

# Effekte der Schwarzbrache in verschiedenen Trockenfeldbauregionen der GUS

LARS-CHRISTIAN GRUNWALD<sup>1</sup>, TOBIAS MEINEL<sup>2</sup>, VLADIMIR IVANOVICH BELYAEV<sup>3</sup> & MANFRED FRÜHAUF<sup>4</sup>

<sup>1</sup>) Dipl. Geogr. Lars-Christian Grunwald, Amazonen-Werke GmbH & Co. KG, Büro BBG-Leipzig, Rippachtalstraße 10, 04249 Leipzig, LarsChristian.Grunwald@bbg-leipzig.de

<sup>2</sup>) Dr. Tobias Meinel, Amazone Kasachstan, Rayon Saryarka, Saifulina 26/1 Büro 42 Astana 010000, Kazakhstan. Dr.Tobias.Meinel@amazone.de

<sup>3</sup>) Prof. Dr. Vladimir Ivanovich Belyaev, Staatliche Agraruniversität des Altaj, Pr. Krasnoarmejskij 98, 656099 Barnaul. (belyaev@asau.ru)

<sup>4</sup>) Prof. Dr. Manfred Frühauf, Institut für Geowissenschaften und Geographie, FG Geoökologie, Von-Seckendorff-Platz 4, 06120 Halle (Saale). manfred.fruehauf@geo.uni-halle.de

**Schlüsselwörter** Schwarzbrache, konventionelle Bodenbearbeitung, Minimalbodenbearbeitung, Direktsaat, Bodenfeuchte, Nährstoffhaushalt, Bodenerosion

**Keywords** bare fallow, conventional tillage, minimum tillage, no tillage, soil moisture, nutrient level, soil erosion

## Zusammenfassung

In der Waldsteppenzone der Orlovskaya Oblast (haplic Phaeozems und haplic Chernozems) und in der Zone der typischen Steppen des Altai Krai (calcic Chernozems und haplic Kastanozems) wurden im Rahmen dieser Untersuchung verschiedene Bodenbearbeitungssysteme verglichen (konventionelle Bodenbearbeitung - CT, minimale Bodenbearbeitung - MT und Direktsaat - NT). Die Untersuchungen fanden in stark auf Getreideproduktion ausgerichteten Ackerbausystemen statt (Winterweizen - Ww, Sommerweizen - Ws, Sommergerste - Bs). Eine in Russland weit verbreitete und absolut übliche konventionelle dreijährige Getreidefruchtfolge, mit Schwarzbrache wurde als "best practice" vergleichend hinzugezogen (Getreide - Getreide - Schwarzbrache). An jedem Standort wurden vier Versuchsfelder in die Untersuchung einbezogen.

Am Standort der Waldsteppenzone (mittlerer Niederschlag 600mm/a) konnte unter Schwarzbrache (auf einem haplic Phaeozem) innerhalb eines Anbauzyklus (September 2008 - August 2009) eine Erhöhung des Bodenfeuchtegehaltes um 34% festgestellt werden; verglichen mit dem Bodenfeuchteniveau unter MT und Ww-Bestand (haplic Chernozem). Die Böden unter CT-Bewirtschaftung (haplic Chernozems) je im ersten, bzw. im zweiten Jahr nach Schwarzbrache, zeigen gleiche (-4,1%) oder sogar schlechtere (-15,1%) Bodenfeuchtwerte, verglichen mit den Werten des Bodens unter MT-Bewirtschaftung, ebenfalls unter Ww-Bestand. Am Standort in der Region der typischen Steppen im Altai Krai (mittlerer Niederschlag ca. 320mm/a) konnte unter Schwarzbrache im Zeitraum April - August 2009 ungefähr 20% mehr Bodenfeuchte gehalten werden als unter NT-Bewirtschaftung und Ws-

Bestand (beide Böden haplic Kastanozem). Im ersten Jahr nach Schwarzbrache unter Ws-Bestand fiel der Bodenfeuchtegehalt um -7,8% gegenüber dem Boden unter NT-Bewirtschaftung ab (calcic Chernozem).

Am Waldsteppenstandort in der Orlovskaya Oblast konnte aufgrund der höheren mechanischen Bearbeitungsintensität und des geringeren Nährstoffzugs unter Schwarzbrache, die Konzentration an pflanzenverfügbarem Stickstoff in der Ackerkrume um 500% gegenüber dem Boden unter MT-Bewirtschaftung und unter Ww-Bestand erhöht werden (Zeitraum April - August 2009). Doch bereits im ersten Folgejahr nach Schwarzbrache fiel im konkreten Fall die Stickstoffkonzentration auf einen, mit dem im Boden unter MT-Bewirtschaftung und ebenfalls unter Ww-Bestand, vergleichbaren Wert zurück.

Vor dem Hintergrund der wesentlich trockeneren Witterung am westsibirischen Standort der typischen Steppe sinkt der Nitratgehalt unter Schwarzbrache deutlich ab, während der Ammoniumgehalt über den Zeitraum der Untersuchungen hinweg anstieg. Des weiteren wird aufgrund der geringeren Auswaschung im strengen sibirischen Winter im ersten Frühjahr nach Schwarzbrache ein, gegenüber dem Boden unter NT-Bewirtschaftung, zweifach höherer Nitratgehalt gemessen. Doch auch hier ist bereits nach der ersten Anbausaison nach Schwarzbrachehaltung (Mai - August 2009) die Nitratkonzentration auf ein Wert zurückgegangen, der mit dessen im Boden unter NT-Bewirtschaftung vergleichbar ist.

## Abstract

The studies in a forest steppe region (haplic Phaeozems and haplic Chernozems) in Orlovskaya

Oblast (RF) and in steppe region (calcic Chernozems and haplic Kastanozems) in Altay Kray (RF) compared different tillage systems (conventional tillage CT, minimum tillage MT, no tillage NT) in highly grain focused crop rotations (winter wheat Ww, spring wheat Ws, spring barley Bs). A conventional till crop rotation (Grain – Grain – Bare Fallow), which is very common in Russian agriculture, as the most intensive tillage method, was chosen for comparison under best practice.

At each site four sample fields have been studied. In forest steppe region (precipitation around 600mm/a) during one crop production period (Sept. 2008 – Aug. 2009) under bare fallow (haplic Phaeozem) the soil moisture storage has been enriched about 34% comparing to haplic Chernozems under MT with Ww. In two haplic Chernozems under CT system in the 1st and 2nd year after bare fallow, it was cropped Ww too, have been shown comparable (-4.1%) and worse moisture conditions (-15.1%) compared to this haplic Chernozem under MT regime.

In steppe region in Altay Kray (precipitation on test site around 320mm/a) during the growing season 2009 (April/May – August) under bare fallow (haplic Kastanozem) has been stored 20% more water than under NT (haplic Kastanozem with Bs). In the 1st year after fallow and with Ws production (calcic Chernozem) the moisture level has been declined to -7.8% compared to this soil under NT management.

Due to the much higher tillage intensity and the less nutrient consumption under bare fallow, the nitrate concentration in higher soil horizon increased about 500% comparing the situation under MT and Ww in Orlovskaya Oblast during the growing period 2009 (April – August). But already in the 1st year after fallow the nitrate concentration declined to a comparable

level with the soil under MT and under Ww production too. Because of the much dryer conditions in steppe region of southern Siberia the nitrate level under bare fallow declined, while the ammonia level increased. Also due to less eluviation during the winter time in the 1st spring after bare fallow (2009) the nitrate level in a calcic Chernozem under Ws is about two times higher (8.5 mg/kg) than under NT management (haplic Kastanozem with Bs) at the same test site. Already after the 1st growing season (May – August 2009) the nitrate concentrations under CT with Ws (2.8mg/kg) declined to a comparable level with the soil under NT with Bs (2.4 mg/kg).

Furthermore wind erosion has been established as the most dangerous threat for soil carbon level and fertility of arable lands in steppe regions. The silt concentration in tillage horizons under CT (0 – 35cm) declined during the last decades in both research areas. Due to the higher threat of wind erosion in southern Siberian steppe regions the silt concentrations declined more than 4% in comparison to lower soil horizons.

## 1. Ausgangssituation - Problemstellung

Im Jahr 2011 bewirtschaften die Russische Föderation (RF), die Ukraine (UA) und Kasachstan (KAZ) insgesamt 12,75 % der weltweit nutzbaren Ackerfläche – 178 mio ha, und produzieren mehr als 14,4% des globalen, jährlichen Weizen-ertrages (FAOSTAT 2014). Doch im Zuge der schwierigen wirtschaftlichen Konversion geht die Produktivität der russischen Landwirtschaft bis zur Jahrtausendwende um ungefähr ein Drittel gegenüber 1992 zurück. Am Tiefpunkt der postsowjetischen Krise, im Jahr 1998, werden



Abb. 1 Entwicklung der Jahresweizenproduktion in RF, KAZ, UA in der Postsowjet-Ära (nach FAO 2014)

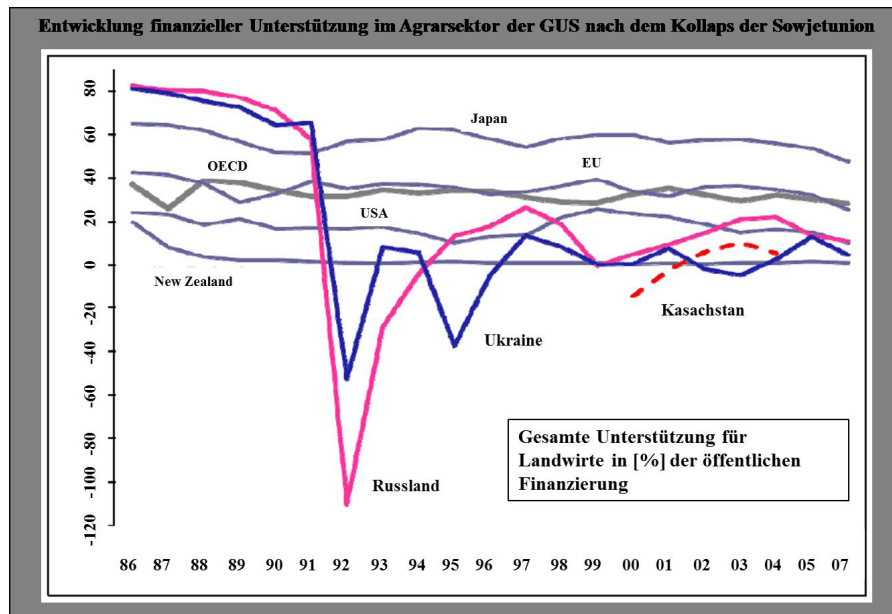


Abb. 2 Subventionsleistungen in der Landwirtschaft - internationaler Überblick (nach OECD, World Bank for Kazakhstan in FELLMANN & NEKHAY 2012)

internationale Nahrungshilfeleistungen im Wert von 1,5mrd USD nach Russland, das flächenmäßig größte Land der Erde, entsendet. Allein die USA leisten damals knapp 17% mehr Lebensmittelhilfe für die Russische Föderation (RF) als für Afrika (SEDIK et al. 2003, S. 108 – 144).

Die, vor dem Hintergrund des politischen und wirtschaftlichen Wandels, sinkenden Investitionen im landwirtschaftlichen Sektor haben direkte Auswirkungen auf die Produktivität und die Erträge. Im Jahr 1998 liegt die jährliche

Weizenproduktion der RF, KAZ und UA bei 55% des Volumens von 1992 (Abb. 1). Dringend notwendige Investitionen in neue Landtechnik und zur Umstellung auf bodenschonende, ertragsstabilisierende Anbauverfahren werden durch die allgemein unsichere wirtschaftliche Lage, stark sinkende Subventionsleistungen und problematische Kredit-Konditionen behindert. Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, sind die staatlichen Zuwendungen für landwirtschaftliche Betriebe in Russland und der Ukraine nach dem Ende der UdSSR, gegenüber dem internationalen



Abb. 3 Typische 12monatige Schwarzbrache in der Orlovskaja Oblast - Westrusland (GRUNWALD August 2009)

Schnitt, auf ein Minimum zurückgegangen. Viele Landwirte gehen zu kurzfristigen Gewinnstrategien zu Lasten des Bodens über. (MEINEL 2002, KOSTYAYEV A.I. 2003, S. 145-157).

Daraus folgt zwischen 1994 und 2004 ein Rückschritt zu überintensiver mechanischer Bodenbearbeitung, die vor allem in klimatischen Grenzlagen mit einem drastischen Rückgang mineralischer Düngung und dem Einsatz von Herbiziden, einhergeht (MEYER et al. 2008). Als langfristige Konsequenzen treten die Degradierung des Bodens und deren negative Rückwirkung auf die landwirtschaftliche Produktivität dabei besonders in den Vordergrund. Vor allem auf den riesigen Flächenverbänden der Wolgaregion, Nordkasachstans und Südwestsibiriens, die in den 1950er und 1960er Jahren im Zuge der Neulandkampagne (russ. Zelina) aus umgebrochenen Steppen und Altbrachen entstehen, sind bis heute verheerende Winderosionserscheinungen nachweisbar (MEINEL 2002). Sie sind mancherorts in Art und Auswirkung mit denen der sog. „dirty thirties“ in den nordamerikanischen Great Plains vergleichbar (EULE 1962 WEIN 1980, WBGU 1994/ FRÜHAUF &

MEINEL 2007, FRÜHAUF 2011). Der nachweisbare Rückgang der Bodenfruchtbarkeit bis hin zum gänzlichen Verlust des Oberbodens ist vorrangig auf die, an die Steppenstandorte nicht angepasste Bodenbewirtschaftung zurückzuführen (MEINEL 2002, S.119).

Dabei sind die Folgen der ackerbaulichen Überwirtschaftung von Stepperräumen und notwendige Maßnahmen zum effektiven und nachhaltigen Umgang mit der Ressource Boden in den nordamerikanischen Ackerbauregionen bereits detailliert untersucht (PAMI & SSCA [Hrsg.] 2000, LAFOND et al. 2005<sup>1</sup>). Dadurch ist dort seit mehr als 20 Jahren ein Trend hin zur bodenerhaltenden Bewirtschaftung, ohne intensive mechanische Bearbeitung zu erkennen. In der Landwirtschaft der GUS wird, unter vergleichbaren naturräumlichen und klimatischen Bedingungen, aus oben angeführten Gründen, die mehrfache Bearbeitung des Bodens nach wie vor als Grundlage des ackerbaulichen Verfahrens genutzt. Zwar sind Düngermenge und Herbizideinsatz seit 2000 stetig gestiegen (vgl. Düngereinsatz in der Orlovskaija Oblast und im Altaiskij Kraij in Abbildung 9). Doch die

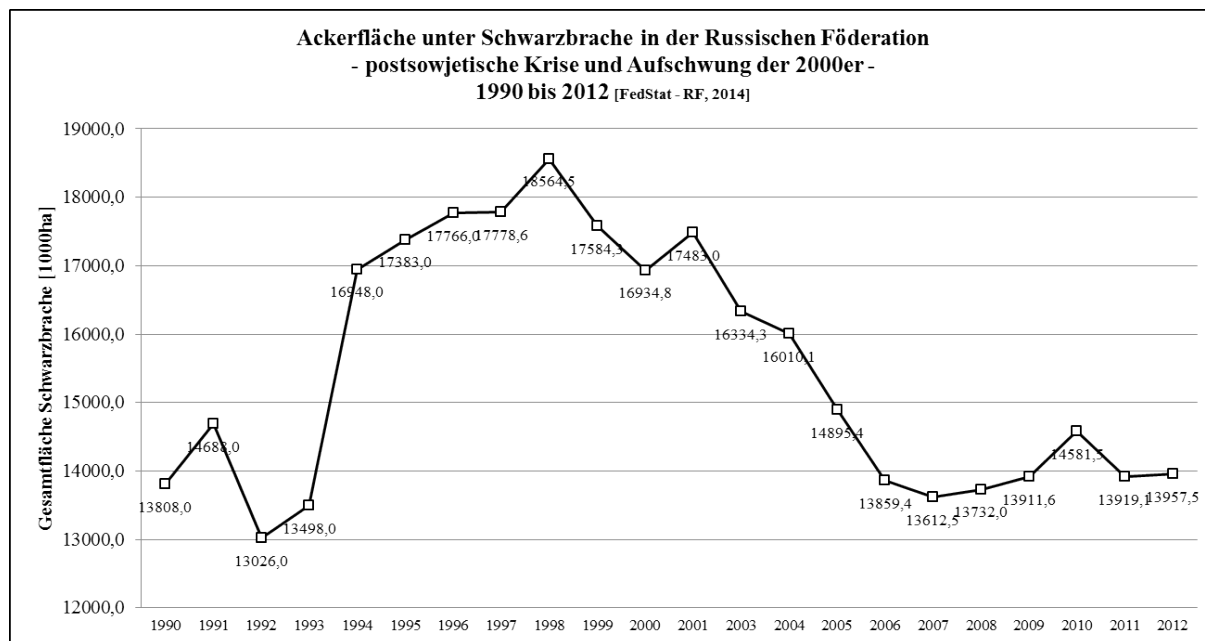


Abb. 4 Entwicklung der Schwarzbrachefläche in der RF seit 1989 - erneute Zunahme mit der Krise 2008 (nach FSS ROSSIIJ [Hrsg.] 2014)

<sup>1</sup> Am „Semiarid Prairie Agricultural Research Centre“ in Indian Head (Saskatchewan) wurde in den letzten drei Jahrzehnten für die südkanadischen Trockenfeldbauregionen weitgreifend für nachhaltige, ertragsstabile und effektive Ackerbauverfahren geforscht.



