

## **Eindringwiderstand ökologisch bewirtschafteter Ackerböden - Einfluss von Standort und Bewirtschaftung sowie Auswirkungen auf den Ertrag von Wintergetreide**

Schmidt, H.<sup>1</sup>, Bruns, C.<sup>2</sup> und Wilbois, K.<sup>3</sup>

*Keywords: Boden, Eindringwiderstand, Ackerbau, Wintergetreide.*

### **Abstract**

*On 32 organic farms in Germany a total of 128 fields were evaluated from 2009 to 2012. The objectives were to identify key factors for soil penetration resistance and to test the relationship between several soil compaction parameters and yield of winter cereals. Strongly compacted soil layers were found frequently on roughly a quarter of the evaluated fields. According to correlation analyses, factors leading to high penetration resistance in the subsoil were high sand share, shallow soils, warm winter temperatures, low grass clover and winter crop portion as well as high portion of potato cropping in the crop rotation, deep ploughing depth and high tractor weight. Partial correlation analyses revealed negative relationships between several compaction parameters and cereal yield. But due to intercorrelations with other yield-influencing soil properties the quantification of the causal influence was not possible.*

### **Einleitung und Zielsetzung**

Die Bodenstruktur ist ein wichtiger Aspekt der Bodenfruchtbarkeit. Sie ist wesentlich für die Durchwurzelbarkeit des Bodens und damit für die Erschließung der Wasser- und Nährstoffreserven. Bodenverdichtungen können den durchwurzelbaren Raum stark einschränken. Die Messung des Eindringwiderstandes mit einem Penetrometer ist ein schnelles und standardisiertes Verfahren um Bodenstruktureigenschaften auch unterhalb des Bearbeitungshorizontes zu ermitteln. In der vorliegenden Studie sollten Ackerbereiche ohne deutlich sichtbare Störungen, wie Vorgewende oder aktuelle Fahrspuren, geprüft werden. Ziele waren dabei: a) ein Überblick über das Vorkommen von Bodenverdichtungen auf ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen, b) die Ermittlung wesentlicher Faktoren für Unterschiede im Eindringwiderstand, c) die Prüfung von Zusammenhängen zwischen Eindringwiderstand und Wintergetreideertrag sowie d) der Vergleich verschiedener aus den Penetrometerdaten abgeleiteter Parameter in ihrer Aussagefähigkeit. Es wurden hierfür Daten der Jahre 2009 bis 2012 aus dem vom BÖLN geförderten Bodenfruchtbarkeitsprojekt verwendet.

### **Methoden**

In den Jahren 2009 bis 2012 wurden bundesweit auf 32 Ökobetrieben 128 Acker-schläge mit einem Penetrometer untersucht. Auf 58 Schlägen erfolgten die Messungen in Wintergetreide (Weizen, Dinkel, Roggen, Triticale) sonst vor Körnerlegumino-

---

<sup>1</sup> Ökoplant e.V., Himmelsburger Str. 95, 53474 Ahrweiler, Deutschland, [schmidt.aw@online.de](mailto:schmidt.aw@online.de)

<sup>2</sup> Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen, Deutschland, [bruns@wiz.uni-kassel.de](mailto:bruns@wiz.uni-kassel.de)

<sup>3</sup> Forschungsinstitut für Biologischen Landbau, FiBL Deutschland e.V., FG Landwirtschaft, Galvanistraße 28, 60486 Frankfurt am Main, Deutschland, [klaus.wilbois@fibl.org](mailto:klaus.wilbois@fibl.org)

