

Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33, S. 33-48, 10 Abb., 2 Tab.
Halle (Saale), Mai 2011

Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsmethoden auf Bodenwasserhaushalt und Pflanzenproduktion in Trockengebieten

Sören Dammann, Tobias Meinel, Vladimir I. Beljaev & Manfred Frühauf*

Dammann, S., Meinel, T., Beljaev, V. I. & Frühauf, M. (2011): Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsmethoden auf Bodenwasserhaushalt und Pflanzenproduktion in Trockengebieten. [Effects of different tillage methods on soil water regime and crop production in semi-arid environments.] – Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33: 33-48, Halle (Saale).

Kurzfassung: Um die Auswirkungen verschiedener Bodenbearbeitungsmethoden auf den Bodenwasserhaushalt und die Entwicklung von Kulturpflanzen in Trockengebieten zu untersuchen, wurden in der südsibirischen Kulundasteppe (Region Altai) und im Mitteldeutschen Trockengebiet (südliches Sachsen-Anhalt) insgesamt fünf Versuchsflächen angelegt. Die Niederschlagsverhältnisse lagen dabei zwischen 340 und 405 mm im russischen sowie 480 und 560 mm im mitteldeutschen Untersuchungsgebiet.

Auf den russischen Versuchsflächen konnten deutliche Zusammenhänge zwischen Klima, Bodenwasservorrat und Ertrag festgestellt werden. So zeichnete sich an allen drei Untersuchungsstandorten ab, dass der Bodenwassergehalt umso höher ist, je weniger Bearbeitungsgänge durchgeführt werden. Außerdem wurde deutlich, dass insbesondere im Bereich der Trockensteppe die Aussaatmenge einen entscheidenden Einfluss auf Feldaufgang bzw. Ertrag hatte.

Die Ergebnisse der mitteldeutschen Versuchsflächen zeigten, dass die Bearbeitungsintensität einen erkennbaren Einfluss auf den Bodenwasservorrat hatte. Auf dem Versuchsfeld „Leipzig“ zeigte sich, dass die Bearbeitungsmethode mit der geringsten Intensität die höchsten Feuchtigkeitswerte aufwies. Auch auf dem Versuchsfeld „Barnstädt“ konnte nachgewiesen werden, dass es unter Direktsaat zu einer deutlich schnelleren und länger anhaltenden Infiltration von Niederschlagswasser auch in tiefere Bodenschichten kam als unter Pflug. Das zusätzlich zur Verfügung stehende Wasser nutzten die Pflanzen effizienter und konnten letztendlich auch höhere Erträge erzielen.

Abstract: To study the impacts of different tillage methods on soil water regimes, and crop development, five test sites were established in the South Sibirian Kulunda steppe (Altai Krai) and the Central German dry region (southern Saxony-Anhalt). Local precipitation varies between 340-405 mm and 480-560 mm in the Russian and Central German study areas, respectively.

At the Russian test sites evidence emerged of significant correlations between climate, soil water content and yield. All test sites showed increases in soil water content with decreasing frequencies of tillage operations. Moreover, it became apparent that sowing rates had an important influence on plant emergence and yield especially in the dry steppe region.

The results of the Central German test sites showed a noticeable impact of tillage intensity on soil water content. At the test site “Leipzig”, for example, the highest soil moisture values were measured on the plots of lowest tillage intensity. Data for the test site “Barnstädt” showed that no-till management led to a noticeably faster and longer lasting infiltration of precipitation into the soil (including deeper soil layers) than under plough fillage. As a result, plants used this additional available water more efficiently, thereby producing higher yields.

Schlüsselwörter: Region Altai, Bodenbearbeitung, Bodenwasserhaushalt, Bodenfeuchte, Deutschland, Direkt-saat, Kastanozeme, Mulchsaat, Pflug, Russische Föderation, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Schwarzerden, Trockengebiete, Steppe

* Anschriften der Autoren:

Sören Dammann (soeren.dammann@geo.uni-halle.de), Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften und Geographie, FG Geoökologie, Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle (Saale);

Dr. Tobias Meinel (dr.tobias.meinel@amazone.de), BBG Bodenbearbeitungsgeräte GmbH & Co. KG, Rippachtalstraße 10, D-04249 Leipzig;

Prof. Dr. Vladimir I. Beljaev (belyaev@asau.ru), Staatliche Agraruniversität des Altaj, Pr. Krasnoarmejskij 98, 656099 g. Barnaul.

Prof. Dr. Manfred Frühauf (manfred.fruehauf@geo.uni-halle.de), Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften und Geographie, FG Geoökologie, Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle (Saale).

Keywords: Altai Krai, tillage, soil water regime, soil moisture, Germany, no-tillage, Kastanozems, mulch drilling, plough, Russian Federation, Saxony, Saxony-Anhalt, Chernozems, dry regions, steppe

1. Problematik und Zielsetzung

Vor dem Hintergrund abnehmender fossiler Energieträger einerseits, steigender Weltbevölkerung und damit einhergehender steigender Nachfrage nach Nahrungsmitteln, gewinnt die Ressource Boden als wesentlichste Produktionsgrundlage der Landwirtschaft eine immer größere Bedeutung (FAO 1993, Gommers 1993). Andererseits nehmen weltweit die Schäden aufgrund von Bodendegradation durch unangepasste Landwirtschaft, gleichzeitig aber auch der Bodenverbrauch durch Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung zu (WBGU 1994). Zusätzlich ergeben sich durch die Erscheinungsformen und Folgen des Klimawandels neue Anforderungen an bestehende Nutzungskonzepte in der Landwirtschaft (Brinkman & Sombroek 1996, Mendelsohn & Dinar 2009). So besteht die Notwendigkeit, die vorhandenen Ressourcen effektiver zu nutzen und hierbei nach neuen Nutzungsstrategien, aber auch technologischen Lösungen zu suchen und gleichzeitig die klimatischen und pedologischen Voraussetzungen besser zu berücksichtigen (IFRI 2009).

Von besonderer Bedeutung im globalen Maßstab sind hierbei neben den nordamerikanischen Präriegebieten die eurasischen Steppengebiete, da sie aufgrund der bodenkundlichen Gunst und der hinreichenden klimatischen Verhältnisse für großflächige ackerbauliche Nutzung im Regenfeldbau sehr gut prädestiniert sind (Spaar & Schuhmann 2000). Allerdings sind diese traditionellen Weizenanbauggebiete gegenwärtig durch zum Teil sehr starke Bodendegradation infolge von Deflation, Verdichtungen und Humusabbau gekennzeichnet mit dem damit verbundenem Verlust günstiger Bodenwasser- und Nährstoffeigenschaften (Meinel 2002, Dammann 2005).

Bezüglich der Zusammenhänge Bodenbearbeitung/Klima/Bodenwasserhaushalt/Ertrag weisen einige landwirtschaftlich intensiv genutzte Gebie-

te Deutschlands hinsichtlich der Folgen des Klimawandels ebenfalls Symptome von zunehmendem Trockenstress auf (LAU 2008, Franke et al. 2009). Hierzu gehören vor allem Gebiete im Mitteldeutschen Trockengebiet in Sachsen-Anhalt und Thüringen. Jüngste Untersuchungen zeigen hier deutlich abnehmende Jahres-, insbesondere aber Sommerniederschläge bei ohnehin geringen Niederschlägen von 450-500 mm (Fabig 2007, LAU 2008).

Die für die Ableitung neuer Nutzungsstrategien notwendigen wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Wirkungen von Landtechnikgeräten auf Boden und Bodenwasserhaushalt sowie deren Rückwirkung auf den Ertrag bilden daher das Grundanliegen eines am Lehrstuhl für Geoökologie der MLU seit 2008 durchgeführten Forschungsprojektes zur „Entwicklung von nachhaltigen Ackerbaukonzeptionen für Trockengebiete“, das gemeinsam mit der Agraruniversität Barnaul (Russland) und dem Landtechnikhersteller Amazonen-Werke (Hasbergen-Gaste, Deutschland) realisiert wird.

Dabei kommt der Entwicklung und dem Test von Ackerbaukonzeptionen mit verschiedenen Bodenbearbeitungsgeräten sowie der Analyse deren Auswirkungen auf Boden und Ertrag eine besondere Bedeutung zu.

In diesem Beitrag sollen aus den bisherigen Projektarbeiten Ergebnisse zu den Wechselwirkungen von Klima und Bodenbearbeitung auf den Bodenwasserhaushalt der verschiedenen Untersuchungsstandorte vorgestellt werden.

2. Untersuchungsgebiete

Zur Untersuchung der Problematik wurden zunächst zwei Untersuchungsgebiete ausgewählt: die südsibirische Kulundasteppe und das Mitteldeutsche Trockengebiet (Abb. 1).