Abb. 5 Starke Defaltion auf offener Ackerfläche im Altaijskij Kraij (GRUNWALD Mai 2012)

grundsätzliche Ausrichtung des Ackerbausystems bleibt in weiten Teilen standortunangepasst. Die Schwarzbrache stellt in den meisten russischen Ackerbausystemen die intensivste Form der mechanischen Bodenbewirtschaftung dar. Dabei wird der Acker in einjähriger Rotationsbrache durch mechanische Bearbeitung fast gänzlich bedeckungsfrei gehalten, wobei auch die Herbst- und Frühjahreshutung, d.h. einer erosionsmindernden Pflanzenbestand oder ein höherer Anteil toter organischer Masse auf der Oberfläche, entfällt (vgl. BARRÉ et al. 2010). Wie Abbildung 3 an einem Beispiel einer Schwarzbrache aus der Orlovskaija Oblast zeigt, liegt der Boden absolut bedeckungslos und bietet damit erosiven Kräften durch Wind und Wasser direkte Angriffsfläche. Nach guter fachlicher Praxis soll diese Maßnahme der Ertragssteigerung in der Folgefrucht dienen. Dabei spielen die erhöhte Freisetzung pflanzenverfügbarer Nährstoffe, ein verbesserter Bodenwasserhaushalt, der Verringerung des Wildpflanzendruckes sowie günstigere Aussaat- und Wachstumsbedingungen nach Schwarzbrache die vordergründige Rolle (KÖPPEN 2004, S.333).

In den 1990er Jahren erfährt die Schwarzbrache in den Staaten der GUS eine regelrechte Renaissance. Allein 1998 werden in der Russischen Föderation knapp 15% der gesamten

nutzbaren Ackerfläche unter Schwarzbrache gehalten (FSS ROSSIIJ [Hrsg.] (2014)/ FAOStat, 2014). Dies entspricht zu der Zeit ungefähr der eineinhalbfachen insgesamt nutzbaren Ackerfläche der Bundesrepublik Deutschlands<sup>2</sup> (FAOStat, 2014). In Abbildung 4 wird deutlich, dass zum Tiefpunkt der postsowjetischen Krise die Schwarzbrache maximale Flächenausdehnung in der Landwirtschaft hatte. Dies ist ein Indikator für den Rückschritt zum konventionell sehr intensiven Ackerbausystem der GUS. Zwar geht der Anteil Schwarzbrache seit 2000 deutlich zurück. Doch seit dem Krisenjahr und der gestiegenen Unsicherheit ab 2008 nimmt ihr Anteil in nahezu allen Ackerbausystemen Russlands wieder zu (Abb. 4). Flächenmäßig ist sie am weitesten in den stark getreidelastigen Fruchtfolgen<sup>3</sup> von den Schwarzerderegionen in Westrussland bis in die südwestsibirischen Trockensteppen hinein verbreitet.

Vor dem Hintergrund kostenintensiver Pflanzenschutzmittel und Düngergaben sowie vergleichsweise niedrigen Dieselpreisen in der RF, ziehen viele Unternehmen die Schwarzbrache als kostensparende Alternative den teuren Neuanschaffungen und der vollständigen Umstellung des Verfahrens auf konservierende Bewirtschaftung vor. Dabei spielt das Festhalten

<sup>2</sup> Ackerfläche RF 1998 gesamt: 126132 tsd ha, Ackerfläche BRD 1998 gesamt: 11879 tsd ha (FAOStat, 2014)

<sup>3</sup> Vordergründig Weizen und Gerste (FSS Rossiij [Hrsg.] 2014)

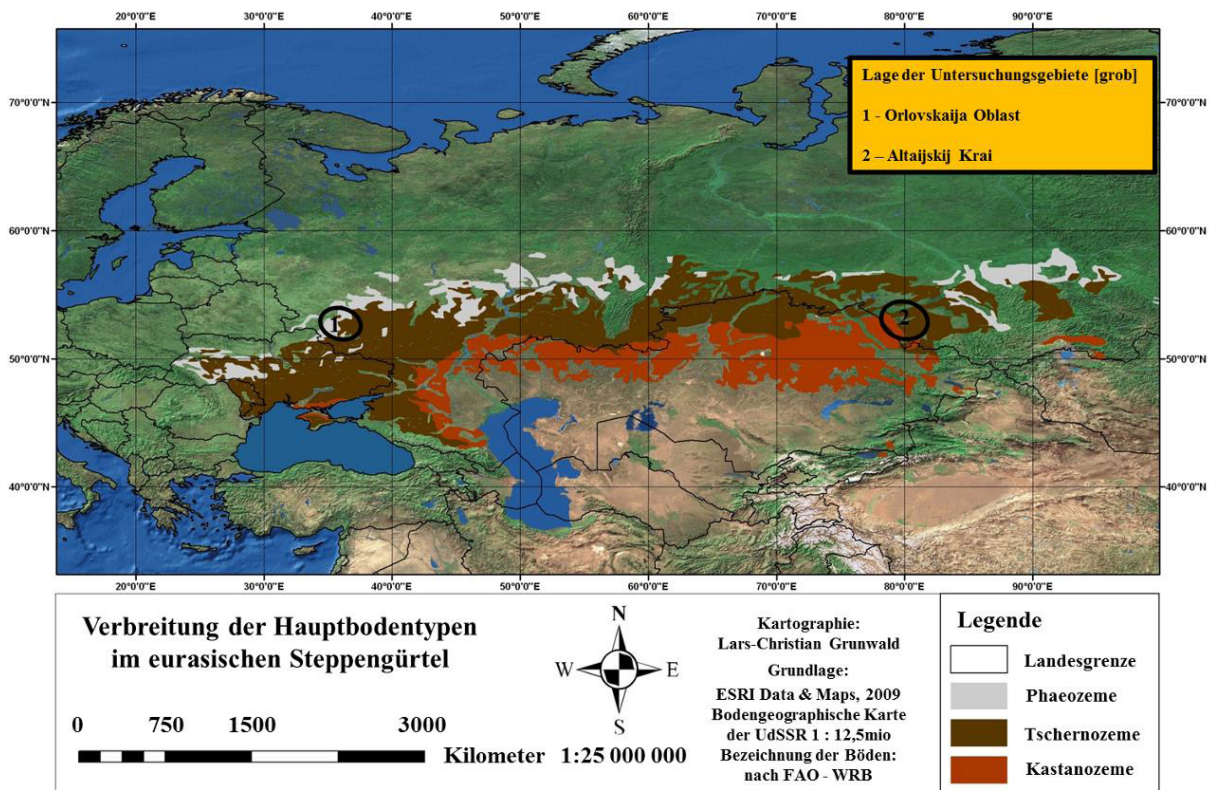


Abb. 6 Hauptbodentypen im eurasischen Steppengürtel - Lage der Untersuchungsgebiete Orlovskaja Oblast (west) und Altajskij Krai (ost), Kartographie GRUNWALD 2009)

an tradierten Gepflogenheiten, nicht zuletzt durch einen schlechten Kenntnisstand über neue Methoden/Verfahren auf Leitungsebene der Betriebe eine wichtige Rolle.

Akute Probleme treten vor allem in sehr trockenen Jahren, und unter extremen Witterungsereignissen wie Trockenstürmen und Starkniederschlägen auf. Dann ist die Gefahr massiven Bodenverlustes auf den offenliegenden Schwarzbrachefeldern allgegenwärtig.

Bezüglich der ökologischen und ökonomischen Effekte der Schwarzbrache fehlen, aufgrund unzureichender betriebsinterner Dokumentationen, belastbare Daten über die tatsächliche ertragssteigernden Wirkung. (ZIMMER 2008). Im Fokus dieser Arbeit stehen deshalb die Erfassung agrarökologischer und agronomischer Effekte der Schwarzbrache und deren Diskussion. Vor allem die nachhaltige Bodenwasser- und Stickstoffversorgung für die Anbaukulturen stehen hierbei im Vordergrund. Diese sind als

vordergründige Ertragslimitierer anzusehen (LEIDIG 1997, S.3).

Weiter sollen Alternativen aufgezeigt werden, die zur Schonung und zur Konservierung natürlicher Bodenressourcen in ackerbaulich genutzten Steppenregionen Russlands und Nordkasachstans beitragen können.

**Hieraus sind folgende Kernfragen zu formulieren:**

- **Wie ist die Wirkung der Schwarzbrachehaltung auf die Erosions- und Degradationsgefahr zu bewerten?**
- **Wie ist die Wirkung der Schwarzbrachehaltung auf den Bodenwasserhaushalt und auf den Unkrautdruck zu bewerten?**
- **Wie wird der pflanzenverfügbare Stickstoffpool im Boden unter Schwarzbrachehaltung beeinflusst?**
- **Wie ist der agronomische Effekt der Schwarzbrachehaltung einzuschätzen?**

## 2. Die Untersuchungsgebiete – Naturraum und landwirtschaftliche Nutzung

Die Untersuchungen zu dieser Arbeit finden im Jahr 2009 in zwei Regionen innerhalb des russischen Steppengürtels statt<sup>4</sup>. Die Orlovskajaja Oblast<sup>5</sup> befindet sich im stark gerodeten Waldsteppengebiet der westrussischen Tafel. Graue Waldböden<sup>6</sup> im humiden Nordwesten, werden in den südöstlichen Gebieten, unter abnehmender Humidität, von Tschernosemen<sup>7</sup> abgelöst (MILKOV 1977). Im Untersuchungsgebiet, in der südöstlichen Orlovskajaja Oblast an der Grenze zur Kurskajaja Oblast fallen im langjährigen Mittel 609mm Niederschlag.

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 5,3°C (Klima Kursk- meteo.infospace.ru, Abruf URL 20.01.2014). Die zweite gewählte Region befindet sich im Vorland des Altai-Gebirges in der südwestsibirischen Kulundasteppe, im Übergangsbereich von der Typischen Steppe zur Trockensteppe. Aufgrund des hochkontinentalen, und damit kühlen und trockenen Klimas<sup>8</sup>,

entwickeln sich hier Böden mit geringerem Humusgehalt. Vorwiegend bilden sich im Gebiet des Rodinskij Rajon südliche Tschernoseme<sup>9</sup> bis dunkle kastanienfarbene Böden<sup>10</sup> aus (BULUIJSHEV et al. 1976, S.25). Beide Regionen werden überwiegend ackerbaulich genutzt. In der Orlovskajaja Oblast beträgt der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche mehr als 84% der territorialen Gesamtfläche. Etwa die Hälfte entfällt auf ackerbauliche Nutzung (AfS Orlovskajaja Oblast, 2014). Der Anteil der Getreideproduktion liegt bei über 90%. Hier wird unter milderen Wintern und höheren Schneemengen vor allem Winterweizen, Sommergerste und Buchweizen angebaut. Hinzu kommen Hackfrüchte wie Zuckerrübe aber auch Sommerraps und Sonnenblume. Der Altaijskij Kraij ist, nach der Orenburgskajaja Oblast im Südrural, der zweitgrößte Getreideproduzent der RF (FSS ROSSIJ [Hrsg.], 2014). Aufgrund der klimatischen Verhältnisse werden hier vordergründig Sommerungen angebaut. Zunehmend halten, neben den klassischen Getreidekulturen, technische

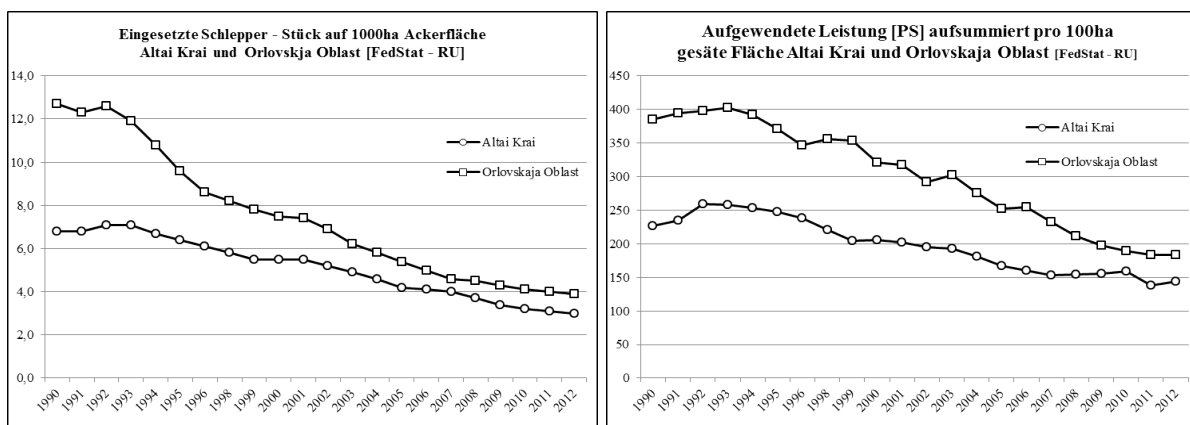


Abb. 7 Vergleich Schlepperzahlen Westrussland/Südwestsibirien - Leistungsinput pro 100ha gesäter Fläche (FSS ROSSIJ [Hrsg.] 2014)

<sup>4</sup> Abbildung 6 zeigt die Untersuchungsregionen innerhalb des eurasischen Steppengürtels, der in dieser Abbildung durch die Verbreitung seiner Hauptbodentypen dargestellt ist.

<sup>5</sup> Orlovskajaja Oblast – russ. für Region/ Bezirk Orjol – wird im weiteren Verlauf auch als Oblast Orjol bezeichnet

<sup>6</sup> nach WRB Phaeozems

<sup>7</sup> nach FAO – WRB Chernozems

<sup>8</sup> (Jahresdurchschnittsniederschläge bzw. –Temperatur: 320mm/a, 3,5°C ;Klima Rodino- meteo.infospace.ru, Abruf URL 20.01.2014)

<sup>9</sup> nach FAO - WRB calcic Chernozems

<sup>10</sup> nach FAO - WRB haplic Kastanozems

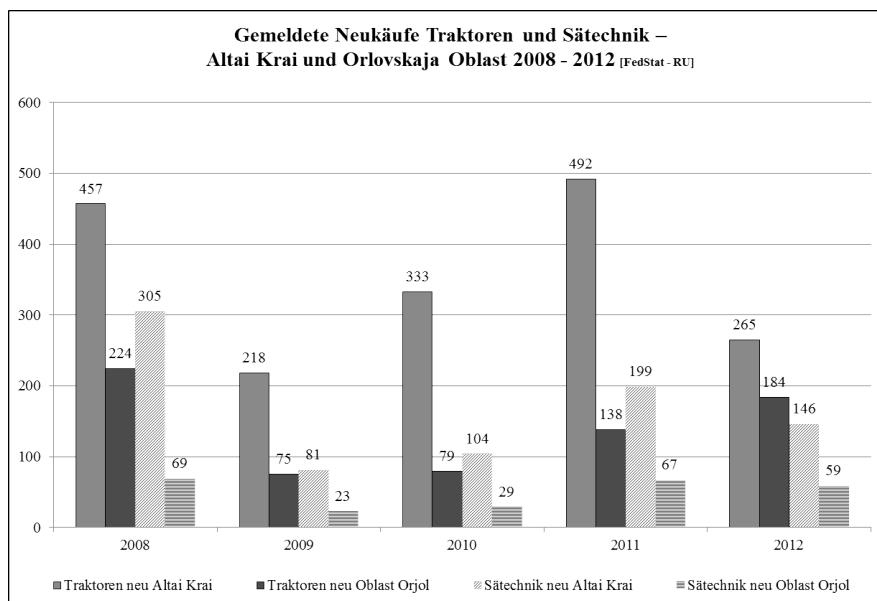


Abb. 8 Neuanschaffung Traktoren und Sätechnik nach der Krise 2008 - Südwestsibirien investiert mehr als Westrussland (FSS Rossijs [Hrsg.] 2014)

Kulturen wie Sommerraps, Sonnenblume und Mais Einzug in die Fruchtfolgen. In beiden Regionen dominieren drei Betriebsformen. Lange waren ehemalige Staatsbetriebe (Sowchosen/Kolchosen) mit enormen Flächenpotentialen, aber schlechter interner Organisation und betriebswirtschaftlichen Problemen die Betriebsform mit den größten Flächenanteilen. Diese werden jedoch seit den frühen 2000er Jahren weniger, und gehen zugunsten moderner, gut organisierter Betriebe zurück. Neben den

Betrieben, welche großen Agrar-Holdings unterstehen und ein breites Produktionsspektrum abdecken, sind es zunehmend durch Quer-einsteiger geführte Betriebe in kleineren Strukturen, die sich durch hohe Wirtschaftlichkeit auszeichnen (nach Daten des FSS Rossijs [Hrsg.], 2013)<sup>11</sup>. Niedriger Beschäftigungszahlen und ein hoher Technologisierungsgrad helfen effizient auf mehreren Tausend Hektar zu wirtschaften (siehe FELLMANN & NEKHAY 2012). Hinsichtlich der Technologisierung der Betriebe, der Anwendung

