

Gute fachliche Praxis beim Einsatz leistungsfähiger Erntetechnik

Ergebnisse zum Technikeinsatz bei Bodenbearbeitung und Ernte von Zuckerrüben – Entscheidungshilfen für gute fachliche Praxis

Mit Landbewirtschaftung wird in das komplexe Wirkungsgefüge „Boden-Pflanze-Klima“ eingegriffen: Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung, Nährstoffzufuhr, Pflanzenschutz und Ernte sind Maßnahmen zur Erzielung hochwertiger Erntegüter. Hierbei setzt der Landwirt eine breite Palette hochspezialisierter und teurer Technik ein, die er aus Kostengründen optimal ausnutzen muss. Andererseits gilt es dabei auch, schädliche Nebeneffekte zu vermeiden, um wettbewerbsfähig und zugleich umweltschonend zu sein [1].

Hier Zielkonflikten vorzubeugen – dazu soll die Vermittlung guter fachlicher Praxis beitragen. Letztere wird am Beispiel der Bodenschadverdichtung erläutert.

Dr. sc. agr. Joachim Brunotte ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Dir. und Prof. Dr.-Ing. habil. Claus Sommer leitender Direktor des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig; e-mail: joachim.brunotte@fal.de

Schlüsselwörter

Bodenbelastung, Bodenschonung, gute fachliche Praxis

Keywords

Soil stress, soil protection, good practice management

Mit den geschilderten messtechnischen Methoden gelingt es, praxisrelevante Ergebnisse zu erzielen, die bei der Vermittlung guter fachlicher Praxis gegenüber Landwirt, Beratung und Industrie helfen können. Wesentliche Schlüssel für die Reduzierung des Problems Bodenschadverdichtung auf ein unvermeidliches Restrisiko liegen in den Maßnahmen zur Bodenbearbeitung und Ernte, die nachfolgend am Beispiel der Zuckerrüben dargestellt werden.

Mit der Grundbodenbearbeitung soll die Bodenstruktur für die folgende Feldfrucht in einen günstigen Zustand gebracht werden. Wird der Pflug zur Zuckerrübe eingesetzt, wird der Boden in der Regel überlockert und ist anschließend verdichtungsempfindlicher als ein abgesetzter Boden. Schonende Bodenlockerung – das heißt nicht wendend und fruchtfolgespezifisch etwa mit dem Schichtengrubber oder Parapflug nur einmal in der Fruchtfolge – hinterlässt eine etwas höhere Bodendichte und damit ein tragfähigeres Bodengefüge und bessere Befahrbarkeit.

Der kritische Punkt für bodenschonendes Befahren ist die zunehmende Radlast. Die dynamische Bodenfeuchte in Krume und Unterboden macht nachvollziehbare Grenzwerte für die mechanische Belastbarkeit von Böden unmöglich. Lange Schläge erfordern große Bunker, und deren Inhalt erzeugt hohe Radlasten. Die eingesetzten Rodesysteme unterscheiden sich in der Radlast, dem mittleren Kontaktflächen- druck, dem Reifeninnendruck und der Überrollhäufigkeit [2].

Bild 2: Fahrzeugparameter von Zuckerrüben-Rodesystemen

Fig. 2: Vehicle parameters of sugar beet harvesting systems

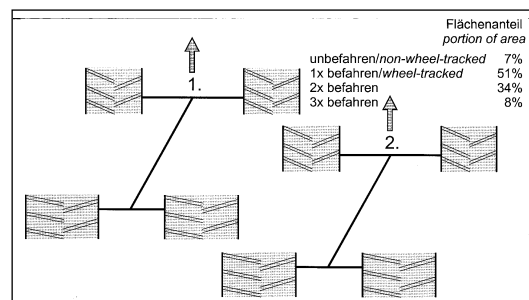


Bild 1: Spurfächenanteil eines 6-reihigen Köpfrödebunkers mit versetzter Achse durch Knickgelenk