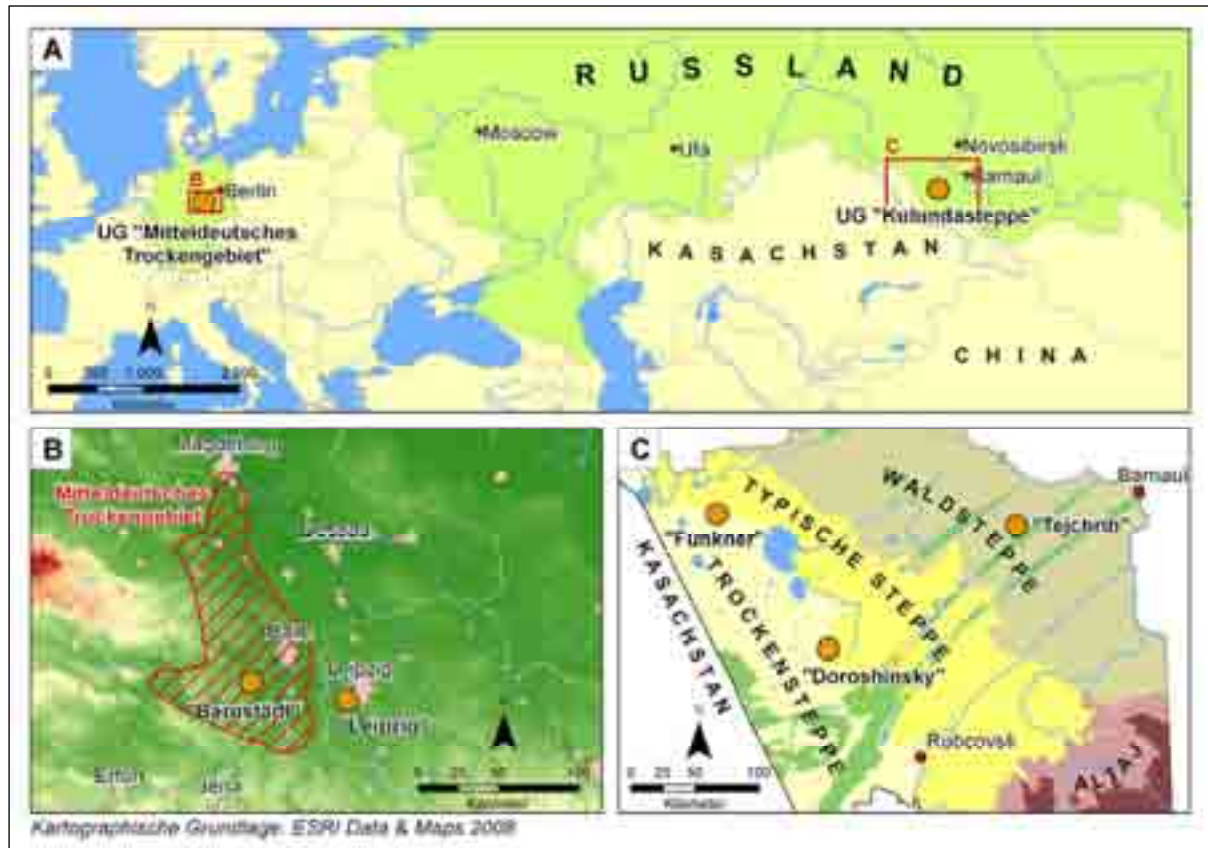


Abb. 1. A: Übersicht der Untersuchungsgebiete; B: Lage der Versuchsfelder im UG "Mitteldeutsches Trockengebiet"; C: Lage der Versuchsfelder im UG „Kulundasteppe“.

Die Kulundasteppe bildet den östlichen Ausläufer der eurasischen Steppengebiete. In diesem Untersuchungsgebiet wurden auf drei landwirtschaftlichen Betrieben Feldversuche durchgeführt. Dabei befindet sich ein Betrieb („Tejchirib“) naturräumlich in der Waldsteppenzeone im Rebrichinskij Rajon (Abb. 1), wo jährlich durchschnittlich 405 mm Niederschlag fallen. Auf dem Versuchsfeld ist ein Gewöhnlicher Tschernozem (toniger Schluff) mit einem durchschnittlichen Humusgehalt von 5,3 % im Ah-Horizont zu finden, der ca. 31 cm mächtig ist.

Ein weiterer Betrieb („Funkner“) befindet sich im Deutschnationalen Rajon in der nordwestlichen Kulundasteppe. Er liegt naturräumlich im Übergang der Trockensteppe zur Typischen Steppe. Hier fallen durchschnittlich 340 mm Niederschlag im Jahr. Hauptbodentypen sind hier Dunkle Kastanozeme (toniger Schluff) mit einem durchschnittlichen Humusgehalt von 3,5 % im Oberboden.

Der dritte Betrieb („Dorožinskij“) liegt im Rodinskij Rajon in der zentralen Kulundasteppe. Naturräumlich ist der Standort mit einem durchschnittlichen jährlichen Niederschlag von 385

mm ebenfalls im Übergang der Trockensteppe zur Typischen Steppe einzuordnen. Hauptbodentypen sind ebenfalls Dunkle Kastanozeme (sandig-lehmiger Schluff) mit einem durchschnittlichen Humusgehalt von 3,6 %.

In Mitteldeutschland wurden zwei Versuchstandorte angelegt (vgl. Abb. 1). Die eine Versuchsfeld befindet sich auf der Querfurter Platte ca. 20 km südwestlich von Halle in Sachsen-Anhalt und gehört zum Agrarunternehmen Barnstädt. Das Gebiet liegt im Kern des Mitteldeutschen Trockengebiets mit durchschnittlich 480 mm Niederschlag im Jahr. Auf dem Versuchsfeld ist eine Löss-Schwarzerde (toniger Schluff) mit einem durchschnittlichen Humusgehalt von 3,2 % entwickelt.

Die zweite Versuchsfeld des Betriebes Kitzen befindet sich im Südwesten von Leipzig. Mit durchschnittlich 557 mm Niederschlag im Jahr liegt der Standort bereits außerhalb des Mitteldeutschen Trockengebiets. Trotzdem wurde er in das Monitoringprogramm aufgenommen, da auf dem Feld im Rahmen der Zusammenarbeit des Agrarbetriebs mit den Amazonen-Werken bereits seit 1999 Versuche zu Bodenbearbeitungsverfahren

ren durchgeführt werden und daraus Rückschlüsse auf die langjährige Wirkung dieser Methoden auf den Bodenwasserhaushalt gezogen werden können. Bodenkundlich ist der Standort durch eine Parabraunerde (schwach toniger Schluff) mit einem durchschnittlichen Humusgehalt von 2,5 % im Oberboden geprägt.


Alle Versuchsstandorte liegen auf ebenen oder sehr schwach geneigten Flächen, sodass laterale Stoff- und Wasserverlagerungsprozesse aufgrund der Geländemorphologie ausgeschlossen werden können. Zudem handelt es sich um grundwasserferne Standorte, sodass Bodenwasserbewegungen durch kapillaren Aufstieg ausgeschlossen sind.

3. Methodik

Hauptziel der Untersuchungen war es, verschiedene technologische Bodenbearbeitungsvarianten hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Bodeneigen-

schaften, Bodenwasserhaushalt und Ertragslage miteinander zu vergleichen. Dabei wird immer mindestens eine Variante mit konventioneller Bodenbearbeitung durchgeführt, wie sie in den jeweiligen Regionen üblicherweise angewendet werden, und verschiedenen konservierenden Bearbeitungstechnologien gegenübergestellt.

So beschränkten sich die Versuche in Mitteldeutschland auf den Vergleich der verschiedenen Technologien in Abhängigkeit der Bearbeitungsintensität (vgl. Tab. 1). Dabei kam als intensivste Variante der Pflug mit einer Bearbeitungstiefe bis 23 cm zum Einsatz. Darüber hinaus wurden Varianten mit krumentiefer und mitteltiefer (in „Barnstädt“ flacher) Mulchsaat mit einer Grubber-Scheibeneggen-Kombination sowie flacher Mulchsaat mit einer Kurzscheibenegge angelegt. Nur auf dem Versuchsfeld „Barnstädt“ wurde zusätzlich auf einer fünften Variante auf Bodenbearbeitung vollständig verzichtet und Direktsaat als Anbauverfahren gewählt.

| Variante | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------|--|---|---|--|---|
| Bodenbearbeitungsverfahren | konventionell <i>krumentiefe Lockerung</i> | konservierend <i>krumentiefe Lockerung</i> | konservierend <i>flache / mitteltiefe Lockerung</i> | konservierend <i>flache Lockerung</i> | konservierend <i>ohne Bodenbearbeitung</i> |
| Versuchsfelder | Barnstädt | | | | |
| | Leipzig | | | | |
| Stoppelbearbeitung | Kurzscheibenegge (4 cm) | | | | - |
| Grundbodenbearbeitung | Pflug (23 cm) | Grubber-Scheibeneggen-Kombination (BAR: 18 cm LEI: 20 cm) | Grubber-Scheibeneggen-Kombination (BAR: 10 cm LEI: 15 cm) | Kurzscheibenegge (10 cm) | - |
| Bearbeitungsintensität |  | | | | |
| Aussaart | mit passiver Saatbettbereitung | | | | Direktsaat ohne Saatbettbereitung |

Tab. 1: Versuchsaufbau in Mitteldeutschland.

Dagegen wurden auf den russischen Versuchsfeldern auch die Unterschiede zwischen konventionellen russischen und konservierenden Technologien in Abhängigkeit verschiedener Aussaatstärken untersucht (vgl. Tab. 2). Als konventionelle Variante erfolgte die Aussaat in den beiden

Trockensteppe-Betrieben mit einer russischen Sämaschine mit Gänsefußscharen (SZS) ohne jegliche vorhergehende Bodenbearbeitung. Diese Variante wurde mit einer konservierenden Variante ohne und mit einer Variante mit Saatbettbereitung verglichen. Bei beiden Varianten variiert

ten die Aussaatmengen von 90-130 kg/ha (Betrieb „Funkner“) bzw. 100-150 kg/ha (Betrieb „Dorožinskij“). Die Aussaat erfolgte dabei mit einer Amazone-Sämaschine mit Meißelscharen. Bei dem Waldsteppe-Betrieb wurden 4 Ackerbaukonzepte getestet, die in zwei Aussaatstärken variierten. Die konventionelle Anbaumethode bestand dabei aus einer Grundbodenbearbeitung und einer Saatbettbereitung. Die Aussaat erfolgte dabei mit einer russischen Scheibendrilla (SZP). Die konservierenden Methoden unterschieden sich in der Anzahl der vorhergehenden Bearbeitungsgänge. Hier kam ebenfalls eine Amazone-Direktsaatmaschine mit Meißelscharen zum Einsatz.

Zur Überprüfung des Einflusses der Bodenbearbeitungstechnik auf den Bodenwasserhaushalt erfolgte auf den Versuchsflächen eine regelmäßige Analyse des Bodenwassergehalts (14-Tage-Intervall) in fünf verschiedenen Tiefen mit Hilfe von mobilen FDR-Sonden. Dabei fanden die

Messungen in Deutschland an 8 (Barnstädt) bzw. 4 Messpunkten (Leipzig) je Variante statt, während auf den russischen Versuchsflächen aus logistischen Gründen nur eine Einfachmessung je Variante in 10 Tiefen vorgenommen werden konnte. Zusätzlich wurden auf dem Versuchsfeld „Barnstädt“ unter der Pflug- und Direktsaatvariante stationäre FDR-Sonden in drei Tiefen installiert, die die Bodenfeuchte in einem 6-h-Intervall kontinuierlich aufzeichneten.

Ferner galt es über Laboranalyse die pedologischen Kennwerte der einzelnen Horizonte wie Humusgehalt, Korngrößenverteilung und Carbonatgehalt zu ermitteln sowie die Aufnahme der pflanzenbaulichen Parameter Feldaufgang, Wuchshöhe und Ertragszahlen durchzuführen. Zur Ermittlung der klimatischen Parameter auf den deutschen Versuchsfeldern wurden in unmittelbarer Nähe Klimastationen installiert.

| Variante | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------------|----|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----------|
| Grundbodenbearbeitung | TS | - | - | - | - | - | - | - | |
| | WS | - | - | - | - | Grubber | Grubber | Grubber | Grubber |
| Saatbettbereitung | TS | - | Catros (KSE) | Catros (KSE) | Catros (KSE) | - | - | - | |
| | WS | - | - | Catros (KSE) | Catros (KSE) | Catros (KSE) | Catros (KSE) | Kultivator | Grubber |
| Aussaat | TS | SZS (RUS) | Condor (DE) | Condor (DE) | Condor (DE) | Condor (DE) | Condor (DE) | Condor (DE) | |
| | WS | DMC (DE) | DMC (DE) | DMC (DE) | DMC (DE) | DMC (DE) | DMC (DE) | SZP (RUS) | SZP (RUS) |
| Aussaatmenge (kg/ha) | TS | 130/150 | 130/150 | 110/125 | 90/100 | 130/150 | 110/125 | 90/100 | |
| | WS | 200 | 175 | 175 | 200 | 200 | 175 | 200 | 175 |

TS: Trockensteppe; WS: Waldsteppe; KSE: Kurzscheibenegge; RUS: russ. Modell; DE: Amazone-Modell

Tab. 2: Versuchsaufbau Kulundasteppe.

