROSSTAT 2013).

The highest portion of livestock products is being produced in mega farms. The second largest livestock production system is peasant farming (Tab. 1). The larger part of livestock is kept by the peasants, with the exception of poultry (Tab. 2). The majority of poultry farming (94 %) of the total oblast is concentrated in five mega farms. Three factory poultry producers are located in Tiumenskii district.

The spatial distribution of livestock density depends on the climate and distance to the consumers. Livestock population in districts increases with the climate gradient towards south in peasant farms as well as in mega farms. Also the livestock units per hectare and the extent of arable land are higher in southern districts (Fig. 2; Tab. 3). The second factor for the regional concentration of livestock producers in and in the vicinity of the Tiumenskii district is the geographical proximity to the sales market in Tiumen city.

Tab.1 Output of livestock products in the three types of livestock production systems in Tiumen oblast in 2011 (ROSSTAT 2013)

Tab.1 Produktionsmengen für tierische Erzeugnisse innerhalb der drei Tierhaltungssysteme in der Oblast Tiumen im Jahr 2011 (ROSSTAT 2013)

Producers	Meat (t)	Milk (t)	Eggs (m pcs)
Peasant farms	47,9	286,4	74
Small farms	5,434	26,101	6
Mega farms	62,3	284,4	1,319
Total	115,634	596,901	1,399

Tab.2 Livestock population within the districts and livestock production systems in Tiumen oblast in 2011 (ROSSTAT 2013)

Tab.2 Tierzahlen in den Distrikten unterteilt nach Tierklassen und Tierhaltungssysteme in der Oblast Tiumen im Jahr 2011 (ROSSTAT 2013)

Districts	Peasant farms				Small farms				Mega farms						
	Cows	Pigs	Sheep & goats	Poultry	Horses	Cows	Pigs	Sheep & goats	Poultry	Horses	Cows	Pigs	Sheep & goats	Poultry	Horses
Abatskii	7,504	7,001	9,258	39,314	1,417	79	31	190	159	36	6,551	0	0	0	73
Armionskii	3,330	3,010	4,234	14,483	346	446	12	20	0	0	411	0	0	0	0
Aromashevskii	2,997	8,969	3,257	16,322	178	484	58	49	78	5	1,985	0	0	0	32
Berdiushkii	3,410	10,326	4,199	27,784	225	5	4	0	0	0	1,450	0	0	0	83
Vagatskii	7,170	4,087	7,219	14,005	1,200	24	13	34	60	13	2,417	319	0	0	92
Vikulovskii	4,080	8,433	5,274	29,531	437	927	0	0	0	158	6,218	677	0	0	205
Golshmanovskii	7,519	18,176	9,190	29,246	698	248	0	0	100	0	4,857	0	133	404,774	76
Isetskii	4,699	6,902	5,562	29,994	576	954	124	595	123	15	11,118	15,157	0	0	127
Ishimskii	11,785	14,121	11,413	50,945	1,787	1,056	555	272	481	59	8,761	87,825	10	0	470
Kazanskii	6,791	8,104	4,871	39,959	795	151	0	0	15	0	11,410	282	0	0	303
Nizhnedavdinskii	3,999	5,049	7,122	22,391	414	1,974	471	15	0	41	6,879	0	2,652	0	107
Omuntunskii	2,538	7,287	4,222	19,364	310	1,599	44	310	74	15	3,494	10	480	39,726	20
Sladkovskii	7,289	3,667	9,420	26,517	986	354	0	0	0	0	5,793	0	290	0	160
Sorokinskii	3,507	3,606	5,634	21,808	758	386	48	124	45	48	5,971	0	0	0	263
Tobolskii	3,406	1,669	3,566	6,587	553	508	2	26	46	14	1,936	194	1,939	0	90
Tiumenskii	6,026	8,762	4,759	16,890	547	54	188	151	172	6	18,476	5,600	148	7,152,893	270
Uvatskii	807	404	489	1,672	190	12	40	0	0	40	312	29	0	0	58
Uparovskii	6,357	11,101	5,612	28,271	546	386	1,205	310	40	47	11,546	0	0	0	345
Iurginskii	1,851	4,961	1,411	14,902	152	1,458	88	29	300	58	1,308	571	0	0	16
Ialutorovskii	5,228	3,781	3,037	12,692	558	0	0	0	0	0	7,664	0	0	0	191
Iarkovskii	3,978	2,861	5,749	9,363	1,003	91	475	120	80	12	5,437	952	15	0	101
Zavodoukovskii	4,517	11,319	3,337	26,200	359	65	96	92	87	1	11,148	5,4287	0	0	98
Total	108,788	153,596	118,835	498,240	14,035	11,261	3,454	2,337	1,860	568	135,142	165,903	5,667	7,597,393	3,180

Tab.3 Livestock units (LSU) per hectare agricultural area^{a)}, agricultural area and arable land within districts and ecozones of Tiumen oblast (European Commission 2009; ROSREESTR 2012; ROSSTAT 2013)

Tab.3 Vieheinheiten pro Hektar landwirtschaftliche Fläche^{a)}, landwirtschaftliche Fläche und Ackerfläche in den Distrikten und Ökozonen in der Oblast Tiumen (European Commission 2009; ROSREESTR 2012; ROSSTAT 2013)

Districts	LSU (ha ⁻¹)	Agricultural area ^{a)} (ha)	Arable land (ha)		
			Peasant farms	Small farms	Mega farms
South Taiga					
Tobolskii	0.048	121,300	1,149	2,298	2,955
Uvatskii	0.024	50,900	357	162	182
Vagaiskii	0.085	118,500	1,175	222	8,042
Sub-Taiga					
Aromashevskii	0.062	131,200	1,034	3,238	14,316
Iarkovskii	0.083	120,500	928	799	11,382
Iurginskii	0.074	81,200	2,911	967	19,715
Nizhnedavdinskii	0.085	154,800	1,910	10,361	15,116
Sorokinskii	0.085	119,700	448	1,250	19,104
Vikulovskii	0.071	178,800	1,136	3,995	29,454
Forest-Steppe					
Abatskii	0.064	234,500	1,187	2,894	33,634
Armisonskii	0.033	143,900	1,029	13,109	9,860
Berdiuzhskii	0.057	146,900	688	4,377	37,369
Golyshmanovskii	0.121	194,400	1,162	15,42	45,575
Ialutorovskii	0.094	124,800	779	3,12	13,000
Isetskii	0.159	140,900	841	7,911	44,914
Ishimskii	0.186	312,900	1,642	15,785	65,781
Kazanskii	0.097	188,500	1,040	7,744	48,975
Omutinskii	0.068	143,100	929	7,974	24,399
Sladkovskii	0.057	228,700	575	5,121	22,113
Tiumenskii	0.719	144,600	2,869	1,673	22,956
Uparovskii	0.116	171,300	677	5,469	63,575
Zavodoukovskii	0.286	131,900	969	4,284	50,678

^{a)} orchards area, arable land, abandoned land and grassland

4.2 Manure handling

At peasant farms animals graze with low intensity on pastures or abandoned fields during the growing season. During winter solid manure is stored in piles. Later, it is distributed on their own arable fields or it will be given away to garden owners. Most of the small farmers use solid manure systems. This manure will be spread on their own arable fields. In mega farms solid manure is produced in broiler, sheep/goat and horse farms. Two poultry mega farms processed poultry manure into dry chicken manure. Moreover, in mega farms slurry is produced in cattle, pigs and partly poultry farms. Slurry is stored in open lagoons without sealing the ground. It will be applied only after it has been thickened due to evaporation and percolation. Slurry is applied only on fields nearby the farm. Nowadays, a distribution of solid manure and slurry at a distance of more than 5 km will be considered as not profitable. The most important limiting factor is the high diesel price.

A spring or fall fertilization with manure is not possible due to the short growing season. Therefore it is common to applicate the manure on bare fallows of mega farms. The application rates are very high – up to 300 t ha⁻¹. Also the illegal disposal of manure in the landscape is common, although it is prohibited by the state (Government of the Russian Federation 2015).

4.3 Regional manure production

In Tiumen oblast about 1 million tons of solid manure and almost 3 million tons of slurry are produced annually (Tab. 4). The highest nutrient production of manure can be found in regions with intensive livestock farming (Tab. 5), like in the Tiumenskii district. A high manure and nutrient production is observed at peasant farms in all districts, with one exception: In Uvatskii district due to low livestock density only about 6,000 tons of solid manure are produced annually (Tab. 4). On average 42,000 tons (SD 18,198) of manure were calculated for all other districts. The highest amount of manure produced at peasant farms was estimated for the Ishimskii district at about 95,000 tons. Manure production is rather low at small farms. Per district on average 3,000 tons of manure are produced annually, however the standard deviation of 3,700 tons is high. Concentrated poultry production in three mega farms leads to high nutrient amounts in manure in the Tiumenskii district. Further districts with a high density of factory livestock farming are Zavodoukovskii, Ishimskii, Isetzkii, Uparovskii and Kazanskii. In Golyshmanovskii district about 10,000 tons and in Tiumenskii district about 75,500 tons of dry chicken manure are produced, respectively. In Golyshmanovskii district the dry chicken manure contains about 300 tons of nitrogen. In Tiumenskii district about 2,500 tons of nitrogen are available in dry chicken manure, which has a low moisture level and therefore has low transport costs.

Tab.4 Annual manure accumulation (fresh matter) within the livestock production systems and districts of Tiumen oblast (LWK 2009; ROSSTAT 2013)

Tab.4 Jährlicher Wirtschaftsdüngeranfall (Frischmasse) in den Tierhaltungssystemen und Distrikten der Oblast Tiumen (LWK 2009; ROSSTAT 2013)

Districts	Peasant farms	Small farms	Mega farms	
	Manure	Manure	Slurry	Manure
	(t year ⁻¹)			
Abatskii	63,788	900	78,858	0
Armisonskii	26,848	2,405	4,905	0
Aromashevskii	27,281	2,774	22,743	0
Berdiuzhskii	31,148	21	17,227	0
Golyshmanovskii	67,767	1,331	55,757	10,408
Ialutorovskii	36,511	0	93,465	1,408
Iarkovskii	35,773	1,087	65,589	759
Isetskii	38,526	6,484	162,216	936
Ishimskii	95,490	6,617	252,289	3,474
Iurginskii	15,964	8,164	15,712	118
Kazanskii	51,631	261	311,509	2,233
Nizhnedavdinskii	34,001	13,051	82,923	3,441
Omutinskii	25,182	10,295	40,192	906
Sladkovskii	57,588	2,016	67,312	1,469
Sorokinskii	32,368	2,598	66,512	1,938
Tiumenskii	46,115	352	1,084,877	96,838
Tobolskii	26,772	1,009	21,750	2,602
Uparovskii	49,787	4,022	141,235	2,543
Uvatskii	6,420	379	3,619	428
Vagaiskii	54,684	221	28,327	0
Vikulovskii	35,993	5,963	73,234	0
Zavodoukovskii	37,219	512	136,712	722
Total	896,856	70,472	2,826,963	130,223

Tab.5 Annual nitrogen, phosphorus and potassium production from manure within livestock production systems and districts of Tiumen oblast (LWK 2009; ROSSTAT 2013)

Tab.5 Jährlicher Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumanfall aus dem Wirtschaftsdünger in den Tierhaltungssystemen und Distrikten der Oblast Tiumen (LWK 2009; ROSSTAT 2013)

Districts	Peasant farms			Small farms			Mega farms		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	(t year ⁻¹)								
Abatskii	788	142	852	11	2	11	484	69	504
Armisonskii	336	60	363	28	4	31	29	4	31
Aromashevskii	370	69	339	33	5	36	130	19	143
Berdiuzhskii	425	80	391	0	0	0	107	16	113
Golyshmanovskii	897	166	859	16	2	17	639	131	473
Ialutorovskii	442	80	499	0	0	0	589	84	606
Iarkovskii	433	78	476	15	3	12	392	58	411
Isetskii	492	90	513	79	12	82	1,023	158	945
Ishimskii	1,190	217	1,267	80	12	84	1,575	301	1,053
Iurginskii	214	40	200	96	14	106	88	13	94
Kazanskii	646	118	689	8	1	10	859	123	891
Nizhnedavdinskii	437	79	463	158	23	158	550	80	571
Omutinskii	339	63	317	124	18	128	247	37	264
Sladkovskii	703	124	792	24	3	26	400	59	433
Sorokinskii	404	73	429	31	5	33	370	56	420
Tiumenskii	584	107	610	7	1	4	6,080	1,298	3,258
Tobolskii	322	57	364	29	4	34	149	23	165
Uparovskii	641	119	656	53	9	44	897	128	920
Uvatskii	75	13	85	4	1	3	23	4	25
Vagaiskii	656	118	750	2	0	2	166	25	179
Vikulovskii	473	87	466	68	10	75	432	64	463
Zavodoukovskii	494	93	473	7	1	6	1,421	249	1,102
Total	11,361	2,073	11,853	873	130	902	16,65	2,999	13,064

4.4 Regional fertilization potential from manure

Available land for crop production and animal stocks are imbalanced between the three livestock production systems. Therefore, fertilization potential differs as well. Fertilization potential from manure depending on the arable land in the respective district and production system is presented in Tab. 6. High amounts of manure are being produced at **peasant farms**. Very large nutrient surplus from manure was calculated for all districts, although on average only 5 ha per peasant farm are available for arable use. A part of produced manure will be distributed on 28,566 hectares arable land owned by peasants. Another part of the defaecation occurs during grazing on pastures. Grassland used by peasants occupies 513,800 ha in Tiumen oblast (ROSREESTR 2012). However, the area actually used for grazing is bigger, as abandoned arable fields will be also used for grazing.

In **small farms** the nutrient supply from manure per hectare of arable land is low in all districts. An exception is the Iurginskii district which has a much higher fertilization potential of about 100 kg N ha⁻¹. In plant production 80 % of arable land belongs to the mega farms, but only in Tiumenskii and Uvatskii district the nutritional needs could be covered by manure, if the fertilization potential would be fully harnessed. High nutrient surplus in Tiumenskii district is a result of concentrated poultry production. In mega farms of Uvatskii district the nutrient availability could apparently be well-balanced, if a distribution of manure on arable fields would take place.

Tab.6 Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization potential from manure for arable land in districts of the Tiumen oblast (AL) (LWK 2009; ROSSTAT 2013)

Tab.6 Düngungspotential aus dem Wirtschaftsdünger für Stickstoff-, Phosphor- und Kalium für Ackerflächen in den Distrikten der Oblast Tiumen (LWK 2009; ROSSTAT 2013)

Districts	Peasant farms			Small farms			Mega farms		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	(kg ha ⁻¹ AL)								
Abatskii	664	120	717	4	1	4	14	2	15
Armisonskii	327	58	353	2	0	2	3	0	3
Aromashevskii	358	67	328	10	1	11	9	1	10
Berdiuzhskii	618	116	568	0	0	0	3	0	3
Golyshmanovskii	772	142	740	1	0	1	14	3	10
Ialutorovskii	567	102	641	0	0	0	45	6	47
Iarkovskii	467	84	513	19	3	14	34	5	36
Isetskii	585	108	610	10	1	10	23	4	21
Ishimskii	725	132	772	5	1	5	24	5	16
Iurginskii	73	14	69	99	15	109	4	1	5
Kazanskii	621	113	662	1	0	1	18	3	18
Nizhnedavdinskii	229	42	242	15	2	15	36	5	38
Omutinskii	365	68	341	16	2	16	10	2	11
Sladkovskii	1,223	216	1,377	5	1	5	18	3	20
Sorokinskii	901	162	958	24	4	26	19	3	22
Tiumenskii	203	37	213	4	1	2	265	57	142
Tobolskii	280	50	317	8	1	10	50	8	56
Uparovskii	947	175	969	10	2	8	14	2	14
Uvatskii	211	38	239	23	4	20	128	20	139
Vagaikskii	558	100	638	10	1	7	21	3	22
Vikulovskii	416	77	410	17	3	19	15	2	16
Zavodoukovskii	510	96	488	2	0	1	28	5	22

5 Discussion

Livestock manure use is a possibility to recycle nutrients in agricultural systems (Snyder et al. 2009). Organic carbon in manure could be applied back to soil, which would enhance the humus content, stimulate soil biological activity and improve soil resistance to compaction (Peacock et al. 2001; Parham et al. 2003; Kimura et al. 2011, Schlegel et al. 2015). Manure nutrients substitute mineral fertilizers, which are produced with high energy input and are currently subsidized by Tiumen oblast (Administration of Tiumen oblast 2013). In terms of small-scale farmers like the **peasant farms** and **small farms** in this study inadequate manure handling cannot be detected in Tiumen oblast. Nitrate leaching and over-fertilization are avoided at peasant farms and small farms. In the warm period the animals graze at low intensity on pastures or abandoned arable fields. On land that is used at low intensity, animal excrements contribute to soil organic C enrichment and improvement of aggregate stability (Franzluebbers et al. 2000; Whitehead 2000; Wortmann and Shapiro 2008).

Over-fertilization on bare fallows or illegal disposal of manure is common on **mega farms** in Tiumen oblast. This leads to many agricultural and environmental problems, e.g. greater vulnerability of crops to diseases, delayed grain maturation, groundwater pollution due to nitrate leaching and high GHG emissions from manure (Zebarth et al. 1998; Doody et al. 2012, Hutchings et al. 2014). Lack of storage facilities for manure is the main source of environmental pollution in Russian livestock farming (Bondarenko et al. 2010). Pig and cow slurries are treated in lagoon cascades to get stable manure in Tiumen oblast. Laying hen slurry is dried directly in two poultry mega farms in Tiumen oblast. But the effluent has still high nutrient concentrations. There are many losses due to infiltration in the lagoon ground and risks for overflowing and contaminating surface waters (Otabbong et al. 2007; Shah et al. 2012). Surface water can be polluted with phosphorus from diffuse sources (Chien et al. 2009). Measurements by the local authority revealed nitrate contamination of the groundwater due to open slurry lagoons (Administration of Tiumen oblast 2012).

Regional manure production and regional fertilization potential of **peasant farms** are high in all districts of Tiumen oblast. This calculation does not take into account that manure is not only applied on arable land, but also defecated directly on grazing land. However, even if grazing land would be included in the calculation, fertilization potential would still be sufficient to meet the nutrient demand. At **small farms** regional manure production and regional fertilization potential are rather low due to small animal stocks. For **mega farms**, high manure production and regional fertilization potential are calculated only in Tiumenskii district. In compliance with the calculated nutrients in manure at regional scale there is no evidence of over-fertilization on

mega farms in Tiumen oblast. However, harmful environmental impacts of manure management on mega farms in Tiumen oblast occur on farm scale, even though at the regional scale nutrient recycling would be possible. Even in Western Europe the whole produced livestock manure is used for fertilization (Dalgaard et al. 2014; Hutchings et al. 2014). Actually the Tiumenskii district with nutrient surplus could export manure to adjacent districts with nutrient demand. Nonetheless, the fertilization potential of manure is not fully utilized in all districts. According to regional statistics, organic fertilization is applied only on 2 % of arable fields in mega farms while the calculated potential is 23 % (ROSSTAT 2013). High transport costs, low production efficiency and mainly lack of appropriate equipment for transportation and application (Voigt and Uvarovsky 2001; Fellmann et al. 2013; Bondarenko et al. 2010) are reasons for non-sustainable manure management in Russia and in Tiumen oblast. In other Russian regions a similar situation is observed. In Cheliabinsk oblast 10-15 % of the fertilization potential from manure is used on arable fields at mega and small farms (Vrazhnov et al. 2008). In Ivanov oblast 40 % of available manure is applied on arable fields (Nenaidenko and Beliaeva 2015).

Full exploitation of the fertilization potential on mega farms could minimize environmental hazards, reduce costs for mineral fertilizers, and contribute to higher yields and soil fertility. One possibility to reduce environmental hazards is enhanced nutrient management at farm level. High agricultural education of farm managers is necessary for the estimation of nutrient flows within the farm system and for the calculation of financial advantages of the use of manure as fertilizer. Subsidies for manure transport or for slurry separation in mega farms could facilitate the distribution problem and could concomitantly reduce costs for mineral fertilization. New laws, which regulate the application rates of manure, could prevent nitrate leaching.

6 Conclusions

In terms of climate and environmental protection **peasant farms** and **small farms** have advantages over the mega farms in several respects: no nitrate leaching, no over-fertilization and full utilization of nutrients from manure on arable land and pastures. The manure is utilized in a closed farming cycle. At **mega farms** nutrient losses and environmental pollution occur due to inappropriate slurry storage conditions, illegal disposal or over-fertilization with manure.

The fertilization potential at **peasant farms** is high enough to meet the nutrient demand of arable crops in all districts. At **small farms** the fertilization potential is rather low in all districts. On **mega farms** only the Tiumenskii and the Uvatskii district would be able to cover the nutrient needs in arable farming with manure, if rational distribution of manure would take place. In the

other 20 districts, nutrients from manure produced in mega farms are not sufficient to meet the nutrient demand for arable farming. Nonetheless, the fertilization potential is not fully harnessed in any districts. Due to high transport costs and low production efficiency in mega farms manure is not distributed at local or regional scale. Full exploitation of the fertilization potential on mega farms could minimize environmental hazards, reduce costs for mineral fertilizers, and contribute to higher yields and soil fertility.

Sustainable regulations at farm and political level regarding manure handling could be:

- Improved education of farm managers for balanced manure management.
- Subsidies for manure transport or slurry separation in mega farms could facilitate the distribution problem and can concomitantly reduce costs for mineral fertilization, which are currently subsidized.
- New laws, which regulate the application rates of manure, could prevent nitrate leaching.

7 Acknowledgments

This work was conducted as part of project SASCHA ('Sustainable land management and adaptation strategies to climate change for the Western Siberian grain belt'). We are grateful for funding by the German Government, Federal Ministry of Education and Research within their Sustainable Land Management funding framework (funding reference 01LL0906G).

8 References

Abramov, N.V. (2013): Proizvoditelnost agroecosystem i sostoianie plodorodiia pochv v Zapadnoi Sibiri (Production in agroecosystems and condition of soil fertility in Western Siberia). State Agricultural University of Northern Transural. Tiumen

Administration of Tiumen oblast (2012): Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Tiumenskoi oblasti v 2011 godu (Report on the environmental situation in the Tiumen oblast in 2011). http://admtyumen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=10922884@cmsArticle. Accessed 3 March 2013

Administration of Tiumen oblast (2013): Polozheniye o poryadke predostavleniya sredstv oblastnogo byudzheta na gosudartsvennuiu podderzhku selskokhoziaaistvennogo proizvodstva (Rules on the granting of the regional budget for state support of agricultural products).

[http://admtyumen.ru/files/ogv_to/blanks/ПОСТАНОВЛЕНИЕ ПРАВИТЕЛЬСТВА № 222-п от 27.06.2013 \(8559368\) v1.pdf](http://admtyumen.ru/files/ogv_to/blanks/ПОСТАНОВЛЕНИЕ_ПРАВИТЕЛЬСТВА_№_222-п_от_27.06.2013_(8559368)_v1.pdf) . Accessed 10 December 2013

Bondarenko, A.M., Miroshnikov, M.A., Miroshnikov, V.V. (2010): Issledovanie protsessa pererabotki poluzhidkogo novoza v vysokokachestvennye organicheskie udobreniia (Study of processing semiliquid manure in high-quality organic fertilizer). Vestnik Agricultural Science of Don 3:15-19

Brandjes, P.J., de Wit, J., van der Meer, H.G., Van Keulen, H. (1996): Environmental Impact of Animal Manure Management, FAO Corporate Document Repository. <http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6113E/X6113E00.HTM>. Accessed 8 November 2013

Bulatov, A.P. & Kurdogljan, A.A. (2006): Razdoi korov: Teoriia i praktika (The milking of cows: theory and practice). Kurgan

Burton, C.H. & Turner, C. (2003): Manure management: Treatment strategies for sustainable agriculture. Editions Quae

Chien, S.H., Prochnow, L.I., Cantarella, H. (2009): Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts. Adv Agron 102:261–316. doi: 10.1016/S0065-2113(09)01008-6

Dalgaard, T., Hansen, B., Hasler, B., Hertel, O., Hutchings, N.J., Jacobsen, B.H., Jensen, L.S., Kronvang, B., Olesen, J.E., Schjørring, J.K., Kristensen, S., Graversgaard, M., Termansen, M., Vejre, H. (2014): Policies for agricultural nitrogen management - trends, challenges and prospects for improved efficiency in Denmark. Environ Res Lett 9(11):115002. doi: 10.1088/1748-9326/9/11/115002

Doody, D.G., Foy, R.H., Bailey, J.S., Matthews, D. (2012): Minimising nutrient transfers from poultry litter field heaps. Nutr Cycl Agroecosyst 92(1):79-90. doi: 10.1007/s10705-011-9473-x

Dämmgen, U., Lüttich, M., Haenel, H.D., Döhler, H., Eurich-Menden, B., Osterburg, B. (2007): Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) (Emissions from German Agriculture - National Emission Inventory Report), Landbauforschung Völkenrode special issue 304:9-243

European Commission (2002): Nitrogen Equivalents in Livestock Manure. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

European Commission (2009): Commission Regulation (EC) No 1200/2009 of 30 November 2009 implementing Regulation (EC) No 1166/2008 of the European Parliament and of the Council on farm structure surveys and the survey on agricultural production methods, as regards livestock unit coefficients and definitions of the characteristics, Official Journal of the European Union, L 329/1, 15.12.2009, Luxemburg

Fellmann, T., Nekhay, O., M'barek, R. (2013): The agri-food sector in Russia: Current situation and market outlook until 2025. Publications Office

Franzluebbers, A.J., Stuedemann, J.A., Schomberg, H.H., Wilkinson, S.R. (2000): Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. *Soil Biol Bioch* 32(4):469-478

Government of the Russian Federation (2015): Postanovleniye Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 12 iyunia 2003 g. N 344 O normativakh platy za vybrosy v atmosfernyy vozdukh zagriazniayushchikh veshchestv stacionarnymi i peredvizhnymi istochnikami, sbrosy zagriazniayushchikh veshchestv v poverkhnostnye i podzemnye vodnye obieekty, razmeshchenie otkhodov proizvodstva i potrebleniia. (Resolution of the Government of the Russian Federation of 12 June 2003 No 344 On rates of charges for air emissions of pollutants from stationary and mobile sources, discharges of pollutants into surface and underground water, waste disposal and consumption.) <http://government.ru/docs/all/45636/>. Accessed 12 August 2015

Hutchings, N.J., Nielsen, O.K., Dalgaard, T., Mikkelsen, M. H., Børgesen, C.D., Thomsen, M., Ellermann, E., Højberg, A.L., Mogensen, L., Winther, M. (2014): A nitrogen budget for Denmark; developments between 1990 and 2010, and prospects for the future. *Environ Res Lett* 9(11):115012. doi: 10.1088/1748-9326/9/11/115012

ICAO (2013): International Civil Aviation Organization. Transliteration of the names in Russian. passports.http://enc.tfode.com/Transliteration_from_Russian_into_English#Scientific_transliteration. Accessed 20 August 2015

IPCC (2006): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Eggleston S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K (eds). Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan

Karetin, L.N. (1990): Pochvy Tiumenskoi oblasti (Soils in Tiumen oblast). Nauka, Novosibirsk

Kimura, S.D., Mishima, S.I., Yagi, K. (2011): Carbon resources of residue and manure in Japanese farmland soils. *Nutr Cycl Agroecosyst* 89(2):291-302. doi: 10.1007/s10705-010-9394-0

Kosolapov, V.M., Trofimov, I.A., Trofimova, L.S., Yakovleva, E.P. (2010): Landscape Management for Increasing Productivity and Sustainability of Russia's Agricultural Land. *Russian Agricultural Sciences* 36(2):115-118. doi: 10.3103/S1068367410020114

Kurganova, I., de Gerenyu, V.L., Kuzyakov, Y. (2015): Large-scale carbon sequestration in post-agrogenic ecosystems in Russia and Kazakhstan. *CATENA*. doi: 10.1016/j.catena.2015.06.002

LWK (2009): Lower Saxony Chamber of Agriculture, Germany. Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere je Stallplatz und Jahr (Nutrient excretion rates of farm animals per stable space and year) Date of issue: 10.07.2009. <http://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/196,78663bd7-237d-eebf-5e6f095916f0ca16~pdf.html>. Accessed 11 June 2013

Manna, M.C., Swarup, A., Wanjari, R.H., Ravankar, H.N., Mishra, B., Saha, M.N., Singh, Y.V., Sahi, P.A., Sarap, P.A. (2005): Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India. *Field Crop Res* 93(2):264-280. doi: 10.1016/j.fcr.2004.10.006

