Kontext, Methodik und Qualität von Indikatoren zur Bewertung von Umweltleistungen: Visuelle Bewertung der Bodenstruktur (VESS)

Nicolas Lampkin

Schlussbericht Teil II.10

Verbundprojekt “Entwicklung eines leistungsdifferenzierten Honorierungssystems für den Schutz der Umwelt“

Kontext, Methodik und Qualität von Indikatoren zur Bewertung von Umweltleistungen: Visuelle Bewertung der Bodenstruktur (VESS)

Der ökologische Landbau steht für ein ganzheitliches Konzept der Landnutzung mit dem Anspruch, in besonderer Weise die Belastungsgrenzen der Natur zu berücksichtigen. Für die erbrachten Umweltleistungen erhalten Ökobetriebe eine flächenbezogene Prämie. Die Höhe dieser Umweltprämie wird bisher auf der Basis regionaler durchschnittlicher Zusatzkosten und Erlöseinbußen der ökologischen Produktion im Vergleich zur konventionellen Wirtschaftsweise kalkuliert. Dieses Vorgehen hat zwei Nachteile. Zum einen steht die Prämienhöhe in keinem Zusammenhang zum Wert der erbrachten öffentlichen Leistung. Und zum zweiten bietet die Prämie keine finanziellen Anreize, Bewirtschaftungspraktiken umzusetzen, die über die gesetzlichen Öko-Mindestbedingungen hinausgehen. Vor diesem Hintergrund war das Ziel des UGÖ-Forschungsprojektes „Entwicklung eines leistungsdifferenzierten Honorierungssystems für den Schutz der Umwelt“, die Wirkungszusammenhänge zwischen verschiedenen ökologischen Landbaupraktiken und der Erbringung von Umweltleistungen zu quantifizieren und eine Grundlage für die Entwicklung eines Konzepts zur Honorierung von Umweltleistungen unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Landbaus zu schaffen.

Der vorliegende UGÖ-Schlussbericht Teil II.10 beschreibt die methodische Vorgehensweise und Datenquellen und bewertet die Qualität des Indikators ‚Visuelle Bewertung der Bodenstruktur (VESS)‘, der eventuell als Teil des Honorierungssystems dienen könnte.

Gefördert durch

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

BÖL
BUNDESPROGRAMM ÖKOLOGISCHER LANDBAU

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 2818OE110

Die Durchführung des Projektes erfolgte in einem engen Austausch mit der BÖL-Geschäftsstelle und dem BMEL. Für die inhaltlichen Impulse und die administrative Unterstützung möchten wir insbesondere Frau Doris Pick, Dorothee Hahn, Viola Molkenthin und Karl Kempkens danken. Zudem möchten wir Annette Freibauer, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, für ihre Hilfe bei der Vorbereitung dieses Indikatorberichts unseren Dank aussprechen.

Nicolas Lampkin
Thünen-Institut für Betriebswirtschaft
Bundesallee 63
38116 Braunschweig

E-Mail: bw@thuenen.de

Braunschweig, Mai 2023

Inhalt

1 Einleitung 1

1.1 Politische Relevanz und Vorschriften 1

1.2 Beitrag des ökologischen Landbaus 1

2 Methodik 3

2.1 Zusammenfassung 3

2.2 Detaillierte Methodenbeschreibung 3

2.3 Notwendige Inputdaten 8

2.4 Leistungsbestimmung (Schwellenwerte) 8

2.5 Fazit 9

3 Indikatorqualitätsbewertung 10

3.1 Aussagekraft 10

3.2 Justiziabilität und Betrugsanfälligkeit 11

3.3 Datenverfügbarkeit und -qualität 12

3.4 Transaktionskosten 13

3.5 Kommunizierbarkeit 15

3.6 UGÖ-Modul-A-Ergebnisse: Ausschnitt aus dem Schlussbericht Teil 1 (2023) 17

4 Schlussfolgerung 20

5 Literaturverzeichnis 21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Politische Ziele, Indikatoren sowie Leistungen der Landwirtschaft zum Thema Bodenschadverdichtung	1
Tabelle 2-1:	Zusammenfassung der notwendigen Inputdaten und mögliche Datenquellen	8
Tabelle 2-2:	Vorschläge für VESS-Indikator-Schwellenwerte	8
Tabelle 3-1:	Bewertung des VESS-Indikators nach den ausgewählten Aussagekraftkriterien	10
Tabelle 3-2:	Bewertung des VESS-Indikators nach den ausgewählten Justiziabilitäts- und Betrugsanfälligkeitskriterien	12
Tabelle 3-3:	Bewertung des VESS-Indikators nach den ausgewählten Datenverfügbarkeits- und -qualitätskriterien	13
Tabelle 3-4:	Schätzung der Transaktionskosten des VESS-Indikators	14
Tabelle 3-5:	Bewertung des VESS-Indikators nach den ausgewählten Transaktionskosten-kriterien	14
Tabelle 3-6:	Kommunizierbarkeit des VESS-Indikators nach Zielgruppen	15
Tabelle 3-7:	Bewertung des VESS-Indikators nach den ausgewählten Kommunizierbarkeits-kriterien	17
Tabelle 4-1:	Gesamtbewertung des VESS-Indikators	20

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Relative Unterschiede zwischen der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft hinsichtlich des Eindringwiderstandes in den Boden bezogen auf eine Flächeneinheit (punktuelle Messungen auf Feldschlägen bis 30 cm Tiefe)	2
Abbildung 2-1:	Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker	4
Abbildung 2-2:	Schema zur Gefügebeurteilung im Feld	6
Abbildung 2-3:	Visuelle Beurteilung der Bodenstruktur (VESS)	7
Abbildung 3-1:	Häufigkeitsverteilung der VESS Scores in den beprobten Dauerfeldversuchen, für die Daten zur Aggregatstabilität bzw. Infiltration vorliegen. Die Verteilung des aggregierten VESS Score total und des VESS Score in der obersten Bodenschicht (VESS Score Layer 1) sind stark linksschief	19

1 Einleitung

Bodenschadverdichtung beeinträchtigt die Bodengesundheit und Produktivität. Pflanzen und andere Lebewesen brauchen eine offene Struktur, so dass sie Zugang zu Luft, Wasser und Nährstoffen bekommen können. Ein verdichteter Boden schließt Sauerstoff aus, so dass Wurzelwachstum nicht mehr möglich ist und anaerobische Prozesse vorkommen, die Lachgasemissionen fördern sowie die Wasserinfiltration hemmen, mit Folgen für Bodenerosion und Flutregulierung.

1.1 Politische Relevanz und Vorschriften

Unter anderem in der Ackerbaustrategie des BMEL ist die Verminderung der Bodenschadverdichtung als politische Zielsetzung verdeutlicht, obwohl bisher keine Zielindikatoren dafür definiert sind (Tabelle 1-1).

Tabelle 1-1: Politische Ziele, Indikatoren sowie Leistungen der Landwirtschaft zum Thema Bodenschadverdichtung

Oberziel	Qualitative Zielsetzung	Zielindikator	Leistungsformulierung*
Stärkung des Bodenschutzes und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit/ Bodenqualität	Schädliche Einflüsse auf den Boden durch Schadverdichtung müssen verringert werden (Ackerbaustrategie)	Noch nicht definiert	Verringerung der Boden(schad)verdichtung
	Die Bodenfruchtbarkeit muss gestärkt und verbessert werden (Ackerbaustrategie)		Erhaltung oder Steigerung der Bodenqualität

* Die zu honorierende Umweltleistung besteht in der …

Quelle: UGÖ-Schlussbericht Teil II.1.

Nach Paragraf 17 Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG)[1] zählt zu den relevanten Grundsätzen der guten fachlichen Praxis unter anderem, dass:

- die Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung der Witterung grundsätzlich standortangepasst zu erfolgen hat;
- die Bodenstruktur erhalten oder verbessert wird;
- Bodenverdichtungen, insbesondere durch Berücksichtigung der Bodenart, Bodenfeuchtigkeit und des von den zur landwirtschaftlichen Bodennutzung eingesetzten Geräten verursachten Bodendrucks, soweit wie möglich vermieden werden.

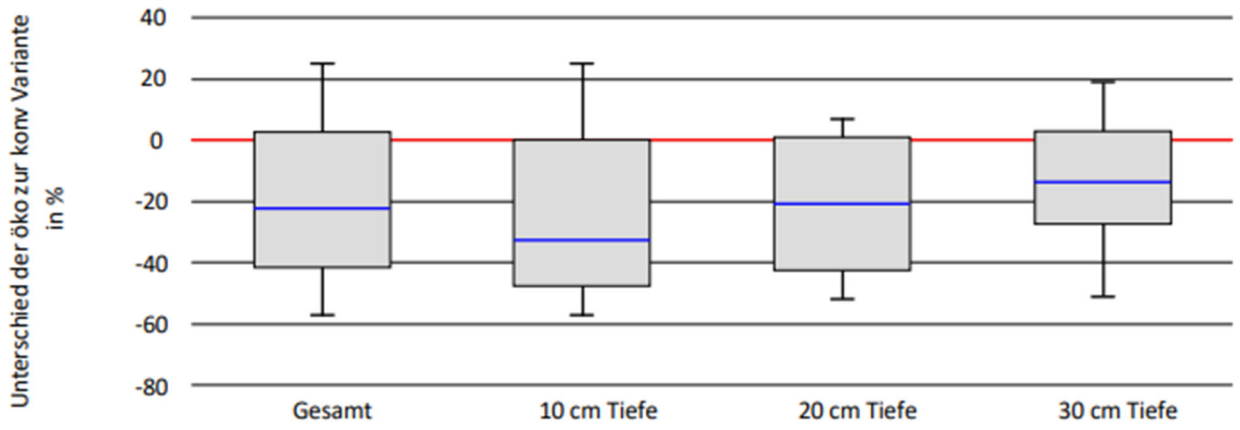
1.2 Beitrag des ökologischen Landbaus

Laut Sanders und Hess (2019) haben ökologische Betriebe weniger Probleme mit Verdichtung als konventionelle. Der Eindringwiderstand ökologisch bearbeiteter Böden war in der Studie um durchschnittlich gut 20 % geringer als bei Böden unter konventioneller Bewirtschaftung. Die prozentualen Werte variieren jedoch sehr unter den Betrieben, die Spanne reicht von bis zu 60 % weniger und 20 % mehr Eindringwiderstand (Abbildung 1-1).

