

# Funktionsgerechte Bodenstruktur

**Worauf kommt es an? Wie können Strukturschäden einfach und sicher festgestellt werden?**

Tamas Harrach <sup>1</sup>, Johannes Heyn <sup>2</sup>, Marco Schneider <sup>2</sup> und Thomas Vorderbrügge <sup>3</sup>

## Funktionsgerechte Bodenstruktur

Von funktionsgerechter Ausprägung der Bodenstruktur – des Bodengefügezustandes – kann dann gesprochen werden, wenn diese den Anforderungen an die Bodenfunktionen weitgehend gerecht wird. In diesem Fall gewährleistet sie vor allem stets die unbehinderte Infiltration von Niederschlägen. Für diese wichtige Bodenfunktion haben vertikale Bioporen eine ganz besondere Bedeutung, wenn man von durchlässigen Sanden absieht. Hervorzuheben sind die Gänge von tiefgrabenden Regenwürmern (Bild 1). Ein ausreichender Bioporenanteil garantiert zugleich optimale Durchlüftung und gute Durchwurzelbarkeit des Bodens.

Temporär spielen auch bestimmte Ansprüche an das Saatbett eine Rolle.

Über diese ökologischen Bodenfunktionen hinaus hat die mechanische Belastbarkeit eine sehr große Bedeutung für die moderne Landwirtschaft. Diese setzt eine gewisse Festigkeit des Bodens voraus. Ferner ist die Bearbeitbarkeit des Bodens ein wesentlicher Kostenfaktor. Sie wird zwar stark von der Textur und vom Feuchtezustand bestimmt, aber ein hoher Bioporenanteil kann die Bearbeitbarkeit auch schwieriger Böden deutlich erleichtern.

Die funktionsgerechte Ausprägung der Bodenstruktur ist eine wichtige Voraussetzung für die ungestörte Pflanzenentwicklung. Sie schützt zugleich den Boden vor Erosion und Verdichtung und ermöglicht zugleich eine Kostensenkung bei der Bewirtschaftung.



**Bild 1:** Der Regenwurm sucht Nahrung (Pflanzenreste) auf der Bodenoberfläche und schafft offene Röhren (Bioporen), die tief in den Unterboden reichen (Foto Stephan Brand LLH).

1. *Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung, JLU Gießen*
2. *Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen*
3. *Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie*

## **Gefährdung der Bodenstruktur**

Die Bodenstruktur ist leicht veränderlich und reagiert empfindlich auf verschiedene Einflüsse. So können Niederschläge zur Verschlammung der Bodenoberfläche führen, die die Infiltration hemmt und die Bodenerosion fördert (Bild 2). Ferner verliert der verschlammte Boden mehr Wasser infolge Verdunstung.

Das Befahren eines feuchten oder zu lockeren Bodens führt zu Bodenverdichtung, wenn der Bodendruck höher ist als die Tragfähigkeit. Werden dadurch Bodenfunktionen wie Infiltration, Tiefensickerung und Lufthaushalt dauerhaft beeinträchtigt, spricht man von einer Schadverdichtung. Die Folgen sind Bodenerosion, Staunässe, eingeschränktes Wurzelwachstum und Mindererträge, wobei das Ausmaß dieser Folgeerscheinungen stark von der Jahreswitterung abhängt. Humusmangel, zu niedriger pH-Wert oder ungünstige Fruchtfolge, etwa großer Maisanteil ohne Zwischenfrucht, sind nachteilig für die biologische Aktivität und führen zu einer schleichenden Gefügedegradation mit Verlust an Bioporen.



**Bild 2:** Bodenerosion: Auf dem oberhalb befindlichen Schlag (grünes Feld) wurde die Oberkrume bei später Bestellung von Winterweizen etwas verknetet. Bei einem Starkregen Ende Januar konnte das Wasser nicht schnell genug versickern. Der Boden – Parabraunerde aus Löss – verschlammte und der Oberflächenabfluss führte in der Tiefenlinie des unterhalb liegenden Schlages zur Grabenerosion. Solche Ereignisse kommen vor, aber in den letzten Jahren nicht so häufig wie früher, eher in Ausnahmesituationen.

