

Markus Demmel, Robert Brandhuber, Hans Kirchmeier, Martin Müller und Marc Marx

Das Regelfahrspurverfahren – technische und organisatorische Realisierung

Auf drei landwirtschaftlichen Betrieben in Bayern werden Regelspurverfahren (Controlled Traffic Farming, CTF) im Rahmen von Feldversuchen untersucht. Insbesondere werden die technische Durchführbarkeit, die Vorzüglichkeit von Verfahrensvarianten und die Wirkung auf den Bodenwasserhaushalt geprüft. Im Regelspurverfahren werden in Deutschland übliche und im Straßenverkehr zugelassene Landmaschinen eingesetzt. Damit ist auf den Betrieben ein Anteil nicht überfahrener Fläche von 58 bis 67 % erreichbar. RTK-DGPS-basierte Lenksysteme wurden für alle Arbeiten eingesetzt. Im zweiten Versuchsjahr konnte bereits eine verbesserte Wasserverfügbarkeit im nicht befahrenen Boden festgestellt werden. Hinsichtlich der Erträge im befahrenen und unbefahrenen Bereich konnte aufgrund der Witterung für die Jahre 2010 und 2011 noch kein eindeutiger Trend festgestellt werden. Lange Trockenperioden in der Hauptvegetationszeit sind bisher nicht aufgetreten. Die erwarteten Vorzüge des Verfahrens in ausgeprägten klimatischen Stresssituationen werden sich erst dann erweisen können.

Schlüsselwörter

Regelfahrspurverfahren, Controlled Traffic Farming, Bodenverdichtung, Spurführung, Ertrag

Keywords

Controlled traffic, farming, compaction, guidance, soil

Abstract

Demmel, Markus; Brandhuber, Robert; Kirchmeier, Hans; Müller, Martin and Marx, Marc

Controlled traffic farming – technical and organizational realization

Landtechnik 67 (2012), no. 6, pp. 435–440, 2 figures, 1 table, 19 references

Controlled traffic farming (CTF) systems have been installed and investigated on three arable farms in Bavaria. Particularly the technical realization, the advantages of different systems and the effect on soil water should be examined. The farm equipment used meet German traffic regulations. Hence, the portion of non-trafficked land is limited to 58–67 %. RTK

DGPS based automatic steering systems were used for all field work. Already in the second year of the experiment a tendency to increased water availability was observed in the non-trafficked areas. Crop yields did not show unidirectional reactions in the seasons of 2010 and 2011. Because long dry periods in the main seasons did not occur the expected advantages of controlled traffic farming could not be confirmed.

Technologien zur sicheren Ortung und Führung von Fahrzeugen und Maschinen bieten vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im Ackerbau. Mit hoch präzisen satellitengestützten Ortungssystemen können Fahrwege von Landmaschinen exakt dokumentiert und jederzeit lokalisiert und angesteuert werden. Damit wird auch das Regelspurverfahren umsetzbar, das bereits in den 70er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts diskutiert wurde.

Das Regelspurverfahren entspricht einem Beet-System. Fahrspuren und Wuchsfläche werden für alle Arbeitsgänge auf dem Feld getrennt. Spurweiten und Arbeitsbreiten der Landmaschinen müssen aufeinander abgestimmt sein. Jeder Arbeitsgang erfolgt mit automatischer Spurführung. Im konsequent angewendeten Regelspurverfahren werden speziell angepasste Fahrzeuge und Geräte mit großer Spurweite und schmalen Reifen eingesetzt: Die Fahrspur ist frei von Bewuchs und bleibt unter einem Flächenanteil von etwa 15 %. Werden Landmaschinen

mit üblichen Spurweiten und Reifendimensionen verwendet, steigt der Spurflächenanteil auf über 30 % und die Fahrspurrassen werden mit bewirtschaftet.

Für das Verfahren ist die sichere Wiederfindung der Fahrspuren essenziell. Es verspricht Vorteile bei Ertragsicherheit, Boden- und Klimaschutz. Auch sind Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch und bei der Bodenbearbeitung zu erwarten. Darüber hinaus können durch eine verbesserte Bodenstruktur die Lachgasemissionen sinken.

CTF hat sich in Australien in den letzten Jahren zu einem praxisüblichen Verfahren entwickelt. Unter semiariden Bedingungen besticht dort das Vermögen der – nicht mehr mit schweren Maschinen überfahrenen – Böden Niederschlagswasser aufzunehmen, zu speichern und den Kulturpflanzen in Trockenperioden zur Verfügung zu stellen.