[1] https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/, abgerufen am 14.06.2023.

Öko-Betriebe können die Bodenstruktur mittels unterschiedlicher Maßnahmen günstig beeinflussen, zum Beispiel durch den Anbau von Kleegras und durch organische Düngung – beides fördert die Humusgehalte und Bodenorganismen – sowie durch eine angepasste Bodenbearbeitung. Die Folgen solcher Maßnahmen sind aus Umwelt- und landwirtschaftlichen Gesichtspunkten relevant.

Abbildung 1-1: Relative Unterschiede zwischen der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft hinsichtlich des Eindringwiderstandes in den Boden bezogen auf eine Flächeneinheit (punktuelle Messungen auf Feldschlägen bis 30 cm Tiefe)



Gesamt: Werte für drei Tiefenstufen (10 cm, 20 cm und 30 cm Tiefe). Positive Werte zeigen eine Steigerung für die ökologische Bewirtschaftung im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung, bei negativen Werten waren die Werte bei konventioneller Bewirtschaftung höher als bei ökologischer Bewirtschaftung

Quelle: Sanders und Hess (2019).

2 Methodik

2.1 Zusammenfassung

Bodenstruktur oder -gefüge ist ein wichtiger Bestandteil der Bodenfruchtbarkeit, aber nicht einfach zu bewerten, weil sie auch sehr vom Wassergehalt im Boden und Textur (Ton-, Schluff-, Sand- und Steingehalt) sowie dem Gehalt an organischer Substanz abhängig ist. Direkte Messungen im Feld, wie z. B. mit dem Bodenpenetrometer für Bodenverdichtung, die indirekt auf die Bodenstruktur abzielen, erlauben keine konsistente Vergleichsbasis zwischen Betrieben. Laboruntersuchungen, wie zum Beispiel zur Aggregatstabilität, könnten auch relevant sein, sind aber mit Kosten verbunden, und auch diese Ergebnisse sind nicht immer einfach zu interpretieren oder zu vergleichen.

Die visuelle Beurteilung der Bodenstruktur (VESS = Visual Evaluation of Soil Structure) kann unter Umständen auf einer standardisierten und damit vergleichbaren Basis durchgeführt werden. Dies wäre allerdings sehr aufwendig, wenn es von externen Arbeitskräften durchgeführt wird. Aber ähnlich wie bei Artenzählungen für Biodiversität gibt es die Möglichkeit, Landwirt*innen in der Anwendung eines einheitliches Bewertungssystems zu schulen, so dass die Beurteilung aus betriebseigenen Ressourcen erfolgen kann, eventuell mit einer Kontrolle durch Dritte. Dies hätte den Vorteil, dass die Ergebnisse auch sofort in Bewirtschaftungsentscheidungen integriert werden könnten.

2.2 Detaillierte Methodenbeschreibung

Die Spatendiagnose wurde um 1930 von Johannes Görbing entwickelt, um die Bodengefüge zu beurteilen. In den 1980er Jahren wurde diese Methodik von Gerhard Preuschen wieder verbreitet (Preuschen, 1990). Sie wird oft von Landwirt*innen benutzt, um ihre Böden zu beurteilen[2]. Folgende Faktoren werden beurteilt: Gefüge/Verdichtungen; Aggregate; Bodenfeuchte; Lagerungsdichte; Wurzelbild. Die Methodik ist aber eher qualitativ und es ist daher nicht einfach, Schläge zu vergleichen oder gesamtbetriebliche Leistungen zu bewerten. Eine erweiterte Spatendiagnose ist von Hampl und Kussel um 1994 entwickelt worden, um auch eine quantitative Beurteilung zu ermöglichen (Beste, 2002). Diese erweiterte Methodik scheint aber eher für die Wissenschaft als für die Praxis geeignet zu sein.

Eine alternative Methodik, die einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker, wurde vom Thünen-Institut für Agrartechnologie und der Gesellschaft für Konservierende Bodenbearbeitung e.V. entwickelt (Brunotte, 2012) (Abbildung 2-1)[3,4]. Diese Methodik ist auch als App von der DLG verfügbar[5]. Dabei werden sechs Parameter beurteilt: Struktur der Oberfläche; Durchwurzelung des Bodens; Makroporen/Bioporen; Gefüge und Verfestigung; organische Reststoffe; Farbe und Geruch. Wie bei der Spatendiagnose ist die Bewertung eher qualitativ; zumindest ist eine klare Bewertungsskala nicht vorgegeben.

In den 1990er Jahren entwickelte die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) eine ähnliche, detaillierte Methodik zur Erkennung und Beurteilung von Bodenstruktur (Diez et al., 2021). Obwohl eine Bewertungsskala vorgegeben ist (Abbildung 2-2), werden die Noten und Beschreibungen nicht direkt in Zusammenhang mit Bildern gebracht, um eine konsistente Bewertung zu ermöglichen.

---

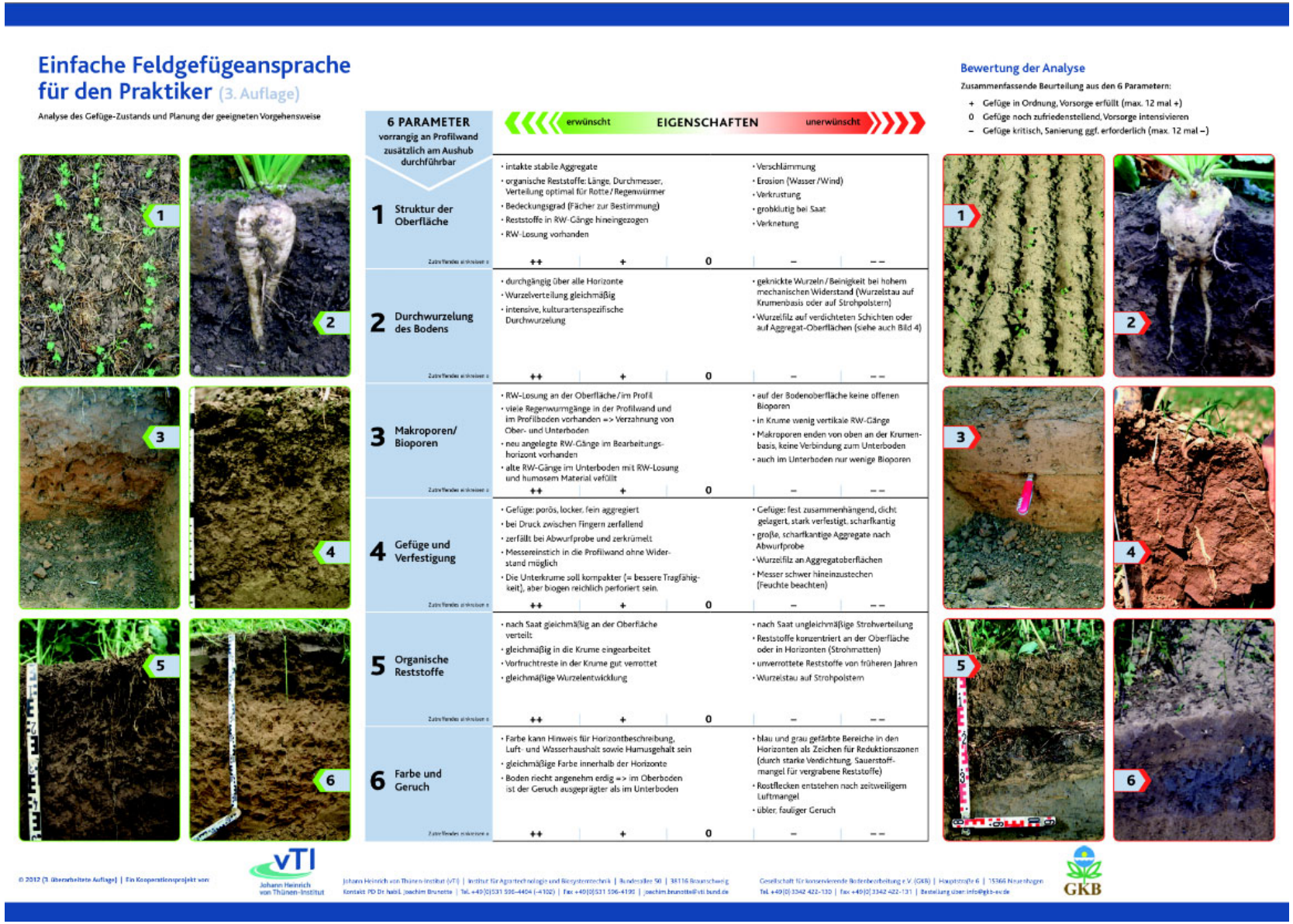
[2] https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/boden/bodenansprache.htm, abgerufen am 14.06.2023.

[3] https://www.gkb-ev.de/, abgerufen am 14.06.2023.

[4] https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/bodenschutz-bewirtschaftung.html, abgerufen am 14.06.2023.

[5] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lvdigital.fga&hl=de_CH, abgerufen am 14.06.2023.