## **Anzustrebende Bodenstruktur – Praxiserfolge als Vorbild für ein Leitbild**

In den letzten zwei - drei Jahrzehnten fand in vielen Betrieben eine mehr oder weniger radikale Reduzierung der Bearbeitungsintensität bei steigenden Erträgen und beim Verbleib großer Mengen an Ernteresten auf den Ackerflächen statt. Dabei verbesserte sich die Bodenstruktur allmählich auf vielen Standorten, sodass z. B. die Bodenerosion deutlich zurücktrat. Ursächlich spielte in dieser erfreulichen Entwicklung die allmähliche Zunahme der Regenwurmaktivität eine zentrale Rolle. Am deutlichsten sind die Erfolge bei konsequent flacher pflugloser Bodenbearbeitung und Mulchsaat (Bild 3 und 4) bzw. bei Strip-Till-Verfahren. Aber auch konventionell wirtschaftende Betriebe pflügen nicht mehr so oft und vor allem nicht mehr so tief, weshalb positive Tendenzen auch hier erkennbar sind.

Sandböden, die häufiger Schadverdichtungen und einen geringeren Regenwurmbesatz aufweisen, müssen hier außen vor bleiben, bei ihnen besteht noch viel Klärungsbedarf.



Bild 3: Trotz starker Hangneigung, großer Hanglänge und Starkregenfällen ereignete sich seit der Bestellung der Wintergerste keine Erosion bei sehr günstiger Bodenstruktur mit hoher Regenwurmaktivität (Albacher Hof bei Lich / Oberhessen; langjährig konsequente pfluglose Bewirtschaftung; Rücken und Hänge mit Pararendzina aus Löss, in der Mulde Kolluvisol infolge häufiger und starker Bodenerosion in früheren Zeiten)



Bild 4: Selbst bei Winterbrache und 21 % Hangneigung zeigt der schluffreiche Lößboden keinerlei Verschlammung und Erosionsspuren im zeitigen Frühjahr bei hoher Regenwurmaktivität (Albacher Hof bei Lich, Pararendzina, Strohreste gut verteilt)

Auf der Grundlage von wissenschaftlichen Erkenntnissen, Praxiserfahrungen und umfangreichen Geländeuntersuchungen konnte **in Austausch mit zahlreichen Kollegen Konsens** darüber erzielt werden, welche Ausprägung der Bodenstruktur (des Bodengefüges) unter den gegenwärtigen Bedingungen als funktionsgerecht – d. h. optimal – gelten kann (HARRACH 2011). So entstand **ein Leitbild** für das anzustrebende Bodengefüge (Bild 5).

## Anzustrebendes Bodengefüge



### Bodenoberfläche

- Mulchauflage
- offene Bioporen

### Oberkrume

- viele tiefreichende Bioporen
- gut aggregiert, nicht zu locker

### Unterkrume

- Aggregate ziemlich scharfkantig
- etwas kompakt, daher tragfähig
- ausreichende biog. Perforierung
- unauffällige Wurzelverteilung

### Krumennaher Unterboden

- etwas kompakt, tragfähig
- starke biogene Perforierung
- unauffällige Wurzelverteilung

### Unterboden

- unverdichtet, viele Bioporen

Bild 5: Grundzüge eines Leitbildes für das anzustrebende Bodengefüge (HARRACH 2011)

### Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenstruktur

Am wirksamsten lässt sich die Bodenstruktur durch Förderung der biologischen Aktivität, insbesondere der Regenwurmaktivität verbessern. Die Strukturverbesserung tritt nicht sofort, sondern nach und nach ein mit dem Aufbau einer größeren Regenwurmpopulation im Laufe mehrerer Jahre. Vor allem die tiefgrabenden Regenwurmart haben eine große Bedeutung. Die wichtigsten Maßnahmen zur Förderung ihrer Aktivität im Ackerbau sind:

- ausreichende bis optimale Kalkversorgung
- reiches Nahrungsangebot auf der Bodenoberfläche möglichst ganzjährig: Bestandesabfall der Hauptfrucht / Bestandesabfall von Zwischenfrüchten / organische Düngung / Belassen der Erntereste (Mulch)
- reduzierte Bodenbearbeitung nach dem Grundsatz: nur so tief wie nötig, so selten wie möglich!
- Klee gras oder Raps in der Fruchtfolge sind förderlich, dagegen Mais und Kartoffeln häufig nachteilig (zu lange fehlende Bodenbedeckung und kein Bestandesabfall).