Materechera, S.A. (2010): Utilization and management practices of animal manure for replenishing soil fertility among smallscale crop farmers in semi-arid farming districts of the North West Province, South Africa. *Nutr Cycl Agroecosyst* 87(3):415-428. doi: 10.1007/s10705-010-9347-7

Menova, N.F., Saraeva, L.O., Serkova, N.N. (2008): Itogi vserossiyskoy selskokhoziaystvennoy perepisi 2006 goda (Results of the All-Russian Agricultural Census 2006). State Statistical Office of the Tiumen oblast. Tiumen

Nenaidenko, G.N., Beliaeva, D.K. (2015): Organicheskie udobreniia kak odno iz uslovii obespechniia prodovolstvennogo importzameshcheniia v Ivanovskoi oblasti (Organic fertilizer as a requirement of food import substitution in Ivanov oblast). *Modern Technology Science. Regional Attachment* 1(41): 121-128

Otabbong, E., Arkhipchenko, I., Orlova, O., Barbolina, I., Shubaeva, M. (2007): Impact of piggery slurry lagoon on the environment: A study of groundwater and river Igolinka at the Vostochnii Pig Farm, St. Petersburg, Russia. *Acta Agric Scand Sect B — Soil Plant Sci* 57(1):74-81. doi: 10.1080/09064710600933228

Parham, J.A., Deng, S.P., Da, H.N., Sun, H.Y., Raun, W.R. (2003): Long-term cattle manure application in soil. II. Effect on soil microbial populations and community structure. *Biol Fertil Soils* 38(4):209-215. doi: 10.1007/s00374-002-0476-2

Peacock, A.G., Mullen, M.D., Ringelberg, D.B., Tyler, D.D., Hedrick, D.B., Gale, P.M., White, D.C. (2001): Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. *Soil Biol Biochem* 33(7):1011-1019

Pötsch E, M. & Gruber, L. (2006): Neukalkulation der Wirtschaftsdüngeranfallsmengen und Nährstoffausscheidungen (Recalculation of manure volume and nutrient excretions) 12. Alpine Expert Advisory Forum, Report of the Higher Federal Teaching and Research Institute Raumberg-Gumpenstein, Austria

Prishchepov, A.V., Müller, D., Dubinin, M., Baumann, M., Radeloff, V.C. (2013): Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia. *Land Use Policy* 30:873-884. doi: 10.1016/j.landusepol.2012.06.011

ROSREESTR (2012): Doklad o sostoianii i ispolzovanii zemel v Tiumenskoj oblasti v 2011 godu. (Report on the state of property and the land use in the Tiumen oblast in the 2011.) Federal Service of State Registration, Cadastre and Cartography of the Tiumen oblast. <http://www.to72.rosreestr.ru/>. Accessed 20 July 2013

ROSSTAT (2013): Agricultural indicators of Tiumen oblast. Russian Federal State Statistics Service. <http://www.gks.ru>. Accessed 14 April 2013

Schierhorn, F., Müller, D., Prishchepov, A.V., Faramarzi, M., Balmann, A. (2014): The potential of Russia to increase its wheat production through cropland expansion and intensification. *Global Food Security* 3(3):133-141. doi: 10.1016/j.gfs.2014.10.007

Schlegel, A.J., Assefa, Y., Bond, H.D., Wetter, S.M., Stone, L.R. (2015): Soil Physicochemical Properties after 10 Years of Animal Waste Application. *Soil Sci Soc Am J* 79(3):711-719. doi:10.2136/sssaj2014.11.0461

Shah, G.M., Groot, J.C.J., Oenema, O., Lantinga, E.A. (2012): Covered storage reduces losses and improves crop utilisation of nitrogen from solid cattle manure. *Nutr Cycl Agroecosyst* 94(2-3):299-312. doi: 10.1007/s10705-012-9543-8

Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., Fixen, P.E. (2009): Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agr Ecosyst Environ* 133:247-266

Steinwigger, A. & Guggenberger, T. (2003): Erhebungen zur Futteraufnahme und Nährstoffversorgung von Milchkühen sowie Nährstoffbilanzierung auf Grünlandbetrieben in Österreich (Sur-

veys on feed intake and nutrient supply and nutrient accounting of dairy cows on grassland farms in Austria). *Die Bodenkultur* 54 (1):49-66

Voigt, P. & Uvarovsky, V. (2001): Developments in productivity and efficiency in Russia's agriculture: The transition period. *Quarterly Journal of International Agriculture* 40(1):45-66

Vrazhnov, A.V., Kushnirenko, u.D., Bragin, V.N., Iumashev, h.S. (2008): Organicheskie udobreniia i praktika ikh primeneniia v Cheliabinskoi oblasti (Organic fertilizer and practice of its application in Cheliabinsk oblast. *Agricultural Vestnik Ural* 9(51):50-54

Whitehead, D.C. (2000): *Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships*. Cabi.

Wortmann, C.S. & Shapiro, C.A. (2008): The effects of manure application on soil aggregation. *Nutr Cycl Agroecosyst* 80(2):173-180. doi: 10.1007/s10705-007-9130-6

Zebarth, B.J., Hii, B., Liebscher, H., Chipperfield, K., Paul, J.W., Grove, G., Szeto, S.Y. (1998): Agricultural land use practices and nitrate contamination in the Abbotsford Aquifer, British Columbia, Canada. *Agr Ecosyst Environ* 69(2):99-112. doi: 10.1016/S0167-8809(98)00100-5

5.3 GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM LIVESTOCK MANURE MANAGEMENT IN SOUTHWESTERN SIBERIA, RUSSIA

Maria Störrle¹, Hans-Jörg Brauckmann¹ & Gabriele Broll¹

¹Institute of Geography, University of Osnabrück, Seminarstraße 19 a/b, 49074 Osnabrück, Germany

Accepted: January 14, 2017

Published: Sustainable Agriculture Research 6 (2), 66-80

©2017 Canadian Center of Science and Education

Autorenbeiträge

Maria Störrle: Erstellung des Manuskripts

Hans-Jörg Brauckmann: Wissenschaftliche Beratung bei der Erstellung des Manuskripts, Unterstützung bei Betriebsbesichtigungen

Gabriele Broll: Wissenschaftliche Beratung bei der Erstellung des Manuskripts, Unterstützung bei Betriebsbesichtigungen

Abstract

This study investigates the amounts of greenhouse gas (GHG) emissions due to manure handling within different livestock production systems in Tyumen oblast of Western Siberia. Tyumen oblast occupies approx. 160 000 km² of Asian taiga and forest steppe. The amount of GHGs from manure was calculated as a function of the handling according to current IPCC guidelines for ecozones and livestock production systems. The entire Tyumen oblast has annual 7 400 t methane emissions and 440 t nitrous oxide emissions from manure. Three livestock production systems are prevalent in Tyumen oblast: Mega farms, small farms and peasant farms. The share of mega farms is 81 % (171 kt CO₂ eq). Additionally, the slurry system in mega farms causes environmental pollution. GHG emissions and environmental pollution could be reduced by implementing solid manure systems or pasturing, by installing storage facilities for slurry outside the stables and through application of the manure as fertiliser at mega farms. In small farms solid manure systems and a small stocking density of livestock lead to smallest GHG emissions (1 %, 3 kt CO₂ eq) from manure. In peasant farming 18 % (38 kt CO₂ eq) of GHGs are emitted due to pasturing.

Keywords: GHG emissions from manure, livestock production system, manure management

1. Introduction

The Tyumen oblast in southwestern Siberia is an administrative area with approx. 160 000 km². The region is of global importance for CO₂ storage, biodiversity, and food production due to the extensive prevalence of organic soils and fertile soils such as Chernozems and Phaeozems. The livestock sector is characterized by different production systems. Large producers with modern equipment produce livestock products for local and national market. About 50 % of the livestock products are being produced by peasants for the local market.

The interdisciplinary joint project SASCHA “Sustainable land management and adaptation strategies to climate change for the Western Siberian Grain Belt” investigates the impacts of agricultural land-use change on ecosystem services and biodiversity in Tyumen oblast (Václavík et al., 2016). A sub-project investigates the residual potential for the agricultural by-products as well as their environmental and climate impact, especially greenhouse gas (GHG) emissions from livestock manure in Tyumen oblast.

An increase in agricultural production is expected in Tyumen oblast. Climate change in northern regions, programmes of local agriculture policy, growing population and re-cultivation of aban-

donment land in Tyumen oblast are drivers for agricultural expansion or intensification in Tyumen oblast (Frey, & Smith, 2003; Shulgina, Genina, & Gordov, 2011; Degefie et al., 2014; Kühling, Griewald, Broll, & Trautz, 2015; Stupak, 2017). An increase in agricultural production needs a holistic view for sustainable development. Until now, climate change issues in agriculture are barely effectively addressed by the state regulation and governmental programmes in Tyumen oblast (Stupak, 2017).

Globally, GHG emissions from agriculture, forestry and other land use account for 24 % (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2016). According Tubiello et al. (2015), the GHG emissions from crop and livestock production make up about 11 %, while O'Mara (2011) calculated for the livestock sector 8 % to 10.8 % of total global GHG emissions. Manure left on pastures and manure management account for 11 % and 7 %, respectively of GHG emissions from agriculture in Asia (FAO, 2016). O'Mara (2011) calculated 12 million tonnes of CH₄ and 28 million tonnes of N₂O emissions from manure for post-Soviet states.

In addition to the GHG emissions, manure can lead to several other environmental impacts if improperly handled, such as over-fertilisation, water pollution, and air pollution due to NH₃ (Sharpley et al., 1997; Beckwith, Cooper, Smith, & Shepherd, 1998; Otabbong, Arkhipchenko, Orlova, Barbolina, & Shubaeva, 2007; McGinn, & Sommer, 2007; Leet et al., 2012). A lack of manure storage facilities is the main cause of environmental pollution due to livestock in Russia (Bondarenko, Miroshnikov, & Miroshnikov, 2010).

Cropland is primarily farmed by mega farms in the Tyumen oblast (Russian Federal State Statistics Service [ROSSTAT], 2013; Kühling, Broll, & Trautz, 2016). These agricultural fields show a constant decrease in soil organic carbon (SOC) content and a deterioration of the soil structure (Eremin, 2012; Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography [ROSREESTR], 2012; Abramov, 2013; Störrle, Hagedorn, Yurtaev, Brauckmann, & Broll, 2016). The percentage of cropland that is organically fertilised is very low (2 %) (ROSSTAT, 2013; Störrle, Brauckmann, & Broll, 2015). The nutrients in the livestock manure from the mega farms in the Tyumen oblast could supply 23 % of the cropland from the mega farms sufficiently with nutrients.

This fertiliser potential is not utilised, because transporting the manure is considered unprofitable by the farmers. The manure is spread upon the bare fallows in great amounts, up to 300 t per hectare and year. Moreover, illegal disposal of the manure in agriculture is prevalent (Störrle et al., 2015). These practices squander the potential of the livestock manure as fertiliser and pollute the environment.

The amount of GHG emissions from manure is dependent upon livestock production system (Jungbluth, Hartung, & Brose, 2001; Monteny, Groenestein, & Hilhorst, 2001; Sneath, Beline, Hilhorst, & Peu, 2006; van der Meer, 2008; O`Mara, 2011; Fukumoto, Suzuki, Waki, & Yasuda, 2015; Owen, & Silver, 2015). The manure handling system influences the water and oxygen budget in the manure. Whereas slurry systems primarily produce CH₄, solid manure systems produce both CH₄ and N₂O (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2006).

The results of this study on GHG emissions and the environmental impact of manure handling systems serve as the basis for recommendations for the business and politics, to decrease GHG emissions from agriculture as well as to reduce the environmental impact due to incorrect manure handling systems. Moreover, the results can combat the ongoing soil degradation through rational use of manure as an organic fertiliser.

The following objectives were formulated from these goals:

1. What is the amount of GHGs produced by manure management in agroecosystems in Tyumen oblast?
2. Which portion of the GHG emissions is produced by the manure management of different livestock production system?
3. How can the GHG emissions be reduced by sustainable livestock manure management?

2. Study area

2.1 Ecozones and land use

The Tyumen oblast is located in the Western Siberian Grain Belt of the Russian Federation (Figure 1). Continental climate, flat relief, and high occurrence of peatland and also fertile mineral soils are typical for this region. The area of the Tyumen oblast occupies approximately 160 000 km² of the Western Siberian plain. Its administrative centre is the city of Tyumen (Figure 1). There are twenty-two districts in the Tyumen oblast (ROSREESTR, 2012).

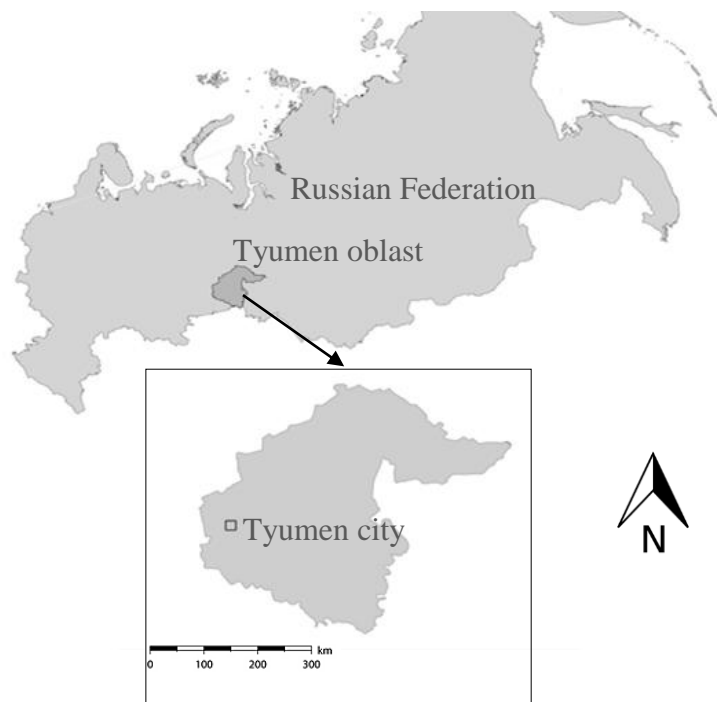


Figure 1. Map of Russian Federation and location of the Tyumen oblast

The land-use intensity is strongly influenced by the climate and soil conditions. There is a clear north-south-gradient recognizable in the land-use intensity in the Tyumen oblast (Kühling et al., 2016). The vegetation period is 106 days in the northernmost districts and 130 days in the southernmost one. The northern region of the oblast has a mean annual precipitation of 454 mm. In the south, it is lower - 330 mm (Agro-climatic Resources in the Tyumen oblast, 1972, cited in Karetin, 1990).

The Tyumen oblast has two vegetation zones: taiga and forest steppe. The taiga is further divided into the southern taiga and the sub-taiga. The forest steppe is also divided into the northern and southern forest steppe (Figure 2).

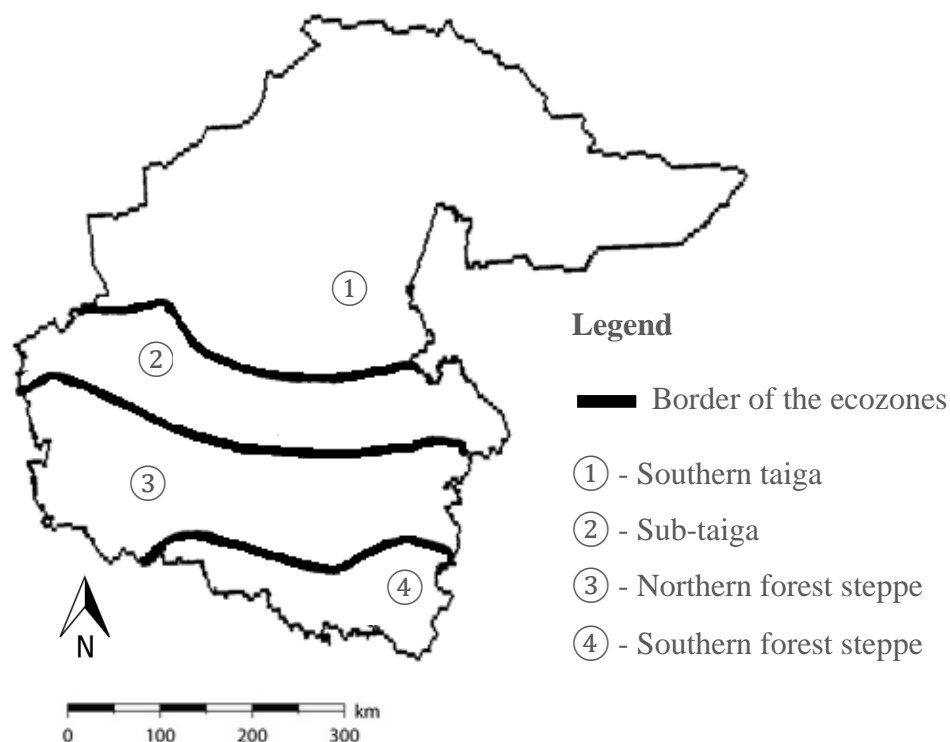


Figure 2. Ecozones of the Tyumen oblast (Karetin, 1990)

The southern taiga also covers part of the northern half of the Tyumen oblast and covers 57 % of the oblast (9.1 million ha). Due to the widespread distribution of Histosols in conjunction with poor agro-climatic conditions, arable farming only plays a minor role: about 16 000 ha arable land. The livestock density is low: 0.05 livestock units (LSU) per ha⁻¹ (Table 1).

Along the southern border of the southern taiga, the sub-taiga follows with a width of 60-80 km. The area of the sub-taiga in the Tyumen oblast is 15 % (2.4 million ha). Forests cover 52 % of the sub-taiga. The livestock density is 0.08 LSU ha⁻¹ and cropland covers to approx. 138 000 ha.

The area of the wetlands is approx. 11 % in the northern forest steppe. There are large stands of *Betula* or *Betula-Populus* forests that grow on Albic Luvisols. *Pinus* forests grow mainly on Podzols. Towards the south there are copses and groves and there are farms on fertile soils, such as Chernozems and Luvisols (Karetin, 1990). The highest livestock density (0.20 LSU ha⁻¹ and year) of the entire Tyumen oblast (Table 1) is found here. Moreover, grassland and arable land have the highest land-use intensity in this area (Kühling et al., 2016).

The southern forest steppe is in the south of the Tyumen oblast and has an area of 1.3 million ha, which is 8 % of the oblast. The landscape is characterised by grassland vegetation with scattered groves. Hydromorphic soils cover 15 % of the area. Salt influenced soils such as Solonchaks and

Solonetz occur (Karetin, 1990). The livestock density is 0.06 LSU ha⁻¹ and the area of arable land is approx. 152 000 ha (Table 1).

Table 1. Livestock units per hectare agricultural area¹, agricultural area and arable land within livestock production systems and ecozones of Tyumen oblast

Ecozones	LSU ha ⁻¹	Agricultural area ¹ (ha)	Arable land (ha)		
			Peasant farms	Small farms	Mega farms
Southern taiga	0.05	290 700	2 681	2 682	11 179
Sub-taiga	0.08	786 200	8 367	20 610	109 087
Northern forest steppe	0.20	1 598 400	11 055	64 530	351 525
Southern forest-steppe	0.06	708 000	3 332	30 351	118 317
Total		3 383 300	25 435	118 173	590 108

Source: European Commission, 2009; ROSREESTR, 2012; ROSSTAT, 2013.

Note. LSU=Livestock units.

¹orchards area, arable land, abandoned land and grassland

2.2 Characterisation of livestock production systems and stocks

Three types of livestock production systems are prevalent in the Tyumen oblast: Peasant farms, small farms and mega farms.

1. The smallest kind of livestock production systems is peasant farming. Peasant farms have on average 20 animals and 5 ha arable land.

2. Small farms include individual companies and farmer associations. The small farms keep approx. 100 animals and have on an average 100 ha of arable land.

3. Mega farms are characterised through large stocks of animals: On average there are 1 000 cattle and/or pigs or up to 3 million poultry at one production site. The main part of arable land (75 %) belongs to mega farms in the Tyumen oblast (Table 1). One third of the mega farms operate as mixed farms with crop and livestock production (ROSSTAT, 2013).

Livestock population in ecozones increases with the climate gradient towards the south in peasant farms as well as in mega farms (Table 2). Moreover, the livestock units per hectare and the extent of arable land are higher in the forest steppe than in taiga (Table 1). Another factor for the regional concentration of livestock producers in the northern forest steppe is the geographical proximity to the sales market in Tyumen city, where 49 % of the population of Tyumen oblast live (ROSSTAT, 2016).

Table 2. Livestock population within livestock production systems and ecozones of Tyumen oblast in the year 2011

Ecozones	Livestock species (head)				
	Cattle	Swine	Horses	Sheep & goats	Poultry
	Peasant farms				
Southern taiga	11 761	6 441	1 961	11 524	24 235
Sub-taiga	20 412	33 879	2 942	28 447	114 317
Northern forest steppe	56 979	89 528	6 841	57 203	266 088
Southern forest steppe	20 790	25 107	2 352	22 724	108 743
	Small farms				
Southern taiga	544	55	67	135	106
Sub-taiga	5 320	1 140	322	337	503
Northern forest steppe	4 442	2 255	179	1 920	3 237
Southern forest steppe	956	16	0	20	15
	Mega farms				
Southern taiga	4 680	1 013	240	1 939	0
Sub-taiga	27 798	2 200	724	2 667	0
Northern forest steppe	83 645	163 550	1 696	771	7 597 393
Southern forest steppe	19 064	282	546	290	0
Total	256 391	325 466	17 870	127 977	8 114 637

Source: ROSSTAT, 2013

The highest portion of livestock products is produced in mega farms (Figure 3). The second largest livestock production system is peasant farming. The larger part of the livestock is kept by the peasants, with the exception of poultry. The majority of poultry farming (94 %) in the entire oblast is concentrated in five mega farms. Three factory poultry producers are located in the vicinity of Tyumen city in the northern forest steppe (Störrle et al., 2015).

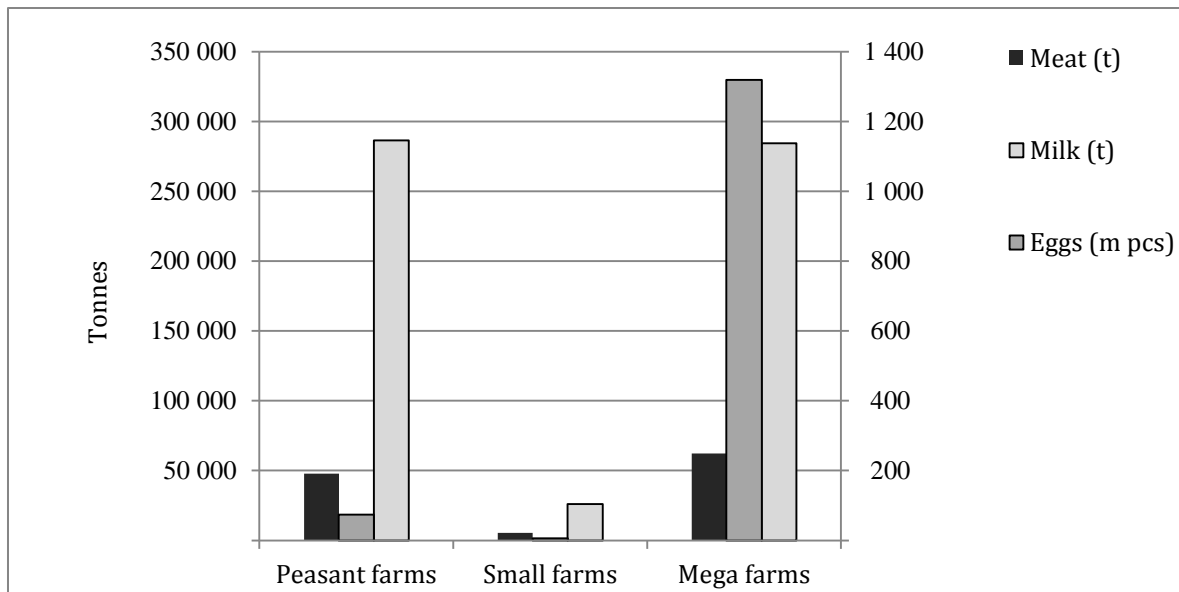


Figure 3. Output of livestock products in the three types of livestock production systems in Tyumen oblast in 2011 (ROSSTAT, 2013)

3. Methods

3.1 Manure handling assessment

Information about the manure handling was obtained from farm visits and interviews of eight mega farm managers. All major mega farms were surveyed across the Tyumen oblast in 2012 and 2013. Three poultry mega farms, three cattle mega farms, and two swine mega farms, as well as five small farms and twenty peasant farms were visited and interviewed in five districts of the Tyumen oblast. Information about environmental damage due to manure handling on mega farms was obtained from the state environmental reports from 2011 (Administration of Tyumen oblast, 2012; ROSREESTR, 2012).

3.2 Calculation of the GHG emissions from manure

3.2.1 Methods and data selection

The calculations were carried out in accordance to the guidelines published by the Intergovernmental Panel on Climate Change in “Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” chapter 10 – “Emissions from Livestock and Manure Management”. The methane and nitrous oxide emissions from manure were calculated with the Tier 2 method (IPCC, 2006).

The calculation of the GHG emissions from manure is based on the livestock numbers from the Tyumen oblast at the district level from the Russian Federal State Statistics Service from 2011 (ROSSTAT, 2013). The following livestock categories were taken into consideration in the calculations: dairy cows, other cattle, sheep / goats, swine, horses, and poultry. For poultry, a distinction is made according to production-specific manure types. Data on the husbandry systems and manure handling systems of the large poultry producers were collected during the visits at the farms.

The calculations were differentiated according to the three different livestock production systems: (1) Peasant farms (2) Small farms and (3) Mega farms. The emission factors for slurry storage were used in the calculations for the mega farms. It was assumed that the small farms use solid manure system. The calculation factors for pasturing were used in the calculation for the livestock on the peasant farms.

3.2.2 Methane emissions

The methane emission factors were calculated according the Tier 2 method. The calculated emission factors (EF) take the different storage systems in the three production system types into account (Table 3).

The calculation factors are based on information from North America, because no well-fitting calculation factors are provided for Siberian climate conditions (IPCC, 2006). The suggested EF for dairy cows in the Tier 1 method from IPCC (2006) for Asia under cold climate is 9 kg CH₄ head⁻¹ and year⁻¹. The suggested EF for dairy cows in the Tier 1 method from IPCC (2006) for North America is 48 kg CH₄ head⁻¹ and year⁻¹. To validate the North American values, regional data from the dairy cow feeding experiment by Bulatov and Kurdoglyan (2006) were used. The share of the organic volatile solids (VS) in the manure was calculated with local values for the dairy cows. The share of volatile solids for dairy cows in the Tyumen oblast is 4.9 kg head⁻¹ day⁻¹. The IPCC (2006) guidelines list a VS value of 5.4 kg head⁻¹ day⁻¹ for North America. Using Russian data, the calculated EF for dairy cows in mega farms is 48.89 kg CH₄ head⁻¹ and year⁻¹.

Table 3. Methane emission factors calculated according to the Tier 2 method for different production systems in the Tyumen oblast

Livestock category	Peasant farms	Small farms	Mega farms
Dairy cow	2.87	5.75	48.89
Other cattle	1.11	2.23	18.95
Swine	0.59	1.17	9.97
Sheep	0.1	0.19	0.19
Layer (dry)	-	-	0.03
Layer (wet)	-	-	1.12
Broiler	0.01	0.02	0.02

Source: IPCC, 2006

3.2.3 Nitrous oxide emissions

The N₂O emission factors from manure for each livestock category and production system were calculated with the Tier 2 Method from the IPCC (2006). The values for nitrogen contents from the manure, which were necessary for the calculations, were obtained from the study on nutrient supply from manure in the Tyumen oblast (Störrle et al., 2015), where the nutrient contents were calculated according to the guidelines of the Lower Saxony Chamber of Agriculture, Germany [LWK] (2009). Additionally, an adaption of nutrient contents in cattle manure due to low milk yields was carried out. Validation of calculated nutrient contents was carried out with data from lab analysis.

The N₂O emission factors for pasturing for the peasant farms were taken from the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, chapter 11 “N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application” (IPCC, 2006). The emission factors for N₂O are listed in Table 4.

Table 4. Nitrous oxide emission factors for the Tier 2 method for different production systems in the Tyumen oblast

Livestock category	Peasant farms	Small farms	Mega farms
Dairy cows	0.02	0.005	0.005
Other cattle	0.02	0.005	0.005
Swine	0.02	0.005	0.005
Sheep	0.01	0.005	0.005
Layer (dry)	0.02	-	0.005
Layer (wet)	0.02	-	0.001
Broiler	0.02	0.001	0.001
Horses	0.01	0.005	0.005

Source: IPCC, 2006; LWK, 2009

3.2.4 CO₂ – Equivalentents

To determine the CO₂ equivalentents, the values for the global warming potential (GWP) and global temperature change potential (GTP) were multiplied with CH₄ and N₂O emissions and are listed in Table 5.