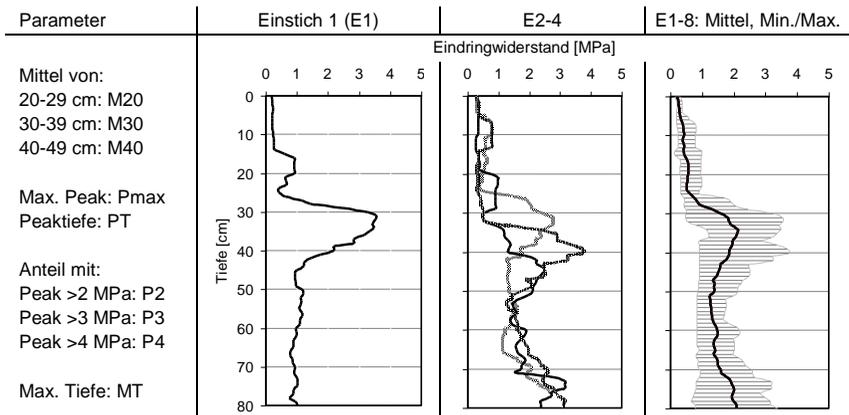
sen. Alle Betriebe wirtschafteten zu Projektbeginn seit mindestens fünf Jahren ökologisch und variierten oft stark in Standortbedingungen und Bewirtschaftung.

In einem ungestörten Bereich jeden Schlages wurden an drei ca. 15 m voneinander entfernten Messpunkten Penetrometermessungen durchgeführt (Penetrologger, Firma Eijkelkamp, Sondenlänge 80 cm, 60°-Konus 1 cm<sup>2</sup>, Messintervall 1 cm). Senkrecht zur Bearbeitungsrichtung wurde je Messpunkt achtmal in einem Abstand von ca. 40 cm eingestochen. Stieß die Sonde bis 40 cm auf einen Stein wurde die Messung einmal wiederholt. Bei einer Störung unterhalb von 40 cm oder bei einer zweiten Messstörung (Stein oder Eindringwiderstand > 7 MPa), wurde die Messung abgebrochen. Da die Messungen im ausgehenden Winter vorgenommen wurden, konnten Störungen durch Trockenhorizonte im Boden weitgehend ausgeschlossen werden. Die Bestimmung der Korngrößenverteilung erfolgte in 0-20 cm und die des Wasservorrats Ende März in 0-90 cm. Der Getreideertrag wurde an jedem Messpunkt auf 1,5 m<sup>2</sup> von Hand ermittelt. Anbaugeschichte (min. 15 Jahre) und Bearbeitungstiefe wurden vom Betriebsleiter erfragt. Klimadaten (25 Jahre) stammen jeweils von der nächstgelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdiensts.

Aus den Penetrometerdaten wurden mehrere Parameter abgeleitet: mittlerer Eindringwiderstand bezogen auf 10 cm-Schichten, maximaler Eindringwiderstand des Verdichtungsbereichs, Tiefe des Verdichtungspeaks und maximale Einstichtiefe (Abb. 1). Die Werte wurden je Schlag gemittelt sowie der Anteil Messungen mit Verdichtungspeaks größer 2, 3 und 4 MPa errechnet. Die statistische Auswertung mit SPSS umfasste Korrelations- und partielle Korrelationsanalysen.

## Ergebnisse und Diskussion

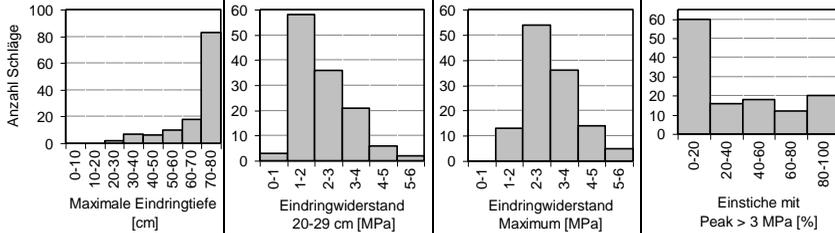
Der Vergleich der Penetrometerergebnisse von einem Messpunkt zeigt die oft auftretenden, großen Differenzen zwischen verschiedenen Einstichen (Abb. 1). Um die unterschiedliche vertikale Lage von Verdichtungspeaks zu berücksichtigen wurden neben Schichtmittelwerten auch die Parameter Pmax und P2 bis P4 geprüft.