Abbildung 2-1: Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker



Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker (3. Auflage)

Analyse des Gefüge-Zustands und Planung der geeigneten Vorgehensweise

6 PARAMETER vorrangig an Profilwand zusätzlich am Aushub durchführbar	erwünscht	EIGENSCHAFTEN	unerwünscht
1 Struktur der Oberfläche	• intakte stabile Aggregate • organische Reststoffe: Länge, Durchmesser, Verteilung optimal für Rotte/Regenwürmer • Bedeckungsgrad (Fächer zur Bestimmung) • Reststoffe in RW-Gänge hineingezogen • RW-Losung vorhanden		• Verschlämmung • Erosion (Wasser/Wind) • Verkrustung • grobklutig bei Saat • Verknetung
2 Durchwurzelung des Bodens	• durchgängig über alle Horizonte • Wurzelverteilung gleichmäßig • intensive, kulturartenspezifische Durchwurzelung		• geknickte Wurzeln/Beinigkeit bei hohem mechanischen Widerstand (Wurzelstau auf Krumenbasis oder auf Strohpolstern) • Wurzelfilz auf verdichteten Schichten oder auf Aggregat-Oberflächen (siehe auch Bild 4)
3 Makroporen/ Bioporen	• RW-Losung an der Oberfläche/im Profil • viele Regenwurmgänge in der Profilwand und im Profilboden vorhanden => Verzahnung von Ober- und Unterboden • neu angelegte RW-Gänge im Bearbeitungshorizont vorhanden • alte RW-Gänge im Unterboden mit RW-Losung und humosem Material verfüllt		• auf der Bodenoberfläche keine offenen Bioporen • in Krume wenig vertikale RW-Gänge • Makroporen enden von oben an der Krumenbasis, keine Verbindung zum Unterboden • auch im Unterboden nur wenige Bioporen
4 Gefüge und Verfestigung	• Gefüge: porös, locker, fein aggregiert • bei Druck zwischen Fingern zerfallend • zerfällt bei Abwurfprobe und zerkrümelt • Messereinstich in die Profilwand ohne Widerstand möglich • Die Unterkrume soll kompakter (= bessere Tragfähigkeit), aber biogen reichlich perforiert sein.		• Gefüge: fest zusammenhängend, dicht gelagert, stark verfestigt, scharfkantig • große, scharfkantige Aggregate nach Abwurfprobe • Wurzelfilz an Aggregatoberflächen • Messer schwer hineinzustechen (Feuchte beachten)
5 Organische Reststoffe	• nach Saat gleichmäßig an der Oberfläche verteilt • gleichmäßig in die Krume eingearbeitet • Vorfruchtreste in der Krume gut verrottet • gleichmäßige Wurzelentwicklung		• nach Saat ungleichmäßige Strohverteilung • Reststoffe konzentriert an der Oberfläche oder in Horizonten (Strohmatten) • unverrottete Reststoffe von früheren Jahren • Wurzelstau auf Strohpolstern
6 Farbe und Geruch	• Farbe kann Hinweis für Horizontbeschreibung, Luft- und Wasserhaushalt sowie Humusgehalt sein • gleichmäßige Farbe innerhalb der Horizonte • Boden riecht angenehm erdig => im Oberboden ist der Geruch ausgeprägter als im Unterboden		• blau und grau gefärbte Bereiche in den Horizonten als Zeichen für Reduktionszonen (durch starke Verdichtung, Sauerstoffmangel für vergrabene Reststoffe) • Rostflecken entstehen nach zeitweiligem Luftmangel • übler, fauliger Geruch
	++ + 0		– –

Bewertung der Analyse

Zusammenfassende Beurteilung aus den 6 Parametern:

+ Gefüge in Ordnung, Vorsorge erfüllt (max. 12 mal +)
0 Gefüge noch zufriedenstellend, Vorsorge intensivieren
– Gefüge kritisch, Sanierung ggf. erforderlich (max. 12 mal –)

Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker (3. Auflage)

Grundsätzliches

Ziel:

Diese Anleitung zu einer einfachen Feldgefügeansprache soll helfen, aus dem aktuellen Zustand des Gefüges Schlussfolgerungen für ein **Boden schonendes Bearbeiten und Befahren** abzuleiten. Jeder Standort (Sand, Lehm, Ton) ist in seiner Eigenart und Vollkommenheit zu betrachten und kann bei optimalem Gefügezustand die Höchstbewertung erreichen – es geht nicht um eine Abstufung der Bodenarten zueinander.

Günstiger Zeitpunkt:

1. Ende April / Anfang Mai, da Bodenfeuchte optimal und Bestandesentwicklung zu sehen
2. generell auf Stoppelacker im September / Oktober nach Aberntung der Vorfrüchte bei günstiger Bodenfeuchte

Material:

- stabiler Spaten (scharfkantig)
- Hacke ohne Stiel (scharfkantig), ca. 5 - 10 cm breit
- stabiles, fixierbares Messer, Zollstock
- 1 Stunde Zeit, Motivation

Anlegen der Profilgrube:

- Es wird ein Kompromiss gewählt zwischen dem „Bodenziegel" bei einer Spatendiagnose und einer begehbaren Profilgrube, durch einen Minibagger angelegt.
- Mit dem Spaten wird ein Loch an einer oder mehreren **repräsentativen Stellen** im Acker ausgehoben (gute und kritische Stellen vergleichen).
- Maße: 80 cm Länge / 45 cm Breite / 45 cm Tiefe (ca. 2 Spaten tief)
- Über diese Tiefe können die wichtigsten Parameter / Kenngrößen betrachtet werden. Die farbliche Veränderung des Bodens hilft, die Schichten voneinander abzugrenzen, z. B. **Oberfläche / bearbeitete Krume / Krumenbasis / krumennaher Unterboden.**
- Am günstigsten kann die Feldgefügeansprache und die Feinpräparation erfolgen, wenn sich die Person nach Aushub der Grube auf den Acker legt – so sind Abstand und Blickwinkel zur Profilwand für eine genaue Ansprache optimal.

Bilder Vorderseite:
Dr. Joachim Boischoff | links: 5
Dr. Joachim Brunotte, vTI | links: 2 | rechts: 2
FAQ. Ron | links: 4
Berthold Ortmeier, vTI | links: 6
LfL, Freising | rechts: 4, 5, 6
Dr. Hans Wißhenrich, GKB | links: 1, 3 | rechts: 1, 3

Vorgehensweise

1. Aushub der Grube (Spaten, Zollstock):

Einen ersten Eindruck über den Bodenzustand bekommt man bereits beim Einstechen mit dem Spaten (vgl. Spatendiagnose). In Abhängigkeit von der Bodenfeuchte kann der Eindringwiderstand variieren. Hierdurch wird die Schichtung des Bodens deutlich und sagt etwas über die Eigenart und Lagerung der Bodenpartikel aus.

Beim Aushub der Grube sollten **„Bodenziegel"** (Spatendiagnose) aus unterschiedlichen Tiefen / Horizonten (Krume, Krumenbasis, naher Unterboden) für eine Abwurfprobe aus 1 m Höhe (bei Sand < 50 cm) genutzt werden (eine Fahrgasse ohne Stroh eignet sich gut als harter Untergrund für die Abwurfprobe). So kann der Verfestigungsgrad (Abb. 4 re) bzw. der Zusammenhalt der Aggregate überprüft werden.

2. Feinpräparation des Profilgrubenbodens (Spaten, Hacke):

Die Verbindung und Verzahnung von Krumenbasis und nahem Unterboden wird am Profilboden deutlich und weist auf die **Kontinuität der Bodenfunktionen** in den Horizonten hin. Das Vorhandensein von Regenwurm (RW)-Gängen und Wurzeln lässt Rückschlüsse auf den mechanischen Widerstand, die Luft- und Wasserdurchlässigkeit der Horizonte zu.

3. Ansprache der Profilwand (Hacke, Messer):

Zunächst erfolgt ein Glattziehen der Profilwand mit der Hacke (der lose Boden kann nach erfolgter Bonitur des Profilbodens am Grund verbleiben).

Die Profilwand wird anschließend mit dem Messer in 2 Hälften unterteilt:

- Wird mit dem Messer im Sinne eines Horizontalpenetrometers von oben nach unten in die **rechte Profilwand** eingestochen (Achtung! Änderung von Bodenfeuchte, Humusgehalt und Substrat beeinflussen den Eindringwiderstand), sind Aussagen möglich:
  - zum mechanischen Bodenwiderstand / **Verfestigungsgrad** mit evtl. verdichteten Zonen, wie z. B. „verlassene Krume" (mögliche Ursache: Die Arbeitstiefe wurde zurückgenommen).
  - zur Durchwurzelbarkeit, Luft- und Wasserdurchlässigkeit

Der Bodenwiderstand hat großen Einfluss auf den Energiebedarf bei der Bodenbearbeitung und entscheidet über die Auswahl der Geräte hinsichtlich Bearbeitungstiefe, -intensität und -häufigkeit.

- An der **linken Profilwand** erfolgt eine Feinpräparation mit dem Messer, indem kleine Bruchstücke herausgebrochen werden. Die 6 Bodenparameter (siehe Vorderseite) werden für alle Bodenhorizonte nacheinander abgearbeitet. Die nachfolgend beschriebene Beurteilung bezieht sich auf das gesamte Profil:
  - Vornehmlich ist in Unterkrume und Krumenbasis nach **Plattengefüge** zu sehen, da es die Durchlässigkeit für Regenwürmer, Wurzeln, Luft und Wasser beeinträchtigen kann (Abb. 4 re). Die genaue Bestimmung der Gefügeformen, wie Krümel-, Bröckel-, Polyeder- oder Prismengefüge interessiert bei dieser Ansprache weniger, da sie bei der Bewirtschaftung ein untergeordnete Rolle spielt.
  - Der Quellungszustand und die Beschaffenheit der Aggregatzwischenräume und der Grenzflächen benachbarter **Aggregate** werden auf die Wurzelentwicklung hin angesehen. Wurzeln als Wurzelfilz auf Aggregaten weisen deutlich auf eine Verdichtung hin (Abb. 4 re).
  - Vertikal orientierte **RW-Gänge mit hoher Kontinuität** nutzen die Wurzeln als Leitbahnen in den Unterboden.