4. Ergebnisse

4.1 Südsibirische Steppengebiete

Auf den russischen Versuchsflächen konnten deutliche Zusammenhänge zwischen Klima, Bodenwasservorrat und Ertrag festgestellt werden. Betrachtet über den gesamten Vegetationszeitraum zeichnete sich ab, dass der Bodenwassergehalt umso höher ist, je weniger Bearbeitungsgänge durchgeführt werden. Besonders deutlich wird dies auf dem Versuchsfeld

„Funkner“ (vgl. Abb. 2). Die Varianten ohne Bodenbearbeitung (Var. 5-7) konnten hier im für die Pflanzenentwicklung wichtigem Zeitraum der Ährenausbildung den Bodenwasservorrat bis zu 8 Tage länger speichern. Teilweise wurde sogar mehr Bodenwasser gespeichert als durch Transpiration der Pflanzen bzw. Evaporation verloren ging, sodass der Bodenwasservorrat hier erhöht werden konnte.

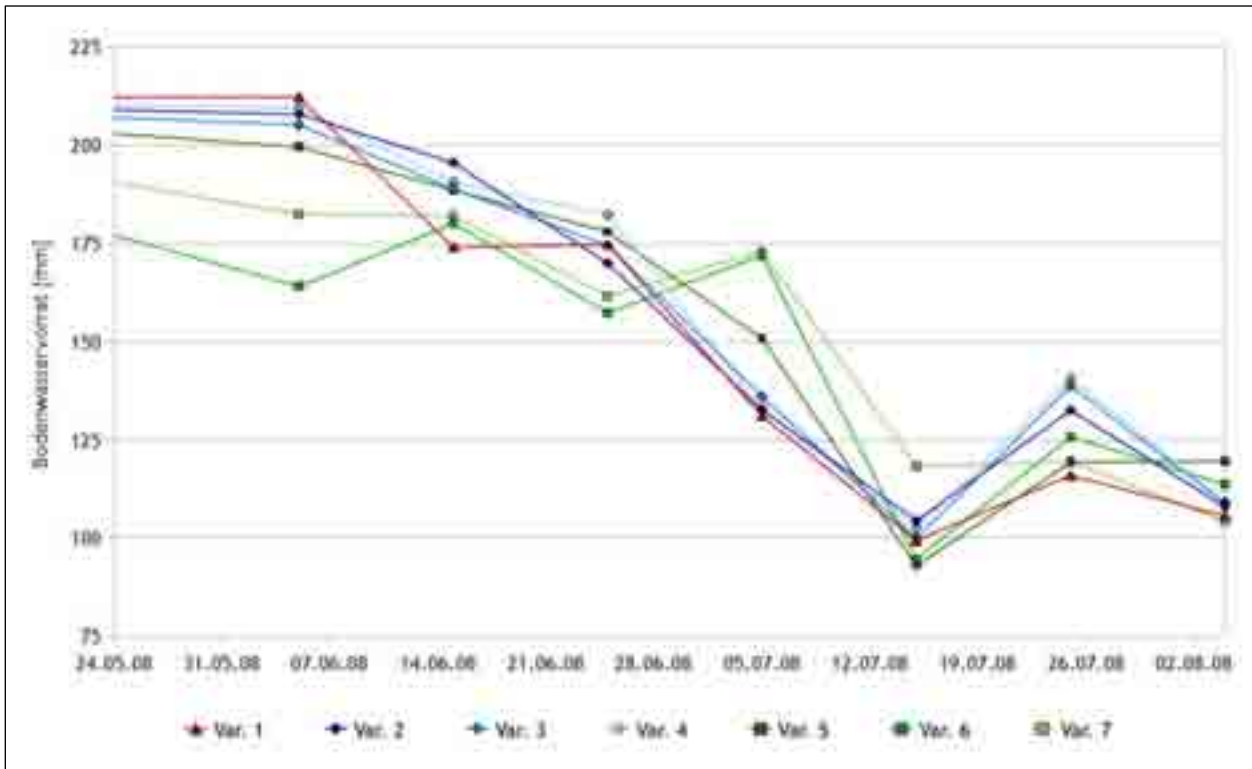


Abb. 2: Versuchsfeld „Funkner“ – Bodenfeuchtedynamik während der Vegetationsperiode.

Bei diesem Betrieb konnten auf den untersuchten Direktsaatvarianten mit durchschnittlich 14,2 dt/ha auch ein höherer Ertrag erwirtschaftet werden als auf den restlichen Varianten (vgl. Abb. 3). Dem gegenüber erzielte die konventionelle Technik, mit Ausnahme der Variante 4, den geringsten Ertrag (13,2 dt/ha). Obwohl bei dieser Variante mit 269 Pflanzen/m² die meisten pro-

duktiven Pflanzen wuchsen, konnten diese aufgrund des geringsten Einzelkorngewichts (0,66 g) und der geringsten Körnermenge je Ähre (18,1 St.) keine höheren Erträge erzielen. Demgegenüber zeigten sich bei den Direktsaatvarianten mit durchschnittlich 177 produktiven Pflanzen je Quadratmeter, 0,92 g Einzelkorngewicht und 24,5 Körnern je Ähre deutlich höhere Erträge.

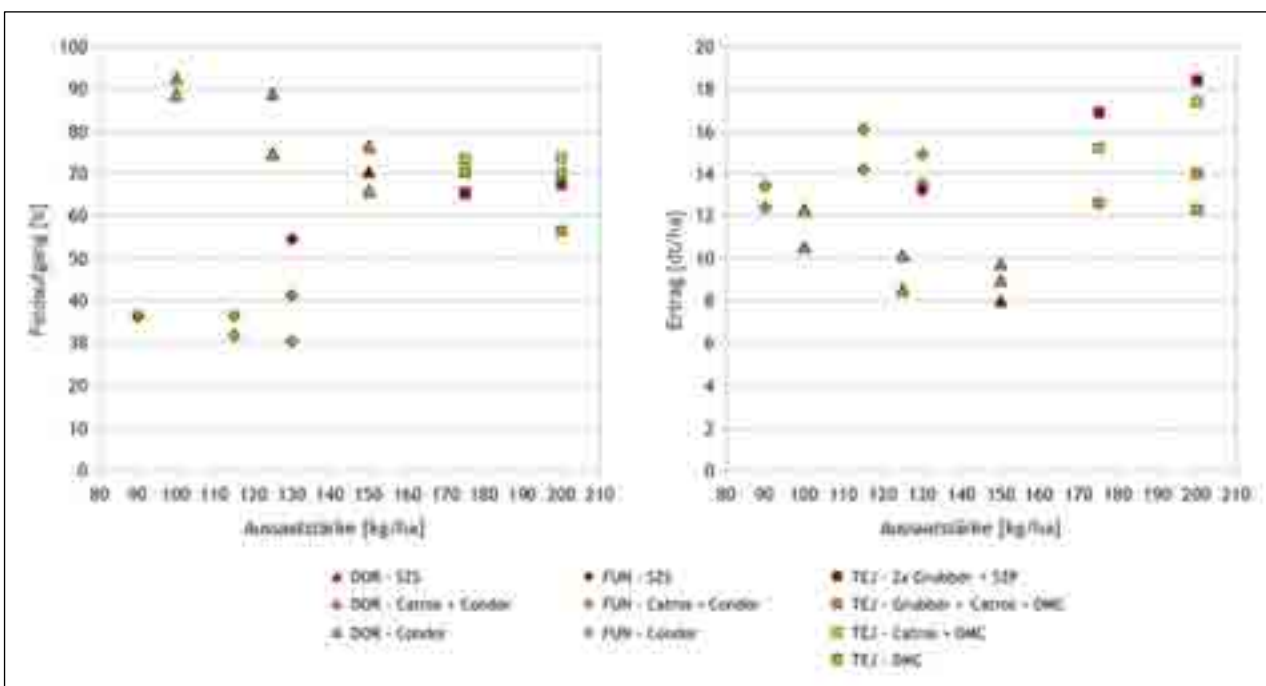


Abb. 3: Russland – Feldaufgang und Erträge in Abhängigkeit der Aussaatstärke.

Am Farmbetrieb „Dorožinskij“ zeigte sich, dass unter den vorherrschenden sehr variablen Niederschlagsbedingungen insbesondere die Aussaatstärke eine wichtige Rolle hinsichtlich der Ertragseffizienz spielt (vgl. Abb. 3). So weist die betriebsübliche Anbaumethode mit 70,4 % gegenüber einem durchschnittlichen Feldaufgang von 86 % bei den Varianten 2-4 (mit Saatbettbereitung) und 76,5 % bei den Varianten 5-7 (Direktsaat) den schlechtesten Feldaufgang auf. Dabei wird deutlich, dass mit abnehmender Aussaatstärke bessere Feldaufgänge erzielt werden. Die Rolle der Aussaatstärke spiegelt sich aber ebenfalls in den Ertragszahlen wider (vgl. Abb. 3). So erzielen die Varianten 4 und 7 mit einer Aussaatmenge von 100 kg/ha die höchsten Erträge. Im Vergleich zur betriebsüblichen Anbaumethode (8 dt/ha) erbrachten sowohl die Varianten mit Saatbettbereitung mit durchschnittlich 10,1 dt/ha als auch die Varianten ohne Saatbettbereitung mit durchschnittlich 9,9 dt/ha deutlich bessere Erträge.