Table 5: Global warming potential and global temperature change potential values for a 100 year time horizon

Greenhouse gas	GWP ₁₀₀	GTP ₁₀₀
CH ₄	34	11
N ₂ O	298	297

Source: IPCC, 2013

Note. GWP=global warming potential, GTP=global temperature change potential.

4. Results

4.1 Manure handling systems

On peasant farms, cattle, horses, sheep and goats graze with low intensity on pastures or abandoned fields during the growing season. During winter, solid manure is stored in piles. Later, it is distributed on their own arable fields or it is given away to garden owners. Most of the small farmers use solid manure systems. This manure is spread on their own arable fields. On mega farms, solid manure is produced in broilers, in horse farms, in sheep and goat farms. Two poultry mega farms process poultry manure into dry chicken manure. Moreover on mega farms, slurry is produced in cattle farms, in swine farms and partly in poultry farms. Slurry is stored in open lagoons without sealing the ground. It is applied only after it has been thickened due to evaporation and percolation and only on fields near the farms. Nowadays, a transport of solid manure and slurry even within short distances of a few kilometres is considered unprofitable. The most important limiting factor is the high diesel price.

Spring or fall fertilisation with manure is not possible due to the short growing season. Therefore, it is common to apply the manure on the bare fallows of the mega farms. The application rates are very high – up to 300 t ha⁻¹. Illegal disposal of manure in the landscape is also common (Störrle et al., 2015).

4.2 GHG emissions

Slurry management in the mega farms annually produces ca. 7 000 t methane, which is 95 % of the entire methane emissions from manure in the Tyumen oblast. The peasant farms produce 320 t and the small farms 47 t methane annually. 74 % of the methane emissions occur in the northern forest steppe (Table 6).

Table 6. Annual methane emissions from manure in ecozones and livestock production systems in the Tyumen oblast

Ecozones	Peasant farms	Small farms	Mega farms
		CH ₄ (%)	
Southern taiga	0.39	0.03	2.13
Sub-taiga	0.86	0.29	11.66
Northern forest steppe	2.30	0.27	73.69
Southern forest steppe	0.78	0.05	7.83
Total	4.35	0.35	95.31
		CH ₄ (t a ⁻¹)	
Southern taiga	29.3	2.2	156.9
Sub-Taiga	63.7	21.4	860.8
Northern forest steppe	169.8	19.6	5,439.6
Southern forest steppe	57.9	3.5	577.9
Total	320.8	46.7	7 035.2

Source: IPCC, 2006; LWK, 2009; ROSSTAT, 2013

In comparison to the mega farms, pasturing by the animals from the peasant farms leads to high N₂O emissions (Table 7), an annual N₂O emission of 316 t, which is 72 % of the nitrous oxide emissions from manure. The mega farms produce 117 t N₂O (27 %). Through spreading the dry manure on the fields, the small farms annually produce 7 t N₂O.

Table 7. Annual nitrous oxide emissions from manure in ecozones and livestock production systems in the Tyumen oblast

Ecozones	Peasant farms	Small farms	Mega farms
		N ₂ O (%)	
Southern taiga	6.82	0.07	0.62
Sub-taiga	14.34	0.71	3.51
Northern forest steppe	37.31	0.67	20.12
Southern forest steppe	13.24	0.11	2.49
Total	71.71	1.56	26.73
		N ₂ O (t a ⁻¹)	
Southern Taiga	30.01	0.29	2.73
Sub-taiga	63.13	3.14	15.41
Northern forest steppe	164.22	2.96	88.53
Southern forest steppe	58.27	0.48	10.97
Total	315.63	6.86	117.65

Source: IPCC, 2006; LWK, 2009; ROSSTAT, 2013

Note. N₂O= nitrous oxide.

In 2011, approx. 7 400 t methane and 440 t nitrous oxide from manure were emitted in the Tyumen oblast. Methane emissions occurred mainly due to mega farms, whereas N₂O occurred mainly from the peasant farms. Annual CO₂ equivalents for a global temperature change potential (GTP) for a 100 year time horizon from manure are 211 kt for the entire oblast. CO₂ equivalents for the global warming potential (GWP), also for a 100 year time horizon, are 382 kt for the entire Tyumen oblast (Table 8).

Table 8. Annual emissions of CH₄, N₂O and CO₂ equivalents for global temperature change potential and global warming potential values for a time horizon of 100 years from livestock manure in ecozones in the Tyumen oblast

Ecozones	CH ₄ (t a ⁻¹)	N ₂ O (t a ⁻¹)	CO ₂ eq GTP ₁₀₀ (kt a ⁻¹)	CO ₂ eq GWP ₁₀₀ (kt a ⁻¹)
Southern taiga	188	31	12	15
Sub-taiga	946	82	34	57
Northern forest steppe	5 629	255	138	267
Southern forest steppe	639	70	27	43
Total	7 403	440	211	382

Source: IPCC, 2006; IPCC, 2013; LWK, 2009; ROSSTAT, 2013

Note. GWP=global warming potential, GTP=global temperature change potential.

The share from mega farms is 81 % of the GHG emissions (CO₂ eq GTP and GWP) from manure (Table 9). The smallest amount of CO₂ eq is produced by the small farms. Their share is only 1 %. The peasant farms produce 18 % of the GHG emissions from manure (CO₂ eq GTP and GWP) due to pasturing. Three largest poultry producers of Russia are located in the Tyumen oblast. The

share of GHG emissions from manure handling systems caused by the poultry producers is about 10 %. The largest share of GHG emissions from manure is caused by the cattle farms and is 60 % in Tyumen oblast.

Table 9. Annual CO₂ equivalents for global temperature change potential and global warming potential values for a 100 year time horizon from manure in ecozones and livestock production systems in the Tyumen oblast

Ecozones	Peasant farms	Small farms	Mega farms
	CO ₂ eq GTP ₁₀₀ (kt a ⁻¹)		
Southern taiga	1.13	0.11	10.64
Sub-taiga	5.28	1.17	28.22
Northern forest steppe	28.15	1.09	108.52
Southern forest steppe	3.90	0.18	23.66
Total	38.45	2.55	171.04
	CO ₂ eq GWP ₁₀₀ (kt a ⁻¹)		
Southern taiga	1.81	0.16	14.28
Sub-taiga	6.76	1.66	48.08
Northern forest steppe	32.10	1.55	233.62
Southern forest steppe	5.24	0.26	37.01
Total	45.91	3.63	332.99

Source: IPCC, 2006; IPCC, 2013; LWK, 2009; ROSSTAT, 2013

Note. GWP=global warming potential, GTP=global temperature change potential.

Average CO₂ equivalents per head for GTP and GWP can be used to compare the different production systems (Table 10). The dairy cows from the peasant farms produce higher CO₂ eq for GTP than from the mega farms: 1022 and 790 kg CO₂ eq (GTP), respectively. Clearly lower GHG emissions are produced in the small farms with 240 kg CO₂ eq (GTP) per dairy cow. With respect to CO₂ eq for GWP, dairy cows from peasant farms have lower emissions with a value of 1092 kg CO₂ eq in comparison to mega farms, in which a dairy cow contributes up to 1915 kg CO₂ eq to the total balance of the GHG emissions from manure. With respect to GWP, dairy cows from small farms also have the lowest CO₂ eq per head: 373 kg CO₂ eq. The category “other cattle” does not have significantly different GTP values for CO₂ eq per head: The peasant farms have 266 kg CO₂ eq and the mega farms have 295 kg CO₂ eq. The values for CO₂ eq for the small farms are clearly less with 119 kg CO₂ eq (GTP). With respect to the GWP values, the category “other cattle” from the mega farms has the highest emissions with 732 kg CO₂ eq.

In swine farming the CO₂ eq from peasant farms is 137 for GTP, and from mega farms it is 134 kg CO₂ eq per head. Due to the solid manure system used in the small farms, 45 kg CO₂ eq (GTP) are produced per swine. With respect to the GWP values in swine farming, the mega farms have highest values with 363 kg CO₂ eq per swine. The small farms have smallest GHG emissions from manure with 72 CO₂ eq per swine.

The higher N₂O emissions from the sheep and goat pasturing from the peasant farms cause the higher CO₂ eq for GTP with 70 and GWP with 73 CO₂ eq per head. In small farms and mega farms 37 (GTP) and 41 (GWP) CO₂ eq per head are produced respectively.

A comparison of the three manure types: solid manure, slurry and dry manure from poultry farming shows that the accumulation of naturally wet solid manure in broiler production in small, and mega farms is the climate friendly variant with 0.4 kg CO₂ eq (GTP) and 0.8 kg CO₂ eq (GWP) per stable place, whereas 13 kg (GTP) and 39 (GWP) kg CO₂ eq are produced annually per stable place in slurry lagoons in mega farms. Battery-cages, in which the chicken dung is dried on the belts, are also more climate friendly than slurry lagoons in mega farms (2.2 kg GTP and 2.9 kg GWP CO₂ eq).

Horse pasturing in peasant farms produces the highest CO₂ eq per head in the GTP (365 kg CO₂ eq) and GWP values (392 kg CO₂ eq). In small farms the GHG emissions are lower with 189 kg CO₂ eq (GTP) and 225 kg CO₂ eq (GWP). Horse farming in mega farms leads to lowest annually CO₂ equivalents per horse: 137 kg CO₂ eq (GTP) and 173 kg CO₂ eq (GWP).

Table 10. Annual average CO₂ equivalents per head for GTP and GWP in the different production systems in the Tyumen oblast

Livestock category	Peasant farms	Small farms	Mega farms
	CO ₂ eq GTP ₁₀₀ (kg head ⁻¹ a ⁻¹)		
Dairy cow	1 022	240	790
Other cattle	266	119	295
Swine	137	45	134
Sheep / Goat	70	37	37
Layer (dry)	--	--	2.2
Layer (wet)	--	--	13
Broiler	3.1	0.4	0.4
Horse	365	189	137
	CO ₂ eq GWP ₁₀₀ (kg head ⁻¹ a ⁻¹)		
Dairy cow	1 092	373	1 915
Other cattle	292	171	732
Swine	151	72	363
Sheep / Goat	73	41	41
Layer (dry)	--	--	2.9
Layer (wet)	--	--	39
Broiler	3.4	0.8	0.8
Horse	392	225	173

Source: IPCC, 2006; IPCC, 2013; LWK, 2009; ROSSTAT; 2013

Note. GWP=global warming potential, GTP=global temperature change potential.

5. Discussion

5.1 Influence of livestock production systems on GHG emissions and environment

In the Tyumen oblast a clear difference can be seen in the amount of GHG emissions due to the manure handling systems in the three production systems: mega farms, small farms and peasant farms. The number of livestock and the manure handling system in the respective production system have an influence upon the amount of GHG emissions. The differences in CO₂ eq per head are not significantly different in peasants and mega farms (Table 10). The difference of higher GHG emissions from mega farms can be explained through the difference in livestock populations in comparison to peasants. Mega farms have higher cattle stocks and swine's stocks than peasants. The peasants have higher numbers of horses and sheep / goats (Table 2). Responsible for the higher GHG emissions at mega farms is the category "dairy cow" with significantly higher CO₂ eq emissions than horses and sheep / goats (Table 10). Additionally, higher GHG emissions in mega farms caused by the three large poultry producers, which kept 95 % of poultry stock in Tyumen Oblast (Table 2).

It is a known problem that in mega farms, the use of livestock manure without targeted management leads to environmental pollution and waste of the fertilization potential (Moore, Daniel, Sharpley, & Wood, 1995; DeLuca, & DeLuca, 1997; Jongbloed, & Lenis, 1998; Otabbong et al., 2007). Also in Tyumen oblast manure handling at mega farms leads to environmental pollution. Highest environmental pollution is reported for the three large poultry producers in Tyumen oblast. Increased levels of nitrite, bromine, barium, lead and sodium in groundwater have been measured by state investigations on agricultural areas of the poultry producers in Tyumen oblast (Administration of Tyumen Oblast, 2012).

In large-scale livestock farming, cattle and swine year-round indoor stabling requires manure storage capacities that are usually not available in Russia or in the Tyumen oblast (Bondarenko et al., 2010; Störrle et al., 2015). Slurry lagoons, which in practice represent large earth holes, lead to pollutant emissions. Manure disposal onto bare fallows or forests, in which several tonnes of manure are applied at single points, or pumping slurry into a hole in the ground near the stable lead to negative environmental impacts in the Tyumen oblast (Administration of Tyumen Oblast, 2012; Störrle et al., 2015). At the same time, these methods can lead to a reduction in the methane emissions under Siberian climate. Methane emissions sink under cold outside temperatures (Husted, 1994; Sommer, Petersen, & Møller, 2004).

The environment is not polluted in small farms and peasants and the farmyard manure is used appropriately (Jarvis, 1993; Devendra, & Thomas, 2002; Rufino et al., 2007). Inadequate manure handling cannot be detected on peasant farms and small farms in Tyumen oblast.

5.2 Recommendations for the reduction of GHG emissions

The production systems have a clear impact upon the amount of GHG's emitted from manure. Solid manure system on the small farms leads to lowest GHG emissions from manure handling systems (Table 10). Converting the mega farm manure handling system from slurry to solid manure would reduce the annual GHG emissions by two thirds.

Since neither mega nor small farms have closed storage facilities for manure in the Tyumen oblast, the manure is also taken outside in the winter. Some mega farms spread the manure on bare fallow the entire year. In other cases, manure is illegally disposed of on open unused areas. Mega farms also have widespread open slurry lagoons. These practices lead to a natural reduction of the methane emissions. Since methane generation is dependent upon the temperature, cooling slurry is an option for reducing methane emissions (Husted, 1994; Sommer et al., 2004). However, this procedure leads to negative environmental impacts due to nitrate leaching and ammonia emissions (De Bode, 1991; Otabbong et al., 2007). Furthermore, this also squanders the fertilisation potential that livestock manure provides. Setting up closed storage facilities for manure or slurry of the stable would avoid the negative environmental impacts. An additional utilisation of such storage would also be biogas production.

Kühling et al. (2015) recommends for Western Siberian regions low intensity land-based cattle farming by mega farms with obligatory summer grazing and hay production. This measure would reduce slurry amounts and enhance biodiversity. Because ancient and ex-arable grasslands are important for biodiversity conservation in this region (Mathar et al., 2016; Kämpf, Mathar, Kuzmin, Hölzel, & Kiehl, 2016; Weking, Kämpf, Mathar, & Hölzel, 2016). Furthermore, nutrients in manure could be applied back to soil without transportation costs for the manure. On pastures that are used at low intensity, livestock excrements contribute to SOC enrichment and improvement of aggregate stability (Franzluebbers, Stuedemann, Schomberg, & Wilkonson, 2000; Whitehead, 2000; Wortmann, & Shiparo, 2008).

There are several technical methods that are recommended by FAO (Hristov et al., 2013), to reduce GHG emissions from manure. Examples of these methods are dietary manipulation and nutrient balance: reduced dietary protein, high fibre diets and reduced grazing intensity. There are also methods for direct manure treatment that can be applied. Among these are anaerobic digestion, solids separation, aeration and manure acidification, nitrification inhibitor and urease

inhibitor. Furthermore, various manure storage methods also reduce GHG's: decreased storage time, storage cover with straw, natural or induced crust, aeration during slurry storage, composting, litter stacking and storage temperature regulation (Hristov et al., 2013, Hothan, Brauckmann, & Broll, 2013).

Presently none of these methods are being applied in the Tyumen oblast, excepting isolated cases of solids separation. Nor is any research being carried out on this topic. These methods should be investigated in scientific tests to determine the local suitability. Moreover, possible interactions when applying these methods need to be scientifically investigated, to determine, e.g., if the methods have a negative impact on the productivity of the livestock or if they possibly influence the soil micro-organisms.

6. Conclusions

In Tyumen oblast, 7 400 t methane and 440 t nitrous oxide are emitted annually from manure handling. That equates to about 211 kt CO₂ eq for global temperature change potential (GTP) for a 100 year time horizon. In the taiga 46 kt CO₂ eq (GTP) are emitted annually and in the forest steppe 165 kt CO₂ eq (GTP).

With 81 %, mega farms have the highest share of GHG emissions from manure handling with 171 kt CO₂ eq (GTP) annually in Tyumen oblast. Additionally, the slurry system in mega farms causes environmental pollution. GHG emissions from small farms account for annually 1 % (2.6 kt CO₂ eq) of total GHG emissions from manure handling. The share of peasant farms in GHG emissions from manure handling is 18 % with 38 kt CO₂ eq annually.

GHG emissions and environmental pollution could be reduced by implementing solid manure systems or low-intensity pasturing, by installing storage facilities outside the stables and through application of the manure as fertiliser. GHG emissions at small farms are lower due to solid manure system. Manure usage in small farming cycles would enhance SOC sequestration and biodiversity.

Acknowledgements

This work was conducted as part of the project SASCHA ('Sustainable land management and Adaptation strategies to climate change for the Western Siberian Grain Belt'). We are grateful for funding by the German Government, Federal Ministry of Education and Research within their Sustainable Land Management funding framework (funding reference 01LL0906G). We acknowledge support by Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) and Open Access Publishing Fund of Osnabrück University. Also, we thank Insa Kühling for helpful comments.

References

- Abramov, N.V. (2013). *Production in agroecosystems and condition of soil fertility in Western Siberia*. State Agricultural University of Northern Transural, Tyumen. (Russian).
- Administration of Tyumen Oblast. (2012). *Report on the environmental situation in the Tyumen oblast in 2011*. Retrieved March 3, 2013, from http://admtymen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=10922884@cmsArticle. (Russian).
- Beckwith, C. P., Cooper, J., Smith, K. A., & Shepherd, M. A. (1998). Nitrate leaching loss following application of organic manures to sandy soils in arable cropping. *Soil Use and Manage*, 14(3), 123-130. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1998.tb00135.x>
- Bondarenko, A.M., Miroshnikov, & M.A., Miroshnikov, V.V. (2010). Study of processing semiliquid manure in high-quality organic fertiliser. *Vestnik Agricultural Science of Don*, 3, 15-19. (Russian).
- Bulatov, A. P., & Kurdoglyan, A. A. (2006). *The milking of cows: theory and practice*. Kurgan. (Russian).
- De Bode, M. J. C. (1991). *Odour and ammonia emissions from manure storage*. Odour and ammonia emissions from livestock farming, 5, 59.
- Degefie, T. D., Fleischer, E., Klemm, O., Soromotin, A. V., Soromotina, O. V., Tolstikov, A. V., Abramov, N.V. (2014). Climate extremes in South Western Siberia: past and future. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 28, 2161-2173. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s00477-014-0872-9>
- DeLuca, T. H., & DeLuca, D. K. (1997). Composting for feedlot manure management and soil quality. *Journal of Production Agriculture* 10(2), 235-241.

Devendra, C., & Thomas, D. (2002). Crop–animal interactions in mixed farming systems in Asia. *Agricultural Systems*, 71(1), 27-40.

Eremin, D. I. (2012). *Transformation of Luvic Chernozems due to agricultural land use in the northern Transural* (PhD thesis). Agricultural Academy of the province of Tyumen, Russia. (Russian).

European Commission. (2009). Commission Regulation (EC) No 1200/2009 of 30 November 2009 implementing Regulation (EC) No 1166/2008 of the European Parliament and of the Council on farm structure surveys and the survey on agricultural production methods, as regards livestock unit coefficients and definitions of the characteristics. Official Journal of the European Union. Luxembourg.

FAO (2016). FAO's work on Climate Change: Greenhouse Gas Emissions from Agriculture, Forestry and Other Land Use. Retrieved November 24, 2016, from <http://www.fao.org/3/a-i6340e.pdf>

Franzuebbers, A. J., Stuedemann, J. A., Schomberg, H. H., & Wilkonson, S. R. (2000). Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(4), 469-478. [https://doi.org/10.1016/s0038-0717\(99\)00176-5](https://doi.org/10.1016/s0038-0717(99)00176-5)

Frey, K. E., & Smith, L. C. (2003). Recent temperature and precipitation increases in West Siberia and their association with the Arctic Oscillation. *Polar Research*, 22(2), 287-300. <https://doi.org/10.3402/polar.v22i2.6461>

Fukumoto, Y., Suzuki, K., Waki, M., & Yasuda, T. (2015). Mitigation option of greenhouse gas emissions from livestock manure composting. *JARQ-Japan Agricultural Research Quarterly* 49(4), 307–312. <https://doi.org/10.6090/jarq.49.307>

Hothan, A., Brauckmann, H.-J., Broll, G. (2013). Influence of storage on methane yields of separated pig slurry solids. *Biomass and Bioenergy*, 52, 166-172.

Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., ... Oosting, S. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO₂ emissions. In P. J. Gerber, B. Henderson & H. P.S. Makkar (Eds.), *FAO Animal Production and Health Paper*, No. 177. Rome, Italy: FAO.

Husted, S. (1994). Seasonal variation in methane emission from stored slurry and solid manures. *Journal of Environmental Quality*, 23(3), 585-592. <https://doi.org/10.2134/jeq1994.00472425002300030026x>

IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (Eds). Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan: IPCC.

IPCC. (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In *Climate Change 2013*. Stocker, T.F., Qin, G.-K., Plattner, M., Tignor, S.K., Allen, J., Boschung, A., Nauels, Y., Xia, V., Bex, & P.M. Midgley (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA: IPCC.

Jarvis, S.C. (1993). Nitrogen cycling and losses from dairy farms. *Soil Use and Management*, 9(3), 99-104.

Jongbloed, A. W., & Lenis, N. P. (1998). Environmental concerns about animal manure. *Journal of Animal Science*, 76(10), 2641-2648.

Jungbluth, T., Hartung, E., & Brose, G. (2001). Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60(1-3), 133-145.

Karetin, L. N. (1990). *Soils in Tyumen oblast*. Nauka, Novosibirsk. (Russian).

Kämpf, I., Mathar, W., Kuzmin, I., Hölzel, N., & Kiehl, K. (2016). Post-Soviet recovery of grassland vegetation on abandoned fields in the forest steppe zone of Western Siberia. *Biodiversity and Conservation*, 25(12), 2563-2580. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-016-1078-x>

Kühling, I., Broll, G., & Trautz, D. (2016). Spatio-temporal analysis of agricultural land-use intensity across the Western Siberian grain belt. *Science of the Total Environment*, 544, 271-280. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.129>

Kühling, I., Griewald, Y., Broll, G., & Trautz, D. (2015). Potential of land-use intensity analysis for sustainable land management scenarios in Southern West Siberia. *GEO-ÖKO* 36(3-4), 112-132.

Leet, J. K., Lee, L. S., Gall, H. E., Goforth, R. R., Sassman, S., Gordon, D. A., ... Sepúlveda, M. S. (2012). Assessing impacts of land-applied manure from concentrated animal feeding operations on fish

populations and communities. *Environmental Science & Technology* 46(24), 13440-13447. <https://doi.org/10.1021/es302599t>

LWK. (2009, July 10). Lower Saxony Chamber of Agriculture, Germany. Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere je Stallplatz und Jahr (Nutrient excretion rates of farm animals per stable space and year). Retrieved June 11, 2013, from <http://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/196,78663bd7-237d-eebf5e6f095916f0ca16~pdf.html>

Mathar, W. P., Kämpf, I., Kleinebecker, T., Kuzmin, I., Tolstikov, A., Tupitsin, S., & Hölzel, N. (2016). Floristic diversity of meadow steppes in the Western Siberian Plain: effects of abiotic site conditions, management and landscape structure. *Biodiversity and Conservation*, 25(12), 2361-2379. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-015-1023-4>

McGinn, S. M., & Sommer, S. G. (2007). Ammonia emissions from land-applied beef cattle manure. *Canadian Journal of Soil Science*, 87(3), 345-352. <https://doi.org/10.4141/s06-053>

Monteny, G. J., Groenestein, C. M., & Hilhorst, M. A. (2001). Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60(1-3), 123-132. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1012602911339>

Moore, P. A., Daniel, T. C., Sharpley, A. N. & Wood, C. W. (1995). Poultry manure management: Environmentally sound options. *Journal of soil and water conservation* 50(3), 321-327.

O'Mara, F. P. (2011). The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.074>

Otabbong, E., Arkhipchenko, I., Orlova, O., Barbolina, I., & Shubaeva, M. (2007). Impact of piggery slurry lagoon on the environment: A study of groundwater and river Igolinka at the Vostochnii Pig Farm, St. Petersburg, Russia. *Acta Agriculturae Scandinavia, Section B — Soil & Plant Science* 57(1):74-81. <http://dx.doi.org/10.1080/09064710600933228>

Owen, J. J., & Silver, W. L. (2015). Greenhouse gas emissions from dairy manure management: review of field-based studies. *Global Change Biology*, 21(2), 550-565. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12687>

ROSREESTR. (2012). Report on the state of property and the land use in the Tyumen oblast in the 2011. Federal Service of State Registration, Cadastre and Cartography of the Tyumen oblast. Retrieved July 20, 2013, from <http://www.to72.rosreestr.ru/> (Russian).

ROSSTAT. (2013). *Agricultural indicators of Tyumen oblast*. Russian Federal State Statistics Service. Retrieved, April 14, 2013, from <http://www.gks.ru>

ROSSTAT. (2016). *Population indicators of Tyumen oblast*. Russian Federal State Statistics Service. Retrieved, October 14, 2016, from <http://www.gks.ru>

Rufino, M. C., Tittonell, P., Van Wijk, M. T., Castellanos-Navarrete, A., Delve, R. J., De Ridder, N., & Giller, K. E. (2007). Manure as a key resource within smallholder farming systems: analysing farm-scale nutrient cycling efficiencies with the NUANCES framework. *Livestock Science*, *112*(3), 273-287

Sharpley, A., Meisinger, J. J., Breeuwsma, A., Sims, J. T., Daniel, T. C., & Schepers, J. S. (1997). *Impacts of animal manure management on ground and surface water quality*. Animal waste utilization: effective use of manure as a soil resource, 173-242. <https://doi.org/10.1201/9781439822630.ch8>

Shulgina, T.M., Genina, E.Yu., & Gordov, E.P. (2011). Dynamics of climatic characteristics influencing vegetation in Siberia. *Environmental Research Letters*, *6*, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045210>

Sneath, R. W., Beline, F., Hilhorst, M. A., & Peu, P. (2006). Monitoring GHG from manure stores on organic and conventional dairy farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *112*(2), 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.020>

Sommer, S. G., Petersen, S. O., & Møller, H. B. (2004). Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *69*, 143-154. <https://doi.org/10.1023/b:fres.0000029678.25083.fa>

Störrle, M., Brauckmann, H. J., & Broll, G. (2015). Livestock manure management in agroecosystems of southwestern Siberia, Russia. *GEO-ÖKO*, *36*(3-4), 133-154.

Störrle, M., Hagedorn, L., Yurtaev, A., Brauckmann, H. J., & Broll, G. (2016). Soil structure of arable and non-arable land in the Western Siberian Grain Belt in Russia - Application of the soil fingerprint code for topsoil characterization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *179*(4), 510-519. <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.201500450>

Stupak, N. (2017). Adaptation of Russian agriculture to climatic variability: the role of federal and provincial policies. *Environmental Science & Policy*. in press. *68*(2017), 10-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.10.003>

Tubiello, F. N., Salvatore, M., Ferrara, A. F., House, J., Federici, S., Rossi, S., ... Prospero, P. (2015). The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming, 1990–2012. *Global Change Biology*, 21(7), 2655-2660. <https://doi.org/10.1111/gcb.12865>

van der Meer, H. G. (2008). Optimising manure management for GHG outcomes. *Animal Production Science*, 48(2), 38-45. <http://dx.doi.org/10.1071/EA07214>

Václavík, T., Langerwisch, F., Cotter, M., Fick, J., Häuser, I., Hotes, S., ... Seppelt, R. (2016). Investigating potential transferability of place-based research in land system science. *Environmental Research Letters*, 11(9), 095002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/095002>

Weking, S., Kämpf, I., Mathar, W., & Hölzel, N. (2016). Effects of land use and landscape on Orthoptera communities in the Western Siberian forest steppe. *Biodiversity and Conservation*, 25(12), 2341-2359. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-016-1107-9>

Whitehead, D. C. (2000). Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships. Oxon, UK: Cabi.