Die Wurzelverteilung in einer Bodenschicht ist abhängig von Pflanzenart, Gefüge, Zeitpunkt der Bestimmung, Witterung und Bodenart. Sie gibt Hinweise auf die Lagerungsdichte, den Grad der Kompaktheit / Lockerheit des Bodens.

Beispiel A: LEHMIGER SAND

(Wintergerste mit Pflug nach Winterweizen, Profilansprache nach der Gerstenernte)

(1) Oberfläche
- Stoppeln 10 cm lang und Stroh kurz (< 5 cm), gleichmäßig verteilt
- wenig Regenwurmlosung
- keine Verschlämmung

Einstufung: +

(2) Durchwurzelung des Bodens
- gleichmäßige Durchwurzelung von Krume und nahem Unterboden
- z.T. Wurzeln horizontal über der Krumenbasis abgeknickt
- Wurzeln in RW-Röhren bis in den Unterboden reichend

Einstufung: 0

(3) Makroporen / Bioporen
- wenige Makroporen mit RW-Losung an der Oberfläche sichtbar, da gepflügt
- Makroporen durchsetzt mit Wurzeln bis in den Unterboden
- RW-Gänge auch an der Grubensohle

Einstufung: +

(4) Gefüge und Verfestigung
- Gefüge porös, locker, fein aggregiert
- unter der Bearbeitungszone (28 - 30 cm) fester gelagert, grobes Gefüge

Einstufung: +

(5) Organische Reststoffe
- z.T. unverrottete Reststoffe in der Krume

Einstufung: 0

(6) Farbe und Geruch
- unterschiedlich braune Farbtöne, die die Schichten klar abgrenzen
- keine Verfärbungen, die auf Reduktionszonen hinweisen
- keine Fäulnisgerüche

Einstufung: ++

Gesamtbeurteilung: 5 mal +

> Gefüge in Ordnung, Vorsorge erfüllt

Beispiel B: LÖSS-LEHM

(Winterweizen pfluglos nach Zuckerrüben, Profilansprache nach der Weizenernte)

(1) Oberfläche
- Stoppeln 10 cm lang und Stroh kurz (< 5 cm), gleichmäßig verteilt
- wenig Regenwurmlosung
- keine Verschlämmung, keine Rissbildung

Einstufung: +

(2) Durchwurzelung des Bodens
- gleichmäßige Durchwurzelung bei WW von der Krume bis zum nahen Unterboden
- keine abgeknickten Wurzeln über Krumenbasis
- viele Wurzeln in RW-Röhren bis in den Unterboden reichend

Einstufung: ++

(3) Makroporen / Bioporen
- nur wenige Makroporen mit RW-Losung an der Oberfläche sichtbar, da ZR-Reststoffe keine nachhaltige Nahrungsquelle bieten
- Makroporen stark durchsetzt mit Wurzeln bis in den Unterboden
- zahlreiche RW-Gänge auch a. d. Grubensohle

Einstufung: +

(4) Gefüge und Verfestigung
- intaktes Gefüge, porös, locker, fein aggregiert
- unter der Bearbeitungszone in ca. 12 - 15 cm Tiefe etwas fester gelagert, da Bearbeitungshorizont, schwach plattig, aber durchlässig

Einstufung: +

(5) Organische Reststoffe
- an Oberfläche nur wenig vorhanden, da ZR-Blatt schnell verrottet
- keine unverrotteten Reststoffe in der Krume, da durch Mulchsaat gleichmäßig eingearbeitet

Einstufung: ++

(6) Farbe und Geruch
- gleichmäßig braune Farbe, die die Schichten klar abgrenzt
- keine Verfärbungen, die auf Reduktionszonen hinweisen
- keine Fäulnisgerüche

Einstufung: ++

Gesamtbeurteilung: 9 mal +

> Gefüge in Ordnung, Vorsorge erfüllt

Beispiel C: TON

(Winterweizen pfluglos nach Winterweizen, Profilansprache nach der Weizenernte)

(1) Oberfläche
- Stoppeln 10 cm lang und Stroh kurz (< 5 cm), gleichmäßig verteilt
- wenig altes Stroh vorhanden, da hohe Aktivität der Regenwürmer, viel Regenwurmlosung
- keine Verschlämmung
- keine Verkrustung / Rissbildung, da Boden feucht und gequollen zum Zeitpunkt der Ansprache

Einstufung: +

(2) Durchwurzelung des Bodens
- Wurzeln in ehemaligen Schrumpfrissen, aber auch vereinzelt durch Aggregate hindurch
- Wurzeln reichen in diesen Leitbahnen bis in den Unterboden

Einstufung: +

(3) Makroporen / Bioporen
- durch Regenwürmer erzeugte Bioporen mit hoher Kontinuität
- Schrumpfrisse durch Quellung verschwunden

Einstufung: +

(4) Gefüge und Verfestigung
- Aggregate im Bereich der Oberkrume (0 - 12 cm) krümelig
- in 12 - 27 cm Tiefe: kleine, scharfkantige Aggregate, aber durchlässig
- Messerprobe: oben locker, in unterer Krume fester
- ab 27 cm bis in den Unterboden noch fester, aber RW-Gänge und Wurzeln vorhanden

Einstufung: +

(5) Organische Reststoffe
- die Reststoffe sind gleichmäßig in der Krume verteilt und verrottet, da ausreichend Sauerstoff und Feuchtigkeit vorhanden

Einstufung: ++

(6) Farbe und Geruch
- deutliche Farbtrennung von bearbeitetem Horizont und Unterboden
- Geruch erdig, nicht faul

Einstufung: ++

Gesamtbeurteilung: 8 mal +

> Gefüge in Ordnung, Vorsorge erfüllt

Idee und grafische Gestaltung: Andrea Kyas, Visuelle Gestaltung, Oberursel

© 2012 (3. überarbeitete Auflage) | Ein Kooperationsprojekt von: vTI GKB

Mitwirkung: Marion Senger, Monika v. Haaren, Landwirtschaftskammer Niedersachsen | Dr. Johannes Heyn, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen | Robert Brandhuber, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft | PD Dr. Hans Wißhenrich, Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung
Dr. Jana Epperlein, Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung | Dr. Thomas Vorderbrügge, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie | Berthold Ortmeier, Institut für Agrartechnologie, vTI Braunschweig | Dr. Marco Lorenz, Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft | Prof. Tamas Harrach, Gießen

Quelle: BMEL[4] nach Brunotti (2012).

Abbildung 2-2: Schema zur Gefügebeurteilung im Feld

Bewertung	1	2	3	4	5
	günstig			ungünstig	

Beschaffenheit der Bodenoberfläche

Merkmale	je nach Anforderung rau bis fein, Makroporen und Einzelaggregate erkennbar, Wurmkot	Grobporen fehlen, Aggregate verwaschen, verschlämmt, Entmischung, Krusten

Gefügeformen von Krume und Unterboden

Ungegliedert Gefügeformen (nicht aggregierte Gefüge)			**Einzelkorngefüge**	
			locker	verdichtet
Merkmale		**Zusammenhängendes Gefüge** (Kohärentgefüge)		
		locker zusammenhängend, porös, bei Druck leicht zerfallen	fest zusammenhängend, dicht gelagert, kaum (keine) Makroporen	
Gegliederte Gefügeformen (aggregierte Gefüge)	**Krümelgefüge**	**Bröckelgefüge**		
Merkmale	porös, locker, fein aggregiert	unscharf begrenzte, poröse Aggregate, bei leichtem/stärkerem Druck zerfallend		
		Scharfkantiges Gefüge (Polyedergefüge) Prismengefüge, Plattengefüge		
		scharfkantige, glattflächige, mehr oder weniger dichte Aggregate, sehr fein bis 0,2; fein 0,2 bis 0; mittel 0,5 bis 3; grob über 3 cm		

Worauf noch zu achten ist

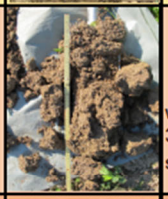
Wurzeln (Durchwurzelung)	gleichmäßig, hohe Wurzeldichte, kein Wurzelstau	ungleichmäßig, Wurzelfilz auf Kluftflächen, geknickte Wurzeln, wurzelleere Zonen
Farbe, Geruch (Durchlüftung)	gleichmäßige (braune) Farbe, keine Rost- und Grauflecken, erdiger Geruch	Rost- und Grauflecken (Reduktionszonen), Konkretionen, Geruch faulig, stinkend
Ernterückstände	in Rotte oder weitgehend abgebaut (Jahreszeit berücksichtigen)	relativ frisch, „einzementiert", ungleichmäßig verteilt („Matratzen"), verpilzt
Röhren, Klüfte	zahlreiche Röhren (Wurm- oder Wurzelröhren), Klüfte	wenige oder keine Röhren und Klüfte
Übergang (z. B. Krume/Unterboden)	allmählich	abrupter Wechsel von locker-porösem zu kohärent-dichtem Gefüge

Quelle: nach Diez et al. (2021).

