Kontext, Methodik und Qualität von Indikatoren zur Bewertung von Umweltleistungen: Humusbilanzen (HB) und Gehalt an organischem Kohlenstoff (Corg)

Nicolas Lampkin, Tanja Strobel-Unbehaun, Judith Brüggemann

Schlussbericht Teil II.8

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

Kontext, Methodik und Qualität von Indikatoren zur Bewertung von Umweltleistungen: Humusbilanzen (HB) und Gehalt an organischem Kohlenstoff (Corg)

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.8 beschreibt die methodische Vorgehensweise und Datenquellen und bewertet die Qualität der Indikatoren ‚Humusbilanzen (HB)‘ und ‚Corg-Gehalte (Corg)‘, die eventuell als Teil des Honorierungssystems dienen könnten.

Gefördert durch

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

BÖL
BUNDESPROGRAMM ÖKOLOGISCHER LANDBAU

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 2818OE110, 2819OE121

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 Martin Wiesmeier, (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft), Axel Don (Thünen-Institut für Agrarklimaschutz) und Andreas Gattinger (Justus-Liebig-Universität) 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

Tanja Strobel-Unbehaun, Judith Brüggemann
Forschungsinstitut für biologischen Landbau
Kasseler Straße 1a
60486 Frankfurt

E-Mail: info.projekte@fibl.org

Braunschweig/Frankfurt, Juli 2023

Inhalt

1 Einleitung 1

1.1 Politische Relevanz und Vorschriften 1

1.2 Beitrag des ökologischen Landbaus 2

2 Methodik 4

2.1 Zusammenfassung 4

2.2 Detaillierte Methodenbeschreibung 4

2.2.1 C_{org}-Gehalte 4

2.2.2 Humusbilanzierung 5

2.3 Notwendige Inputdaten 8

2.3.1 C_{org}-Gehalte 8

2.3.2 Humusbilanzen 8

2.4 Leistungsbestimmung (Schwellenwerte) 11

3 Indikatorqualitätsbewertung 13

3.1 Aussagekraft 13

3.2 Justiziabilität und Betrugsanfälligkeit 14

3.3 Datenverfügbarkeit und -qualität 15

3.4 Transaktionskosten 16

3.5 Kommunizierbarkeit 18

3.6 UGÖ-Modul-A-Ergebnisse: Ausschnitt aus dem Schlussbericht Teil 1 (2023) 19

4 Schlussfolgerung 22

5 Literaturverzeichnis 23

6 Indikatorberichtsanhang – Humusbilanz (Bleistift-Version) nach VDLUFA/LfL 25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Politische Ziele und Indikatoren sowie Leistungen der Landwirtschaft zum Thema Humusaufbau	1
Tabelle 2-1:	Vergleich der drei in Deutschland gebräuchlichen Humusbilanzmethoden	6
Tabelle 2-2:	Humusbilanzkoeffizienten für den Ökolandbau	7
Tabelle 2-3:	Zusammenfassung der für C_{org}-Gehalte notwendigen Inputdaten und mögliche Datenquellen	8
Tabelle 2-4:	Vergleich VDLUFA-, CCB- und REPRO-Methoden zur Humusbilanzierung auf einen Blick	9
Tabelle 2-5:	Zusammenfassung der für Humusbilanzen notwendigen Inputdaten und mögliche Datenquellen	10
Tabelle 2-6:	Vorschläge für HB- und Corg-Indikatoren-Schwellenwerte	11
Tabelle 2-7:	Bewertung der Humusbilanzen (HÄ/ha*J) für konv. und ökol. wirtschaftende Betriebe	11
Tabelle 3-1:	Bewertung der Indikatoren HB und Corg nach den ausgewählten Aussagekraftkriterien	13
Tabelle 3-2:	Bewertung der Indikatoren HB und Corg nach den ausgewählten Justiziabilitäts- und Betrugsanfälligkeitskriterien	15
Tabelle 3-3:	Bewertung der Indikatoren HB und Corg nach den ausgewählten Datenverfügbarkeits- und -qualitätskriterien	16
Tabelle 3-4:	Schätzung der Transaktionskosten (ohne MwSt.) des Corg -Indikators	17
Tabelle 3-5:	Bewertung der Indikatoren HB und Corg nach den ausgewählten Transaktions-kostenkriterien	17
Tabelle 3-6:	Kommunizierbarkeit der Indikatoren HB und Corg nach Zielgruppen	18
Tabelle 3-7:	Bewertung der Indikatoren HB und Corg nach den ausgewählten Kommunizier-barkeitskriterien	18
Tabelle 3-8:	Modell für den Indikator organischer Bodenkohlenstoff-Gehalt (SOC %) und die Analysis of Variance (ANOVA) der Einflussfaktoren	19
Tabelle 3-9	Modell für den Indikator organischer Bodenkohlenstoff-Vorrat (SOC t/ha/cm) und die Analysis of Variance (ANOVA) der Einflussfaktoren der Daten, die direkt in den Studien ermittelt wurden und der aus den SOC-Vorratswerten errechneten	20
Tabelle 4-1:	Gesamtbewertung der Indikatoren HB und Corg	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Relative Unterschiede zwischen der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft hinsichtlich der SOC (C_{org})-Vorräte 3

Abbildung 2-1: Humusbilanz nach VDLUFA 6

1 Einleitung

Humuserhalt und -aufbau im Boden sind für die Bodenfruchtbarkeit und durch C-Speicherung für das Klima sehr wichtig. Humus hält Nährstoffe und Wasser fest, um Verluste zu vermeiden, trägt zur Bodenstruktur bei und funktioniert als Energiequelle für Bodenorganismen. Humus wird aber auch durch Bodenbearbeitung abgebaut, vor allem durch die Umwandlung von Grünland und Wald in Ackerland, mit den verbundenen CO_2-Emissionen. Die Nutzung synthetischer und anderer leicht-löslicher N-Dünger, ohne bilanzierende[1] organische Substanzquellen, führt auch zu Humusabbau und CO_2-Emissionen, zusätzlich zu den oft erwähnten Lachgasemissionen. Die Förderung von Humusaufbau, und Verminderung von Humusabbau, ist deswegen wichtig, um Pflanzenproduktion in Zukunft nachhaltig zu gestalten. Um Humuserhalt und -aufbau im Boden zu erfassen gibt es zwei mögliche Indikatoren – Humusbilanzen (HB) und C_{org}-Gehalte – die eng miteinander verbunden sind, deswegen werden beide Indikatoren zusammen in diesem Bericht vorgestellt.

1.1 Politische Relevanz und Vorschriften

Der Schutz des Bodens und zumindest die Erhaltung von Humus in Boden ist in einigen Bundesgesetzen und Strategien priorisiert, u. a. im Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und in der Ackerbaustrategie (AS). C_{org}-Gehalte (C-Speicherung) und die Erhaltung von Dauergrünland sind auch wichtig im Sinne vom Klimaschutzgesetz (KSG) und der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (DNS). Trotz dieser Gesetze und Strategien gibt es wenige nationale Indikatoren, die die relevanten Leistungen der Landwirtschaft zum Humusaufbau abdecken (Tabelle 1-1).

Tabelle 1-1: Politische Ziele und Indikatoren sowie Leistungen der Landwirtschaft zum Thema Humusaufbau

Oberziel	Qualitative Zielsetzung	Zielindikator	Leistungs-formulierung*
Den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C u. möglichst auf 1,5 °C ggü. dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen (KSG)	Die Treibhausgas-Emissionen werden im Vergleich zum Jahr 1990 schrittweise gemindert (KSG, DNS).	Jahres-THG-Emissionen der Landwirtschaft einschließlich des landwirtschaftlichen Energieverbrauchs (1.A.4)	Verminderung der direkten und indirekten THG-Emissionen**
Stärkung des Bodenschutzes und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit/ Bodenqualität	Bis 2030 ist ein Humusgleichgewicht aller Ackerböden anzustreben (AS).	(Humusbilanz)	Erhaltung humusreicher Böden; oder in einer positiven Humusbilanz

*Die zu honorierende Umweltleistung besteht in der …

** Obwohl C-Speicherung nicht zu THG-Emissionen zählt, ist ihr Beitrag zur Netto-THG-Bilanz relevant

Quelle: UGÖ-Schlussbericht Teil II.1.

Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und die Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) enthalten Regelungen zum vor- und nachsorgenden Bodenschutz, die sich mit Verbesserungsmaßnahmen befassen. Nach § 17 BBodSchG sind die Grundsätze der guten fachlichen Praxis bei landwirtschaftlicher Bodennutzung zu beachten, insbesondere dass:

[1] Bodenorganismen brauchen auch Kohlenstoff und Energie um verfügbaren Stickstoff für Wachstum und Reproduktion zu verwenden.

- die Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung der Witterung grundsätzlich standortangepasst zu erfolgen hat;
- die Bodenstruktur erhalten oder verbessert wird;
- der standorttypische Humusgehalt des Bodens, insbesondere durch eine ausreichende Zufuhr an organischer Substanz oder durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität erhalten wird.

Die Bundesländer haben vielfach zur Konkretisierung und Umsetzung des BBodSchG und der BBodSchV eigene Ländergesetze erlassen.

Die Grundsätze der guten fachlichen Praxis und die Cross-Compliance-Bestimmungen bzw. die Konditionalitäten der GAP (GAPKondV[2]) spezifizieren Maßnahmen zum Erhalt des guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustands (GLÖZ). Hier relevant sind fast alle Konditionalitäten – GLÖZ 1: Erhaltung von Dauergrünland; GLÖZ 2: Schutz von Feuchtgebieten und Torfflächen; GLÖZ 3: Verbot des Abbrennens von Stoppelfeldern; GLÖZ 6: Mindestbodenbedeckung, um vegetationslose Böden in den sensibelsten Zeiten zu vermeiden; GLÖZ 7: Fruchtwechsel auf dem Ackerland; GLÖZ 8: Mindestanteil der landwirtschaftlichen Fläche für nichtproduktive Flächen oder Landschaftselemente; GLÖZ 9: Verbot der Umwandlung oder des Umpflügens von Dauergrünland, das als umweltsensibles Dauergrünland in „Natura 2000“-Gebieten ausgewiesen ist.