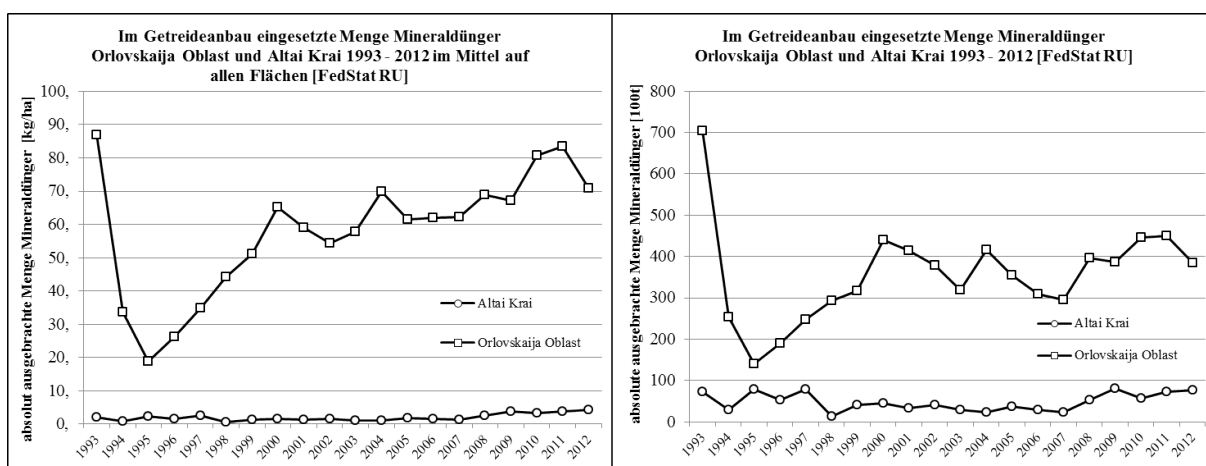


Abb. 9 Düngereinsatz pro Flächeneinheit und absolut - Vergleich Westrussland und Südwestsibirien (FSS Rossijs [Hrsg.], 2014)

<sup>11</sup> www.fedstat.ru, Abruf am 22.12.2013)



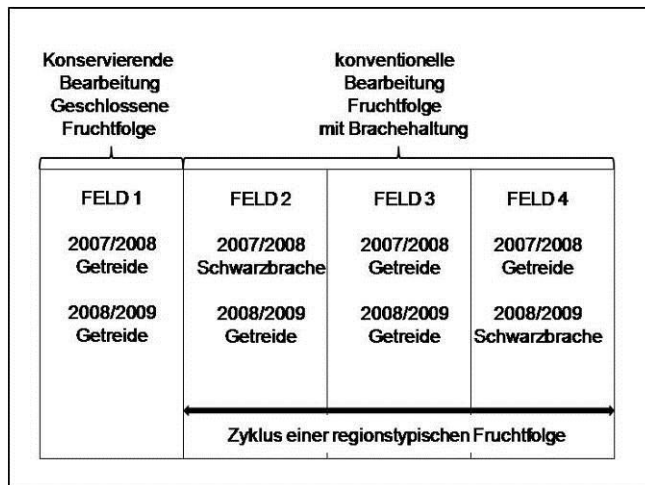


Abb.10 Schema Versuchsaufbau zum Vergleich konservierender Ackerbau und konventioneller Ackerbau mit Schwarzbrache (GRUNWALD, 2009)

moderner, ressourcenschonender Anbauverfahren und Techniken, sind zwischen Westrussland und den südsibirischen Ackerbaubetrieben bis heute Unterschiede zu erkennen, die aber nach dem Krisenjahr 2008 zurückgehen (Abb. 8). Diese haben nicht zuletzt Auswirkungen auf die Effizienz des Ackerbaus und das Potential für schadhafte Übernutzung der Böden.

Wie in Abbildung 7 zu erkennen ist, nehmen die eingesetzten Traktoren pro Flächeneinheit in Westrussland und auch in Westsibirien in den letzten zwei Jahrzehnten stetig ab. Der drastische Rückgang bis 2000 (linkes Diagramm) ist mit dem allgemeinen Rückgang der Produktivität in der Landwirtschaft zu erklären.

Seit 2000 schrumpfen die Schlepperbestände weiter. Viele kleine Traktoren werden nun zugunsten großer PS-starker Zugmaschinen abgegeben. Es wird jedoch auch deutlich, dass die Landwirtschaft Westrusslands, hier am Beispiel der Oblast Orjol, intensiver wirtschaftet, mehr Leistung pro Einheit gesäter Fläche investiert. Doch auch in Westsibirien ist dieser Trend zunehmend zu beobachten. Seit 2008 wird wieder verstärkt in neue Sätechnik und in Traktoren investiert, wie in Abbildung 8, S.12 durch die gemeldeten Stückzahlen für Neuanschaffungen gezeigt wird. Bezüglich der Düngepraxis, sowie dem erosionspräventiven, chemischen Pflanzenschutz ist die Entwicklung zwischen Westrussland und Sibirien aktuell noch ungleich. Zwar steigt die Menge ausgebrachten Düngers

(in Abbildung 9, S.13 als Rein-N). Der Altai Krai liegt im Mittel jedoch hinter der Orlovskaija Oblast in Westrussland stark zurück. Nachstehend ist im rechten Diagramm die absolut ausgebrachte Menge Rein-Stickstoffs abzulesen. Es zeigt sich, dass in der flächenmäßig viel kleineren Oblast Orjol wesentlich mehr gedüngt wird, als in der westsibirischen Altairegion.

Im Altai Krai sind 2012 mit 561 gelisteten Pflanzenschutzgeräten nur wenig mehr Maschinen im Einsatz als in der Orlovskaija Oblast (2012 waren 522 Stück gemeldet). Angesichts der im Jahre 2012 knapp fünfmal größeren Saatfläche im Altai Krai gegenüber der Oblast Orjol<sup>12</sup>, zeigt sich hier jedoch der geringe Aufwand der Landwirte in der Region Altai, hinsichtlich chemischen Pflanzenschutzes (nach FSS ROSSIJ [Hrsg.], 2014, Abruf URL: 21.01.2014). Im Jahr 2009 werden im Altai Krai gerade einmal 5,5% aller Felder mit Pflanzenschutzmitteln behandelt (AfS des Altaijskij Kraij, 2009). Es lässt sich daraus ableiten, dass die mechanische Bodenbearbeitung und somit auch die monatelange Schwarzbrachehaltung in den westsibirischen Ackerbauregionen unverändert präsent sind.

### 3. Methodik

#### 3.1 Standorte und landwirtschaftliche Praxis

Im Rahmen dieser Arbeit wird Schwarzbrache als Maßnahme zur nachhaltigen Ertragssteigerung in tradierten Ackerbausystemen Russlands

<sup>12</sup> Altai Krai 2012 – 5448,2 Tsd. ha / Oblast Orjol 2012 – 1099,1 Tsd. ha (FSS ROSSIJ [Hrsg.], 2014)

<sup>13</sup> Betrieb Homann – Jakovka/ Kolpnijanskij Rajion – Orlovskaija Oblast – Westrussland



Abb. 11 Bodenleitprofil und Bodenfeuchtemessung am Standort Jaroslavzev Log - Südwestsibirien (GRUNWALD 2009)

bewertet. Die Untersuchungen finden auf Flächen zweier Betriebe<sup>13</sup> in Westrussland und in Südwestsibirien statt. An beiden Standorten werden einem konservierend bewirtschafteten Feld drei konventionell<sup>14</sup> bewirtschaftete Flächen gegenübergestellt.

Diese Flächen bilden innerhalb der Anbausaison 2008/2009 exemplarisch den vollen Zyklus einer regionaltypischen dreijährigen Getreidefruchtfolge mit einem Jahr unter Schwarzbrache ab (Abb. 10). Die konservierende Bewirtschaftung des Referenzfeldes entspricht am Standort Jakovka (Orlovskaja Oblast - Westrussland) der praktizierten Wirtschaftsweise des gewählten landwirtschaftlichen Unternehmens (mündl. LIETDKE, M. 19.04.2009).

Hierbei wurde minimale Bodenbewirtschaftung in Mulchsaat praktiziert<sup>15</sup>. Der Pflanzenschutz erfolgt chemisch und nach Bedarf. Gedüngt wird mineralisch<sup>16</sup>. Am Standort Jaroslavzev Log

(Altajskij Kraij - Kulundasteppe) wird, vor dem Hintergrund des semiariden, hochkontinentalen Klimas seit 2008, in Zusammenarbeit mit einem deutschen Landtechnikhersteller, das Direktsaatverfahren<sup>17</sup> mit pneumatischer Großflächensätechnik als bodenkonservierende Alternative zum konventionellen Verfahren erprobt.

### 3.2 Geländearbeiten

Auf den gewählten Ackerschlägen werden, zur Bodenansprache und zur späteren Entnahme von Bodenproben Profilgruben angelegt und Leitprofile bestimmt. Die so erfassten Bodentypen repräsentieren einen Hektar Ackerfläche. Innerhalb der Fläche werden alle weiteren Beprobungen und Messungen durchgeführt (vgl. BfGuR, 1996). Zu den Bodenansprachen sind Horizontierung, Gefüge und die biologische Aktivität dokumentiert. Die Probenahme am Profil erfolgt in Abständen von 20 cm, bis mindestens

-----  
<sup>14</sup> Stoppelsturz nach Ernte – tiefe Herbstbodenbearbeitung (teilweise wendend) – Saatbettbereitung mit Scheibenegge/Feingrubber, kein chemischer Pflanzenschutz, keine mineralische Düngung, Schwarzbrache

<sup>15</sup> Flacher Stoppelsturz mit Scheibenegge/ keine tiefgründige Herbstbearbeitung/ Saatbettbereitung und Aussaat mit passiver Mulchsaatkombination/ chemischer Pflanzenschutz, mineralische Düngung, keine Brache

<sup>16</sup> In Winterweizen drei Gaben auf insgesamt 180kg/ha

<sup>17</sup> Keine eigenständige Bodenbearbeitung, Öffnen der Säfurche mit schmalen Meißelscharen, Anlegen der Säfurche und Ablage des Saatgutes zwischen ungestörte organische Masse der Vorfrucht, chemischer Pflanzenschutz, mineralische Düngung, keine Brache

100cm Bodentiefe. Es werden gestörte Proben genommen, da der Erhalt der Lagerung für die spätere Untersuchung auf Nährstoffe nicht relevant ist (vgl. BfGuR, 1996, S.16). Aus jeder Tiefe werden drei volumengleiche Teilproben (166 ml) entnommen, und zu einer Gesamtprobe vereint.

Zur Bewertung des Einflusses der mechanischen Bruchhaltung auf den Stickstoffhaushalt in der Ackerkrume, ist die flächenhafte Beprobung im Oberboden (Ackerkrume) in drei Teiltiefen (10cm/ 25cm/ 35cm) durchzuführen. Dazu werden je Tiefenschicht 15 volumengleiche Teilproben entnommen, und zu einer Gesamtprobe vereint. Die Analyse der Proben erfolgt nach den Angaben im Abschnitt 3.3 Laboranalysen.

Die Bodenfeuchtemessung geschieht mit einer mobilen FDR-Sonde bis in 1m Bodentiefe aller 20cm Tiefe. Die fünf Messpunkte verlaufen diagonal über den untersuchten Hektar Ackerfläche. In Abbildung 11 ist das Messgerät in Arbeitsposition am Bodenprofil zu sehen. Am Standort Jakovka wird zwischen Mitte April und Mitte August 2009 im Abstand von ca. 14 Tagen gemessen. In Jaroslavzev Log wird zu pflanzenbaulich relevanten Zeitpunkten Mitte Mai zur Saat, Mitte Juni zur Blüte und Mitte August zur Ernte nach demselben Schema gemessen.

### 3.3 Laboranalysen

Die physikalischen und chemischen Untersuchungen erfolgen im physisch geographisch/ geoökologischen Labor der Martin-Luther-Universität (MLU) in Halle/Saale. Die Stickstoffanalyse wird in den bodenchemischen Laboratorien der staatlichen Agraruniversitäten

in Kursk und in Barnaul, innerhalb von 8 Tagen nach Entnahme der Bodenproben durchgeführt (BfGuR, 1996, S.23). Alle Proben werden luftgetrocknet und durch sieben für die Analysen vom Bodenskelett (>2mm) getrennt (nach DIN ISO 11464). Die Korngrößenverteilung des Feinbodens wird durch das Laser-Partikel-Messverfahren nach MALVERN ermittelt.

Über die Ausprägung der Bodenart, im vertikalen Schnitt, lässt sich der langjährige erodierende Einfluss des Windes nachweisen (vgl. CHEPIL & WOODRUFF 1958). Die Gegenüberstellung der gemessenen Humusgehalte mit denen, ungestörter und langjährig kultivierter Ackerböden gleichen Typs ermöglicht allgemeine Rückschlüsse auf den Fortschritt des Degradationsprozesses (RODIONOV 1999, S.6). Die dazu notwendige Analyse des Kohlenstoffgehalts erfolgt über die nasse Veraschung der organischen Substanz mit Kalium-Di-Chromat und über die anschließende spektralphotometrische Untersuchung. Zur Ermittlung des Humusgehaltes wird der Gehalt an organischer Substanz (Angabe in Gewichtsprozent) mit einem empirischen Faktor von 1,724 multipliziert (nach Angaben in MEINEL, 2002, S.33).

Das Verfahren der nassen Veraschung der Proben (nach TJURIN) wird in Russland anstelle des Glühverlustverfahrens angewendet. Die Entscheidung für das Verfahren nach TJURIN dient der Vergleichbarkeit der Literatur mit den Ergebnissen aus dieser Arbeit (nach ARINUSCHKA 1970).

Zur Beobachtung der vertikalen Stoffverlagerung werden weiter der pH-Wert (nach DIN 38404), die elektrische Leitfähigkeit (nach DIN 11265) sowie

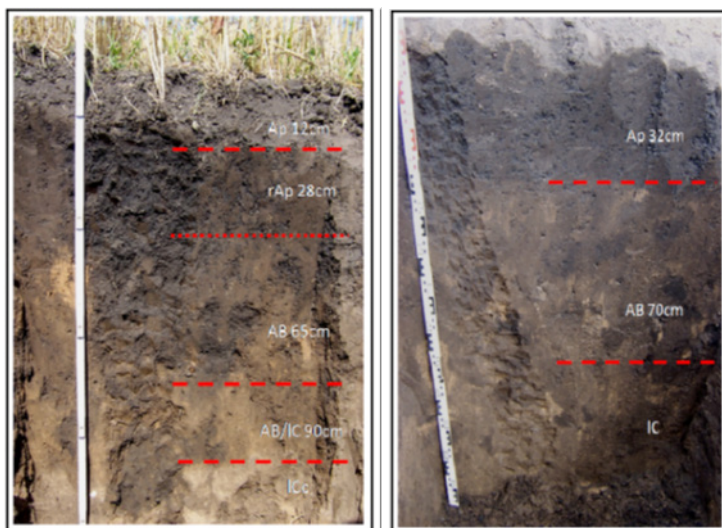


Abb. 12 Bodenleitprofile Haplic Chernozems (WRB) unter konservierender Bewirtschaftung mit Winterweizen und unter konventioneller Bewirtschaftung mit Schwarzbrache, Jakovka Orlovskaja Oblast GRUNWALD, 2009)

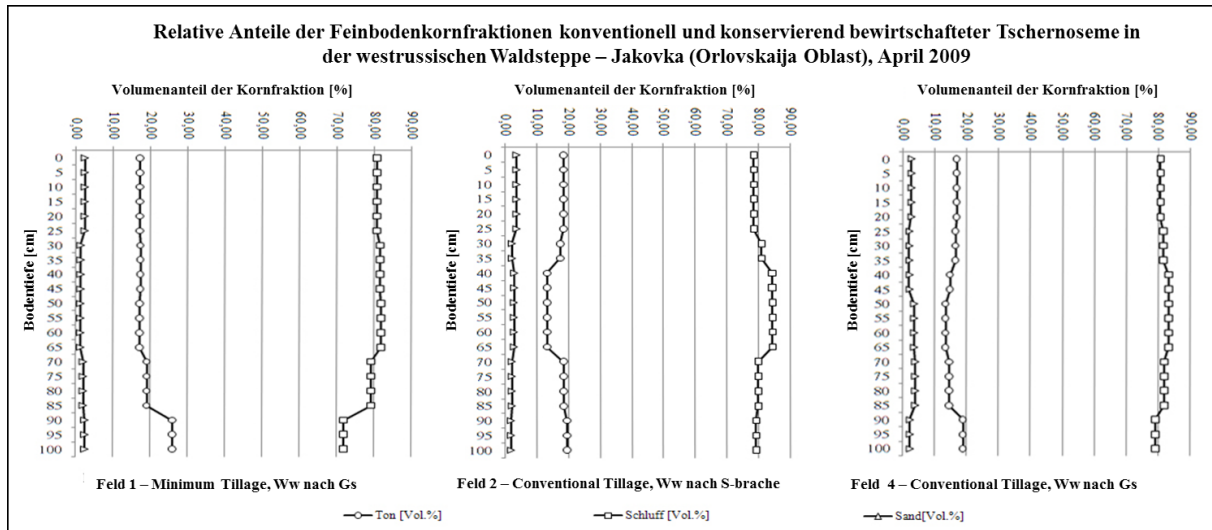


Abb. 13 In allen Böden ist besonders in der Ackerkrume eine relative Zunahme des Sandanteiles, zulasten des Schluffanteiles zu erkennen. Ein deutliches Indiz für die Auswehung des Schluffs im Zuge der Zerstörung der Bodenaggregate, wie es bei intensiver mechanischer Bearbeitung der Schwarzerdeböden der Fall ist (GRUNWALD 2009)

der Kalziumkarbonatgehalt (nach DIN 1968-5) bestimmt. Die Bestimmung des Nitratgehaltes in absoluten Mengen erfolgt photoelektrocolorimetrisch nach CINAO (COST 26488 – 85). Des Weiteren wird der Gesamtstickstoff nach GOST 26107 bestimmt. Die Angabe und die weitere Verarbeitung der Werte in mg/kg-1 schafft die direkte Vergleichbarkeit mit Daten aus historischer und aktueller Literatur.