Auch in Mitteleuropa ist trotz anderer klimatischer Verhältnisse die Sensibilität des Systems Boden-Pflanze vieler Standorte hinsichtlich Bodenerosion, Bodenverdichtung und Trockenperioden in der Vegetationszeit hoch. Die Anbaufläche von Kulturarten mit hohem Erosionsrisiko nimmt zu und der Klimawandel lässt vermehrt Witterungsextreme erwarten. In einem vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geförderten Forschungsprojekt prüft daher die Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), ob CTF unter den hiesigen Anbaubedingungen realisierbar ist. Dabei soll eruiert werden, welche technischen, organisatorischen und pflanzenbaulichen Probleme auftreten können, wie diese zu lösen sind und ob die erwarteten Effekte bezüglich Wassereffizienz und Ressourcenschutz eintreten. Das Forschungsprojekt startete Mitte 2009 und wird bis Ende 2014 fortgesetzt.

Stand des Wissens

Erste Versuche mit konsequenten Regelfahrspurverfahren wurden in den 1970er- und 1980er-Jahren im Feldgemüsebau in den Niederlanden und England mit Breitspurträgerfahrzeugen bzw. Brückenfahrzeugen (Gantries) durchgeführt [1, 2]. Auch in Deutschland wurden zur Bodenschonung speziell im Zuckerrübenanbau „Verkehrorientierte Anbausysteme“ diskutiert [3]. Die erwarteten Verbesserungen bei Bodenstruktur und Kraftstoffverbrauch traten ein, jedoch konnte wegen zahlreicher technischer Probleme das Verfahren nicht in der Praxis etabliert werden.

In jüngster Zeit widmet sich die Forschung wieder zunehmend diesem Thema [4-6]. Leistungsfähige Traktoren, Bestellsysteme mit sechs, neun und zwölf Metern Arbeitsbreite und Erntemaschinen mit identischen Schnittbreiten eröffnen zusammen mit GPS-basierten Lenksystemen die Möglichkeit, Regelfahrspurverfahren erfolgreich zu realisieren.

Im extensiven Getreideanbau in den Trockengebieten Australiens mit verdichtungsempfindlichen Böden hat sich CTF mit einer Anbaufläche von mehreren Mio. Hektar von den ersten Anfängen 1990 bis heute als Standardverfahren etabliert [7, 8]. Untersuchungen belegen eine erhöhte Wasserinfiltration, ein voll funktionsfähiges Bodengefüge, eine verminderte

Erosionsanfälligkeit, verbesserte Feldaufgänge, eine intensivere Durchwurzelung und dadurch stabilere und höhere Erträge [7, 9-11]. Bowman [12] verweist auf die hohe Wirtschaftlichkeit von CTF unter australischen Bedingungen.

Positive Effekte hinsichtlich Wassereffizienz, Erosionsschutz und Ertragsbildung wurden auch in den trockenen Lössgebieten Nord-Chinas dokumentiert [13].

Derzeit untersuchen Forschungsgruppen in Großbritannien, der Schweiz, der Slowakei, der Tschechischen Republik, den Niederlanden, Deutschland und Dänemark (dort mit Schwerpunkt Ackergras), wie sich Regelfahrspurverfahren unter west- und mitteleuropäischen Verhältnissen umsetzen lassen und ob ähnliche Effekte wie in Trockengebieten erzielt werden können. Die europäischen Aktivitäten sind in der ISTRO Working Group „Controlled Traffic Farming“ vernetzt. Zu Teilaspekten liegen Veröffentlichungen vor [14-19]. Umfassende wissenschaftliche Arbeiten auf Basis abgeschlossener Feldversuche sind im europäischen Raum noch nicht veröffentlicht worden.

Methodik

Betriebe und Standorte

Auf Flächen von drei landwirtschaftlichen Betrieben wurden Feldversuche angelegt. Die Betriebe liegen (1) im Landkreis Eichstätt (Fränkische Alb zwischen Donau und Altmühl), (2) im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen (Albanstieg in Donaunähe) und (3) im Landkreis Pfarrkirchen (Tertiärhügelland). Die Betriebe 1 und 2 sind viehlose Marktfruchtbetriebe mit Winterweizen, Raps, Zuckerrüben und z.T. Winterroggen. Betrieb 3 betreibt Bullen- und Hähnchenmast und baut Winterweizen, Raps und Mais an.