Die visuelle Beurteilung der Bodenstruktur (VESS) versucht fünf Qualitätsklassen für Bodenstruktur zu definieren, mit Hilfe von Bildern und detaillierten Beschreibungen (Ball et al., 2007) (Abbildung 2-3)[6], um eine konsistente und vergleichbare Beurteilung zu ermöglichen. Diese Methode wurde ursprünglich für Ackerboden entwickelt, auf Basis von Peerlkamp (1967), und war abhängig sowohl von der Bodentiefe als auch davon, ob der Boden von einer Graswurzelschicht bedeckt ist (wie es oft bei Dauergrünland der Fall ist). Deswegen wurde VESS erweitert, um auch Unterboden (SubVESS) (Ball et al., 2015) und Dauergrünlandboden (GrassVESS) (Emmet-Booth et al., 2018) besser beurteilen zu können. Der Boden soll möglichst feucht sein, mit einem gut etablierten Würzelsystem, und die Bodenbeprobung sollte in einem ausreichenden zeitlichen Abstand zur letzten Bodenbearbeitung erfolgen. Für Vergleichszwecke sollte der Erhebungszeitpunkt standardisiert werden, zum Beispiel vor der Herbstbestellung eventuell in Zusammenhang mit N_{min}- und C_{org}-Proben. Training für Betriebsleiter*innen mit Beispielen von guten und schlechten Böden könnte helfen, die Vergleichbarkeit von VESS-Bewertungen zu verbessern. Bildaufnahmen sind auch wünschenswert.

[6] https://www.fas.scot/publication/a-guide-to-the-visual-evaluation-of-soil-structure-vess/

Abbildung 2-3: Visuelle Beurteilung der Bodenstruktur (VESS)

VESS$_{2020}$ Version 09.06.2020	in der ganzen Schicht: Grösse und Form der Aggregate	ganze Aggregate bzw. Klumpen: Grösse (kurz nach Bodenbearbeitung nicht beurteilen (nur Aggregatform))	ganze Aggregate bzw. Klumpen: Form	Festigkeit (nur bei günstiger Bodenfeuchte beurteilbar; sonst: weiter mit "Aufbrechen"-)	Aufbrechen der Aggregate bzw. Klumpen	Aufbau und Porosität der aufgebrochenen Aggregate bzw. Klumpen	Eigenschaften der aufgebrochenen Aggregate bzw. Klumpen: Bruchflächen	Eigenschaften der aufgebrochenen Aggregate bzw. Klumpen: Porosität	Wurzeln, Bodenfarbe [Wurzeln kann man nur bei etablierten Kulturen beobachten]
Sq1 sehr gut (bröckelig)		meistens < 6 mm	**Krümelig.** Kleine rundliche Aggregate	mit Fingern einfach zu zerdrücken	offene Struktur: die Probe bricht entlang von Aggregatgrenzen; Wurzeln wachsen uneingeschränkt; Proben mit Sq1 und Sq2 bestehen nur aus kleineren Aggregaten.		grössere Aggregate bestehen aus kleineren Aggregaten, die oft von Wurzeln zusammen-gehalten werden	Sehr porös	Wurzeln bis in Aggregate wachsend
Sq2 gut (intakt)		meistens 2 mm bis 7 cm	rundliche Aggregate, teilweise abgerundete Kanten; keine kohärenten Klumpen	Aggregate können mit einer Hand einfach zerdrückt werden			beim Aufbrechen werden raue, poröse Bruchflächen sichtbar	**Porös**	Wurzeln bis in Aggregate wachsend
Sq3 mittel-mässig (fest)		2 mm bis 10 cm weniger als 30% sind < 1 cm	verschiedene Formen von eher rundlich bis leicht kantig; einige kohärente Klumpen sind möglich	die meisten Aggregate können mit einer Hand zerdrückt werden			beim Aufbrechen werden raue, poröse, teilweise aber auch glatte Bruchflächen sichtbar	Wenig porös. Makroporen und Risse möglich	nur noch einzelne Wurzeln in Aggregaten
Sq4 schlecht (dicht)		meistens > 10 cm weniger als 30% sind < 7 cm	meist kohärente Klumpen; scharfe Kanten, Risse und Lamellenbildung möglich	Klumpen können nur mit viel Kraft zerbrochen werden	kohärente Struktur: die Klumpen brechen genau da, wo man sie aufbricht, oder entlang von Rissen; Wurzeln wachsen nur noch eingeschränkt auf den Oberflächen der Klumpen.		beim Aufbrechen werden meist glatte, wenig poröse Bruchflächen sichtbar	sehr wenig porös; wenige erkennbare Makroporen	Wurzeln wachsen meist nur noch in Makroporen und Rissen oder auf der Oberfläche von Klumpen
Sq5 sehr schlecht (sehr dicht)		meistens > 10 cm	kohärente, scharfkantige Klumpen	Klumpen sind kaum aufzubrechen			beim Aufbrechen werden glatte, porenfreie Bruchflächen sichtbar; kleine scharfkantige Würfel können herausgebrochen werden	nicht porös; wenn Poren vorhanden, dann als einzelne Makroporen oder Risse	Wurzeln nur noch in Rissen oder auf der Oberfläche von Klumpen; anaerobe Zonen mit blau-grauer Färbung möglich

Quelle: Basiert auf Ball et al. (2007).

2.3 Notwendige Inputdaten

Die Hauptdaten werden auf dem Betrieb (einzelne Schläge) direkt erhoben. Kontextdaten zu Bodentyp, C_{org}-Gehalt und Landnutzung werden auch benötigt, sollten aber auch über Bodenanalysen und Schlagkarteien üblicherweise vorhanden sein (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Zusammenfassung der notwendigen Inputdaten und mögliche Datenquellen

Quelle	InVeKoS	LPIS	GLÖZ	Kontrolle	Betriebs-unterlagen	Proben	Drohnen	Fern-erkundung	Statistik/ Normdaten
Schlag ID	**X**	X			X				
VESS Bewertungsunterlagen					X				
Ø Schlag Sq-Wert (vgl. Abb. 2-3)					X				
Datum der Bewertung					X				
Schlaggröße		X			**X**				
Schlagnutzung	**X**				X				
Hauptfrucht	**X**				X				
Vorfrucht	**X**				X				
Nachfrucht*	**X**				X				
Zwischenfrucht (Winterbodenbedeckung)	?				**X**				
Ton, Schluff, Sand, Humusgehalt					**X**				
Sonstige Boden- und Klimamerkmale					**X**				

Quelle: Eigene Darstellung.

2.4 Leistungsbestimmung (Schwellenwerte)

Im Prinzip ist es möglich, durchschnittliche, flächengewichtete VESS-Sq-Werte zu berechnen und die Werte im Lauf der Zeit betriebsintern zu vergleichen oder zwischen Betrieben mit ähnlichen Kontextfaktoren (wie zum Beispiel Textur und Vorfrucht) zu vergleichen. Im Prinzip ist es auch möglich, Betriebe mit unterschiedlichem Bodentyp und unterschiedlicher Textur zu vergleichen, da die VESS-Methode die Größe und Form der Aggregate beurteilt und nicht die Menge an Aggregation. Als Beispiel: Auch wenn ein sandiger Boden weniger Aggregation hat als ein Ton-Boden, falls die Aggregate die richtige Form und Größe haben, dann sollen auch die sandigen Böden gute Noten bekommen.

Tabelle 2-2: Vorschläge für VESS-Indikator-Schwellenwerte

Indikator	Einheit	Gruppierung	Sehr gut	Gut	Aus-reichend	Ungünstig/ nicht zulässig	Anmer-kung/ Quelle
Visuelle Bewertung der Bodenstruktur	Ø Sq-Wert	Ackerland	Sq1 bis < Sq2	Sq2 bis < Sq3	Sq3 bis < Sq4	Sq4, Sq5	Vgl. Abb. 2-3

Quelle: Eigene Darstellung.

2.5 Fazit

In Deutschland sind einige Bodenparameter – wie Bodenart (nach Reichsbodenschätzung, einschl. Sand-, Ton- und Schluffgehalt); Bodenwert(klima)zahl; Ackerzahl und Grünlandzahl; Ertragsmesszahl; Hangneigung/ Hanglänge – gut definiert und üblicherweise auf Schlagbasis erfasst. Diese Werte sind aber nicht geeignet, um Bodengefüge zu bewerten, und sind eher als Kontextindikatoren zu verstehen. Es gibt bisher keine gut vergleichbare Methode, um Bodengefügequalität zu messen. Deswegen ist VESS zurzeit die einzige Methode, die für das Honorierungssystem in Frage kommt, auch wenn einige Nachteile damit verbunden sind, die in der folgenden Bewertung des Indikators diskutiert werden.

3 Indikatorqualitätsbewertung

Die Methodik der Bewertung wurde in UGÖ-Schlussbericht Teil II.4 vorgestellt. Hier werden nur einzelne Aspekte wiederholt als Verständnishilfe für die Detailergebnisse des Indikators.

3.1 Aussagekraft

Bei der Aussagekraft eines Indikators handelt es sich um die Fähigkeit des Indikators, das erwünschte Zielniveau oder die Leistungserbringung möglichst genau darzustellen. Die politischen Ziele, im Kontext vom Leitbild der nachhaltigen Entwicklung und Umweltgerechtigkeit, und dafür relevante Leistungen sind im Abschnitt 1.1 dargestellt.

Unter Aussagekraft sind folgende Aspekte wichtig:

- Relevanz: Der Indikator hat Bezug oder Nähe (theoretisch und zeitlich) zum Problem, zum Ziel oder zur erwünschten Leistung. Im Prinzip haben ergebnisorientierte Indikatoren einen engeren Bezug zum Problem als handlungsorientierte. Allerdings können methodische oder andere Überlegungen dazu führen, dass handlungsorientierte Indikatoren als besser geeignet bewertet werden. Relevanz heißt auch, dass Handlungsebenen direkt beeinflusst werden können und Handlungsbereiche für die Agierenden (Politik, Verwaltung, Unternehmen, Verbände ...) handhabbar sind.
- Repräsentativität und Sensibilität: Die tatsächliche Situation und Änderungen in der beobachteten Situation können gut abgebildet werden.
- Vergleichbarkeit: Inwieweit und unter welchen Umständen sind Kontextfaktoren, zum Beispiel ähnliche Standorte (Boden, Klima, Hangneigung) oder Produktionssystem/Betriebstypen (Ackerbau-, Gemüsebau-, Milch-, sonstige Grünlandbetriebe usw.), für die Interpretation der Indikatoren von Bedeutung.
- Komplementarität und Duplikation unter den Indikatoren, bezogen auf das Logikmodell (vgl. UGÖ-Schlussbericht Teil II.5): Ist ein Indikator auch für andere Schutzgüter bzw. Ziele relevant oder sind die gleichen Daten für mehrere Indikatoren relevant, können unnötige Überlappungen mit anderen Indikatoren oder wiederholte Datenerhebung vermieden werden.