**Abbildung 1: Penetrometerergebnisse von einem Beispielmesspunkt (tiefgründiger, schluffiger Boden) und Liste der abgeleiteten Parameter**

Die Schlagmittelwerte der verschiedenen Penetrometer-Parameter streuten in einem weiten Bereich (Abb. 2). Nach der mittleren Eindringtiefe waren ca. zwei Drittel der

untersuchten Böden relativ tiefgründig. Eindringwiderstände über 2 MPa weisen nach Presler *et al.* (2013) auf Schadverdichtungen und ab 3,5 MPa auf starke Verdichtungen hin. Auf ca. der Hälfte der Schläge kamen häufig Peaks über 2 MPa vor (nicht dargestellt), aber nur ein Viertel der Schläge wies häufig Verdichtungshorizonte mit einem Eindringwiderstand von über 3 MPa auf (Abb. 2).



**Abbildung 2: Histogramme ausgewählter Penetrometer-Parameter**

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse (Tab. 1) zeigen die große Abhängigkeit des Eindringwiderstands von den Standortbedingungen. Flachgründige oder sandige Böden wiesen im Vergleich zu tiefgründigen oder schluffigen Böden oft höhere Eindringwiderstände und tiefer gelegene Verdichtungspeaks auf. Der positive Zusammenhang zwischen Wintertemperatur und Eindringwiderstand weist auf einen lockernden Einfluss des Frosts bis in den Unterboden hin.

Parameter der langfristigen Bewirtschaftung ergaben im Vergleich zu den Standorteigenschaften schwächere Korrelationen. Die geringeren Eindringwiderstände bei hohen Anbauanteilen an Klee gras und Winterfrüchten können mit der häufig tiefen Durchwurzelung und der Förderung des Bodenlebens dieser Kulturen zusammenhängen. Häufiger Kartoffelanbau und der Einsatz schwerer Ackerschlepper waren hingegen mit hohen Eindringwiderständen in größerer Tiefe verbunden. Bei tieferer Grundbodenbearbeitung (variierte von 15 bis 30 cm) wurden in 20-29 cm (M20) aufgrund der direkten Lockerung oft geringere Eindringwiderstände gefunden. Unterhalb des Bearbeitungshorizontes zeigten höhere Werte bei den Peak-Parametern Pmax, P2 und P3 jedoch eine Zunahme von Verdichtungen mit zunehmender Bearbeitungstiefe. Bei tiefer Grundbodenbearbeitung und dem Einsatz schwerer Ackerschlepper lagen zudem die Verdichtungshorizonte oft in größerer Tiefe.

**Tabelle 1: Signifikante Korrelationskoeffizienten (Spearman) von Penetrometer-Parametern und Boden-, Klima- und Bewirtschaftungsparametern**

	M20	M30	M40	Pmax	P2	P3	P4	PT
Sandanteil	0,17	<b>0,39</b>	<b>0,44</b>	<b>0,47</b>	<b>0,51</b>	<b>0,50</b>	<b>0,39</b>	0,19
Schluffanteil	-0,17	<b>-0,38</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,37</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,32</b>	-0,19
Maximale Eindringtiefe (MT)	<b>-0,40</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,74</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,63</b>	
∅ Temperatur Dez. - Februar		<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	<b>0,38</b>	<b>0,26</b>	<b>0,35</b>	<b>0,41</b>	0,20
Anbauanteil Klee gras		-0,18	-0,16	<b>-0,26</b>	-0,20	<b>-0,27</b>	<b>-0,30</b>	
Anbauanteil Winterfrüchte		<b>-0,26</b>	-0,20	<b>-0,28</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,28</b>	-0,20	
Anbauanteil Kartoffeln				<b>0,25</b>	<b>0,29</b>	<b>0,31</b>	<b>0,32</b>	0,18
∅ Pflugtiefe	-0,19			0,16	0,20	0,17		<b>0,24</b>
PS Ackerschlepper				0,15			0,26	0,17