Wortmann, C. S., & Shiparo, C. A. (2008). The effects of manure application on soil aggregation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 80(2):173-180. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-007-9130-6>

6 DISKUSSION

6.1 BODENQUALITÄT IN DER OBLAST TYUMEN

Organische Substanz

In der vorliegenden Arbeit wurden Einflussfaktoren auf die C_{org} -Gehalte in mineralischen Böden der Oblast Tyumen ermittelt. Weiterhin ist die Bodenqualität, die im engen Zusammenhang steht mit den C_{org} -Vorräten, mit dem Soil Fingerprint Code erhoben worden. Die Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass durch zu geringe Rückführung an organischer Substanz und wendende Bodenbearbeitung das Bodengefüge degradiert und die C_{org} -Gehalte in der Tiefe 0-5 cm auf Ackerflächen abnehmen. Eine eindeutige Auswirkung des Ackerbaus auf die C_{org} -Gehalte in 0-30 cm konnte aus den Daten des SFC nicht bestätigt werden (Störrle et al. 2016).

Die Böden in der Oblast Tyumen weisen hohe Kohlenstoffvorräte auf, die in Abhängigkeit von ihrer Nutzung zur Erhöhung oder zur Minderung von THG-Emissionen aus der Atmosphäre beitragen. Nach dem Zerfall der UdSSR wurden große Areale der landwirtschaftlich genutzten Fläche in der Oblast Tyumen aufgegeben. Die Gesamtfläche der Brachen belief sich im Jahr 2011 auf 531.500 Hektar. Dazu zählen Ackerbrachen und Dauerbrachen. Dies entspricht 18,3 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Oblast Tyumen (ROSREESTR 2012). Diese Brachen gelten heute als Senken für organischen Kohlenstoff. Die Dauer der Stilllegung, die sich auf der Brache entwickelnde Vegetation, die Höhe des Humusgehaltes und das Klima bestimmen die Höhe der Kohlenstoffanreicherung in diesen Böden. Fruchtbare Regionen Russlands wie die Waldsteppe haben das größte Potenzial Kohlenstoff zu speichern (Klenov 1998; Romanovskaja 2008; Kurganova et al. 2014). Die Untersuchung der Ökosystemdienstleistungen von Brachen war eine zentrale Aufgabe des SASCHA-Projektes. Untersuchungen von Fleischer et al. (2016) und Wertebach et al. (2017) belegen die Funktion der Brachen als Senke im Kohlenstoffkreislauf in der Oblast Tyumen. In einem Langzeitversuch untersuchte auch der in Tyumen tätige Wissenschaftler Eremin die C_{org} -Vorräte einer Ackerbrache. Nach 30 Jahren wurde eine Zunahme der C_{org} -Vorräte um $27 \text{ t ha}^{-1} C_{org}$ in der Tiefe 0-100 cm gemessen (Eremin 2012). Eine weitere Funktion der Brachen ist die Erhaltung der Biodiversität, die durch Untersuchungen innerhalb des SASCHA-Projektes bestätigt wurde (Kämpf et al. 2016a; Mathar et al. 2016; Weking et al. 2016). Mehrjährige Vegetation auf Grünland und Brachen hat in Sibirien eine besondere Bedeutung im Kohlenstoffkreislauf. Kurz nachdem der Schnee abgetaut ist, beginnen die mehrjährigen Pflanzen mit der Photosynthese, während auf unbewachsenen Ackerflächen erst später im Jahr CO_2 durch Kulturpflanzen assimiliert werden kann. Die CO_2 -Abgabe durch die Bodenatmung ist wegen der niedrigen Bodentemperatur im Frühjahr stark gehemmt und ist auf Ackerflächen höher als auf mit Vegetation bedeckten Böden (Eremin und Abramova 2008; Fleischer et al. 2016). Die

Ackerböden geben mehr CO₂ über die Bodenatmung ab und können weniger CO₂ über die Photosynthese speichern als Flächen mit mehrjährigen Kulturen oder mit natürlicher Vegetation. Auch der mehrjährige Einfluss des Wurzelsystems wirkt positiv auf die Bodenfunktionen (Van Noordwijk et al. 1993; Czarnes et al. 2000; Gregory 2006). Wertebach et al. (2017) quantifizierten die C_{org}-Sequestrierungsrate von Brachen in der Oblast Tyumen auf 0,66 Mg C ha⁻¹ a⁻¹.

Die Daten zu den Kohlenstoffvorräten sind immer unter Beachtung sowohl der Bodenart (Kay 1998) als auch der Lagerungsdichte auszuwerten. Die vorherrschende Bodenart der untersuchten Standorte in der Oblast Tyumen ist schluffiger bzw. sandiger Lehm (Störrle et al. 2016). Bei Böden mit höheren Tongehalten besteht ein höherer C_{inert}-Pool, der bei Umsetzungsprozessen weitgehend unbeteiligt bleibt. Laut Körschens und Schulz (1999) korrelieren Tongehalte eng mit den C_{inert}-Gehalten ($r^2=0,95$).

Eine Veränderung der *Lagerungsdichte* wurde beim Vergleich von natürlichem Grasland mit einer Ackerfläche in 0-30 cm nach 40 Jahren Versuchsdauer von Eremin (2012) nicht festgestellt und lag im Mittel bei 1 g cm⁻³ (Eremin 2012). In eigenen Erhebungen liegt die Lagerungsdichte bei Waldstandorten in 0-5 cm bei 0,66 g cm⁻³ und bei 0,91 g cm⁻³ in 5-30 cm, während die Lagerungsdichte in 0-5 cm bei 0,98 g cm⁻³ und bei 1,17 g cm⁻³ bei Ackerstandorten liegt. In den mittels des Soil Fingerprint Code erhobenen Daten haben die Lagerungsdichten eine große Spannweite, vor allem bei den ungenutzten Standorten (Störrle et al. 2016).

Ähnlich wie bei der Lagerungsdichte unterscheidet sich die Tiefenverteilung der organischen Substanz in den Tiefen 0-5 cm und 5-30 cm auf ungenutzten Standorten signifikant, jedoch nicht auf Ackerflächen. Signifikante Unterschiede in C_{org}-Gehalten konnten so für genutzte und ungenutzte Standorte für den A-Horizont nicht festgestellt werden (Störrle et al. 2016). In Untersuchungen in der Kulunda-Steppe wurden Abnahmen der Kohlenstoffvorräte in der Tiefe 0-25 cm durch den Ackerbau um 31 % im Vergleich zu Grasland gemessen (Bischoff et al. 2016).

Eine gewichtige Ursache für den C_{org}-Abbau in Ackerböden ist der geringere *Biomasseeintrag* über die Streu verglichen mit natürlicher Vegetation. Getreidearten hinterlassen in der Oblast Tyumen im Durchschnitt 2,5-3 t ha⁻¹ a⁻¹ Ernte- und Wurzelreste. Die oberirdische Biomasse natürlicher Graslandvegetation auf einem Chernozem in der Oblast Tyumen beträgt 8-9 t ha⁻¹ a⁻¹. Die unterirdische Biomasse ist ungefähr gleich groß wie die oberirdische (Karetin 1990; Eremin 2012). Laut Rusalimova et al. (2006) verbleiben im Vergleich zur ursprünglichen Vegetation der Waldsteppe Westsibiriens beim Ackerbau nur ca. 1/5 der Biomasse. Dieses Defizit an organischer Substanz wird auf den Ackerflächen im Untersuchungsgebiet nicht ausgeglichen. In Großbetrieben ist die zu geringe Rückführung an organischer Substanz und Nährstoffen der Grund für die kontinuierliche Abnahme der Humusgehalte auf Ackerflächen. In der Oblast Tyu-

men wurden im Jahr 2012 60 % der Ackerflächen gedüngt. Organische *Düngung* findet dort nur auf 2 % der Aussaatflächen statt. Die durchschnittliche Düngermenge lag bei 25,6 kg ha⁻¹ Reinnährstoff im Jahr 2011 (Tumstat 2012). Jährlich entsteht ein Nährstoffentzug auf Ackerflächen pro Hektar von 51 kg Stickstoff, 12 kg Phosphor und 40 kg Kali (ROSREESTR 2012). Ausgehend von dem Bodentyp und der gewünschten Höhe des Planertrags werden Empfehlungen für Düngungsmengen im Getreideanbau von Abramov et al. (2010) für die Oblast Tyumen gegeben. Die empfohlenen Mengen für Stickstoff liegen im Mittel bei 77 kg ha⁻¹ und bei Phosphor bei 12 kg ha⁻¹. Diese Düngungsmengen werden in den Großbetrieben der Oblast Tyumen nicht erreicht. Ein Entzug der Nährstoffe ohne Rückführung über die Düngung über mehrere Jahre führt zur Auslaugung des Bodens (vgl. Tabelle 1). Aus der Praxis ist bekannt, dass der mineralische Stickstoffdünger mit dem Handelsnamen *Selitra* breite Anwendung findet (Kühling und Trautz 2012). Stickstoff als Hauptelement beeinflusst am stärksten die Entwicklung und das Wachstum der Kulturpflanzen (Mokhele et al. 2012). Es führt zur Erhöhung der mikrobiellen Metabolite, die in der feinen Bodenfraktion stabilisiert vorliegen (Gillespie et al. 2014). Langzeitexperimente belegen, dass die mineralische Stickstoffdüngung durch den Aufbau von organischen Stickstoffverbindungen im Boden zur Erhöhung von Gesamtstickstoff und auch zu höherer N-Mineralisation führt (Glendining et al. 1996). Die weit verbreitete Meinung, dass mineralische N-Düngung aufgrund höherer Biomassebildung (Ernte- und Wurzelreste) zum Humusaufbau führt, wird von Khan et al. (2007) widerlegt. Eine alleinige Stickstoffdüngung deckt den Nährstoffbedarf an anderen Makro- und Mikroelementen nicht ab. Übermäßige N-Düngung führt zur Auswaschung von Nitrat und Verlusten über Bodengase (Glendining et al. 1996). Fehlende oder zu niedrige Düngung führt zur Auslaugung der Böden (Gerzabek et al. 1997). Zum gleichen Ergebnis ist auch Eremin (2012) beim Düngungsversuch in der Oblast Tyumen gekommen. Die Auslaugung des Bodens durch die aktuelle ackerbauliche Bewirtschaftung wurde auch durch eigene Untersuchungen nachgewiesen (Störrle et al. 2016).

Die *Schwarzbrache* als Fruchtfolgeglied beeinflusst zusätzlich die C_{org}-Vorräte der Ackerflächen der Oblast Tyumen negativ. Die organische Bodensubstanz besteht in sibirischen Ackerböden zu 5-18 % aus organischer Primärschubstanz. Diese Biomasse bildet eine wichtige Nährstoffquelle, die im unzersetzten Zustand für die Kulturpflanzen nicht verfügbar ist (Gamzikov 2011). Laut Gamzikov (2011) ist eine völlige Zersetzung der Ernte- und Wurzelreste unter sibirischen Verhältnissen nur durch Schwarzbrachen möglich. In kanadischen Chernozemen führt die Eingliederung von Schwarzbrachen in die Fruchtfolge zu stärkeren C_{org}-Verlusten als in Fruchtfolgen ohne Schwarzbrachen (Akinremi et al. 1998; Bremer et al. 2002). In der Kulunda-Steppe steigen durch Schwarzbrachen die Winderosion und die Mineralisierung stark an (Frühauf und Meinel 2014).

Ein weiterer Faktor, der zu verstärkten C_{org} -Verlusten führt, ist die wendende *Bodenbearbeitung*. In den Bodenbearbeitungsversuchen in der Oblast Tyumen wurden C_{org} -Verluste in Form erhöhter Bodenatmung durch die wendende Bodenbearbeitung gemessen (Meijsjamova und Abramov 2008; Eremin 2012; Perfilyev 2014). Reduzierte Bodenbearbeitung führte dagegen zu verringerter Bodenatmung. Im dreijährigen Bodenbearbeitungsversuch auf Gleyic Chernozem auf dem Versuchsbetrieb der Agraruniversität Tyumen hat Semizorov (2013) die biologische Aktivität unter verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten gemessen. In seinen Untersuchungen wurden um ca. 30 % niedrigere Zersetzungsraten beim Zelluloseabbau bei den Varianten Direktsaat und Grubber im Vergleich zu den wendenden Varianten gemessen. Die Messung der Bodenatmung gab das gleiche Bild wieder. Weitere Messungen zur biologischen Aktivität hat Rzaeva (2014) im Bodenbearbeitungsversuch von Eremin (2012) auf Luvic Chernozem durchgeführt. Bei den wendenden Bodenbearbeitungsvarianten wurde die höchste zersetzende Aktivität gemessen. Um 26 % geringer war die biologische Aktivität bei der Direktsaat und um 12 % bei der Variante Grubber.

Eine nicht wendende Bodenbearbeitung stellt auch in Westsibirien eine effektive Methode dar, die Bodenfunktionen zu verbessern (Kühling und Trautz 2015; Grunwald et al. 2016). In der Oblast Tyumen durchgeführte Versuche zur reduzierten Bodenbearbeitung zeigten positive Effekte auf die Wasservorräte, die Stickstoff-Mineralisierung und die Pflanzenentwicklung (Kühling und Trautz 2015). In Bodenbearbeitungsversuchen des benachbarten Projektes KULUNDA wurden durch reduzierte Bodenbearbeitung eine höhere Ertragsstabilität, höhere Wassernutzungseffizienz und ein höherer Schutz gegen Winderosion erreicht (Grunwald et al. 2016). In Bezug auf die Kohlenstoffsequestrierung durch nicht wendende Bodenbearbeitung besteht keine einheitliche Meinung (vgl. Kapitel 2). In der Oblast Tyumen konnte durch die reduzierte Bodenbearbeitung wie auch in ukrainischen und kanadischen Chernozemen eine C_{org} -Umverteilung im Profil (0-100 cm) nachgewiesen werden, jedoch keine höheren C_{org} -Konzentrationen im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung (Angers et al. 1997; Eremin 2012; Kravchenko et al. 2012). Eine kombinierte Bodenbearbeitung mit einem jährlichen Wechsel zwischen Grubber und Pflug, bei jeweils einer Bearbeitungstiefe von 20-22 cm, hat in der Oblast Tyumen in einem Langzeitversuch auf Luvic Chernozem zur C_{org} -Anreicherung im gesamten Bodenprofil (0-100 cm) geführt (Eremin 2012). Die Ergebnisse dieser Bodenbearbeitungsversuche lassen jedoch nur bedingt Schlüsse auf die Kohlenstoffdynamik in der Praxis zu, weil in den Versuchen bedarfsgerecht gedüngt wird und in der Praxis die optimalen Düngungsmengen in der Regel unterschritten werden.

Mittels der Erhebungsmethode SFC wurden 10 genutzte Standorte (Ackerflächen) mit 10 nicht genutzten Standorten (7 Waldstandorte und 3 Brachen) verglichen. Die Anzahl der Ackerstand-

orte erwies sich als ausreichend, um sichere Ergebnisse zu erhalten. Auch die Anzahl der Waldstandorte eignete sich gut für aussagekräftige Ergebnisse. Jedoch unterschieden sich die erhobenen Parameter der Brachen deutlich von denen der Wälder. Der Einfluss der vorherigen Nutzung ist in den Daten der Brachen bei der Lagerungsdichte und den C_{org} -Gehalten klar erkennbar, lässt sich jedoch aufgrund der geringen Anzahl statistisch nicht bestätigen. Aufgrund fehlender Bodenbearbeitung und hoher Tongehalte sind die Lagerungsdichten der Brachen höher als bei den Ackerflächen. Dies hat zu einer höheren Streuung der Daten für die Lagerungsdichte ungenutzter Standorte geführt, weshalb sich keine signifikanten Unterschiede für die Lagerungsdichte im Vergleich von genutzten und ungenutzten Standorte errechnen lassen. Bei allen Brachen sind die C_{org} -Gehalte wider Erwarten geringer als bei ihren ackerbaulich genutzten Vergleichsstandorten. Das lässt vermuten, dass diese Flächen aufgrund der geringen Fruchtbarkeit aufgegeben wurden.

Bodengefüge

Aus der Literatur wird der Zusammenhang zwischen dem Bodengefüge und der organischen Substanz des Bodens deutlich. Während Six et al. (2002) das Bodengefüge als ein Schlüsselement in der Stabilisierung der OBS betrachten, schreiben Kiem und Kandeler (1997), dass der hohe Gehalt an OBS ausschlaggebend für das gute Bodengefüge in Schwarzerden sei.

Das Bodenmanagement und die Landnutzung beeinflussen viele bodenbiologische Prozesse, die eine Auswirkung auf die Lagerungsdichte, das Bodengefüge sowie auch auf die OBS im A-Horizont haben. Krümelgefüge nimmt durch den Ackerbau in der Regel ab, Subpolyeder- und Polyedergefüge nehmen durch den Ackerbau zu. Das Krümelgefüge nimmt auf Ackerstandorten und auf nicht genutzten Standorten signifikant von der Tiefe 0-5 cm zu der Tiefe 5-30 cm ab (Störrle et al. 2016). Die Langzeituntersuchungen von Eremin (2012) belegen ebenfalls, dass die übliche Praxis im Ackerbau zur Zerstörung von Krümelgefüge und zur Abnahme von C_{org} -Gehalten führt.

6.2 WIRTSCHAFTSDÜNGER UND TREIBHAUSGASE

In Bezug auf Wirtschaftsdünger (WD) wurden drei wesentliche Punkte für die Oblast Tyumen untersucht:

1. WD-Handling in unterschiedlichen Betriebsformen;
2. Nährstoffgehalte aus dem WD für die Berechnung des Düngepotentials auf regionaler Ebene und
3. die THG-Emissionen aus dem WD, die primär vom WD-Handling abhängen.

Die Ergebnisse des Artikels über das Wirtschaftsdüngermanagement von Störrle et al. (2015a) zeigen auf, dass bei einer vollständigen Verteilung des WD 23 % der Ackerflächen mit einer ausreichenden Nährstoffmenge für den Weizenanbau versorgt werden könnten. Zum heutigen Zeitpunkt werden nur 2 % der Ackerflächen in Großbetrieben organisch gedüngt. Anhand dieser Zahlen lässt sich ableiten, dass ein sehr großer Prozentanteil von WD nicht genutzt wird. Es gibt jedoch einen Ausnahmefall: Bei der Geflügelfabrik Borowskaja wird der Hühnertrockenkot pelletiert und als Dünger verkauft.

Wie bereits im Kapitel 2 *Stand der Forschung* erwähnt, führt ein unsachgemäßer Umgang mit Wirtschaftsdünger zur Vergeudung des Düngepotentials, zu Umweltbelastungen und zu erhöhten Treibhausgasemissionen (Moore et al. 1995; DeLuca und DeLuca 1997; Jongbloed und Lenis 1998; Sharpley et al. 1998; IPCC 2006; Otabbong et al. 2007; Gourley et al. 2012). Die Vergeudung des Düngepotentials und die Umweltbelastungen werden im Artikel von Störrle et al. (2015a) eingehend untersucht und auch bestätigt.

Die Ursache für die hohen THG-Emissionen aus dem WD durch das aktuelle WD-Handling in der Oblast Tyumen konnte im Artikel von Störrle et al. (2017) nicht eindeutig identifiziert werden. Die Lagerung des WD findet in allen Betriebsformen draußen statt. Somit hat die Außentemperatur einen großen Einfluss auf die Höhe der THG-Emissionen, weil die mikrobiellen Prozesse wie Nitrifikation, Denitrifikation, Methanogenese und Methan-Oxidation von der Temperatur und dem Wassergehalt beeinflusst werden (Chadwick et al. 2011). Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt in der Oblast Tyumen bei 1,8 °C (Degefie et al. 2014). In den IPCC-Guidelines (IPCC 2006) werden Verrechnungsfaktoren für die Tier 2 Methode in drei Klimabereiche eingeteilt. Der Klimabereich für kalte Regionen hat eine Temperaturspannweite von ≤ 10 bis 14°C Jahresdurchschnittstemperatur. Bei der Berechnung wurden die Verrechnungsfaktoren für den Temperaturbereich von ≤ 10 °C verwendet. Methodisch ist dies richtig, dennoch liegt eine große Differenz zwischen 1,8 °C und 10 °C Jahresdurchschnittstemperatur, so dass mit einer Überschätzung der THG-Emissionswerten zu rechnen ist.

Die Anzahl der Tiere und das WD-Handling in der jeweiligen Betriebsform bestimmen die Höhe der THG-Emissionen. Die Anzahl der Tiere hat sich nach dem Zerfall der Sowjetunion drastisch verringert. In der Oblast Tyumen gab es nach 10 Jahren Rückgänge beim grasenden Vieh um 60 %. Obwohl wieder ein leichter Anstieg der Tierzahlen verzeichnet wurde, gingen die Weideflächen zurück. Durch die Intensivierung bei den Großbetrieben gab es eine Umstellung in Produktionsverfahren. In der Milchviehhaltung und Rindermast ist heutzutage ganzjährige Stallhaltung in der Oblast Tyumen üblich (Kühling et al. 2016), die zum Rückgang der Weideflächen geführt hat. Bei diesem Produktionsverfahren entsteht Gülle, die im Vergleich zu Weidegang und Festmistverfahren zu höheren Methanemissionen führt (IPCC 2006). Die Intensivierung hat auch in der Oblast Tyumen zu höherer Umweltbelastung durch die illegale Entsorgung von Gülle oder auch Festmist geführt. Der Vergleich der THG-Emissionen aus der Oblast Tyumen mit dem THG-Inventarbericht für Russland erwies sich als ungeeignet. Beim THG-Inventarbericht für Russland wird die Umstellung im Produktionsverfahren nicht berücksichtigt. In den Jahren 1990 – 2011 wird für Milchkühe der Verrechnungsfaktor für Gülle nicht angewendet (Nakhutin et al. 2013). Bei den Milchkühen wird Festmistverfahren und Weidegang angenommen, was zu geringeren Treibhausgasemissionen führt.

6.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Kleinbetriebe und Haushalte spielen eine wichtige Rolle bei der Versorgung der Bevölkerung mit tierischen Erzeugnissen (vgl. Tabelle 2). Ungefähr die Hälfte der tierischen Erzeugnisse wird in Kleinbetrieben und bei den Haushalten produziert (Eier ausgenommen). Dennoch ist deren Anteil an THG-Emissionen geringer als bei den Großbetrieben. In Kleinbetrieben führt das Festmistverfahren zu den geringsten THG-Emissionen je Tier. Bei den Haushalten sind die THG-Emissionen je Tier nicht wesentlich geringer als die der Großbetriebe (vgl. Tabelle 10, S. 82, in Störrle et al. 2017). Der Unterschied in den geringeren THG-Emissionen im Vergleich zu den Großbetrieben kommt zustande, weil die Haushalte andere Tierarten mit geringeren CO₂-Äquivalenten je Nutztier halten als die Großbetriebe.

In den Kleinbetrieben und den Haushalten entstehen im Vergleich zu den Großbetrieben keine Umweltbelastungen durch das WD-Handling, da die vorhandenen Nährstoffe im WD auf eigenen Ackerflächen als organischer Dünger verwendet werden. Die Untersuchungsergebnisse von Jarvis (1993) in England sowie von Devendra und Thomas (2002) in Süd-Asien spiegeln das gleiche Bild wider. Extensive Beweidung wirkt sich zusätzlich positiv auf die Biodiversität, die Bodenfunktionen und die Kohlenstoffvorräte aus (Franzluebbers et al. 2000; Whitehead 2000; Wortmann und Shapiro 2008; Dengler et al. 2014; Kämpf et al. 2016a, Mathar et al. 2016; Weking et

al. 2016). Demnach würden agrarpolitische Maßnahmen zur Unterstützung von Kleinbauern und der Haushalte positive Effekte in Bezug auf Klima- und Umweltfreundlichkeit nach sich ziehen. Zum heutigen Zeitpunkt werden in der Oblast Tyumen Kleinbetriebe und Haushalte mit Subventionen unterstützt (Wegren 2014; Stupak 2015).

In **Großbetrieben** führt die übliche Bodenbearbeitung zur Verringerung der Bodenqualität. Zusätzlich belastet dort der unsachgemäße Umgang mit Gülle die Umwelt. Bei diesem WD-Handling wird das Düngepotential vergeudet. Die Güllelagerung führt zu höheren THG-Emissionen verglichen mit dem Festmistverfahren.

Handlungsempfehlungen für Großbetriebe müssen kosteneffiziente Produktion, qualitativ hochwertiger Produkte sowie klima- und umweltfreundliche Produktionsprozesse berücksichtigen. In der Publikation über den SFC von Störrle et al. (2016) werden Handlungsempfehlungen für die Erhaltung und Erhöhung von Bodenfunktionen gegeben. Die Empfehlungen lauten: Erhöhung der organischen Düngermengen und reduzierte Bodenbearbeitung. Im weiteren Artikel von Störrle et al. (2015a) über den Wirtschaftsdünger lautet eine Empfehlung, den anfallenden WD auf Ackerflächen zu verteilen, um Umweltbelastungen durch das aktuelle WD-Handling zu vermeiden und um der großflächigen Bodendegradierung entgegenzuwirken. Im dritten Artikel von Störrle et al. (2017) über die THG-Emissionen aus dem WD-Handling werden 17 von der FAO empfohlene technische Methoden für die Reduktion von THG-Emissionen im WD genannt (Hristov et al. 2013). In den drei Artikeln dieser Dissertation (s. Kap. 5) werden Handlungsempfehlungen für eine umweltfreundliche und nachhaltige Produktion gegeben.

Im Rahmen des Projektes SASCHA wurde zusätzlich ein Wirtschaftsdünger-Rechner entwickelt (Störrle et al. 2015b, siehe Anhang 1). Bei dem Wirtschaftsdünger-Rechner werden die Transportkosten von unterschiedlichen Hof-Feld-Entfernungen dem Geldwert des Wirtschaftsdüngers gegenübergestellt. Auf diese Weise sollen die vorhandenen Nährstoffe im WD in der Region oder auf eigenem Betrieb zukünftig kosteneffizient und umweltschonend eingesetzt werden.

Die Anwendung des WD-Rechners bietet folgende Vorteile:

- Vermeidung von illegaler Entsorgung des Wirtschaftsdüngers in der Landschaft und damit verbundener Transportkosten;
- Vermeidung von Güllegruben;
- Vermeidung der Überdüngung bei Schwarzbrachen;
- Vermeidung der Nitratauswaschung durch punktuelle Anhäufung des Wirtschaftsdüngers;
- Vermeidung von Geldstrafen durch unsachgemäße Entsorgung des Wirtschaftsdüngers;

- Vollständige Ausnutzung des vorhandenen Düngepotentials des Wirtschaftsdüngers;
- Erhöhung der organisch gedüngten Ackerflächenanteile;
- Reduzierung der Kosten für mineralische Dünger durch verbesserte Ausnutzung der vorhandenen Nährstoffe aus dem Wirtschaftsdünger im Betrieb;
- Kohlenstoffsequestrierung durch Erhöhung der C_{org} -Vorräte im Oberboden;
- Verbesserung der Bodenfunktionen
- sowie Steigerung der Erträge.

Bei einem Mechanisierungsgrad von 230 kW im Betrieb beträgt eine kosteneffektive Entfernung für Rindergülle und Rindermist 32 km, bei Schweinegülle 42 km, bei Schweinemist 51 km, bei Geflügelgülle 256 km und bei Geflügelmist oder -trockenkot 177 km (Störrle et al. 2015b). Staatliche Unterstützung durch Subventionen für den Transport von Wirtschaftsdünger würde zur besseren Ausnutzung des vorhandenen Düngepotentials im WD sowie zur Reduzierung von Umweltproblemen, die mit dem derzeitigen WD-Handling einhergehen, führen.

Zusätzlich zur Anwendung des WD-Rechners können weitere Maßnahmen die Effizienz in einzelnen Produktionsabläufen erhöhen. Van Horn et al. (1994) empfehlen für Gülle in Milchviehbetrieben Feststofftrennung, um die Transportkosten zu reduzieren oder um den WD auf dem Markt als organischen Dünger abzusetzen. Dazu eigne sich noch eine Zumischung von anderen biologischen Abfällen. Biogaserzeugung aus WD würde die Methan-Emissionen und die Geruchsbelästigung reduzieren. Hothan et al. (2013) empfiehlt eine Feststofftrennung mit anschließender Biogasnutzung. Diese Vorgehensweise führt zur höheren Methanausbeute. Die Biogaserzeugung aus WD hat Vorteile in Bezug auf den Klimawandel. Im Allgemeinen liefern Biogasanlagen einen wichtigen Beitrag zur Energiewende (UBA 2015). Chianese et al. (2009) berechneten für die Biogaserzeugung eine Netto-Reduktion an THG-Emissionen auf Betriebsebene um 24 %. Die im Vergärungsprozess entstandenen Gärreste können – bei gleichzeitiger Methangewinnung – als organischer Dünger eingesetzt werden. Damit wird der Einsatz von mineralischen Düngemitteln reduziert und die Bodenfunktionen werden verbessert.