Eine Fünf-Punkte-Bewertungsskala (++: sehr hoch/gut, +: hoch/gut, 0: mäßig/ausreichend, -: niedrig/schlecht, --: sehr niedrig/schlecht) wurde verwendet, um die einzelnen Indikatoren nach den Kriterien zu benoten.

Tabelle 3-1: Bewertung des VESS-Indikators nach den ausgewählten Aussagekraftkriterien

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/Quellen
Relevanz (theoretisch, zeitlich, politisch, Umwelt, Praxis) Leistung 1: Verminderung der Bodenschad-verdichtung Leistung 2: Verminderung der Klima-THG-Emissionen	+ 0	Die Bundesregierung hat ein klares Ziel, Boden(schad)verdichtung zu reduzieren und Bodenqualität zu erhalten oder zu verbessern – insoweit ist der Indikator politisch relevant. Seitens der Bundesregierung fehlen bisher ein Indikator und klare Zielwerte. Bodenstruktur ist ein wichtiges Merkmal, das auch andere umweltrelevante Aspekte in sich trägt, z. B.: - Wasserinfiltration, sie ist gegen Dürre und Flut wirksam; - Belüftung des Bodens, sie ermöglicht eine bessere Bewurzelung und biologische Aktivität, welche auch für Kohlenstoffspeicherung, Aggregatstabilität und Bodenerosionsgefährdung relevant ist (vgl. UGÖ-Schlussbericht Teil II.9). Quantitative Werkzeuge wie Penetrometer zur Messung des Eindringwiderstands sind verfügbar, aber andere Faktoren wie Trockenheit beeinflussen deren Ergebnisse. Deswegen ist VESS als ganzheitliche, wenn

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/Quellen
		auch eher als eine qualitative Methode von Interesse, um Bodenstruktur zu beurteilen. Die VESS-Methode ist eher ergebnisorientiert und reflektiert die Kombination unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen. Wie in Abschnitt 1.2 beschrieben, ist die Möglichkeit dieses Indikators durch unterschiedliche Praxismaßnahmen im ökologischen Landbau zu beeinflussen, als gut zu bezeichnen.
Repräsentativität	+	Bodenstruktur ist die physikalische Zusammensetzung von Bodenpartikeln. Sie wird von der Bodentextur (der chemisch-mineralischen Zusammensetzung), vor allem von Ton- und Humus-Gehalt, sowie von der mechanischen Bodenbearbeitung und von biologischen Faktoren wie Regenwürmern und Anteil Acker-/Kleegras in der Fruchtfolge beeinflusst. VESS kann für unterschiedliche Bodentypen eingesetzt werden, obwohl die Ergebnisse von C_{org}:Ton-Verhältnis (vgl. UGÖ-Schlussbericht Teil II.8) und Hauptart der Landnutzung abhängig sein können. In Dauergrünland können Graswurzeln die Beurteilung stören, und in tieferen Schichten sind auch die Struktureigenschaften anders. Dafür sind vergleichbare Methoden entwickelt worden (vgl. Abschnitt 2.2). Im Prinzip ist es möglich, auch Betriebe mit unterschiedlichem Bodentyp und unterschiedlicher Textur zu vergleichen, denn die VESS-Methode beurteilt die Größe und Form der Aggregate und nicht die Menge an Aggregation.
Sensibilität	+	Das Benotungssystem und die erweiterten Methoden für Grünland und tiefere Schichten sorgen dafür, dass die Sensibilität hoch ist, obwohl die Fähigkeiten der Beobachter*innen eine Rolle spielen können (siehe unten).
Vergleichbarkeit	+	Die Auswirkungen in kultivierten und nicht-kultivierten Böden könnten unterschiedlich sein. Es wäre möglich, die VESS-Beurteilungen in zwei Gruppen zu differenzieren: (1) für kultivierte Böden: Ackerbau, Gemüsebau, Weinbau und ähnliche Dauerkulturen, aber nicht Streuobstwiesen; (2) für Dauergrünland einschließlich Streuobstwiesen. Ein Betriebswert könnte von einzelnen Schlagwerten, gewichtet auf Flächenbasis, berechnet werden. Relevante Kontextindikatoren, um die Ergebnisse zu interpretieren, wären Ton- und Corg-Gehalte sowie Art der Bodenbewirtschaftung (wendend, nicht wendend) und Anteil mehrj. Kleegras/Leguminosen in der Fruchtfolge.
Komplementarität	0	Die Verbindung von Corg-Gehalt und Anteil mehrj. Kleegras/Leguminosen in der Fruchtfolge könnte als Duplikation relevant sein. Sonst jedoch gibt es wenig Überschneidungen und eine gute Komplementarität mit ABAG-C-Faktoren für Erosionsschutz.
Gesamtbewertung Aussagekraft	+	Hoch

Quelle: Eigene Darstellung.

3.2 Justiziabilität und Betrugsanfälligkeit

Vor allem, weil es sich um öffentliche Mittel handelt, muss mit den Indikatoren eine hohe Justiziabilität gewährleistet werden können. Auf der einen Seite müssen die Betrugsmöglichkeiten möglichst geringgehalten werden. Auf der anderen Seite muss es möglich sein, dass, wenn einzelne Betriebe unterschiedliche Bewertungen bekommen, diese Bewertungen eine gerichtliche Überprüfung bestehen können. Wichtige Kriterien dafür sind:

- rechtliche Grundlage (klare Definition einschließlich Methodenbeschreibung und technischer Koeffizienten/ Umrechnungsfaktoren)
- Messbarkeit/Quantifizierbarkeit (Präzision/Genauigkeit)
- Evidenzbasiertheit (betriebliche Belege, Forschung oder statistische Gesichertheit)
- Replizierbarkeit/Verlässlichkeit (zwischen Betrieben, unter Datensammlern, über Zeit)
- Betrugsanfälligkeit (Möglichkeiten, Daten anzupassen, um bestimmte Ergebnisse zu erzielen)

Eine Fünf-Punkte-Bewertungsskala (++: sehr hoch/gut, +: hoch/gut, 0: mäßig/ausreichend, -: niedrig/schlecht, --: sehr niedrig/schlecht) wurde verwendet, um die einzelnen Indikatoren nach den Kriterien zu benoten.

Tabelle 3-2: Bewertung des VESS-Indikators nach den ausgewählten Justiziabilitäts- und Betrugsanfälligkeitskriterien

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/Quellen
Rechtliche Grundlage	0	Die methodische Vorgehensweise ist gut von Ball et al. (vgl. Abschnitt 2.2) definiert, aber bisher gibt es keine gesetzliche oder DIN-ähnliche Definition.
Messbarkeit/ Quantifizierbarkeit	0	Das Benotungssystem ermöglicht eine gewisse Quantifizierbarkeit, aber mit unscharfen Grenzen zwischen den Stufen. Die Erfahrung und Fähigkeiten des Beobachtenden sind auch relevant, besonders wenn Betriebsleiter*innen selber die Beurteilung machen müssen (vgl. auch Replizierbarkeit). Eine Nachkontrolle, zumindest von Aufnahmen, wäre notwendig.
Evidenzbasiertheit	0	Einige wissenschaftliche Veröffentlichungen, auch aus DE, liegen vor. Aber auch die Ergebnisse der LfL (vgl. Abschnitt 3.6) sind begrenzt auf gute Situationen, und weitere Untersuchungen könnten notwendig sein. Bisher gibt es wenig statistisch gesicherte Daten, vor allem in Zusammenhang mit Betriebsvergleichen.
Replizierbarkeit/ Verlässlichkeit	-	Die qualitative Beurteilung, Einfluss von Witterung und unterschiedliche Beobachter*innen können zu unterschiedlichen Beurteilungen führen, auch wenn Bilderaufnahmen gemacht werden, so dass die Replizierbarkeit auf mehreren Betrieben nicht garantiert werden kann. Es wäre eventuell notwendig, einen optimalen Zeitpunkt zu bestimmen, entweder vor der Frühjahrsbestellung oder nach der Ernte.
Betrugsanfälligkeit	-	Betrug ist möglich, vor allem, wenn die Proben von Betriebsleitern gemacht werden. Die Betrugsanfälligkeit kann durch georeferenzierte Aufnahmen und externe Beobachter*innen reduziert werden, aber dann mit entsprechend höheren Kosten.
Gesamtbewertung Justiziabilität	0	Ausreichend bis schlecht

Quelle: Eigene Darstellung.

3.3 Datenverfügbarkeit und -qualität

Im Prinzip sollen Indikatoren auf der Grundlage (dauerhaft) verfügbarer oder leicht zu erhebender Daten einfach zu messen und zuverlässig/belastbar sein. Die Daten sollen praktikabel zu erheben und nicht zu sehr expertenabhängig sein. Möglicher Datenbedarf sowie mögliche Datenquellen und deren Verfügbarkeit sind schon in Abschnitt 2.3 und UGÖ-Schlussbericht Teil II.3 erfasst worden.