### 3.4 Witterung

Zur Bewertung der Bodenfeuchteverhältnisse sind Wetterdaten, von Stationen, möglichst nahe den Testfeldern, erforderlich. Für Jakovka (Orlovskaja Oblast) kann auf die Daten der Klimastationen Kursk (Kurskaja Oblast), Ponirij (Kurskaja Oblast) und Kolpnuj (Orlovskaja Oblast) zurückgegriffen werden. Für Jaroslavzev Log (Altaijskij Kraij) sind Daten der Klimastationen in Rodino (Altaijskij Kraij) und Voltschicha (Altaijskij Kraij) heranzuziehen. Für den Zeitraum März bis September 2009 können darüber hinaus Zeitreihen der Klimastation direkt auf dem Betrieb in Jaroslavzev Log hinzugezogen werden.

## 4. Bodenuntersuchung - Jakovka (Orlovskaja Oblast – westrussische Waldsteppe)

Die vier untersuchten Böden dieses Standorts gehören zur Gesellschaft der Schwarzerden. Es sind gewöhnliche bis entkalkte Tschernoseme (russ. Terminologie) auf pleistozänen -

periglazialen Löss (Haplic Tschernosems bis Haplic Phaeozems). Die Horizontierung entspricht Ap/ (rAP)/ AB/ IC. Aufgrund der sechsjährigen Bewirtschaftung in Mulchsaat könnte dem Ap-Horizont der konservierend bewirtschafteten Fläche schon ein reliktscher Bearbeitungshorizont rAp nachgestellt werden (Abb. 12). Die Bodenart reicht von stark tonigem Schluff im Oberboden bis zu schluffigem Ton im Unterboden. Besonders in der Ackerkrume des Feldes 2 – (Ws nach Schwarzbrache) ist ein deutlicherer Rückgang von Schluff zugunsten des Sandes nachweisbar. In allen Böden zeigt sich der Horizontwechsel bei ca. 65cm Tiefe durch die Änderung der Bodenart. In allen Böden ist zwischen 0 und 35cm ein geringerer Schluffanteil festzustellen (Abb. 13). Zwar ist keine statistische Sicherheit gewährt. Dennoch ist dieser Befund ein eindeutiges Indiz für die Auswehung von Schluff, aufgrund der stärkeren mechanischen Bearbeitung und der häufigeren Überfahrten (vgl. CHEPIL & WOODRUFF 1963).

Die Zahl, Tiefe und Ausprägung der Krotovienen, in den Profilgruben, sind über alle Böden hinweg vergleichbar. Die obersten 35cm der untersuchten Böden weisen im Mittel einen Humusgehalt von 5,8% auf. Die maximale Abweichung der Einzelwerte von ihrem gemeinsamen Mittel beträgt hierbei nur 0,7%. Eine deutliche Abweichung der Humusgehalte der konventionell bewirtschafteten Böden von dem

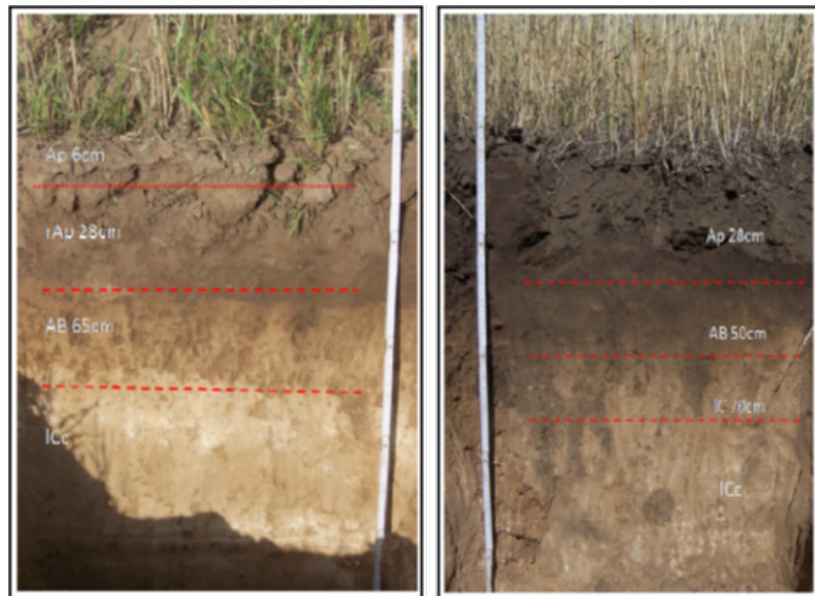


Abb. 14 Bodenleitprofile Haplic Kastanozem und Calcic Chernozem (WRB), typische Steppe/Trockensteppe Jaroslavzev Log, Südwestsibirien (GRUNWALD 2009)

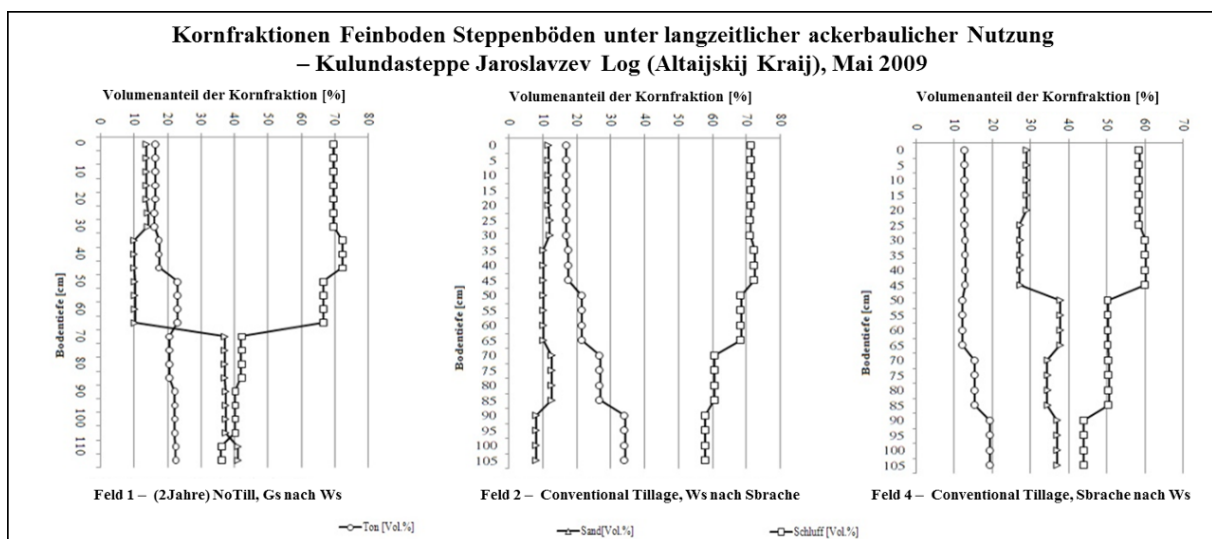


Abb. 15 Vertikale Ausprägung der Bodenarten, Jaroslavzev Log, Südwestsibirien (GRUNWALD 2009/2010)

seit sechs Jahren konservierend bewirtschafteten Referenzboden ist folglich nicht nachzuweisen.

Der Vergleich mit Angaben aus der Literatur, zu Böden gleichen Typs aus der Region West- und Südwestrusslands zeigt, dass die Humuskonzentration seit Beginn der industriellen Bewirtschaftung um ca. 50% gesunken sein muss (vgl. RODIONOV, 1999). Analog zu diesem Befund weisen VASILYEVA & MILANOVSKIY, 2009, S.1 für langjährig hochintensiv bewirtschaftete und ausgelaugte Tschernoseme Westrusslands Humusgehalte von lediglich 4,5% nach. Dem

hingegen sind im Oberboden unbewirtschafteter Tschernoseme, ca. 60km südlich des Standortes Jakovka (Orlovskaija Oblast), bis zu 10% Humus festzustellen (RODIONOV 1999, S.17).

## 5. Bodenuntersuchung - Jaroslavzev Log (Altaijskij Kraij – Typische Steppe/ Trockensteppe)

Aufgrund der heterogenen Substrate (Abb. 15), sind die Böden der untersuchten Ackerflächen in Jaroslavzev Log vielfältiger (DJOMIN 1993, S.110/111). Der Boden unter Feld 1 (zweites

Jahr Direktsaat) und die aktuelle Schwarzbrache (Feld 4) befindet sich auf einer leicht erhöhten Ebene in westlicher Richtung. Aufgrund der geringeren Wasserhaltekapazität des Ausgangssubstrates und der stärkeren Exposition, ist der Bodenwasserhaushalt auf Feld 1 und 4 grundsätzlich angespannter. Damit geht eine geringere Biomasseproduktivität einher, die sich im geringeren Humusgehalt der Kastanozeme<sup>18</sup> widerspiegelt (BURLAKOVA et al. 1988). Feld 2 und 3 liegen ungefähr sechs Kilometer südlich in einer leichten Senke.

Die bessere Bodenwasserversorgung in der leichten Niederung, und die höhere Produktivität der Böden auf Feld 2 und 3 sind Ursache für die Entstehung des südlichen Tschernosem<sup>19</sup>. Hinsichtlich der Bodenentwicklung und der damit verbundenen Humusanreicherung im Oberboden spielt das Substrat eine wichtige Rolle. Während sich die Bodenarten in den oberen Schichten nicht erheblich voneinander unterscheiden (mittel bis stark toniger Schluff), besteht der C-Horizont unter den kastanienfarbenen Böden aus schwach sandigem Lehm (Abb. 15). Der Unterboden des südlichen Tschernosems wird durch mittelschluffigen Ton bestimmt, der deutlich mehr Wasser halten kann. Damit ist die potentielle Biomasseproduktion in den Tschernosemen höher, als in den Kastanozemen, was sich im Humusgehalt der Oberböden darstellt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Aufgrund

der klimatischen Limitierung der sind die Böden in Jaroslavzev Log naturgemäß weniger humusreich (vgl. TSCHICHONATZKICH 1991). Die bestimmten Gehalte weichen in ihren Einzelwerten stärker vom gemeinsamen Mittelwert ab, als es am Standort Jakovka (Orlovskaija Oblast) der Fall ist. Die Ursache liegt in der höheren Heterogenität der Böden am Standort.

Der südliche Tschernosemboden weist dabei allerdings mit 3% (0-35 cm Bodentiefe) ungefähr den doppelten Humusgehalt gegenüber den kastanienfarbenen Böden auf (arith. Mittel 1,55% Humus 0-35 cm Bodentiefe). Analog zu den Ergebnissen aus Jakovka, in der südwestrussischen Waldsteppe, ist die Humuskonzentration durch langjährige intensive ackerbauliche Nutzung gegenüber unbewirtschafteter Böden gleichen Typs in der Region, um etwa 50% vermindert.

Durch MEYER et al. (2008, S. 599) werden für unkultivierte südliche Tschernoseme (calcic Chernozems) in der Kulundasteppe vor dem Neulandumbruch in den 1950er Jahren, Humusgehalte von 6% nachgewiesen. RODIONOV (1999, S.17) weist beispielhaft für einige unkultivierte dunkle kastanienfarbene Böden (haplic Kastanozems) 2,6% Humus nach, deutlich mehr als in der Ackerkrume vergleichbarer Bodentypen am Standort Jaroslavzev Log (Altaijskij Kraij).

Ohne den Anspruch auf statistische Robustheit erheben zu wollen, zeigt diese Untersuchung



Abb. 16 Massive Deflation des Oberbodens durch unangepasste Bewirtschaftung in der Trockensteppe Nordkasachstans, links, und in der typischen Steppe Südwestsibiriens, rechts (GRUNWALD 2010, MEINEL 2007)

<sup>18</sup> Feld 1 und 4 – haplic Kastanozem

<sup>19</sup> calcic Chernozems

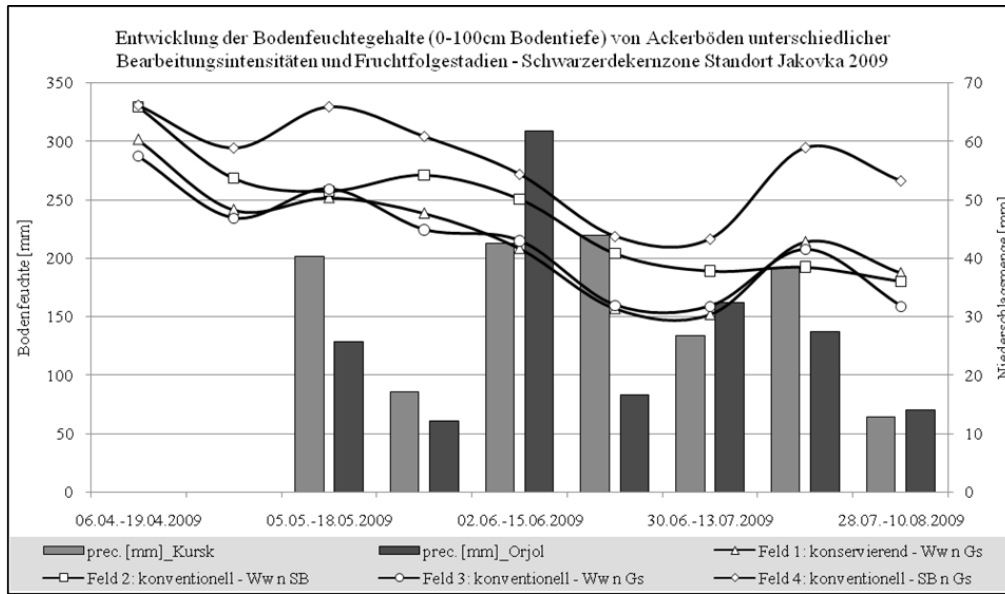


Abb. 17 Bodenfeuchtedynamik Versuchsfelder Jakovka - Waldsteppe Orlovskaija Oblast (GRUNWALD 2009)

doch die Folgen hochintensiver mechanischer Bewirtschaftung mehrerer Jahrzehnte. Besonders anfällig für Schädigungen der Ackerkrume durch Deflation sind offensichtlich die Böden der hochkontinentalen Steppen- und Trockensteppenregionen. In diesem Fallbeispiel zeigen sich deutliche Sprünge in der Korngrößenfraktionierung in der Ackerkrume, in allen untersuchten Böden (Abb. 15).

Das lässt darauf schließen, dass vor dem Hintergrund der jahrzehntelangen intensiven mechanischen Bodenbearbeitung durch Winderosion und Auslaugung eine deutliche Änderung Bodenart und ein drastischer Rückgang des natürlichen Ertragspotentials der Böden

geschehen sind. Besonders Schluff und auch Humus gelten (neben Feinsand - vgl. MEINEL 2002) als besonders deflationsbegünstigte Fraktionen (vgl. WOODRUFF & CHEPIL 1958/ CHEPIL & WOODRUFF 1963).

Die Abbildung 16 steht exemplarisch für die dramatischen Auswirkungen von ackerbaulicher Übernutzung der Steppenböden in Westsibirien und Nordkasachstans. Das linke Bild zeigt die Situation auf einem frisch bearbeiteten calcic Kastanozem (WRB) im Frühjahr 2010, 200km südlich von Astana in den nordkasachischen Anbauregionen. Das rechte Bild zeigt das gleiche Szenario, allerdings im Mai 2007 und ca. 700km entfernt, im Altaijskij Kraij. Beide

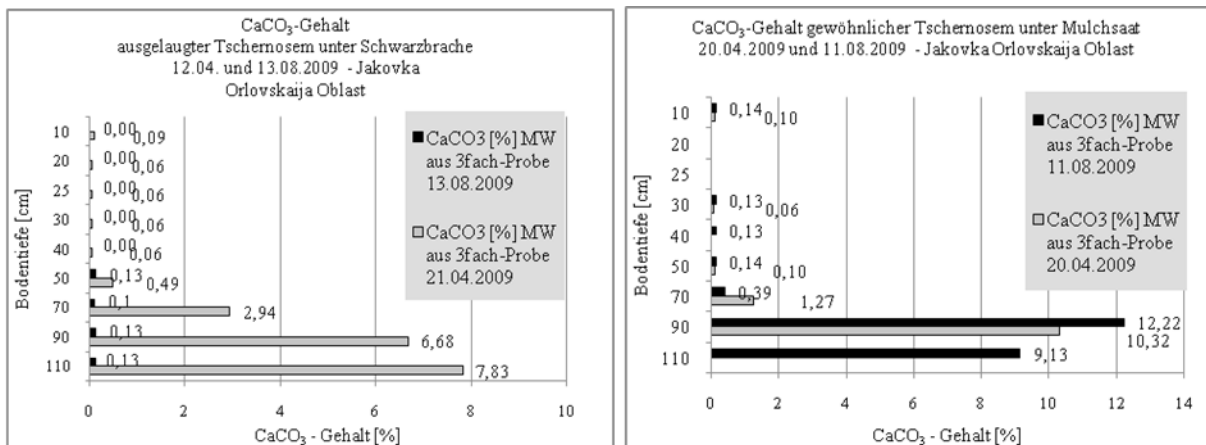


Abb. 18 CaCO<sub>3</sub>-Dynamik unter MT-Winterweizen und unter CT-Schwarzbrache, Jakovka-Waldsteppe Orlovskaija Oblast (GRUNWALD 2009/2010)

zeigen massive Verwehung und den Abtrag fruchtbaren Ackerbodens durch Trockenstürme (russ. Suchowejj). Im Frühjahr steigt das Risiko für Winderosion besonders stark an, sollten die Böden nach der letzten tiefgründigen Bearbeitung im Herbst erneut in einem eigenständigen Arbeitsgang zur Saat mechanisch mit Grubber oder Egge bearbeitet werden. Die Zerstörung der Bodenaggregate und deren Verwehung führen bei trockenem, windigem Wetter zu diesen katastrophalen Folgen.