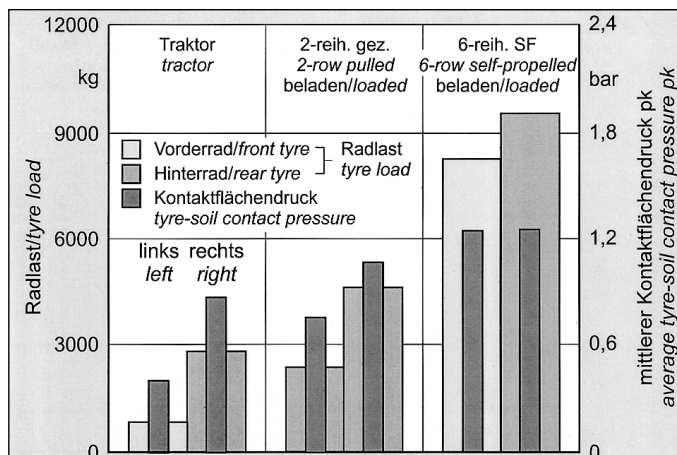
Fig. 1: Track-surface ratio of a 6-row complete beet harvester with offset axles with an angle joint

Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden Ergebnisse aus praxisorientierten Feldversuchen zum Technikeinsatz diskutiert und Schlussfolgerungen im Sinne guter fachlicher Praxis gezogen.

Einsatzversuche auf Lössböden

Technische Daten unterschiedlicher Rodesysteme und Auswirkungen auf Spurtiefe und Penetrometerwiderstand

Der Zwang zur Rationalisierung bei der Zuckerrüben-ernte hat zu einer Entwicklung vom 1- über den 2- Reihler hin zum 6-Reihler



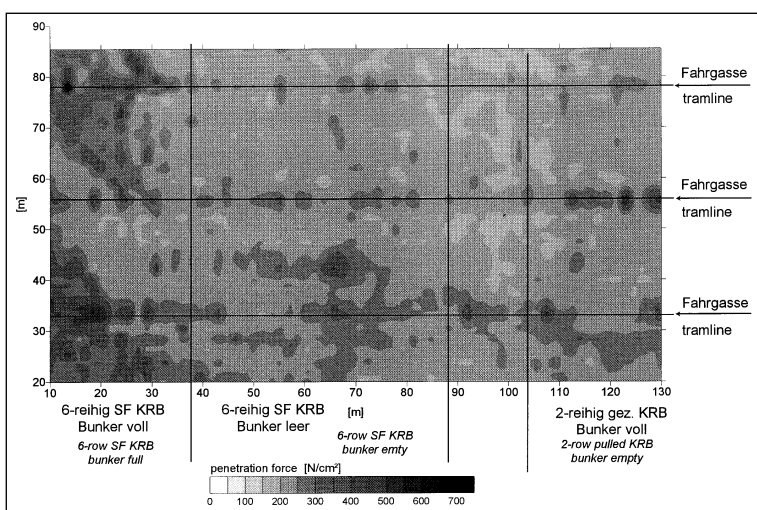


Bild 3: Bodenfestigkeit in 40 cm Tiefe nach unterschiedlicher Belastung durch Rodesysteme

Fig. 3: Soil stability in 40 cm depth following different loads caused by harvesting systems

geführt. So werden heute etwa 75% der Zuckerrüben 6-reihig geerntet. Auf die damit zunehmenden Radlasten der 6-reihigen Systeme wurde mit Breitreifen und der Entwicklung neuer Fahrwerke reagiert. Während ein 2-reihig gezogener Köpfrödebunker (Kontrolle in den durchgeführten Untersuchungen) bei gefülltem Bunker maximal 4,5 t Radlast erreicht und den Boden insgesamt sechsmal überrollt, liegt ein 6-reihiger Köpfrödebunker (KRB) bei 10 bis 12 t mit ein- bis dreimaliger Überrollung, je nach Stellung des Fahrwerkes (Bild 1).