Pfluglose Bodenbearbeitungssysteme fördern die Regenwurmaktivität, wenn die o. g. Voraussetzungen erfüllt sind. Dagegen ist der „reine Tisch“ bei wendender Bodenbearbeitung ein erheblicher Nachteil, da der Regenwurm keine Nahrung findet. Dabei besteht aber ein ausgesprochener Zielkonflikt mit dem Pflanzenschutz. Daher sind Pflanzenschutzprobleme die wichtigsten Gründe dafür, dass viele Landwirte nicht pfluglos wirtschaften wollen bzw. können. Hierbei kann nur **eine intensive und kreative Pflanzenschutzberatung** helfen, auf ein bodenschonendes Anbausystem umzustellen. Da es sich dabei um das Management von komplexen Anbausystemen handelt, sind administrative Regelungen nur selten hilfreich.

Problematisch ist die starke Ausdehnung des Maisanbaues in jüngster Zeit. Lange Perioden mit mangelnder Bodenbedeckung und fehlendem Nahrungsangebot für die Regenwürmer bei negativer Humusbilanz führen zur Beeinträchtigung der biologischen Aktivität. Zugleich ist die Gefahr

der Bodenerosion erhöht. Bei einem hohen Maisanteil in der Fruchtfolge muss daher mit einer schleichenden Degradation der Bodenstruktur gerechnet werden, es sei denn, dass mit gezieltem Zwischenfruchtbau und Düngungsmaßnahmen für genügend Mulch und Bodenbedeckung gesorgt wird (Abb. 6 und 7).



Bild 6: Strukturschäden und Bodenerosion sind im Maisanbau häufiger zu beobachten.



Bild 7: Auf diesem Hanggrundstück bei Langenselbold wird jahrelang Körnermais nach Körnermais in Mulchsaat angebaut, Saatbettbereitung eher grob. Dank auch der hohen Regenwurmaktivität treten keine Strukturschäden und Bodenerosion auf.

## Kontrolle und Monitoring der Bodenstruktur im Feld

Für die Gefügebeurteilung im Gelände, oft Spatendiagnose genannt, gibt es mehrere gute Anleitungen (DIEZ & WEIGELT 1989; WEYER & BOEDDINGHAUS 2009; HARRACH et al. 2012; BRUNOTTE & VORDERBRÜGGE 2012; BRUNOTTE et al. 2012). Teils sind es ausführliche Anleitungen zu einer relativ zeitaufwendigen Methode, während Brunotte et al. (2012) eine einfache Feldgefügeansprache für Praktiker veröffentlicht haben.

Die Kernfrage jeder Gefügebeurteilung ist, ob im Boden eine Schadverdichtung vorliegt, denn sie fordert entsprechende Konsequenzen. Bei reduzierter Bodenbearbeitung steht die Unterkrume im Fokus (Bild 8), die stets kompakt erscheint, aber möglichst nicht schadverdichtet sein soll. Der feine Unterschied hat hohen Stellenwert. Mit bodenphysikalischen Messmethoden, die auch noch aufwendig und nur punktuell einsetzbar sind, ist die Differenzierung nicht leicht. Es gibt viele Fehldiagnosen!! Eine fundierte Gefügebeurteilung im Feld ermöglicht jedoch treffsichere Aussagen.

**Diagnostische Merkmale einer Schadverdichtung** im Boden sind:

- hoher mechanischer Widerstand beim Graben, Sondieren oder Stechen mit Taschenmesser (nur Verdacht auf Verdichtung!)
- hoher Grad der Scharfkantigkeit der Aggregate – Polyeder oder Platten – (nur Verdacht auf Verdichtung!)
- Fehlen von Bioporen beim Vorliegen o. g. Merkmale (wichtiger Indikator einer Schadverdichtung)
- ungleichmäßige Wurzelverteilung – Wurzelfilz auf den Aggregatoberflächen – (sicherer Indikator einer Schadverdichtung)

Für eine eindeutige Diagnose reicht aber der Befund allein durch die Gefügeansprache nicht aus. Zusätzlich sind flächenhafte Indikatoren heranzuziehen, denn **die Folgen von Bodenschadverdichtungen sind als Beeinträchtigung von Bodenfunktionen oberirdisch erkennbar.**