So werden in den eurasischen Steppenregionen jährlich bis zu 40t Ackerboden pro Hektar durch Wind erodiert. Nach Schätzungen sind es jährlich bis zu 2Gt in den globalen Trockenfeldbauregionen (nach SHAO et al. 2011 in FUNK et al. 2014, S.316).

Dabei muss für die Bildung eines Zentimeters humosen Oberbodens einer Schwarzerde von einer Zeitspanne von 100Jahren ausgegangen werden (vgl. BRIDGES 1970, S. 62). Doch mit Hilfe konservierender Bewirtschaftungsverfahren kann aktiv Kohlenstoff im Boden gespeichert werden und Humus aufgebaut werden. Dieser ist die Grundlage für eine gute Wasserversorgung und für einen runden Lauf im System Atmosphäre – Boden – Pflanze (McCONKEY et al. 2003, S.86 und S. 88)

## 6. Bodenfeuchteretention durch Schwarzbrache? - Jakovka – Waldsteppe der südlichen Orlovskaija Oblast

Nach einem überdurchschnittlich trockenen Winterhalbjahr 2008/2009 in Jakovka (Orlovskaija Oblast), bleibt auch der April 2009 komplett ohne Niederschlag (vgl. server pogoda rossij – archiv

pogoduij, www.meteo.infospace.ru, Abruf am 22.10.2009). Unter Schwarzbrache (Feld 4) und unter Winterweizen im konventionellen Anbau (Feld 2), wird im April 2009 die meiste Feuchte gemessen (siehe Abbildung 17, S.21). Unter der konservierend bewirtschafteten Fläche (Feld 1) sind ca. 30mm weniger Bodenfeuchte (ca. -10%) festzustellen. Die Situation unter konventioneller Bewirtschaftung im zweiten Jahr nach Schwarzbrache (Feld 3) ist zum ersten Messtermin mit der, im Boden unter konservierender Bearbeitung und Winterweizenbestand vergleichbar (Abb. 17).

Im Laufe der Vegetationsperiode entwickelt sich der Bodenfeuchtehaushalt unter konservierender, Bewirtschaftung und Winterweizenbestand sehr ähnlich zu dem, im zweiten Folgejahr der Schwarzbrache (ebenfalls unter Winterweizen).

Der Boden unter konventioneller Bewirtschaftung, im ersten Jahr nach Schwarzbrache (Feld 2), zeigt über die Vegetationsperiode hinweg einen deutlichen Feuchtevorteil gegenüber den anderen untersuchten Flächen unter Winterweizen (Abb. 17).

Die Ursache sind offenbar größere Reserven unterhalb 1m Bodentiefe. Die Untersuchung der Calciumcarbonatgehalte, entlang der Bodenprofile, zeigt über die Vegetationsperiode hinweg, gegensätzliche Bodenwasserbewegungen unter Winterweizenbestand und unter der aktuellen Schwarzbrache. Von April bis August 2009 wird, aufgrund der ausbleibenden Interzeptions- und Transpirationsverdunstung, ein größerer Anteil des Niederschlages in den Boden der Schwarzbrache infiltriert.  $\text{CaCO}_3$  wird

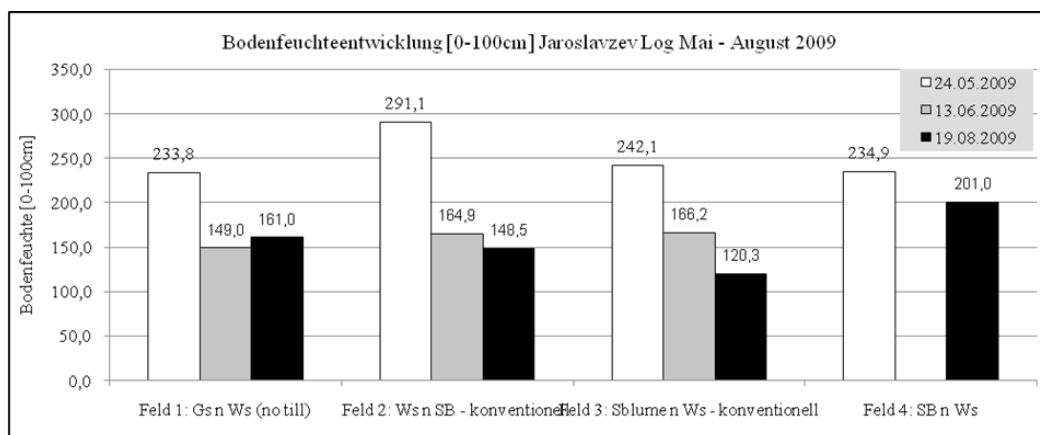


Abb. 19 Bodenfeuchtedynamik untersuchte Flächen Jaroslavzev Log typische/Trockensteppe Altajskij Kraij (GRUNWALD 2009)





Abb. 20 In der RF am weiten verbreitetste Sämaschine - mechanische Flügelschardrille CZC 2.1 (GRUNWALD 2013)

dabei nahezu vollständig in Tiefen unterhalb des ersten Meters Boden ausgewaschen. Unter konservierender Bewirtschaftung ist dies nicht der Fall (Abb.18). Demnach greift der Weizenbestand im ersten Jahr nach der Schwarzbrachehaltung auf größere Bodenfeuchtespeicher zurück. Zwar geht die Durchwurzelungsdichte bei Getreide unterhalb von 1m Bodentiefe um 80% zurück. Dennoch kann durch kapillaren Aufstieg Bodenwasser aus größeren Tiefen in die oberen Bodenschichten befördert werden und wird somit pflanzenverfügbar (XUE et al. 2003, S.156). Darüber hinaus nutzt der Weizen die tieferen Speicher nach dem Austreiben der Wurzeln unterhalb eines Meters (ALLEN, 1998). Auf Feld 2 (Winterweizen nach Schwarzbrache)

beginnt die Ernte erst nach den letzten Messungen Mitte August. Im Zuge der längeren Transpirationszeit des Bestandes, sowie durch die länger andauernde hohe Interzeption gleicht sich die Bodenfeuchtesituation der auf den anderen Schlägen nach Winterweizen bis zum letzten Messtermin am 10. August 2009 an (Abb. 17).

Allein die Schwarzbrache kann zum Schluss der Untersuchung ein deutliches Plus im Bodenfeuchtehaushalt vorweisen (Abb. 17). Aufgrund der mehrfachen mechanischen Bearbeitung und dem Wegfall des pflanzlichen Wasserentzuges sowie der Interzeption, werden abzüglich der auftretenden Evaporation, ein Großteil der anfallenden Niederschläge dem Bodenwasserspeicher zugeführt.



Abb. 21 Bewirtschaftungsstadien der Schwarzbrache in Jaroslavzev Log, Anfang Juni und Mitte August (GRUNWALD 2009)

## 7. Bodenfeuchteretention durch Schwarzbrache? Jaroslavzev Log – Übergang typische Steppe zu Trockensteppe Altaijskij Kraij

Unter Direktsaat (Feld 1) und auf dem für 2009 für Schwarzbrache vorgesehenen Feld 4, sind Anfang Mai praktisch gleiche Bodenfeuchteverhältnisse anzutreffen (Abb. 10, S.). Die Schwarzbrachefläche ist zu dem Zeitpunkt noch unbearbeitet. Ackerwildpflanzen und Ausfallweizen des Vorjahres bilden eine dichte Decke. Damit ist das Potential zur Schneeretention im Winter 2008/2009, die Beschattung, die Windgeschwindigkeit und somit die Evapotranspirationsrate auf dem Feld unter Direktsaat und auf unbearbeiteter Schwarzbrache vergleichbar. Letztere geht erst ab Ende Mai 2009 unter regelmäßige Bearbeitung. Gegenüber der Fläche im ersten Jahr nach Schwarzbrache (Feld 2) ist die Bodenfeuchte unter Direktsaat (Feld 1) Anfang Mai 2009 knapp 20% geringer (Abb. 19). Dafür sind mehrere Gründe in Betracht zu ziehen. Es kommt unter Schwarzbrache, aufgrund der ausbleibenden Transpiration und Interzeption zur besseren Auffüllung des Bodenwasserspeichers. Die leichte Senkenlage des Feldes 2 (Sommerweizen nach Schwarzbrache) begünstigt die Ansammlung von Schmelzwasser nach dem Winter. Weiter werden der höhere Humusanteil und das schluffreichere Ausgangssubstrat unter Feld 2, und damit die

höhere Wasserhaltekapazität, positiv auf den Bodenwasserhaushalt einwirken (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Auch konvektive, räumlich stark begrenzte Niederschlagszellen können als Ursache in Betracht gezogen werden (REVJAKIN et al. 1989). Die Entfernungen von mehreren Kilometern zwischen den Feldern 1 und 4 sowie 2 und 3 sprechen dafür. Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode zeigt Feld 2 unter Weizenbestand, einen starken Rückgang der Bodenwassersumme. Mitte August 2009 hat sie sich der Direktsaatfläche angeglichen (Abb. 19). Die Gründe liegen vordergründig beim Ackerbauverfahren.

Nach Schwarzbrache ist Feld 2 vegetationsfrei, was eine schnelle Erwärmung und somit bessere Bedingungen für einen schnellen Feldaufgang mit sich bringt. Die Aussaat mit der mechanischen Flügelschardrille (Abb. 20) kann jedoch nicht die Ablagequalität gewährleisten, wie sie moderne Sämaschinen mit einzelner Tiefenführung erreichen (vergl. MEINEL et al. 2014 in MÜLLER et al. 2014, S. 460). Daher wird mit diesen Drillen unter traditionell sehr hohen Saatstärken von mehr als 180kg/ha Sommerweizen, auch unter weniger als 300mm/a gearbeitet. Zum einen um die Reduzierung des Aufganges bei zu tiefer und zu flacher Ablage zu kompensieren und zum anderen, um die häufig sehr geringe Keimfähigkeit des mehrfach reproduzierten Saatgutes auszugleichen. Aufgrund der guten



Abb. 22 Mechanische Saat von Sommergetreide auf offenem Land - massive Auswehung wertvollen Humus bei windigem Wetter, Jakovka, Orlovskaja Oblast (GRUNWALD 2009)



Abb. 23 Wassererosion durch Schmelz- und Niederschlagswasser im hängigem Gelände - Problem: Drillen mit dem Hang (links) und offene Flächen über den Winter (rechts) - Orlovskaija Oblast (GRUNWALD 2013)

Keimungsbedingungen nach Schwarzbrache sind die Bestände, trotz der Probleme bei der Saat, häufig zu dicht. Dies führt im Verlauf der Vegetationsperiode zu erhöhter Konkurrenz der Pflanzen um Standraum und Wasser (EHLERS 1996, S. 111).

Das Feld 3 ist im Jahr 2009, in einer späteren Entscheidung für den Anbau von Sonnenblumen vorgesehen.

Aufgrund der zu großen Unterschiede in den pflanzenphysiologischen Charakteristika zwischen Getreide und Sonnenblume muss Feld 3 von der Betrachtung entbunden werden.

Im weiteren Verlauf der Vegetationszeit 2009 werden auf der Schwarzbrache in Jaroslavzev Log ca. 40mm mehr Niederschlagswasser als unter Direktsaat-Sommerweizen (Feld 1) gespeichert (siehe Abbildung 19, S.23). Im Vergleich ist der Gewinn durch Schwarzbrachehaltung deutlich geringer als am beobachteten Beispiel in Jakovka in Westrussland (vgl. Daten aus Abb. 17 und Abb. 19).

Ein Hauptgrund ist hier im höheren Verbrauch durch die Ackerwildpflanzen im Zuge der schlechten „Pfleger“ der Schwarzbrache zu sehen. Wie in der Abbildung 21 zu erkennen ist, wird die Fläche zur Schwarzbrache bis zum Ende der Untersuchung im August 2009 nur sporadisch bearbeitet, sodass der Druck durch Ausfallgetreide der Vorjahre und durch Ackerwildpflanzen sehr hoch ist. Der Retentionseffekt sollte nach Ansicht des Autors noch höher ausfallen, würde die Schwarzbrachehaltung, an dieser Stelle einmal ungeachtet der Schädigung durch Bodenerosion, eher begonnen und häufiger durchgeführt. Die erhöhte Interzeption und

Transpiration sowie das gegenüber kultivierter Getreidesorten bessere Wassernutzungspotential der dicht auflaufenden Ackerwildpflanzen, führt in dieser niederschlagsarmen Region zu dem geringeren Bodenfeuchtevorteil gegenüber den unter Anbaukultur geführten Schlägen (KNOBLAUCH 2009, S. 135).

#### **Zusammenfassung – Möglichkeiten der Verbesserung**

An beiden Standorten kann durch Schwarzbrache ein Plus im Bodenwasserhaushalt erreicht werden (vgl. Abb. 17 und Abb. 19). Am Beispiel des westrussischen Jakovka ist der Effekt allerdings doppelt so hoch, wie im Boden der in Jaroslavzev Log (Südsibirien) untersuchten Schwarzbrache. Die geringere Niederschlagssumme während Mai – August 2009 und die höheren Evapotranspirationsraten durch das trockenere Klima und die schlechtere „Pfleger“ der Schwarzbrache setzen den Wasserverbrauch in Jaroslavzev Log deutlich herauf (vgl. Abb. 19 und Daten der Klimastationen <http://meteo.infospace.ru>). Unter höheren ganzjährigen Niederschlagsmengen (vgl. Daten der Klimastationen <http://meteo.infospace.ru>) kann im westrussischen Jakovka der Winterweizen als Folgekultur der Schwarzbrache von einem höheren Bodenwasserangebot profitieren. Die Untersuchung der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte im Zeitschnitt kann die Vermutung untermauern, dass Niederschlagswasser unter Schwarzbrache in Jakovka in größere Tiefen infiltriert (vgl. Abb. 18). Es wird aber auch deutlich, dass aufgrund des stark ausgetrockneten Oberbodens unter Schwarzbrache die Saat der Winterungen mit einem hohen Risiko behaftet ist. Entweder der



Abb. 24 Kompromiss aus mechanischer Unkrautbekämpfung und Bodenschutz - Methode nach MALZEV im südlichen Altaijskij Kraij (GRUNWALD 2013)

Landwirt vertraut auf den nächsten Niederschlag und die ausreichend lange Vegetationszeit bis zum Frost, oder er legt die Saat sehr tief ab. Beides bringt einen massiven Entwicklungsrückstand mit sich, der im Zuge der kürzeren kontinentalen Vegetationsperiode, schwer aufzuholen ist (PEEL et al. 1997).

An beiden Standorten ist der Vorteil im Bodenfeuchtehaushalt schon zum Ende der ersten Anbausaison nach Schwarzbrache verloren (vgl. Abb. 17 und Abb. 19). Die bessere Bestandesentwicklung und die höhere Evaporationsrate an der Oberfläche des bearbeiteten, im Frühjahr noch nicht geschlossenen Bodens vermindern die Wasserreserven im Boden unter konventioneller, intensiver Bewirtschaftung sehr stark. Abbildung 22 zeigt die Saat von Sommergetreide auf offenem Land bei starkem Wind im April 2009 in der Orlovskaja Oblast. Sichtbar ist vor allem der Verlust des Humus

durch Auswehung. Damit geht die Verdunstung des Bodenwassers einher. Dem gegenüber kann durch einen hohen Bedeckungsgrad des Bodens, v.a. durch stehende Stoppelreihen, ein günstigeres Mikroklima geschaffen werden, was im Frühjahr zwar zu einem „Spätstart“ der jungen Kulturen führt, diesen aufgrund der länger vorhaltenden Wasserreserven aber eine längere Assimilation ermöglicht (CUTFORTH et al. 2002, S.684).

In den westrussischen Ackerbauregionen ist die reine Direktsaat aufgrund des hohen Strohaufkommens und der größeren Niederschlagsmengen bis heute umstritten. Ernsthafte Probleme ergeben sich auch durch Krankheiten in stark getreidelastigen Fruchtfolgen (vgl. DAVIS et al. 2009, vgl. LAFOND & CLAYTON, o.D.). Die nicht wendende Bewirtschaftung und die gute Einmischung der organischen Masse in die Ackerkrume stellen, fern der Direktsaat, wichtige und einfachere Schritte zur



Abb. 25 Junger Sommerraps zwischen den stehenden Stoppeln des letzten Sommerweizens - Direktsaat im Zellinskij Rajon, Altaijskij Kraij (GRUNWALD 2009)

Erosionsprävention und zur Feuchteretention dar. Durch mehrjährige Feldversuche (2010 – 2013) kann für einen Betrieb in der Vladimirskaya Oblast in Zentralrussland belegt werden, dass unter minimaler Bodenbearbeitung (8 – 10 cm) mit einer guten Stroheinmischung, das größte Porenvolumen und damit die beste Belüftung sowie die beste Wasserhaltekapazität erreicht wird (KONSULTANT AGRO 2013).

Die Gefahr durch Wassererosion ist vor allem in den westrussischen Lösshügellandschaften im Zusammenhang mit intensiver mechanischer Bodenbearbeitung sehr groß. Nach intensiver Herbstbearbeitung wird die Winterung nicht selten hangparallel gedrillt oder der Boden bis zur Saat der Sommerung offen gelassen. Im Zuge der Schneeschmelze und weiterer Niederschläge, kommt es häufig zu großflächigen Massenbewegungen. Dabei wird wertvoller Ackerboden zerstört und die Saat stark beschädigt. Weitere Folgen entstehen abseits der Ackerfläche (Offsite). Abbildung 23 zeigt dieses Phänomen aus der Orlovskaija Oblast im Frühjahr 2013.