Die drei Betriebe brachten wesentliche Voraussetzungen für die Durchführung der Versuche mit: pfluglose Bodenbearbeitung, Erfahrungen mit GPS-Ortung und automatischen Lenksystemen sowie Interesse an einer Weiterentwicklung ihres Ackerbaumanagements. Aufbauend auf die bereits vorhandene Technik wurden alle relevanten Schlepper und die Erntemaschinen – soweit noch nicht geschehen – mit hochgenauen Lenksystemen (RTK DGPS) aus- bzw. aufgerüstet. Dabei kamen sowohl Lenksysteme zum Einsatz, die direkt in die Lenkhydraulik eingreifen als auch universelle Nachrüstlösungen. Lediglich der selbstfahrende Rübenroder (Betrieb 1) wurde weiterhin manuell gelenkt, da der Erntevorgang ohnehin an die vorhandenen, mit Lenksystem gesäten Rübenreihen gebunden ist.

In den Jahren 2009 und 2010 lagen die Jahresniederschlagssummen bei Betrieb 1 und 2 bei 804 bzw. 768 mm, die Jahresdurchschnittstemperaturen betragen 8,7 bzw. 7,5 °C (Wetterstation Härighof). Bei Betrieb 3 fiel etwas mehr Niederschlag (2009: 890 mm; 2010: 804 mm) bei wärmeren Temperaturen (8,9 bzw. 8,1 °C LfL-Wetterstation Reith).

Die Böden der Versuchsflächen sind durchwegs tiefgründig und durch Lößlehm beeinflusst. Die Bodenart von Betrieb 1 ist schluffiger bis schwach toniger Lehm (Lu, Lt2), von Betrieb 2 mittel schluffiger Ton bis sandig-toniger Lehm (Tu3, Lts) und von Betrieb 3 mittel sandiger Lehm (Ls3).

Feldversuche

Um ein konsequentes Regelspursystem realisieren zu können, wurde für jeden Versuchsbetrieb ein Fahrspursystem mit den jeweilig verfügbaren Maschinen und Geräten entwickelt. Zu berücksichtigen waren dabei die Arbeitsbreiten der Schlüsselmaschinen (Bodenbearbeitung, Saat, Ernte), die Spurweiten aller Landmaschinen und die Breite der Reifen. Ergebnis sind unterschiedliche Befahrungssysteme mit folgenden Arbeitsbreiten: 5,4 m (Betrieb 1), 6,0 m (Betrieb 2) und 4,5 m (Betrieb 3). Alle Arbeitsgänge, d.h. die Bodenbearbeitung, Aussaat und Ernte wurden mit diesen Arbeitsbreiten durchgeführt. Die Düngung und der Pflanzenschutz erfolgten ebenfalls gemäß der vorgegebenen Arbeitsbreite. Daraus resultierte dann der (theoretisch) realisierbare Anteil an nicht mehr überrolltem Boden bei den Mähdruschfrüchten: 67 % bei Betrieb 1, 58 % bei Betrieb 2 und 66 % bei Betrieb 3.

Abbildung 1 zeigt den Plan der Fahrspuren für Betrieb 1 mit 67 % nicht mehr überrollter Fläche in der Mähdruschfruchtfolge. Bei den Flächen mit Zuckerrübenanbau ist der unbefahrene Anteil deutlich geringer, weil die Arbeitsbreite des Roders nur 2,7 m (6 Reihen) beträgt und so zu den vorhandenen Fahrspuren zusätzliche Spuren erzeugt werden.

Aus **Abbildung 1** ist ersichtlich, dass Schlepper und Erntemaschine (Mähdrescher) nicht in derselben Spur fahren (können), sondern um eine halbe Spur versetzt („Twin-Track-System“). Dies liegt daran, dass Erntemaschinen deutlich größere Spurweiten als Schlepper (3,5–2,5 m) aufweisen dürfen. Durch den halben Versatz laufen die Reifen des Schleppers jeweils in den Spuren zweier benachbarter Mähdrescherspuren. Dieser Ansatz stößt bei Arbeitsbreiten ab ca. 6 m an seine Grenzen, weil die benachbarten Spuren des Mähdreschers dann für klassische Spurweiten von Schleppern zu weit auseinander liegen. In den eigenen CTF-Feldversuchen wurde das klassische, in Australien realisierte CTF-System mit dort speziell angepassten Fahrzeugen (größere Spurweite, schmale Reifen) modifiziert,

weil hier nur von der Zulassungsbehörde genehmigte, am Markt verfügbare Landtechnik eingesetzt werden darf. Spuranteile im Bereich von 15 % wie in Australien sind so nicht erreichbar. Die Auswirkungen auf Erträge und Bodenfunktionen in den überrollten Trassen müssen also intensiv untersucht werden.