**Flächenhafte oberirdische Indikatoren** sind:

- Auffälligkeiten des Pflanzenbestandes – besonders bei extremer Witterung: Symptome von Luftmangel bei hoher Bodenfeuchte bzw. Wassermangelsymptome in Trockenperioden sowie Mindererträge
- Pfützenbildung bzw. Oberflächenabfluss bei Starkregen und Bodenerosion, insbesondere flächenhafte Kleinrillenerosion, deren Spuren lange sichtbar bleiben



**Bild 8:** Die Unterkrume ist ziemlich verdichtet, weist aber Bioporen auf und die Wurzelverteilung ist unauffällig (Parabraunerde aus Löss). Auch die oberirdischen Indikatoren ergaben keinen Hinweis auf eine Schadverdichtung. Daher kann dem Landwirt empfohlen werden, die Unterkrume nicht zu lockern, damit deren hohe Tragfähigkeit bewahrt bleibt.

Die Spatendiagnose wird im Feld zweckmäßigerweise vergleichend durchgeführt, indem die zu untersuchenden Stellen nach den oberirdischen Indikatoren festgelegt werden, zum Beispiel Stellen im Schlag mit schlechter und mit vorzüglicher Entwicklung des Pflanzenbestandes.

Als oberirdische Indikatoren der Bodenstruktur können auch **die Fahrspuren / Fahrgassen** gelten (Bild 9 und 10), wobei es nicht nur auf die Tiefe, sondern auch auf die Oberfläche der Fahrspuren ankommt. Im Optimalfall, was vor allem bei pflugloser Bewirtschaftung häufig vorkommt, lassen sich bereits einige Zeit nach einem Befahren Zeichen frischer Regenwurmaktivität – z. B. RW-Losung, offene RW-Röhren oder zusammengezogene Strohhäufchen – feststellen. Dies ist gegebenenfalls ein Hinweis darauf, dass die Fahrspur keine Schadverdichtung aufweist, denn sie könnte der Regenwurm nicht durchbohren. Zugleich deuten frische RW-Spuren in Fahrspuren auf einen hohen RW-Besatz auf der Fläche hin. Vor allem aber signalisiert die RW-Aktivität ein erhöhtes Infiltrationsvermögen und verminderte Erosionsgefahr in den sonst erosionsanfälligen Fahrspuren.



Bild 9: Durch Regenwürmer zusammengezogene Strohhäufchen in der Fahrspur auf einem Schlag mit langjähriger Mulchsaat



Bild 10: Dichte Fahrspuren können Jahre lang erkennbar bleiben.

Im ungünstigen Fall dagegen sammelt sich nach Niederschlägen Oberflächenwasser in verdichteten Fahrspuren, welches bereits bei geringer Hangneigung Bodenerosion auslösen kann. Merkmale der Verschlammung und der Erosion bleiben als Warnzeichen längere Zeit sichtbar (Frühwarnindikatoren), die es zu beachten gilt.

Die sensibelsten Stellen eines Ackers sind die Fahrspuren. Die umsichtige Interpretation ihrer Beschaffenheit kann dabei sehr aufschlussreich sein. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Folgen des Befahrens stark witterungsabhängig sind. Auch die Regenwurmaktivität unterliegt Witterungseinflüssen, wobei die Verbesserung der Bodenstruktur erst im Laufe der Zeit eintritt.

### **Historische und aktuelle Bodenerosion**

In der Jungsteinzeit begannen die Menschen Ackerbau zu betreiben. Gleich darauf setzte eine verstärkte Bodenerosion ein, vor allem auf Kuppen und Hängen. Das Ausmaß der historischen Erosion lässt sich z. B. in Lösslandschaften gut rekonstruieren. Der für Hanglagen, besonders für Hangschultern charakteristische Bodentyp Pararendzina kennzeichnet Bereiche, in denen im Laufe der Zeit mehr als ein Meter Boden dem Abtrag zum Opfer gefallen ist. Hier wird zurzeit der C-Horizont beackert. Noch größer sind die Areale am Hangfuß, in Mulden und in Auen, wo sich seit der Jungsteinzeit mehr als ein Meter humoses Oberbodenmaterial (Kolluvium bzw. Auenlehm) abgelagert hat.