Einige Bundesländer bieten Agrarumweltmaßnahmen an zum Anbau von Zwischenfrüchten zur Bodenbedeckung (Winterbegrünung) oder zur Umwandlung von Ackerland in Grünland. Maßnahmen für mehrj. Klee-/Luzernegras sind besonders relevant (vgl. UGÖ-Schlussbericht Teil II.12). Die neuen Öko-Regelungen (ÖR) bieten auch Möglichkeiten, um Humusaufbau zu fördern, zum Beispiel ÖR 2: Anbau vielfältiger Kulturen.

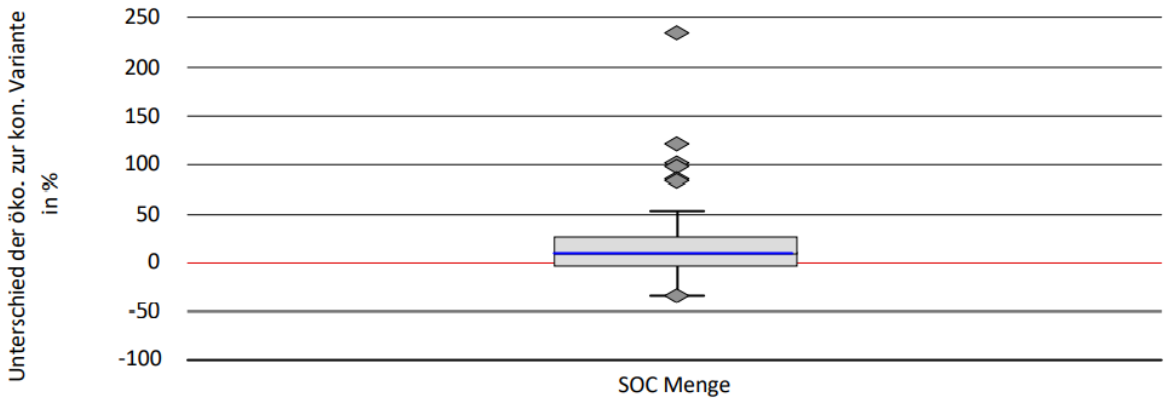
1.2 Beitrag des ökologischen Landbaus

Im ökologischen Landbau zielen mehrere Praxismaßnahmen auf Humusaufbau, vor allem die Nutzung von mehrj. Klee-/Luzernegras als Teil der Fruchtfolge. Die Nutzung organischer Düngemittel, Gründüngung und Zwischenfruchtanbau für Winterbodenbedeckung sind auch relevant, aber von etwas kurzfristigerer Wirkung. Die Vermeidung leichtlöslicher Düngemittel auf der Bodenoberfläche bedeutet, dass Pflanzenwurzeln tiefer wachsen müssen, um Nährstoffe zu holen. In Zusammenhang mit höheren Regenwurmpopulationen, die auch organische Substanz in die tieferen Schichten tragen, wird Humus auch in den tieferen Bodenschichten aufgebaut.

Sanders und Heß (2019) haben festgestellt, dass C_{org}-Gehalte auf ökologischen Betrieben im Mittelwert um 14 % höher liegen als auf konventionellen, was teilweise durch mehr Kleegras and Dauergrünland zu erklären ist, aber auch mit Standortfaktoren (Klima und Bodenqualität) verbunden ist. Die Streuung der Ergebnisse ist ganz erheblich (Abbildung 1.2).

[2] Verordnung zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität (GAP-Konditionalitäten-Verordnung - GAPKondV) https://www.gesetze-im-internet.de/gapkondv/BJNR224400022.html, abgerufen am 28.06.2023.

Abbildung 1-1: Relative Unterschiede zwischen der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft hinsichtlich der SOC (C_{org})-Vorräte



Positive Werte zeigen einen erhöhten SOC % in ökologisch bewirtschafteten Flächen (kon. Variante = 0%) und deuten auf mehr Klimaschutz durch erhöhte C-Speicherung je Hektar im ökologischen Landbau hin.

Quelle: Sanders und Heß (2019).

2 Methodik

2.1 Zusammenfassung

Humus ist die integrierte organische Bodensubstanz, die durch Bodenprobenahme an organischem Kohlenstoff im Boden (C_{org}) nachweisbar ist. Eine ausreichende Humusversorgung sichert nachhaltig die Produktivität ackerbaulich genutzter Böden. Sie fördert außerdem die im Bundes-Bodenschutzgesetz genannten natürlichen Bodenfunktionen (§ 2 (2) BBodSchG). Der Humusaufbau in Boden trägt auch zu C-Speicherung bei, um den THG-Emissionen von der Bodenbearbeitung entgegenzuwirken. Letztendlich ist eine ausreichende Humusversorgung ein wesentlicher Grundsatz der guten fachlichen Praxis (GLÖZ). Deswegen müssten fast alle Betriebe schlagbezogene C_{org}-Proben nehmen (üblicherweise alle fünf Jahren), die für das Honorierungssystem noch relevant sein könnten.

Eine unnötig hohe Humusversorgung bzw. Zufuhr an organischer Substanz kann andererseits infolge einer hohen Nährstofffreisetzung zu vermeidbaren Mineralstoff- und insbesondere Stickstoffausträgen in die Umwelt führen. Leider sind gerade bei großen Gesamtmengen an Humus geringe Veränderungen des Bodenhumusgehaltes, wie sie infolge einer veränderten Humusbewirtschaftung auftreten können, nur schwer analytisch zu erfassen. Außerdem ist die Ableitung von Bewirtschaftungsempfehlungen auf Grundlage regelmäßiger Bodenuntersuchungen nicht praktikabel. Deshalb benötigt man zur Beurteilung und Sicherstellung einer für Produktion und Umweltschutz anforderungsgerechten Versorgung der Böden mit Humus eine aussagekräftige, jedoch in der Praxis einfach anwendbare Methode (VDLUFA, 2014).

Eine ausreichende Humusversorgung für das jeweilige Bewirtschaftungssystem ist gegeben, wenn angemessene, nachhaltig hohe und stabile Erträge bei gleichzeitiger Minimierung von Nährstoffüberschüssen und -verlusten erreicht werden. Generell muss also die Humuszufuhr durch organische Düngung (Stroh, Gründüngung, Stallmist, Gülle, Kompost etc.) den anbau- und fruchtartspezifischen Humusbedarf ausgleichen (Humusbilanzierung) (VDLUFA, 2014). Mit Hilfe einer Humusbilanz können letztendlich Managemententscheidungen zur Verbesserung der Humusersatzwirtschaft im Betrieb abgeleitet werden (Leithold und Brock, 2006). Zu beachten ist, dass abhängig von der vorherigen Bodennutzung und vom Standort unterschiedliche Veränderungen des Humusvorrates bei gleichen Saldowerten der Humusbilanz auftreten können. Für die Abschätzung solcher Veränderungen des Humusvorrates unter den gegebenen Standortbedingungen ist der Einsatz komplexerer Methoden, wie Bodenzustandsmodellen, sinnvoll (VDLUFA, 2014).

Generell ist im Öko-Landbau (insbesondere durch die Nichtanwendung von mineralischem Stickstoffdünger und vermehrten Anbau von Leguminosen) ein höherer Humusgehalt im Boden möglich. Insgesamt werden also sowohl eine schlag- oder standortspezifische Bilanzierung als auch eine Adaption konventioneller Humusbilanzmethoden an die Bedingungen des Ökolandbaus empfohlen (Leithold und Brock, 2006).

2.2 Detaillierte Methodenbeschreibung

2.2.1 C_{org}-Gehalte

C_{org}-Gehalte im Boden werden oft mit sonstigen Bodenanalysen zusammengenommen, mit einer Mischung auf Schlagebene aus einzelnen Proben im W-Format, die versuchen, die Variabilität auf dem Schlag zu erfassen. Die Variabilität kann sehr hoch sein, vor allem wenn auch Pflanzenreste dabei sind. Die Probenahme sollte grundsätzlich im Frühjahr vor der Ausbringung von organischem oder mineralischem Dünger stattfinden, wenn die Pflanzenreste (Wurzeln, Stoppeln, Stroh, Blätter) weitgehend abgebaut sind.

Die Methoden der Bodenzustandserhebung (BZE, Jacobs et al. (2018))[3] oder das LfL-Humusmonitoring[4] versuchen die Variabilität zu reduzieren. Genaue Mittelpunkte der Probekreisen werden mit GPS festgesetzt und einzelne Proben innerhalb von bis zu 10 m vom Mittelpunkt genommen. Die BZE hat Proben in allen acht Haupt- und Nebenhimmelsrichtungen 10 m vom Mittelpunkt genommen. Die LfL arbeitet mit sechs Probenahmepunkten im Kreis mit ca. 7 m^2 (jeweils 15 bis 30 Einstiche), die als Einzelproben untersucht werden. Das bedeutet 30 Einzelproben pro Ackerschlag, aber im Zehnjahresturnus. Die möglichst genaue Wiederfindung erfolgt über GPS oder Vermessung von markanten Punkten aus. Beide Systeme bieten mehr Genauigkeit, sind aber viel aufwendiger als übliche Probenahmen.

Die Tiefe der Probe ist auch relevant. Das LfL-Humusmonitoring probt bis auf 15 cm, die übliche Bodenbearbeitungstiefe. Aber Pflanzenwurzeln können viel tiefer eindringen – besonders wenn sie, wie im ökologischen Landbau, Nährstoffe suchen müssen, weil sie nicht auf der Bodenoberfläche als Düngung geliefert werden. Auch hinsichtlich der Folgen einer reduzierten Bodenbearbeitung müssen die Änderungen in tieferen Schichten wahrgenommen werden. Die Bodenzustandserhebung hat in der ersten Runde Proben bis zu einer Tiefe von 100 cm genommen, aber die Wiederholungen werden nur bis 50 cm genommen, weil keine Änderungen in der unteren Zone (50 bis 100 cm) innerhalb von zehn Jahren zu erwarten sind. Die ganze Tiefe ist notwendig, um Gesamt-C_{org}-Vorräte (t/ha) zu bestimmen, aber die Variabilität kann noch höher als bei C_{org}-Gehalten (% oder kg C/kg Boden) sein, wegen Unterschieden in der Bodenstruktur (Trockenrohdichte), Steinen und anderer Faktoren. Wegen dieser Schwierigkeiten mit C_{org}-Vorräten haben wir entschieden, nur mit C_{org}-Gehalten als Indikator weiterzuarbeiten. Als Kompromiss wären Proben bis zu 30 cm vorstellbar, diese Tiefe entspricht oft etwa der Tiefe vom Oberboden. Die Probenahmen könnten mit den N_{min}-Probenahmen gekoppelt werden (vgl. UGÖ-Schlussbericht Teil II.13), um die Methoden zu standardisieren und Kosten zu reduzieren.