Am Farmbetrieb „Tejchrib“ wird hingegen ein anderes Bild deutlich: Der positive Einfluss geringer Aussaatmengen auf Feldaufgang und Ertrag ist hier nicht erkennbar. Der Feldaufgang wird hierbei insbesondere durch die Bearbeitungsmethode beeinflusst. Mit den Varianten ohne Grundbodenbearbeitung konnten dabei mit durchschnittlich 70,1 % (Varianten 1-2) bzw. 73,5 % (Varianten 3-4) die besseren Feldaufgänge erzielt werden. Demgegenüber haben die

Varianten 5-6 mit durchschnittlich 60,7 % sowie die Varianten 7-8 mit durchschnittlich 66,5 % deutlich schlechtere Feldaufgänge zu verzeichnen (vgl. Abb. 3). Bei den Erträgen konnten mit Ausnahme der Variante 1 bei einer Aussaatmenge von 200 kg/ha deutlich höhere Ergebnisse erzielt werden (vgl. Abb. 3). Trotz der schlechteren Feldaufgänge brachten somit die beiden betriebsüblichen Varianten 7 und 8 mit durchschnittlich 17,7 dt/ha die besten Erträge. Ungeachtet überdurchschnittlicher Bodenwassergehalte konnten die Pflanzen der Varianten 1-2 aber an diesen Standorten das „Plus“ an Wasser nicht für die Ausbildung hoher Erträge nutzen, obwohl mehr als 43 % dieses Wassers pflanzenverfügbar war.

Die Ergebnisse zur Bodenfeuchtedynamik verdeutlichen, dass der Boden auf den Varianten ohne Grundbodenbearbeitung (1-4) in den oberen 20 cm zum Zeitpunkt der Aussaat um knapp 10 mm mehr Bodenwasser verfügte als auf den Varianten 5-8 (vgl. Abb. 4). So stand letztendlich den Pflanzen der beiden Varianten ohne jegliche Bodenbearbeitung (Varianten 1 2) mit durchschnittlich 217 mm während der gesamten Vegetationsperiode der höchste Bodenwasservorrat zur Verfügung. Die Pflanzen der Varianten 5-6 mit Grubber und Scheibenegge als Grundbodenbearbeitung bzw. Saatbettbereitung konnten demgegenüber nur durchschnittlich 198 mm Wasser für ihre Entwicklung nutzen. Ihnen standen somit je Quadratmeter 19 l weniger Wasser zur Verfügung!

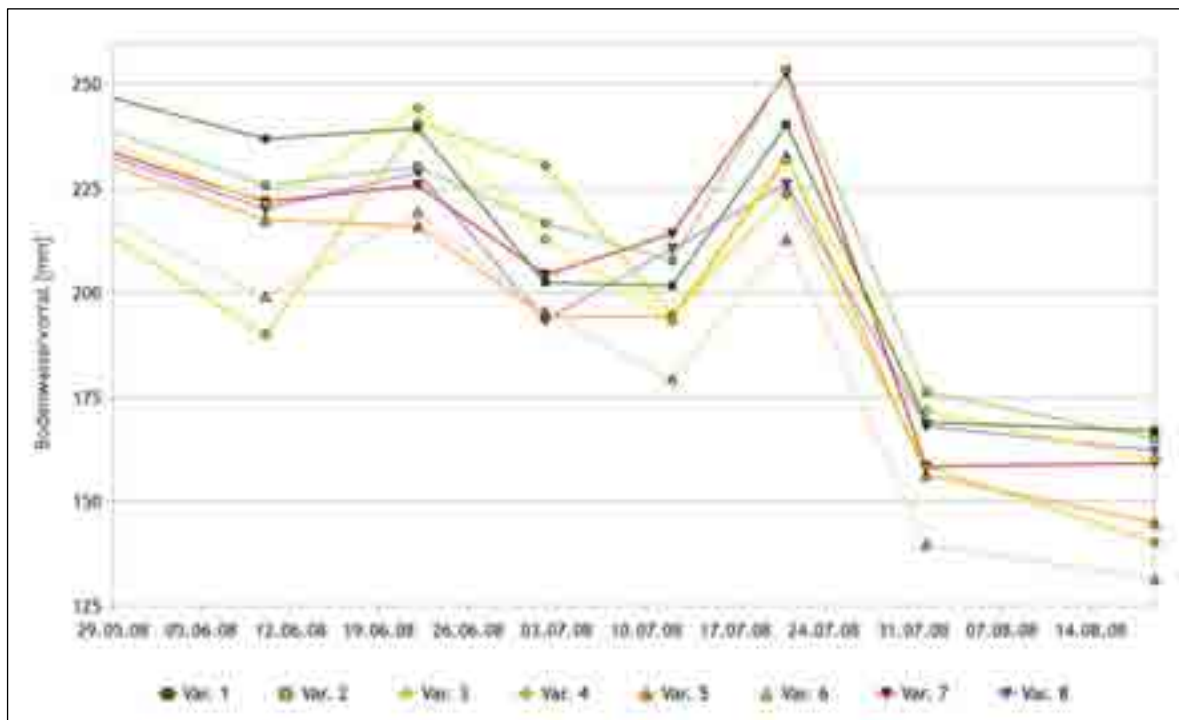


Abb. 4: Versuchsfeld „Tejchrib“ – Bodenfeuchtedynamik während der Vegetationsperiode.

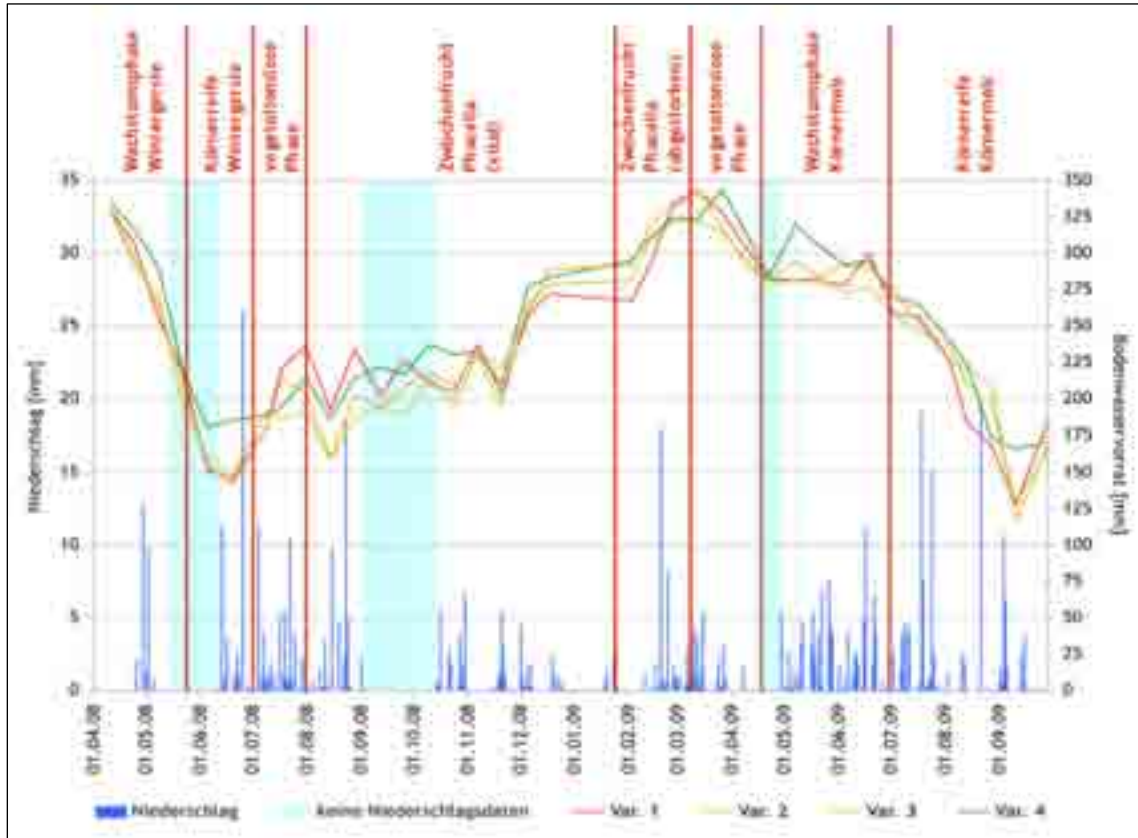


Abb. 5: Versuchsfeld „Leipzig“ – Bodenfeuchtedynamik während des Messzeitraums.

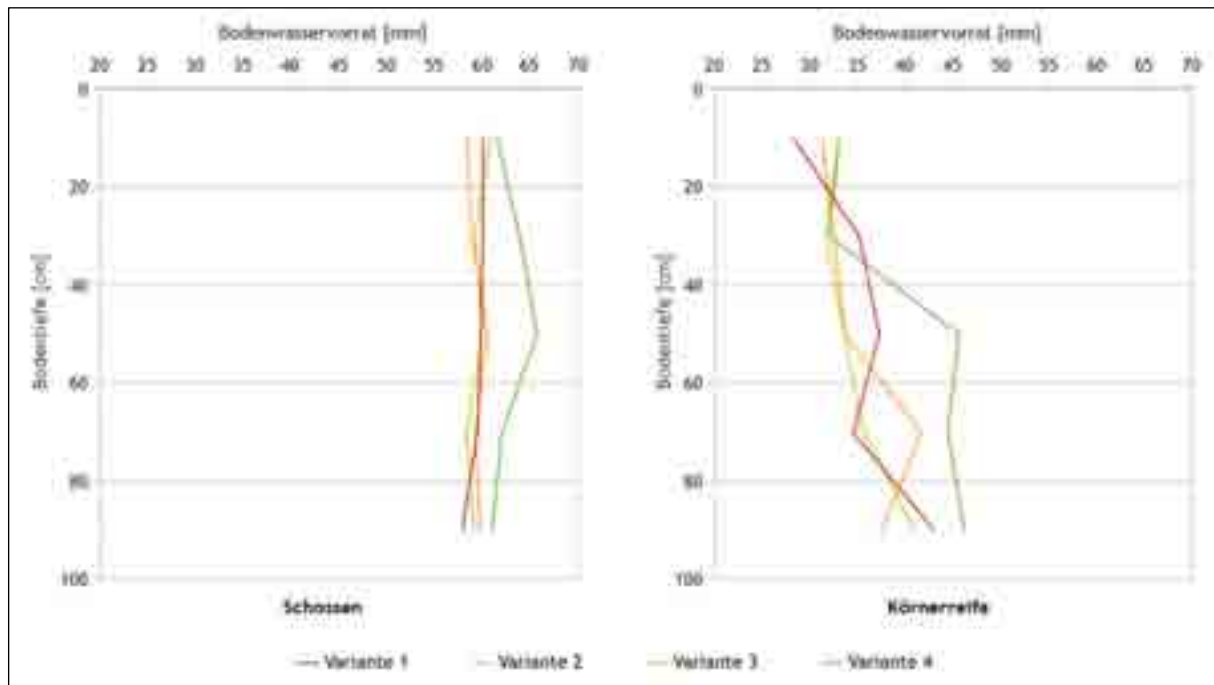


Abb. 6: Versuchsfeld „Leipzig“ – Bodenwassertiefenverteilung während Schossen und Körnerreife der Wintergerste.