Boden und Pflanze

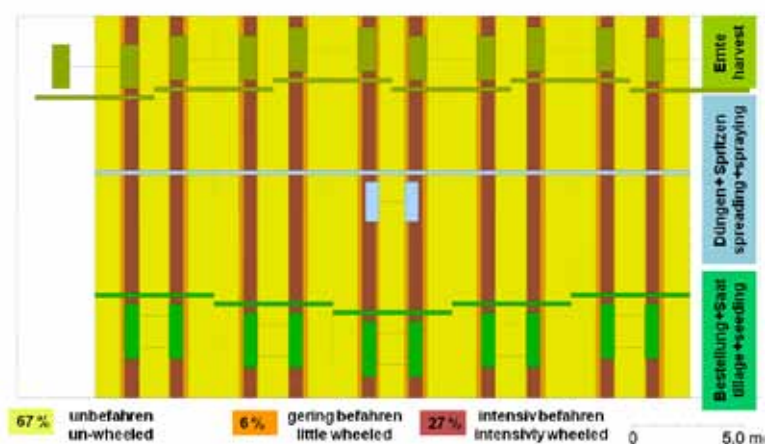
Bodenwasserhaushalt

Die wesentliche Aufgabe ist die Prüfung, ob und wie weit im CTF-System der Bodenwasserhaushalt verändert wird. Etwai-ge Änderungen würden aus Veränderungen der Bodenstruktur resultieren. Als Untersuchungsschwerpunkt wurden deshalb während der Vegetationsperiode kontinuierlich Saugspannungen im Boden gemessen. Ergänzend dazu wurden 2011 Messungen des Eindringwiderstands und der Lagerungsdichte (Trockenrohddichte) vorgenommen.

Die Saugspannungen im Boden wurden an den drei Standorten mit Equitensiometern bestimmt. Alle Equitensiometer waren mit Quarzmehl eingeschlämmt, um den Kontakt vom Boden zum Sensor zu gewährleisten.

Auf dem Betrieb 1 sind im Abstand von ca. 90 m jeweils zwei Messstellen errichtet. Dort wurde jeweils in den beiden benachbarten Teilschlägen bei verschiedenen Feldfrüchten gemessen. An jeder Messstelle waren die Sensoren im befahrenen und unbefahrenen Bereich in 15, 37,5 und 60 cm Tiefe vergraben. Der horizontale Abstand der Sensoren untereinander betrug 50 cm. An der ersten Messstelle am Betrieb 1 waren in 15 cm Tiefe drei Equitensiometer installiert, um ein Bild über die kleinräumliche Variabilität der Werte zu bekommen. Die Platzierung der Equitensiometer erfolgte auf dem Betrieb 3 wie auf Betrieb 1, jedoch wurden drei Messstellen im Abstand von ca. 25 m errichtet. Auf dem Betrieb 2 wurden drei Messstellen mit einem Abstand von ca. 60 m aufgebaut. Hier wurde die Sensoranzahl halbiert, weil auf dem Versuchsfeld nur eine Feldfrucht angebaut wurde.

Abb. 1



Schematische Fahrspuren (Mähdruschfruchtfolge, Betrieb 1)

Fig. 1: Traffic pattern (rotation with combinable crops, farm 1)