Mit der Anwendung des WD-Rechners wird der Bodendegradierung und der Umweltverschmutzung durch das aktuelle WD-Handling entgegengewirkt. Ob sich die THG-Emissionen aus dem WD durch die Verteilung reduzieren lassen, lässt sich nicht auf Anhieb beantworten und müsste empirisch untersucht werden. Eine effektive Methode zur Reduzierung der THG-Emissionen aus der Gülle ist die Umstellung auf Festmistverfahren (IPCC 2006).

In der Praxis in der Oblast Tyumen wird der WD oft auf Schwarzbrachen in großen Mengen (bis zu $300 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) ausgebracht. Zum heutigen Zeitpunkt ist das die einzige legale Lösung für die praktizierenden Landwirte. So wird die illegale Entsorgung auf ungenutzten Flächen vermieden,

und die Nährstoffe aus dem WD gelangen wieder in den Betriebskreislauf. Auf Schwarzbrachen führt die häufige Bodenbearbeitung zu erhöhter Mineralisation und sollte deswegen vermieden werden. Aufgrund der kurzen Vegetationsperiode kann der Wirtschaftsdünger nicht vor der Aussaat oder nach der Ernte ausgebracht werden. Nach der Schneeschmelze dauert es gewisse Zeit bis der Boden aufgrund hoher Tongehalte wieder befahrbar ist. Die Ernte findet in einigen Fällen beim ersten Schnee statt. Eine Empfehlung, Schwarzbrachen zu vermeiden, kann nicht ausgesprochen werden, da zum heutigen Zeitpunkt keine andere Möglichkeit für die Ausbringung von WD gegeben ist. Um die Umweltbelastungen zu reduzieren, sollten geringere Mengen von ca. 20 m³ ha⁻¹ Gülle, 20 t ha⁻¹ Festmist oder 10 t ha⁻¹ Geflügelkot ausgebracht werden. Beim vorhandenen Düngepotential von 23 % (Störrle et al. 2015a) ist eine häufigere Ausbringung als alle 5-6 Jahre nicht möglich. Dieser zeitlicher Abstand ist durchaus praktikabel, weil der Betriebsgewinn bei häufigeren Schwarzbrachen in der Fruchtfolge gefährdet wäre und weil die Düngewirkung der Nährstoffe aus dem WD unter westsibirischen Klimaverhältnissen 7-8 Jahre anhält (Werwein 2007). Eine zusätzliche Unterstützung durch Subventionen für den Transport von Wirtschaftsdünger würde zur besseren Ausnutzung des vorhandenen Düngepotentials sowie zur Reduzierung von Umweltproblemen führen, die mit dem derzeitigen WD-Handling einhergehen.

In Bezug auf die Bodenbearbeitung kann eine Empfehlung für reduzierte Bodenbearbeitung ausgesprochen werden. Eine nicht wendende, nur auflockernde Oberbodenbearbeitung hat sich in lokalen Versuchen als vorteilhaft für den Humusaufbau erwiesen (Eremin 2012; Perilyev 2014). Darüber hinaus bietet eine reduzierte Bodenbearbeitung eine bessere Anpassung an die variierenden klimatischen Bedingungen, die sich heutzutage bedingt durch den Klimawandel in Westsibirien nachweisen lassen (Degefie et al. 2014; Schmalz et al. 2016).

Für Agrarökosysteme in kühlen Klimaregionen mit einem geringen Input an Produktionsmitteln, bei denen der Sommer für den Anbau genutzt werden kann und der Winter zu kalt für die Hauptkulturen ist, sehen Thorup-Kristensen et al. (2003) besondere Vorteile der Gründüngung. Im Winter verbleiben die Ackerflächen oft ohne Bodenbedeckung. Durch niedrige Evaporation und hohen Niederschlag ist im Winter somit die Zeit mit der höchsten Perkolation. In der kanadischen Landwirtschaft hat sich die Implementierung von Leguminosen und Ölsaaten in Fruchtfolgen als eine effektive Maßnahme bewährt, um der Bodendegradierung entgegenzuwirken (Congreves et al. 2015; Grunwald et al. 2016). Auch der in Tyumen tätige Agrarwissenschaftler Abramov (2013) empfiehlt Gründüngung für den Ackerbau in der Oblast Tyumen. Darüber hinaus kann eine Erhöhung der Kohlenstoffsequestrierungsraten durch eine gezielte Begrünung von Brachen erreicht werden (Körschens et al. 2005).

In der Oblast Tyumen sind über 500.000 Hektar der LF Brachen (ROSREESTR 2012). Brachlegung von Acker- und Grünlandflächen ist eine effektive Maßnahme zur C_{org} -Sequestrierung (Kämpf et al. 2016b). Damit die Brachen weiterhin ihre Funktion als Kohlenstoffsенке erfüllen können, ist im Ackerbau eine nachhaltige Intensivierung auf bereits genutzten Standorten sinnvoll (Kühling et al. 2016). Intensivierung kann auch eine Ursache für steigende THG-Emissionen in der Landwirtschaft sein (Foley et al. 2005). Eine nachhaltige Intensivierung setzt daher lokale Kenntnisse über die Bodenprozesse voraus. Dies kann erreicht werden durch eine gute Ausbildung der Praktiker, der Studierenden und der Berater in der Landwirtschaft. Neue Trends aus der Agrarforschung können ebenfalls auf ihre Eignung in der Oblast Tyumen in Versuchen geprüft werden. Dazu zählen v. a. die Agrarforstwirtschaft als eine weitere Möglichkeit C_{org} -Sequestrierung zu fördern (Montagnini und Nair 2004; Lal et al. 2007) und eventuell Biokohle als Bodenhilfsstoff (Biederman und Harpole 2013; Clough et al. 2013).

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Bewertung der Bodenqualität ackerbaulich genutzter Standorte

Die Böden des westsibirischen Getreidegürtels, Chernozeme und Phaeozeme, verfügen über eine natürliche Fruchtbarkeit mit hohen Humusgehalten, wobei ein großer Anteil der organischen Substanz nicht leicht mineralisierbar ist. Durch den Ackerbau verschlechtern sich die Bodeneigenschaften im Hinblick auf die Fruchtbarkeit. Mit dem Soil Fingerprint Code konnte belegt werden, dass durch den Ackerbau das Krümelgefüge im Oberboden und die Kohlenstoffgehalte in der Tiefe 0-5 cm signifikant abnehmen. Die großflächige Degradierung der Ackerböden wurde auch durch die behördlichen Bodenanalysen in der Oblast Tyumen bestätigt. Somit stellen die Ackerböden eine Kohlenstoffquelle dar und verlieren ihre positiven ackerbaulichen Eigenschaften. Die Gründe dafür sind zu geringe organische und mineralische Düngung sowie wendende Bodenbearbeitung. Die geringe C_{org} -Nachlieferung über die Ernte- und Wurzelreste der Kulturpflanzen reicht nicht aus, um den Humusabbau im Ackerbau der Oblast Tyumen auszugleichen. In lokalen Versuchen russischer Kollegen hat reduzierte Bodenbearbeitung zu positiven Effekten, wie höhere Wasserverfügbarkeit, Erosionsschutz, höhere N-Mineralisierung und bessere Pflanzenentwicklung, geführt. Somit bietet unter westsibirischen Verhältnissen reduzierte Bodenbearbeitung eine gute Anpassung an den Klimawandel.

Die ungenutzte landwirtschaftliche Fläche in der Oblast Tyumen beträgt über 500.000 Hektar. Eine Konversion von Brache zu Ackerland muss vermieden werden, um die Kohlenstoffsensenfunktion und die Biodiversität dieser Ökosysteme zu erhalten. Durch eine nachhaltige Intensivierung bereits genutzter Flächen kann ein Umbruch von Brachen vermieden werden.

Wirtschaftsdünger-Management - Düngungspotentiale und Umwelteinflüsse

In Großbetrieben führt der unsachgemäße Umgang mit dem Wirtschaftsdünger zu erheblichen Umweltbelastungen durch punktuelle Ansammlung von Wirtschaftsdünger auf ungenutzten Flächen. Das Düngungspotential wird auf diese Weise nicht genutzt, während die Ackerböden in der Oblast Tyumen degradieren. Der Wirtschaftsdünger wird nicht auf eigenen Ackerflächen verteilt, weil die Transportkosten für Gülle bei einer Entfernung von 5-10 km von den Betriebsleitern als nicht rentabel angesehen werden. Der im Rahmen des Projektes SASCHA entwickelte Wirtschaftsdünger-Rechner berücksichtigt die Nährstoffgehalte im Wirtschaftsdünger und die Ausbringungskosten für eine angemessene Düngungsmenge. Die Ergebnisse des Wirtschaftsdünger-Rechners haben zum Beispiel gezeigt, dass eine Entfernung von ca. 20 km für den Transport von Gülle rentabel ist. Bei einer vollständigen Verteilung des Wirtschaftsdüngers könnten 23 % der Ackerflächen mit ausreichender Nährstoffmenge im Getreideanbau versorgt werden.

Es müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden, um Kohlenstoffverluste in den Ackerböden der Großbetriebe zu vermeiden. Dazu zählt ein bedarfsgerechtes Düngungskonzept mit organischer und mineralischer Düngung. Auch Gründüngung hat sich in lokalen Versuchen bewährt. Weiterer Forschungsbedarf besteht bei den Methoden zur Reduzierung von Treibhausgasen durch das Wirtschaftsdünger-Handling.

Die sehr kleinen, aber zahlenmäßig bedeutsamen Haushalte sind die zweitwichtigsten Erzeuger in der Versorgung der Bevölkerung mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen. In eigenen Untersuchungen konnten keine negativen Effekte für die Umwelt bei den Haushalten festgestellt werden. Die Bodenfunktionen werden durch die Verwendung des Wirtschaftsdüngers auf eigenen Ackerflächen gefördert. Die Treibhausgasemissionen aus dem Wirtschaftsdünger sind geringer als bei den Großbetrieben. Durch die extensive Beweidung wird die Biodiversität erhalten.

Handlungsempfehlungen

In der heutigen Forschung und Agrarpolitik in der Oblast Tyumen wird die Wichtigkeit einer klimafreundlichen landwirtschaftlichen Produktion noch nicht erkannt. Staatliche Förderprogramme oder Subventionen könnten jedoch eine nachhaltige, produktive und klimafreundliche landwirtschaftliche Produktion in der Oblast Tyumen fördern:

- in dem die Bewirtschaftung von ungenutzten landwirtschaftlichen Flächen durch neue gesetzliche Regelungen erschwert wird;
- in dem eine gute Ausbildung von Landwirten, Studierenden und Beratern sichergestellt wird;
- in dem Wirtschaftsdünger-Transport subventioniert wird;
- in dem Ausbringungsmengen des Wirtschaftsdüngers gesetzlich eingeschränkt werden;
- in dem Kleinbetriebe und Haushalte stärker staatlich gefördert werden
- und in dem Forschungsprojekte sowie praxisnahe Versuche zur Reduzierung von Treibhausgasen aus dem Wirtschaftsdünger-Handling, zu unterschiedlichen Bodenmanagementmaßnahmen einschließlich neuer Sorten oder Fruchtfolgen finanziell gefördert werden.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Die Oblast Tyumen in Südwest-Sibirien ist von globaler Bedeutung für den Klimaschutz und die Biodiversität. Moore, Wälder, Steppen und Dauerbrachen fungieren als Kohlenstoffsенke im globalen Kohlenstoffkreislauf. Faktoren wie Klima und natürliche Bodeneigenschaften wirken sich positiv auf die Kohlenstoffvorräte in Böden der Oblast Tyumen aus. Durch die aktuelle Praxis im Ackerbau werden die Humusgehalte jedoch reduziert und das Bodengefüge wird negativ beeinflusst. Somit gehen drei wichtige Funktionen des Bodens verloren: die Kohlenstoffsенkenfunktion, die Produktivität für den Ackerbau und die Erhaltung der Biodiversität. Durch das sich ändernde Klima und die schnelle sozio-ökonomische Entwicklung wird eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktion in der Oblast Tyumen erwartet. Das interdisziplinäre Projekt „SASCHA – Nachhaltiges Landmanagement und Anpassungsstrategien an den Klimawandel für den Westsibirischen Getreidegürtel“ verfolgt das Ziel, negative Auswirkungen auf Ökosystemdienstleistungen wie Kohlenstoffsequestrierung, Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität sowie Biodiversität durch landwirtschaftliche Nutzung zu verhindern. Ein Teilprojekt der Universität Osnabrück untersucht die Bodenqualität, das Düngungspotential sowie die Umweltwirkung von Wirtschaftsdünger in der Oblast Tyumen. Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurden Daten erhoben, um die Bodenqualität, das Handling und das Düngepotential des Wirtschaftsdüngers sowie den Einfluss des Wirtschaftsdüngerhandlings auf das Klima und die Umwelt zu bestimmen. Folgende Methoden kamen dabei zum Einsatz: Bodenuntersuchungen, Sichtung russisch-, englisch- und deutschsprachiger Literatur, Betriebsbesichtigungen, Auswertungen der russischen Agrarstatistik und Anwendung verschiedener Bewertungs- und Berechnungsmethoden.

In den Ergebnissen spiegelt sich der Einfluss der Betriebsgröße wider. Die Landwirtschaft in der Oblast Tyumen ist gekennzeichnet durch sehr unterschiedliche Produktionsformen. Die wichtigsten Betriebsformen in der Versorgung der Bevölkerung mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen sind Großbetriebe und in ländlichen Räumen sogenannte Haushalte. Als umweltverträglich gelten neben den sehr kleinen Haushalten die kleinen Betriebe. Der anfallende Wirtschaftsdünger wird in diesen kleinen Betriebsformen und bei den Haushalten in geschlossenen Nährstoffkreisläufen wiederverwertet. Der Umgang mit dem Wirtschaftsdünger in den Großbetrieben ist in der Oblast Tyumen dagegen in vielerlei Hinsicht problematisch. Dort wird er zum Beispiel in überhöhten Mengen auf Schwarzbrachen ausgebracht. Das Düngepotential des Wirtschaftsdüngers bleibt bei solcher Vorgehensweise zum großen Teil ungenutzt. Zeitgleich degradieren die Böden der von Großbetrieben bewirtschafteten Äcker, die ca. 80 % der Ackerfläche in der Oblast Tyumen ausmachen. Aufgrund zu geringer mineralischer und organischer Düngung sowie wendender Bodenbearbeitung nimmt die Produktivität der Ackerböden ab. Durch die Verteilung von

anfallendem Wirtschaftsdünger auf Ackerflächen kann der Bodendegradierung entgegengewirkt werden, und die nachteiligen Umwelteffekte durch das aktuelle Wirtschaftsdünger-Handling in Großbetrieben würden ebenfalls vermieden werden. Im Rahmen des Projektes SASCHA wurde der Wirtschaftsdünger-Rechner entwickelt, der die Transportkosten in Relation zum Geldwert der darin enthaltenen Nährstoffe setzt. Bei einer vollständigen Verteilung dieser organischen Reststoffe würden 23 % der Äcker mit Nährstoffen versorgt werden. Für den übrigen Anteil der Ackerflächen müssen andere Maßnahmen ergriffen werden, um die Bodenfunktionen zu erhalten und zu verbessern. Dazu zählen reduzierte Bodenbearbeitung, nachhaltige Fruchtfolgen sowie ein ausgewogenes Düngekonzept mit organischer und mineralischer Düngung. Durch Separation, Biogasnutzung und die Umstellung von Gülle auf Festmistverfahren könnten zukünftig im Rahmen des Einsatzes von Wirtschaftsdünger Treibhausgasemissionen eingespart werden.

Die ungenutzten landwirtschaftlichen Flächen in der Oblast Tyumen erfüllen die Funktion als Kohlenstoffsенke und fördern die Erhaltung der Biodiversität. Eine Konversion zu Ackerland sollte deshalb vermieden. Durch eine nachhaltige Intensivierung von bereits genutzten Flächen und durch eine gesetzliche Einschränkung der Nutzung von Brachen kann dieses Ziel erreicht werden. Dies setzt jedoch ein verbessertes Bewusstsein für den Klimawandel bei allen Akteuren in der lokalen und nationalen Agrarpolitik voraus. In der Oblast Tyumen sowie auch im gesamten Westsibirien besteht ein hoher Forschungsbedarf für alternative Bodenmanagementmaßnahmen und für Treibhausgas senkende Produktionsverfahren.

9 SUMMARY

The Tyumen oblast in South-Western Siberia is of global importance for climate protection and biodiversity. Peatlands, forests, steppes and abandoned land function as carbon sinks in the global carbon cycle. Factors such as climate and natural soil properties have a positive effect on the carbon stocks in the soils of the Tyumen oblast. Due to agricultural land use, soils lose their function as a carbon sink. The current practice in agriculture leads to loss of organic matter and influences soil structure negatively. Thus, three important soil functions are lost: carbon sink function, productivity for agricultural production and the maintenance of biodiversity.

In Tyumen oblast an increase in agricultural production is expected due to climate change and rapid socioeconomic development. The aim of the interdisciplinary project "SASCHA - Sustainable Land Management and Adaptation Strategies to Climate Change for the Western Siberian Grain Belt" is the prevention of negative impacts of agricultural land use on ecosystem services such as carbon sequestration, water availability, water quality and biodiversity. In a subproject of the University of Osnabrück the soil quality and the fertilization potential as well as the environmental impact of livestock by-products were studied. Data about soil quality, the re-use of livestock by-products, manure handling, the potential of manure fertilization and the influence of manure handling on the climate were collected.

The results reflect the influence of different livestock production systems. Agriculture in the Tyumen oblast is characterized by strongly differing livestock production systems. The most important production systems supplying agricultural products are mega farms and very small households in rural areas. A third category is the small farm, which plays a minor role. The small farms and households are regarded as environmentally friendly, because livestock manure is recycled in almost closed nutrient cycles. Manure handling in the mega farms is problematic in many ways. For example, the manure of mega farms is applied in excessive quantities to bare fallows. While the fertilization potential of manure is largely wasted in this way, at the same time, the arable land of mega farms is degrading. Mega farms cultivate about 80 % of the arable land in the Tyumen oblast. The productivity of the arable land decreases because of insufficient mineral and organic fertilization as well as deep soil tillage. Regional distribution of livestock manure on arable land could help to avoid further soil degradation. The negative environmental effects caused by the current manure handling in mega farms would be avoided, too. Within the framework of the project SASCHA a "Manure Calculator" was developed, which relates the transport costs for manure to the monetary value of the nutrients contained in manure. With a complete distribution of manure, 23 % of the arable land could be supplied with nutrients in Tyumen oblast. For the rest of the arable land, other measures must be applied to maintain and

to improve soil functions. These measures include no-till systems, sustainable crop rotations and a balanced fertilization concept with organic and mineral fertilizer. In the case of manure handling, greenhouse gases could be reduced by manure separation, biogas production and the conversion of liquid manure to solid manure systems.

The abandoned land in the Tyumen oblast fulfills the function as carbon sink and promotes the conservation of biodiversity. Therefore, conversion of abandoned land to arable land should be avoided. This goal can be achieved by sustainable intensification of arable land that is already used and by a statutory restriction of the use of abandoned land. However, this requires an awareness of climate change of all stakeholders in local and national agricultural policy. There is an urgent need for research on alternative soil management and production methods minimizing greenhouse gases in agriculture of Tyumen oblast and also in Western Siberia in general.

LITERATUR

- Abramov, N.W. (2013): Produktivität der agrarischen Ökosysteme und Zustand der Bodenfruchtbarkeit in Westsibirien. Staatliche Agraruniversität des Nördlichen Transurals. Tyumen (Russisch).
- Abramov, N.V., Eremin, D.I. und Eremina, D.V. (2010): Wirtschaftlichkeit der Anwendung mineralischer Dünger bei Sommerweizen im Nördlichen Transural. Ural Agrar-Bulletin 2 (68), 47-50. (Russisch).
- Administration der Oblast Tyumen (2015): Staatsprogramm der Oblast Tyumen „Grundlegende Entwicklungstrends mineralischer Ressourcen des Brennstoff- & Energiesektors“ bis 2020. Department für mineralische Ressourcen und Ökologie der Oblast Tyumen. http://admtyumen.ru/ogv_ru/ (10.04.2015).
- Akinremi, O.O., McGinn, S.M. & McLean, H.D.J. (1998): Effects of soil temperature and moisture on soil respiration in barley and fallow plots. In: Canadian Journal of Soil Science 79, 5-13.
- Anbessa, Y. & Juskiw, P. (2012): Review: Strategies to increase nitrogen use efficiency of spring barley. In: Canadian Journal of Plant Science 92(4), 617-625.
- Andrews, S.S. & Carroll, C.R. (2001): Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. In: Ecological Applications 11(6), 1573-1585.
- Angers, D.A. & Eriksen-Hamel, N.S. (2008): Full-inversion tillage and organic carbon distribution in soil profiles: a meta-analysis. In: Soil Science Society of America Journal 72, 1370-1374.
- Angers, D.A. & Caron, J. (1998): Plant-Induced Changes in Soil Structure: Processes and Feedbacks. In: Van Breemen, N. (Hg): Plant-Induced Changes in Soil Structure: Processes and Feedbacks. Springer, Wageningen, Niederlanden, 55-72.
- Angers, D.A., Bolinder, M.A., Carter, M.R., Gregorich, E.G., Drury, C.F., Liang, B.C., Voroney, R.P., Simard R.R., Donald, R.G., Beyaert, R.P. & Martel, J. (1997): Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. In: Soil and Tillage Research 41(3), 191-201.

- Ball, B.C., Batey T. & Munkholm L.J. (2007): Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. In: Soil use and Management 23, 329-337.
- Bellamy, P.H., Loveland, P.J. Bradley, R.I., Lark R.M. & Kirk, G.J.D. (2005): Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. In: Nature, 437, 245-248.
- Berner, A., Böhm, H., Brandhuber, Braun, R., Brede, J., Colling-von Roesgen, J., Demmel, L.L., Dierauer, M., Doppler, H., Ewald, G., Fisel, B., Fließbach, T., Fuchs, A., Gattinger, J., Häberli, A., Heß, H., Hülsbergen K.J., Köchli M., Kolbe, H., Koller, M., Mäder, P., Müller, A., Neessen, P., Patzel, N., Pfiffner, L., Schmidt, H., Weller, S. & Wild, M. (2012): Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit - Die Beziehung zum Boden gestalten. FiBL-Merkblatt. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Bio Austria, Bioland Beratung GmbH, Bio Suisse und IBLA Luxemburg, CH-Frick, A-Linz, D-Mainz, CH-Basel und L-Munsbach.
- Biederbeck, V.O., Bouman, O.T., Campbell, C.A., Winkleman, G.E. & Bailey, L.D. (1996): Nitrogen benefits from four green-manure legumes in dryland cropping systems. In: Canadian Journal of Plant Science 76(2), 307-315.
- Biederman, L.A., & Harpole, W.S. (2013): Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. In: GCB bioenergy, 5(2), 202-214.
- Bischoff, N., Mikutta, R., Shibistova, O., Puzanov, A., Reichert, E., Silanteva, M., Grebennikova, A., Schaarschmidt, F., Heinicke, S. & Guggenberger, G. (2016): Land-use change under different climatic conditions: Consequences for organic matter and microbial communities in Siberian steppe soils. In: Agriculture, Ecosystems & Environment 235, 253-264.
- Bome, N.A. & Rjabikova, W.L. (2012): Bodenkunde. Tyumen: Verlag der staatlichen Universität Tyumen (Russisch).
- Bouma, J. (1994): Sustainable Land Use as a Future Focus for Pedology? In: Soil Science Society of America Journal 58, 645-645.
- Boydston, R.A. & Hang, A. (1995): Rapeseed (*Brassica napus*) green manure crop suppresses weeds in potato (*Solanum tuberosum*). In: Weed technology, 9(4), 669-675.
- Bremer, E., Janzen, H.H. & McKenzie, R.H. (2002): Short-term impact of fallow frequency and perennial grass on soil organic carbon in a Brown Chernozem in southern Alberta. In: Canadian Journal of Soil Science 82, 481-488.

- Bronger, A. (2003): Bodengeographie der Waldsteppen und Steppen. Handbuch der Bodenkunde. Blume, H.-P. (Hg.), Handbuch der Bodenkunde. Landsberg/Lech: Ecomed.
- Bronick, C. J. & Lal, R. (2005): Soil structure and management: a review. In: *Geoderma* 124, 3–22.
- Bundeszentrale für politische Bildung (2012): Russland innerhalb der GUS. Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung. <http://www.bpb.de/internationales/europa/russland/48407/russland-innerhalb-der-gus> (07.04.2017).
- Carter, M.R. (2002): Soil quality for sustainable land management. In: *Agronomy Journal* 94(1), 38-47.
- Chadwick, D., Sommer, S., Thorman, R., Fangueiro, D., Cardenas, L., Amon, B. & Misselbrook, T. (2011): Manure management: implications for greenhouse gas emissions. In: *Animal Feed Science and Technology* 166, 514-531.
- Cherr, C.M., Scholberg, J.M.S., & McSorley, R. (2006): Green manure approaches to crop production. In: *Agronomy Journal* 98(2), 302-319.
- Chianese, D.S., Rotz, C.A. & Richard, T.L. (2009): Simulation of methane emissions from dairy farms to assess greenhouse gas reduction strategies. In: *Transactions of the ASABE* 52(4), 1313-1323.
- Clough, T.J., Condon, L.M., Kammann, C. & Müller, C. (2013): A review of biochar and soil nitrogen dynamics. In: *Agronomy*, 3(2), 275-293.
- Conant, R.T., Paustian, K. & Elliott, E.T. (2001): Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. In: *Ecological Applications* 11(2), 343-355.
- Congreves, K.A., Grant, B.B., Campbell, C.A., Smith, W.N., VandenBygaart, A.J., Kröbel, R., Lemke, R.L. & Desjardins, R. L. (2015): Measuring and modeling the long-term impact of crop management on soil carbon sequestration in the semiarid Canadian prairies. In: *Agronomy Journal* 107(3), 1141-1154.
- coroma.ru (2015): Auflistung der Torf gewinnenden Unternehmen in der Oblast Tyumen. <http://coroma.ru/spravochnik/categ28/region71.html> (10.04.2015) (Russisch).
- Crews, T.E. & Peoples, M.B. (2005): Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 72(2), 101-120.

- Czarnes, S., Hallett, P.D., Bengough, A.G. & Young, I.M. (2000): Root-and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport. In: *European Journal of Soil Science* 51, 435–443.
- Darwish, O.H., Persaud, N. & Martens, D.C. (1995): Effect of long-term application of animal manure on physical properties of three soils. In: *Plant and Soil* 176(2), 289-295.
- Degefie, D., Fleischer, E., Klemm, O., Soromotin, A., Soromotina, O., Tolstikov, A. & Abramov, N. (2014): Climate Extremes in South Western Siberia: Past and Future. In: *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 28(8), 2161-2173.
- DeLuca, T.H & DeLuca, D.K. (1997): Composting for feedlot manure management and soil quality. In: *Journal of Production Agriculture* 10(2), 235-241.
- Dengler, J., Janišová, M., Török, P. & Wellstein, C. (2014): Biodiversity of Palaeartic grasslands: a synthesis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 182, 1-14.
- Devendra, C. & Thomas, D. (2002): Crop–animal interactions in mixed farming systems in Asia. In: *Agricultural Systems* 71(1), 27-40.
- Diacono, M., Rubino, P. & Montemurro, F. (2013): Precision nitrogen management of wheat. A review. In: *Agronomy for sustainable development* 33(1), 219-241.
- Ding, X., Han, X., Zhang, X., Qiao, Y. & Liang, Y. (2013): Continuous manuring combined with chemical fertilizer affects soil microbial residues in a Mollisol. In: *Biology and fertility of soils* 49(4), 387-393.
- Divanbeigi, R. & Saliola, F. (2016): *Regulation and the Transformation of Agriculture*. FAO.
- Dolginow, J. & Kropatschjow, S. (1994): *Abriss der Geologie Russlands und angrenzender Staaten*. Stuttgart: Schweizerbart.
- Dontschenko, A.S., Kalitschkina, W.K. & Kaschewarova N.I. (2014): *Ackerbauliche Maßnahmen in Sibirien im Jahr 2014. Empfehlungen*. Sibirische Abteilung der Russischen Landwirtschaftlichen Akademie. Novosibirsk (Russisch).
- Drinkwater, L.E., Wagoner, P. & Sarrantonio, M. (1998): Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. In: *Nature* 396(6708), 262-265.