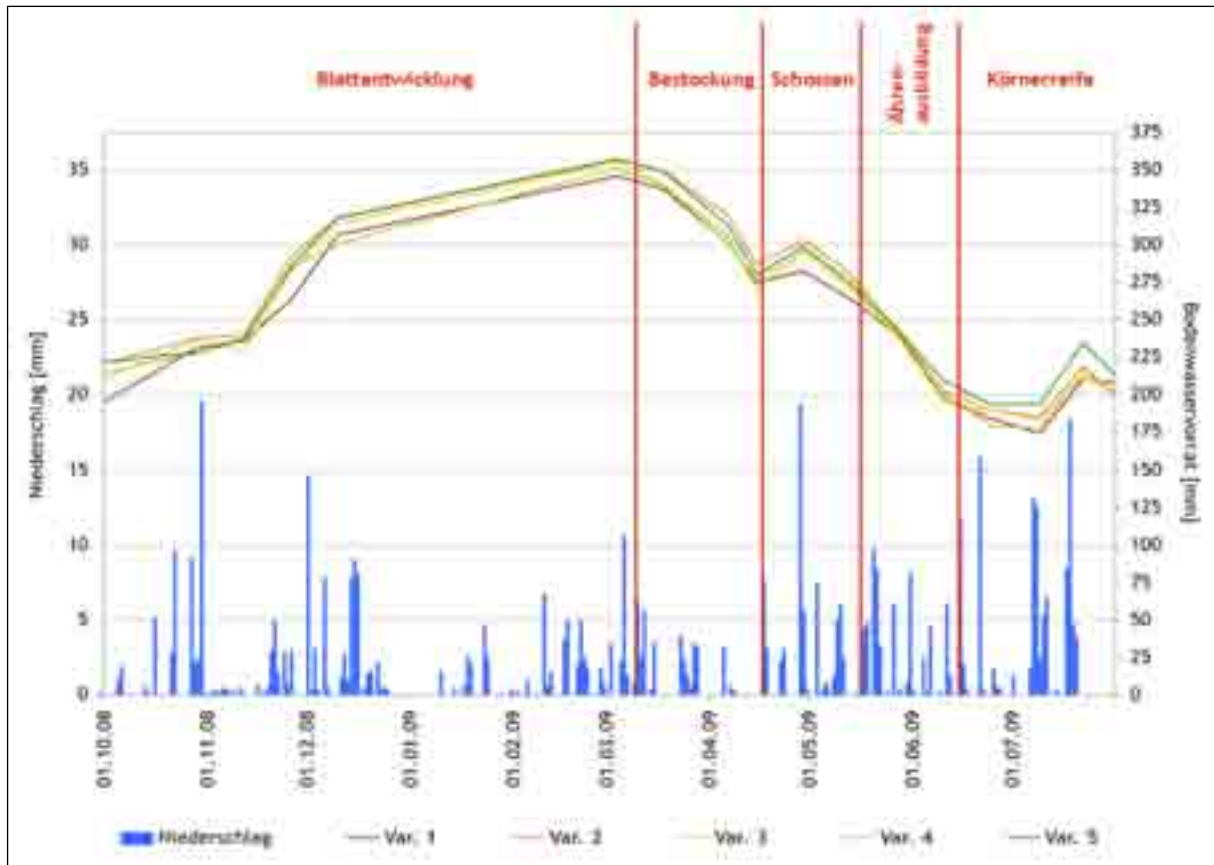


Abb. 7: Versuchsfeld „Barnstädt“ – Bodenfeuchtedynamik während der Vegetationsperiode.

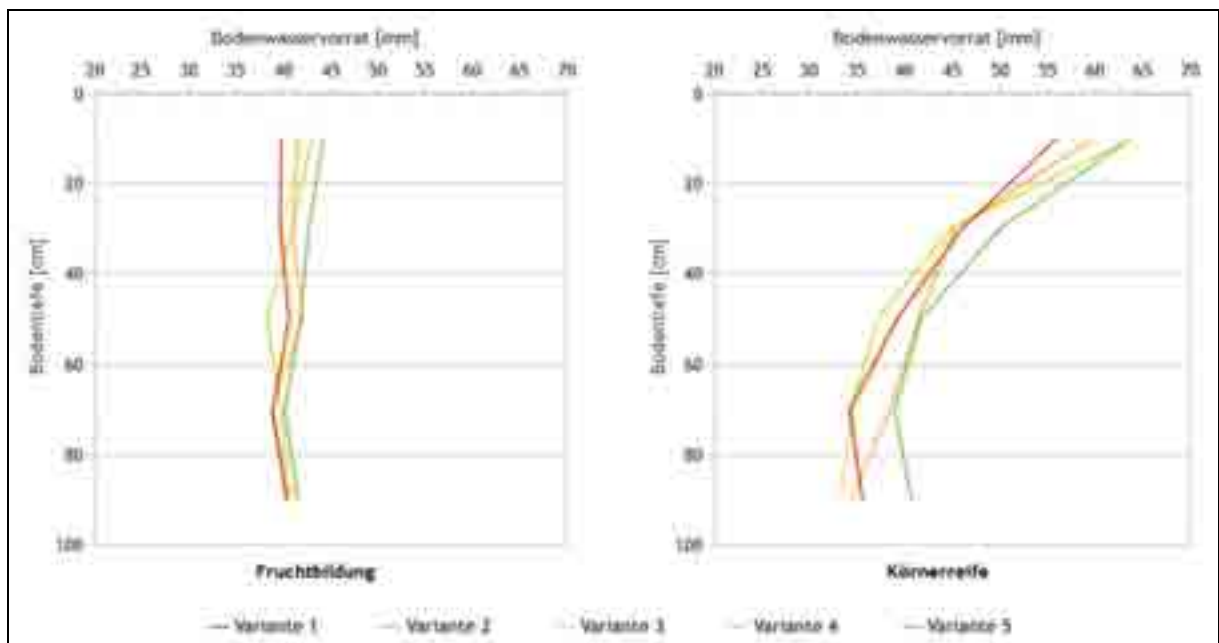


Abb. 8: Versuchsfeld „Barnstädt“ – Bodenwassertiefenverteilung während Fruchtbildung und Körnerreife des Winterweizens.

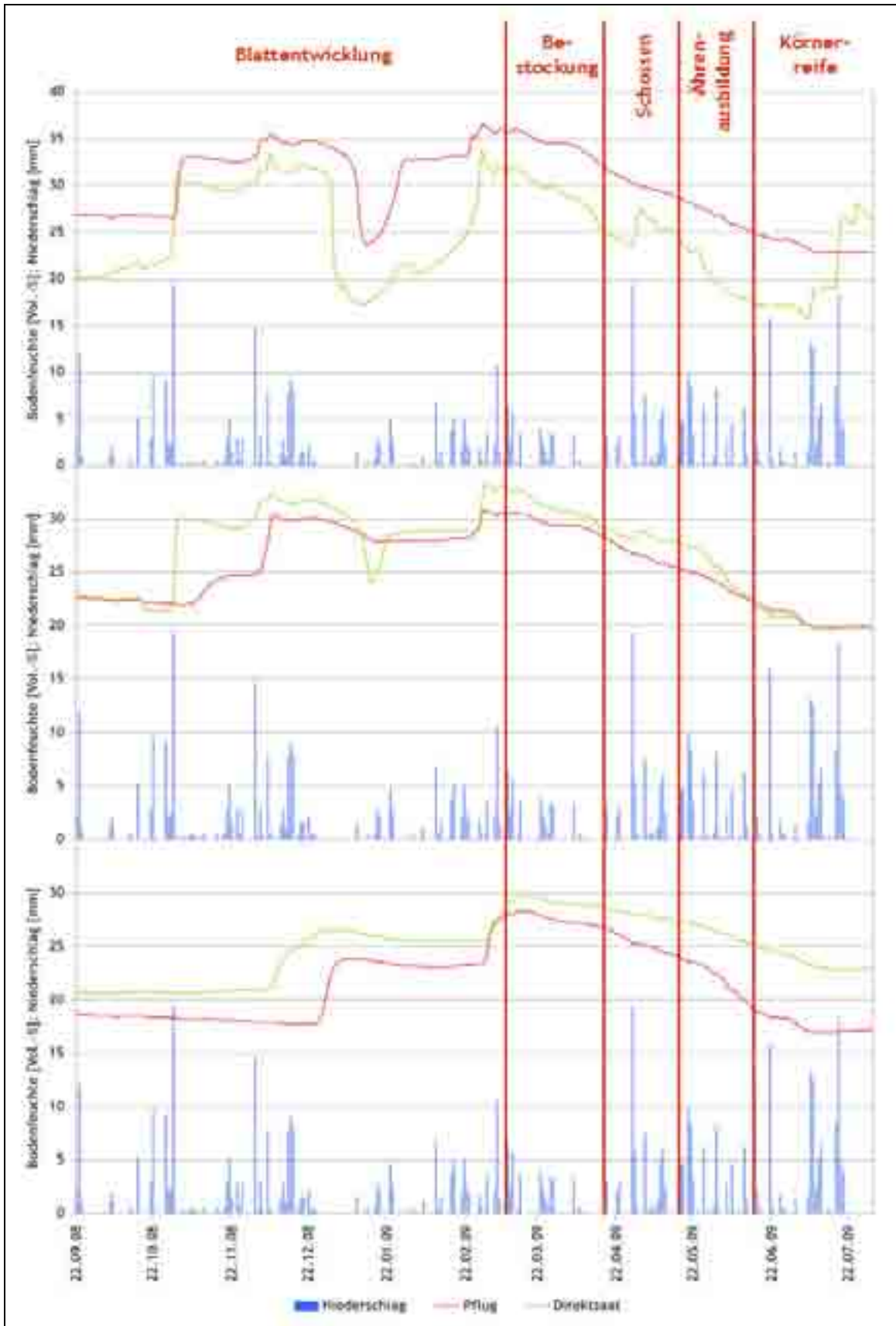


Abb. 9: Versuchsfeld „Barnstädt“ – Bodenfeuchtedynamik in 20 cm (Direktsaat) bzw. 35 cm (Pflug; oben), 50 cm (Mitte) und 90 cm Tiefe (unten).