C_{org}-Gehalte im Ackerland sind durch die Bewirtschaftung positiv oder negativ beeinflussbar; sie ändern sich aber nur langsam, so dass eine jährliche Probenahme wenig beitragen würde. Aber eine Probenahme am Anfang und am Ende der Teilnahme an einem Förderungsprogramm könnte beweisen, ob die gewünschten Leistungen tatsächlich erbracht wurden.

Die idealen C_{org}-Werte sind aber auch von der Bodentextur abhängig, wobei das Verhältnis C_{org}:Ton-Gehalt relevant ist (Prout et al., 2021; Johannes et al., 2017). Auf der Grundlage der Bodenzustandserhebung bietet das Thünen-Institut den HumusCheck[5] an, um betriebseigene C_{org}-Werte zu vergleichen (Drexler et al., 2020).

In Zukunft könnten auch fernerkundungsbasierte Ansätze**,** um C_{org}-Gehalte zu bestimmen, vorstellbar sein (Zepp et al., 2021; Ortner et al., 2020). Zurzeit sind sie noch keine wirkliche Alternative, da relativ ungenau, aber es ist zu erwarten, dass die Genauigkeit im Lauf der Zeit besser wird.

2.2.2 Humusbilanzierung

Im Wesentlichen geht es bei der Humusbilanz darum, den Humusreproduktionsbedarf durch humuszehrende Fruchtarten mit der Humusreproduktionsleistung durch humusmehrende Fruchtarten und organischen Dünger zu verrechnen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Zwischen den humusaufbauenden Prozessen und den humusabbauenden soll ein Fließgleichgewicht bestehen (Reeb, 2004).

[3] https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/agrarklimaschutz/projekte/bodenzustandserhebung-landwirtschaft-bze-lw/methodik, abgerufen am 19.07.2023.

[4] https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/031156/index.php, abgerufen am 19.07.2023.

[5] https://humuscheck.thuenen.de/, abgerufen am 19.07.2023.

Abbildung 2-1: Humusbilanz nach VDLUFA

Humus-bilanz (Saldo)	=	Humusreproduk-tionsleistung aus organischer Düngung	+	Humusreproduk-tionsleistung der humusmehrenden Fruchtarten	-	Humusreproduk-tionsbedarf der humuszehrenden Fruchtarten

Quelle: VDLUFA (2014).

Derzeit sind in Deutschland drei Humusbilanzmethoden gebräuchlich (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Vergleich der drei in Deutschland gebräuchlichen Humusbilanzmethoden

Methode	Maßeinheit	Literatur
ROS	Reproduktionswirksame organische Substanz (ROS) = organische Trockenmasse (TM von Stalldung 1 t ROS = 1 t org. TM von Stalldung)	Asmus und Hermann (1977)
HE	Humuseinheiten (HE) = 1 t Humus mit 55 kg N und 580 kg C 1 t ROS = 0,35 HE	Leithold und Hülsbergen (1998)
VDLUFA	Humusäquivalent = 1 kg Humus-C 1 t ROS = 200 kg Humus-C 1 HE = 580 kg Humus-C	VDLUFA (2004)

Quelle: Leithold und Brock (2006).

Die **ROS-Methode** (Reproduktionswirksame organische Substanz (ROS) = 1 t TM Stalldung) ist das älteste Verfahren und basiert auf alten Dauerversuchen. Die **HE-Methode** (Humuseinheit (HE) = 1 t Humus) ist eine statistische Methode und unterscheidet auch zwischen ökologischem und konventionellem Landbau. Eine HE enthält gemäß der Definition 55 kg organisch gebundenen Stickstoff und 580 kg organisch gebundenen Kohlenstoff (Leithold, 2004). Für die einzelnen Fruchtarten und organischen Düngemittel sind Bilanzierungskoeffizienten festgelegt. Ein Auszug einzelner Fruchtarten ist in Tabelle 2-2 zu sehen. Humuszehrende Fruchtarten gehen mit einem negativen, humusmehrende mit einem positiven Wert in die Bilanz ein. Bei den entsprechenden Fruchtarten bezieht sich eine Humuseinheit jeweils auf einen Hektar, bei den organischen Düngern auf eine Tonne ausgebrachte Frischmasse (Reeb, 2004).

In der **VDLUFA-Methode** wurden die Maßeinheiten t ROS und HE zu Humusäquivalenten (HÄ) vereinheitlicht (=1 kg Humus C). Die Angabe der Kennwerte als dimensionslose Einheit soll verdeutlichen, dass die Kennwerte nicht dazu geeignet sind, die Veränderung der Bodenhumusvorräte zu errechnen, sondern lediglich dazu dienen, die optimale Versorgung mit organischer Substanz zu bemessen (VDLUFA, 2014).

Darüber hinaus werden verschiedene **Bodenzustandsmodelle** wie **CCB** (CANDY Carbon Balance) oder **Betriebsbilanzierungsmodelle** wie **REPRO** verwendet. Diese basieren auf der einen oder anderen Humusbilanzierungsmethode, erweitern diese gegebenenfalls und/oder arbeiten mit komplexeren Inputdaten.

Die **VDLUFA-Methode** wurde zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland entwickelt (VDLUFA, 2014). Sie basiert auf den Ergebnissen langjähriger Feldversuche und den Bewirtschaftungsdaten landwirtschaftlicher Betriebe (aus den 1970er Jahren). Die VDLUFA-Methode liefert auf einfache Weise Informationen für eine aus Sicht der Bodenfruchtbarkeit und des Umweltschutzes anzustrebende Versorgung der Ackerböden mit organischer Substanz. Sie ist jedoch nicht geeignet, exakte Prognosen zur Veränderung von Humusgehalten oder -vorräten zu treffen. Landnutzungsänderungen wie die Umwandlung von Grünland in

Ackerland können langfristige negative Folgen haben, die größer sind als die Folgen von positiven Humussalden (Steinmann et al., 2016).

Tabelle 2-2: Humusbilanzkoeffizienten für den Ökolandbau

Fruchtart	HE/ha
Zuckerrüben	-3,40
Kartoffel	-2,75
Silomais	-2,05
Winterraps	-1,05
Getreide	-1,05
Luzernegras:	
1. Hauptnutzungsjahr	1,80
2. Hauptnutzungsjahr	1,40
Rotationsbrache:	
Selbst begrünt	0,20
Begrünung mit Leguminosen-Grasgemenge	1,50
Organische Dünger	**HE/t FM**
Frischmist	0,05
Rottemist	0,08
Mistkompost	0,10
Rindergülle	0,02
Schweinegülle	0,02
Stroh	0,12
Gründüngung	0,01

Quelle: VDLUFA (2014).

Die Methode ist sowohl für integriert als auch für ökologisch wirtschaftende Betriebe (Tabelle 2-2 und Kapitel 6) konzipiert. Eine Bleistift-Version ist verfügbar[6]. Salden werden in Humusäquivalenten (HÄ)/ha ausgedrückt. Richtwerte in Humusäquivalenten (HÄ) für a) die Humusreproduktionsleistung organischer Materialien sowie b) fruchtartspezifischen Humusreproduktionsbedarf bzw. Humusreproduktionsleistung für verschiedene Bewirtschaftungstypen können aus der Bleistift-Version im Kapitel 6 herausgelesen werden.

Das **Bodenzustandsmodell CCB** kann den aktuellen Humusgehalt eines Bodens bestimmen und prognostiziert dessen Entwicklung. Mit Hilfe verschiedener Management-, Klima-, Standortdaten und dem initialen C_{org}-Gehalt kann der aktuelle Humusgehalt PC-basiert bestimmt und eine Prognose zur Entwicklung des Humusgehalts erstellt werden (Kolbe, o.J.). Das **Betriebsbilanzierungsmodell REPRO i**st ebenfalls PC-basiert und ist zur gesamtbetrieblichen Bilanzierung des Umwelt- und Betriebsmanagements konzipiert worden. Ein Modul von REPRO, in dem es um Stoff- und Energieflüsse geht, befasst sich unter anderem mit der Humusbilanzierung. REPRO rechnet mit der Humuseinheitenmethode (Hülsbergen et al., 2000) zitiert von Reeb (2004).

Das **Bilanzierungs- und Empfehlungssystem Düngung** (BESyD)[7] wird vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Zusammenarbeit mit den Bundesländern Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen entwickelt und stetig aktualisiert. Das kostenfreie Programm berücksichtigt alle düngerechtlichen Regelungen für den konventionellen und ökologischen Landbau und bietet die Möglichkeit, Humusbilanzen

[6] Humusbilanz: Berechnung für die Beratung (bayern.de), abgerufen am 20. Juli 2023.

[7] https://www.landwirtschaft.sachsen.de/duengebedarfsermittlung-besyd-20619.html, abgerufen am 19.07.2023.

sowie Stoffstrombilanzen (vgl. UGÖ-Schlussbericht Teil II.14) sowie Cadmium-Bilanzierung und Düngebedarfsermittlung und -empfehlungen zu machen.

Als neues Projekt, soll das **HumusKlimaNetz**[8] versuchen, einzelne Maßnahmen, die von konventionellen und ökologischen Landwirt*innen umgesetzt werden können, genauer zu bewerten in Hinsicht auf ihren Beitrag zu Humusaufbau und C-Speicherung im Boden. Das Projekt wird erst in 2027 beendet sein.