Erstaunlicherweise und von der Wissenschaft weitgehend unbemerkt hat das Ausmaß der Bodenerosion in den letzten Jahren – im Vergleich zu den 60er bis 80er Jahren – in vielen Ackerbauregionen nachgelassen (HARRACH 2010; HARRACH 2011; KEIL 2010). Reduzierte Bodenbearbeitung und große Mengen an verbliebenen Ernteresten haben auf vielen Schlägen zur erhöhten Regenwurmaktivität und Verbesserung der Bodenstruktur geführt, sodass die Verschlammung und der Abtrag durch Wasser deutlich zurücktraten.

Ältere Landwirte erinnern sich an die Zeiten, als eine flache Bodenbearbeitung im Frühjahr mit Egge, Striegel oder anderen Geräten zu den dringenden ackerbaulichen Maßnahmen zählte. Sie diente der Unkrautbekämpfung und dem Aufbrechen der Verschlammungskrusten. Dank höherer biologischer Aktivität und besserer Bodenstruktur kann diese Bodenlockerung heutzutage meistens entfallen. Auch die alten Bezeichnungen wie „weißes Land“ oder „Weißlehm“ für schluffreiche Parabraunerden, die infolge starker Verschlammung im Frühjahr durch weißliche Oberfläche stark auffielen, sind nicht mehr in dem Maß berechtigt wie anno dazumal.

In vergangenen Jahrzehnten haben Hans Kuron (†1963), Ludwig Jung (†1989) und ihre Schüler vielfach beschrieben und dokumentiert, dass die auf Hängen beobachtete Erosion nicht selten durch Oberflächenabfluss in verdichteten Fahrspuren ausgelöst wurde. Solche Ereignisse spielen sich auch heutzutage ab, aber nicht mehr so häufig. In vielen Fahrspuren lassen sich kaum Erosionsmerkmale beobachten, eine stärkere Erosion eher in Ausnahmefällen. Die Gründe dafür müssten noch weiter geklärt werden. Vor allem die Beschaffenheit und der Verdichtungsgrad der heutigen Fahrspuren und der Einfluss der Regenwurmaktivität sollten näher untersucht werden. Aber auch das Vorkommen intakter, unverdichteter Fahrspuren verdient größere Aufmerksamkeit.

In besonderen Einzelfällen sind nach wie vor auch flächenhafte Erosionsereignisse zu beklagen (Bild 2), die gelegentlich auch drastische Folgen zeigen. In diesen Fällen ist es sowohl zwecks Vorsorge als auch für die Gefahrenabwehr eine dringende Aufgabe, die Ursache für den eingetretenen Oberflächenabfluss und die Bodenerosion festzustellen. Nur so lässt sich auch die Wiedereintrittswahrscheinlichkeit abschätzen. Die ÜBERSICHT 1 fasst vorliegende Erfahrungen zusammen.

Es kann festgestellt werden, dass die Beschaffenheit der Oberkrume den stärksten Einfluss auf die Erodierbarkeit des Bodens ausübt und am häufigsten zu Erosionsereignissen führt. Bei der Saatbettbereitung bzw. Bestellung können am ehesten potenzielle Fehler entstehen, die sich dann witterungsabhängig manifestieren. Je nach Witterungsablauf können sowohl eine zu lockerere wie auch eine etwas verschmierte Oberkrume die Ursache für starke Bodenerosion bilden. Eine Mulchauflage und hohe Regenwurmaktivität mindern in jedem Fall das Risiko erheblich.



## ÜBERSICHT 1:

### **Häufigste Ursachen für Oberflächenabfluss und aktuelle Bodenerosion durch Wasser in der heutigen Landwirtschaft**

- *Abfluss aus dem Vorgewende infolge von Gefügeschäden (relativ häufig)*
- *Abfluss in Fahrspuren (nicht mehr so häufig wie früher)*
- *Fremdwasser aus benachbarter Fläche oder von Wegen bzw. aus nicht geräumtem Graben usw. (nicht selten)*
- *Austritt von Quellwasser bzw. Hangzugwasser im Schlag (in Sonderfällen)*
- *Flächenhafte Bodenerosion durch ein Starkregenereignis bei ungeschützter lockerer Oberkrume – z.B. nach Saatbettbereitung – und schwacher Regenwurmaktivität (nicht selten im Frühsommer bei Mais und Zuckerrüben)*
- *Flächenhafte Kleinstrillenerosion bei flächenhaften Gefügeschäden*
  - a) *genetisch verdichtete Unterböden (nicht selten)*
  - b) *bewirtschaftungsbedingte Unterbodenverdichtung (sehr selten)*
  - c) *verdichtete Unterkrume (eher selten)*
  - d) *verdichtete bzw. verknietete oder verschmierte Oberkrume, z.B. nach Bestellung bei feuchtem Bodenzustand (nicht so selten)*