4.2 Mitteldeutsches Trockengebiet

Aufgrund der langjährigen Bearbeitungsversuche am Standort Leipzig werden anhand der vorliegenden und ermittelten Werte noch deutlichere Zusammenhänge zwischen Bodenbearbeitung und Bodenwassergehalt erkennbar. Betrachtet man den gesamten Messzeitraum, zeigt sich, dass Variante 4 (Kurzscheibenege) eine wesentlich günstigere Wirkung auf den Bodenwassergehalt hat als die übrigen Varianten (vgl. Abb. 5). Dies lässt sich auch während der einzelnen Wachstumsphasen der Wintergerste erkennen (vgl. Abb. 6). Insbesondere während der Körnerreife steht den Pflanzen auf der Variante 4 in den tieferen Bodenschichten (und somit der Hauptwurzelmasse) somit deutlich mehr Wasser zur Verfügung als in den restlichen Varianten.

Auch am Standort „Barnstädt“ kann man, obwohl das Versuchsfeld erst 2008 angelegt wurde, bereits erste Zusammenhänge zwischen Bearbeitungsform und Bodenwasserhaushalt erkennen. Betrachtet man die Messergebnisse der mobilen FDR-Sonden aller Varianten (vgl. Abb. 7 & Abb. 8), zeigt sich, dass die Direktsaat während der Fruchtbildung und insbesondere während der Körnerreife einen deutlich positiven Einfluss auf die Bodenfeuchte innerhalb der oberen 100 cm hat als bei den restlichen Varianten.

Aus Abbildung 9 wird zudem erkennbar, dass im November nach einem größeren Niederschlagsereignis in die oberen 20 bzw. 35 cm, sowohl bei der Direktsaat als auch bei der Pflug-Variante, Wasser in den Oberboden infiltriert. Anfang Mai bzw. Mitte Juli wird demgegenüber deutlich, dass das Niederschlagswasser in 35 cm Tiefe der Pflug-Variante jedoch nicht mehr ankommt. Ein weiterer wichtiger Unterschied zwischen Pflug- und Direktsaat-Variante ist in diesem Zusammenhang auch der offensichtlich größere Bodenwasservorrat in 90 cm Tiefe auf der Direktsaatvariante insbesondere in den späten phänologischen Entwicklungsphasen.

Dies spiegelt sich letztendlich auch in den pflanzenbaulichen Parametern wider (vgl. Abb. 10): Die Direktsaatvariante weist so einen deutlich schlechteren Feldaufgang (78 %) auf als die restlichen Varianten (durchschnittlich 87,2 %). Damit ist im Endeffekt auch eine geringere Bestandsdichte verbunden (444 Halme/m² stehen durchschnittlich 512 Halme/m² gegenüber). Dieser scheinbare Nachteil wird aller-

dings während der Ausbildung der Körner mehr als ausgeglichen, sodass schließlich mit 82,6 dt/ha der höchste Ertrag erzielt werden konnte. Die Pflug-Variante schnitt mit 73,6 dt/ha deutlich schlechter ab.

5. Diskussion

5.1 Südsibirische Steppengebiete

Aus den Befunden auf den russischen Untersuchungsstandorten wird offensichtlich, dass die Bearbeitungsmethode bzw. die Anzahl der Bearbeitungsgänge einen Zusammenhang zu dem gespeicherten Bodenwasser erkennen lässt. Dies gilt sowohl für die Trockensteppe als auch für die niederschlagsreichere Waldsteppe.

So stand den Pflanzen am Farmbetrieb „Funkner“ auf den Flächen ohne vorhergehende Bodenbearbeitung während einer Phase des höchsten Wasserbedarfs (zwischen Schossen und Blüte) längere Zeit mehr Wasser zur Verfügung. Diese Aussagen bestätigen Erfahrungen von Köller & Linke (2001), die zeigen, dass Direktsaatbestände etwa 10-14 Tage später den permanenten Welkepunkt erreichen als gepflügte Flächen. Durch die längere Verfügbarkeit von Bodenwasser konnten bei diesem Betrieb auf den Direktsaatvarianten letztlich auch höhere Erträge erwirtschaftet werden als auf den anderen Varianten. Hauptgrund hierfür ist, dass hier während der Ausbildung der Ähren mehr Wasser verfügbar war, um größere und mehr Körner je Pflanze zu entwickeln. Bei den Varianten mit konventioneller Technik, aber auch bei denjenigen mit vorhergehender Bodenbearbeitung, stand anfänglich allerdings mehr Wasser zur Verfügung. Zusätzlich erwärmt sich der Boden aufgrund der geringeren Bodenbedeckung durch Ernterückstände schneller, sodass es durch die Bodenbearbeitung zu einer stärkeren Mineralisierung mit der Folge, dass mehr Stickstoff im Boden gebildet wurde, kam. Alle diese Ursachen führten letztendlich bei den Weizenpflanzen zu einer stärkeren Bestockung und folglich zu einem schnelleren Verbrauch des Bodenwasservorrats. Durch den späteren Wassermangel kam es dann jedoch zu einer gravierenden Beeinträchtigung bei der Ähren- und Kornausbildung. Diese Erkenntnisse stimmen ebenfalls mit Beobachtungen von Bischoff (2009) überein, der feststellte, dass bei ausgeglichener Wasserver-

sorgung der Weizen weniger Stroh und dafür mehr Korn produziert.

Ein weiterer deutlicher Zusammenhang zwischen den klimatischen Besonderheiten dieses Naturraums, der Bewirtschaftungsform und dem Bodenwasserhaushalt konnte an dem zweiten Betrieb in der Trockensteppe („Dorožinskij“) beobachtet werden. Dieser Naturraum ist insbesondere durch eine große Variabilität der Niederschläge gekennzeichnet. Dies zeigte sich während der Vegetationsperiode Mai-August 2008, als am Untersuchungsstandort nur 74 mm Niederschlag fielen. Im Mai wurde hierbei gar kein Niederschlag gemessen. Durchschnittlich fallen in diesem Zeitraum 157 mm, also mehr als doppelt so viel. So war das Jahr 2008 in diesem Zeitraum ein außerordentlich trockenes Jahr, sodass speziell der Speicherung der im Winter fallenden Niederschläge im Boden eine wichtige Rolle zukommt.

Unter diesen Bedingungen zeigte sich zudem, dass auch die Aussaatstärke selbst für die Ertragsgestaltung von großer Bedeutung ist. Je geringer die Aussaatstärke ist, desto weniger Pflanzen müssen sich das ohnehin wenige Bodenwasser für das Wachstum teilen. Die Wasserkonkurrenz hat hier somit einen entscheidenden Einfluss auf die spätere Entwicklung der Pflanzen. Dies zeigt sich sowohl an besseren Feldaufgängen als auch an höheren Erträgen bei geringeren Aussaatmengen. Die kleinere Anzahl an ährentragenden Halmen führt daher zu weniger Stroh bzw. Biomasse und einer somit verbundenen geringeren unproduktiven Verdunstung, sodass letztendlich größere Tausendkorngewichte und mehr Körner je Ähre gebildet werden können.

Auffällig sind ebenfalls die geringen Feldaufgänge bei der Variante 1 (konventionelle Technologie). Bei der häufig eingesetzten russischen Direktsämaschine SZS kommen Gänsefußschare zum Einsatz, die den Boden großflächig schneiden, sodass hier im Prinzip eine Bodenbearbeitung in Kombination mit dem Drillvorgang stattfindet und man von einer Direktsaat im engeren Sinne nicht mehr sprechen kann. Dabei wird der feuchtere Boden nach oben geholt und ist somit einer schnelleren Verdunstung initiiert, in deren Folge dem Saatkorn zur Keimung weniger Wasser zur Verfügung steht und daher auch weniger Pflanzen auflaufen. Zusätzlich sind die Schare bei diesem Verfahren starr gelagert, sodass leichte Bodenebenenheiten nicht ausgeglichen werden können und es zu einer heterogenen Tiefenablage der

Saatkörner kommt, was sich letzten Endes ebenfalls in weniger auflaufenden Pflanzen widerspiegelt. Dies konnten die Pflanzen aufgrund der schlechten Niederschlagsverhältnisse nicht mehr ausgleichen, sodass auf dieser Variante letztendlich auch nur der geringste Ertrag erzielt werden konnte.

Wie die Ergebnisse auf dem Waldsteppenstandort „Tejchrib“ des Weiteren zeigen, tritt bei höheren Niederschlägen die Wasserkonkurrenz als limitierender Faktor der Pflanzenentwicklung zurück. Die Aussaatstärke hat dann kaum noch Einfluss auf den späteren Ertrag. Entscheidend ist hier die Anzahl der Bearbeitungsgänge vor der Aussaat. Wird auf den Grundbodenbearbeitungsgang verzichtet, werden höhere Feldaufgänge erzielt. Dies zeigt, dass dieser zusätzliche Bearbeitungsgang vor der Aussaat zu einer höheren Verdunstung im Oberboden führt, sodass dem Saatgut bei der Aussaat weniger Wasser für die Keimung zur Verfügung steht. So stand letztendlich den Pflanzen auf den Varianten ohne jegliche Bodenbearbeitung während der Vegetationsperiode das meiste Wasser zur Verfügung, während mit jedem zusätzlichen Bearbeitungsgang weniger Wasser im Boden verblieb.

Es wird damit auf dem Versuchsfeld „Tejchrib“ ein Zusammenhang zwischen den Erträgen und den Aussaatmengen deutlich, der allerdings aufgrund der geringen Datenmenge nicht statistisch quantifiziert werden konnte: hohe Aussaatstärken erzielten auch höhere Erträge. Dies lässt auch den Schluss zu, dass mit zunehmenden Niederschlägen der Einfluss der Aussaatmenge auf die Erträge abnimmt. Trotz höherer Wasserkonkurrenz durch die größere Anzahl an Pflanzen scheint der Bodenwasservorrat dadurch hinreichend groß gewesen zu sein, um bessere Erträge erzielen zu können.

Zum Standort „Tejchrib“ ist allerdings zu bemerken, dass hier eine mangelhafte Unkrautbekämpfung durchgeführt wurde. Da besonders bei Direktsaat der Unkrautdruck aufgrund der fehlenden Bodenbearbeitung hoch ist, wirkt sich dies hier deutlich aus. Das Überangebot an Bodenwasser auf den Direktsaat-Varianten im Vergleich zu den anderen Varianten wird durch den hohen Unkrautbesatz und der damit verbundenen höheren Wasser- und Nährstoffkonkurrenz überlagert, sodass dadurch keine höheren Erträge erzielt werden konnten. Letztendlich wirkt sich hier in diesem Sachzusammenhang auch die Aussaatstärke gravierender aus: Mit höheren Aussaatmengen kann hier schneller ein

Bestandsschluss erreicht werden. Somit sind Unkräuter einer stärkeren Konkurrenz gegen die Weizenpflanzen ausgesetzt, woraus letztlich ein geringerer Unkrautbesatz und somit höhere Erträge ermöglicht werden.