2.3 Notwendige Inputdaten

2.3.1 C_{org}-Gehalte

Bei C_{org}-Gehalte können auch Information zur Landnutzung, Tierbesatzdichte, Düngung usw. für die Interpretation von Änderungen im Lauf der Förderperiode relevant sein (vgl. Jacobs et al. (2018)). Diese Informationen werden auch für andere Indikatoren gesammelt (z.B. TBD, AKG, KAD, ABC) und müssen nicht hierfür wieder erhoben werden.

Tabelle 2-3: Zusammenfassung der für C_{org}-Gehalte notwendigen Inputdaten und mögliche Datenquellen

Quelle	InVeKoS	LPIS	GLÖZ	Kontrolle	Betriebs-unterlagen	Proben	Drohnen	Fern-erkundung	Statistik/ Normdaten
Schlag ID	**X**	**X**			X				
C_{org}-Analyse Ergebnisse					**X**				
Datum der Probenahme					**X**				
Schichttiefe (0-30cm oder 0-50cm)					**X**				
Schlaggröße	X	**X**			X				
Schlaghöhenlage		**X**			X				
Schlagnutzungsgeschichte (5 J.)	**X**				X			X	
Bodenbearbeitungsgeschichte (5 J.)					X				
Ton-, Schluff-, Sand- Gehalt (%)					**X**				
Ø Jahresniederschlag, -temperatur					**X**				

Quelle: Eigene Darstellung.

2.3.2 Humusbilanzen

Für die Anwendung der **ROS-** (Reproduktionswirksame Organische Substanz) und **HE-** (Humus-Einheit) Methode im Rahmen der **VDLUFA**-Methode werden vergleichsweise wenige Parametern benötigt (siehe Kapitel 6). So sind die Kalkulationen ohne Kenntnis der Anfangsgehalten an Humus oder der erzielten Erträge der Kulturarten in der Fruchtfolge möglich. Außerdem sind leicht zugängliche Angaben aus der Schlagkartei für die Durchführung der Berechnungen ausreichend, wozu nicht unbedingt ein PC erforderlich ist (siehe Bleistiftversion). Dies ist ein großer Vorteil und ermöglicht einen schnellen und praktischen Einsatz. Allerdings haben Vergleiche der Bilanzierungsmethoden (ROS, HE, VDLUFA) anhand langjähriger Dauerversuche in Sachsen ergeben, dass deutlich unterschiedlich genaue Ergebnisse erzielt werden, die in hohem Maße von bestimmten Standortfaktoren abhängen. Für leichte und mittlere Böden Ostdeutschlands eignet sich das ROS-Verfahren am

[8] https://humus-klima-netz.de/, abgerufen am 19.07.2023.

besten, um einen standorttypischen C_{org}-Gehalt zu berechnen und damit im Boden aufrechtzuerhalten. Für Lehmböden sollte dagegen das HE-Verfahren angewendet werden (ebd.) (Kolbe, o.J.).

Das **CCB-Model** erfordert die Eingabe von weitaus mehr Parametern sowie die Kenntnisse der zugrundeliegenden Computersoftware. Eine Demo-Version der Software und das entsprechende Manual sind verfügbar[9]. Es werden unter anderem Angaben über a) den Anfangsgehalt an C_{org}, b) den Feinanteil des Bodens, c) die Pflugtiefe, d) die Durchschnittstemperaturen und die Summe der Jahresniederschläge des Standortes sowie e) die Erträge der verschiedenen Kulturarten benötigt. Das CCB-Modell ist insbesondere dafür geeignet, die Veränderung des C_{org}-Gehaltes zu erfassen und in Abhängigkeit von verschiedenen nicht nur bewirtschaftungsbedingten, sondern auch bodenbürtigen und klimatischen Einflussgrößen zu berechnen. Das CCB-Verfahren eignet sich besonders für leichte und mittlere Böden sowie für Schwarzerden Ostdeutschlands. Für Lehmböden ist es bisher nicht geeignet (Kolbe, o.J.).

Der höhere Aufwand bei der Anwendung von Bodenzustandsmodellen ist zwar unter der heute üblichen Anwendung von PC-Modellen tragbar, könnte aber für das Honorierungssystem zu aufwendig sein. Um dies abzuschätzen, müssen die detaillierten Parameter, die im CCB-Modell benötigt werden, im entsprechenden Anwenderhandbuch Modell CCB[10] recherchiert werden, die entsprechende Software muss testweise heruntergeladen werden und es muss für die Anwendung „geübt“ werden. Die weiteren Möglichkeiten des Modells werden als Teil des Carbocheck-Projekts[11] untersucht.

Auch das **REPRO-Modell**[12] berücksichtigt Jahresniederschläge, Bodenart, Höhe der Mineraldüngung und den Ertrag. REPRO rechnet mit der Humuseinheitenmethode (Hülsbergen et al. (2000) zitiert von Reeb (2004)).

Die benötigten Parameter und Vor- und Nachteile von VDLUFA, CCB und REPRO sind in Tabelle 2-3 und die notwendigen Daten und möglichen Quellen in Tabelle 2-4 zusammengefasst.

Tabelle 2-4: Vergleich VDLUFA-, CCB- und REPRO-Methoden zur Humusbilanzierung auf einen Blick

VDLUFA	CCB	REPRO
	Eingabeparameter	
Humuswirkung der angebauten Kulturen und deren Neben-produkten	Fruchtart Ertrag organische Düngung Beregnung	Ertrag
Zufuhr von zusätzlichem organischem Material in der gesamten Fruchtfolge	min. N-Düngung (fakultativ)	Höhe der Mineraldüngung
	Ton- und Schluffgehalt oder Bodenart für die Ackerkrume	Bodenart
	Niederschlag als Jahreswert	Jahresniederschläge
	Lufttemperatur als Jahreswert	
	Anfangs C_{org}-Gehalt	
	Vorteile der Methoden	
Einfache Eingabe in Excel oder auf Papier	Unterschiedliche Betriebsdaten werden berücksichtigt	Standortdaten werden berücksichtigt
Bewährt	Initialer C_{org}-Gehalt wird berücksichtigt	Näherungsweise eine quantitative Beschreibung der […] Prozesse des

[9] https://www.ufz.de/index.php?en=44046, abgerufen am 19.07.2023.

[10] https://www.ufz.de/export/data/2/95976_CCB_HANDBUCH_praxisversion_1.pdf, abgerufen am 19.07.2023.

[11] https://www.carbocheck.de/, abgerufen am 19.07.2023.

[12] https://www.nachhaltiger-landbau.de/repro-nachhaltigkeitsbilanzierung/, abgerufen am 19.07.2023.

VDLUFA	CCB	REPRO
		Humusauf- und Humusabbaus unter Praxisbedingungen
Vergleich verschiedener Fruchtfolgen hinsichtlich ihrer relativen Wirkung auf den Humushaushalt	Standort wird berücksichtigt	Sofortige Schlussfolgerungen zur Gestaltung der Humusersatz-wirtschaft möglich
	Humusvorratsentwicklung sichtbar	
	Nachteile der Methoden	
Nicht standortspezifisch	Abhängig vom Interesse der Landwirt:innen (Betriebsdaten werden benötigt)	Abhängig vom Interesse der Landwirt:innen (Betriebsdaten werden benötigt)
Initialer C_{org}-Gehalt wird nicht berücksichtigt	C_{org}-Gehalt muss erst bestimmt werden	
Nicht geeignet für exakte Prognosen zur Veränderung von Humusgehalten oder -vorräten	Spezifische Software und Einarbeitung ins Modell nötig	Spezifische Software und Einarbeitung ins Modell nötig
	Es werden viele Daten benötigt	Es werden viele Daten benötigt

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 2-5: Zusammenfassung der für Humusbilanzen notwendigen Inputdaten und mögliche Datenquellen

Quelle	InVeKoS	LPIS	GLÖZ	Kontrolle	Betriebs-unterlagen	Proben	Drohnen	Fern-erkundung	Statistik/ Stand.daten
Zukäufe/Zufuhr									
Ernterückstände (Stroh usw.)									X
Organische Dünger					X				X
Gründüngung/Zwischenfrüchte					X				X
Humusaufbau von Wurzelresten, v. a. unter Kleegras/Grünland									X
Verkäufe/Abfuhr									
Humusabbau durch Kultivierung									X
Erntemengen (Fruchtart/-ertrag)					X				X
Organische Dünger					X				
Sonstige									
Fläche	X				X				
Landnutzung	X				X				
Tierbesatz	X				X				
Betriebstyp	X								
Bodenart					X				
Bodentextur (Ton, Schluff usw.)					X				
pH-Wert									
Humusgehalt (C_{org})					X				
Beregnung					X				
Niederschlag als Jahreswert					X				X
Lufttemperatur als Jahreswert					X				X

Quelle: Eigene Darstellung.

2.4 Leistungsbestimmung (Schwellenwerte)

Wie oben beschrieben, brauchen C_{org}-Gehalte alleine einige Kontextindikatoren (Landnutzung, Bodentyp, Niederschlag, Höhenlage, Ø Jahrestemperatur), um Vergleiche zwischen Betrieben machen zu können. Insoweit sind absolute Schwellenwerte schwierig zu definieren. Eine Möglichkeit wäre, Beibehaltung oder Steigerung der Werte als Maßstab zu setzen, obwohl Änderungen nur sehr langsam erscheinen werden und methodische Ereignisse mehr ausmachen könnten. Deswegen machen wir keine Empfehlungen zu Schwellenwerten für C_{org}-Gehalte.

Nach den Erfahrungen aus der Schweiz und England/Wales (Prout et al., 2021; Johannes et al., 2017) könnten C_{org}:Ton-Verhältnisse eine Alternative sein und wie in Tabelle 2-5 eingestuft werden. Die Werte für Kleegras und Dauergrünland sowie Wälder waren in den Studien fast ausschließlich als sehr gut zu bezeichnen (wie beim ABC-Indikator, UGÖ-Schlussbericht Teil II.9), so dass diese Klassifizierung eher für Ackerland relevant ist, obwohl der Anteil Kleegras in der Fruchtfolge auch von Interesse ist. Die Autoren sind der Meinung, dass diese Grenzwerte auch für andere Teile Europas mit ähnlichen Klimaverhältnissen, einschließlich Deutschland, relevant sein könnten. Gefördert werden könnte entweder die Beibehaltung einer Stufe (außer ‚degradiert') oder eine Verbesserung der Stufe, aber nicht ein Rückfall.