Die Aufstandsflächen der Reifen sind, auch in Abhängigkeit vom Reifennendruck, unterschiedlich, entsprechen jedoch den abstützenden Gewichten, so dass zwischen den Systemen vergleichbare rechnerische mittlere Kontaktflächendrücke von 1,0 bis 1,3 bar an der Berührungsfläche Reifen/Boden entstehen (Bild 2). Während die Reifen des 2-Reihers mit derzeit 1,3 bar Innendruck gefahren werden, wird bei dem 6-Reiher auf die Reifentragfähigkeit verwiesen, wenn 2,3 bar verwendet wurden. Dies hat Einfluss auf den erzeugten Bodendruck.

Für den Landwirt ist die erzeugte Spurtiefe der Fahrwerke ein einfacher Indikator für die Befahrbarkeit seines Ackers. Sie fasst Radlast, Reifennendruck, Aufstandsfläche, Bodenfeuchte und Ausgangsbodendichte zusammen. Ein 6-reihiger KRB überrollt bei Geradeausfahrt 60% der Fläche zweimal, 20% der Fläche einmal und 30% der Fläche nullmal und erzeugt auf einem Lössboden bei leerem Bunker eine Spurtiefe von 8,5 (± 1,5) cm und bei vollem Bunker von 12 (± 2) cm (Bodenfeuchte 20 Gew.%, Lagerungsdichte 1,47 g/cm³). Wird das Fahrwerk durch ein Knickgelenk verschwenkt, so werden 8% der Fläche dreimal, 35% der Fläche zweimal, 50% der Fläche einmal und 7% der Fläche nullmal befahren. Die Spurtiefe sank bei leerem Bunker auf 8 (± 1,5) cm und in vollem Zustand auf 9,0

(± 1,7) cm. Infolgedessen hat die Fahrwerkentwicklung zu einer geringeren Spurtiefe geführt. Dies hat nicht nur Folgen auf die Bodenschonung hinsichtlich geringerer Überrollhäufigkeit, sondern verbessert auch die Bedingungen für die folgenden Bestellarbeiten, da der Acker nach der Zuckerrüben-ernte eine ebene Oberfläche aufweist.

Hohe Radlasten führen bei mittlerer Feuchte (20 Gew.%) zu einer Erhöhung der Lagerungsdichte und eventuell zu Bodenschadverdichtungen. Nach der Weizenernte wurde die Festigkeit des Bodens nach unterschiedlicher Belastung bei der Rüben-ernte mit einem Horizontalpenetrometer ermittelt. Dabei liegen einer Flächenmessung (Bild 3) 1700 Werte zugrunde.

Unterschiedliche Bodenbearbeitung vor und nach dem Einsatz von Zuckerrüben-erntetechnik

Im Konzept „Bodenschonendes Befahren“ ist neben der Weiterentwicklung technischer Möglichkeiten die Verbesserung der Bodentragfähigkeit ein wesentlicher Aspekt. So

Tab. 1: Weizenertrag in dt/ha nach unterschiedlicher Bodenbelastung bei der vorausgegangenen Zuckerrüben-ernte mit 2- und 6-reihigen Rodesystemen sowie unterschiedlicher Bodenbearbeitung zum Weizen

Table 1: Wheat yield (dt/ha) after different soil loading before the preceding sugar beet harvest with 2-row and 6-row harvesting systems as well as different tillage for wheat

	unbefahren			2-reihig, 2-4 t 6-fach überrollt			6-reihig, 9-11 t 1- bis 2-fach überrollt			Vorge- wende P
	P	MSmL	MSoL	P	MSmL	MSoL	P	MSmL	MSoL	
Roden '95 Weizen '96	114	115	110	98	98	97	98	100	101	
Roden '96 Weizen '97	101	103	103	103	106	102	101	101	99	96
Roden '97 Weizen '98	-	-	-	98	96	102	100	101	102	
Roden '98 Weizen '99	121	106	-	117	-	-	118	117	-	86