Eine dichtere Auflage bzw. ein höherer Anteil organischer Masse im Oberboden wirkt Wassererosion und Verschlammung effektiv entgegen. Die geringere Verdunstung und ein höherer Humusgehalt durch Minimalbodenbearbeitungsmaßnahmen verbessern der Bodenwasserhaushalt (FENSTER 1980, S.3). In den Trockenfeldbauregionen Sibiriens und Nordkasachstans ist der Verlust der Bodenfeuchte durch Verdunstung ebenfalls das vorrangige Problem. Allerdings kann durch minimalinvasive, extensivste Bewirtschaftungsverfahren ein effektiver, ressourcenschonender Ackerbau, auch in klimatischen Grenzlagen, ermöglicht werden. Ergebnisse aus Feldversuchen in Nordkasachstan

(Shortandy) 2009 bis 2011, stellen dar, dass besonders unter trockener Witterung deutliche Vorteile durch minimalinvasiven Bestellverfahren, wie Direktsaat mit schmalen Meißelscharen, zu erreichen sind. Die geringere Bodenbewegung sowie der hohe Anteil organischer Masse auf der Bodenoberfläche senken die Evaporation und schaffen einen ausgeglichenen Bodenfeuchtehaushalt. Die längere Assimilationszeit des Bestandes ermöglicht somit ein höheres Ertragspotential (SULEIMENOV, et al. 2014 in MÜLLER et al. 2014, S.445 – 447). Abbildung 25 zeigt die Direktsaat von Sommerraps in vorjährige Sommerweizenstoppeln. Die geringere Windgeschwindigkeit zwischen den Stoppeln senkt die Evapotranspiration.

Für trockene, hochkontinentale Steppestandorte bescheinigen SCHIMEL & PARTON, 1985 der nächtlichen Tauretention in den Stoppelreihen von Direktsaatflächen einen entscheidenden Beitrag zur oberflächlichen Wasserversorgung der Anbaukulturen.

Besonders im Jugendstadium, in dem die Pflanzen über geringe Wurzellängen verfügen, ist diese zusätzliche oberflächennahe Bodenfeuchte wertvoll. Für den Zeitraum zwischen Ernte und Frost ist die Bodenbedeckung ebenfalls bedeutend. Während der Spätsommer- und Herbstwochen kann es in den hochkontinentalen Anbauregionen Sibiriens noch recht warm sein. Der vollständige Umbruch der Flächen führt dann zu massiven Verlusten restlichen Bodenwassers. DOBROVLOSKI & GRISCHINA (1985) erreichen in Versuchen eine bis zu 65% höhere Wasserspeicherung unter Herbststoppel gegenüber einer aufgebrochenen Fläche. Im konventionellen Verfahren wird bis heute der Kompromiss aus mechanischer

Nitrat [mg/kg]								
Tiefe[cm]	Feld 1: konservierende Bearbeitung Ww nach Gs		Feld 2: konventionelle Bearbeitung Ww nach SB		Feld 3: konventionelle Bearbeitung Ww nach Gs		Feld 4: konventionelle Bearbeitung SB nach Gs	
	19.04.2009	11.08.2009	20.04.2009	13.08.2009	20.04.2009	12.08.2009	20.04.2009	13.08.2009
35	0,24	1,63	0,22	0,5	0,27	0,94	0,56	0,59
25	0,3	0,32	0,22	0,22	0,25	0,31	0,55	1,05
10	0,27	0,19	0,2	0,14	0,35	0,18	0,28	2,91
arith. Mittel	0,27	0,71	0,21	0,29	0,29	0,48	0,46	1,52

Abb. 26 Stickstoffdynamik in den untersuchten Böden in Jakovka, Waldsteppe Orlovskaija Oblast (GRUNWALD 2009/2010)

Unkrautbekämpfung und Bodenwasserschutz angewendet – das flache, ganzflächige Schneiden des Bodens auf einer Tiefe von ca. 22 – 25cm. Abbildung zeigt dies an einem Beispiel aus dem südlichen Altaijskij Kraij nahe Aleijsk vom September 2013. Allerdings sind der Treibstoffverbrauch und die aufzubringende Zeit, aufgrund der großen Arbeitstiefe und der hohen Leistungsanforderung pro Meter Arbeitsbreite, sehr hoch.

Die effektive Schneeretention stellt einen wichtigen Beitrag zum jährlichen Bodenwasserhaushalt und kann bis zu 1/3 dessen ausmachen (FENSTER 1980). FILECCIA (2009, S. 4) zeigte in einer Untersuchung wie der Ertrag von Sommerweizen mit der Höhe der Vorfruchtstoppeln und damit direkt mit der Menge festgehaltenen Schnees korreliert. Im Rahmen der mehrjährigen Versuche, in Nordkasachstan, kann der doppelte Ertrag (1,93 t/ha) bei 45-50cm Stoppelhöhe gegenüber einer im Herbstbearbeiteten, gänzlich stoppelfreien Fläche (0,8 t/ha) erwirtschaftet werden.

Den Vorteil der Bedeckung der Ackerfläche gegenüber einer winterlichen Schwarzbrache bringt schon STAPLE 1959 in seinem Bericht an die UN für einen schonenden Umgang mit den Ackerböden zum Ausdruck. Neuere Erkenntnisse liefern CUTHFORT et al. (1997) aus den südkanadischen Trockenfeldbauregionen. Hinsichtlich der Bodenfeuchteretention ist die Schwarzbrache in dieser Untersuchung eine sehr kurzfristige Maßnahme, die vor allem zu Lasten der Wirtschaftsgrundlage Boden geht. Es konnte kein nachhaltiger Bodenwasservorrat aufgebaut werden. Die Gefahren durch Erosion die Wirtschaftsgrundlage, den Boden, zu schädigen sind allgegenwärtig.

## 8. Stickstoffhaushalt und Stickstoffdynamik unter Schwarzbrache

### 8.1 Situation im Frühjahr 2009

Der pflanzenverfügbare Stickstoff unterliegt von allen Makronährstoffen der größten Dynamik und übt neben dem Wasserhaushalt den größten Einfluss auf den Ertrag aus (LEIDIG 1997, S.3). Am Standort Jakovka (Orlovskajja Oblast)

wird mit der Schwarzbrachehaltung auf der untersuchten Fläche bereits im Herbst 2008 begonnen. Zur ersten Probenahme, im April 2009, ist dort gegenüber den Winterweizenflächen die doppelte Nitratkonzentration nachzuweisen (Abb. 26). Unter der vorjährigen Schwarzbrache (jetzt Winterweizen konventionell) ist kein höherer Nitratgehalt festzustellen, als im Oberboden der konservierend bewirtschafteten Fläche unter Winterweizen (Abb. 26).

Im Oberboden der geplanten Schwarzbrache im sibirischen Jaroslavzev Log (Altaijskij Kraij) findet sich im Mai 2009 gegenüber den anderen untersuchten Flächen kein höherer Nitratgehalt (Abb. 27). Da die Fläche zur ersten Probenahme noch nicht bearbeitet ist, kann hinsichtlich des Umsatzes organischer Substanz von einer, mit der Direktsaatfläche (Feld 1) vergleichbaren Situation ausgegangen werden. Im Vergleich zu den anderen untersuchten Feldern, ist im Oberboden der Vorjahresschwarzbrache (Feld 2) ungefähr zweifach mehr Nitrat festzustellen (Abb. 27). Da Feld 2 über alle untersuchten Flächen hinweg den höchsten Humusgehalt aufweist, kann eine höhere bodenbürtige N-Versorgung angenommen werden (vgl. Abschnitt 5).

### 8.2 Verlauf bis August 2009

Am Standort Jakovka steigt die Nitratkonzentration bis zum August 2009 in den konventionell bewirtschafteten Böden im ersten und im zweiten Jahr nach Schwarzbrache nur unwesentlich. Der Nitratgehalt im Oberboden der konservierend bewirtschafteten Fläche nimmt aber bis August 2009 deutlich zu (Abb. 26).

Der Anstieg kann in erster Linie auf die mineralische Düngung zurückgeführt werden (mündl. Mitteilung M. LIEDTKE 2009)<sup>23</sup>. Die zusätzliche Nährstoffversorgung bildet in allen modernen Ackerbauverfahren eine entscheidende Grundlage zur langfristigen Ertragssteigerung und dessen Stabilisierung. Durch die bessere Nährstoffversorgung der Pflanzen steigt auch die Wassernutzungseffizienz und somit sinkt das Risiko von Trockenstress. Weiter ist die Düngung bei der Umstellung auf konservierende

-----  
<sup>23</sup> NPK-Düngung in drei Gaben – auf insgesamt 180kg/ha Rein-N

Nitrat [mg/kg]								
Tiefe[cm]	Feld 1: konservierende Bearbeitung NT - Gs nach Ws		Feld 2: konventionelle Bearbeitung Ws nach SB		Feld 3: konventionelle Bearbeitung Sblume nach Ws		Feld 4: konventionelle Bearbeitung SB nach Ws	
	10.05.2009	21.08.2009	10.05.2009	21.08.2009	10.05.2009	21.08.2009	10.05.2009	21.08.2009
35	3,9	2,1	8,5	2,4	9,7	2,2	5	3,9
25	4,7	2,3	6,4	3,5	6,6	2,2	5,4	3,9
10	3,7	2,8	11,9	2,6	9,7	2,3	2,4	3,5
arith. Mittel	4,1	2,4	8,9	2,8	8,6	2,2	4,3	3,8

Abb. 27 Stickstoffdynamik der untersuchten Böden, Jaroslavzev Log - Typische/Trockensteppe Altaijskij Kraij (GRUNWALD 2009/2010)

Anbauverfahren unablässig (vgl. gleicher Abschnitt, weiter unten).

Stickstoff wird durch die Mikroorganismen und deren Eigenbedarf verbraucht, und ist nicht mehr pflanzenverfügbar. Er wird fixiert und im Humus eingelagert (XAOBIN 2006, S. 17). Um 1% organischen Kohlenstoff im Oberboden zu akkumulieren, bedarf es 1080kg/ha Stickstoff (DINKINS et al. 2008, S.2). So weitet sich das C/N-Verhältnis in den ersten Jahren nach der Extensivierung deutlich auf. Ohne das Zudüngen nach der Ernte (Strohdüngung in Mulchsaat) leidet die Folgekultur deutlich an Stickstoffmangel (SCHILLING 2000, S. 260). Später stabilisiert

sich die Beziehung zwischen Sequestrierung und Mineralisierung (DINKINS et al. 2008, S. 8).

Bis August 2009 wird auf der Schwarzbrache im westrussischen Jakovka deutlich mehr Nitrat angereichert, als unter den bestellten Flächen (Abb. 27). Aufgrund der Zerkleinerung organischer Partikel und der Bodenaggregate wird die Bodenoberfläche stark vergrößert.

Der Oberboden wird durch intensive mechanische Lockerung besser belüftet. Dadurch steigt der mikrobielle Umsatz des Bodenstickstoffs in die mobile Phase<sup>24</sup>. Jedoch verringert sich aufgrund dessen der Humusgehalt im Boden (DINKINS et al. 2008, S.2). Besonders in den oberen 10cm des Bodens steigt die Konzentration bis August 2009 um das Fünffache gegenüber des

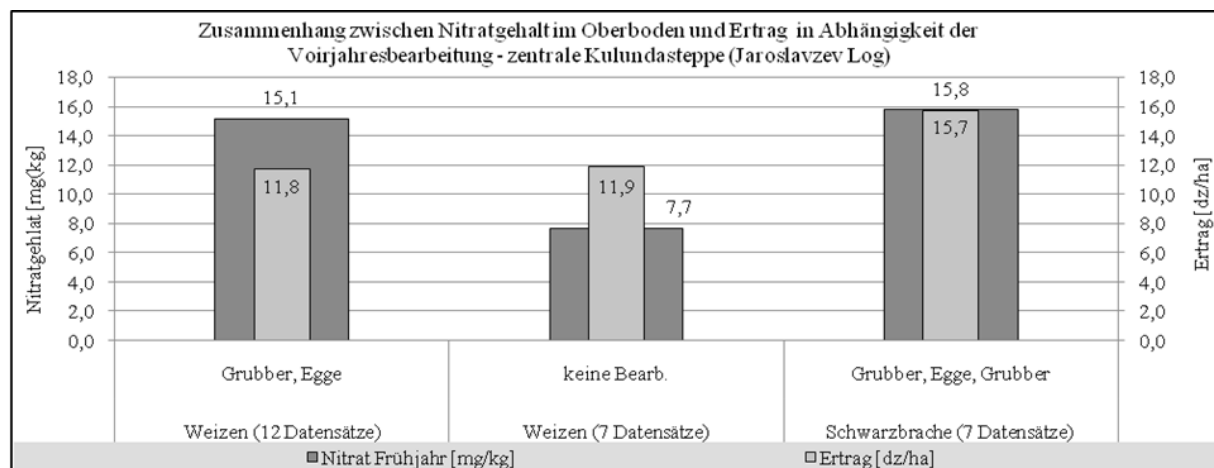


Abb. 28 Nitratgehalt und Ertrag von Sommerweizen in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsform - mehrjährige Versuche in Jaroslavzev Log (BELYAEV 2005 - 2008)

<sup>24</sup> dissoziativ in der Bodenlösung als NO<sub>3</sub>- (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010)

<sup>25</sup> Verw. auf: GRUNWALD 2010: Geoökologische und agronomische Effekte der Schwarzbrache in Steppenregionen Russlands. Diplomarbeit am Geowissenschaftlichen Institut MLU, unveröffentlicht, Halle/Saale

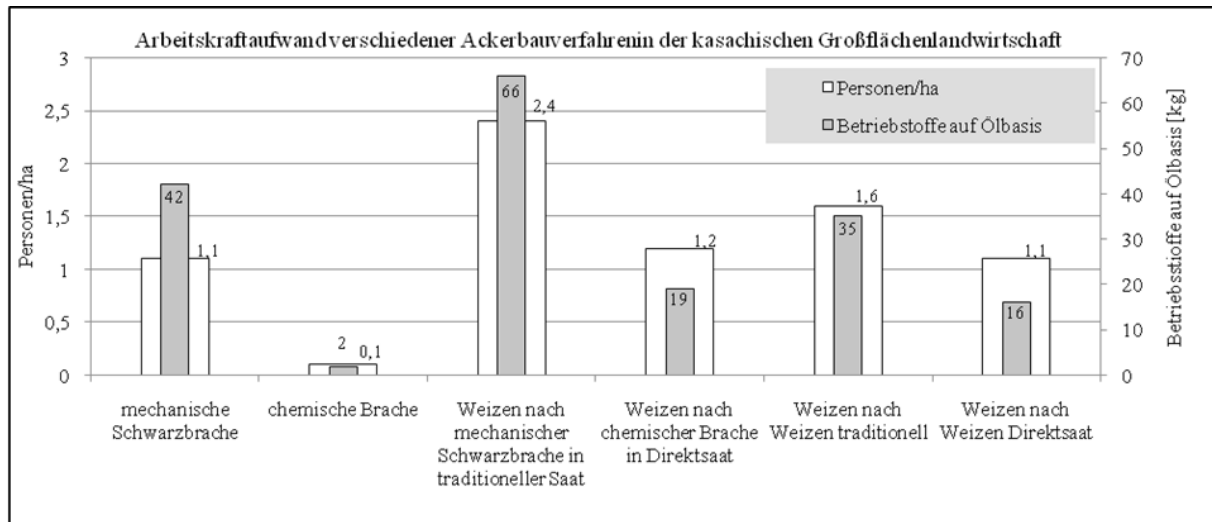


Abb. 29 Gegenüberstellung finanzieller Aufwendung in Abhängigkeit des Bewirtschaftungsverfahrens (nach HICKMANN 2006, S. 27)

Wertes von April 2009 (Abb. 26). Durch die Bearbeitung mit Grubber und Egge, sowie den raschen Wechsel zwischen Durchfeuchtung und Trockenfallen, auf der bedeckungslosen Fläche, geht eine besserer Durchlüftung und der beschleunigte mikrobielle Umsatz der organischen Bodensubstanz einher (XIAOBIN 2006, S.17). Das C/N-Verhältnis der konservierend bewirtschafteten Fläche änderte sich von April zu August 2009 von 14/1 auf 16/1. Die konventionell bewirtschafteten Flächen leiden im August 2009 an der größten N-Armut. Hier weitet sich das Verhältnis von 13/1 nach 19/1 auf. Unter Schwarzbrache lag die Änderung bei 13/1 zu 15/1<sup>25</sup>. Das engere C/N-Verhältnis unter konservierender Bewirtschaftung geht in diesem Fall auf die mineralische Düngung zurück. Unter der Schwarzbrache wird in dieser Untersuchung der wenigste Stickstoff verbraucht. Doch auch hier weitet sich das C/N-Verhältnis auf, was auf den Verlust pflanzenverfügbaren Stickstoffs aus dem Oberboden hinweist. In allen Böden der untersuchten Felder in Jaroslavzev Log verringert sich der Nitratgehalt im Zeitraum von Mai bis August 2009 (Abb. 27). Im Gegensatz zu den feuchteren Klimaverhältnissen in der Waldsteppe Westrusslands tritt unter trockeneren Bedingungen in der zentralen Kulundasteppe die Nitrifikation, als mikrobieller Umsatzprozess, hinter die Ammonifikation zurück. Diesen Umstand stellen

SCHIMMEL & PARTON (1986, S.1) als Charakteristikum für alle Kurzgrassteppenregionen der Erde heraus. Das geringere Niederschlagsangebot und höhere Temperaturen während der südsibirischen Sommermonate hemmen den mikrobiellen Umsatz. Doch auch im hochkontinentalen Sommer in Jaroslavzev Log werden im Oberboden der aktuellen Schwarzbrache bis zur zweiten Probenahme, Mitte August 2009, die höchsten Nitratgehalte und die zweithöchsten Ammoniumkonzentration nachweisbar.