Tabelle 2-6: Vorschläge für HB- und Corg-Indikatoren-Schwellenwerte

Indikator	Einheit	Gruppierung	Sehr gut (Stufe 3)	Gut (Stufe 2)	Mäßig (Stufe 1)	Basis (Stufe 0)	Anmerkung/ Quelle
C_{org}:Ton Verhältnis	C_{org}:Ton Verhältnis	Acker-, Gemüse-, Obst- und Weinbau	>1:8	1:8 bis 1:10	<1:10 bis 1:13	<1:13	
Humus-Salden	HÄ/ha LF und Jahr	Betrieb	>+100 bis +300	>-100 bis +100	EU-ÖkoV oder <-100 oder > 300	DüV	Tabelle 2-6

Quelle: Eigene Darstellung.

Eine Bewertung der VDLUFA-Humussalden und die daraus abgeleiteten Managementempfehlungen für konventionell und ökologisch wirtschaftende Betriebe sind in Tabelle 2-6 zu finden. So gelten Humussalden von -200 HÄ pro ha und Jahr oder weniger als sehr niedrig und erfordern die Zufuhr organischen Düngers. Umgekehrt ist ein Humussaldo von +500 HÄ pro ha und Jahr auf Ökobetrieben (+300 auf konv. Betrieben) zu vermeiden, um sich im Rahmen der Düngeverordnung und EU-Öko-Verordnung zu bewegen. Die Zufuhr von organischem Dünger ist dann zu reduzieren.

Tabelle 2-7: Bewertung der Humusbilanzen (HÄ/ha*J) für konv. und ökol. wirtschaftende Betriebe

Humusbilanz	Bewertung	Empfehlung
Sehr niedrig: Alle: < -200	konv.: langfristig möglich … ökol.: zu erwarten … … ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistung	konv.: bei standorttypischem oder niedrigerem Humusgehalt …; ökol.: alle … … weniger humuszehrende Früchte anbauen und/ oder Zufuhr organischer Dünger unter Berücksichtigung des Nährstoffvergleichs erhöhen
Niedrig: konv.: -200 bis -76 ökol.: -200 bis -1	konv.: mittelfristig … ökol.: kurzfristig … … tolerierbar, insbesondere auf humusreichen Standorten	konv.: bei niedrigerem als dem standorttypischen… ökol.: bei standorttypischem oder niedrigerem … … Humusgehalt: weniger humuszehrende Früchte und/oder Zufuhr organischer Dünger unter Berücksichtigung des Nährstoffvergleichs erhöhen
Ausgeglichen konv.: -75 bis +100 ökol.: 0 bis +300	Alle: optimale Ertragssicherheit bei geringem Stickstoffverlust	Alle: empfehlenswert bei standorttypischem Humusgehalt

Humusbilanz	Bewertung	Empfehlung
Hoch konv.: +101 bis +300 ökol.: +301 bis +500	mittelfristig tolerierbar, insbesondere auf humusreichen (konv.) oder humusarmen (ökol.) Standorten	bei höherem als dem standorttypischen Humusgehalt: Zufuhr an organischer Substanz reduzieren
Sehr hoch konv.: > +300 ökol.: +500	erhöhtes Risiko für Stickstoffverluste und verminderte Stickstoffeffizienz	auf Einhaltung des zulässigen N-Überschusses achten (DüV, EU-ÖkoV); bei höherem als dem standorttypischen Humusgehalt: Zufuhr von organischer Substanz reduzieren

Quelle: LfL[13].

[13] https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/humusbilanz_beratung_bleistift-version_nov_2014_2.pdf, abgerufen am 19.07.2023.

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 der Indikatoren HB und Corg nach den ausgewählten Aussagekraftkriterien

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/Quellen
Relevanz (theoretisch, zeitlich, politisch, Umwelt, Praxis)		Kohlenstoffspeicherung im Boden ist eine mögliche Leistung, um THG-Emissionen entgegenzuwirken und Bodengesundheit zu schützen. Im Vergleich zu Grünland und Wald haben kultivierte Acker- und ähnliche Böden wesentlich weniger Humus- oder C_{org}-Gehalte (Jacobs et al., 2018; Sanders und Heß, 2019). Diese Tatsache ist in der Ackerbaustrategie (BMEL, 2019) anerkannt, mit Vorschlägen, um Humus im Ackerbau zu erhalten. Eine langfristige Lösung wäre die Umstellung von Ackerland wieder in Grünland oder Wald, aber die Erhaltung von Dauergrünland und Moorböden ist eine mittelfristige Lösung. Innerhalb der Fruchtfolge gibt es Möglichkeiten, C_{org}-Zugabe über Gründüngung, organische Dünger und Stroh-/Wurzelreste zu liefern und sie mit reduzierter Bodenbearbeitung zu schützen. Die Effekte sind aber normalerweise kurzfristig. Mehrjähriges Klee-, Luzerne- oder Ackergras liefert wesentlich mehr organische Substanz über Wurzelreste mit mittelfristigem Potential. Mehrjähriges Klee- und Luzernegras sind auch wertvoll, um synthetischen Stickstoff zu ersetzen und dabei THG-Emissionen und andere Umweltfolgen zu mindern (vgl. auch AKG-Indikator UGÖ-Schlussbericht Teil
Leistung 1: Erhaltung humusreicher Böden	++	
Leistung 2: C-Speicherung, um THG-Emissionen zu reduzieren	+	

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/Quellen
		II.12). Humusaufbau als Indikator ist eher ergebnisorientiert, weil unterschiedliche Maßnahmen zusammen eine Rolle spielen.
Repräsentativität	+	Die Repräsentativität hängt teilweise von der Landnutzung and Standortfaktoren ab, wie Anteil Dauergrünland, Niederschlagsmengen und Bodenmerkmale. Dieser Indikator ist eher für Acker-, Gemüse-, Obst- und Weinbau relevant.
Sensibilität	0	Die Ergebnisse sind oft von der Ausgangsposition abhängig, wie auch von der Verlässlichkeit der Methode zur Humusbilanzierung sowie auch der Methode der Probenahme für C_{org}-Gehalte. Für C_{org}-Gehalte variieren die Ergebnisse nur sehr langsam, so dass innerhalb von fünf Jahren wenig Änderung zu erwarten ist, obwohl ein deutlicher Rückgang als Problem angesehen werden sollte. C_{org}-Gehalte können innerhalb weniger Meter in einem Schlag deutlich variieren.
Vergleichbarkeit	0	Die Indikatoren HB und Corg sind für kultivierte Flächen (Acker-, Garten-, Obst- und Weinbau) und weniger für Dauergrünland geeignet. Für innerbetriebliche Vergleiche von Jahr zu Jahr ist eine Untergruppierung nicht notwendig. Falls Vergleiche zwischen einzelnen Betrieben relevant sind, dann müssen die methodischen Vorgehensweisen standardisiert werden und es muss eine relevante Untergruppierung basierend auf Bodentyp, Niederschlag, Höhenlage, Jahres-Ø-Temperaturen und/oder Ausgangs-C_{org}-Gehalte erstellt werden.
Komplementarität	+	Anteil mehrj. Kleegras/Leguminosen (UGÖ-Schlussbericht Teil II.12) ist auch sehr relevant für Humusaufbau und könnte diesen Indikator zumindest teilweise ersetzen. Sonst gibt es wenig Duplikation mit anderen Indikatoren.
Gesamtbewertung Aussagekraft	+	Mäßig bis 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 der Indikatoren HB und Corg nach den ausgewählten Justiziabilitäts- und Betrugsanfälligkeitskriterien

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/Quellen
Rechtliche Grundlage	-	Bei der Humusbilanzierung gibt es unterschiedliche Methoden, die Vor- und Nachteile haben, vor allem hinsichtlich der Wahrnehmung der Ausgangsposition und Datenverfügbarkeit, einschließlich der Bewertung von organischen Düngern. Diese Fragen sind nur teilweise durch die DüV und StoffBilV geregelt, auch mit unterschiedlichen Normdatensätze auf Länderebene (vgl. UGÖ-Schlussbericht Teil II.14). Die Einführung von einheitlichen Berechnungstools wie BESyD (vgl. Abschnitt 2.2) in Sachsen und anderen Bundesländer könnte eine Lösung anbieten. C_{org}-Proben waren für alle fünf Jahre in manchen Bundesländern für GLÖZ vorgeschrieben.
Messbarkeit/ Quantifizierbarkeit	-	Die VDLUFA-Methode zur Humusbilanzierung (siehe UGÖ-Schlussbericht Teil II.) ist eine einfach rechnerische Methode, die gleich auf alle Betriebe umgesetzt werden kann, aber nicht die Ausgangsposition wahrnimmt. Neuere Methoden wie Carbo-Check beinhalten die Ausgangsposition, aber sind modellbasiert und brauchen mehr Input-Daten. Die neueren Methoden wie Carbo-Check haben eine gute Genauigkeit, sind aber auch anspruchsvoller bei der Umsetzung. C_{org}-Gehalte können genau sein, wenn die Probenahme-Methoden konsistent implementiert werden, obwohl Variationen innerhalb von Schlägen auch von Bedeutung sein können.
Evidenzbasiertheit	+	Mehrere wissenschaftliche Veröffentlichungen über die Umweltvorteile höherer Humus oder C_{org}-Gehalte liegen vor. C_{org}-Proben sind sehr üblich auf landw. Betrieben. Die Streuung wird auch mit der Bodenzustandserhebung (Jacobs et al., 2018) in Deutschland gut dokumentiert.
Replizierbarkeit/ Verlässlichkeit	+	Gut, falls die Bilanzierungs- und Probenahme-Methoden gut definiert werden. Die HB- und C_{org}-Werte können auch auf Betriebsebene berechnet werden, als Durchschnitt der Schlagwerte. Humusbilanzierung ist jahreszeitenunabhängig. C_{org}-Proben sollten nicht in Perioden genommen werden, in denen viele frische organische Substanz vorhanden ist, zum Beispiel kurz nach der Ernte. Es ist unklar, inwieweit gut informierte Berater*innen oder Betriebsleiter*innen die Humus-Ergebnisse selber beeinflussen können.
Betrugsanfälligkeit	-	Hinsichtlich der Betrugsanfälligkeit werden die beiden Indikatoren als schlecht bewertet. Die Werte für organische Düngemittel (Mengen und Nährstoffgehalte) sind in der Humusbilanzberechnung oft nicht genau festzulegen. Die Probenahme für C_{org}-Gehalte könnte auch beeinflusst werden, um bessere Ergebnisse zu erzielen.
Gesamtbewertung Justiziabilität	0	Mäßig bis schlecht, eventuell besser, falls die Methodik für Humusbilanzierung standardisiert werden könnte.