Um die Datenverfügbarkeit zu bewerten, müssen zudem die Qualität der Daten und die Verlässlichkeit der Datenquelle bzw. Erhebungsmethode berücksichtigt werden. Die Erhebungskosten müssen auch akzeptabel sein (siehe ebenfalls den Abschnitt zu Transaktionskosten). Wo möglich sollte eine mehrfache Lieferung ähnlicher

Daten, zum Beispiel Landnutzungsdaten an InVeKoS und Kontrollstellen, vermieden werden. Für die Bewertung sind folgende Kriterien verwendet worden:

- Verlässlichkeit der Datenquelle
- Datenqualität
- Verlässlichkeit der Erhebungsmethode
- Vermeidung mehrfacher Datenerhebung

Eine Fünf-Punkte-Bewertungsskala (++: sehr hoch/gut, +: hoch/gut, 0: mäßig/ausreichend, -: niedrig/schlecht, --: sehr niedrig/schlecht) wurde verwendet, um die einzelnen Indikatoren nach den Kriterien zu benoten.

Tabelle 3-3: Bewertung des VESS-Indikators nach den ausgewählten Datenverfügbarkeits- und -qualitätskriterien

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/Quellen
Verlässlichkeit der Datenquelle	++	Die Schlagdaten einschließlich Landnutzung sind über die gesetzlich geregelten InVeKoS- und LPIS-Systeme erfasst worden. Die Stelle der Beprobung kann georeferenziert werden.
Datenqualität	+	Die Schlagdaten haben eine hohe Qualität und werden regelmäßig kontrolliert und verbessert. Die Qualität der Probedaten hängt eng mit der Durchführung der Proben zusammen.
Verlässlichkeit der Erhebungsmethode	+	Die Methodik der Probename und -bewertung ist klar definiert und mit Ausbildung und Erfahrung kann beides konsistent durchgeführt werden.
Vermeidung mehrfacher Erhebungen	0	Die mehrfache Erhebung von Schlagdaten kann durch die Nutzung von InVeKoS-Daten vermieden werden. Die Frequenz der VESS-Probenahme (jährlich, alle 2 bis 3 oder 5 Jahre) kann geregelt werden.
Gesamtbewertung Daten	+	Hoch unter den richtigen Bedingungen

Quelle: Eigene Darstellung.

3.4 Transaktionskosten

Die Transaktionskosten, die mit der Datenerhebung und -prüfung verbunden sind (Zeitaufwand, Ausgaben), müssen möglichst geringgehalten werden, so dass möglichst viele Fördermittel zielgemäß verwendet werden können. Transaktionskosten können auf der Seite der Geldgeber oder auf der Seite der Empfänger*in vorkommen. Beispiele sind die Entwicklung von Verwaltungssoftware, Berechnung und Kontrolle von Ergebnissen sowie der Arbeitszeitbedarf für Betriebsleiter*innen, um Anträge zu stellen, Daten und Unterlagen zu liefern und so weiter. Auch relevant können besondere Kosten für die Probenahme und Analyse von Bodenproben oder direkte Biodiversitätserhebungen sein. Um die Transaktionskosten zu bewerten, werden die verschiedenen Kostenarten qualitativ aufgelistet und, wenn möglich, tatsächliche Kosten spezifiziert oder geschätzt.

Die Kosten pro Betrieb sind vergleichsweise hoch, vor allem wenn externe Expert*innen (Berater*innen) mit der Probenahme beauftragt werden (Tabelle 3-4). Die Kosten dafür müssen mit besserer Datenqualität gerechtfertigt werden. Es wäre eventuell besser, die Landwirt*innen zu schulen, die Benotung selber zu machen und sie mit georeferenzierten Bildern zu dokumentieren, eventuell mit einem Kontrollbesuch auf einer Auswahl der

Betriebe. Eine App[7,8] könnte auch helfen, Konsistenz zu sichern und Kosten zu senken. Eine wesentliche Frage ist, ob die Proben jährlich genommen werden müssen oder ob alle zwei bis drei Jahre (Anfang, Mitte, Ende der Förderperiode) ausreicht. Es ist auch möglich, dass VESS-Proben zeitgleich mit N_{min}- oder C_{org}-Proben genommen werden können, um Kosten zu reduzieren.

Tabelle 3-4: Schätzung der Transaktionskosten des VESS-Indikators

Probenahme durch:	Externe Expert*innen (Berater*innen)		Betriebsleiter*innen		Anmerkungen, Quellen
Pro Probe	*Ressourcen*	*Kosten 60 €/h*	*Ressourcen*	*Kosten 30 €/h*	
Probenahme	0,2 h	12 €	0,25 h	7,5 €	Zeit: Ball et al. 2007
Gesamt	0,2 h	12 €	0,25 h	7,5 €	
Pro Schlag (2 ha)	*Ressourcen*	*Kosten 60 €/h*	*Ressourcen*	*Kosten 30 €/h*	
10 Proben/ha	5 h	240 €	5 h	150 €	
Gesamt	5 h	240 €	5 h	150 €	
Pro Betrieb (60 ha)	*Ressourcen*	*Kosten 40 €/h*	*Ressourcen*	*Kosten 30 €/h*	
30 Schläge	150 h	7.200 €	150 h	4.500 €	
Ausbildung	-	-	1 h	30 €	Zeit: Ball et al. 2007
Berichterstattung	1 h	60 €	1 h	30 €	
Reisekosten	50 km + 1 h	15 + 40 = 55 €	-	-	
Kontrolle			Siehe Fußnote	130 €	
Gesamt		7.315 €		4.690 €	

Annahmen für die Kontrolle: 5 % der Betriebe, 20 % der Schläge je Betrieb, externe Experten

Quelle: Eigene Darstellung.

Um die Folgen für Verwaltungen und Betriebe zusammenzufassen, wurde eine Fünf-Punkte-Bewertungsskala (++: sehr hoch/gut, +: hoch/gut, 0: mäßig/ausreichend, -: niedrig/schlecht, --: sehr niedrig/schlecht) verwendet.

Tabelle 3-5: Bewertung des VESS-Indikators nach den ausgewählten Transaktionskostenkriterien

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/ Quellen
Verwaltungskosten	0	Die Transaktionskosten würden evtl. die Anpassung von IT- und Verwaltungssystemen einschließen, um VESS- Ergebnisse mit den LPIS-Schlagdaten zu verbinden. Ein Kontrollsystem, um die Ergebnisse zu prüfen, müsste auch umgesetzt werden. Die Nutzung von georeferenzierten Aufnahmen[9] könnte helfen, die Kontrollkosten zu reduzieren.
Betriebskosten	-	Wie in Tabelle 3-4 berechnet, sind die Kosten auf Betriebsebene verhältnismäßig hoch, obwohl Möglichkeiten, sie zu reduzieren, verfügbar sind.
Gesamtbewertung Transaktionskosten	-	

Quelle: Eigene Darstellung.

[7] VESS App: https://apps.apple.com/ch/app/vess/id1436905528, abgerufen am 14.06.2023.

[8] Auch: https://organic-farmknowledge.org/tool/32770 von https://soilhealth.capsella.eu/, abgerufen am 14.06.2023.

[9] https://de.wikipedia.org/wiki/Geotagging_(Fotografie), abgerufen am 14.06.2023.

3.5 Kommunizierbarkeit

Um tatsächliche Verhaltensänderungen mit dem Honorierungssystem zu erreichen, vor allem von Landwirt*innen, aber auch von Verbraucher*innen, Behörden und Politiker*innen, sollten die Indikatoren für eine breite Öffentlichkeit verständlich und einfach in relevanten Kontexten zu interpretieren sein. Dies würde helfen, Zielsetzungen zu vermitteln, Interesse zu wecken und Innovationen zu inspirieren. Es könnte auch helfen, Fehlentscheidungen auf der Basis einer zu begrenzten Auswahl an Indikatoren zu vermeiden. Eine jährliche Indikatoren-Berichterstellung könnte der Kommunikation des Programms dienen.

Um die Kommunizierbarkeit zu bewerten, wäre es notwendig, die einzelnen Indikatoren unterschiedlichen Zielgruppen vorzustellen. Das ist in diesem Projekt nicht vorgesehen. Eine einfache, qualitative Bewertung der Kommunizierbarkeit wird trotzdem versucht, in Hinsicht auf folgende Kriterien (Tabelle 3-6):

- Durchschaubarkeit der Methodik
- Komplexität der Umsetzung
- Interpretierbarkeit der Ergebnisse
- Änderungsmotivation

Tabelle 3-6: Kommunizierbarkeit des VESS-Indikators nach Zielgruppen

	Landwirt*innen	Behörden	Politiker*innen	Verbraucher*innen
Durchschaubarkeit der Methodik	Hoch	Hoch	Mäßig	Niedrig
Komplexität der Umsetzung	Mäßig mit Training	Hoch wegen Kontrolle der Probenahme	Nichtzutreffend	Nichtzutreffend
Interpretierbarkeit der Ergebnisse	Sehr hoch	Hoch	Mäßig bis hoch, je nach Engagement	Mäßig, wenn es um Mittelwert der Noten geht (1–5)
Änderungs-motivation	Sehr hoch	Mäßig	Mäßig	Niedrig
Gesamt	Hoch bis sehr hoch	Hoch	Mäßig	Mäßig

Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Gesamtbewertung der Kommunizierbarkeit wurde eine Fünf-Punkte-Bewertungsskala (++: sehr hoch/gut, +: hoch/gut, 0: mäßig/ausreichend, -: niedrig/schlecht, --: sehr niedrig/schlecht) verwendet, um die einzelnen Indikatoren nach den Kriterien zu benoten (

Tabelle 3-7).