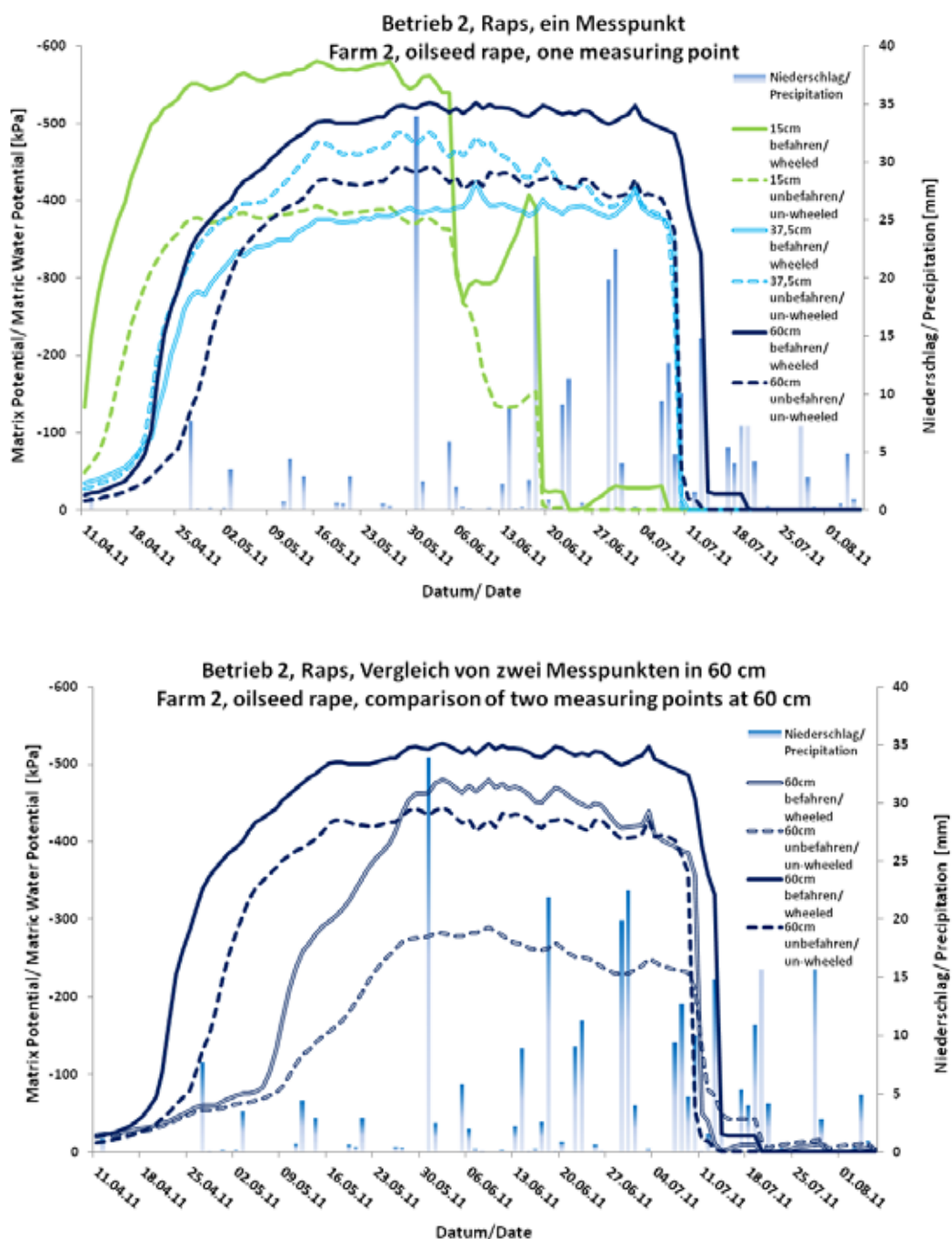
Die Daten der Saugspannung wurden von Datenloggern aufgezeichnet und können mittels Modem fernabgefragt werden. Zusätzlich wurden in der Vegetationsperiode vor Ort die Niederschläge erfasst und mit den Daten der jeweils nächstgelegenen Wetterstation abgeglichen.

An den Versuchsstandorten sind aus allen Messtiefen auch Bodenproben entnommen worden, um die Textur und die pF-Kurven (Wassergehalt bei bestimmten Wasserspannungen) zu bestimmen.

