

# Die Bodenfeuchtedynamik und die Ertragsbildung von *Zea mays* L. nach konventioneller Bodenbearbeitung und Direktsaat

Susanne REINHARD, Gerd SCHMIDT und Manfred FRÜHAUF

7 Abbildungen und 4 Tabellen

## Abstract

REINHARD, S., SCHMIDT, G., FRÜHAUF, M. (2014): Soil moisture dynamics and yield production of *Zea mays* L. after conventional till and no-till farming. - *Hercynia N. F.* 47 (2014): 13 – 30.

This paper investigates the relations of two cropping systems, plough and no-till farming, to the development of maize and soil moisture dynamics. It is based on a project focused on adaption strategies of agricultural production to climate change. The soil moisture dynamics of ploughed and no-tilled parcels on one maize field were observed during the vegetation period in 2011. Furthermore, defined plant parameters were used to determine differences in plant development and maize harvest during that time. The results show that in a ploughed soil the volumetric soil moisture has a higher variability than in a no-tilled soil. Furthermore, the outcomes of pF measurements indicate that there is a higher availability of water in ploughed soil. In addition, the plants had more dry substance and their growth and habitus were more homogenous. Nevertheless, the yields of corn cobs only differ in structure but have almost the same size on both variants. However, the experiment could not prove that the differences in yield and soil water content are mainly depended on the compared cropping systems.

*Key words:* plough, no-till, maize, soil moisture, Central German arid region, Chernozem

## 1 Einleitung

Resultierend aus dem stetig zunehmenden Bedarf an Energie, Nahrung und Wohnraum wird die ohnehin nicht überall in gleicher Weise verfügbare Ressource Wasser übernutzt. Das weltweite Problem mangelnder Wasserverfügbarkeit wird sich auch in vielen Regionen Deutschlands durch die Folgen des Klimawandels verschärfen (ZEBISCH et al. 2005). Beispielsweise ist damit zu rechnen, dass sich im Mitteldeutschen Trockengebiet die bereits angespannte Wasserhaushaltssituation deutlich verschlechtern wird (KROPP et al. 2009). Vor diesem Hintergrund gewinnt der Boden als Quelle des pflanzenverfügbaren Wassers zunehmend an Bedeutung. Um diese Funktion zu erhalten bzw. zu fördern, sollte im Rahmen des Pflanzenbaus eine nachhaltige Nutzung des Bodens erfolgen. Hierfür stehen der Pflanzenproduktion verschiedene Strategien zur Verfügung (KTBL 1998, ZEBISCH et al. 2005, BLUME et al. 2010, 2011).

Diese Arbeit basiert auf einem Forschungsprojekt zur Entwicklung von pflanzenbaulichen Strategien zur Anpassung an den Klimawandel (DAMMANN 2009, DAMMANN et al. 2011). Sie befasst sich mit der Bodenfeuchtedynamik und der Pflanzenentwicklung auf einer Ackerfläche nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung. Die dafür notwendigen Untersuchungen wurden während einer Vegetationsperiode von Mais nach konventioneller Bodenbearbeitung (Pflug) und nach Direktsaat (ohne Bodenbearbeitung) durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte vom 5. Mai bis 24. Oktober 2011 auf einer Versuchsfläche südöstlich von Querfurt im Mitteldeutschen Trockengebiet. Der Arbeit liegen die folgenden Annahmen zugrunde:

a) Durch die Bodenbearbeitung mit dem Pflug wird das Bodengefüge in der Ackerkrume gelockert. Diese Maßnahme schafft in Kombination mit der nachfolgenden Saatbettbereitung eine für die Keimung der Pflanzen optimale Umgebung (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000). Gleichzeitig führt sie aber zur Destabilisierung des Bodengefüges sowie zur umfassenden Veränderung des Porensystems. Dadurch verringert sich die mechanische Belastbarkeit des Bodens. Infolgedessen können durch die Pflugtätigkeit selbst als auch durch das große Gewicht der landwirtschaftlichen Nutzfahrzeuge Bodenverdichtungen entstehen.

Diese wiederum beeinträchtigen die zügige Versickerung des Niederschlags in tiefere Bodenschichten (BLUME et al. 2011) und fördern insbesondere bei starken Niederschlagsereignissen die Entstehung eines Wasserstaus im Pflughorizont. Infolgedessen steigt die Wahrscheinlichkeit für unproduktive Verdunstung und für die Verschlämmung der Ackerkrume (EHLERS 1996, BLUME et al. 2010). Im Vergleich zu einer unbearbeiteten Fläche kann somit die Auffüllung des Bodenwasservorrats unterhalb des Pflughorizontes verzögert oder geringer sein.

b) Hingegen kann sich durch den Verzicht auf eine mechanische Lockerung des Bodens eine stabile Bodenstruktur mit einem zusammenhängenden Porensystem ausbilden (GRUBER 1994). Dies begünstigt die Verteilung des Niederschlagswassers über die gesamte Bodenmatrix und damit auch die effektive Auffüllung des pflanzenverfügbaren Wasservorrats. Insbesondere bei Starkniederschlägen kann das Niederschlagswasser durch zahlreiche vertikal verlaufende Grobporen schneller in tiefere Bodenschichten sickern. Zwar wurde nachgewiesen, dass der Grobporenanteil in einer unbearbeiteten Bodenkrume geringer ist als in einer gepflügten, doch führen in den darunterliegenden Bereichen des Bodens hier natürliche Strukturierungsprozesse zu einem höheren Grobporenanteil (FREDE et al. 1994, GRUBER 1994). Gleichzeitig schützen die bei der Ernte auf der Bodenoberfläche zurückgelassenen Pflanzenreste den Boden wirksam vor Verschlämmung und Erosion (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000). Ohne die Bereitung eines Saatbettes können allerdings die Keimung und der Feldaufgang – im Gegensatz zur konventionellen Bodenbearbeitung – beeinträchtigt sein.

c) Die Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen im Boden wirkt sich direkt auf die Entwicklung der Kulturpflanze aus. Eine hohe Lagerungsdichte der Bodenteilchen und große Aggregate können beispielsweise den Feldaufgang der Maispflanzen verzögern und reduzieren (KNAPPENBERGER 2009). Mais ist eine an ein warmes und trockenes Klima angepasste Kulturpflanze mit einem sehr effektiven Wasserverbrauch (SAGE 1999). Dennoch reagiert auch sie empfindlich auf Wassermangel (ZSCHEISCHLER et al. 1990, DMK 2009a), welcher in der Regel bereits vor Erreichen des permanenten Welkepunktes zu Entwicklungsstörungen und Ertragseinbußen führt (SEIDLER 1996). Wassermangel beeinträchtigt während des Streckungswachstums die Assimilatproduktion in den Blättern. Daraus resultiert eine verminderte Einlagerung von Assimilaten in den Stängel. Wird während der Blütenbildung und der Blüte zu wenig Wasser aufgenommen, so führt dies zu einer geringeren Kornzahl je Kolben und damit zu Ertragsdefiziten (GEISLER 1983). Aufgrund des weiten Reihenabstands und des späten Bestandsschlusses der Maispflanzen ist der Konkurrenzdruck durch andere Pflanzenarten insbesondere während der Blattentwicklung und des Längenwachstums groß (PROPLANTA 2006).

Ausgehend von diesen Annahmen wurden im Rahmen der Untersuchung folgende Fragen gestellt:

- 1) Welche Unterschiede ergeben sich hinsichtlich der Bodenfeuchtedynamik zwischen der konventionell bearbeiteten und der unbearbeiteten Fläche?
- 2) Gibt es Unterschiede bei der Pflanzenentwicklung auf den verschiedenen bearbeiteten Flächen, die mit der Bodenfeuchtedynamik zusammenhängen?
- 3) Welche Rückschlüsse können von der Pflanzenentwicklung auf die Wasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode und damit auf die Wirkung der Bodenbearbeitung gezogen werden?

## 2 Das Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungsflächen befinden sich südöstlich von Querfurt im Süden Sachsen-Anhalts (Abb. 1). Sie sind zugleich Teil der Bodengroßlandschaft der mitteldeutschen Lößböden (ALTERMANN 1995, OELKE 1997) und liegen innerhalb des Mitteldeutschen Trockengebiets, für welches die 500-mm-Isohyete als Abgrenzung gilt und das sich im Vergleich zu den angrenzenden Regionen durch ein deutlich kontinental geprägtes Klima auszeichnet (DÖRING et al. 1995, OELKE 1997, FABIG 2007).

Während der Sommermonate und dann insbesondere im Juli ist ein Niederschlagsmaximum in Form kleinräumig auftretender konvektiver Niederschläge ausgeprägt (DÖRING et al. 1995, FABIG 2007). Nach



Abb. 1 Lage des Untersuchungsgebietes in Sachsen-Anhalt (PROTZE et al. 1992, bearbeitet).

Fig. 1 Location of the study area in Saxony-Anhalt (PROTZE et al. 1992, modified).

OELKE (1997) fallen während der gesamten Vegetationsperiode (April bis September) etwa zwei Drittel des Jahresniederschlags. In den Randbereichen des Mitteldeutschen Trockengebiets ist außerdem ein sekundäres Maximum im Winter ausgebildet. Tabelle 1 zeigt die Jahressummen des Niederschlags in der Umgebung der Untersuchungsflächen nach DÖRING et al. (1995).

Tab. 1 Kenngrößen des Niederschlags im Untersuchungsgebiet (Bezugszeitraum 1951 – 1991, DÖRING et al. 1995).

Tab. 1 Precipitation in the study area (period 1951 – 1991, DÖRING et al. 1995).