- Du, Z., Angers, D.A., Ren, T., Zhang, Q. & Li, G. (2017): The effect of no-till on organic C storage in Chinese soils should not be overemphasized: A meta-analysis. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 236, 1-11.
- Duma, Russische Föderation (2003): Bundesgesetz 74 über Kleinbauern. Duma, Russische Föderation (Russisch).
- Elmholt, S., Stenberg, B., Grønlund, A. & Nuutinen, V. (2000): Soil stresses, quality and care: concluding remarks from discussions in working groups and plenary sessions of NJF-seminar no. 310. In: Elmholt, S., Stenberg, B., Grønlund, A., Nuutinen, V. (Hg.), *Soil Stresses, Quality and Care. Proceedings of the NJF Seminar 310, April 10–12, 2000 Norway*, Report No. 38. Danish Institute of Agricultural Science (DIAS), Tjele, 171– 179.
- Eremin, D.I. (2012): Änderung des Luvic Chernozems durch landwirtschaftliche Nutzung im Nördlichen Transural. Dissertation. Landwirtschaftliche Agrar Akademie der Oblast Tyumen. Tyumen (Russisch).
- Eremin, D.I. & Abramova, S.W. (2008): Biologische Aktivität und Nitratgehalte auf Luvic Chernozem und Gleyic Phaeozem des Ischim-Tobol-Zwischenstromlandes. In: *Vestnik KrasGAU* 2, 69-71 (Russisch).
- Europäische Kommission (2009): Commission Regulation (EC) No 1200/2009 of 30 November 2009 implementing Regulation (EC) No 1166/2008 of the European Parliament and of the Council on farm structure surveys and the survey on agricultural production methods, as regards livestock unit coefficients and definitions of the characteristics, *Official Journal of the European Union*, L 329/1, 15.12.2009, Luxemburg
- Fedotkin, W.A., Rzaeva, V.V. & Gilgenberg, I.W. (2009): Produktivität der Kulturen in der Abhängigkeit von der Lagerungsdichte und der nutzbaren Feldkapazität. In: *Sibirisches Blatt der Agrarwissenschaften* 2, 29-33 (in Russisch).
- Fischer, G., van Velthuizen H., Shah M. & Nachtergaele F. (2002): *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results*. IIASA Research Report. IIASA, Laxenburg, Österreich.
- Fleischer, E., Khashimov, I., Holzler, N. & Klemm, O. (2016): Carbon exchange fluxes over peatlands in Western Siberia: Possible feedback between land-use change and climate change. In: *Science of the Total Environment* 545, 424-433.

- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T.G., Daily, C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A. Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty N. & Snyder P. K. (2005): Global consequences of land use. In: *Science* 309, 570-574.
- Follett, R.F. (2012): Nitrogen management and ground water protection. 21. Auflage. Elsevier.
- Fox, C.A., Tarnocai, C., Broll, G., Joschko, M., Kroetsch, D. & Kenney, E. (2014): Enhanced A Horizon Framework and Field Form for detailed field scale monitoring of dynamic soil properties. In: *Canadian Journal of Soil Science* 94(2), 189-208.
- Franko, U. (1997): Modellierung des Umsatzes der organischen Bodensubstanz. In: *Archiv für Acker- Pflanzenbau und Bodenkunde* 41, 527-547.
- Franzluebbers, A.J., Stuedemann, J.A., Schomberg, H.H. & Wilkinson, S.R. (2000): Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. In: *Soil Biology & Biochemistry* 32(4):469-478.
- Freitag, M., Mathar, W., Yurtaev, A.A. & Hölzel, N. (2015): Floristic composition and environmental determinants of pine forests in the hemiboreal zone of Western Siberia. In: *Tuexenia* 35, 31-51.
- Frey, K.E. & Smith, L.C. (2003): Recent temperature and precipitation increases in West Siberia and their association with the Arctic Oscillation. In: *Polar Research* 22(2), 287-300.
- Frühauf, M. & Meinel, T. (2014): Ökosystemkonversion in den temperierten Grasländern Südwestsibiriens: Steuerfaktoren, Etappen und Geoökologische Konsequenzen. In: *GEO-ÖKO* 35(1-2),5-38.
- Gamzikov, G.P. (2011): Agrarchemische Probleme der sibirischen Landnutzung. In: *Vestnik-NGAU* 21, 5-20 (Russisch).
- Gauger, T. (2002): Flächendeckende Kartierung der Gesamtdeposition von Stickstoff in Deutschland. In: Franko, U. (Hg.): *Stickstoff - ein Nährstoff aus dem Gleichgewicht*. UFZ Berichte 16/2002, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, S. 72-89.
- Gerzabek, M.H., Pichlmayer, F., Kirchmann, H. & Haberhauer, G. (1997): The response of soil organic matter to manure amendments in a long-term experiment at Ultuna, Sweden. In: *European Journal of Soil Science* 48(2), 273-282.

- GIDROMETEIOZDAT (1998): Wissenschaftlich angewandtes Handbuch des Klimas in der UdSSR. Teil 3. Ausgabe 17. Oblast Tyumen und Omsk. GIDROMETEIOZDAT. Sankt Petersburg (Russisch).
- Gillespie, A.W., Diochon A., Ma B.L., Morrison M.J., Kellman L., Walley F.L., Regier T Z., Chevrier D., Dynes J.J. & Gregorich E.G. (2014): Nitrogen input quality changes the biochemical composition of soil organic matter stabilized in the fine fraction: a long-term study. In: *Bio-geochemistry* 117, 337-350.
- Glendining, M.J., Powelson, D.S., Poulton, P.R., Bradbury, N.J., Palazzo, D. & Li, X. (1996): The effects of long-term applications of inorganic nitrogen fertilizer on soil nitrogen in the Broadbalk Wheat Experiment. In: *The Journal of Agricultural Science* 127(3), 347-363.
- Gourley, C.J., Aarons, S.R. & Powell, J.M. (2012): Nitrogen use efficiency and manure management practices in contrasting dairy production systems. In: *Agriculture, ecosystems & environment* 147, 73-81.
- Gregory, P.J. (2006): Roots, rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science? In: *European Journal of Soil Science* 57, 2-12.
- Grunwald, L.C., Belyaev, V.I., Hamann, M., Illiger, P., Stephan, E., Bischoff, N., Rudev, N.V., Kozhanov N.A., Schmidt, G., Frühauf, M. & Meinel, T. (2016): Modern Cropping Systems and Technologies for Soil Conservation in Siberian Agriculture. In: *Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia*, 681-715. Springer International Publishing.
- Guo, L.B. & Gifford, R.M. (2002): Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. In: *Global Change Biology* 8, 345-360.
- Guseeva, S.A. (2007): Zustand der Solonetze im Süden der Oblast Tyumen und Aspekte ihrer Entwicklung. Dissertation. Staatliche Agraruniversität Omsk. Tyumen (Russisch).
- Hao, X. & Chang, C. (2003): Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? In: *Agriculture, ecosystems & environment* 94(1), 89-103.
- Hothan, A., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2013): Influence of storage on methane yields of separated pig slurry solids. In: *Biomass and Bioenergy* 52, 166-172.

- Houghton, R.A. & Goodale, C.L. (2004): Effects of Land-Use Change on the Carbon Balance of Terrestrial Ecosystems. In: DeFries, R., Asner, G., Houghton, R. (Hg.). Ecosystems and land use change. American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series 153, Washington DC, 85-98.
- Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S. (2013): Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO₂ emissions. Food and Agriculture Organization of the United Nations Technical Workshop Report.
- Hülsbergen, K.J. & Küstermann, B. (2007): Ökologischer Landbau-Beitrag zum Klimaschutz. In: Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern 9-21.
- IPCC (2014a): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Hg.). IPCC, Geneva, Schweiz.
- IPCC (2014b): Climate Change 2014–Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects. Cambridge University Press.
- IPCC (2006): IPCC- Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (Hg.). IGES, Hayama, Japan.
- IUSS Working Group WRB (2014): World Reference Base for Soil Resources 2014. International Soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rom, FAO.
- IUSS Working Group WRB (2006): World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports No. 103. Rom, FAO.
- Ivanenko, A. & Kuljasova, O. (2008): Agrarklimatische Bedingungen in der Oblast Tyumen. TSAA. Tyumen (Russisch).
- Jarvis, S.C. (1993): Nitrogen cycling and losses from dairy farms. In: Soil Use and Management 9(3), 99-104.
- Ji, X., Shen, Q., Liu, F., Ma, J., Xu, G., Wang, Y. & Wu, M. (2012): Antibiotic resistance gene abundances associated with antibiotics and heavy metals in animal manures and agricultural

- soils adjacent to feedlots in Shanghai, China. In: *Journal of hazardous materials* 235, 178-185.
- Jongbloed, A.W. & Lenis, N.P. (1998): Environmental concerns about animal manure. In: *Journal of Animal Science* 76(10), 2641-2648.
- Kämpf, I., Mathar, W., Kuzmin, I., Hölzel, N. & Kiehl, K. (2016a): Post-Soviet recovery of grassland vegetation on abandoned fields in the forest steppe zone of Western Siberia. In: *Biodiversity & Conservation* 25 (12), 2563-2580.
- Kämpf, I., Hölzel, N., Störrle, M., Broll, G. & Kiehl, K. (2016b): Potential of temperate agricultural soils for carbon sequestration: A meta-analysis of land-use effects. In: *Science of the Total Environment* 566–567, 428–435.
- Karetin, L.N. (1990): Böden der Oblast Tyumen. Nauka. Novosibirsk. (Russisch).
- Karetin, L.N., Gadschyevoj, I.M., Vinokurova, I.S., Bogdanovoj, W.A. & Teplovoj, G.H. (1989): Bodenkarte der Oblast Tyumen. Landwirtschaftliches Institut der Oblast Tyumen. Tyumen (Russisch).
- Karlen, D.L. & Andrews, S.S. (2000): The soil quality concept: a tool for evaluating sustainability. In: Elmholt, S., Stenberg, B., Grønlund, A., Nuutinen, V. (Hg.), *Soil Stresses, Quality and Care. Proceedings of the NJF Seminar 310, April 10 – 12, 2000, A°s, Norwegen, Report No. 38. Danish Institute of Agricultural Science (DIAS), Tjele, 15– 26.*
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. & Schuman, G.E. (1997): Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). In: *Soil Science Society of America Journal* 61(1), 4-10.
- Kay, B.D. (1998): Soil structure and organic carbon: a review. In: *Soil processes and the carbon cycle* 198, 169-197.
- Khan, S. A., Mulvaney, R. L., Ellsworth, T. R. & Boast, C. W. (2007): The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration. In: *Journal of Environmental Quality* 36(6), 1821-1832.
- Kiem, R. & Kandeler, E. (1997): Stabilization of aggregates by the microbial biomass as affected by soil texture and type. In: *Applied Soil Ecology* 5, 221-230.

- Kirjuschin, W.I. (2011): Bodenklassifikation und agrarökologische Typologie der Böden. Lanj. Sankt Petersburg (Russisch).
- Klenov, B.M. (1998): Stabilität des Humus in Westsibirien unter anthropogenem Einfluss. Dissertation. Russische Akademie der Agrarwissenschaften. Novosibirsk. <http://earthpapers.net/ustoychivost-gumusa-pochv-zapadnoy-sibiri-v-usloviyah-antropogennogo-vliyanija#ixzz3Ehfc0Pav> (Russisch) (29.09.2014).
- Knappe, F., Böß, A., Fehrenbach, H., Giegrich, J., Vogt, R., Dehoust, G., Schüler, U., Wiegmann, K. & Fritsche, U. (2007): Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. Berlin: Umweltbundesamt. UBA-Texte 4(07).
- Knowler, D. & Bradshaw, B. (2007): Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. In: Food policy 32(1), 25-48.
- Körschens, M., Rogasik, J. & Schulz, E. (2005): Bilanzierung und Richtwerte organischer Bodensubstanz. In: Landbauforschung Völkenrode 1(55), 1-10.
- Körschens, M. & Schulz, E. (1999): Die organische Bodensubstanz: Dynamik - Reproduktion - ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte. UFZ-Umweltforschungszentrum. Leipzig-Halle.
- Krishnan, G., Holshouser, D.L. & Nissen, S.J. (1998): Weed control in soybean (*Glycine max*) with green manure crops. In: Weed Technology 12, 97-102.
- Kühling, I., Broll, G. & Trautz, D. (2016): Spatio-temporal analysis of agricultural land-use intensity across the Western Siberian grain belt. In: Science of the Total Environment 544, 271-280.
- Kühling, I., Griewald, Y., Broll, G. & Trautz, D. (2015): Potential of land-use intensity analysis for sustainable land management scenarios in Southern West Siberia. In: GEO-ÖKO 36, 112-132.
- Kühling, I. & Trautz, D. (2015): Potential of Adapted Tillage and Seeding Operations for Sustainable Spring Wheat Cultivation Under Climate Change in Western Siberia. In: Procedia Environmental Sciences 29, 115-116.

- Kühling, I. & Trautz, D. (2012): Agrarstruktur – Vorläufige Charakterisierung der landwirtschaftlichen Produktion in der Region Tyumen. Working Paper. http://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/sascha/publikationen/sp510_workingpaper_agrarstruktur_milestonem511.pdf (04.09.2014).
- Kravchenko, Y., Rogovska, N., Petrenko, L., Zhang, X., Song, C. & Chen, Y. (2012): Quality and dynamics of soil organic matter in a typical Chernozem of Ukraine under different long-term tillage systems. In: *Canadian Journal of Soil Science* 92(3), 429-438.
- Kurganova, I., Kuzyakov, Y., Lopes de Gerenyu, V. & Six, J. (2014): Carbon cost of collective farming collapse in Russia. In: *Global Change Biology* 20, 938-947.
- Lal, R. (2008): Carbon sequestration. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society B - Biological Sciences* 363, 815-830.
- Lal, R., Follett, R.F., Stewart, B.A. & Kimble, J.M. (2007): Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. In: *Soil science* 172(12), 943-956.
- Lehmann, J. & Kleber, M. (2015): The contentious nature of soil organic matter. In: *Nature* 528, 60-68.
- Li-Xian, Y., Guo-Liang, L., Shi-Hua, T., Gavin, S. & Zhao-Huan, H. (2007): Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. In: *Science of the total environment* 383(1), 106-114.
- Luo, Z.K., Wang, E.L. & Sun, O.J. (2010): Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 139, 224-231.
- Maillard, É. & Angers, D. A. (2014): Animal manure application and soil organic carbon stocks: A meta-analysis. In: *Global Change Biology* 20(2), 666-679.
- Mathar, W., Kämpf, I., Kuzmin, I., Tupitsin, S., Tolstikov, A., Kleinebecker, T. & Hölzel, N. (2016): Floristic diversity and species composition of meadow steppes in the Western Siberian Forest-Steppe zone - Effects of management, local site conditions and landscape structure. In: *Biodiversity & Conservation* 25(12), 2361-2379.
- McGarry, D. (2006): A methodology of visual-soil field assessment tool to support, enhance, and contribute to the LADA program. FAO, Paris.

- Meijsjamova, D.R. & Abramov, N.V. (2008): Biologische Gesetzmäßigkeit des Ordinary Chernozems unter der landwirtschaftlichen Nutzung. In: *Agrar-Vestnik des Urals* 5(47), 35-37 (Russisch).
- Menova, N.F., Saraeva, L.O., Ganichin, W.A., Serkova, N.N. & Muranov, A.A. (2008): Atlas landwirtschaftlicher Objekte und deren Charakterisierung anhand der Ergebnisse der allrussischen Agrarstrukturerhebung im Jahr 2006 auf dem Gebiet der Oblast Tyumen. Kartografisches Material. Statistikamt der Oblast Tyumen (Russisch).
- Mokhele, B., Zhan, X., Yang, G. & Zhang, X. (2012): Review: Nitrogen assimilation in crop plants and its affecting factors. In: *Canadian Journal of Plant Science* 92(3), 399-405.
- Montagnini, F. & Nair, P.K.R. (2004): Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. In: *Agroforestry systems* 61(1-3), 281-295.
- Moore, P.A., Daniel, T.C., Sharpley, A.N. & Wood, C.W. (1995): Poultry manure management: Environmentally sound options. In: *Journal of soil and water conservation* 50(3), 321-327.
- Motorin, A.S. (2013): Änderung der hydro-physikalischen Eigenschaften von Moorböden durch landwirtschaftliche Nutzung im Nördlichen Transural. In: *Pochvovediniie* 2(21), 6-12 (Russisch).
- Motorin, A.S. & Bukin, A.W. (2012): Nährstoffgehalte und Eigenschaften der Auenböden des Flusses Tobol im Nördlichen Transural. In: *Agrar-Vestnik des Urals* 6(98), 71-75 (Russisch).
- Müller, L., Schindler, U., Shepherd, T.G., Ball, B.C., Smolentseva, E., Pachikin, K., Hennings, V., Sheudshen A.K., Behrendt, A., Eulenstein, F. & Dannowski R. (2014): The Muencheberg Soil Quality Rating for assessing the quality of global farmland. In: *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia*. Springer International Publishing, 235-248.
- Müller, L., Schindler, U., Mirschel, W., Shepherd, T.G., Ball, B.C., Helming, K., Rogasik, J., Eulenstein, F. & Wiggering, H. (2010): Assessing the productivity function of soils. A review. In: *Agronomy for Sustainable Development* 30(3), 601-614.
- Müller, L., Kay, B.D., Hu, C., Li, Y., Schindler, U., Behrendt, A., Sheperd, T.G. & Ball, B.C. (2009): Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, Chi-

- na and Germany. Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. In: *Soil & Tillage Research* 103, 178-187.
- Müller, L., Kay, B.D., Deen, B., Hu, C., Zhang, Y., Wolff, M., Eulenstein, F. & Schindler, U. (2008): Visual assessment of soil structure: Part II. Implications of tillage, rotation and traffic on sites in Canada, China and Germany. In: *Soil & Tillage Research* 103(1), 188-196.
- Nakhutin, A.I., Gitarsky, M.L., Romanovskaya A.A., Ginzburg, V.A., Grabar, V.A., Imshennik, E.V., Karaban, R.T., Korotkov, V.N., Manzon, D.A., Govor, I.L., Kuzovkin, V.V., Smirnov, V.D., Smirnov, N.S., Uvarov, N.E. & Trunov, A.A. (2013): Russian Federation - National Inventory Report of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of all greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for 1990 - 2011. Part 1. Moscow, Russia.
- Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Williams, J. R. & Unwin, R. J. (1999): Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. In: *Bioresource Technology* 70(1), 23-31.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J. & Paustian, K. (2005): Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. In: *Biogeochemistry* 72, 87-121.
- Osipov, V.A. (2011): Entwicklung eines Modells zur räumlichen Optimierung des Agrarsektors in der Oblast Tyumen. Wissenschaftlich-technischer Bericht. Staatliche Universität Tyumen. Tyumen (Russisch).
- Otabbong, E., Arkhipchenko, I., Orlova, O., Barbolina, I. & Shubaeva, M. (2007): Impact of piggery slurry lagoon on the environment: A study of groundwater and river Igolinka at the Vostochnii Pig Farm, St. Petersburg, Russia. In: *Acta Agriculturae Scandinavica Section B. Soil and Plant Science* 57(1), 74-81.
- Peerlkamp, P.K. (1959): A visual method of soil structure evaluation. *Meded. v.d. Landbouwhogeschool en Opzoekingsstations van de Staat te Gent*. XXIV 24, 216-221.
- Parham, J.A., Deng, S.P., Da, H.N., Sun, H.Y. & Raun, W.R. (2003): Longterm cattle manure application in soil. II. Effect on soil microbial populations and community structure. In: *Biology and Fertility of Soils* 38(4), 209-215.

- Perfilyev, V.N. (2014): Optimierung der Bodenbearbeitung bei Phaeozems in Nördlichen Transural. Kurzfassung der Dissertation. Tyumen
 vak2.ed.gov.ru/idcUploadAutoref/renderFile/170558 (10.04.2015) (Russisch).
- Piccoli, I., Chiarini, F., Carletti, P., Furlan, L., Lazzaro, B., Nardi, S., Berti, A., Sartori, L., Dalconi, M.C. & Morari, F. (2016): Disentangling the effects of conservation agriculture practices on the vertical distribution of soil organic carbon. Evidence of poor carbon sequestration in North-Eastern Italy. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 230, 68-78.
- Piotrowska, A. & Wilczewski, E. (2012): Effects of catch crops cultivated for green manure and mineral nitrogen fertilization on soil enzyme activities and chemical properties. In: *Geoderma* 189, 72-80.
- Poepflau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J. & Gensior, A. (2011): Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach. In: *Global Change Biology* 17, 2415-2427.
- Post, W.M. & Kwon, K.C. (2000): Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. In: *Global Change Biology* 6, 317-327.
- Powlson, D. S., Stirling, C. M., Jat, M. L., Gerard, B. G., Palm, C. A., Sanchez, P. A. & Cassman, K. G. (2014): Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. In: *Nature Climate Change* 4(8), 678-683.
- Rampazzo, N., Blum, W. E. & Wimmer, B. (1998): Assessment of soil structure parameters and functions in agricultural soils. In: *Die Bodenkultur* 49, 69-84.
- Rhoton, F.E. (2000): Influence of time on soil response to no-till practices. In: *Soil Science Society of America Journal* 64(2), 700-709.
- Romanovskaja, A.A. (2008): Grundlagen für ein Monitoring der anthropogenen Treibhausgasemissionen und -senken (CO₂, N₂O, CH₄) in der Viehwirtschaft, der Landwirtschaft und unter Landnutzungsänderungen in Russland. Kurzfassung der Dissertation.
<http://www.dissercat.com/content/osnovy-monitoringa-antropogennykh-emissii-i-stokov-parnikovykh-gazov-co2-n2o-ch4-v-zhivotnov> (23.09.2014) (Russisch).

- ROSREESTR (2013): Amt des föderalen Dienstes für staatliche Registrierung, Kataster und Kartographie in der Oblast Tyumen. Auskunft über den Zustand und die Nutzung von Flächen in der Oblast Tyumen. http://www.to72.rosreestr.ru/adastr/ter_planir/svedenia_zemli/ (09.09.2014) (Russisch).
- ROSREESTR (2012): Amt des föderalen Dienstes für staatliche Registrierung, Kataster und Kartographie in der Oblast Tyumen. Bericht über den Zustand und Nutzung von Flächen in der Oblast Tyumen im Jahr 2011. <http://www.to72.rosreestr.ru> (17.09.2013).
- ROSSTAT (2016): Bevölkerungsindikatoren der Tyumen Oblast. Russischer föderaler Dienst für staatliche Statistik. <http://www.gks.ru> (14.10.2016).
- ROSSTAT (2013): Landwirtschaftliche Kennzahlen für die Rajons der Oblast Tyumen. <http://www.gks.ru> (01.08.2013).
- Rothkegel, W. (1950): Geschichtliche Entwicklung der Bodenbonitierungen und Wesen und Bedeutung der deutschen Bodenschätzung. Stuttgart: Ulmer.
- Rufino, M.C., Tittonell, P., Van Wijk, M.T., Castellanos-Navarrete, A., Delle, R.J., De Ridder, N. & Giller, K.E. (2007): Manure as a key resource within smallholder farming systems: analysing farm-scale nutrient cycling efficiencies with the NUANCES framework. In: *Livestock Science* 112(3), 273-287.
- Rusalimova, O., Savenkov, O., Smirnova, N. & Barsukov, P. (2006): Soil organic carbon losses from seasonally-frozen soils of agricultural ecosystems in West Siberia for the 20th century. Hatano R. & Guggenberger G. (Hg.): *Symptom of Environmental Change in Siberian Permafrost Region*. Sapporo, Hokkaido University Press, 85-91.
- Rzaeva, V.V. (2014): *Bodenbearbeitungssysteme in der Landwirtschaft des Nördlichen Transurals*. Dissertation. Staatliche Agraruniversität des Nördlichen Transurals. Tyumen (Russisch).
- SASCHA Projekt (2011): SASCHA–Sustainable land management and adaptation strategies to climate change for the Western Siberian Grain Belt. <http://www.uni-muenster.de/SASCHA/en/> (16.06.2015).
- Sazonova, N.A. (2004): *Fauna und Ökologie von Kleinsäugetern auf Ackerbrachen in der südlichen Oblast Tyumen*. Zusammenfassung der Dissertation. Staatliche Universität Tyumen. (Russisch).

- Schjønning, P., Christensen, B.T. & Carstensen, B. (1994): Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. In: *European Journal of Soil Science* 45(3), 257-268.
- Schmalz, B., Kruse, M., Kiesel, J., Müller, F. & Fohrer, N. (2016): Water-related ecosystem services in Western Siberian lowland basins—Analysing and mapping spatial and seasonal effects on regulating services based on ecohydrological modelling results. In: *Ecological Indicators* 71, 55-65.
- Schmidt, T., Osterburg, B. & Laggner, A. (2007): Datenauswertung zur Quantifizierung diffuser Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft im Rahmen des Projekts „Integriertes Monitoring des chemischen Zustands des Grundwassers in Niedersachsen. Arbeitsberichte Bereich Agrarökonomie 02/2007. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für ländliche Räume, Braunschweig.
- Schröder, J.J., Schulte, R.P.O., Creamer, R.E., Delgado, A., Leeuwen, J., Lehtinen, T., Ruthges, M., Spiegel, H., Staes, J., Toht, G. & Wall, D.P. (2016): The elusive role of soil quality in nutrient cycling: a review. In: *Soil Use and Management* 32, 476–486.
- Semizorov, S.A. (2013): Differenzierte Bodenbearbeitung auf Gleyic Chernozem bei unterschiedlichen Düngungshöhen im Nördlichen Transural. Dissertation. Staatliche Agraruniversität des Nördlichen Transurals. Krasnojarsk (Russisch).
- Shulgina, T.M., Genina, E.Y. & Gordov, E.P. (2011): Dynamics of climatic characteristics influencing vegetation in Siberia. In: *Environmental Research Letters* 6, 1-7.
- Sharpley, A., Meisinger, J.J., Breeuwsma, A., Sims, J.T., Daniel, T.C. & Schepers, J.S. (1998): Impacts of animal manure management on ground and surface water quality. In: Hatfield J.L. & Stewart B.A. (Hg.): *Animal waste utilization: effective use of manure as a soil resource*. Boca Rotan, Florida: CRC Press, 173-242.
- Shepherd, M.A., Harrison, R. & Webb, J. (2002): Managing soil organic matter—implications for soil structure on organic farms. In: *Soil Use and Management* 18(1), 284-292.
- Shepherd, T.G. (2000): Visual soil assessment. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country, Horizons.mw/Landcare Research, Palmerston North 84.
- Sivkov, J.W. (2006): Änderungen der Eigenschaften von Moorböden im Nördlichen Transural durch landwirtschaftliche Nutzung. Dissertation. Tyumen.

<http://www.dissercat.com/content/izmenenie-svoistv-torfyanykh-pochv-severnogo-zauralya-pri-selskokhozyaistvennom-ispolzovanii> (24.09.2014) (Russisch).

Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A. & Paustian, K. (2002): Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. In: *Plant and soil* 241(2), 155-176.

Smith, P., Powlson, D., Glendining, M. & Smith, J.O. (1997): Potential for carbon sequestration in European soils: Preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. In: *Global Change Biology* 3(1), 67-79.

Stadelbauer, J. (1996): *Die Nachfolgestaaten der Sowjetunion. Großraum zwischen Dauer und Wandel*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Stöckli, A. (1946): Der Boden als Lebensraum. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 91(1), 1-17.

Stolbovoi, V. (2002): Carbon in Russian soils. In: *Climatic Change* 55, 131-156.

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2017): Greenhouse gas emissions from livestock manure management in southwestern Siberia, Russia. In: *Sustainable Agriculture Research* 6(2), 66-80.

Störrle, M., Hagedorn, L., Yurtaev, A., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2016): Soil structure of arable and non-arable land in the Western Siberian Grain Belt in Russia—Application of the soil fingerprint code for topsoil characterization. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 179(4), 510-519.

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2015a): Livestock manure management in agroecosystems of southwestern Siberia, Russia. In: *GEO-ÖKO* 36(3-4), 133-154.

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2015b): *Wirtschaftsdünger-Rechner für Großproduzenten in der Oblast Tyumen, Russland*. Unveröffentlichtes Working Paper 534. Projekt SASCHA, Universität Osnabrück, Osnabrück.

Stupak, N. (2017): Adaptation of Russian agriculture to climatic variability: The role of federal and provincial policies. In: *Environmental Science & Policy* 68, 10-19.