Tabelle 3-7: Bewertung des VESS-Indikators nach den ausgewählten Kommunizierbarkeitskriterien

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/Quellen
Durchschaubarkeit der Methodik	+	Die Durchschaubarkeit ist hoch, weil das System einfach zu verstehen ist, zumindest für Behörden und Betriebsleiter*innen, und die Definition von Noten mit Bildern und Beschreibungen klar zu sehen ist.
Komplexität der Umsetzung	0	Die Umsetzung auf Betrieben braucht Zeit, um die Probenahmen vorzubereiten, aber sie nicht besonders komplex. Für Behörden könnten die Kontrollmaßnahmen mehr Schwierigkeiten verursachen.
Interpretierbarkeit der Ergebnisse	++	Die Ergebnisse sind einfach zu interpretieren.
Änderungsmotivation	+	Aus betriebswirtschaftlicher Sicht würden Beweise von Schadverdichtung sehr zu Änderungen in der Praxis motivieren.
Gesamtbewertung Kommunizierbarkeit	+	Die Kommunizierbarkeit des VESS-Indikators ist insgesamt als gut zu bewerten, weil die Methodik durchschaubar ist, die Landnutzungsdaten einfach zu erheben sind und Schlussfolgerungen für die zukünftige Bewirtschaftung gut abzuleiten sind.

Quelle: Eigene Darstellung.

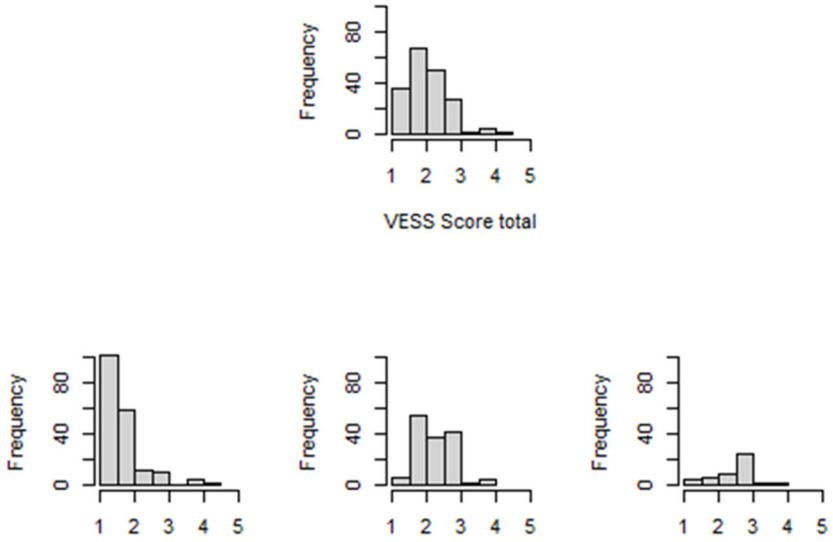
3.6 UGÖ-Modul-A-Ergebnisse: Ausschnitt aus dem Schlussbericht Teil 1 (2023)

In der landwirtschaftlichen Bodenberatung werden zur Bewertung des bodenphysikalischen Zustands verschiedene einfache Geländeverfahren wie die Spatendiagnose, Feldgefügeansprache bzw. im internationalen Kontext die Methode „Visual Evaluation of Soil Structure“ (VESS) angewendet. Eignen sich diese Verfahren als Nachweis für die positive Wirkung auf das Schutzgut Boden? Da es sich um Punktmessungen auf einem Feld handelt, kommen als Indikatoren die Aggregatstabilität und die Infiltrationsrate in Betracht. An der LfL liegen umfangreiche Messdaten zur Aggregatstabilität und Infiltrationsrate in Dauerfeldversuchen in Bayern vor. In diesen Feldversuchen wurde die VESS Methode durchgeführt. Insgesamt wurden 75 Varianten an verschiedenen Standorten mit Wiederholungen beprobt (insgesamt 188 Felddatensätze). Dabei traten innerhalb einer Spatentiefe ein bis drei verschieden strukturierte Bodenschichten auf. Die Werte wurden sowohl als einzelne Schichten als auch aggregiert als VESS Score ausgewertet.
Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem VESS Score und der Infiltration ($p < 0{,}05$). Ein nicht signifikanter Trend zeigt sich auch zwischen dem VESS Score der obersten Schicht und der Aggregatstabilität. Allerdings zeigte sich bei der Datenanalyse, dass vorwiegend günstige VESS Werte in den Dauerversuchen vorlagen. Es müssen noch zusätzliche Analysen im Bereich der ungünstigen VESS Scores gemacht werden, bevor Aussagen über eine mögliche Klassifikation der VESS Scores in „günstig“ und „ungünstig“ im Hinblick auf das Schutzgut Boden getroffen werden können. Der im Projekt ermittelbare Datensatz enthält in diesen ungünstigen Bereichen zu wenige Messwerte, wie die Häufigkeitsverteilung der VESS Scores (

Abbildung 3-1) zeigt.

Im Fazit gibt es vielversprechende Hinweise, dass sich die VESS Methode in ihrer klassischen Form aggregiert über eine Spatentiefe oder nur bezogen auf die oberste Schicht als messbarer Nachweis für die Gemeinwohlleistung „Schutz der bodenphysikalischen Funktionen“ eignen könnte. Für robuste Aussagen und die Entwicklung von Klassengrenzen für „günstige“ und „ungünstige“ Werte müssen aber noch weitere Daten in Böden mit schlechter Struktur ergänzt werden. Die LfL wird das Thema in Eigenleistung weiterbearbeiten und konkrete Ergebnisse in das zu entwickelnde Honorierungssystem einspeisen, sofern sie im Rahmen der verbleibenden Projektzeit konsolidiert werden können.

Abbildung 3-1: Häufigkeitsverteilung der VESS Scores in den beprobten Dauerfeldversuchen, für die Daten zur Aggregatstabilität bzw. Infiltration vorliegen. Die Verteilung des aggregierten VESS Score total und des VESS Score in der obersten Bodenschicht (VESS Score Layer 1) sind stark linksschief



Quelle: UGÖ-Schlussbericht Teil 1 (2023).

4 Schlussfolgerung

Aussagekraft und Kommunizierbarkeit sind zwar hoch, die Transaktionskosten und Justiziabilität jedoch werden als nur mäßig oder schlecht eingestuft. Daher schneidet der Indikator insgesamt nur mit der Bewertung „mäßig“ ab (Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Gesamtbewertung des VESS-Indikators

Kriterien	Bewertung
Aussagekraft	+
Justiziabilität und Betrugsanfälligkeit	0
Datenverfügbarkeit und -qualität	+
Transaktionskosten	-
Kommunizierbarkeit	+
Gesamtbewertung	0

Quelle: Eigene Darstellung.

VESS eignet sich gut als Indikator für bodenphysikalische Eigenschaften (vor allem Verdichtung, Infiltration und Aggregatstabilität), ist aber aufwendig hinsichtlich der Probenahme. Die Ergebnisse sind sicher von Interesse für Landwirt*innen, die ihre Bodenbearbeitung und Bodenqualität verbessern wollen. Insoweit wäre es doch relevant zu überlegen, ob ausnahmsweise dieser Indikator durch Selbstbewertung erhoben werden könnte. Die Erfahrung mit ergebnisorientierten Maßnahmen und Selbstbewertung sind vielversprechend[10], vor allem in der Hinsicht auf Engagement und kreatives Denken, um Lösungen zu finden. Dagegen sprechen die Ergebnisse aus der Schweiz dafür, C_{org} oder Humus:Ton-Verhältnis als Proxy zu verwenden (vgl. UGÖ-Schlussbericht Teil II.8).

Aus Arbeits- und Transaktionskostengründen wird der Indikator VESS nicht in das Honorierungssystem aufgenommen.

[10] https://ec.europa.eu/environment/nature/rbaps/index_en.htm, abgerufen am 14.06.2023.

5 Literaturverzeichnis

Ball BC, Batey T, Munkholm LJ, Guimarães R, Boizard H, McKenzie DC, Peigné J, Tormena CA, Hargreaves P (2015) The numeric visual evaluation of subsoil structure (SubVESS) under agricultural production. Soil and Tillage Research 148:85-96. doi: 10.1016/j.still.2014.12.005

Ball BC, Batey T, Munkholm L J (2007) Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. Soil Use and Management 23:329-337

Beste A (2002) Weiterentwicklung und Erprobung der Spatendiagnose als Feldmethode zur Bestimmung ökologisch wichtiger Gefügeeigenschaften landwirtschaftlich genutzter Böden. Dissertation. Gießen: Justus Liebig Universität

Brunotte J (2012) Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker. Braunschweig: Thünen-Institut

Diez T, Weigelt H, Brandhuber R (2021) Bodenstruktur erkennen und beurteilen: Anleitung zur Bodenuntersuchung mit dem Spaten. LfL-Information, 9. Aufl. Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

Emmet-Booth JP, Bondi G, Fenton O, Forristal PD, Jeuken E, Creamer RE, Holden NM (2018) GrassVESS: a modification of the visual evaluation of soil structure method for grasslands. Soil Use Manage 34(1):37-47. doi: 10.1111/sum.12396

Peerlkamp PK (1967) Visual estimation of soil structure. In: Boodt M de, Leenherr DE de, Frese H, Low AJ, Peerlkamp PK (eds) West European Methods for Soil Structure Determination. Ghent, BE: State Faculty of Agricultural Sciences: pp 216-223

Preuschen G (1990) Eine Anleitung zur Spatendiagnose. Sonderausgabe der Zeitschrift Ökologie und Landbau, 5. Auflage. Bad Dürkheim: Stiftung Ökologie und Landbau

Sanders J, Heß J (Hrsg.) (2019) Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. 2. überarbeitete und ergänzte Auflage. Thünen Report 65. Braunschweig: Thünen-Institut

THÜNEN

UGÖ-Schlussbericht Teil II.10

Kontext, Methodik und Qualität von Indikatoren zur Bewertung von Umweltleistungen: Visuelle Bewertung der Bodenstruktur (VESS)

Thünen-Institut für Betriebswirtschaft
Bundesallee 63
DE-38116 Braunschweig