Kenngröße	Querfurt	Schafstädt
langjähriges Mittel [mm]	528	495
höchste Jahressumme [mm]	701	752
niedrigste Jahressumme [mm]	352	271

Die Jahresmitteltemperaturen für den Zeitraum 1951 bis 1991 liegen zwischen 8,4 und 9,9 °C (DÖRING et al. 1995). Nach FABIG (2007, S. 21) ist das gesamte Gebiet „als äußerst abflussschwach zu bewerten.“ Neben den Niederschlagsverhältnissen liegt dies vor allem an der hohen Wasserspeicherkapazität der Schwarzerden (BAUER 1959, SCHUMANN & MÜLLER 1995, BLUME et al. 2010). Hinzu kommt der verhältnismäßig hohe atmosphärische Verdunstungsanspruch, der insbesondere während der Vegetationsperiode gegeben ist.

### 3 Methodik

#### 3.1 Die Untersuchungsflächen

Das Versuchsfeld „Hallgasse“ wird seit dem Winterhalbjahr 2008/2009 für vergleichende Untersuchungen von verschiedenen Bodenbearbeitungsmethoden genutzt (DAMMANN 2009, 2011a). Hierfür erfolgte eine Aufteilung des Feldes in zehn parallel verlaufende Streifenparzellen mit einer Fläche von jeweils 2 ha (vgl. Abb. 2). Den Bodenbearbeitungsvarianten Pflug (P) und Direktsaat (D) waren je eine Hauptfläche (P1 und D1) und eine Wiederholungsfläche (P2 und D2) zugeordnet.

Das Mikrorelief des Versuchsfeldes ist wellig; die Fläche ist jedoch nicht geneigt. Der Ackerboden, ein für die Region charakteristischer Löß-Tschernosem, besteht aus Lehmschluff und weist einen mittleren Humusgehalt auf (DAMMANN et al. 2011, AD-HOC-AG BODEN 2005). Eine Besonderheit des Standortes ist die heterogene Mächtigkeit des A-Horizontes. Sie variiert zwischen 26 und 72 cm (DAMMANN 2009).

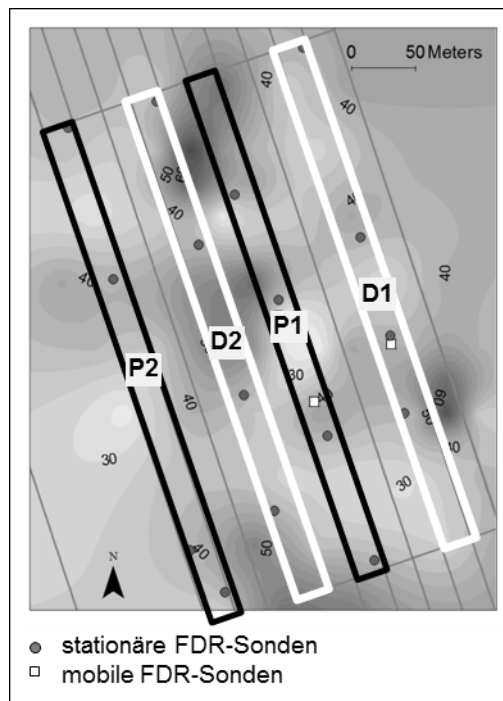


Abb. 2 Anordnung der Varianten auf dem Versuchsfeld und Lage der Messpunkte für die Untersuchung des volumetrischen Wassergehalts, schwarz = Variante Pflug (P1, P2), weiß = Variante Direktsaat (D1, D2) (DAMMANN 2011a, bearbeitet).

Fig. 2 Arrangement of tillage strategies and location of the measure points for volumetric soilwater content. Highlighted: black = variant plough (P1, P2), white = variant no-till (D1, D2) (DAMMANN 2011a, modified).

#### 3.2 Erfassung des Bodenwassergehalts

Die Messungen der Bodenfeuchte erfolgten im Rahmen der oben im Text bereits genannten vergleichenden Untersuchungen. Daher wurde der seit 2008 etablierte Versuchsaufbau für die vorliegende Arbeit

übernommen. Für die Analyse der Bodenfeuchtedynamik wurde mit einer Theta-Sonde des Typs ML2x (FDR-Sonde) regelmäßig der volumetrische Bodenwassergehalt bestimmt.

Im Boden der Flächen P1 und D1 waren stationäre FDR-Sonden installiert. Diese registrierten den Wassergehalt viermal täglich in den Tiefen 50 und 90 cm sowie in 20 cm bei D1 und unterhalb des Pflughorizontes in 35 cm Tiefe bei P1. Durch die hohe zeitliche Auflösung kann die Dynamik des Bodenwassergehaltes für die gesamte Untersuchungszeit deutlich nachvollzogen werden. In Abb. 2 ist die Lage der Messpunkte auf den Untersuchungsflächen dargestellt. In diesen Bereichen wies der A-Horizont eine mittlere Mächtigkeit von 38 cm auf.

Auf allen Untersuchungsflächen (P1, P2, D1 und D2) erfolgte eine zweite Wassergehaltsbestimmung mit mobilen FDR-Sonden. Diese wurde alle zwei Wochen an vier Messpunkten je Fläche in jeweils fünf Bodentiefen (10, 30, 50, 70 und 90 cm) durchgeführt (Versuchsaufbau nach DAMMANN 2011a). Sie ergänzen damit die Untersuchung mit den stationären Sonden durch eine höhere räumliche Auflösung. Auch bei dieser Untersuchungsmethode wurde darauf geachtet, dass der A-Horizont in den beprobten Bereichen eine mittlere Mächtigkeit von 38 cm aufwies. An die Feldarbeit schloss sich die Berechnung des mittleren Wassergehalts je Fläche, Messtiefe und Untersuchungstag an.

Zusätzlich zu den stationären FDR-Sonden waren in denselben Bodentiefen pF-Meter eingebaut, die in derselben zeitlichen Auflösung den pF-Wert und die Bodentemperatur erfassten.

### **3.3 Untersuchung der Pflanzenparameter**

#### **3.3.1 Feldaufgang**

Der prozentuale Anteil aufgelaufener Pflanzen an der Saatmenge ergibt den Feldaufgang (GEISLER 1988, ZSCHEISCHLER et al. 1990). Für seine Bestimmung wurde am 11. Mai 2011 mit Hilfe eines Schätzrahmens (Kantenlänge 1 m) eine Zählung der Jungpflanzen auf allen vier Untersuchungsflächen durchgeführt. Wegen der geometrischen Anbaustruktur (Reihenpflanzung) und des großen Reihenabstandes von 0,75 m ergab die Zählung mit dem Rahmen eine Überschätzung, welche mit dem tatsächlichen Wert im Verhältnis 2 : 3 steht und im Anschluss entsprechend umgerechnet wurde.

#### **3.3.2 Phänologische Entwicklung**

Das Ziel der Pflanzenuntersuchungen war es, festzustellen, ob sich die unterschiedliche Bodenbearbeitung auf die Maisbestände sichtbar auswirkt. Dafür wurde während der gesamten Vegetationsperiode die Pflanzenentwicklung anhand der Merkmale Pflanzenlänge, Blatt- und Nodienanzahl dokumentiert. Die Messungen erfolgten alle zwei Wochen jeweils an 21 zufällig ausgewählten Pflanzen der Hauptuntersuchungsflächen P1 und D1. Die gewonnenen Daten wurden zunächst einem direkten Vergleich unterzogen und schließlich, zusammen mit Beobachtungen zur Blüten- und Fruchtentwicklung, für die Bestimmung der Entwicklungsphasen auf Grundlage der BBCH-Skala nach MEIER & BLEIHOLDER (2006) verwendet.

#### **3.3.3 Trockensubstanz**

Die Ermittlung der Trockensubstanz basiert auf der Bestimmung des Wassergehaltes nach STEUBING & FANGMEIER (1992). Sie fand am 7. Juli und am 12. August 2011 statt, also zu Beginn und kurz nach der Hauptwachstumsphase der Jungpflanzen. Diese Anordnung der Untersuchungstermine bietet eine zusätzliche Möglichkeit, das Pflanzenwachstum während eines entscheidenden Entwicklungsabschnitts nachzuvollziehen und zu vergleichen. Die Proben stammten von den Hauptflächen beider Varianten und umfassten jeweils 14 Individuen. Zum Beenden der Enzymaktivität wurden die Pflanzen zunächst für 10 Minuten bei 105 °C im Trockenschrank belassen und anschließend bei 80 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Das Endgewicht entspricht der Trockensubstanz.

### 3.3.4 Blattflächenindex

Der Blattflächenindex (LAI – leaf area index) beschreibt das Verhältnis der gesamten Blattoberfläche zu darunter liegenden Bodenoberfläche. Er ist somit „ein Maß für die Belaubungsdichte eines Bestandes“ (STEUBING & FANGMEIER 1992, S. 135).

Die Erhebung begann am 8. September 2011 nach Bestandesschluss auf Fläche P1. Auf D1 erfolgten die Messungen aufgrund ungünstiger Witterungsverhältnisse erst vier Tage später am 12. September. Der LAI wurde in jeder Pflanzenreihe der Hauptuntersuchungsflächen P1 und D1 mit Hilfe eines Feldspektrometers bestimmt (LAI 2000). In den ersten drei Reihen auf jeder Seite der Parzellen unterblieb die Messung jedoch, um den Einfluss der Pflanzen auf den Nachbarflächen auszuschließen.

### 3.3.5 Ertragsbestimmung

Um den Ertrag für jede Bodenbearbeitungsvariante zu bestimmen, fand am 13. Oktober, kurz vor der Ernte, eine Bonitur der Maiskolben statt. Da für diese Untersuchung ein flächenbezogener Vergleich durchgeführt werden sollte, wurde die Größe der Proben über die Fläche der Probenahme definiert (mdl. Mitt. GRUNWALD 2011). Je Parzelle wurden an sechs Pflanzenreihen jeweils auf einer Fläche von 1,5 m<sup>2</sup> (2 m einer Pflanzenreihe und 0,75 m Reihenabstand) alle Maiskolben geerntet. Um einen möglichst großen Bereich jeder Untersuchungsfläche erfassen zu können, waren die Standorte vier Reihen und 20 Meter reihenparallel voneinander entfernt angelegt. Die Reihen am Rand der Parzellen blieben von der Untersuchung ausgeschlossen. Anschließend erfolgten das Wiegen der Maiskolben und die Ertragsberechnung. Am 19. Januar 2012 wurde zusätzlich das Tausendkorngewicht (TKG) ermittelt.