5.2 Mitteldeutsches Trockengebiet

Auf dem langjährigen Bearbeitungsversuch in Leipzig wird erkennbar, dass auch die Intensität der Bodenbearbeitung einen Einfluss auf die Speicherung des Bodenwassers hat. Die geringe Arbeitstiefe aber auch die weniger starke Durchmischung der Kurzscheibenegge im Vergleich zur Grubber-Scheibeneggen-Kombination bewirken einen höheren Besatz an Bodenorganismen wie z.B. Regenwürmer auf der Variante 4.

Eine wichtige Voraussetzung für eine schnelle und effiziente Infiltration von Niederschlagswasser in tiefere Bodenschichten stellt die Kontinuität von Grobporen dar. Durch die sehr tiefe und dauerhaft wendende Bodenbearbeitung des Pfluges sind die Poren hier im Oberboden jedoch durch eine geringe Kontinuitäten gekennzeichnet (Wilkins 1994). Demgegenüber findet man auf konservierend bearbeiteten Flächen eine höhere Anzahl und höhere Kontinuität der Bioporen (Regenwurmgänge und Wurzelröhren) vor (Beisecker 1994, Peigné et al. 2009). Je mehr Bioporen vorhanden sind, desto zügiger infiltrieren Starkniederschläge und desto geringer sind unproduktive Wasserverluste durch Oberflächenverdunstung (Bischoff & Hofmann 2009). Im Ergebnis dessen steht den Pflanzen in den phänologisch wichtigen Phasen der Ährenbildung und Körnerreife mehr Wasser im Unterboden zur Verfügung als auf der Pflug-Variante.

Insbesondere unter Direktsaat führt somit die hohe Anzahl und Kontinuität der Bioporen zu einer deutlich schnelleren Infiltration, was sich sehr gut auf dem Versuchsfeld „Barnstädt“ beobachten lässt. Da das Feld bereits vor Anlage der Versuchsvarianten mehr als 5 Jahre pfluglos bewirtschaftet wurde, sind auch an diesem Standort trotz der erst einjährigen Versuchsdauer schon erste positive Effekte auf Bodenstruktur und -gefüge bemerkbar.

Somit wird deutlich, dass die Direktsaat-Variante eine wesentlich bessere Infiltrationseigenschaft besitzt als die Pflug-Variante. Während im Herbst der Einfluss der Verdunstung vernachlässigbar ist und sowohl bei Pflug als auch bei Direktsaat Niederschlagswasser infiltrierte, wird dieser Unterschied mit zunehmenden

Temperaturen deutlich größer. So kann das Niederschlagswasser aufgrund der geringeren Kontinuität der Grobporen weitaus schlechter in tiefere Bodenschichten transportiert werden, sodass es hier unproduktiv verdunstet bzw. oberirdisch abfließt, bevor es in größere Tiefen gelangen kann. Dagegen kann auf der Direktsaatvariante aufgrund der durchgängigen Grobporen das Niederschlagswasser schnell auch in den Untergrund infiltrieren. Als Folge wird bei der Direktsaat somit mehr Bodenwasser auch in tieferen Schichten gespeichert.

Mangelnde Infiltrabilität kann allerdings auch Folge von Verschlammung sein (Ehlers 1996). So beobachtete Groß (1994) unter Direktsaat eine höhere Aggregatstabilität als unter Pflug. Dies ist zum Einen auf einen höheren Bodenorganismenbesatz bei abnehmender Bearbeitungsintensität zurückzuführen (Köller & Linke 2001), deren Ausscheidungen für eine Verkittung kleiner Bodenaggregate und einer damit verbundenen erhöhten Aggregatstabilität sorgen. Verantwortlich hierfür ist im Wesentlichen die verstärkte Bildung von organomineralischen Verbindungen, bei denen organische und mineralische Teilchen sehr stark miteinander verknüpft sind und somit zur Gefügestabilisierung, Bindung von organischer Substanz und einer damit verbundenen besseren Wasserspeicherfähigkeit beitragen. Zum Anderen kommt es auf konservierend bearbeiteten Böden in der Oberkrume zu einer stärkeren Humusakkumulation (Ermich & Hofmann 1991, Beisecker 1994, Dou & Hons 2006), während durch die dauerhaft wendende Bearbeitung des Pflugs der Humus über den gesamten Pflug-Horizont gleichmäßig verteilt ist. Diese Beobachtung konnte auch auf dem Versuchsfeld „Leipzig“ gemacht werden (Voßhenrich 2007): Unter Pflug ist bis in 30 cm Tiefe ein C_{org} -Gehalt von 1,18-1,2 % gemessen worden, während unter der Kurzscheibeneggen-Variante in den oberen 10 cm ein C_{org} -Gehalt von 1,45 % gemessen wurde, der kontinuierlich bis 30 cm auf 1,04 % abnimmt. Der höhere Humusgehalt unter Minimalbodenbearbeitung wirkt aber ebenfalls Gefüge stabilisierend, sodass einer Verschlammung besser entgegen gewirkt werden kann (Ermich & Hofmann 1991). So beschreibt Grube (2002), dass nach einem einmaligen starken simulierten Niederschlagsereignis bei der Pflug-Variante eine ähnliche Versickerungsleistung wie bei der Direktsaat gegeben ist, jedoch bei einem zweiten und dritten Ereignis gleicher Stärke eine schlechtere Infiltration

auftritt. Infolge der Instabilität der oberflächennahen Aggregate und einer nicht vorhandenen Bodenbedeckung kommt es hier zu einer Verschlammung der Ackeroberfläche.

Der gleiche Effekt konnte ursächlich auch bei der Analyse der Bodenfeuchtedynamik auf dem Versuchsfeld „Barnstädt“ erkannt werden: Der Boden an der Geländeoberfläche weist mit 34,7-35,2 % Grobschluffanteil und der Bodenart „schwach bis mittel toniger Schluff“ (Ut2-Ut3) eine mittlere bis starke Verschlammungsneigung auf (nach Ad-Hoc-AG Boden 2005). Während nach dem ersten größeren Niederschlagsereignis (30.10.2008) nach der Grundbodenbearbeitung sowohl bei Pflug als auch bei Direktsaat eine Infiltration des Niederschlagswassers registriert werden konnte, ist bereits bei dem nächsten Ereignis in nahezu gleicher Höhe (28.04.2009) unter Pflug eine Infiltration bis 30 cm Tiefe aufgrund der verschlammenden Wirkung der bis dahin aufgetretenen Niederschläge nicht mehr nachweisbar.

Die Speicherung von mehr Wasser im Unterboden wirkt sich letztendlich auch auf die spätere Entwicklung der Pflanzen aus. Auf der Direktsaat-Variante laufen während der ersten Wochen nach der Aussaat deutlich weniger Pflanzen auf als auf den restlichen Varianten (vgl. Abb. 10). Dies ist auf die Saatechnik sowie vorhergehende Bodenbearbeitung zurückzuführen: Während auf der Direktsaat-Variante die Saatkörner in den unbearbeiteten Boden und

einer daraus folgenden hohen Bodenbedeckung aus Ernterückständen gedreht wurden, erfolgte die Aussaat auf den restlichen Varianten mit einer Sämaschine mit kombinierter Saatbettbereitung. Dadurch konnte auch vorhandenes Stroh noch weiter in den Boden eingearbeitet werden. Durch die geringere Strohaufgabe und auch eine damit verbundene bessere Erwärmung des Bodens haben die Saatkörner hier einen besseren Bodenschluss, sodass höhere Feldaufgänge auf diesen Varianten erzielt werden können. Aus den geringeren Feldaufgängen unter Direktsaat resultieren allerdings wieder Effekte, wie sie bereits in den Steppengebieten Russlands beobachtet werden konnten: Auf der Direktsaat-Variante stand weniger Pflanzen mehr Bodenwasser zur Verfügung, sodass sich hier auch größere Körner entwickelten. Ermich & Hofmann (1991) konnten ebenfalls im Mitteldeutschen Trockengebiet beobachten, dass verminderte Feldaufgangswert häufig entweder durch erhöhte Bestockung oder über Ertragsstrukturmerkmale wie Kornzahl je Ähre und Tausendkorngewicht kompensiert werden. Insbesondere während der Ährenausbildung und der Reifephase der Körner nutzten die Pflanzen auch das in tieferen Bodenschichten vorhandene Wasser für ihre Entwicklung effizienter. Im Resultat dessen wurde mit der Direktsaat 0,9 t mehr Weizen je Hektar geerntet als mit dem Pflug.

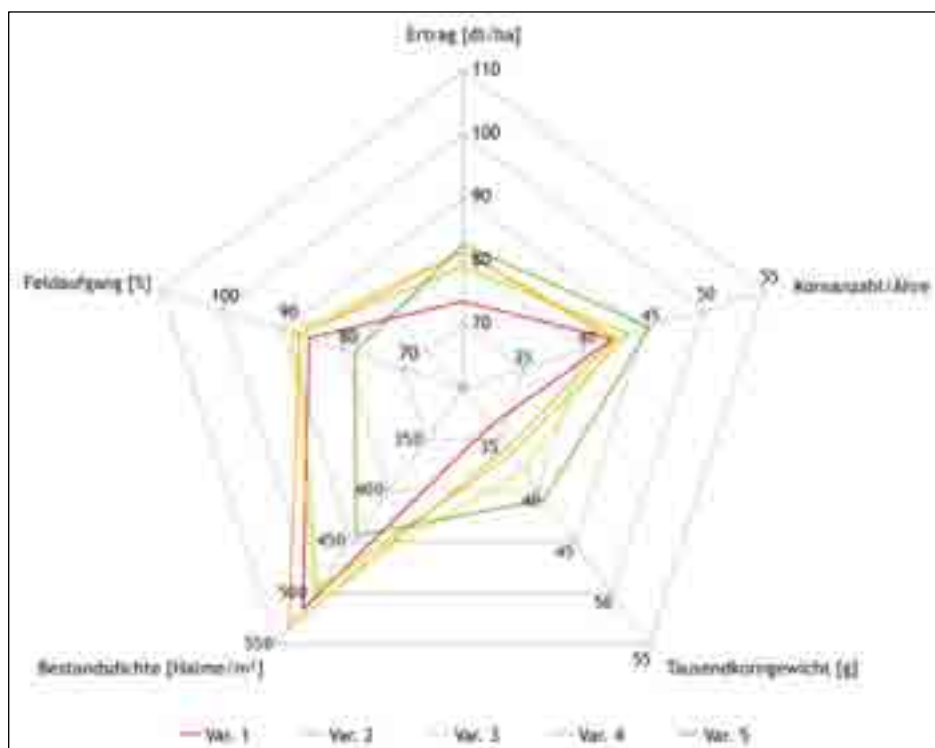


Abb. 10: Versuchsfeld „Barnstädt“ – Pflanzenbauliche Parameter.