Erträge und ertragsbildende Parameter

Zur Überprüfung der zu erwartenden Unterschiede hinsichtlich der Erträge im befahrenen und unbefahrenen Bereich des CTF-Systems wurden jeweils 10 Ernteproben beim Getreide aus dem Fahrspurbereich (nicht aus Spurschächten bzw. Fahrgassen) und dem spurfreien Bereich genommen und stationär gedroschen. Beim Raps ist eine derartige Probenahme wegen der starken Verzweigung der Pflanzen nicht durchführbar. Als Indiz für die Ertragservartung wurden deshalb zu Beginn der

Abb. 2



Verlauf der Saugspannungen in 15 und 60 cm Tiefe im unbefahrenen vs. befahrenen Bereich (Betrieb 2)
 Fig 2.: Soil moisture tension in 15 and 60 cm depth in wheeled and un-wheeled areas (Farm 2)

Blüte Wurzelmasse und Hauptwurzellänge durch Ausgraben, Vermessen und Verwiegen ermittelt.

Bisherige Ergebnisse

Im Folgenden werden erste Ergebnisse aus dem Projekt präsentiert, ohne den Anspruch auf eine umfassende Berücksichtigung oder Bewertung der in verschiedenen Kategorien erhobenen Daten erheben zu wollen.

Technik

Die im Feldversuch eingesetzten automatischen Lenksysteme haben im Versuchszeitraum zuverlässig und hinreichend präzise funktioniert.

Das CTF-Verfahren zeigt die erwarteten positiven Effekte nur dann, wenn der Befahrungsplan strikt eingehalten wird. Damit sind Einschränkungen im sonst üblichen Betriebsablauf verbunden. Ein Wechsel in den Arbeitsbreiten bei einzelnen Arbeitsgängen ist kaum möglich. Ein Austausch von einzelnen Maschinen oder die Durchführung von Arbeitsgängen von unterschiedlichen Lohunternehmern muss gut geplant werden. Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung ist also der Wille des Betriebsleiters, auf möglicherweise bisher übliche Flexibilität bei der Arbeitserledigung zu verzichten.

Boden

Abbildung 2 zeigt exemplarisch den Niederschlag und die Saugspannungsverläufe von Mai bis August 2011 in den Tiefen 15 cm und 37,5 cm (1 Messpunkt) und 60 cm (2 Messpunkte) unter Körnerraps am Betrieb 2. Mit dem Verbrauch der Wasservorräte durch die Rapspflanzen steigt die Saugspannung kontinuierlich an, beginnend im Oberboden, mit etwas Verzögerung folgt der Unterboden. Niederschläge führen nur im Oberboden zu einer Reduzierung der Saugspannung. Erst nach Abreifen

(Absterben) der Pflanzen ab Ende Juni füllen wiederholte Niederschläge den Bodenwasservorrat wieder auf.

Die Saugspannungen unterscheiden sich im befahrenen und unbefahrenen Bereich in 15 cm und 60 cm Tiefe klar, ab April ist der befahrene Bereich trockener als der unbefahrene. In 60 cm Tiefe ist der Saugspannungsverlauf ausgeglichener, da dort Verdunstung und Durchwurzelung stark eingeschränkt sind. In 37,5 cm Tiefe ist dagegen keine deutliche Differenzierung zwischen befahren und unbefahren erkennbar.

Allgemein spiegelt der Verlauf in 60 cm die Tendenz an den anderen Messpunkten und den anderen Standorten wieder. Zumeist lagen in 60 cm Tiefe die Saugspannungen in den befahrenen Bereichen höher als in den unbefahrenen. Dies entspricht auch den Erwartungen, nach denen das Infiltrationsvermögen in den ungestörten Bodenbereichen höher sein sollte. Bevor generalisierende Aussagen getroffen werden können, sind allerdings längerfristige Aufzeichnungen auszuwerten und mit bodenphysikalischen Untersuchungen abzugleichen.

Pflanzenbau

Beim Getreideertrag gab es in den beiden Versuchsjahren unterschiedliche bzw. keine eindeutigen Ergebnisse (**Tabelle 1**).

Während auf den Versuchsflächen der Betriebe 1 und 3 im Jahr 2011 keine Unterschiede zwischen dem befahrenen und dem unbefahrenen Bereich hinsichtlich der Ertragshöhe nachzuweisen waren, zeigte sich im Erntejahr 2010 auf Betrieb 1 im unbefahrenen Bereich ein deutlich höherer Ertrag.

Auf dem Versuchsfeld von Betrieb 2 lag der Ertrag 2010 in den Fahrspuren tendenziell über dem des unbefahrenen Bereichs. Die Tatsache für die geringe und nicht erwartete Differenzierung zwischen befahrenem und unbefahrenem Bereich sind nicht vollständig nachvollziehbar. Für belastbare Ergebnisse sind mehrjährigen Ertragsmessungen notwendig.