**Fett:** signifikant für P<0,01

Die partielle Korrelationsanalyse ergab enge negative Korrelationen zwischen verschiedenen Eindringwiderstands-Parametern und dem Getreideertrag (Tab. 2). Die Koeffizienten waren beim gemittelten Eindringwiderstand in den Schichten 30-39 cm und 40-49 cm besonders hoch. Die engen Korrelationen der Eindringwiderstands-Parametern mit anderen bekanntermaßen stark ertragswirksamen Bodenparametern, wie z.B. Tiefgründigkeit, Bodenart, Anzahl Bodenpunkte oder Wasserhaltefähigkeit (Tab. 1 & 2) lassen jedoch eine Quantifizierung des kausalen Einflusses vom Eindringwiderstand auf den Ertrag mit statistischen Methoden nicht zu. Partielle Korrelationsanalysen unter Einbeziehung der standortbedingten Bodeneigenschaften als Kontrollvariablen ergaben keine signifikanten Korrelationen von Getreideertrag und Eindringwiderstands-Parametern. Auch bei einer multiplen Regressionsanalyse, unter Berücksichtigung einer Vielzahl möglicher Ertragsfaktoren, wurde, aufgrund vielfältiger Interkorrelationen der Bodeneigenschaften, dem Eindringwiderstand nur ein geringer Einfluss zugewiesen (nicht dargestellt, Wilbois *et al.*, 2013). Ein deutlicher Ertrags-effekt von Bodenverdichtungen steht jedoch außer Frage. So ermittelte Henderson (1989) in Feldversuchen schon ab einem mittleren Eindringwiderstand von 1 MPa (0-40 cm) einen negativen Effekt auf den Weizenertrag, bei 3 MPa wurden Ertrags-depressionen bis zu 50 % festgestellt.

**Tabelle 2: Korrelationskoeffizienten (partiell, Kontrollvariablen: Getreidearten) von Penetrometer-Parametern und Ertragsgrößen sowie Bodenparametern**

	MT	M20	M30	M40	Pmax	P2	P3	P4
Ø Schlagrertrag	<b>0,68</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,62</b>	<b>-0,40</b>		<b>-0,32</b>	<b>-0,25</b>
Bodenpunkte	<b>0,44</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,62</b>	<b>-0,44</b>		<b>-0,38</b>	<b>-0,36</b>
Wasservorrat Ende März	<b>0,61</b>		<b>-0,43</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,37</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,50</b>

*Kursiv:* Trend für  $P < 0,10$ ; **Fett:** signifikant für  $P < 0,01$

## Schlussfolgerungen

Auch außerhalb der Vorgewende weisen ökologisch bewirtschaftete Ackerflächen unterhalb der Bearbeitungsgrenze häufig verdichtete Bodenhorizonte auf.

Der mit einem Penetrometer gemessene Eindringwiderstand von Ackerböden wird stark durch die Standortbedingungen Bodenart, Tiefgründigkeit und Klima beeinflusst. Die langfristige Bewirtschaftung hat im Vergleich dazu einen geringeren Effekt.

Hohe Anbauanteile an Kleeeras oder Winterfrüchten sind oft mit weniger Verdichtungen im Boden verbunden, während intensiver Kartoffelanbau und der Einsatz schwerer Schlepper höhere Eindringwiderstände verursacht.

Bei der standortübergreifenden Auswertung von Penetrometerdaten kann der Effekt von Schadverdichtungen auf den Getreideertrag aufgrund vielfältiger Interkorrelationen nicht von den standortbedingten Einflüssen getrennt werden.

## Literatur

- Henderson, C. W. L. (1989): Using a penetrometer to predict the effects of soil compaction on the growth and yield of wheat on uniform, sandy soils. *Aust J Agric Res* 40:497-508.
- Presler, J., Carrizoni, M., Widmer, D. (2013): Gemeinsame Bodenüberwachung der Zentralschweizer Kantone (KABO-ZCH), Projekt Ila-4.1 / 5.1 Erfassung von Bodenverdichtung, Beprobungsrunde 2010. <http://umwelt-zentralschweiz.ch/DesktopModules/ViewDocument.aspx?DocumentID=brGKuFZvXFk=> (Abruf 25.08.2014)
- Wilbois, K-P. et al. (2013): Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebaute Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit Gesamtprojekt - Abschlussbericht. <http://orgprints.org/> (Abrufbar ab 01.01.2015)