## 3.4 Klimadaten

Die Klimadaten stammen von einer Wetterstation, die sich in Nemsdorf auf dem Gelände des beteiligten Agrarunternehmens befindet und vom Institut für Geowissenschaften und Geographie der MLU Halle-Wittenberg, Fachbereich Geoökologie, seit 2008 betrieben wird. Für die vorliegende Untersuchung wurden die von der Wetterstation registrierten Daten der täglichen Niederschlagsmenge und der Tagesmitteltemperaturen genutzt, um den Witterungsverlauf zu charakterisieren und diesen in Bezug zur Bodenfeuchtedynamik und der Pflanzenentwicklung zu setzen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Temperatur und Niederschlag

Im April und Mai, während der ersten Entwicklungsstadien der Maispflanzen, lagen die Tagesmitteltemperaturen der Luft und des Oberbodens über 8 °C und damit innerhalb des für die Keimung günstigen Bereichs. Lediglich vom 2. bis 4. Mai traten kurzzeitig Spätfröste auf („Eisheilige“). Die mittlere Bodentemperatur erreichte währenddessen nur ein Minimum von ca. 11 °C. In den folgenden Monaten des Untersuchungszeitraums lagen die Monatsmittel der Lufttemperatur zwischen 18 °C im Juni bzw. August und 11 °C im Oktober.

Die Vegetationsperiode des Maisbestands dauerte vom 15. April (Aussaat) bis 20. Oktober (Erntebeginn). Für diese Zeit betrug die Niederschlagssumme 250 mm. Es fielen 34 % des Niederschlags in den Tagen vom 22. Juni bis zum 18. Juli (vgl. Abb. 3). Am 13. Juli trat zudem ein Starkregenereignis mit 24 mm Niederschlag auf. Alle anderen registrierten Niederschlagsereignisse lagen bei maximal 12 mm.

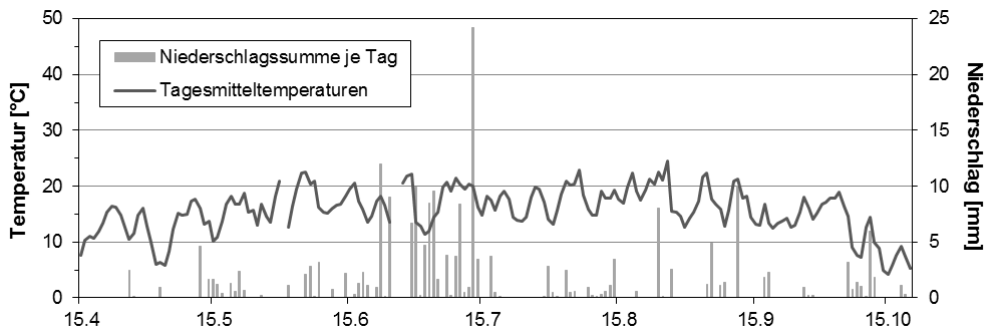


Abb. 3 Tägliche Niederschlagsmenge und mittlere Tagestemperaturen vom 15. April bis 20. Oktober 2011.

Fig. 3 Daily precipitation and daily temperature average from 15th April till 20th October 2011.

## 4.2 Bodenfeuchtedynamik

### 4.2.1 Stationäre Sonden

Für die Beschreibung der Bodenfeuchtedynamik werden die Ergebnisse des kontinuierlich gemessenen Wassergehalts in Form von Tagesmittelwerten vorgestellt.

Im Frühjahr waren die Böden der Hauptuntersuchungsflächen der Pflug-Variante (P1) und der Direktsaat (D1) zunächst gekennzeichnet durch ein sehr geringes aber kontinuierliches Sinken des Wassergehaltes (vgl. Abb. 4). Im Laufe des Junis beschleunigte sich dieser Prozess in den oberen Bodenschichten. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Wasserausschöpfung vom 15. April bis Anfang Juli bei P1 wesentlich größer war als bei D1. Bei der Direktsaat-Variante sank der Wassergehalt in 20 cm Tiefe bis 2. Juli von 32 auf 29 Vol-%. In 50 cm Tiefe betrug der Ausgangswert bei D1 29 Vol-%. Er verringerte sich bis zum 30. Juni auf 23 Vol-%. Im gepflügten Boden sank der Wassergehalt in 35 cm Tiefe am 3. Juli um 7 Vol-% auf ein Minimum von knapp 26 Vol-%. In 50 cm Bodentiefe betrug der Wasserverlust 5 Vol-%, wodurch sich am 30. Juni ein Minimum von 23 Vol-% ergab. Zudem zeigt der Kurvenverlauf in Abb. 4, dass der Wassergehalt während zweier größerer Niederschlagsereignisse am 24. und 26. Juni kurzzeitig konstant blieb.

Mit dem Einsetzen des sommerlichen Niederschlagsmaximums im Juli zeigte die Entwicklung der Bodenfeuchte nahe der Bodenoberfläche und in 50 cm Tiefe eine hohe Dynamik. Bei D1 sind in 20 cm Tiefe drei Phasen erhöhter Wasserzufuhr zu erkennen: zunächst vom 3. bis 4. Juli auf 37 Vol-%, dann am 14. Juli auf 36 Vol-% und schließlich vom 31. Juli bis 1. August erneut auf 35 Vol-%. In der Zwischenzeit sank der Wassergehalt immer wieder deutlich um 3 bzw. 6 Vol-% ab.

Bei P1 wurde in 35 cm Tiefe vom 4. bis 5. Juli der erste hohe Anstieg registriert, also ca. einen Tag später als bei der Direktsaat. Der Wassergehalt stieg hierbei auf 34 Vol-% an. Dieser nahm am 14. Juli erneut um ca. 3 Vol-% zu und erreichte ein Maximum von 36 Vol-%. In Folge dieses zweiten Anstiegs wurde das im Vergleich zu D1 bestehende Wasserdefizit nahe der Bodenoberfläche bei P1 ausgeglichen. Nach einem Wasserverlust von 4 Vol-% in den nächsten Tagen erfolgte vom 31. Juli bis 1. August der dritte Anstieg, wodurch sich der Bodenwasseranteil erneut auf 34 Vol-% erhöhte.

Die Bodenfeuchtedynamik in 50 cm Tiefe zeigte die größten Unterschiede zwischen den Varianten. Bei D1 ist zwei Mal eine hohe Wasserzufuhr erkennbar. Der erste Anstieg erfolgte am 4. Juli nur wenige Stunden später als in 20 cm Tiefe und zudem wenige Stunden früher als in 35 cm bei P1. Dabei erhöhte sich der Wassergehalt rasch von 26 auf 32 Vol-%. Der anschließende Verlust von lediglich 2 Vol-% wurde am 14. Juli während des zweiten Anstiegs kurzzeitig wieder ausgeglichen. Wie in Abb. 4 zu sehen ist, endete der stetige Wasserverlust dadurch jedoch nicht.



Bei Variante Pflug nahm der Wassergehalt in 50cm Tiefe ab 5. Juli über zwei Etappen zu. Zunächst erfolgte ein Anstieg um 4 Vol-% bis zum 11. Juli und nach einer kurzen Stagnation wurde von den FDR-Sonden am 14. Juli ein Maximum von 32 Vol-% registriert. Insgesamt fand in diesem Zeitraum eine Zunahme des Bodenwasseranteils um 9 Vol-% statt.

Bei beiden Varianten nahm die hohe Dynamik der Wassergehaltsänderungen anschließend wieder deutlich ab und mündete in einem langsamen und gleichmäßigen Wasserverlust ähnlich jenem im Frühjahr.

Die Bodenfeuchteentwicklung in 90cm Tiefe verlief wesentlich weniger dynamisch. Das für den gesamten Untersuchungszeitraum charakteristische konstante und langsame Sinken des Wassergehaltes wurde im Laufe des Julis während des Sommerregenmaximums nur durch einen geringen aber deutlich erkennbaren Anstieg unterbrochen. Bei D1 erhöhte sich die Bodenfeuchte in 90cm Tiefe vom 5. bis zum 15. Juli zögerlich von 32 auf 33 Vol-% und damit auf das Niveau zu Beginn des Betrachtungszeitraums. Bei P1 erfolgte gleichzeitig ein Anstieg von 27 auf 29 Vol-%. Bis zum Ende der Untersuchung wurde keine weitere Erhöhung der Bodenfeuchte registriert. Es fällt auf, dass die Direktsaat in 90cm Tiefe einen im Mittel um 4,8 Vol-% höheren Wassergehalt aufwies als Variante Pflug.

#### 4.2.2 Ergebnisse zur Beobachtung der Wasserretention

Die von den pF-Sonden registrierten Daten bestätigen die Bodenfeuchtedynamik, wie sie mit den FDR-Sonden erfasst wurde. Die größten Schwankungen im Bereich von 0 bis 3 wurden bei der Direktsaat-Variante in 20cm Tiefe ermittelt. Allerdings waren die Messwerte meistens größer als 2,6. Einzig während der ersten zwei Phasen erhöhter Wasserzufuhr zwischen dem 4. und 23. Juli lagen sie unterhalb dieses Wertes. In 50cm Tiefe blieb der pF nahezu konstant bei 3. Lediglich als die ersten zwei Phasen erhöhter Wasserzufuhr auftraten, konnte eine leichte Dynamik festgestellt werden, jedoch nur bis zu einem Minimum von 2,7. In 90cm Tiefe sind bei D1 kaum Änderungen aufgetreten. Der pF schwankte hier während der gesamten Untersuchung geringfügig zwischen 2,6 und 2,5. Dabei wurden die kleineren Werte in der Zeit von Anfang Juni bis Anfang September verzeichnet.