Tab. 1

Getreideerträge die mittels Regelfahrspurverfahren im Jahr 2010 und 2011 erzielt wurden

Table 1: Cereal of Controlled Traffic Farming experiments in 2010 and 2011

Situation Situation	Ertrag befahren ¹⁾ Yield wheeled area [t/ha]	Ertrag unbefahren ¹⁾ Yield unwheeled area [t/ha]
Winterroggen – Betrieb 1, 2010 Winter rye – farm 1, 2010	4,9 (73 %)	7,2 (107 %)
Winterweizen – Betrieb 2, 2010 Winter wheat – farm 2, 2010	8,3 (108 %)	7,5 (98 %)
Winterweizen – Betrieb 1, 2011 Winter wheat – farm 1, 2011	8,3 (102 %)	8,1 (100 %)
Winterweizen – Betrieb 3, 2011 Winter wheat – farm 3, 2011	6,1 (97 %)	6,4 (101 %)
Relativer Durchschnittsertrag Relative average	95 %	102 %

¹⁾ Durchschnittsertrag Gesamtfläche / average yield whole field = 100 %.

Schlussfolgerungen

Die bisherigen Ergebnisse der Feldversuche zeigen, dass die notwendigen technischen Instrumente für CTF grundsätzlich funktionsfähig sind.

In Deutschland bzw. Westeuropa ist derzeit ein CTF-System nur mit marktüblichen und – bei Straßenfahrt bzw. –transport – den Vorgaben der StVZO entsprechenden Maschinen und Geräten realisierbar, was einen vergleichsweise hohen Anteil an befahrener Fläche nach sich zieht. Den Anteil der unbefahrenen Fläche so gering wie möglich zu halten, gelingt nur durch Steigerung der Arbeitsbreiten und Abstimmung aller Spurweiten. Wie die Erträge insgesamt auf diese Bedingung reagieren, kann nach 3 Projektjahren noch nicht beurteilt werden. Dies gilt auch für die Reaktion auf ausgeprägte Trockenheit.

Die Herausforderung für den Betriebsleiter ist einerseits die notwendige Abstimmung der Arbeitsbreiten und Spurweiten aller eingesetzten Maschinen und Zugschlepper, andererseits die konsequente Durchsetzung des trassengebundenen Fahrverkehrs. In Betrieben mit Zuckerrüben und Kartoffelanbau ist ein CTF-System derzeit nicht sinnvoll realisierbar, da die üblichen Köpfrödebunker mit Hundegang nahezu das gesamte Feld überrollen. Auch die in Betrieb 1 eingesetzte Rodetechnik ohne Hundegang belegt einen zu großen Feldanteil mit Spuren.

Die Effekte des nicht mehr Befahrens auf den Bodenwasserhaushalt sind bisher vielversprechend. Eine verbesserte Wasseraufnahme- und Wasserspeicherfähigkeit scheint sich abzuzeichnen.

Weniger Bodenverdichtungen bedeuten weniger Kraftaufwand für deren Lockerung durch die Bodenbearbeitung. Wie bei den Erträgen steht jedoch eine Bilanz mit Integration des befahrenen Bereichs noch aus. Mit verbesserter Bodenstruktur sollten auch verringerte Lachgasemissionen einhergehen. Entsprechende Messungen wären sehr sinnvoll, wenn sich der Trend im Bodenwasserhaushalt bestätigt.

Von einer Praxisreife des CTF kann aufgrund der bisherigen Erfahrungen noch nicht gesprochen werden, dazu sind weitere Feldversuche und Praxiserfahrungen notwendig.