Für die Region der Kulundasteppe im Altai Krai hat BELYAEV (2005 - 2008) dargestellt, dass unter konventioneller, intensiver Bodenbewirtschaftung ein höherer Nitratgehalt im Oberboden vorherrscht. Allerdings ist dieser nicht direkt mit dem Ertrag korrelierend, wie in Abbildung 28 deutlich wird. Der Ertrag unter Direktsaat ist im Schnitt der Untersuchungen gleich dem Ertrag im zweiten Weizenjahr nach Schwarzbrache. Am höchsten ist er direkt im ersten Jahr nach Schwarzbrache.

Allerdings ist der Nitratgehalt im Boden direkt nach Schwarzbrache und im Boden im zweiten Jahr nach Schwarzbrache vergleichbar hoch. In Shortandy<sup>26</sup>/Nordkasachstan<sup>27</sup> 2009 und 2010 durchgeführte Feldversuche zu drei verschiedenen Bewirtschaftungsregimen zeigen hinsichtlich

<sup>26</sup> 322 mm/a Gesamtniederschlag, Haplic Chernozems bis Calcic Chernozems (WRB)

<sup>27</sup> BARAEV – Institut für Ackerbau in Trockenfeldbauregionen Zentralasiens

<sup>28</sup> Das Analyseverfahren aus der Quelle von SULEIMENOV, 2014 ist leider nicht bekannt.



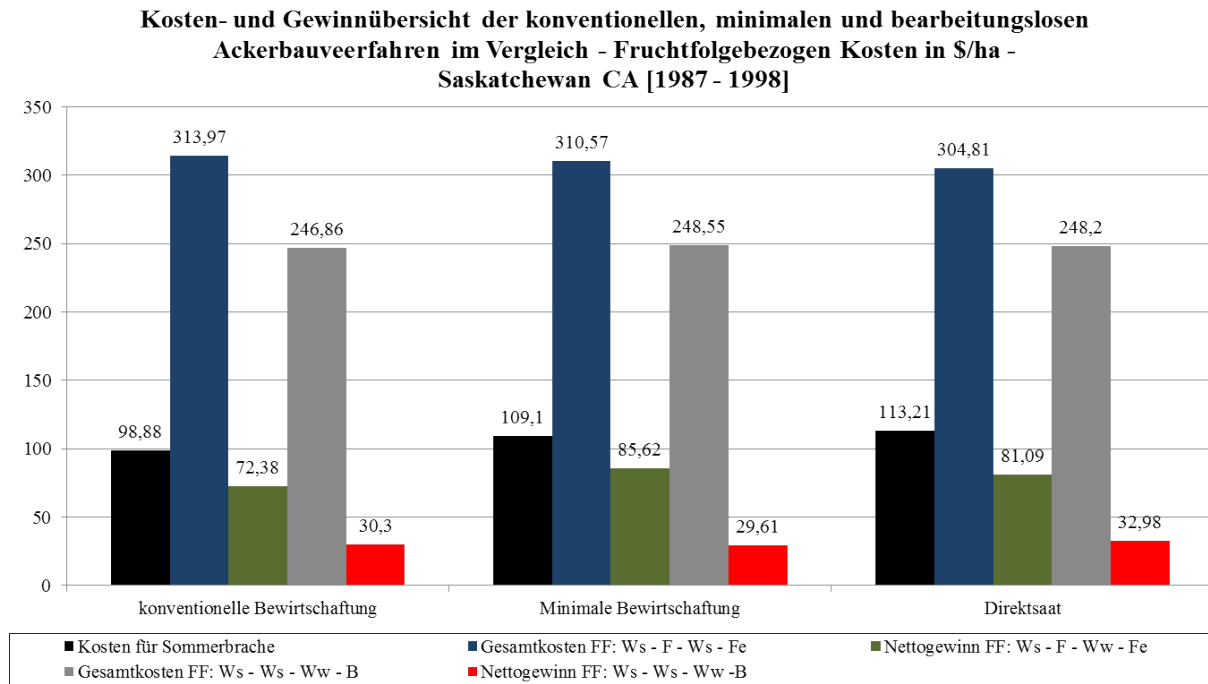


Abb. 30 Kosten und Gewinn verschiedener Fruchtfolgemodelle in Abhängigkeit des Bewirtschaftungsregimes (ZENTNER et al. 2000)

des Stickstoffhaushaltes ein ähnliches Ergebnis. Im Oberboden einer Schwarzbrache werden im Mittel 113mg/kg Nitrat festgestellt. Gegenüber 84 mg/kg unter Direktsaat sind durch die intensive 4-5 malige mechanische Bearbeitung ca.  $\frac{1}{4}$  mehr Nitrat angereichert worden (SULEIMENOV et al. 2014, S. 446). Zwar nicht die absoluten Werte, aber die Dimensionen können mit denen aus dieser Arbeit verglichen werden<sup>28</sup>.

Am westrussischen, als auch am südsibirischen Standort kann, während der Untersuchung, durch Schwarzbrache das Angebot pflanzenverfügbaren Stickstoffs gesteigert werden. Die Nitrifikationsrate ist unter dem trockeneren Klima der südwestsibirischen Kulundaregion aber geringer als im westrussischen Jakovka. Der hohe Nitratgehalt nach Schwarzbrache in der Waldsteppenzone steht der Winterung im Herbst direkt zur Verfügung. Ist die Folgefrucht der Schwarzbrache eine Sommerung, besteht jedoch die Gefahr der Auswaschung durch Herbstniederschläge, die Schneeschmelze und weitere Niederschläge im Frühjahr.

### 9. Schwarzbrachehaltung aus agroökonomischer Sicht

Der Einsatz neuer Technik und die Umstellung von konventionellen zu nachhaltigen, konservierenden Ackerbauverfahren vollziehen

sich am ehesten, über direkte Gewinnaussichten (HICKMANN 2006, S. 26). Mit der Umstellung sind in erster Linie teure Anschaffungen neuer Landtechnik und der kostspielige Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln verbunden. Die moderne Landwirtschaft trägt in verstärktem Maße Charakterzüge einer prozessoptimierten Hochtechnologie, in der Kenntnis und richtiger Einsatz der Technik genauso gefordert sind, wie Flexibilität und Innovationsbereitschaft im Ackerbauverfahren.

Jedoch waren die geringen Treib- und Schmierstoffpreise sowie das niedrige Lohnniveau bislang kein großer Anreiz zu dessen Erneuerungen. (vergl. Angaben ZENTNER et al. 2002 und HICKMANN 2006). Einzig über Ertrag lässt sich zur Umstellung auf konservierende Verfahren meist nicht überzeugen. Obwohl aus den süd-kanadischen Ackerbauprovinzen zunehmende Erträge durch extensiveren Ackerbau nachweisbar sind. ZENTNER et al. (2002), belegen eine Steigerung um 7% durch minimale Bearbeitung bzw. durch Direktsaat im Getreideanbau Saskatchewan.

Allerdings bleiben bei Feldversuchen in den nordkasachischen Anbauregionen die Weizen-erträge im konservierenden Verfahren zum Teil geringfügig hinter dem konventionell produzierten Weizen zurück. Über längere Zeit betrachtet, sind

die Erträge jedoch stabiler und in ihrem Betrag „witterungsresistenter“ (vgl. SULEIMENOV et al. 2014, S. 447). Damit ergeben sich Vorteile der konservierenden Bewirtschaftung, die klar im Einsparpotential, den geringeren Fixkosten für Maschinen, in geringeren Wartungskosten, Treibstoffkosten und Personalkosten liegen. Die Gewinnspanne zwischen eingesetztem Kapital und Erlös wächst durch (ressourcen-) konservierenden Ackerbau (vgl. ZENTNER et al. 2004).

Demnach ist das konventionelle Verfahren bisher nicht durch den gesteigerten Ertrag wirtschaftlich interessant, sondern durch seine hohe Gewinnspanne, aufgrund der altbekannten und vorhandenen Technik und die geringen Fixkosten für Betriebsmittel und Lohn. Über eine dreijährige Getreidefruchtfolge hinweg fällt in konventioneller Wirtschaft mit Schwarzbrache eine Ernte aus. Unter der Annahme gleicher Erträge gegenüber konservierender, bracheloser Bewirtschaftung, ergibt sich über die gesamte Fruchtfolge ein Ertragsvolumen von lediglich 2/3. Es wird klar, dass der entstehende Ertragsausfall im Brachejahr durch den potentiellen Mehrertrag nach Brache nicht kompensiert werden kann. Vielmehr erspart das konventionelle Wirtschaften die Investition in Pflanzenschutztechnik, Wirkstoffe und Dünger. Abbildung 29 stellt den finanziellen Aufwand für Personal und Betriebsstoffe auf Ölbasis in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsweise gegenüber. Die mehrfache mechanische Bearbeitung des Bodens führt zu einem sehr hohen Aufwand an Schmier- und Treibstoffen für die eingesetzte Technik. Aufgrund des per se höheren Zugkraftbedarfs der mechanischen Bearbeitung sind die Arbeitsbreiten, vor allem beim Einsatz kleinerer Traktoren, stark begrenzt.

Dies und die geringen Fahrgeschwindigkeiten, bei schwacher Leistung, verursachen hohe Kosten, die die Schwarzbrache als Maßnahme, zu einem der teuersten Ackerbauverfahren je

Flächeneinheit, überhaupt werden lassen (Abb. 29). Die Kombination verschiedener kostensparender, schlagkräftigerer Methoden bringt demnach den höchsten finanziellen Gewinn.

Die anfänglichen Investitionen stellen Hemmnisse dar. Die Amortisierung durch die Erneuerung der Technik ist jedoch beträchtlich. Die Umstellung auf minimalinvasive Verfahren und der Einsatz von präziser Sätechnik mit schmalen Zinkenscharen bringen im Schnitt 4 Dollar pro Hektar Einsparung an Saatgut (vgl. MEINEL et al. 2014 S.462). Bei 6000 ha Saatfläche beläuft sich die Einsparung auf 24tsd Dollar. Die geringeren Wartungskosten helfen bis zu 1,2Dollar pro Hektar sparen (vgl. MEINEL, et al. 2014, S.462). Bei 6000 ha Saatfläche sind 7,2tsd Dollar einzusparen. Moderne Schlepper bzw. die Kombination neuer Landtechnik mit alter Schleppertechnik helfen ebenfalls den Treibstoffbedarf zu senken und die Schlagkraft durch weniger Standzeiten<sup>29</sup> und höhere Fahrgeschwindigkeiten bzw. größere Arbeitsbreiten zu steigern (vgl. MEINEL et al. 2014, S.462). Am Beispiel eines Betriebes in der Vladimirskaija Oblast in Zentralrussland kann durch minimale Bodenbearbeitung bei maximal 10 cm Tiefe und schnelle, präzise Sätechnik, sowie effektiven chemischen Pflanzenschutz nicht der höchste Ertrag erwirtschaftet werden. Der liegt genauso hoch wie das konservierende Verfahren mit dem Grubber bei 18 cm Bearbeitungstiefe. Allerdings bringt dieses Verfahren mehr Gewinn, da der finanzielle Aufwand für Treibstoff, Maschinen und Personal deutlich geringer ist, als unter den intensiven Varianten (KONSULTANT AGRO 2013, S.4). Vergleichbare Ergebnisse sind auch aus den mitteldeutschen Trockengebieten bekannt<sup>30</sup>.

BELYAEV V.I.<sup>31</sup> kann zwischen 2005 und 2008 in Versuchen am Standort Jaroslavzev Log belegen, dass der Effekt auf den Ertrag unter konventioneller Bewirtschaftung nur unmittelbar

-----  
<sup>29</sup> Wartung/ Befüllung/ Betanken – 3l/ha gegenüber 7-8l/ha im konventionelle Bestellverfahren (nur Saat)

<sup>30</sup> Vgl. DUTZI 2007 - Bewertung unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Säverfahren... Diss. am Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim.

<sup>31</sup> Leitung Institut für Pflanzenbau und Agrartechnik an der Staatlichen Altai-Agraruniversität Barnaul (ASAU)

nach Schwarzbrache positiv ist (BELYAEV [Hrsg.], 2005 – 2008).

Schon im zweiten Jahr nach Brache sind die Erträge gleich denen minimalinvasiv bewirtschafteter Flächen ohne Brachehaltung (Abb. 28). ZENTNER et al. (2002, S.15) stellen Langzeitversuche vor, im Rahmen derer drei Bewirtschaftungsverfahren (CT/ MT/ NT) mit zwei Fruchtfolgen (Sommerweizen – Leinsaat – Sommerweizen – Felderbse / Sommerweizen, Sommerweizen, Winterweizen, Brache) verglichen werden. Dabei zeigt sich, dass die Gesamtkosten im konventionellen Verfahren gegenüber den anderen Verfahren bei sehr getreidelastiger Fruchtfolge mit Brache weniger hoch sind. Die konventionelle Bewirtschaftung mit verstärkt mechanischer Bearbeitung ist einträglicher in Kombination mit konservativen Fruchtfolgen. Hingegen sind die relativ geringsten Kosten und die höchsten Gewinne bei vielgliedrigen Fruchtfolgen und der Bewirtschaftung in extensiven Verfahren zu erreichen. Die größten Erfolge sind speziell in Trockenfeldbauregionen Südkanadas unter Direktsaat mit weiter Fruchtfolge und mit unterstützendem Einsatz von Herbiziden zu erzielen. LAFOND et al. belegen mit mehreren Studien positive Effekte der Fruchtfolgegestaltung in Direktsaat gegenüber konventioneller Monokultur (LAFOND et al. 2006). Das Ertragsniveau steigt während einer 12-jährigen Studie in Saskatchewan um bis zu 22%, aufgrund der Fruchtfolgegestaltung mit Getreide, Ölfrüchten und Hülsenfrüchten im Wechsel (ZENTNER et al. 2002, S.20).

Abbildung 30 stellt dar, dass die Investitionskosten für ein konventionelles Verfahren mit Sommerbrache zwar geringer sind, aber der Erlös aus diesem auch deutlich hinter dem Erlös zurückliegt, der in konservierender Bewirtschaftung mit einer geschlossenen Fruchtfolge zu erzielen ist. Dabei ist nicht immer zwangsläufig die reine Direktsaat das gewinnhöchste Verfahren. Im konkreten Beispiel hat sich das Verfahren mit einer minimalen Bodenbearbeitung zur Saat und einem guten chemischen Pflanzenschutz als das finanziell beste Verfahren herausgestellt. Die mechanische Bearbeitung regt Ackerwildpflanzen und Ausfallsamen der Vorfrucht zum Keimen an. Durch eine gezielte Pflanzenschutzbehandlung vor der Saat bzw. nach der Ernte kann der Unkrautdruck deutlich dezimiert werden. Durch die Wechselfolge aus ein- und zweikeimblättrigen

Früchten kann der finanzielle Aufwand für den chemischen Pflanzenschutz minimiert werden. Die Bodenstruktur verbessert sich. Anhand der in diesem Abschnitt vorgestellten Beispiele zeigt sich, dass mit der Umstellung auf Boden- und betriebsmittelschonende Bewirtschaftung muss immer die Anpassung des ackerbaulichen Verfahrens an die standörtlichen Bedingungen einhergehen, da sonst die Produktionsleistung des Verfahrens zu stark sinkt.

## 10. Zusammenfassung

Die Schwarzbrache ist bis heute ein fester Bestandteil im konventionellen Ackerbau der GUS.

Ihre Aufgabe als Fruchtfolgeglied besteht im Auffüllen des Bodenwasserspeichers, dem Anreichern des Nährstoffvorrates, der Vorbereitung des Bodens für die nächste Saat und in der wirksamen Kontrolle auflaufender Vorfrüchte und Ackerwildpflanzen.

Im Rahmen dieser Arbeit können die prophezeiten Aufgaben exemplarisch bestätigt werden. Im ersten Jahr nach Schwarzbrache stehen der Folgekultur mehr Bodenwasser und mehr Stickstoff zur Verfügung. Der Vorteil ist jedoch schon zum Ende der ersten Anbausaison an beiden Standorten nicht mehr nachweisbar. Obwohl die Effekte hinsichtlich der Wasser- und Nährstoffretention am humideren Standort in Westrussland größer sind, halten sie auch hier nicht länger an. An beiden Standorten ist der schadhafte Einfluss der überintensiven, langjährigen Bodenbearbeitung durch die Abnahme des Humusgehaltes und der Veränderung der Bodenart im Oberboden darstellbar. Gegenüber den Angaben der Literatur, sind die Humusgehalte an beiden Standorten um ca. 50% gegenüber ungestörten Böden gleichen Typs gesenkt. Die Textur ist im Oberboden sandreicher, der Schluff wird im Zuge der jahrzehntelang andauernden Erosion aus der Ackerkrume ausgeweht, bzw. durch Niederschlags- und Schmelzwasser ausgespült. Besonders deutlich tritt die Problematik am südwestsibirischen Jaroslavzev Log zutage.

Wichtig ist die Schwarzbrache vordergründig in ihrer Funktion als „mechanisches Herbizid“ im konventionellen Ackerbau und besonders in Fruchtfolgen mit sehr hohem Getreideanteil. In diesem Fall stellt sie das einzige Instrument dar, Vorfrüchte und Ackerwildpflanzen zu minimieren. Damit ist die Schwarzbrache ein Relikt aus Zeiten,

in denen ausschließlich mechanisch bearbeitet wurde. Sind die Gründe dafür auch Finanzielle oder Mangel besseren Wissens.