P: Pflug MSmL: Mulchsaat mit Lockerung (zur Winterweizenbestellung)
MSoL: Mulchsaat ohne Lockerung (zur Winterweizenbestellung) -: nicht ermittelt

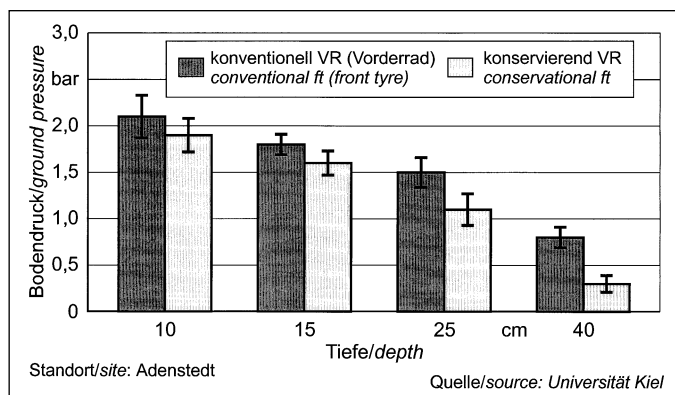


Bild 4: Bodendruck unter dem Vorderrad des 6-Reihers nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben

Fig. 4: Soil pressure underneath the front wheel of a 6-row harvester following different tillage for sugar beets

werden in den Untersuchungen seit 1995 auf einem Lössboden zu Zuckerrüben die Varianten „konventionelle Saat nach Frühjahrspflugfurche“ und „Mulchsaat nach schonender Lockerung mit Schichtengrubber“ angelegt. Beim Befahren mit den Rodern führen die Radlasten zu einer Beanspruchung des Bodens. Mit Hilfe von Schlauchsonden wurde in 20 cm (Krume) und 40 cm Tiefe (Unterboden) der Bodendruck während des Befahrens gemessen.

Bild 4 zeigt den Bodendruck in vier verschiedenen Bodentiefen – für 9 t Radlast, Reifennendruck $p_i = 2,3$ bar, rechnerischen mittleren Kontaktflächendruck $p_k = 1,3$ bar sowie 24 Gew.% Bodenfeuchte eines Lösslehm-bodens während des Befahrens am 20.11.1998. Unmittelbar unter der Kontaktfläche Reifen/Boden (10 cm Tiefe) wurden mit 2,2 (konventionelle Variante) und 1,9 bar (Mulchsaatvariante) Werte gemessen, die etwas geringer als der Reifennendruck ($p_i = 2,3$ bar) liegen. In der Krume (bis 25 cm) liegen die Bodendruckunterschiede zwischen den beiden Bestellvarianten bei 0,3 bis 0,4

bar, wobei stets die geringeren Werte in den Mulchsaatvarianten gemessen wurden. Diese Bodendruckmessungen belegen:

1. Nicht ein theoretischer mittlerer Kontaktflächendruck, sondern der tatsächliche Reifeninnendruck ist maßgebend.
2. Schonende Bodenlockerung/Mulchsaat haben höhere Bodenstabilität und damit bessere Tragfähigkeit zur Folge (darüber hinaus zeichnete diese Variante ein ausgeprägtes Vertikalporensystem aus, das Bodenabtrag vorbeugt).

Parallel zu den im Boden gemessenen Bodendrücken wurde auf der Ackeroberfläche die Spurtiefe gemessen. Tiefe Spuren entstehen dort, wo überlockertes Gefüge oder für das Befahren zu feuchter Boden vorliegen. Im Herbst 1998 kam es vielerorts zu einem Wasserstau auf der Traktorradsohle, was trotz der breiten Bereifung (800/65 R 32 XM28) hin und wieder zu einem Aufsetzen der Roder führte. Bei gleicher Radlast sind flache Spuren ein Beweis für bessere Boden- tragfähigkeit.