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; und 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.

Die in Tabelle 3-3 aufgeführten Bewertungen beziehen sich auf Humusbilanzierung

Tabelle 3-3: Bewertung der Indikatoren HB und Corg nach den ausgewählten Datenverfügbarkeits- und -qualitätskriterien

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/Quellen
Verlässlichkeit der Datenquelle	0	Die Daten für Pflanzen und organische Substanzen sind teilweise gut belegt, aber einige Annahmen in den Modellansätzen, wie zum Beispiel, dass niedrigere Erträge mit niedrigeren Wurzelrestmassen verbunden sind, sind eventuell nicht im ökol. Landbau wegen tieferer Durchwurzelung des Bodens zutreffend (Hu et al., 2018).
Datenqualität	0	Die Datenqualität für Landnutzung und Tierzahlen ist hoch und wird regelmäßig kontrolliert und verbessert. Die Datenqualität für Zukäufe an organischen Düngern (Mist, Gülle, Gärreste) ist eher mäßig oder schlecht.
Verlässlichkeit der Erhebungsmethode	0	Mäßig bis hoch, falls standardisierte Daten vorhanden sind, mit einigen Schwachstellen
Vermeidung mehrfacher Erhebungen	0	Eine geregelte Lösung für Zukäufe und Abgaben würde eine doppelte Datenerhebung vermeiden. BESyD in Sachsen (vgl. Abschnitt 2.2) könnte eine Lösung anbieten, vor allem, wenn die Verbindung mit InVeKoS-Daten gut funktioniert und die DüV- und StoffBilV-Verpflichtungen gleichzeitig bearbeitet werden können.
Gesamtbewertung Daten	0	Mäßig, mit Verbesserungsmöglichkeiten

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.

Das „einfache“ Verfahren der VDLUFA erfordert wenige Eingaben und kann mit InVeKoS-Daten berechnet werden. Somit verursacht es wenig Kosten und kann schnell einen groben Überblick liefern. Die Bodenzustands- oder Betriebsbilanzierungsmodelle wie CCB oder REPRO benötigen mehr Daten, die über spezialisierte Software eingegeben werden müssen. Die meisten Nicht-InVeKoS-Daten, die für eine Humusbilanz notwendig sind, kommen entweder von Lieferscheinen und Belegen oder von sonstigen betrieblichen Daten, die auch für die Buchhaltung, die Ökokontrolle und die Stoffstrombilanzverordnung notwendig sind (sie werden auch für die Berechnung von THG-Bilanzen verwendet). Im Prinzip gibt es daher keine großen zusätzlichen Kosten, es sei denn, eine doppelte Arbeit bei der Eingabe, um diese Daten zu erheben und zu berechnen. Ein geregeltes

Verfahren mit den Kontrollstellen mit einer einheitlichen Softwareschnittstelle könnte dabei helfen. Ähnlich wie bei Stoffstrombilanzen könnte eine Mitarbeit von Berater*innen notwendig sein, um die Bilanzen zu berechnen. Diese Kosten könnten etwa 500 bis 1.000 €/Betrieb und Jahr sein, in manchen Fällen bis zu 2.500 €.

C_{org}-Proben dagegen müssen von allen Schlägen genommen werden, aber dann alle fünf Jahre. Falls die Proben sowieso für GLÖZ-/Konditionalitäten-Zwecke genommen werden müssen, dann sind keine oder wenige zusätzliche Kosten zu erwarten. Falls nicht, ist eine Kostenschätzung Tabelle 3-4 zu entnehmen. Um Kosten zu reduzieren, besteht auch die Möglichkeit, N_{min} und C_{org} Proben gleichzeitig zu nehmen. Die Gesamtkosten von etwa 5.000 € entsprechen etwa 1.000 € pro Betrieb und Jahr im Durchschnitt.

Tabelle 3-4: Schätzung der Transaktionskosten (ohne MwSt.) des Corg -Indikators

Probenahme durch:	Externe Expert*innen mit maschineller Probenahme		Betriebsleiter*innen, manuell mit Bohrstock		Anmerkungen, Quellen
Pro Probe	*Ressourcen*	*Kosten 60 € / h*	*Ressourcen*	*Kosten 30 € / h*	
Probenahme	-	20 €	0,5 h	15 €	Nur C, oft mit anderen Analysen verbunden
Laboranalyse	-	15 €	-	15 €	
Gesamt	-	35 €	0,5 h	30 €	
Pro Schlag (2 ha)	*Ressourcen*	*Kosten 40 € / h*	*Ressourcen*	*Kosten 30 € / h*	
5 Proben/Schlag	-	175 €	2,5 h	150 €	
Gesamt	-	175 €	2,5 h	150 €	
Pro Betrieb (60 ha)	*Ressourcen*	*Kosten 60 € / h*	*Ressourcen*	*Kosten 30 € / h*	
30 Schläge	-	5.250 €	75 h	4.500 €	
Ausbildung	-	-	1 h	30 €	
Berichterstattung	-	-	1 h	30 €	
Anfahrtspauschale	-	50 €	-	-	
Kontrolle	-	-	Siehe Fußnote	75	
Gesamt		5.300 €		4.650 €	
Jahres Ø (2x in 5 J)		2.120 €		1.860 €	

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 der Indikatoren HB und Corg nach den ausgewählten Transaktionskostenkriterien

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/Quellen
Verwaltungskosten	+	Die Transaktionskosten auf Verwaltungsebene könnten niedrig sein, falls verlässliche, geregelte Berechnungen von Humusbilanzen ähnlich wie Stoffstrombilanzen vorliegen. IT-Anpassungskosten könnten relevant sein, sind aber dem Gesamthonorierungssystem zuzurechnen. Die C_{org}-Gehalte würden auch wenige zusätzliche Verwaltungskosten verursachen.
Betriebskosten	-	Die Betriebskosten, entweder für die Berechnung von Humusbilanzen oder für die C_{org}-Probenahme, könnten hoch sein, auch wenn ein Teil der Arbeit von Betriebsarbeitskräften gemacht wird.
Gesamtbewertung Transaktionskosten	0	Mäßig bis schlecht

Quelle: Eigene Darstellung.

3.5 Kommunizierbarkeit

Um tatsächliche Verhaltensänderungen mit dem Honorierungssystem zu erreichen, vor allem bei Landwirt*innen, aber auch bei 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; und Änderungsmotivation.

Tabelle 3-6: Kommunizierbarkeit der Indikatoren HB und Corg nach Zielgruppen

	Landwirt*innen	Behörden	Politiker*innen	Verbraucher*innen
Durchschaubarkeit der Methodik	Mäßig	Hoch	Mäßig	Niedrig
Komplexität der Umsetzung	Mäßig bis schwierig	Einfach (mit Programmierung)	Nichtzutreffend	Nichtzutreffend
Interpretierbarkeit der Ergebnisse	Mäßig bis hoch	Mäßig bis hoch	Mäßig bis hoch, je nach Engagement	Mäßig
Änderungs-motivation	Mäßig	Mäßig	Mäßig	Niedrig
Gesamt	Mäßig bis hoch	Mäßig bis 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 der Indikatoren HB und Corg nach den ausgewählten Kommunizierbarkeits-kriterien

Kriterien	Bewer-tung	Anmerkungen/Quellen
Durchschaubarkeit der Methodik	0	Die Durchschaubarkeit ist hoch in manchen Fällen, wie bei der VDLUFA-Methodik zur Humusbilanzierung oder bei C_{org}-Gehalten, aber nicht in allen.
Komplexität der Umsetzung	+	Die Berechnung von Humusbilanzen kann, wie von Stoffstrombilanzen, kompliziert sein, eventuell ist die Hilfe von Berater*innen notwendig. Die Verbreitung von Berechnungstools wie BESyD könnte dabei helfen.
Interpretierbarkeit der Ergebnisse	+	Die Interpretierbarkeit soll gut möglich sein, zumindest für Landwirt*innen und Behörden, weil die Ergebnisse auch für die Praxis eine Bedeutung haben.
Änderungsmotivation	0	Die Änderungsmotivation ist nicht so hoch einzuschätzen, weil die Änderungen eher langfristig wahrzunehmen sind.
Gesamtbewertung Kommunizierbarkeit	0	Mäßig bis hoch

Quelle: Eigene Darstellung.

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

Der organische Bodenkohlenstoff-Gehalt wurde in 101 Studien mit 566 Einzelbeobachtungen am häufigsten untersucht. Die beobachteten Gehalte schwanken zwischen 0,15 % und 8,82 % in den untersuchten Studien, mit einem Mittelwert von 1,72 %. Die statistische Auswertung wurde über eine Netzwerk-Metaanalyse durchgeführt. Über die Vorwärts- und Rückwärtsselektion wurden die Beprobungstiefe, die Düngerart, die Art der Bodenbearbeitung und das Vorhandensein von Leguminosen in der Fruchtfolge als Einflussfaktoren identifiziert. Das statistische Modell ist in Tabelle 3-8 aufgeführt und zeigt, ob die Faktoren einen Einfluss auf den Indikator SOC-Gehalt [%] haben und ob dieser signifikant ist (p-Wert nach Bonferroni-Korrektur p < 0,01).