Da seit der Jahrtausendwende in der GUS-Landwirtschaft die Rahmenbedingungen für Investitionen deutlich bessern, durch den internationalen wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Austausch moderne Technik und neue Erkenntnisse leichter zu erhalten sind, können die Unternehmen den Ackerbau nun effektiver modernisieren, als in den Wirren der frühen Postsowjet-Ära. Dabei spielen zuerst der effiziente Betriebsablauf und die geringsten Verluste „um das Feld“ eine bedeutende Rolle. Neue Technik senkt die Standzeiten für Wartung und Reparatur. Damit können pflanzenbaulich relevante Termine, die Saat, Pflanzenschutz, Ernte, genauer eingehalten werden. Der Transport und die Verteilung von Betriebsmitteln, die Minimierung derer Verluste, aber auch der Verluste des Erntegutes bei Transport und Lagerung sind ein elementarer Bestandteil der betriebsstrukturellen Erneuerung.

Die Technik auf dem Feld muss in erster Linie präzise, schlagkräftig und ressourcenschonend sein<sup>32</sup>. Das effizienteste Verhältnis aus eingesetzter Schlepperleistung, Arbeitsbreite, Geschwindigkeit und Betriebsmittelaufwand ist anzustreben.

Die, durch die Landtechnik ausgebrachten Güter, seien es chemische Wirkstoffe, Dünger oder Saatgut müssen mit einem Höchstmaß an Effizienz eingesetzt werden. Dadurch lässt sich deren Wirkung steigern, und die notwendige Einsatzmenge senken, was sich ökonomisch aber auch ökologisch bemerkbar macht<sup>33</sup>.

Die Erweiterung der Fruchtfolge durch ist aus ökonomischen und pflanzenbaulichen Gesichtspunkten besonders wichtig. Mit dem Anbau weiterer Marktfrüchte stellt sich der Betrieb breit auf, und ist gegenüber Marktschwankungen weniger anfällig. Der häufige Wechsel zwischen Gräsern und zweikeimblättrigen Kulturen kann helfen, die Bodenstruktur zu verbessern, die Rotte – den Umsatz des organischen Materials der Vorfrucht zu beschleunigen,

Krankheitsproblemen vorzubeugen und somit den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel zu minimieren<sup>34</sup>. Der Anbau von Leguminosen bringt neben einer verbesserten Bodenstruktur eine gesteigerte Nährstoffversorgung im Boden. In den nordamerikanischen Ackerbauregionen wurden in den letzten drei Jahrzehnten grundlegendes Wissen zur Umstellung auf ressourcenschonende und effektive Verfahren geschaffen. Dieses Wissen kann nicht 100 Prozentig in die Landwirtschaft der GUS übertragen werden. Mit Hilfe dieser Grundlagen können aber Konzepte nachhaltigen Ackerbaus erarbeitet werden.

Viele Maßnahmen sind kostenintensiv, zeigen aber über kurze Zeit bereits positive Resultate, die notwendige Investitionen amortisieren. Über einen längeren Zeitraum hinweg sichert der Betrieb mit Hilfe dieser Maßnahmen seine Existenzgrundlage. Die schonende Bewirtschaftung bringt nicht im ersten Jahr einen Gewinn für den Boden. Es bedarf eines längeren Atems, bis sich spürbare Verbesserungen in der Bodenstruktur, dem Wasserhaushalt und der Ertragslage einstellen. Mit dem Aufbau des Bodens trägt der Betrieb, neben den Vorteilen für seine eigene Produktivität, einen Teil dazu bei, die eurasischen Steppenböden als Kohlenstoffseneke und das zukünftige Rückgrat der Welternährung zu stärken.

## 11. Literatur

- ALLEN, R.G. (1998): Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. Rom.
- ARINUSCHKINA, E.V. (1970): Rukovodstvo po chimitsheskomu analisu potshv. Moskvo.
- BARRÉ, P., EGLIN, T., CHRISTENSEN, B.T., CIAIS, P., HOUOT, S., KÄTTERER, T., VAN OORT, F., PEYLIN, P., POULTON, P.R., ROMANENKOV, V. & CHENU, C. (2010): Long-Term bare fallow experiments offer new opportunities for the quantification and the study of stable carbon in soil. Biogeosciences Discuss., 4887-4917, Paris.
- BELYAEV, V.I. [Hrsg.] (2005 – 2008): Otshot po nautshno – issledovatelskoij temje No.45. Co-

<sup>32</sup> Vgl. LAFOND et al. 2004 / BELYAEV et al. 2010a/ BELYAEV, et al. 2010b/ MEINEL et al. 2014/ JONES et al. 1990/ ZENTNER et al. 2002/

<sup>33</sup> vgl. LAFOND et al. 2005

<sup>34</sup> Vgl. PAMI & SCA (Hrsg.) 2000

- verschenstvovanije Technologij Vosdelivanija Pshenitzuij v Uslovija KF'CH Doroshinskovo A.V. Rodinskovo Rajiona. Barnaul.
- BELYAEV, V.I. & VOLNOV, V.V. (2010): Resursoberegajushije Technologij Vosdelivanija Sernovich Kultur v Altaiskom Kraje. Barnaul.
- BELYAEV, V.I., FJODJAKINA, O.C., BELYAEV, D.V. & BEIFORT, P.J. (2010): Otzenka Effektivnosti Poseva Jarovoj Pshenitzuij s raslitshnoj Normoj Vuiseva po tehnologij No-Till v Uslovija Jushnoj lesostepi Altaiskovo Kraja. Barnaul.
- BfGuR [Hrsg.], (1996): Anleitung zur Entnahme von Bodenproben. Geologisches Jahrbuch. Reihe G. Heft 1, Hannover.
- BRIDGES, E.M. (1970): World Soils. S. 62. London.
- BULUIJSHEV, M.I., SILTSHENKO, M.I. & SCHUBINA, T.I. (1976): Intensifikacija Ispolsovaniya Semli v Altaiskom Kraje. Barnaul.
- BURLAKOVA, L.M., TATARINZEV, L.M. & RASSIPNOV, V.A. (1988): Potshvuij Altaiskovo Kraja. Barnaul.
- CHEPIL, W.S. & WOODRUFF, N.P. (1963): The Physics of Wind Erosion and its Control. Advances in Agronomy, Vol. 15, 211-302, New York.
- CUTHFORT, H.W. & MCCONKEY, B.G. (1997): Stubble height effects on microclimate, yield and water use efficiency of spring wheat grown in a semiarid climate on the Canadian prairies. Canadian Journal of Plan science. Vol. 77, 359-366, Ottawa.
- CUTFORTH, H.W., MCCONKEY, B.G., ULRICH, D., MILLER, P.R. & ANGADI, S.V. (2002): Yield and water use efficiency of pulses seeded directly into standing stubble in the semiarid Canadian prairie. Canadian Journal of Plant Science, 2002, o.B., 681-686, Ottawa.
- DAVIS, R.A., HUGGINS, D.R., COOK, J.R. & PAULITZ, T.C. (2009): Nitrogen and crop rotation effects on fusarium crown rot in no-till spring wheat. Canadian Journal of Plant Pathology, Vol. 31, Issue 4, Pullman.
- DINKINS, C.P., JONES, C. & McVAY, K. (2008): Nutrient Management in no-till and minimum till systems. Bozeman.
- DJOMIN, A.G. (1993): Dinamika i Stroijenije Erosijonnoj Seti Altaiskovo Regijona. Novosibirsk.
- DOBROVLOSKI, G.V. & GRISCHINA, L.A. (1985): Ochana Potshv. Moskva.
- DUTZI, S. (2006): Bewertung unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Säverfahren anhand technischer, pflanzenbaulicher, bodenkundlicher und ökonomischer Parameter im Rahmen eines großflächigen Dauerversuches. Diss. Stuttgart – Hohenheim.
- EHLERS, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze: Dynamik des Wasserhaushalts als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag. Stuttgart - Hohenheim.
- EULE, W. (1962): Das Problem der Neulandgewinnung in der Sowjetunion. Bonn.
- FAO [Hrsg.] 2014: <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>, URL Abruf Januar 2014. Rom.
- FILECCIA, T. (2009): Importance of zero-tillage with high stubble to trap snow and increase wheat yields in Northern Kazakhstan. Rom.
- FENSTER, C.R. (1980): Protect Soil with vegetative residues. Historical materials from the University of Nebraska – Lincoln Extension. Lincoln.
- FRÜHAUF, M.: Landnutzungs- und Ökosystementwicklung in den südsibirischen Agrarsteppen. Geographische Rundschau, Heft 1, 46-53.
- FRÜHAUF, M. & MEINEL, T.: Vom “Neuland unterm Pflug” zum “Dust-Bowl-Syndrom”: Die ackerbauliche Umgestaltung der südrussisch-kasachischen Steppengebiete. In: GLASER, R. & KREMB, K. [Hrsg.]: Planet Erde – Asien, 77-89, Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- GRUNWALD, L.-C. (2010): Geoökologische und agronomische Effekte der Schwarzbrache in Steppenregionen Russlands. Diplomarbeit am Geowissenschaftlichen Institut MLU, unveröffentlicht, Halle/Saale.
- HICKMANN, S. (2006): Conservation agriculture in northern Kazakhstan and Mongolia. Rom.
- JONES, O.R., ALLEN, R.R. & UNGER P.W. (1990): Tillage Systems and Equipment for Dryland Farming. Advances in Soil Science, Vol. 13, New York.
- JOINT RESEARCH CENTRE of the EUROPEAN COMMISSION [Hrsg.] (2012): Agricultural Sector and Market developments: a special focus on Ukraine, Russia and Kazakhstan. In: FELLMANN, T. & NEKHAY, O.: Workshop proceedings. Luxemburg.
- FUNK, R., HOFFMANN, C. & REICHE, M. (2014): Methods for Quantifying Wind Erosion in

- Steppe Regions. In: MÜLLER, L., APAROV, A. & LISCHIED, G. [Hrsg.]: *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia*, 315-327, Dordrecht.
- FSS ROSSIJ [Hrsg.] (2014): *EMISS - Jedinnaja Meshvedomstvennaja informazionnostatisticheskaja sistema*. URL: <http://fedstat.ru/about.do>, Abruf Januar 2014. Moskau.
- KOSTYAYEV, A.I. (2003): *Basic Reasons for the Failure of Agrarian Sector Transformation and the Problems on its Future Development*. In: SCHULZE, E., KNAPPE, E., SEROVA, E. & WEHRHEIM, P. (2003): *Success and Failures of Transition – the Russian Agriculture between Fall and Resurrection*, 145 - 157, Halle/Saale.
- KÖPPEN, D. (2004): *Bodenfruchtbarkeit im Agrarökosystem*. Teil 1, 296 – 526, Rostock.
- LAFOND, G.P., GRANT, C.A. & JOHNSTON, A.M. (2004): *Direct Seeding & Nitrogen Fertilizer: The Past, the Present and the Future*. Indian Head.
- LAFOND, G.P., MAY, W.E., STEVENSON, F.C. & DERKSEN, D.A. (2006): *Effects of tillage systems and crop rotations on crop production for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies*. *Soil & Tillage Research*, Bd.89, 232-245, Amsterdam.
- LAFOND, G.P. & CLAYTON (O.D.): *Dispelling Myths and Making Progress with No-Till on the Canadian Prairies*. Indian Head.
- LEIDIG, E. (1997): *Quantifizierung und modellhafte Beschreibung der Stickstoffverluste durch Denitrifikation im Bearbeitungshorizont landwirtschaftlich genutzter Flächen*. *Karlsruher Berichte zur Ingenieurbiologie*. Heft 35, S. 3, Karlsruhe.
- LIEDTKE, M. (2009): *mündliche Mitteilungen der agronomischen Betriebsleitung des Betriebes Hohmann in Jakovka, Orlovskaija Oblast, RF*.
- KNOBLAUCH, S. (2009): *Langjährige Ergebnisse über das pflanzenspezifische Aneignungsvermögen von Bodenwasser landwirtschaftlicher Kulturen auf einem tiefgründigen Braunerde-Tschernosem aus Löß*. 13. Gumpensteiner Lysimetertagung 2009, 131-136. Raumberg – Gumpenstein.
- KONSULTANT AGRO [Hrsg.] (2013): *Godovoi Otshot – Demmonstrazionuij Opuit v OAO "LEDNEVO" Jurev-Polskovo Rajiona – Vladimirskoi Oblasta. Vladimir*.
- MCCONKEY, B.G., LIANG, B.C., CAMPBELL, C.A., CURTIN, D., MOULIN, A., BRANDT, S.A. & LAFOND, G.P. (2003): *Crop Rotation and Tillage Impact on Carbon Sequestration in Canadian prairie soils*. *Soil and Tillage Research* 74, 81 – 90, Oxford.
- MEINEL, T. (2002): *Die geoökologischen Folgewirkungen der Steppenumbrüche in den 50er Jahren in Westsibirien. Ein Beitrag für zukünftige Nutzungskonzepte unter besonderer Berücksichtigung der Winderosion*. Diss. am Geowissenschaftlichen Institut der MLU, Halle/Saale.
- MEINEL, T., GRUNWALD, L.-C. & AKSHALOV, K. (2014): *Modern Technologies for Soil Management and Conservation in Northern Kazakhstan*. In: MÜLLER, L., APAROV, A. & LISCHIED, G. [Hrsg.]: *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia*, 455-464, Dordrecht.
- MEYER, B.C., SCHREINER, V., SMOLENTSEVA, E.N. & SMOLENTSEV, B.A. (2008): *Indicators of desertification in the Kulunda Steppe in the south of Western Siberia*. *Archives of Agronomy and Soil Science*. Bd. 54, 585-603, London.
- MILKOV, F.N. (1977): *Prirodnije Sonij SSSR*. 120-172. *Lesostepnaija i Stepnaija Sona*. Moskva.
- PAMI & SCSA [Hrsg.] (2000): *Direct Seeding Manual. A Farming System for the new Millenium*. Saskatoon.
- PEEL, M.D. & RIVELAND, N. (1997): *Winter Wheat Production in North Dakota*. *Extension Bulletin* 33. Fargo. URL: <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/smgrains/eb33w.htm>. Letzter Aufruf am 10.01.2010.
- REVJAKIN, V.S., PUSHKAREV, V.M. & REVJAKINA, N.V. (1989): *Geografija Altaiskovo Kraja*. Barnaul.
- RODIONOV, A. (1999): *Einfluss von Klima und Nutzung auf Humuseigenschaften russischer Steppenböden*. In: *Bayreuther Bodenkundliche Berichte*, 1999, Bd.64, Bayreuth.
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2010): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 16.Auflg., Heidelberg.
- SCHILLING, G. (2000): *Pflanzenernährung und Düngung*. Stuttgart - Hohenheim.

- SCHIMMEL, D.S. & PARTON, W.J. (1985): Microclimatic controls of nitrogen mineralization and nitrification in short grass steppe soils. In: *Plant and soil*. Bd.93, 347-357. Dordrecht.
- SEDIK, D., SOTNIKOV, S. & WIESMANN, D. (2003): Food Security in the Russian Federation. In: SCHULZE, E., KNAPPE, E., SEROVA, E. & WEHRHEIM, P. (2003): *Success and Failures of Transition – the Russian Agriculture between Fall and Resurrection*, 108-144, Halle/Saale.
- SERVER POGODA ROSSIJ [Hrsg.], (2009): *Wetterdaten der Orlovskaja Oblast und des Altajskij Kraij*. Moskau. URL: <http://meteo.infospace.ru>. Letzter Aufruf Januar 2014.
- STAPLE, W.J. (1959): Significance of fallow as a management technique in continental and winter rainfall climates. UNESCO/NS/AZ/419. Paris.
- SULEIMENOV, M., KASKARBAYEV, Z., AKSHALOV, K. & YUSHCHENKO, N. (2014) Conservation Agriculture for Long-Term Soil Productivity. In: MÜLLER, L., APAROV, A. & LISCHIED, G. [Hrsg.] (2014): *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia*, 441-454, Dordrecht.
- TSCHICHONATZKICH, E.A. (1991): *Fisitscheskaja Geografija SSSR*. Twer.
- VASILYEVA, N.A. & MILANOVSKIY, E.Y. (2009): Chernozem aggregate waterstability loss Investigation in a long-term bare fallow-experiment. In: *Geophysical Research Abstracts*, Bd.11, Moskau.
- WBGU, [Hrsg.], (1994): *Welt im Wandel: Gefährdung der Böden, Jahresgutachten 1994*. Bonn.
- WEIN, N. (1980): Fünfundzwanzig Jahre Neuland. *Geographische Rundschau*. Jg.32, Heft 1, 32-38, Hamburg.
- WOODRUFFE, N.P. & CHEPIL, W.S. (1958): Implements for Wind Erosion Control. *Journal of the American Society of Agricultural Engineers*, 751-754. Saint Joseph/Michigan.
- XAOBIN, W. (2006): Conservation tillage and nutrient management in dryland farming in China. Wageningen.
- ZENTNER, R.P., LAFOND, G.P., DERKSEN, D.A. & CAMPBELL, C.A. (2002): Tillage method and crop diversification: effect on economic returns and riskiness of cropping systems in a Thin Black Chernozem of the Canadian Prairies. *Soil and Tillage Research*, Bd. 67, 9-21, Amsterdam.
- ZENTNER, R.P., LAFOND, G.P., DERKSEN, D.A., NAGY, C.N., D.D. WALL & MAY, W.E. (2004): Effects of tillage method and crop rotation on non-renewable energy use efficiency for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies. *Soil and Tillage Research*. Vol. 77, 125-136. Amsterdam.
- ZIMMER, Y. (2008): Flächenproduktivität im internationalen Vergleich – Wachstumspotentiale ausgewählter Ackerbauregionen. *Tagungsbeitrag: Wintertagung der IG Pflanzenzucht* 30.01.2008. Halberstadt.