Für die Pflug-Variante sind aus 35cm Tiefe keine Daten vorhanden. Allerdings kann aufgrund der Messwerte von den FDR-Sonden und der Arbeiten von DAMMANN (2011b) zur Kapazität des Bodens angenommen werden, dass der pF zumindest während der Phasen hoher Wasserzufuhr kurzzeitig bis auf Feldkapazität angestiegen ist. Unterdessen variierte der pF in 50cm Tiefe zwischen 2,4 und 2,8. Er stieg zunächst bis zum 30. Juni von 2,5 auf 2,7 an und erreichte sein Minimum danach am 14. und 15. Juli. Bis zum Ende der Untersuchungen nahm er wieder kontinuierlich bis 2,8 zu. Im Vergleich zu den pF-Werten in 50cm Tiefe bei D1 sind die Werte hier durchschnittlich um 0,4 kleiner. In 90cm Tiefe ist die Dynamik des pF genauso gering ausgeprägt wie bei D1. Dabei unterscheiden sich die Daten maximal um eine Differenz von 0,2.

#### 4.2.3 Daten der mobilen FDR-Sonden

Die Untersuchung ergab vor allem ab dem 23. Juni deutliche Abweichungen der Messergebnisse zwischen jeder Hauptfläche und ihrer Wiederholung. Außerdem weisen sowohl die Daten der Hauptflächen P1 und D1 als auch die Daten der Wiederholungen P2 und D2 große Ähnlichkeit miteinander auf. In Abb. 5 ist dies an der Tiefenverteilung des Bodenwassers für vier Untersuchungsstage aufgezeigt.

Beim Vergleich aller mittleren Wassergehalte je Bodentiefe und Untersuchungstag wurde festgestellt, dass die Messdifferenzen von P1 und P2 bis zu 9,8 Vol-% betragen. Dabei waren mehr als zwei Drittel größer als 3 Vol-%. Ähnlich verhielt es sich mit den Flächen der Direktsaat-Variante. Hier wiesen die mittleren Wassergehalte Differenzen zwischen 0 und 10 Vol-% auf, wobei 70% größer waren als 3 Vol-%. Im Gegensatz dazu lagen die Werte der Hauptflächen P1 und D1 zu 90% näher als 3 Vol-% beieinander. Die größte Differenz betrug 7,7 Vol-%. Auch der Vergleich der Wiederholungsflächen P2 und D2 ergab Unterschiede von maximal 7,2 Vol-%, wobei sich hier in 80% der Fälle die Werte um weniger als 3 Vol-% unterschieden.



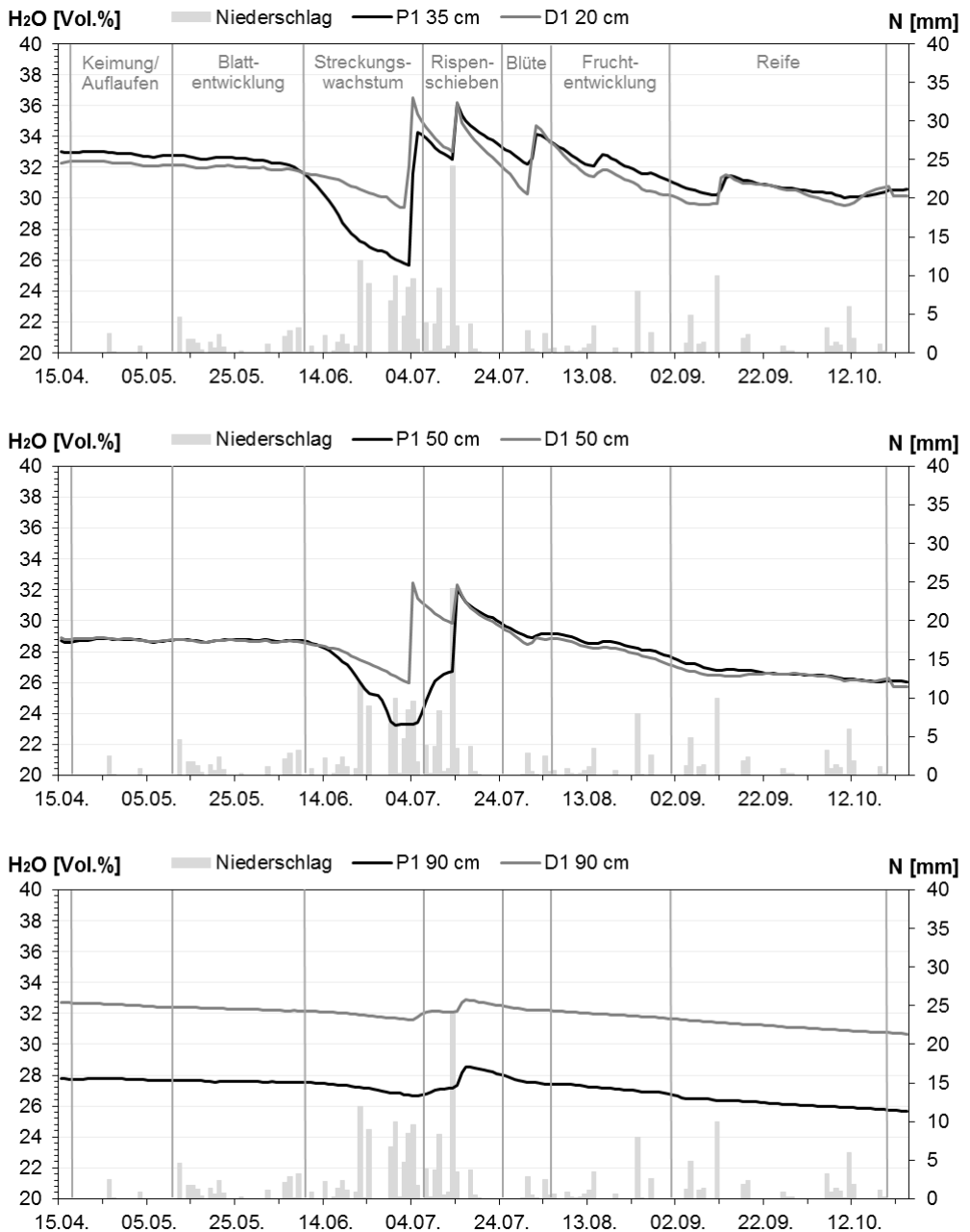


Abb. 4: Bodenfeuchtedynamik der Varianten Pflug und Direktsaat (stationäre FDR-Sonden), tägliche Niederschlagsmenge und Pflanzenentwicklung vom 15. April bis 20. Oktober 2011.

Fig. 4 Soil moisture dynamics of the variants plough and no-till (installed FDR-probes), daily precipitation amount and development of the maize plants from 15th April till 20th October 2011.

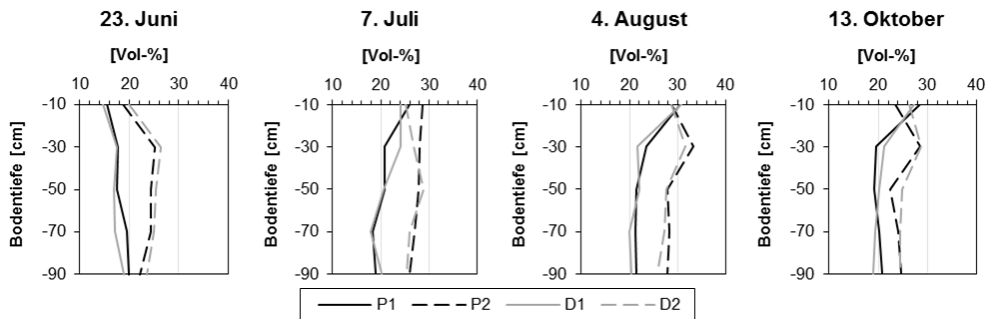


Abb. 5 Verteilung des Bodenwassers unter Pflug (P1, P2) und Direktsaat (D1, D2) bei den Haupt- und Wiederholungsflächen an ausgewählten Untersuchungstagen (mobile FDR-Sonden).

Fig. 5 Distribution of soil moisture on all parcels of variants plough (P1, P2) and no-till (D1, D2) at selected days (mobile FDR-probes).

Weiterhin wurde festgestellt, dass sich die Ergebnisse der stationären und mobilen Sonden deutlich voneinander unterscheiden. Die Abweichungen voneinander liegen zwischen 1 und 19 Vol.-%, wobei 25 % geringer sind als 3 Vol.-%. Gleichzeitig nahm die Spannweite der Differenzen mit zunehmender Tiefe ab.

### 4.3 Ergebnisse der Pflanzenuntersuchungen

#### 4.3.1 Feldaufgang

Am 11. Mai, vier Wochen nach der Aussaat, wurde auf allen Untersuchungsflächen der Anteil des ausgekeimten Saatgutes ermittelt. Für die Flächen der Pflug-Variante sowie für D1 ergab sich ein sehr hoher mittlerer Feldaufgang (vgl. Tab. 2). Dabei fällt auf, dass die Flächen P1 und D1 einen mittleren Feldaufgang von über 100 % aufweisen. Lediglich auf D2 fiel das Ergebnis mit 82 % deutlich geringer aus als auf den anderen Flächen. Ein ähnliches Verhältnis ergab sich auch beim Vergleich der Minima und Maxima. Diese waren bei D2 mit 5,3 bzw. 8,6 Pfl. /m<sup>2</sup> gleichfalls kleiner als bei den anderen Untersuchungsflächen. P1, P2 und D1 wiesen jeweils ein Minimum von 7,3 Pfl. /m<sup>2</sup> auf. Ihre Maxima betragen 10,6 (P1), 9,3 (P2) und 10 Pfl. /m<sup>2</sup> (D1). Die Fläche P2 wies mit 9 % die kleinste Standardabweichung auf. Bei P1 und D2 war sie mit 16 % am höchsten (vgl. Tab. 2).