Dieser empirisch gewonnene Kenntnisstand, der von zahlreichen Kollegen aus dem Bereich der angewandten Bodenkunde geteilt wird – siehe die Danksagung bei HARRACH 2011 – ist durch die Forschung noch zu vertiefen. Er sollte aber bereits im Interesse des Bodenschutzes in der landwirtschaftlichen Beratung und bei umweltpolitischen Aktivitäten berücksichtigt werden.

### **Quintessenz**

Der Gefügestand des Bodens und etwaige Strukturschäden wie Verdichtung, Verschlammung und Erosionsmerkmale sind makroskopisch erkennbar. Die Folgen von Verdichtungen – wie die Hemmung der Infiltration und die Beeinträchtigung der Nutzpflanzen – sind oberirdisch sichtbar.

Für die Beurteilung der Bodenstruktur im Gelände bietet das Leitbild „Anzustrebendes Bodengefüge“ eine grundlegende Orientierung.

Die nach diesem methodischen Ansatz gewonnenen empirischen Erkenntnisse unterscheiden sich ziemlich deutlich von allgemeinen Annahmen und den flächenhaften Aussagen von Prognosemodellen zur Bodenverdichtung und Bodenerosion.

Der vorliegende Erfahrungsbericht soll in der Beratung als Hilfsmittel dienen und den Berater bzw. den Praktiker selbst in die Lage versetzen, die Bodenstruktur zu beurteilen und entsprechende Konsequenzen daraus abzuleiten.

Der wissenschaftlichen Forschung kommt die Aufgabe zu, die Thesen aus den empirisch gewonnenen Erkenntnissen vertieft zu hinterfragen.

Für die aktuelle bodenschutzpolitische Diskussion gibt der Erfahrungsbericht wichtige Hinweise darauf, worauf es ankommt. Auf den Problemfeldern Bodenverdichtung und Bodenerosion liegen die Interessen des Landwirtes und der Allgemeinheit sehr nahe aneinander. Gute Beratung und Einsicht sind daher wichtige Voraussetzungen für erfolgreich praktizierten Bodenschutz.

### **Literatur**

BRUNOTTE, J. et al. 2012: Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker. 3. Auflage vTI und GKB

Brunotte, J. & Th. Vorderbrügge 2012: Wie gut kennen Sie Ihren Boden? DLG Mitteilungen, 6/2012, S. 54-57

Diez, Th. & H. Weigelt 1989: Bodenstruktur erkennen und beurteilen. Sonderdruck dlz

HARRACH, T., 2010: Der Kulturzustand des Bodens in der Bodenschätzung am Beispiel der Pararendzina aus Löss. Berichte der DBG, AG Bodenschätzung und Bodenbewertung, Tagung 2010 in St. Marienthal, <http://www.dbges.de>

HARRACH, T., 2011: Schutz der Ackerböden vor Verdichtung und Erosion durch reduzierte Bodenbearbeitung und Förderung der Regenwurmaktivität - Mit Grundzügen eines Leitbildes „Anzustrebendes Bodengefüge“. Bodenschutz, H. 2, S. 49 – 53

Harrach, T., Heyn, J., Vorderbrügge, T., Schneider, M., 2012: Angepasste Bodenbearbeitung, Förderung der Regenwurmaktivität und anzustrebendes Bodengefüge zum Schutz der Ackerböden vor Verdichtung und Erosion. LLH Fachinformationen – Pflanzenproduktion – 05/12. ISSN: 1610-6873

KEIL, B., 2010: Die Ertragsfähigkeit des Standortes und dessen Gefährdung durch Bodenerosion. Berichte der DBG, AG Bodenschätzung und Bodenbewertung, Tagung 2010 in St. Marienthal, <http://www.dbges.de>

Weyer, Th & R. Boeddinghaus 2009: Bestimmungsschlüssel zur Erkennung und Bewertung von Bodenschadverdichtungen im Feld. MUNLV Düsseldorf