Im Institut für Betriebstechnik und Bau- forschung wurde vor diesem Hintergrund eine erste technische Lösung eines Befahrbar- keitssensors am Rübenroder für die Ernte 1999 entwickelt. Mit diesem Sensor wird während der Befahrung die Einsinktiefe der vorderen Achse des Roders gemessen und dem Fahrer angezeigt (Bild 5). Mit dem Da- tenerfassungsgerät UNILOG ist die kontinu- ierliche Aufzeichnung der Spurtiefe bei zu- nehmender Bunkerfüllung möglich. Damit konnten die Auswirkungen unterschiedlicher Boden- und Bearbeitungsbedingungen (zu den Zuckerrüben) untersucht werden. Die Weiterentwicklung dieses Sensors wird sich mit der Messung der Bodenstruktur während des Befahrens befassen.

Heute sind die Wurzelentwicklung und der Ertrag der Folgefrucht Winterweizen gut geeignet, um die Auswirkungen schwerer Erntetechnik auf die Bodenstruktur zu quan- tifizieren. Die Wurzelachse zeigte zwischen den Bearbeitungs- und Befahrungsvarianten

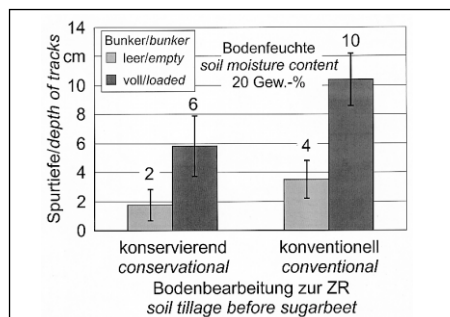


Bild 5: Spurtiefe eines 6-reihigen Köpfrödebun- kers nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben

Fig. 5: Depth of tracks of a 6-row beet harvester following different tillage before sugar beets

keine signifikanten Unterschiede. Dies ist in den letzten drei Jahren unter anderem mit den ausgeglichenen Feuchtebedingungen im Frühjahr zu erklären. Der Winterweizener- trag (Tab. 1) ist das Endergebnis aller zum Zeitpunkt des Rodens und während der nachfolgenden Vegetation auf das Wachstum einflussnehmenden Faktoren.

Im Wesentlichen bestimmt – neben den technischen Parametern – die vorausgegan- gene Witterung das Ausmaß von Schädigun- gen der Bodenstruktur durch das Roden:

1995: trockene Bedingungen – 12 mm im Oktober

1996: mittelfeuchter Boden nach 100 mm im Oktober

1997: feuchte Krume über trockenem Unter- boden, da erst ab 12. Oktober Nieder- schläge (70 mm) einsetzten

1998: sehr feuchter Boden – allein vom 18.10 bis 15.11.98 fielen 180-200 mm Niederschlag

1999: trockene Bedingungen – 35 mm im Oktober

Aus Tabelle 1 geht hervor, dass für den Wei- zenertrag 1996 eine Lockerungsmaßnahme zuvor mit/ohne Pflug keinerlei Einfluss auf den Ertrag hatte. 1996 führte der Praktiker erfahrungsgemäß eine Lockerung durch. Dies mag die Ursache für gleichhohe Win- terweizenerträge 1997 über alle Varianten hinweg sein. Die Winterweizenernte 1998 zeigte keine Unterschiede zwischen den ein- gesetzten Rodesystemen.

1998 war die schwierigste Rübenernte seit Jahren durchzuführen, und eine Mulchsaat vor Weizen durch den plastischen Zustand des Bodens an der Oberfläche war kaum möglich, so dass meist gepflügt wurde. Die sehr hohen Erträge sowohl für „unbefahren“ als auch für die Rodevarianten weisen keine Schädigung der Bodenstruktur nach – das belegen auch die Untersuchungen zur Bo- denphysik und zum Wurzelwachstum. Of- fensichtlich hat das mit Wasser gefüllte Po- rensystem die Befahrung mit hohen Lasten in Bruchteilen von Sekunden gut abgepu- fert. Anders dagegen das Vorgewende, wo es durch wiederholtes Fahren zu Verknetungen kam. Diese konnten mit dem Horizontalpe- netrometer und der Ertragsminderung von 30 dt/ha deutlich nachgewiesen werden.