Tab. 2 Feldaufgang der Varianten Pflug (P1, P2) und Direktsaat (D1, D2) auf allen Untersuchungsflächen bei einer Aussaatstärke von 85000 Pflanzen/ha, ermittelt am 11. Mai 2011.

Tab. 2 Germination rate variants plough (P1, P2) and no-till (D1, D2) on all parcels, seed density 85,000 plants/ha, examined on 11th May 2011.

Parameter	Fläche P1	Fläche P2	Fläche D1	Fläche D2
Minimum [Pfl./m <sup>2</sup> ]	7,3	7,3	7,3	5,3
Maximum [Pfl./m <sup>2</sup> ]	10,6	9,3	10	8,6
mittlerer Feldaufgang [%]	102	99	103	82
Standardabweichung [%]	16	9	12	16

### 4.3.2 Phänologische Entwicklung der Maispflanzen

Bei dem Vergleich der Makrostadien war eine scheinbar synchrone Entwicklung der Maisbestände auf den Untersuchungsflächen P1 und D1 zu erkennen (vgl. Tab. 3). Durch die Betrachtung der erfassten Mikrostadien zeigte sich jedoch ein deutlicher Unterschied. Nach dem 11. Mai lagen die Maispflanzen der Direktsaat in ihrer Entwicklung um ein Mikrostadium hinter jenen der Pflug-Variante zurück. Diese Differenz hinsichtlich des Wachstums lässt sich mit Hilfe der BBCH-Skala bis zum Einsetzen des Rispen-schiebens am 7. Juli nachvollziehen. Die Mikrostadien der Blüte, der Fruchtentwicklung und der Reife verliefen auf beiden Flächen ohne signifikante Unterschiede.

Tab. 3 Entwicklung der Maispflanzen auf den Hauptuntersuchungsflächen der Varianten Pflug und Direktsaat entsprechend der BBCH-Skala nach MEIER & BLEIHOLDER (2006).

Tab. 3 Development of the maize plants on the main test fields of the variants plough and no-till according to the BBCH-scale based on MEIER & BLEIHOLDER (2006).

Datum	Makrostadium	Variante Pflug		Variante Direktsaat			
		Code	Beschreibung	Code	Beschreibung		
05.05.2011	Blattentwicklung	11	erstes Laubblatt entfaltet	11	erstes Laubblatt entfaltet		
11.05.2011		13	3-Blatt-Stadium	13	3-Blatt-Stadium		
27.05.2011		17	7-Blatt-Stadium	16	6-Blatt-Stadium		
10.06.2011	Streckungswachstum	19	9-Blatt-Stadium <sup>a</sup>	18	8-Blatt-Stadium <sup>a</sup>		
23.06.2011		33	3. Stengelknoten wahrnehmbar	32	2. Stengelknoten wahrnehmbar		
07.07.2011	Rispen-schieben	51	Rispe in Tüte fühlbar	51	Rispe in Tüte fühlbar		
25.07.2011	Blüte	63	Pollenschüttung beginnt, Narbenfäden sichtbar	63	Pollenschüttung beginnt, Narbenfäden sichtbar		
05.08.2011			73		frühe Milchreife	73	frühe Milchreife
12.08.2011	Fruchtentwicklung	75	Milchreife	75	Milchreife		
18.08.2011			83		frühe Teigreife	83	frühe Teigreife
01.09.2011	Frucht-/Samenreife	85	Teigreife	85	Teigreife		
15.09.2011			87		physiologische Reife	87	physiologische Reife
29.09.2011					89		Vollreife
13.10.2011			21.10.2011				

<sup>a</sup> Keine Prüfung des Streckungswachstums möglich.

Die Parameter Pflanzenlänge, Blattanzahl und Anzahl der Nodien sind zusätzlich in Abb. 6 (a) bis (c) dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass sich der Unterschied in der Blattentwicklung bis zum 7. Juli, als das Rispen-schieben begann, ausgeglichen hatte (Abb. 6 (b)). Ein ähnliches Ergebnis zeigt auch die Entwicklung der Nodien. Beide Maisbestände wiesen am 7. Juli einen Median von 5 Nodien je Pflanze auf (Abb. 6 (c)). Am 18. August, dem letzten Untersuchungstag, waren Blatt- und Nodienanzahl auf D1 zudem um je eins größer als bei P1.

Die Hauptwachstumszeit der Maispflanzen dauerte von Mitte Juni bis Anfang Juli. Sie lässt sich insbesondere anhand der Pflanzenlänge und der Nodienanzahl nachvollziehen (vgl. Abb. 6 (a) und (c)). Hierbei ist zu erkennen, dass bezüglich der Pflanzenlänge am 23. Juni und am 7. Juli markante Unterschiede aufgetreten sind. Im Mittel waren die Pflanzen auf der Pflug-Variante 10 bzw. 11 cm länger als auf der Variante Direktsaat.

Während der Blattentwicklung bis hin zur Fruchtentwicklung wuchs auf der Variante Direktsaat sehr viel Begleitflora. Diese war auf den gepflügten Flächen kaum vorhanden.

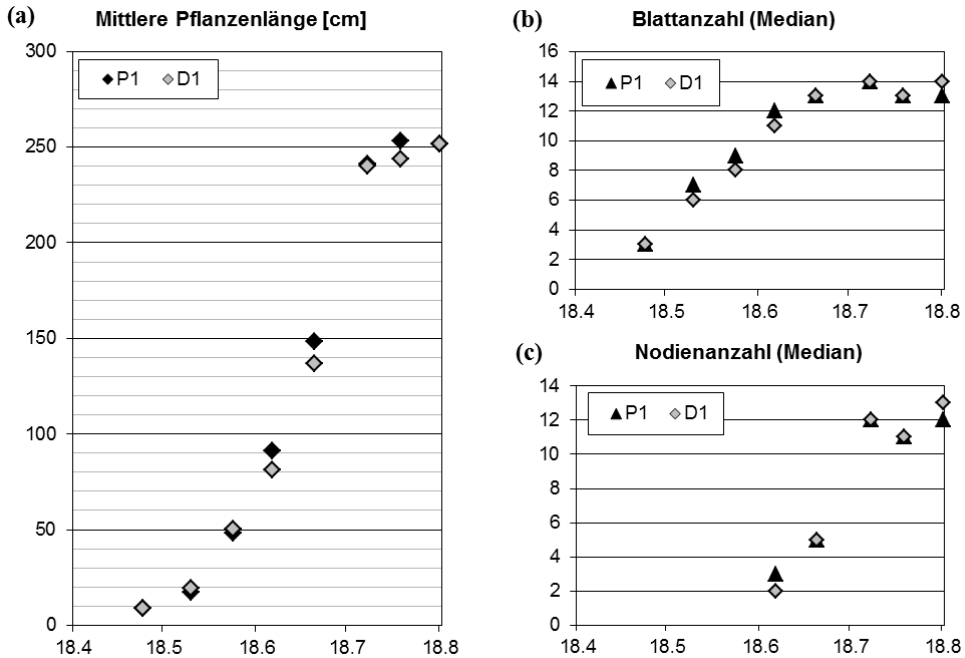


Abb. 6 Darstellung des Pflanzenwachstums vom 11. Mai bis 18. August auf den Hauptuntersuchungsflächen der Varianten Pflug (P1) und Direktsaat (D1) anhand der mittleren Pflanzenlänge (a), Blattanzahl (Mediane) (b), Nodienanzahl (Mediane) (c).

Fig. 6 Illustration of the plant growth from 11th May to 18th August on the main parcels of variants plough (P1) and no-till (D1) based on mean plant length (a), leaf number (median) (b), number of nodes (median) (c).

### 4.3.3 Trockensubstanz

Die Untersuchung am 7. Juli (vgl. Abb. 7 (a)) ergab für die Pflanzen der Hauptuntersuchungsflächen ein mittleres Trockengewicht von 57 g (P1) und 38 g (D1). Damit waren die Pflanzen der Direktsaat durchschnittlich 19 g leichter als die Pflanzen der Pflug-Variante.

Zwei Exemplare von P1 mit sehr hohen Werten sind als Ausreißer (85 g) bzw. als Extremwert (106 g) gekennzeichnet. Die Trockensubstanz aller anderen Pflanzen variierte zwischen 42 und 72 g. Die Direktsaat-Variante wies weder Ausreißer noch Extremwerte auf. Die Ergebnisse dieser Stichprobe lagen zwischen 22 und 67 g. Damit zeichnete sie sich gegenüber der Variante Pflug durch eine größere Spannweite und Heterogenität aus. Zugleich weist der Großteil der Pflanzen von D1 (64 %) deutlich weniger Trockensubstanz auf als die Pflanzen von P1.

Am 12. August, nach dem Ende der Hauptwachstumszeit der Maispflanzen, fand die zweite Trockensubstanzbestimmung statt (vgl. Abb. 7 (b)). Bei Variante Pflug lagen die Ergebnisse bis auf einen extrem kleinen Wert (56 g) zwischen 120 und 201 g, wobei 50 % der Pflanzen mehr als 165 g Trockensubstanz aufwiesen. Für die Direktsaat-Variante ergaben sich dagegen Werte zwischen 109 und 193 g. Dabei zeigen lediglich 25 % der Pflanzen einen Trockensubstanzanteil von mehr als 165 g.