Literatur

- [1] Lamers, J.G.; Perdok, U.D.; Lumkes, L.M.; Klooster, J.J. (1986): Controlled traffic farming systems in the Netherlands. *Soil & Tillage Research* (8), pp. 65–76
- [2] Tillett, N.D.; Holt, J.B.; Chestney, A.A.W.; Reed, J.N. (1988): Experimental Field Gantry for Leaf Vegetable Production: Specification, Design and Evaluation. *J. agric. Engng. Res.* 41, pp. 53–64
- [3] Kromer, K.-H. (1989): Verkehrsorientierte Anbausysteme – Definition und verfahrenstechnische Lösungen. *Landtechnik* 44(6), S. 225–232
- [4] Tullberg, J. (2008): CTF and Climate Change. 6th Australian Controlled Traffic Farming Conference, pp. 86–90; www.actfa.net/further_reading/documents/Tullberg.Jeff.pdf, Zugriff am 10.9.2012
- [5] Tullberg, J. (2010): Tillage, traffic and sustainability – A challenge for ISTRO. *Soil & Tillage Research* (111), pp. 26–32
- [6] Reeder, R.C. (2002): Maximizing Performance in Conservation Tillage Systems – an Overview. ASAE Paper No. 021134, 2002 ASAE Annual Meeting / CIGR XVth World Congress, ASABE St. Joseph, MI, USA
- [7] Tullberg, J.N.; Yule, D.F.; McGarry, D. (2007): Controlled traffic farming - From research to adoption in Australia. *Soil & Tillage Research* (97), pp. 272–281
- [8] Department of Agriculture, Gov. of Western Australia (2004): *Tramline Farming Systems – Technical manual*, Bulletin 4607, ISSN 1448-0352 www.agric.wa.gov.au/objtwt/imported_assets/content/lwe/land/cult/bulletin4607_complete.pdf
- [9] Kingwell, R.; Fuchsbichler, A. (2011): The whole-farm benefits of controlled traffic farming: An Australian appraisal. *Agricultural Systems* (10), pp. 513–521
- [10] Li, Y.X.; Tullberg, J.N.; Freebairn, D.M.; Ciesiolka, C.A. (2004a): Effects of controlled traffic and conservation tillage on runoff and crop yield. ASABE Paper No. 041071, 2004 ASAE Annual Meeting, ASABE St. Joseph, MI, USA
- [11] Li, Y.X.; Tullberg, J.N.; Freebairn, D.M. (2004b): Infiltration and runoff associated with controlled traffic and soil compaction under simulated rain. ASAE Paper No. 041072, 2004 ASAE Annual Meeting, ASABE St. Joseph, MI, USA
- [12] Bowman, K. (2008): Economic and Environmental Analysis of Converting to Controlled Traffic Farming. In: 6th Australian Controlled Traffic Farming Conference, 61–68, www.ctfsolutions.com.au/ebm3-doc/132275/Bowman%20Economics.pdf, Zugriff am 10.9.2012
- [13] Qingjie, W.; Hao, Ch.; Hongwen, L.; Wenyang, L.; Xiaoyan, W.; McHugh, A.D.; Jin, H. and Huanwen, G. (2009): Controlled traffic farming with no tillage for improved fallow water storage and crop yield on the Chinese Loess Plateau. *Soil & Tillage Research* (104), pp. 192–197
- [14] Roberts, M. (2011): Ackerbau auf dem rechten Weg – Controlled Traffic Farming in Großbritannien. *profi* 7, S. 70–73
- [15] Holpp, M.; Anken, T.; Saueter, M.; Rek, J.; Reiser, R.; Zihlmann, U.; Oberholzer, H.R.; Weisskopf, P.; Hensel, O. (2011): Swiss Controlled Traffic Farming Trial – Preliminary Results 2008–2010. In: *Precision Agriculture 2011*, Czech Centre for Science and Society (ed.), Prag, Czech Republic
- [16] Bochtis, D.D.; Sørensen, C.G.; Busato, P.; Hameed, I.A.; Rodias, E.; Green, O.; Papadakis, G. (2010): Tramline establishment in controlled traffic farming based on operational machinery cost. *Biosystems Engineering* (107), pp. 221–231
- [17] Kroulik, M.; Kviz, Z.; Kumhala, F.; Hula, J.; Loch, T. (2011): Procedures of soil farming allowing reduction of compaction. *Precision Agriculture* 12, pp. 317–333
- [18] Bommes, Ch. (2009): Immer in der Spur bleiben. *dlz* 8, S. 35–39
- [19] Holpp, M.; Anken, T. (2008): Ackerbau wie auf Schienen. *Mulchsaatpraxis*, DLG-Mitteilungen 7, S. 48–51

Autoren

Markus Demmel, Hans Kirchmeier und **Martin Müller** arbeiten an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft am Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Vöttinger Str. 36, 85354 Freising, E-Mail: markus.demmel@lfl.bayern.de

Robert Brandhuber und **Marc Marx** arbeiten an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft am Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Lange Point 12, 85354 Freising, E-Mail: robert.brandhuber@lfl.bayern.de