Fazit

Die Rationalisierungsmaßnahmen bei der Landbewirtschaftung haben zu einer Er- höhung der Gesamtmassen von Ernte- und Transportfahrzeugen geführt. Die Sorge um den Boden besteht nicht erst seit Verabschie- dung des BBodSchG. Forderungen nach Be- grenzung der Radlast beim Befahren des Ackers (etwa von 2 bis 5 t) ohne Berück- sichtigung der aktuellen Bodenfeuchte sind

nicht hilfreich für die Vermittlung „guter fachlicher Praxis“ zur Vermeidung von Bo- denschadverdichtungen.

Die nun seit fünf Jahren durchgeführten Untersuchungen auf Praxisflächen zur Bo- denreaktion und den Auswirkungen schwe- rer Erntetechnik auf Bodenstruktur und Er- trag belegen vielmehr, dass es eines Konzep- tes „Bodenschonendes Befahren“ bedarf, das aus mehreren Bausteinen besteht und für den Rübenanbau differenzierte Schlussfol- gerungen einbezieht:

- a) Anpassung von Arbeitsverfahren
 - Einsatz moderner Köpfsysteme, damit Ro- den und Winterweizenbestellung direkt ne- beneinander erfolgen, um die Bodenbean- spruchung zu senken.
 - Automatische Reifeninnendruckregelanla- gen, die sich der Bunkerfüllung anpassen.
 - Zwillingbereifung mit angepasstem Rei- feninnendruck.
 - b) Weiterentwicklung technischer Möglic- keiten
 - Weiterentwicklung von Fahrwerken in Ver- bindung mit breiten Reifen, die auch bei hoher Radlast Reifeninnendrucke < 1 bar zulassen.
 - Online-Erfassung der aktuellen Befahrbar- keit und Anzeige kritischer Bodenzustände für den Fahrer, um Schlussfolgerungen „vor Ort“ treffen zu können (etwa Abbun- ken an beiden Feldenden, Umsetzen des Roders auf weniger verdichtungsempfind- lichen Standort).
 - c) Verbesserung der Bodenbefahrbarkeit
 - Schonende Bodenlockerung und Mulch- saat (Konservierende Bodenbearbeitung).
 - d) Begrenzung der mechanischen Belastung
 - Onland-Pflügen, um die Beanspruchung tieferer Bodenschichten zu reduzieren;
 - Verzicht auf volle Bunkerkapazität;
 - Ausschöpfung aller Möglichkeiten zur Re- duzierung des tatsächlichen Kontakt- flächendrucks (Absenkung des Reifenin- nendrucks spielt ausschlaggebende Rolle);
 - vernünftige Begrenzung der bisherigen Tendenz zunehmender Radlasten.
- Insgesamt bedürfen die bisher zur Verfö- gung stehenden Messmethoden zur Ermittlung der Bodenreaktion auf hohe Radlasten unter feuchten Bodenbedingungen der Ergänzung durch praxisrelevante, leicht handhabbare innovative Möglichkeiten. Mit solchen und den skizzierten Bausteinen eines Konzeptes „Bodenschonendes Befahren“ ist gute Vor- sorge im Sinne des BBodSchG möglich.

Literatur

- [1] Sommer, C.: Ein Konzept zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen in der pflanzlichen Produktion. Bodenschutz 1 (1998), S. 12 – 16
- [2] Brunotte, J. und C. Sommer: Bodenschonung bei der Zuckerrübenernte. Zuckerrübe 57 (1998), H. 5, S. 4 – 6