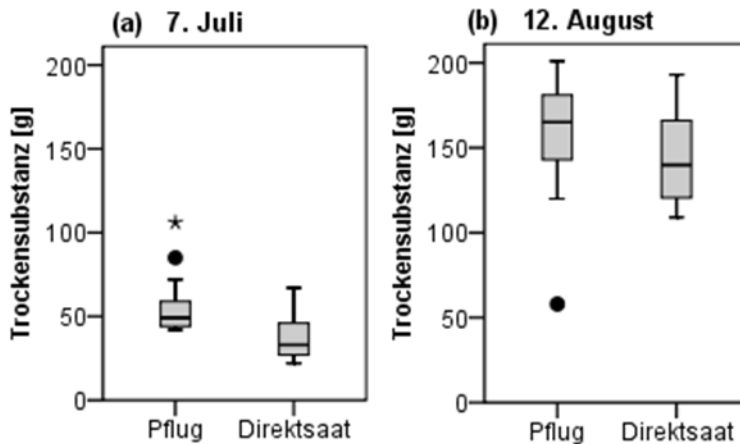


Abb. 7 Box-Whisker-Plot zur Trockensubstanzbestimmung vom 7. Juli (a) und vom 12. August (b). Als graue Box hervorgehoben ist der Wertebereich vom 25%- bis zum 75%-Quantil. Die andere Hälfte der Daten inklusive Minimum und Maximum wird durch die Antennen dargestellt. Der schwarze Balken im Inneren der Box markiert den Median. Punkte stehen für Ausreißer und Sterne für Extremwerte.

Fig. 7 Box-Whisker-Plot of the dry substance experiments on 7th July (a) and 12th August (b). The grey box contains all values from 25%- to 75%-quantile. The Whiskers above and beneath include the second half of values inclusive maximum and minimum. The black line in between shows the median. Points mark outliers and stars mark extreme values.

#### 4.3.4 Blattflächenindex

Für die Variante Pflug wurde ein mittlerer LAI von 3,45 und eine Varianz von 0,04 ermittelt. Die Werte selbst lagen zwischen 3,06 und 3,83. Die Daten von der Direktsaat-Variante zeigten mit einer Varianz von 0,18 eine größere Heterogenität als jene der Variante Pflug. Die Messwerte lagen zwischen 2,56 und 4,18, und der mittlere LAI betrug 3,37. Die Spannweite von D1 (1,53) fiel somit fast doppelt so hoch aus wie jene von P1 (0,77). Die höchsten LAI-Werte von D1 wurden in Bereichen mit einem besonders hohen Anteil an Begleitflora verzeichnet.

#### 4.3.5 Ertrag der Maispflanzen

Die am 13. Oktober ermittelten Maiskolben-Erträge wiesen deutliche Unterschiede auf, wie in Tab. 4 zu sehen ist. Auffällig war, dass die Wiederholungsflächen beider Varianten, P2 mit 19,6 t/ha und D2 mit 20,2 t/ha, einen geringeren Ertrag aufwiesen als die Hauptflächen mit 22,3 t/ha (P1) und 22,1 t/ha (vgl. Tab. 4). Die Differenzen liegen bei 2,7 t/ha (Variante Pflug) bzw. 1,9 t/ha (Variante Direktsaat). Hingegen beträgt die Differenz zwischen P1 und D1 lediglich 0,2 t/ha und zwischen P2 und D2 nur 0,6 t/ha.

Hervorzuheben ist des Weiteren der Umfang der Proben, also die Anzahl der zu untersuchenden Maiskolben, je Untersuchungsfläche. Die Direktsaat-Hauptfläche D1 wies mit insgesamt 91 Kolben die höchste Anzahl auf. Diese Menge entspricht 10,1 Maiskolben je m<sup>2</sup>. Bei der Hauptfläche der Pflug-Variante P1 waren es 9,3 Kolben je m<sup>2</sup>. Deutlich weniger ergab sich bei den Wiederholungsflächen mit 8,7 Kolben je m<sup>2</sup> (P2) und 8,5 Kolben je m<sup>2</sup> (D2).

Die Messung des Tausendkorngewichts (TKG) ergab für P1 und D2 mit 311 g bzw. 278 g die größten Werte. Das kleinste TKG von 232 g wurde bei D1 ermittelt.

Tab. 4 Ertragsparameter der Varianten Pflug (P1, P2) und Direktsaat (D1, D2) auf den Haupt- und Wiederholungsflächen.

Tab. 4 Yield parameters for all parcels of the variants plough (P1, P2) and no-till (D1, D2).

Parameter	Fläche P1	Fläche P2	Fläche D1	Fläche D2
Tausendkorngewicht [g]	311	264	232	278
Anzahl Maiskolben je m <sup>2</sup>	9,3	8,7	10,1	8,5
Ertrag Maiskolben [t/ha]	22,3	19,6	22,1	20,2

## 5 Diskussion

### 5.1 Bodenfeuchtedynamik unter Pflug und Direktsaat

Während der ersten Wochen der Untersuchung unterschieden sich die Varianten Pflug und Direktsaat hinsichtlich der Dynamik der Bodenfeuchte kaum voneinander. Erst während der Hauptwachstumszeit der Maispflanzen und ihrem damit verbundenen erhöhten Wasserverbrauch kam es zu unterschiedlichen Dynamiken bei den Varianten. Im konventionell bearbeiteten Boden setzte der gesteigerte Wasserentzug zum einen früher ein, zum anderen war er deutlich höher als unter Direktsaat. Die zwei großen Niederschlagsereignisse Ende Juni brachten bezüglich der Änderung des Bodenwassergehaltes kaum Veränderungen für die Varianten. Lediglich unter Pflug in 50 cm Bodentiefe stagnierte der Wassergehalt für kurze Zeit. Des Weiteren wurde festgestellt, dass im Juli die Erhöhung der Bodenfeuchte im gepflügten Boden etwas später einsetzte als im unbearbeiteten Boden. Diese Verzögerung ist auf die Menge des entzogenen Wassers zurückzuführen. Je größer diese ist, desto mehr Wasser muss zugeführt werden, um den Verlust auszugleichen oder zu überschreiten. Unter Direktsaat wurde dem Boden in derselben Zeit weniger Wasser durch die Pflanzen entzogen. Deshalb war weniger Niederschlagswasser nötig, um den Wasserverbrauch zu kompensieren. Daraus ergab sich für die Direktsaat-Variante ein früherer Anstieg des Bodenwassergehaltes im Vergleich zur Pflug-Variante. Die Möglichkeit, dass die unterschiedlichen Messtiefen im Oberboden (D1 in 20 cm, P1 in 35 cm) für die Differenzen verantwortlich sein könnten, lässt sich nicht vollständig ausschließen. Allerdings wurde bei der Direktsaat sogar in 50 cm Tiefe der Bodenfeuchteanstieg wenige Stunden früher registriert als unter Pflug in 35 cm Tiefe.

Ein weiterer Unterschied zwischen den Hauptflächen beider Varianten bestand in der Verfügbarkeit des Bodenwassers. Zwar wurde der permanente Welkepunkt während der Untersuchung nicht erreicht. Allerdings lassen die unterschiedlichen pF-Werte beider Flächen in 50 cm Bodentiefe die Schlussfolgerung zu, dass das Wasser für die Maispflanzen unter Pflug leichter verfügbar war als unter Direktsaat. Der Grund hierfür ist die höhere Lagerungsdichte des unbearbeiteten Bodens (DAMMANN 2011b). Sie bedingt eine geringere Anzahl an Mittelporen und engen Grobporen, in denen das Bodenwasser für die Pflanzen zugänglich ist (BLUME et al. 2010). Andererseits erfolgte die Auffüllung des Bodenwasserspeichers unter Direktsaat auch in 50 cm Bodentiefe früher als bei der Pflug-Variante. Das lässt auf eine größere Anzahl vertikal zusammenhängender weiter Grobporen schließen, die das Niederschlagswasser effektiv im Boden verteilen (FREDE et al. 1994, GRUBER 1994, BLUME et al. 2010).

Im konventionell bearbeiteten Boden vollzog sich der Anstieg des Wassergehaltes in 50 cm Tiefe verzögert und deutlich langsamer. Neben dem Verhältnis von Wasserentzug und Wasserzufuhr kann auch eine beginnende Pflugsohlenverdichtung einen zusätzlichen Einfluss auf die Bodenfeuchtedynamik ausüben (BLUME et al. 2011). Hierdurch dringt das Niederschlagswasser auf Grund der verringerten Anzahl vertikal durchgängig verlaufender weiter Grobporen langsamer in den Unterboden ein (FREDE et al. 1994, GRUBER 1994).

Die volumetrischen Wassergehalte, die mit den mobilen FDR-Sonden gemessen wurden, zeigten eine große Heterogenität. Sowohl bei der Direktsaat-Variante als auch bei der Variante Pflug unterschieden sich die Haupt- und die Wiederholungsfläche deutlich voneinander. Gleichzeitig wiesen die Hauptflächen beider Varianten als auch die Wiederholungsflächen mehr Gemeinsamkeiten miteinander auf. Beim Vergleich der Daten der mobilen FDR-Sonden mit denen der stationären wurden gleichfalls deutliche Diskrepanzen fest-

gestellt. Das liegt einerseits daran, dass keine der Untersuchungsflächen durchgehend von einer Person beprobt worden ist, was zu einer verfälschten Darstellung der Bodenfeuchtedynamik geführt haben kann, die im Nachhinein nicht korrigiert werden konnte. Zum anderen beeinflusst die Heterogenität des Standortes, z.B. die selbst kleinräumig stark variiierende Mächtigkeit des A-Horizontes, die Messergebnisse. Um den Einfluss dieser Faktoren besser einschätzen zu können und die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten, sollte daher ein Wechsel der messenden Person vermieden werden oder mit Kontrollen erfolgen.