Stupak, N. (2015): *Analysis of Theoretical and Practical Options for Institutional Change that Allow for Sustainable Agricultural Development; Part I – Sustainable Agriculture in Tyu-*

men Province, Part II – Analysis of Theoretical Options and Part III – Assessment of Practical Options. SASCHA Report 803/804, Version 1.0.

Telizyn, W.L. (2006): Geosysteme und Böden der Grünzone der Stadt Tyumen – Hauptstadt der Ölregion. Exkursionsheft. Institut für Kryosphärenforschung. Sibirische Abteilung der Russischen Akademie der Wissenschaften (Russisch).

Terpelec, V.I. & Slysarev, V.N. (2010): Methoden- und Lehrbuch über physische und chemische Bodenuntersuchungsmethoden. Krasnodar: KubGAU (Russisch).

Thorup-Kristensen, K., Magid, J. & Jensen, L.S. (2003): Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. In: *Advances in agronomy* 79, 227-302.

Triberti, L., Nastri, A. & Baldoni, G. (2016): Long-term effects of crop rotation, manure and mineral fertilisation on carbon sequestration and soil fertility. In: *European Journal of Agronomy* 74, 47-55.

Tumstat (2012): Landwirtschaftliche Statistik auf Rajonebene.

<http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst71/DBInet.cgi> (07.01.2013) (Russisch).

UBA (2015): Biogasanlagen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft_konsum/industriebereiche/biogasanlagen (27.12.2016).

VandenBygaart, A.J. (2016): The myth that no-till can mitigate global climate change. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 216, 98-99.

VandenBygaart, A.J., Gregorich, E.G. & Angers, D.A. (2003): Influence of agricultural management on soil organic carbon: A compendium and assessment of Canadian studies. In: *Canadian Journal of Soil Science* 83, 363–380.

Van Horn, H.H., Wilkie, A.C., Powers, W.J. & Nordstedt, R.A. (1994): Components of dairy manure management systems. In: *Journal of Dairy Science* 77(7), 2008-2030.

Van Noordwijk, M., Brouwer, G. & Harmanny, K. (1993): Concepts and methods studying interactions of roots and soil structure. In: *Geoderma* 56, 351-375.

- Virto, I., Barre, P., Burlot, A. & Chenu, C. (2012): Carbon input differences as the main factor explaining the variability in soil organic C storage in no-tilled compared to inversion tilled agrosystems. In: *Biogeochemistry* 108, 17–26.
- Wagener, J. (2012): Der Naturraum im Südwesten des westsibirischen Getreidegürtels. Bachelorarbeit. Institut für Geographie, Universität Osnabrück.
- Wegren, S.K. (2014): The Russian food embargo and food security: can household production fill the void? In: *Eurasian geography and economics* 55(5), 491-513.
- Wengle, S. (2016): The Domestic Effects of the Russian Food Embargo. In: *Demokratizatsiya: The Journal of Post-Soviet Democratization* 24(3), 281-289.
- Weking, S., Kämpf, I., Mathar, W. & Hölzel, N. (2016): Effects of land use and landscape patterns on Orthoptera communities in the Western Siberian forest steppe. In: *Biodiversity and Conservation* 25(12), 2341-2359.
- Werner, W. (2005): Nährstoffströme in der Landwirtschaft–Umweltrelevanz und Perspektiven. *Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege*.
- Wertebach, T.M., Kämpf, I., Yurtaev, A., Tupitsin, S., Kiehl, K., Hölzel, N., Kamp, J. & Kleinebecker, T. (2017): Soil carbon sequestration due to post-Soviet cropland abandonment: Estimates from a large-scale SOC field inventory. In: *Global Change Biology* 23(9), 3729-3741.
- Werwein, O.D. (2007): Die Bedeutung der Langzeitanwendung von Agrarchemikalien zur Steigerung der Erträge auf Albeluvisols in der südlichen Taiga Westsibiriens. Empfehlungen. Tomsk: Sibirische Abteilung der Russischen Landwirtschaftlichen Akademie. http://www.sibniit.tomsknet.ru/files/articles/agriculture_chemistry.pdf (24.04.2015) (Russisch).
- Wessolek, G., Kaupenjohann, M., Dominik, P., Ilg, K., Schmitt, A., Zeitz, J., Gahre, F., Schulz, E. & Ellerbrock, R. (2008): Ermittlung von Optimalgehalten an organischer Substanz landwirtschaftlich genutzter Böden nach § 17 (2) Nr. 7 BBodSchG. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Publikationen des Umweltbundesamtes. <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3707.pdf> (20.04.2015).

West, T.O. & Post, W.M. (2002): Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation. In: Soil Science Society of America Journal 66(6), 1930-1946.

Whalen, J.K., Chang, C., Clayton, G.W. & Carefoot, J.P. (2000): Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. In: Soil Science Society of America Journal 64(3), 962-966.

Whitehead, D.C. (2000): Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships. Cabi.

Wortmann, C.S. & Shiparo, C.A. (2008): The effects of manure application on soil aggregation. In: Nutrient Cycling in Agroecosystems 80(2), 173-180.

DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Gabriele Broll für ihre Unterstützung während der gesamten Arbeitsphase. Prof. Dr. Joachim Härtling danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens. Dankbar bin auch den Mitgliedern der Arbeitsgruppe Agrarökologie und Bodenforschung. Hervorheben möchte ich vor allem Dr. Hans-Jörg Brauckmann, Dr. Kerstin Anschlag und Niels Hellwig, die immer für mich da waren, wenn ich fachliche oder technische Probleme zu bewältigen hatte. Ich danke auch Lisa Hagedorn für das freundschaftliche Arbeitsverhältnis während gemeinsamer Geländearbeiten in Westsibirien. Unterstützung habe ich von allen Kolleginnen und Kollegen des Institutes für Geographie während meiner Tätigkeit an der Universität Osnabrück erfahren, für die ich mich ebenfalls bedanke.

Die Durchführung meiner wissenschaftlichen Arbeiten wäre nicht möglich gewesen ohne die sehr gute Kooperation mit den russischen und deutschen Kolleginnen und Kollegen des interdisziplinären Projektes SASCHA zur Landnutzung und zum Klimawandel in Westsibirien, wobei insbesondere die hervorragende Zusammenarbeit mit den Kolleginnen und Kollegen der Hochschule Osnabrück zum Thema Landnutzung hervorzuheben ist. Ich bedanke mich für die langjährige sehr gute Kooperation.

In meiner Familie möchte ich insbesondere meiner Tante danken, die sich während meiner Aufenthalte in Sibirien um meinen Sohn gekümmert hat. Ohne die vielfältige Unterstützung von Familie und Freunden wäre die Durchführung der Arbeiten für die Dissertation nicht möglich gewesen.

ANHANG

ANHANG 1: WIRTSCHAFTSDÜNGER-RECHNER FÜR GROßPRODUZENTEN IN DER OBLAST TYUMEN, RUSSLAND - WORKING PAPER 534

Maria Störrle¹, Hans-Jörg Brauckmann¹ und Gabriele Broll¹

¹Institut für Geographie, Universität Osnabrück, Seminarstraße 19 a/b, 49074 Osnabrück, Germany

Working Paper 534

Teilprojekt 530

Mai 2015

1 Einleitung

Die Landwirtschaft in der Oblast Tyumen ist gekennzeichnet durch kontrastreiche Produktionsformen. Die wichtigsten Betriebsformen in der Versorgung der Bevölkerung mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen sind Großbetriebe und Haushalte in ländlichen Räumen. Als umweltverträglich gelten die kleinen Betriebe und die wirtschaftenden Haushalte. Der anfallende Wirtschaftsdünger wird in kleineren Betriebsformen in geschlossenen Nährstoffkreisläufen wieder verwertet. Der Umgang mit dem Wirtschaftsdünger in den Großbetrieben ist in vielerlei Hinsicht in der Oblast Tyumen problematisch. Der Wirtschaftsdünger in Großbetrieben wird in überhöhten Mengen auf Schwarzbrachen ausgebracht. Zu anderen Praktiken zählt das Abladen des Mistes in der Landschaft oder das Abpumpen der Gülle in Erdgruben. Mit diesen Praktiken werden das Grundwasser nachweisbar mit Nitraten belastet sowie Ammoniak- und Treibhausgasemissionen verstärkt (Administration der Oblast Tyumen 2012, Störrle et al. 2014). Das Düngepotential des Wirtschaftsdüngers wird zum großen Teil bei solcher Vorgehensweise vergeudet. Aufgrund dieser Problematik richtet sich die vorliegende Arbeit an landwirtschaftliche Großproduzenten in der Oblast Tyumen mit Nutztierhaltung.

Aufgrund der kurzen Dauer der Vegetationsperiode kann der Wirtschaftsdünger nicht vor der Aussaat oder nach der Ernte ausgebracht werden. Die Einarbeitung des Wirtschaftsdüngers auf Schwarzbrachen stellt zum heutigen Zeitpunkt die einzige praktikable und gesetzeskonforme Lösung im Umgang mit dem Wirtschaftsdünger für die Großproduzenten in der Oblast Tyumen dar. So werden bis zu 300 t ha⁻¹ Wirtschaftsdünger in einem Jahr auf Schwarzbrachen ausgebracht. Diese Schwarzbrachen werden in der Vegetationsperiode regelmäßig bearbeitet, um keine Unkräuter aufkommen zu lassen. Auf diese Weise gedüngte Ackerfläche beträgt 2 % der gesamten Ackerfläche in der Oblast Tyumen. Zur Entschärfung dieser Situation soll ein Wirtschaftsdünger-Rechner, im Folgenden als WD-Rechner bezeichnet, beitragen.

Die Ackerböden in der Oblast Tyumen werden nicht ausreichend mit Nährstoffen versorgt und degradieren durch den praxisüblichen Ackerbau. Eine Darstellung der Nährstoffbilanzen im Getreideanbau landwirtschaftlicher Organisationen soll die Problematik der Nährstoffsaldos, die zur Auslaugung der Böden in der Oblast Tyumen führen, verdeutlichen. Bei der Gegenüberstellung des Düngepotentials aus dem Wirtschaftsdünger mit den Nährstoffentzügen wird aufgezeigt, in welchem Ausmaß die Anwendung des WD-Rechners zur Lösung des Problems beitragen kann.

Die Anwendung des WD-Rechners soll folgende Funktionen erfüllen:

- Vermeidung von illegaler Entsorgung des Wirtschaftsdüngers in der Landschaft und damit verbundener Transportkosten
- Vermeidung von Güllegruben
- Vermeidung der Überdüngung bei Schwarzbrachen
- Vermeidung der Nitratauswaschung durch punktuelle Anhäufung des Wirtschaftsdüngers
- Vermeidung von Geldstrafen durch unsachgemäße Entsorgung des Wirtschaftsdüngers
- Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus dem Wirtschaftsdünger
- Vollständige Ausnutzung des vorhandenen Düngepotentials des Wirtschaftsdüngers
- Erhöhung der organisch gedüngten Ackerflächenanteile
- Reduzierung der Kosten für mineralische Dünger durch verbesserte Ausnutzung der vorhandenen Nährstoffe aus dem Wirtschaftsdünger im Betrieb
- Erhöhung der C_{org} -Vorräte im Oberboden
- Steigerung der Erträge

Bei dem WD-Rechner werden die Transportkosten von unterschiedlichen Hof-Feld-Entfernungen dem Geldwert des Wirtschaftsdüngers gegenübergestellt. Auf diese Weise sollen die vorhandenen Nährstoffe im Betrieb mit Hilfe des WD-Rechners zukünftig kosteneffizient und umweltschonend eingesetzt werden.

2 Nährstoffbilanzen im Ackerbau der Oblast Tyumen

Für die Betrachtung der Nährstoffbilanzen im Getreideanbau landwirtschaftlicher Organisationen (Großbetriebe) in der Oblast Tyumen werden die Düngungsmengen, N-Abfuhr mit dem Erntegut und die Ertragswerte miteinander in Beziehung gesetzt. Verschiedene Bodentypen unter ackerbaulicher Nutzung in der Oblast Tyumen haben eine unterschiedlich starke Fähigkeit, Nährstoffe aus der organischen Substanz während einer Vegetationsperiode pflanzenverfügbar zu machen. Aus der Nitrifikation in einer Vegetationsperiode mobilisierte Nitrate liegen bei Podzolen und Luvisolen in der Oblast Tyumen bei ca. 40 kg NO₃-N ha⁻¹ und bei Phaeozemen und Chernozemen bei 60 kg NO₃-N ha⁻¹. Um eine Tonne Kornertrag zu erzielen werden 40 kg N benötigt, oder 1 kg N trägt zu 25 kg Kornertrag bei (Abramov et al. 2010, Osipov 2011). Abramov et al. (2010) quantifizieren die Ertragsfähigkeit für Sommerweizen ungedüngter Böden, ausgehend vom pflanzenverfügbaren Stickstoff, mit 1,1 t ha⁻¹ bei Podzolen und Luvisolen, 1,7 t ha⁻¹ bei Phaeozemen und mit 1,8 t ha⁻¹ bei Chernozemen.

In der Oblast Tyumen wurden im Jahr 2012 60 % der Ackerflächen gedüngt (Kühling & Trautz 2012). Die durchschnittliche Düngungsmenge in der Betriebsform „Landwirtschaftliche Organisationen“ der Oblast Tyumen lag bei 25,6 kg ha⁻¹ Reinnährstoff Dünger-Input im Jahr 2011. Jährlich entsteht ein Nährstoffentzug auf Ackerflächen pro Hektar von 51 kg N, 12 kg P und 40 kg K (ROSREESTR 2012). So lag auch im Jahr 2011 der durchschnittliche N-Entzug bei 48 kg N ha⁻¹ (Tabelle 1). Ein Entzug der Nährstoffe ohne Rückführung über Düngung über mehrere Jahre führt zur Auslaugung des Humuskörpers. Regionale Behörden in der Oblast Tyumen berichten über den Humusabbau durch den Ackerbau (Störrle et al. 2015). Ausgehend von dem Bodentyp und der gewünschten Höhe des Planertrags werden Empfehlungen für Düngungsmengen im Getreideanbau von Abramov et al. (2010) gegeben. Die empfohlenen Düngungsmengen für Stickstoff liegen im Mittel bei 77 kg ha⁻¹ und bei Phosphor bei 12 kg ha⁻¹. Diese Düngungsmengen werden in den Großbetrieben der Oblast Tyumen nicht erreicht.

In der Tabelle 1 sind Kennwerte für N-Bilanzen im Getreideanbau für die Rajons der Oblast Tyumen für das Jahr 2011 dargestellt. Laut den Untersuchungen von Abramov (2013) ist im Korn 2 % N enthalten. Aus den Getreideerträgen lassen sich so N-Entzüge für einzelne Rajons ableiten (Abbildung 1). Es wird angenommen, dass das Stroh nicht abgefahren wird. Der Nährstoffeintrag aus der organischen Düngung wird hier vernachlässigt, weil nur 2 % der Ackerflächen organisch gedüngt werden (Kühling & Trautz 2012) und somit keine flächenmäßige Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit stattfindet. Bei den vorliegenden Daten aus der Offizialstatistik zum Dünger-Input wird nicht zwischen den Nährstoffen differenziert. Aus der Praxis ist es bekannt, dass der mineralische N-Dünger Selitra breite Anwendung findet (Kühling & Trautz

2012). Genaue Angaben zum Input des mineralischen Stickstoffs sind jedoch nicht erhältlich. Es lässt sich dennoch erkennen, dass die N-Abfuhr die gesamte Düngermenge in 19 Rajons übersteigen. Davon ausgenommen sind der Tyumensky, der Uparovsky und der Isetzky Rajon.

Tabelle 1: N-Kennwerte von Aussaatflächen der landwirtschaftlichen Organisationen in den Rajons der Oblast Tyumen im Jahr 2011

Rajons	Kornerträge [dt ha⁻¹]	N-Entzüge [kg ha⁻¹]	N-Düngepotential aus dem Wirtschaftsdünger [kg ha⁻¹]	Min. Dünger- Input- Rein- nährstoff [kg ha⁻¹]
Abatsky	17	33	14	18
Armizonsky	25	50	3	5
Aromashevsky	18	36	9	5
Berdyuzhsky	26	52	3	28
Vagaysky	27	53	21	0
Vikulovsky	32	64	15	14
Golyshmanovsky	30	61	14	33
Isetsky	24	47	23	54
Ishimsky	25	50	24	35
Kazansky	26	51	18	13
Nizhnetavdinsky	16	32	36	32
Omutinsky	21	42	10	34
Sladkovsky	14	28	18	8
Sorokinsky	33	65	19	18
Tobolsky	34	68	50	0
Tyumensky	17	34	265	55
Uvatsky	16	31	128	0
Uporovsky	21	42	14	67
Yurginsky	26	51	4	39
Yalutorovsky	24	48	45	25
Yarkovsky	22	45	34	43
Zavodoukovsky	39	78	28	41

Quelle: Störrle et al. 2014; Abramov et al. 2010; Tumstat 2012

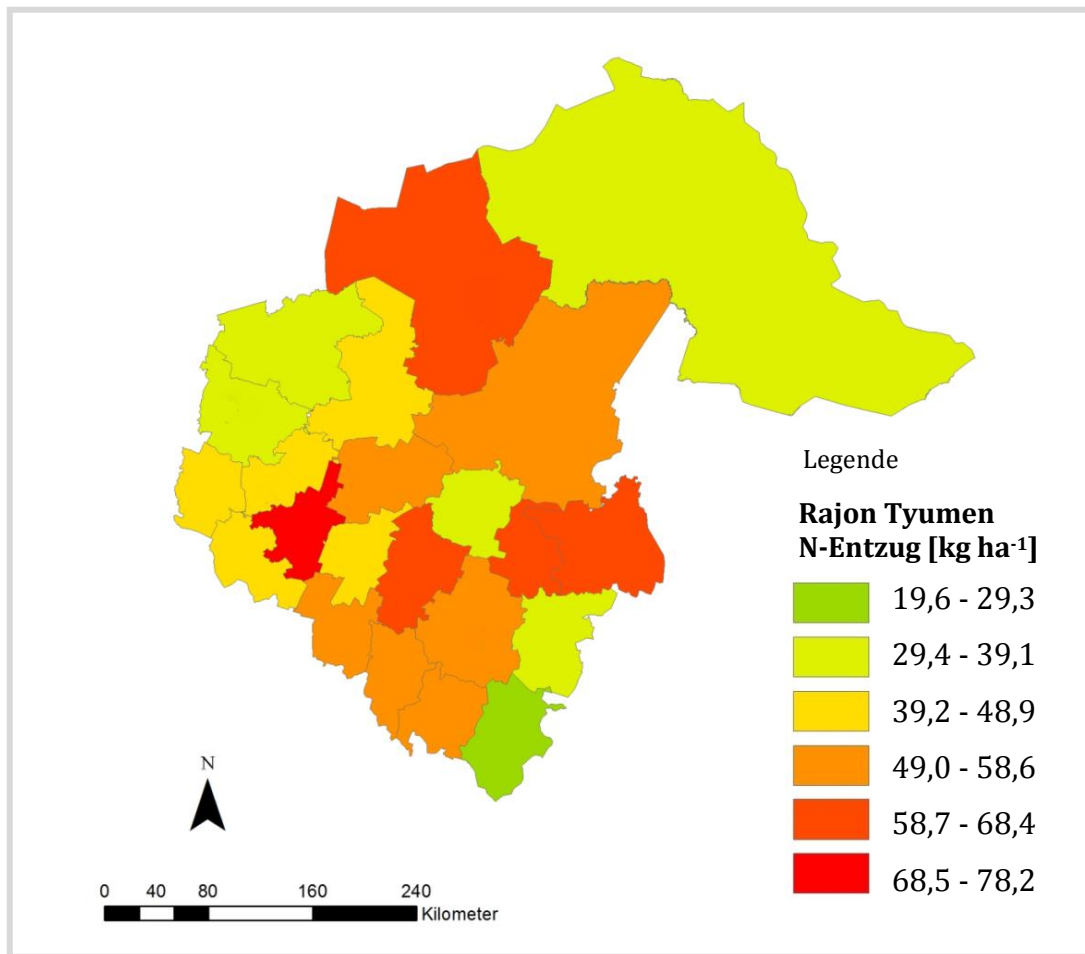


Abbildung 1: N-Entzüge im Getreideanbau landwirtschaftlicher Organisationen im Jahr 2011 (Tumstat 2012; Abramov 2013)

3 Methode

Beim WD-Rechner werden die Kosten für den Einsatz des Wirtschaftsdüngers mit den Kosten für den Erwerb des mineralischen Düngers unter betriebsüblichen Bedingungen in der Oblast Tyumen verglichen. Da der Wirtschaftsdünger im eigenen Veredelungsbetrieb keine Anschaffungskosten verursacht, müssen die Transport-, Ausbringungs- und Lohnkosten berücksichtigt werden. Während für die mineralische Düngung hohe Anschaffungskosten anfallen, kann die Ausbringung als kostengünstig betrachtet werden. Der mineralische Dünger wird in der Oblast Tyumen vorrangig mit Drillmaschinen zur oder vor der Aussaat in einem Arbeitsgang ausgebracht (Kühling & Trautz 2012). Es entstehen geringe Mehrkosten. Daher wird nur der Anschaffungspreis, abzüglich der Subventionen, für mineralische Dünger in den folgenden Berechnungen berücksichtigt.

Für den Transport und die Ausbringung von Wirtschaftsdünger werden Arbeitskraftstunden (Akh) und Diesel verbraucht. Im WD-Rechner verwendete variable Kosten sind in der Tabelle 2 aufgeführt. Andere damit verbundene laufende Kosten, wie z. B. für Betriebsstoffe, Abschreibungen oder Zinsen werden nicht berücksichtigt.

Tabelle 2: Variable Kosten im WD-Rechner

Kosten	Wert in RUB pro Einheit	Bezugszeitraum	Quelle
Lohnkosten	115 RUB ha ⁻¹	2014	Tumstat (2014)
Diesel	35 RUB L ⁻¹	2014	Luk Oil (2014)

Für die Ermittlung des Arbeitszeit- und Dieselbedarfs für die Ausbringung und den Transport des Wirtschaftsdüngers wird der „Verfahrensrechner Pflanze“ von KTBL (2014) angewendet. Da in der Oblast Tyumen die Großbetriebe sich stark in der technischen Ausstattung unterscheiden, werden für den WD-Rechner zwei Mechanisierungsgrade gewählt: 45 kW und 230 kW. Dabei können bei 45 kW 5 t Wirtschaftsdünger auf einer Strecke transportiert werden und bei 230 kW können 20 t Wirtschaftsdünger je Weg transportiert werden. Die Schlaggröße beträgt 20 ha. Die Ausbringungsmenge bei Gülle ist mit 20 m³ ha⁻¹ sowie bei Festmist mit 20 t ha⁻¹ festgelegt. Die Nährstoffgehalte in unterschiedlichen Wirtschaftsdüngern sind in der Tabelle 3 aufgeführt.

Für den Wirtschaftsdünger wird ein Geldwert berechnet, der sich auf die gesamten N und P-Gehalte in einer t Wirtschaftsdünger bezieht (abzüglich der N-Verluste bei der Lagerung und der Ausbringung). Der Geldwert des Wirtschaftsdüngers entspricht dem Kaufpreis von minerali-

schen Düngern mit gleichen Nährstoffgehalten. Als Referenzdünger wird der häufig verwendete Ammoniumnitrat-Dünger Selitra (Селитра аммиачная) für Vergleiche beim Einsatz des Wirtschaftsdüngers herangezogen. Selitra enthält 34,4 % Gesamt-N und wird mit 2.400 RUB t⁻¹ subventioniert. Der Marktpreis variiert stark und liegt zum jetzigen Zeitpunkt (November 2014) bei 11.000 RUB t⁻¹. Ein in der Oblast Tyumen verwendeter NP-Dünger wird für die Berechnung des Geldwertes miteinbezogen, um den Wert des P-Gehalts in Wirtschaftsdünger darzustellen. Ein Mehrnährstoffdünger mit dem Handelsnamen Ammophos (Аммофос) ist ein Ammoniumdihydrogenphosphat (NH₄H₂PO₄)-Dünger, der in der Oblast Tyumen ab 15.000 RUB t⁻¹ angeboten wird. Ammophos enthält je nach Hersteller 21-23 % P und 10-12 % N. Die Subventionshöhe für Mehrnährstoffdünger ist mit 5.100 RUB t⁻¹ festgelegt (Administration der Oblast Tyumen 2013). Der Rechenweg für den Geldwert ist im Anhang 1 dargestellt. Kali ist in allen Bodentypen in der Oblast Tyumen in ausreichender Menge vorhanden und muss daher nicht zusätzlich gedüngt werden und wird deswegen bei Düngeempfehlungen von Abramov (2013) und in diesem Working Paper nicht aufgeführt. Die Hervorhebung des düngewirksamen N-Anteils wird vernachlässigt, weil der Wirtschaftsdünger auf Schwarzbrachen in der Oblast Tyumen ausgebracht wird und die Düngewirkung der eingebrachten Nährstoffe aus dem Wirtschaftsdünger unter westsibirischen Klimaverhältnissen 7-8 Jahre anhält (Werwein 2007). Beim N-Gehalt wird ein doppelter Ammoniumverlust durch die Schwarzbrachen angerechnet.

Tabelle 3: Nährstoffgehalte in einer t Wirtschaftsdünger unterschiedlicher Nutztiere und dessen Geldwert berechnet mit den Preisen für mineralische Dünger bei äquivalenten Reinnährstoffgehalten

Tiergruppe	Dungart	N* [kg t⁻¹]	P [kg t⁻¹]	Geldwert [RUB t⁻¹]	Geldwert inkl. Subventionen [RUB t⁻¹]
Rind	Gülle	3,0	0,9	142,88	104,25
	Mist	3,6	1,5	193,38	138,75
Schwein	Gülle	3,5	1,3	178,34	128,65
	Mist	4,6	3,1	307,25	214,50
Geflügel	Trockenkot	16,5	8,7	981,56	695,25
	Mist	15,8	9,2	986,55	695,00

Quelle: LWK Niedersachsen 2013

*N-Ausbringungs- und Lagerungsverluste wurden in der Rechnung berücksichtigt

4 Ergebnisse

4.1 Wirtschaftsdünger-Rechner

Unter betriebsüblichen Bedingungen in Großbetrieben der Oblast Tyumen ist die Ausbringung des Wirtschaftsdüngers im Vergleich zur Düngung mit mineralischen Düngern deutlich kostengünstiger. Welche Hof-Feld-Entfernung für den Transport des Wirtschaftsdüngers für den Betriebsgewinn am besten geeignet ist, liegt im Ermessen des Betriebsleiters. Weitere Faktoren wie Bodentyp, Folgekulturen, fixe und variable Produktionskosten sowie der zu erwartende Erlös müssen situationsabhängig miteinander abgestimmt werden. Die Anwendung des WD-Rechners bildet dabei einen Teilbereich der Produktionsplanung, der den Entscheidungsprozess des Betriebsleiters unterstützt.

Die Transport- und Ausbringungskosten des Wirtschaftsdüngers für unterschiedliche Hof-Feld-Entfernungen können aus den Tabellen 4 und 5 sowie aus den Abbildungen 2 und 3 entnommen werden. Die im WD-Rechner empfohlene Ausbringungsmenge könnte, z.B. bei Rindergülle, Selitra und Ammophos im Wert von 2.085 RUB ha⁻¹ ersetzen. Bei einer Mechanisierung von 45 kW könnte die Rindergülle 24 km kosteneffektiv transportiert werden. Bei einer höheren Mechanisierung von 230 kW könnte die Rindergülle 32 km kosteneffektiv transportiert werden.

Zum Beispiel bei 20 m³ Schweinegülle würden die Transport- und Ausbringungskosten bei 20 km Hof-Feld-Entfernung je nach technischer Ausstattung zwischen 948 bis 1.771 RUB ha⁻¹ liegen. Beim Kauf eines N- und NP-Düngers mit äquivalenten Nährstoffmengen würde allein der Anschaffungspreis, inkl. der Subventionen, 2.573 RUB ha⁻¹ betragen. Eine höhere Transportwürdigkeit liegt beim nährstoffreichen Wirtschaftsdünger aus der Geflügelhaltung vor. Hähnchenmist könnte bei einer Ausbringungsmenge von 10 t ha⁻¹ mineralischen Dünger in einem Geldwert von 6.950 RUB ha⁻¹ ersetzen. Die kosteneffektive Hof-Feld-Entfernung für den Transport würde bei 91 km (46 kW) oder bei 108 km (230 kW) liegen.