Tabelle 3-8: Modell für den Indikator organischer Bodenkohlenstoff-Gehalt (SOC %) und die Analysis of Variance (ANOVA) der Einflussfaktoren

Modell: lm(log(SOC-Gehalt(%)) ~ ID + Beprobungstiefe + Düngerart + Bodenbearbeitungsverfahren + Leguminosen in der Fruchtfolge)					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-Wert	Pr(>F)
ID	100	114.430	1.14430	24.0528	< 2.2e-16*
Beprobungstiefe	3	8.230	2.74335	57.6643	< 2.2e-16*
Düngerart	7	1.199	0.17126	3.5997	0.0008986*
Bodenbearbeitungsverfahren	5	0.808	0.16150	3.3947	0.0051399*
Leguminosen in der Fruchtfolge	1	0.398	0.39795	8.3649	0.0040354*
Residuen	398	18.935	0.04757		
Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau: *0,01					
ID = Studie, Df = Freiheitsgerade, Sum Sq = summierte Quadrate, Mean Sq = quadratisches Mittel, Pr(>F) = p-Wert der F-Statistik. Modell: F-statistic: 22.66 on 116 and 398 DF, p-value: <2.2e-16, Adjusted R-squared: 0.8302					

Quelle: UGÖ-Schlussbericht Teil 1 (2023).

Der größte Teil der Unterschiede in organischen Bodenkohlenstoff-Gehalten im Datensatz ist auf den Studieneffekt zurückzuführen. SOC-Gehalte schwanken zwischen unterschiedlichen Studien deutlich stärker als innerhalb der Studien, unabhängig von den untersuchten Praktiken. Ein weiterer signifikanter Einflussfaktor, der nicht auf die untersuchten Bewirtschaftungspraktiken zurückzuführen ist, ist die Beprobungstiefe. Hierbei sinken die SOC-Gehalte mit der Tiefe des beprobten Bodens. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Bodenbearbeitung. Der Verzicht auf Bodenbearbeitung zeigt den höchsten SOC-Gehalt, gefolgt von der reduzierten Bodenbearbeitung. Die konventionelle (wendende) Bodenbearbeitung hat die niedrigsten SOC-Gehalte. Keines der Bodenbearbeitungsverfahren weist jedoch einen statistisch signifikanten Einfluss auf. Die verwendeten Dünger haben einen Einfluss auf SOC-Gehalte. Während sich die Anwendung verschiedener Dünger untereinander nicht signifikant unterscheiden, ist das Verwenden von Kompost und von anderen Düngern gegenüber keiner Düngung in den untersuchten Studien signifikant. Andere Dünger beinhalten weitere Dünger, die nicht den bestehenden Kategorien zugeordnet werden können und die aufgrund der geringen Studienzahl keine eigene Kategorie bilden (bspw. zugelassene kommerzielle Düngemittel, Bio-Kohle, Fisch-/Tiermehl). Der Anbau von Leguminosen in der Fruchtfolge hat einen signifikanten Einfluss auf die organischen Bodenkohlenstoff-Gehalte. So können in Fruchtfolgen mit Leguminosen etwa 21 % höhere SOC-Gehalte beobachtet werden.

Der organische Bodenkohlenstoff-Vorrat ist eine wichtige Einheit, da hier nicht nur relative Unterschiede, sondern absolute Werte und somit konkrete Beiträge zum Klimaschutz bestimmt werden können. Hier wurden in 17 Studien mit 72 Einzelbeobachtungen SOC-Vorratswerte angegeben. Hinzu kommt weitere 25 Studien mit 120 Einzelbeobachtungen nach Modellen berechnet. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass einige SOC-Vorratsdaten, besonders die von uns errechneten, bereits in den Analysen zu SOC-Gehalten untersucht wurden. Somit tauchen dieselben Datenpunkte, wenn auch in anderer Form, in beiden Analysen auf und sind demnach nicht als komplett voneinander getrennt zu verstehen.

Die ermittelten SOC-Vorräte schwanken von 7,8 bis 178 Tonnen organischer Kohlenstoff pro Hektar (Mittelwert: 42,62 t/ha). Der direkte Vergleich dieser Werte ist nur bedingt sinnvoll, da sie aus unterschiedlichen Mengen an Boden berechnet wurden. Die Probenmächtigkeit reicht von 5 bis zu 73 cm. Die absolute Menge an organischem Kohlenstoff ist wie zu erwarten höher, je mehr Bodenmaterial untersucht wurde (nicht abgebildet). Um Vergleiche, auch zwischen unterschiedlicher Probenmächtigkeit zu ermöglichen, wurde die Menge an organischem Kohlenstoff auf die Menge an SOC pro Hektar und pro beprobten Zentimeter umgerechnet. Die so ermittelten Werte schwanken von 0,41 bis 11,86 t/ha/cm (Mittelwert: 2,33 t/ha/cm). Die Analyse des direkt in den Studien ermittelten SOC-Vorrats ergab, dass lediglich der Studieneffekt und die Beprobungstiefe einen Einfluss auf den Indikator haben (Tabelle 3-9). Ähnlich dem SOC-Gehalt, sinkt der SOC-Vorrat mit beprobter Bodentiefe. Da keine Bewirtschaftungspraktik eine Verbesserung des Modells darstellt, sind hierzu keine weiteren Analysen durchgeführt worden.

Wenn neben den direkt ermittelten Daten zusätzlich die aus dem organischen Bodenkohlenstoff-Gehalt errechneten hinzukommen, ergibt sich ein anderes Modell. Auch hier sind die Einflüsse des Studieneffekts und der beprobten Bodentiefe die stärksten. Darüber hinaus führen auch die Bodenbearbeitung und der Anbau von Leguminosen zu einer Verbesserung des statistischen Modells. Der Verzicht auf Bodenbearbeitung zeigt höhere SOC-Vorräte als reduzierte und als konventionelle Bodenbearbeitung, jedoch ist keiner dieser Effekte signifikant. Anders als beim SOC-Gehalt finden sich in Untersuchungen mit Fruchtfolgen ohne Leguminosen höhere SOC-Vorräte als mit Leguminosen. Auch dieser Effekt ist statistisch nicht signifikant.

Tabelle 3-9 Modell für den Indikator organischer Bodenkohlenstoff-Vorrat (SOC t/ha/cm) und die Analysis of Variance (ANOVA) der Einflussfaktoren der Daten, die direkt in den Studien ermittelt wurden und der aus den SOC-Vorratswerten errechneten

Modell: lm(log(SOC-Vorrat(t/ha/cm)) ~ ID + Beprobungstiefe + Bodenbearbeitungsverfahren + Leguminosen in der Fruchtfolge)					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-Wert	Pr(>F)
ID	41	42.216	1.02965	17.0478	< 2.2e-16*
Beprobungstiefe	3	1.919	0.63951	10.5883	2.509e-06*
Bodenbearbeitungsverfahren	4	0.886	0.22140	3.6656	0.007134*
Leguminosen in der Fruchtfolge	1	0.114	0.11429	1.8922	0.171117
Residuen	142	8.576	0.06040		
Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau: *0,0125					
ID = Studie, Df = Freiheitsgerade, Sum Sq = summierte Quadrate, Mean Sq = quadratisches Mittel, Pr(>F) = p-Wert der F-Statistik. Modell: F-statistic: 15.25 on 49 and 142 DF, p-value: <2.2e-16, Adjusted R-squared: 0.7852					

Quelle: UGÖ-Schlussbericht Teil 1 (2023).

Die jährliche Veränderung des organischen Bodenkohlenstoffs ist ein wichtiger Indikator, um zu identifizieren, ob organischer Kohlenstoff gespeichert und somit ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet wird oder ob organischer Kohlenstoff verloren geht, was einen Beitrag zum Klimawandel darstellt. Die Veränderung des organischen Bodenkohlenstoffs schwankt zwischen 28,3 % Verlust pro Jahr und 52,12 % jährlichem Zuwachs (Mittelwert: 4,33 % Zuwachs). Aus dem vorliegenden Datensatz lassen sich keine Effekte von Bewirtschaftungspraktiken ableiten. Lediglich der Studieneffekt hat einen Einfluss auf die jährliche Veränderung des organischen Bodenkohlenstoffs.

Der größte Teil der Unterschiede in organischen Bodenkohlenstoff-Gehalten im Datensatz ist auf den Studieneffekt zurückzuführen. SOC(C_{org})-Gehalte schwanken zwischen unterschiedlichen Studien deutlich stärker als innerhalb der Studien, unabhängig von den untersuchten Praktiken. Ein weiterer signifikanter Einflussfaktor, der nicht auf die untersuchten Bewirtschaftungspraktiken zurückzuführen ist, ist die Beprobungstiefe. Hierbei sinken die SOC-Gehalte mit der Tiefe des beprobten Bodens (nicht abgebildet). Ein weiterer Einflussfaktor ist die Bodenbearbeitung. Der Verzicht auf Bodenbearbeitung zeigt den höchsten SOC-Gehalt, gefolgt von der

reduzierten Bodenbearbeitung. Die konventionelle (wendende) Bodenbearbeitung hat die niedrigsten SOC-Gehalte. Keines der Bodenbearbeitungsverfahren weist jedoch einen statistisch signifikanten Einfluss auf.

Die verwendeten Dünger haben einen Einfluss auf SOC-Gehalte. Während sich die Anwendung verschiedener Dünger untereinander nicht signifikant unterscheidet, ist das Verwenden von Kompost und von anderen Düngern gegenüber keiner Düngung in den untersuchten Studien signifikant. Andere Dünger beinhalten weitere Dünger, die nicht den bestehenden Kategorien zugeordnet werden können und die aufgrund der geringen Studienzahl keine eigene Kategorie bilden (bspw. zugelassene kommerzielle Düngemittel, Bio-Kohle, Fisch-/Tiermehl). Der Anbau von Leguminosen in der Fruchtfolge hat einen signifikanten Einfluss auf die organischen Bodenkohlenstoff-Gehalte. So können in Fruchtfolgen mit Leguminosen etwa 21 % höhere SOC-Gehalte beobachtet werden.