## 5.2 Zusammenhang zwischen Maisbestand und Bodenfeuchtedynamik

Die Feldaufgänge sind nach den Bewertungsangaben von RINTELEN (1971) und dem DMK (2009b) bis auf die Ausnahme D2 als hoch einzuschätzen. Die Haupt- und die Wiederholungsfläche der Pflug-Variante zeigten nur geringe Unterschiede, was auf durch die Bodenbearbeitung erzeugte homogene Keimungsbedingungen hindeutet. Im Gegensatz dazu unterscheiden sich die beiden Untersuchungsflächen der Variante Direktsaat deutlich voneinander. Für die Hauptfläche wurde ein Feldaufgang verzeichnet, der mit denen der konventionell bearbeiteten Untersuchungsflächen vergleichbar ist. Somit können hier die Keimungsbedingungen als optimal bezeichnet werden. Die Prüfung der mittleren Bodentemperatur während der frühen Entwicklungsstadien der Maispflanzen bestätigt diese Schlussfolgerung. Es ist also zu klären, welche Faktoren für den geringeren Feldaufgang auf der Wiederholungsfläche der Direktsaat verantwortlich sind. Wenn davon ausgegangen wird, dass die Bodenbearbeitung für gleichmäßig optimale Keimungsbedingungen in der gesamten Ackerkrume sorgt (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000), dann kann angenommen werden, dass die Bedingungen stattdessen heterogen ausgeprägt waren, wodurch auch die Entwicklung der Keimlinge stärker variieren würde (KNAPPENBERGER 2009). Allerdings unterscheiden sich auch die Standardabweichungen des Feldaufgangs der Direktsaat-Hauptfläche und ihrer Wiederholung deutlich voneinander. Gleichzeitig sind die Standardabweichungen für die Direktsaat-Wiederholung und die Pflug-Hauptfläche identisch und hoch. In diesem Fall lässt sich daher kein Zusammenhang zwischen der Bodenbearbeitung und dem Feldaufgang erkennen. Deshalb wird davon ausgegangen, dass die Ergebnisse auf die Aussaattechnik zurückzuführen sind. Das erklärt auch den hohen Feldaufgang (knapp über 100 %) der Hauptflächen beider Varianten. Es ist anzunehmen, dass es auf der Wiederholungsfläche der Direktsaat durch die Streuaufgabe zu kurzzeitigen Verstopfungen der Einzelkornsämaschine kam oder durch eine erhöhte Fahrtgeschwindigkeit weniger Samen in optimaler Tiefe ausgesät worden sind.

Aufgrund der zeitlichen Abstände der Untersuchungstermine konnten nicht alle Entwicklungsphasen der Pflanzen detailliert beobachtet werden. Trotzdem gelang sowohl die Erfassung der Makrostadien als auch eine nachvollziehbare Darstellung der Pflanzenentwicklung. Um eine repräsentative Aussage über die verschiedenen bearbeiteten Flächen zu treffen, wurden an jedem Untersuchungstag andere Pflanzen ausgewählt. Es sind jedoch Ergebnisse aufgetreten, die darauf schließen lassen, dass die Stichprobengröße zu klein war, um die natürliche Varianz der Pflanzenentwicklung durchgehend korrekt darzustellen. Als Beispiel sei genannt, dass die mittlere Pflanzenlänge am 18. August geringer war als am 5. August. Mit einem größeren Stichprobenumfang könnte die natürliche Varianz der Pflanzenmerkmale und damit auch der Entwicklungsfortschritt repräsentativer dargestellt werden. Trotzdem konnten bei dem Vergleich der Maisbestände beider Varianten deutliche Entwicklungsunterschiede erfasst werden. Zum einen ist die größere Heterogenität der Pflanzen der Direktsaat-Variante bezüglich aller untersuchten Pflanzenparameter zu nennen. Zum anderen wurde bei den Maispflanzen dieser Variante eine leicht verzögerte Entwicklung festgestellt. Diese hatte auch einen Einfluss auf die Bildung der Biomasse, wie sich bei der Trockensubstanzbestimmung zeigte.

Weiterhin wurde auf der Hauptfläche der Direktsaat zumeist eine erhöhte Wasserspannung gemessen. Daraus ist zu schließen, dass die Aufnahme des pflanzenverfügbaren Wassers im Boden im Vergleich zur Hauptfläche der Pflug-Variante erschwert war (SEIDLER 1996). Damit geht sowohl eine verminderte Aufnahme von Wasser und Nährstoffen einher als auch die Einschränkung der Assimilatproduktion. Der im Vergleich zur Pflug-Hauptfläche geringere Entzug von Bodenwasser während des Streckungswachstums bei der Direktsaat-Hauptfläche bestätigt dies. Die Ergebnisse der Trockensubstanzbestimmung lassen bei



der Direktsaat auf eine zeitweise geringere Trockenmasseproduktion schließen als bei der Pflug-Variante. Dies wiederum unterstützt die Schlussfolgerung der eingeschränkten Wasser- und Nährstoffaufnahme bei der Variante Direktsaat.

Ein weiterer Faktor, der die Maisentwicklung beeinflusst, hier aber nicht empirisch untersucht wurde, ist der Konkurrenzdruck durch andere Pflanzenarten (DMK 2009b). Es war auffällig, dass der Besatz an Begleitflora auf den Flächen der Direktsaat-Variante im Vergleich zur Pflug-Variante sehr hoch war. Daher ist anzunehmen, dass gerade während der Blattformentwicklung die entsprechend erhöhte Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe die Entwicklung der Maispflanzen auf beiden Direktsaatflächen zusätzlich beeinträchtigt hat (PROPLANTA 2006). Mit fortschreitendem Wachstum der Maispflanzen nahm die Beschattung aller anderen Pflanzen zu. Dadurch verringerten sich deren Photosyntheseleistung und ihre Fitness. Die Maispflanzen wiederum zeigten somit eine höhere Konkurrenzkraft und vollzogen deshalb effektiv die Blütenentwicklung, die Blüte sowie die Fruchtentwicklung und -reife. Nach der verzögerten Jugendentwicklung produzierten die Pflanzen auf der Direktsaat-Hauptfläche schließlich einen ebenso hohen Fruchtertrag wie die Pflanzen auf der Pflug-Hauptfläche.

Mit der Untersuchung der Ertragskomponenten (Anzahl der Kolben je m<sup>2</sup>, Tausendkorngewicht) konnte die unterschiedliche Zusammensetzung der Erträge auf den Untersuchungsflächen verdeutlicht werden. Beispielsweise kompensierte die hohe Kolbenanzahl auf der Direktsaat-Hauptfläche das vergleichsweise geringe Korngewicht. Die Ertragsbestimmung zeigte, dass sowohl mit der konventionellen Bodenbearbeitung als auch mit Direktsaat gleich hohe Erträge erzielt werden können, worauf in der Literatur mehrfach hingewiesen wird (z.B. KÖLLER 1993, TEBRÜGGE 1994).

Die Wiederholungsflächen beider Bearbeitungsvarianten wiesen im Vergleich zu den Hauptflächen deutlich geringere Fruchterträge auf. Da innerhalb der Varianten größere Unterschiede auftraten als zwischen den Varianten, liegt die Schlussfolgerung nahe, dass die Bodenbearbeitung nicht der entscheidende Faktor für die Entwicklung der Pflanzen und die Ertragshöhe war.

## 6 Schlussfolgerungen

Mit dem Vergleich unterschiedlich bearbeiteter Flächen eines Ackerstandorts konnte nachgewiesen werden, dass Unterschiede hinsichtlich der Bodenfeuchtedynamik und der Pflanzenentwicklung in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung bestehen. Allerdings konnte nicht gezeigt werden, dass die Bodenbearbeitung hier der primäre Faktor für die verschiedenen Ausprägungen war. Dies ergibt sich einerseits aufgrund der von DAMMANN (2011b) beobachteten Unterschiede hinsichtlich der Ausprägung verschiedener Bodeneigenschaften. Andererseits zeigten die Ergebnisse der mobilen Wassergehaltsmessungen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Des Weiteren verlief die Pflanzenentwicklung zwar verschieden, aber die Untersuchungen zum Feldaufgang und zur Ertragshöhe zeigten wiederum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten.

Die Lagerungsdichte und die Porosität des Bodens haben die Wasserverfügbarkeit und somit die Pflanzenentwicklung beeinflusst. Jedoch konnten aufgrund des Versuchsaufbaus keine Rückschlüsse auf Zusammenhänge mit der Bodenbearbeitung gezogen werden, da keine Daten für die Wiederholungsflächen der Varianten erhoben worden sind.

Aufgrund der Entwicklungsprozesse innerhalb des Bodens und der variierenden Ausprägung der Klima- bzw. Witterungsfaktoren sind mehrjährige Untersuchungen, insbesondere auch der Bodeneigenschaften, grundlegend notwendig. Zwar gibt der Wassergehalt Anhaltspunkte für die Ausprägung verschiedener Bodeneigenschaften, z.B. der effektiven Lagerungsdichte, jedoch weisen die Ergebnisse auch auf Standorteigenschaften hin, die bisher nicht durch die Bodenbearbeitung beeinflusst worden sind und einer genaueren Überprüfung bedürfen. Für die Repräsentativität der gewonnenen Erkenntnisse ist eine parallele Untersuchung mehrerer Standorte anzustreben.

## 7 Zusammenfassung

REINHARD, S., SCHMIDT, G., FRÜHAUF, M. (2014): Bodenfeuchtedynamik und Ertragsbildung von *Zea mays* L. nach konventioneller Bodenbearbeitung und Direktsaat. - *Hercynia N. F.* 47 (2014): 13 – 30.