6. Schlussfolgerungen

Für den Ackerbau in Trockengebieten ist die Speicherung der Winterniederschläge aufgrund der hohen Variabilität der Sommerniederschläge und deren Verdunstungsverluste eine wichtige Aufgabe. So sind für eine effiziente Speicherung und Nutzung des Bodenwassers besonders im Unterboden angepasste Nutzungsstrategien unumgänglich. Dazu gehört auch der Verzicht auf die Verwendung des Pfluges, um zum einen die Kontinuität und Anzahl der biogenen Grobporen zu erhöhen und so wesentlich zu einer höheren Infiltration beizutragen. Zum anderen wird dadurch unproduktive Verdunstung von der Ackeroberfläche minimiert und die Ausbildung eines stabilen Bodengefüges gefördert, was wiederum die Verschlammungsgefahr herabsetzt.

Als weiterer Bestandteil ist eine Minimierung der Bodenbearbeitungsgänge bis hin zum völligen Verzicht auf Bodenbearbeitung zu sehen, da jeder zusätzliche Bodenbearbeitungsgang für zusätzliche Verdunstung sorgt und somit dem ohnehin geringen Bodenwasservorrat einen wichtigen Teil entzieht.

7. Danksagung

Das Forschungsprojekt wird durch die Amazonen-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG gefördert. Wir möchten an dieser Stelle Herrn G. Pflöck vom Agrarunternehmen Barnstädt e.G. für die tatkräftige Unterstützung bei der Organisation der Versuche am Standort Barnstädt danken. Weiterhin gilt ein besonderer Dank den studentischen Hilfskräften, die mit viel Engagement bei der Probenahme und Durchführung der Bodenfeuchtemessungen sowohl in Deutschland als auch in Russland zur Erhebung der Daten entscheidend beitrugen.

8. Literatur

- Ad-Hoc-AG Boden (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 5. Aufl.; Hannover (Schweizerbart).
- Beisecker, R. (1994): Einfluß langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf das Bodengefüge, die Wasserinfiltration und die Stoffverlagerung eines Löß- und eines Sandbodens. – *Bodenökologie und Bodengenese*, 12, Berlin.
- Bischoff, J. (2009): Konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat in einer vierfeldrigen Fruchtfolge: Stroh schützt den Boden vor Austrocknung. – *Landwirtschaft ohne Pflug*, 4: 18-23.
- Bischoff, J. & Hofmann, B. (2009): Bodenbearbeitung auf Löß- und Sandstandorten: Sandboden reagiert anders als Löß. – *Landwirtschaft ohne Pflug*, 2: 27-31.
- Brinkman, R. & Sombroek, W. G. (1996): The Effects of Global Change on Soil Conditions in Relation to Plant Growth and Food Production. – In: Bazzaz, F. A. & Sombroek, W. G. (Hrsg.): *Global Climate Change and Agricultural Production*: 49-64; Chichester.
- Dammann, S. (2005): Ursachen und Auswirkungen der Ovragebildung in der südsibirischen Kulundasteppe und ihre Wechselwirkungen zur Naturraumausstattung sowie der Landnutzung. – Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; Halle (Saale). – (Unveröffentlicht)
- Dou, F. & Hons, F. M. (2006): Tillage and Nitrogen Effects on Soil Organic Matter Fractions in Wheat-based Systems. – *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70: 1896-1905.
- Ehlers, W. (1996): *Wasser in Boden und Pflanze*; Stuttgart (Ulmer).
- Ermich, D. & Hofmann, B. (1991): Einfluß langjährig nichtwendender Bodenbearbeitung im Vergleich zur Pflugkultur auf Bodengefügeeigenschaften und das Pflanzenwachstum im mitteldeutschen Trockengebiet. – In: VDI Gesellschaft Agrartechnik (Hrsg.): *Land- und verfahrenstechnische Aspekte zur Gesundung der Böden – umweltschonend und kostensparend*: 166-182; Halle (Saale).
- Fabig, I. (2007): Die Niederschlags- und Starkregentwicklung der letzten 100 Jahre im Mitteldeutschen Trockengebiet als Indikatoren möglicher Klimaänderungen. – Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; Halle (Saale).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1993): *World Soil Resources: An explanatory note on the FAO World Soil Resources Map at 1:25 000 000 scale*. World Soil Resources Reports, 66 Rev.1; Rom.
- Franke, J., Goldberg, V. & Bernhofer, C. (2009): Sachsen im Klimawandel – Ein Statusbericht. – In: *Wiss. Zeitschr. TU Dresden*, 58 (3-4): 32-38.
- Gommes, R. (1993): Current Climate and Population Constraints on World Agriculture. – In: Kaiser, H. M. & Drennen, T. E. (Hrsg.): *Agricultural Dimensions of Global Climate Change*: 67-86; Delray Beach.
- Groß, U. (1994): Wirkung der Bodenbearbeitungsintensität auf Aggregat- und Oberflächenstabilität. – In: Tebrügge, F. & Dreier, M. (Hrsg.): *Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristigen Auswirkungen auf den Boden*: 83-90; Gießen.
- Grube, J. (2002): Beurteilung von konservierenden Bodenbearbeitungssystemen zur Bewirtschaftung peripherer Ackerbaustandorte: unter Berücksichtigung verfahrenstechnischer, ökonomischer, ökologischer sowie pflanzenbaulicher und bodenphysikalischer Parameter; Göttingen.

- International Food Policy Research Institute (IFPRI) (Hrsg.) (2009): *Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation*; Washington.
- Köller, K. & Linke, C. (2001): *Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug*, 2. Aufl.; Frankfurt am Main (DLG-Verlag).
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU) (Hrsg.) (2008): *Regionale Klimadiagnose für Sachsen-Anhalt: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt REKLI – Sachsen-Anhalt II. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt*, 5; Halle (Saale).
- Meinel, T. (2002): *Die geoökologischen Folgewirkungen der Steppenumbrüche in den 50er Jahren in Westsibirien. – Dissertation*, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; Halle (Saale).
- Mendelsohn, R. & Dinar, A. (2009): *Climate Change and Agriculture: An Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation and Distributional Effects*; Cheltenham, Northampton.
- Peigné, J., Cannavaciolo, M., Gautronneau, Y., Aveline, A., Giteau, J. L. & Cluzeau, D. (2009): *Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. – Soil & Tillage Research*, 104: 207-214.
- Spaar, D. & Schuhmann, P. [Hrsg.] (2000): *Natürliche Grundlagen der Pflanzenproduktion in den Ländern der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten und des Baltikums*; Bergen/Dumme.
- Voßhenrich, H.-H. (2007): *Untersuchungen zum Kohlenstoffgehalt unter verschiedenen Bodenbearbeitungsmethoden auf dem Versuchsfeld "Leipzig"*; Leipzig (Unveröff.).
- Wilkens, K. (1994): *Einfluß langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf das Makrogefüge des Bodens. – In: Tebrügge, F. & Dreier, M. (Hrsg.): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristigen Auswirkungen auf den Boden: 117-128*; Gießen.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (1994): *Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden*; Bonn.

Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33, S. 49-56, 3 Abb.
Halle (Saale), Mai 2011

Simulation einer sensorgestützten Präzisionsbewässerung von Standorten im Südtiroler Obstanbau

Sven Grashey-Jansen*

Grashey-Jansen, S. (2011): Simulation einer sensorgestützten Präzisionsbewässerung von Standorten im Südtiroler Obstanbau. [Simulation of a sensor-based precision irrigation of orchards in South Tyrol.] – Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33: 49-56, Halle (Saale).

Kurzfassung: Die Folgen des Klimawandels machen einen bewussteren Umgang mit den Wasserressourcen notwendig. Insbesondere in Agrarregionen, welche nur unter hohem Bewässerungseinsatz wirtschaftlich rentable Erträge liefern, kann durch eine bedarfsorientierte und teilflächenspezifische Bewässerung eine bedeutende Wassereinsparung ohne Ertragseinbußen erreicht werden. Mehrjährige bodenhydrologische Untersuchungen in den bewässerten Obstanbauregionen Südtirols haben ergeben, dass die pedologischen Standortunterschiede einen bedeutenden, bisher aber meist unbeachteten, Einfluss auf die lokalen Variationen der Bodenwasserdynamik und der für die Pflanzen verfügbare Wassermenge haben.

Numerische und agenten-basierte Simulationsversuche haben gezeigt, dass eine dynamisch gesteuerte Bewässerung durch den Einsatz bodenspezifisch kalibrierter Feuchtesensoren eine optimierte Wasserzufuhr ermöglicht. Durch eine verkürzte Bewässerungsdauer mit variablen Intensitäten, welche sich an bodenphysikalischen Kennwerten orientieren, können deutliche Wassereinsparungen erzielt werden.

Einer geplanten Validierung an Bodensäulen im Labor und Optimierung dieses Simulationsansatzes soll eine Praxisprüfung im Freigelände folgen.

Abstract: In many climatic regions, the availability of water in soils determines to a large extent their agricultural productiveness. Especially in irrigated agricultural areas information about the actual soil water dynamics can deliver valuable data to optimize the irrigation practice with regard to volume and duration of irrigation.

South Tyrol is a region where these questions are discussed currently. Intensive orcharding is practised there within an area of about 18.000 hectares. Because of the local climatic situation irrigation is considered necessary and has been practised for a long time. However, at many locations much more water is used for irrigation than the apple trees actually need. Regarding the aspects of climatic change and the decrease of water resources, the term "precision irrigation" is being increasingly discussed. Such a precision irrigation must be based on objective and quantitative criteria, which focus primarily on the physical soil properties and hydrologic balances.

One solution would be to have sensors near the plants' roots controlling the water inflow depending on the particular demand. Such a dense soil-hydrological measuring network should be composed ideally of micro-sensors, which are distributed in the investigated soil section and thereby collect data of relevant parameters in the pedosphere using high temporal resolution and transmitting the information to a central logger-unit.

This contribution will present a simulation-based approach of a precision irrigation-system with particular consideration of pedo-specific properties.

Schlüsselwörter: Bodenfeuchtesensorik, Simulation, Bewässerungssteuerung, Pedotransferfunktionen

Keywords: soil moisture sensors, simulation, irrigation control, pedotransfer functions

* Anschrift des Autors:

Sven Grashey-Jansen (sven.jansen@geo.uni-augsburg.de), Universität Augsburg, Institut für Geographie, Lehrstuhl für Physische Geographie & Quantitative Methoden, Universitätsstraße 10, D-86135 Augsburg.