Bei einem vorgegebenen Etat für die Düngung von 1.000 RUB ha⁻¹ könnten 1.000 RUB ha⁻¹ für die Ausbringung vom Hähnchenmist genutzt werden. Aus der Tabelle 5 ergibt sich eine kosteneffektive Hof-Feld-Entfernung von 7 km. Beim Kauf von Selitra im Wert von 1.000 RUB würden dem Betrieb 40 kg N ha⁻¹ (inkl. Subvention) zur Verfügung stehen. Bei 10 t ha⁻¹ Hähnchenmist beläuft sich der Nährstoffeintrag auf 158 kg N ha⁻¹ und 92 kg P ha⁻¹.

Tabelle 4: Kosten für Gülletransport und -ausbringung für eine Hof-Feld-Entfernung von 1 bis 70 km bei unterschiedlicher Mechanisierung

Hof-Feld-Entfernung [km]	Ausbringungs- und Transportkosten [RUB ha ⁻¹]		Hof-Feld-Entfernung [km]	Ausbringungs- und Transportkosten [RUB ha ⁻¹]	
	46 [kW]	230 [kW]		46 [kW]	230 [kW]
	1	469		400	36
2	590	458	37	2.916	2.305
3	661	513	38	2.983	2.358
4	720	566	39	3.050	2.411
5	753	619	40	3.117	2.464
6	821	673	41	3.185	2.516
7	889	725	42	3.252	2.569
8	957	778	43	3.319	2.622
9	1.025	831	44	3.386	2.675
10	1.093	883	45	3.454	2.727
11	1.160	936	46	3.521	2.780
12	1.228	988	47	3.588	2.833
13	1.296	1.041	48	3.656	2.885
14	1.364	1.093	49	3.723	2.938
15	1.432	1.146	50	3.790	2.991
16	1.500	1.199	51	3.857	3.044
17	1.568	1.251	52	3.925	3.096
18	1.636	1.304	53	3.992	3.149
19	1.704	1.357	54	4.059	3.202
20	1.772	1.409	55	4.126	3.254
21	1.839	1.462	56	4.194	3.307
22	1.907	1.515	57	4.261	3.360
23	1.975	1.567	58	4.328	3.413
24	2.043	1.620	59	4.396	3.465
25	2.110	1.672	60	4.463	3.518
26	2.178	1.725	61	4.530	3.571
27	2.246	1.778	62	4.597	3.624
28	2.314	1.830	63	4.665	3.676
29	2.381	1.883	64	4.732	3.729
30	2.449	1.935	65	4.799	3.782
31	2.512	1.989	66	4.866	3.834
32	2.579	2.042	67	4.934	3.887
33	2.646	2.095	68	5.001	3.940
34	2.714	2.147	69	5.068	3.993
35	2.781	2.200	70	5.135	4.045

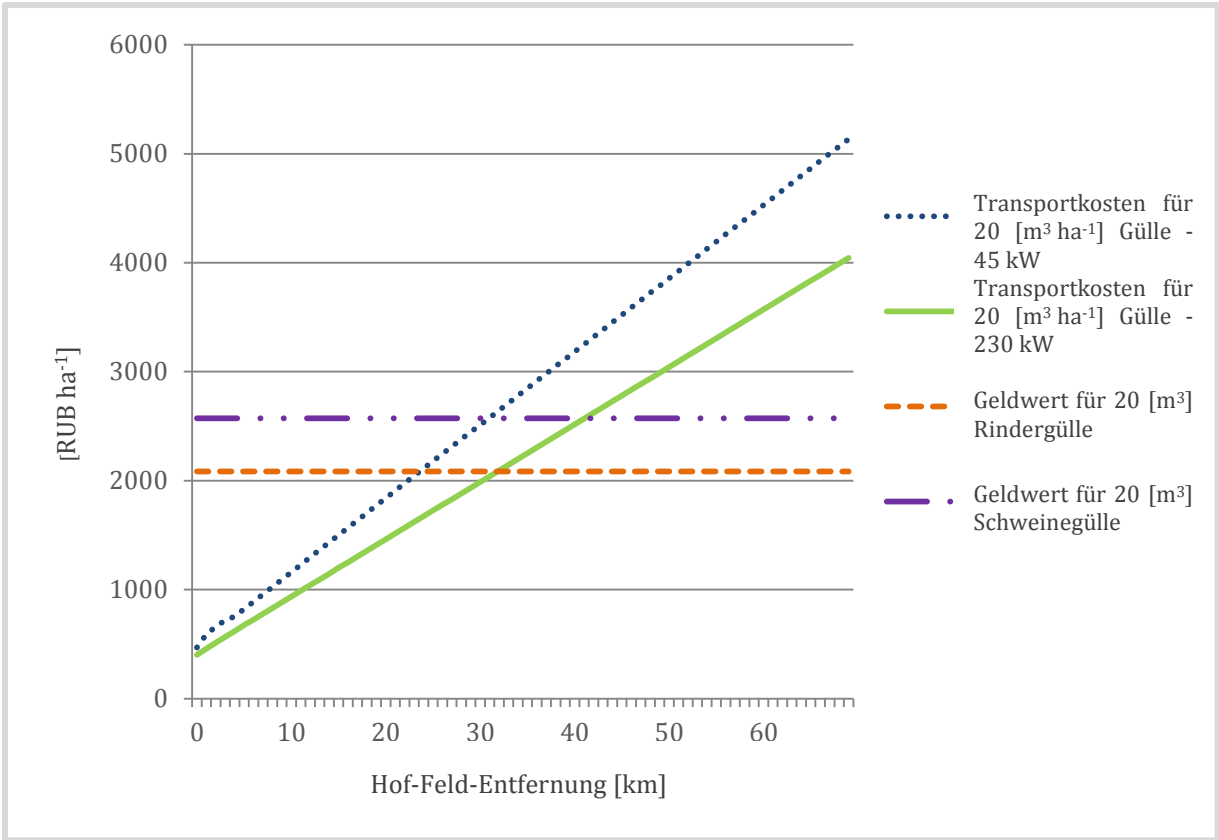


Abbildung 2: Ausbringungskosten für 20 m³ ha⁻¹ Gülle bei einer Hof-Feld-Entfernung von 1 bis 70 km und der Geldwert für 20 m³ Rinder – und Schweinegülle (KTBL 2014; Luk Oil 2014; Tumstat 2014)

Tabelle 5: Kosten für Festmisttransport und -ausbringung für eine Hof-Feld-Entfernung von 1 bis 70 km bei unterschiedlicher Mechanisierung

Hof-Feld-Entfernung [km]	Ausbringungs- und Transportkosten [RUB ha ⁻¹]		Hof-Feld-Entfernung [km]	Ausbringungs- und Transportkosten [RUB ha ⁻¹]	
	46 [kW]	230 [kW]		46 [kW]	230 [kW]
	1	593		476	36
2	675	561	37	3.141	3.157
3	748	639	38	3.211	3.234
4	818	717	39	3.282	3.310
5	889	794	40	3.352	3.386
6	959	870	41	3.423	3.463
7	1.030	946	42	3.493	3.539
8	1.100	1.022	43	3.564	3.615
9	1.170	1.098	44	3.634	3.691
10	1.241	1.174	45	3.704	3.768
11	1.311	1.251	46	3.775	3.844
12	1.381	1.327	47	3.845	3.920
13	1.451	1.403	48	3.916	3.997
14	1.521	1.479	49	3.986	4.073
15	1.592	1.556	50	4.057	4.149
16	1.662	1.632	51	4.127	4.226
17	1.732	1.708	52	4.198	4.302
18	1.803	1.784	53	4.268	4.378
19	1.873	1.861	54	4.338	4.455
20	1.944	1.937	55	4.409	4.531
21	2.014	2.013	56	4.479	4.607
22	2.084	2.089	57	4.550	4.683
23	2.155	2.165	58	4.620	4.760
24	2.225	2.241	59	4.691	4.836
25	2.295	2.317	60	4.761	4.912
26	2.366	2.393	61	4.831	4.989
27	2.436	2.470	62	4.902	5.065
28	2.506	2.546	63	4.972	5.141
29	2.577	2.622	64	5.043	5.218
30	2.647	2.698	65	5.113	5.294
31	2.718	2.699	66	5.184	5.370
32	2.789	2.775	67	5.254	5.447
33	2.859	2.852	68	5.325	5.523
34	2.930	2.928	69	5.395	5.599
35	3.000	3.004	70	5.465	5.675

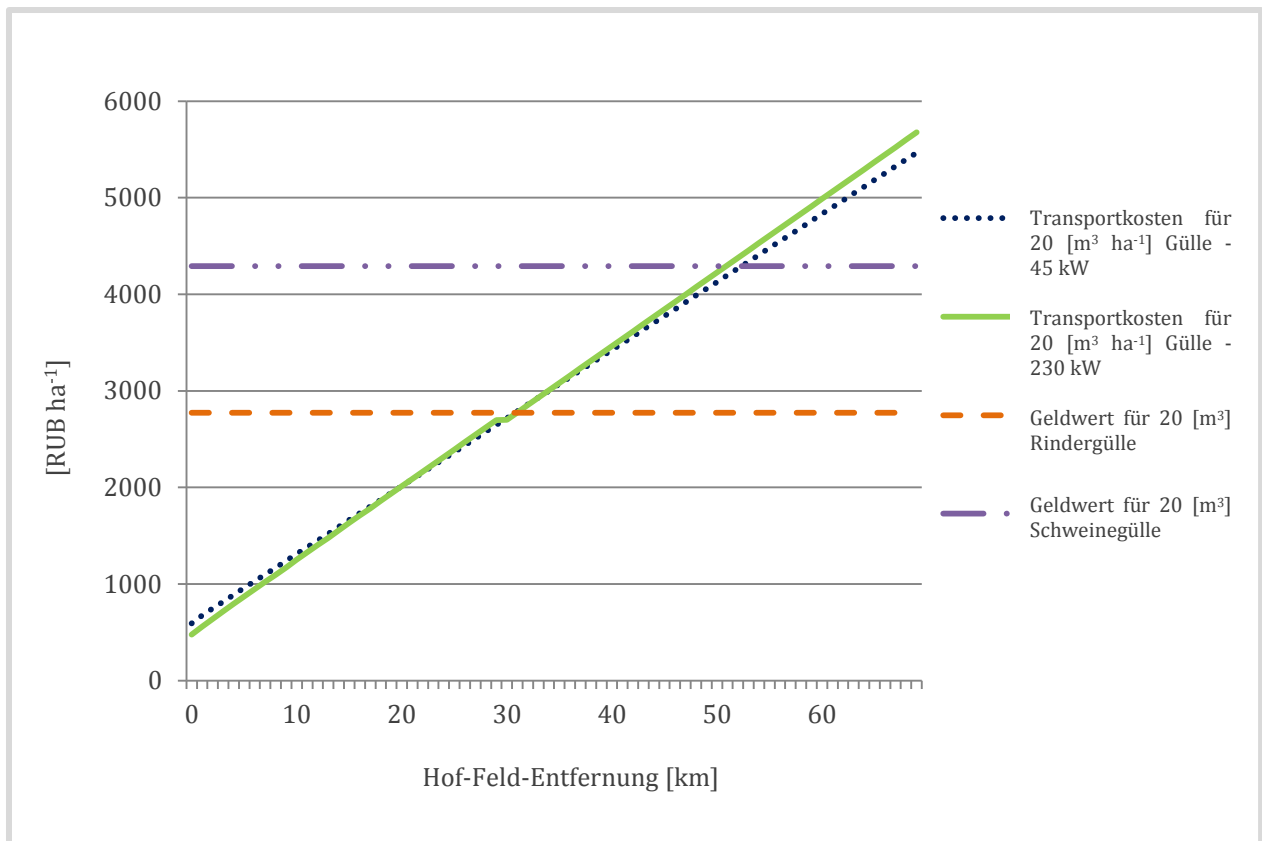


Abbildung 3: Ausbringungskosten für 20 t ha⁻¹ Festmist bei einer Hof-Feld-Entfernung von 1 bis 70 km und der Geldwert für 20 t Rinder- und Schweinemist (KTBL 2014; Luk Oil 2014; Tumstat 2014)

4.2 Ausbringungshäufigkeit vom Wirtschaftsdünger

Die Ausbringungshäufigkeit des Wirtschaftsdüngers ist abhängig von den räumlichen Gegebenheiten im Betrieb. Die Größe der gesamten Aussaatfläche muss in Beziehung gesetzt werden mit der anfallenden Menge des Wirtschaftsdüngers und den darin enthaltenen Nährstoffen. Ein zweiter Planungsfaktor ist der Jahresabstand der Schwarzbrachen in der Fruchtfolge. Ein zeitlicher Abstand von 5-10 Jahren in der Rotation muss eingehalten werden, um den Betriebsgewinn nicht zu gefährden. Aufgrund der höheren Nährstoffkonzentration beim Trockenkot oder Mist aus der Geflügelhaltung ist eine Ausbringungsmenge von 10 t ha⁻¹ auf Schwarzbrachen ratsam.

4.3 WD-Rechner Anwendungsbeispiel am Yarkovsky Rajon

Für die regionale Anwendung wurde als Beispiel der Rajon Yarkovsky gewählt, da hier die beste Datengrundlage vorliegt. Die Viehhaltung mit 6.500 Tieren ist auf zwei Großproduzenten und auf vier Standorte im Rajon verteilt. Entlang des Flusses Tobol befinden sich die vier Standorte mit je 1.000 - 2.000 Tieren. Am nördlichsten liegt die Siedlung Gilevo, 25 km südlich liegt die Siedlung Usalka. Weiter südlich in 15 km Entfernung liegt die Siedlung Pokrovskoye, die in

10 km Entfernung zu der Siedlung Kosmakova liegt. Für die Berechnung wurden die maximalen Radien bis zur Überschneidung gewählt. Zum Beispiel bei der Siedlung Gilevo wurde nach Norden hin ein Radius von 30 km gewählt und nach Süden hin ein Radius von 12,5 km, weil in 25 km Entfernung der nächste Stall in der Siedlung Usalka liegt. Bei der Siedlung Usalka wurde nach Norden hin 12,5 km Entfernung gewählt und nach Süden hin 7,5 km usw. Unter der Annahme, dass an allen Standorten Güllewirtschaft betrieben wird und die Aussaatflächen im Umkreis des Stalls liegen, wurde die maximale Fläche, auf die die Gülle ausgebracht werden kann auf 357.532 ha berechnet. Im Rajon werden jedoch nur 11.400 ha von landwirtschaftlichen Organisationen ackerbaulich genutzt. Jährlich fallen aus dem Wirtschaftsdünger der Großproduzenten in dem Rajon 392 t N und 58 t P an (Störrle et al. 2014). Bei einer Ausbringung auf Schwarzbrachen im fünf jährigem Abstand würde sich der Nährstoffeintrag auf 110 kg N ha⁻¹ und 25 kg P ha⁻¹ belaufen.

5 Fazit

Ziel der vorliegenden Arbeit war es einen WD-Rechner zu entwickeln, aus dem die kosteneffektive Hof-Feld-Entfernung für den Wirtschaftsdünger-Transport entnommen werden kann. Die Ergebnisse des WD-Rechners zeigen auf, dass die tatsächliche Entfernung deutlich weiter sein kann als die 4 bis 10 km, die zum heutigen Zeitpunkt für den Wirtschaftsdünger-Transport in der Oblast Tyumen zurückgelegt werden. Die Transportwürdigkeit des Wirtschaftsdüngers übersteigt bei allen Dungarten eine Hof-Feld-Entfernung von 20 km. In einem Radius um den Stall von 20 km kann eine sehr große Fläche abgedeckt werden, die die vorhandene Ackerfläche im Rajon übersteigt. Bei einem Mechanisierungsgrad von 230 kW im Betrieb beträgt eine kosteneffektive Entfernung für Rindergülle 32 km, bei Rindermist 32 km, bei Schweinegülle 42 km, bei Schweinemist 51 km, bei Geflügelgülle 256 km und bei Geflügelmist oder -trockenkot 177 km.

Die kosteneffektive Ausbringung auf einzelne Schläge kann nur in Abständen von mehreren Jahren erfolgen, weil das Düngepotential aus dem Wirtschaftsdünger in allen Rajons, mit Ausnahme des Tyumensky Rajons, gering ist. Die Notwendigkeit der Schwarzbrachen für die Anwendung des Wirtschaftsdüngers ist durchaus kompatibel mit dem geringen Düngepotential. Zudem wirkt der Wirtschaftsdünger bis zu 8 Jahren nach der Ausbringung positiv auf die Produktivität der Kulturen. In den Rajons Armizonsky, Berdyuzhsky und Yurginsky ist das Düngepotential unter $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. In diesen Rajons müssen andere Maßnahmen erfolgen um einer Bodendegradierung entgegen zu wirken. Eingliederung von Gründungskulturen in die Fruchtfolge, bedarfsgerechte mineralische Düngung und reduzierte Bodenbearbeitung könnten die Produktivität der Böden stabilisieren oder erhöhen.

Der WD-Rechner lässt sich auf Betriebsebene anwenden. Für räumliche Anwendung, z. B. auf der Ebene eines Rajons, sind Informationen zu den Standorten der Stallungen und zum Viehbestand notwendig.

Mehrere finanzielle Vorteile begründen die Anwendung des WD-Rechners. Staatliche Geldstrafen für unsachgemäße Entsorgung des Wirtschaftsdüngers können durch systematische Anwendung des Wirtschaftsdüngers vermieden werden sowie auch die mit der Entsorgung verbundenen Transportkosten. Ein weiterer monetärer Vorteil entsteht durch den Ertragszuwachs im Vergleich zum ungedüngten Boden. Somit relativieren sich die Ausbringungskosten des Wirtschaftsdüngers zum Erlös. Schwierig in Zahlen auszudrücken sind die Eigenschaften des Wirtschaftsdüngers, die zum Aufbau des Humuskörpers beitragen. Wirtschaftlich darf dies jedoch nicht unterschätzt werden. Die Wahrscheinlichkeit der Ertragsminderung durch unbeständige Witterung nimmt bei regelmäßiger Anwendung des Wirtschaftsdüngers ab. Weitere Vorteile des

WD-Rechners sind vor allem im Umweltschutz zu sehen, indem durch rationelle Anwendung des Wirtschaftsdüngers aktiv zur Kohlenstoffsequestrierung im Boden beigetragen wird. Die Belastung der Böden und des Grundwassers mit Nitraten durch punktuelle Sammelstellen der tierischen Exkremente könnte reduziert oder gänzlich vermieden werden. Die klimawirksamen Gase, wie Methan und Lachgas, aus unzureichendem Wirtschaftsdüngermanagement könnten durch die Nutzung des WD-Rechners erheblich reduziert werden.

6 Literaturverzeichnis

- Abramov, N.W. (2013): Produktivität der agrarischen Ökosysteme und Zustand der Bodenfruchtbarkeit in Westsibirien. Staatliche Agraruniversität des Nördlichen Transurals. Tyumen (Russisch).
- Abramov, N.V., Eremin, D.I. und Eremina, D.V. (2010): Wirtschaftlichkeit der Anwendung mineralischer Dünger bei Sommerweizen im Nördlichen Transural. Ural Agrar-Bulletin, 2(68), 47-50. http://m-avu.narod.ru/PDFkee_68_02_2010/16_abramov.pdf (16.03.2015) (Russisch).
- Administration der Oblast Tyumen (2012): Bericht über die ökologische Situation in der Oblast Tyumen im Jahr 2011. http://admtymen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=10922884@cmsArticle (17.02.2014) (Russisch).
- Administration der Oblast Tyumen (2013): Regelung über die Gewährung des regionalen Haushaltes für die staatliche Unterstützung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse. <http://admtymen.ru/files> (26.01.2015) (Russisch).
- KTBL (2014): Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Verfahrensrechner Pflanze. <http://daten.ktbl.de/vrpflanze/prodverfahren/showResult.action> (10.11.2014).
- Kühling, I. und Trautz, D. (2012): Agrarstruktur – Vorläufige Charakterisierung der landwirtschaftlichen Produktion in der Region Tyumen. Working Paper. http://www.uni-muester.de/imperia/md/content/sascha/publikationen/sp510_workingpaper_agrarstruktur_milestonem511.pdf (04.09.2014).
- Luk Oil (2014): Preise für Diesel bei der Tankstelle „Luk Oil“ in Tyumen. http://www.benzin-price.ru/zapravka.php?azk_id=9928&sc=fd76abdbd9b44e01d42196af69062998 (10.11.2014) (Russisch).
- LWK Niedersachsen (2013): Nährstoffgehalte in organischen Düngern. Stand 29.11.2013. <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/340/article/8505.html> (28.01.2015).

- Osipov, V. A. (2011): Entwicklung eines Modells zur räumlichen Optimierung des Agrarsektors in der Oblast Tyumen. Wissenschaftlich-technischer Bericht. Staatliche Universität Tyumen. Tyumen (Russisch).
- ROSREESTR (2012): Amt des föderalen Dienstes für staatliche Registrierung, Kataster und Kartographie in der Oblast Tyumen. Bericht über den Zustand und Nutzung von Flächen in der Oblast Tyumen im Jahr 2011. <http://www.to72.rosreestr.ru/> (17.09.2013) (Russisch).
- Störkle, M., Brauckmann, H.J. und Broll, G. (2014): Anfall und Qualität der Nebenprodukte aus der Landwirtschaft in der Oblast Tyumen, Russland. Unveröffentlichtes Working Paper 533. Universität Osnabrück.
- Störkle, M., Brauckmann, H.J. und Broll, G. (2015): Organische Kohlenstoffgehalte im Boden unter dem Einfluss der Landnutzung in der Oblast Tyumen, Russland. Unveröffentlichtes Working Paper 531. Universität Osnabrück.
- Tumstat (2012): Landwirtschaftliche Statistik auf Rajonebene.
<http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst71/DBInet.cgi> (07.01.2013) (Russisch).
- Tumstat (2014): Staatliches Statistikamt der Oblast Tyumen. Durchschnittslöhne der Arbeitnehmer unterteilt nach Wirtschaftszweigen.
http://tumstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/tumstat/resources/0055ce804d156d498da5bfc5b34c73c1/%D0%97%D0%B0%D1%80%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%82%D0%B0_8.htm (17.09.2014) (Russisch).
- Werwein, O.D. (2007): Die Bedeutung der Langzeitanwendung von Agrochemikalien zur Steigerung der Erträge auf Albeluvisols in der südlichen Taiga Westsibiriens. Empfehlungen. Sibirische Abteilung der Russischen Landwirtschaftlichen Akademie.
http://www.sibniit.tomsknet.ru/files/articles/agriculture_chemistry.pdf (24.04.2015) (Russisch).

7 Anhang

Berechnung des Geldwertes für Nährstoffe in Selitra und Ammophos

Der N-Dünger Selitra enthält in einer Tonne 344 kg N. Die Kosten für eine Tonne Selitra betragen 11.000 RUB bzw. inkl. der Subvention 8.600 RUB. 1 kg N aus Selitra kostet demnach 31,97 RUB bzw. 25 RUB inkl. der Subvention.

Der NP-Dünger Ammophos kostet 15.000 RUB und 9.900 RUB je Tonne inkl. der Subvention. Ammophos enthält 110 kg N t⁻¹ und 220 kg P t⁻¹. Das Reinnährstoffgewicht ist demnach 330 kg t⁻¹. 15.000 RUB geteilt durch 330 kg ergibt 45,45 RUB kg⁻¹ Reinnährstoff oder 30 RUB kg⁻¹ inkl. Subvention. 1 kg N aus Ammophos kostet demzufolge 45,45 RUB und 1 kg P kostet 45,45 RUB.

Rechenbeispiel des Geldwertes für Rindergülle und -Mist

Eine Tonne Rindergülle enthält 3 kg N und 0,90 kg P. Zuerst wird der P-Gehalt aus Ammophos auf 0,90 kg P gedüngt. Beim Düngen mit 0,90 kg P werden aus Ammophos 0,45 kg N mitgedüngt. Das ergibt 1,35 kg Reinnährstoff aus Ammophos. Die Kosten dafür betragen 61,35 RUB bzw. 40,50 RUB inkl. Subventionen. Um auf 3 kg N zukommen wird 2,55 kg N aus Selitra gedüngt. Die Kosten dafür betragen 81,52 RUB, mit Subventionen 63,75 RUB. Summiert man die Kosten der beiden mineralischen Dünger auf, erhält man den Geldwert von 142,87 RUB für eine Tonne Rindergülle. Bei der Berücksichtigung von Subventionen für mineralische Dünger ergibt sich ein Geldwert für eine Tonne Rindergülle von 104,25 RUB.

Eine Tonne Rindermist enthält 3,60 kg N und 1,50 kg P. Bei 1,50 kg P aus Ammophos würden 0,75 kg N mitgedüngt werden. NP - Düngung mit 2,25 kg Reinnährstoff würde 102,26 bzw. 67,50 RUB (inkl. Subvention) kosten. Die Differenz bei N beträgt 2,85 kg N, die aus Selitra dazu gedüngt werden muss, um auf den gleichen Nährstoffgehalt zu kommen, wie in einer Tonne Rindermist. 2,85 kg N aus Selitra kosten 91,11 RUB und 71,25 RUB inkl. Subvention. Der Geldwert beträgt für eine Tonne Rindermist 193,38 RUB und mit Subvention 138,75 RUB.

ANHANG 2: LISTE DER WISSENSCHAFTLICHEN PUBLIKATIONEN UND VORTRÄGE

Peer-Review Publikationen

Erstautorin Störrle

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2015): Livestock manure management in agroecosystems of southwestern Siberia, Russia. In: GEO-ÖKO 36(3-4), 133-154.

Störrle, M., Hagedorn, L., Yurtaev, A., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2016): Soil structure of arable and non-arable land in the Western Siberian Grain Belt in Russia—Application of the soil fingerprint code for topsoil characterization. In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science 179(4), 510-519.

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2017): Greenhouse gas emissions from livestock manure management in southwestern Siberia, Russia. In: Sustainable Agriculture Research 6(2), 66-80.

Co-Autorin Störrle

Kämpf, I., Hölzel, N., Störrle, M., Broll, G. & Kiehl, K. (2016): Potential of temperate agricultural soils for carbon sequestration: A meta-analysis of land-use effects. In: Science of the Total Environment 566, 428-435.

Tagungsbeiträge (Poster)

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2012): Soil degradation and sustainable land management in the Western Siberian Corn Belt. International Symposium on Managing Soils for Food Security and Climate Change Adaptation and Mitigation, FAO/IAEA, 23-27.07.2012, Wien.

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2013): Stoffstrommanagement zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit von degradierten Böden im Westsibirischen Getreidegürtel. DBG - Jahrestagung, Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung, 7-12. 9. 2013, Rostock.

Störrle, M., Hagedorn, L., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2013): Soil degradation and sustainable soil management in the Western Siberian corn-belt. International conference "Ecology and Management of Natural Resources", Staatliche Universität Tyumen, 12-13.09.2013, Tyumen.

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2015): Wirtschaftsdüngermanagement – ein Beitrag zum klimafreundlichen Bodenmanagement in Westsibirien. DBG - Jahrestagung, Unsere Böden – Unser Leben, 5 - 10.09.2015, München.

Working Paper im Projekt SASCHA

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2014): Anfall und Qualität der Nebenprodukte aus der Landwirtschaft in der Oblast Tyumen, Russland. Unveröffentlichtes Working Paper, Universität Osnabrück.

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2015): Organische Kohlenstoffgehalte im Boden unter dem Einfluss der Landnutzung in der Oblast Tyumen, Russland. Unveröffentlichtes Working Paper, Universität Osnabrück.

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2015): Wirtschaftsdünger-Rechner für Großproduzenten in der Oblast Tyumen, Russland. Unveröffentlichtes Working Paper, Universität Osnabrück.

Vorträge

Störrle, M., Brauckmann, H.J. & Broll, G. (2013): Regionales Stoffstrommanagement für Nährstoffe im Westsibirischen Getreidegürtel. Vortrag, Statuskonferenz 2013 der Fördermaßnahme „Nachhaltiges Landmanagement“, 17-19.04.2013, Berlin.

Störrle, M. (2014): Regional material-flow management for nutrients and organic carbon. Vortrag, SASCHA meets KULUNDA: PhD workshop, 23-24.01.2014, Münster.

ANHANG 3: ERKLÄRUNG ÜBER DIE EIGENSTÄNDIGKEIT DER ERBRACHTEN WISSENSCHAFTLICHEN LEISTUNG

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Bei der Auswahl und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehend aufgeführten Personen in der jeweils beschriebenen Weise entgeltlich / unentgeltlich geholfen.

1.

2.

3.

Weitere Personen waren an der inhaltlichen materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Wolfburg, 01.09.2017
(Ort, Datum)

Stöckle Maria
(Unterschrift)