Das Ziel der Arbeit bestand darin, die Zusammenhänge zwischen der Wasserverfügbarkeit im Boden, der Maisentwicklung und zwei Bodenbearbeitungssystemen, der Direktsaat und dem Pflügen, aufzuzeigen. Die Grundlage hierfür bildet ein Projekt, welches für den Pflanzenbau Strategien zur Anpassung an den Klimawandel entwickelt. Während der Vegetationsperiode 2011 wurden die Bodenbearbeitungssysteme hinsichtlich ihrer Bodenfeuchtedynamik charakterisiert und miteinander verglichen. Parallel dazu erfolgte eine Analyse über die Entwicklung und den Ertrag der Maisbestände. Es zeigte sich, dass der Wassergehalt im gepflügten Boden deutlich größeren Schwankungen unterlag als im unbearbeiteten Boden. Die gemessenen pF-Werte lassen erkennen, dass das Wasser unter Pflug für die Maispflanzen außerdem leichter verfügbar war. Die Pflanzen der Pflug-Variante bildeten bezüglich aller Entwicklungsparameter einen homogenen Bestand. Zudem wiesen sie eine höhere Trockensubstanz auf als jene auf der Direktsaat-Variante. Die Fruchterträge beider Maisbestände wiesen zwar unterschiedliche Zusammensetzungen auf, waren aber gleich groß. Die Ergebnisse ließen jedoch nicht die Schlussfolgerung zu, dass die beobachteten Unterschiede in der Bodenfeuchtedynamik sowie in der Pflanzenentwicklung vornehmlich eine Folge der differenzierten Bodenbearbeitung waren.

## 8 Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. - E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover.
- ALTERMANN, M. (1995): Überblick über die Böden des mitteleuropäischen Raumes. - In: Altermann, M.: Exkursionsführer zur Jahrestagung 1995 in Halle. - Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. 77: 27 – 34.
- BAUER, L. (1959): Querfurter Platte und Untere Unstrutplatten. - In: Meynen, E.; Schmithüsen, J. (Ed.): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. 6. Lfg.: 755 – 756.
- BLUME, H.-P., BRUMMER, G., HORN, R., KANDELER, E., KOGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, R., WILKE, B.-M. (2010): Scheffer/Schachtschabel - Lehrbuch der Bodenkunde. - Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- BLUME, H.-P., HORN, R., THIELE-BRUHN, S. (Ed.) (2011): Handbuch des Bodenschutzes - Bodenökologie und -belastung. Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. - Wiley-VCH, Weinheim.
- DAMMANN, S. (2009): Entwicklung von nachhaltigen Ackerbaukonzeptionen für Trockengebiete - Projektbericht 2008. Halle.
- DAMMANN, S. (2011a): Präsentation zum Versuchsaufbau auf dem Versuchsfeld Hallgasse im Mitteldeutschen Trockengebiet. - schriftl. Mitt.
- DAMMANN, S. (2011b): Kenndaten des Bodentyps für das Versuchsfeld Hallgasse. - schriftl. Mitt.
- DAMMANN, S., MEINEL, T., BELJAEV, V., FRÜHAUF, M. (2011): Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsmethoden auf Bodenwasserhaushalt und Pflanzenproduktion in Trockengebieten. - Hallesches Jahrbuch Geowiss. 32/33: 33 – 48.
- DMK - DEUTSCHES MAISKOMITEE (2009a): Standortansprüche - Temperatur. - www.maiskomitee.de (29.08.2011).
- DMK - DEUTSCHES MAISKOMITEE (2009b): Aussaat - Bestandesdichte. - www.maiskomitee.de (29.08.2011).
- DÖRING, J., MÜLLER, J., JÖRN, M., NEUBERT, S., PANNICKE, I., WEDEKIND, G., SCHURIGT, J. (1995): Klimatische Kennzeichnung des Mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. - In: Körschens, M., Mahn, E.-G. (Ed.): Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes: 534 – 567. - Teubner, Stuttgart.
- EHLERS, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze. Dynamik des Wasserhaushalts als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag. - Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart (Hohenheim).
- FABIG, I. (2007): Die Niederschlags- und Starkregenentwicklung der letzten 100 Jahre im Mitteldeutschen Trockengebiet als Indikatoren möglicher Klimaänderungen. - Diss., Univ. Halle-Wittenberg.
- FREDE, H.-G., BEISECKER, R., LÜTKEMÖLLER, D., GÄTH, S. (1994): Auswirkungen langfristig differenzierter Bodenbearbeitung auf die Porenraumstruktur und den Wasser- und Stofftransport eines Löß- und eines Sandbodens. - In: Tebrügge, F., Dreier, M. (Ed.): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristige Auswirkungen auf den Boden: 91 – 116. - Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns.
- GEISLER, G. (1988): Pflanzenbau. Ein Lehrbuch - Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. - Parey, Berlin.

- GRUBER, W. (1994): Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Gefügestabilität von Ackerböden. - In: TEBRÜGGE, F., DREIER, M. (Ed.): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristige Auswirkungen auf den Boden: 17–40 - Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns.
- KNAPPENBERGER, T. (2009): Der Einfluss der Sätiefe auf Feldaufgang und Ertrag von Mais. – Verlag Dr. Kovač, Hamburg.
- KÖLLER, K. (1993): Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug: wissenschaftliche Ergebnisse - praktische Erfahrungen. - DLG-Verlag, Frankfurt.
- KROPP, J., ROITHMEIER, O., HATTERMANN, F., RACHIMOW, C., LÜTTGER, A., WECHSUNG, F., LASCH, P., CHRISTIANSEN, E., REYER, C., SUCKOW, F., GUTSCH, M., HOLSTEN, A., KARTSCHALL, T., WODINSKI, M., HAUF, Y., CONRADT, T., ÖSTERLE, H., WALTHER, C., LISSNER, T., LUX, N., TEKKE, V., RITCHIE, S., KOSSAK, J., KLAUS, M., COSTA, L., VETTER, T., KLOSE, M. (2009): Klimawandel in Sachsen-Anhalt. Verletzlichkeiten gegenüber Folgen des Klimawandels. - Endbericht, Potsdam. - [www.pik-potsdam.de](http://www.pik-potsdam.de) (27.09.2011).
- KTBL KURATORIUM F. TECHNIK UND BAUWESEN I. D. LANDWIRTSCHAFT E.V. (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz - Schlußfolgerungen für die gute fachliche Praxis. - Arbeitspapier 266.
- LÜTKE ENTRUP, N., OEHMICHEN, J. (Ed.) (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues 2: Kulturpflanzen. - Mann, Gelsenkirchen.
- MEIER, U., BLEIHOLDER, H. (2006): BBCH-Skala - Phänologische Entwicklungsstadien wichtiger landwirtschaftlicher Kulturen, einschließlich Blattgemüse und Unkräuter. - Agrimedia, Clenze.
- OELKE, E. (1997): Sachsen-Anhalt. - Perthes, Gotha.
- PROPLANTA GMBH & CO KG. (2006): Pflanzenschutz. - In: [www.proplanta.de/Mais](http://www.proplanta.de/Mais) (01.04.2012).
- PROTZE, N., COLDITZ, M., REISSBERG, E., RODERMANN, A. (1992): Heimat und Welt. Sachsen-Anhalt. - Westermann, Braunschweig.
- REINHARD, S. (2012): Entwicklung der Bodenfeuchtedynamik unter konventioneller Bodenbearbeitung und Direktsaat während einer Vegetationsperiode von Mais. - Dipl.arb., Univ. Halle-Wittenberg.
- RINTELEN, P. (Ed.) (1971): Mais - Ein Handbuch über Produktionstechnik und Ökonomik. - BLV-Verlags-Ges., München.
- SCHUMANN, A., MÜLLER, J. (1995): Klimatologische Kennzeichnung des mitteldeutschen Trockengebietes. - Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. 77: 43 – 48.
- SEIDLER, C. (1996): Pflanzenwachstum und Wasserhaushalt. - In: Internationales Hochschulinstitut Zittau (1996): Wasser im System Boden - Pflanze - Atmosphäre. - Festschrift anlässlich des 60. Geburtstages von Prof. Dr. Gerd Peschke. - IHI-Schriften 2: 120 – 129.
- STUEBING, L., FANGMEIER, A. (1992): Pflanzenökologisches Praktikum - Gelände- und Laborpraktikum der terrestrischen Pflanzenökologie. - Ulmer, Stuttgart.
- TEBRÜGGE, F. (1994): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen unter den Aspekten von Bodenschutz und Ökonomie. - In: Tebrügge, F., Dreier, M. (Ed.): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristige Auswirkungen auf den Boden: 5 – 16. - Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns.
- TEBRÜGGE, F., DREIER, M. (Ed.) (1994): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristige Auswirkungen auf den Boden. - Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns.
- ZEBISCH, M., GROTHMANN, T., SCHRÖTER, D., HASSE, C., FRITSCH, U., CRAMER, W. (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Dessau. - [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) (27.09.2011).
- ZSCHEISCHLER, J., ESTLER, M. C., STAUDACHER, W., GROSS, F., BURGSTALLER, G., STREYL, H., RECHMANN, T. (1990): Handbuch Mais - umweltgerechter Anbau, wirtschaftliche Verwertung. - DLG-Verlag, Frankfurt.

*Manuskript angenommen: 30. Oktober 2014*

Dipl.-Geogr. Susanne Reinhard  
Goethestr. 16, D-06114 Halle (Saale)  
E-Mail: [susanne.reinhard@gmx.net](mailto:susanne.reinhard@gmx.net)

Prof. Dr. Dr. h. c. Manfred Frühauf  
Dr. rer. nat. Gerd Schmidt  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften,  
Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle (Saale)  
E-Mail: [gerd.schmidt@geo.uni-halle.de](mailto:gerd.schmidt@geo.uni-halle.de)  
[manfred.fruehauf@geo.uni-halle.de](mailto:manfred.fruehauf@geo.uni-halle.de)