Den größten Einfluss auf jegliche Schutzgutindikatoren hat der Studieneffekt. Die gemessenen Werte variieren stärker zwischen Studien als innerhalb von Studien. Dies kann auf eine Reihe an studienspezifischen Faktoren zurückgeführt werden. Untersuchungen in verschiedenen Studien zu der gleichen Bewirtschaftungspraktik unterscheiden sich in zahlreichen Aspekten, wie den untersuchten Standorten, klimatischen Bedingungen, Beobachtungsjahren, Messzeitpunkten, Messmethoden, Bewirtschaftungshistorien und in den weiteren angewandten Bewirtschaftungspraktiken. So können in zwei Studien, in denen beispielsweise die Bodenbearbeitung untersucht wird, gleichzeitig komplett unterschiedliche Düngeregime durchgeführt werden, was wiederum das Ergebnis beeinflussen kann. Ein weiterer Faktor, der das Ergebnis beeinflusst, jedoch nicht auf die untersuchte Praktik zurückzuführen ist, ist die Beprobungstiefe, die bei allen Indikatoren zum organischen Bodenkohlenstoff einen signifikanten Einfluss aufzeigt. Generell sind organische Bodenkohlenstoff-Gehalte und -Vorräte in oberen Bodenschichten höher.

Die von uns untersuchten Bewirtschaftungspraktiken haben jedoch auch einen Einfluss auf die Schutzgutindikatoren. Zwar konnten für die Bodenbearbeitung in dieser Arbeit keine signifikanten Effekte festgestellt werden, aber der Trend, dass ein Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung einen positiven Einfluss auf den organischen Bodenkohlenstoff hat, findet sich auch in der Literatur wieder (Haddaway et al., 2017). Es ist jedoch zu beachten, dass durch wendende Bodenbearbeitung ein Austausch von oberen und unteren Bodenschichten stattfindet. Wenn dieser Aspekt im Studiendesign nicht berücksichtigt wird, können falsche Schlüsse für den Effekt der Bodenbearbeitung gezogen werden, da weniger eine Erhöhung, sondern eher eine Umverteilung des organischen Bodenkohlenstoffs beobachtet wird (Baker et al., 2007).

Aus der Literatur geht hervor, dass die Inputs in landwirtschaftliche Systeme, durch Dünger und Pflanzen, einen großen Einfluss auf den organischen Bodenkohlenstoff haben (Bolinder et al., 2012). In den Ergebnissen dieser Arbeit sehen wir, dass der Düngertyp einen Einfluss haben kann. Der Verzicht auf Dünger resultiert in geringeren SOC-Gehalten, auch wenn dieser Trend nur bei wenigen Düngemitteln signifikant ist.

Die angebaute Fruchtfolge hat ebenfalls einen Einfluss auf organisches Material im Boden. Sowohl die Diversität der Fruchtfolge als auch der Anbau von Zwischenfrüchten kann Bodenkohlenstoff fördern (Ouda et al., 2018; Poeplau und Don, 2015). In dieser Arbeit ist lediglich der Anbau von Leguminosen in der Fruchtfolge ein relevanter Faktor. Im Fall des SOC-Gehalts haben Leguminosen einen signifikant positiven, im Fall des SOC-Vorrats einen nicht-signifikant negativen Effekt. Dieser Unterschied ist vermutlich weniger auf den Leguminosenanbau an sich, sondern eher auf studienspezifische Unterschiede zurückzuführen.

4 Schlussfolgerung

Humusbilanzen und C_{org}-Gehalte, auch wenn sie eine gute Aussagekraft haben können, besitzen als Indikatoren eindeutige Schwächen, die für Justiziabilität und Betrugsanfälligkeit, Datenqualität und Transaktionskosten relevant sind. Die zurzeit laufenden Projekte, zum Beispiel das Humus-Klima-Netzwerk, und Berechnungswerkzeuge wie BESyD in Sachsen und anderen Bundesländern könnten mittelfristige Lösungen anbieten. Die engere Verbindung von Humusbilanzen und C_{org}-Gehalten mit der Düngeverordnung und Stoffstrombilanzverordnung wäre auch relevant.

Tabelle 4-1: Gesamtbewertung der Indikatoren HB und Corg

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

Quelle: Eigene Darstellung.

Zurzeit sind die Indikatoren HB und Corg wegen der erwähnten Schwierigkeiten für das Honorierungssystem nicht geeignet. Anteil mehrj. Kleegras/Leguminosen (AKG, UGÖ-Schlussbericht Teil II.12) bietet eine verlässlichere und einfachere Lösung an, um Humusaufbau für Boden und Klima wahrzunehmen.

5 Literaturverzeichnis

BMEL (2019) Ackerbaustrategie 2035: Perspektiven für einen produktiven und vielfältigen Pflanzenbau. Diskussionspapier. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Drexler S, Broll G, Don A, Flessa H (2020) Standorttypische Humusgehalte landwirtschaftlich genutzter Böden Deutschlands. Thünen Report 75. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut

Hu T, Sørensen P, Wahlström EM, Chirinda N, Sharif B, Li X, Olesen JE (2018) Root biomass in cereals, catch crops and weeds can be reliably estimated without considering aboveground biomass. Agriculture, Ecosystems & Environment 251:141-148. doi: 10.1016/j.agee.2017.09.024

Hülsbergen K-J, Diepenbrock W, Rost D (2000) Analyse und Bewertung von Umweltwirkungen im Landwirtschaftsbetrieb: Das Hallesche Konzept. In: Landwirtschaftliche Fakultät (ed) Die Agrarwissenschaften im Übergang zum 21.Jahrhhundert: Herausforderungen und Perspektiven. Halle-Wittenberg: Martin-Luther-Universität

Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensior A, Poeplau C, Riggers C, Schneider F, Tiemeyer B, Vos C, Wittnebel M, Müller T, Säurich A, Fahrion-Nitschke A, Gebbert S, Hopfstock R, Jaconi A, Kolata H, Lorbeer M, Schröder J, Laggner A, Weiser C, Freibauer A (2018) Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Braunschweig: Thünen Institut. Thünen Report 64

Johannes A, Matter A, Schulin R, Weisskopf P, Baveye PC, Boivin P (2017) Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? Geoderma 302:14-21. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.04.021

Kolbe H (o.J.) Vergleich von Bilanzierungsmethoden für Humus an Hand langjähriger Dauerversuche. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, zu finden in <https://docplayer.org/62471870-Saechsische-landesanstalt-fuer-landwirtschaft-vergleich-von-bilanzierungsmethoden-fuer-humus-an-hand-langjaehriger-dauerversuche.html> [zitiert am 03.11.21]

Leithold G (2004) Humusbilanzausgleich durch organische Düngemittel. In: Wiemer K, Kern M (eds) Bio- und Restabfallbehandlung. Witzenhausen: Institut für Abfall, Umwelt und Energie: pp 408-420, zu finden in <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1515/>

Leithold G, Brock C (2006) Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Vortrag im Rahmen des Fachgespräches Systembewertung im ökologischen Landbau, 14./15. April 2005, in Freising, zu finden in <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2006/3134/>

Ortner M, Thiele-Bruhn S, Seidel M, Semella S, Vohland M (2020) Screening-Methoden zum kostengünstigen Nachweis einer Versorgung mit organischer Substanz auf Ackerböden und Grünland. Abschlussbericht. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt

Prout JM, Shepherd KD, McGrath SP, Kirk GJD, Haefele SM (2021) What is a good level of soil organic matter?: An index based on organic carbon to clay ratio. European Journal of Soil Science 72(6):2493-2503. doi: 10.1111/ejss.13012

Reeb D (2004) Analyse und Bewertung des Humus- und Nährstoffhaushaltes ackerbaulich genutzter Böden des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II, Justus-Liebig-Universität Gießen. Bachelorarbeit, zu finden in <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1811/pdf/ReebDominik-2004-09-24.pdf>

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

Steinmann T, Welp G, Wolf A, Holbeck B, Große-Rüschkamp T, Amelung W (2016) Repeated monitoring of organic carbon stocks after eight years reveals carbon losses from intensively managed agricultural soils in Western Germany. J. Plant Nutr. Soil Sci. 179(3):355-366. doi: 10.1002/jpln.201500503

VDLUFA (2014) Humusbilanzierung: Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt, zu finden in <https://www.vdlufa.de/download/Humus/Standpunkt_Humusbilanzierung.pdf> [zitiert am 03.11.21]

Zepp S, Heiden U, Bachmann M, Wiesmeier M, Steininger M, van Wesemael B (2021) Estimation of Soil Organic Carbon Contents in Croplands of Bavaria from SCMaP Soil Reflectance Composites. Remote Sensing 13(16):3141. doi: 10.3390/rs13163141

6 Indikatorberichtsanhang – Humusbilanz (Bleistift-Version) nach VDLUFA/LfL[14]

1. Humuswirkung der angebauten Kulturen und deren Nebenprodukten

- geben Sie zunächst die Bezeichnung der Fläche und den Zeitraum in Jahren an (z. B. von "2012" bis einschl. "2015", d. h. 4 Jahre
- geben Sie in Spalte A an, wie häufig jede Frucht in der Fruchtfolge vertreten war und - soweit Nebenprodukte (Rübenblatt, Stroh, Grün-düngung) auf der Fläche verblieben sind - in Spalte D und E jeweils in wie vielen Jahren das Nebenprodukt innerhalb einer Fruchtfolge auf dem Feld verblieben ist sowie den geschätzten oder gemessenen Ertrag des Haupternteprodukts
- in Spalte B gelten für konventionell bewirtschaftete Flächen die oberen, für ökologisch bewirtschaftete Flächen die unteren Werte
- Berechnen Sie die Spalten C, G, I und J, Kommastellen auf-/abrunden
- Gemenge werden wie die im Gemenge dominierende Fruchtart behandelt

Bezeichnung der Ackerfläche	Zeitraum (Jahr) von	bis			

Spalte	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Kulturart	angebaute Früch-te	Humuswirkung durch den Anbau		Einarbeitung von Stroh, Rübenblatt, Gründüngung	Ertrag Haupternteprodukt	Verhältnis Rübe : Blatt bzw. Korn : Stroh	Anfall an Stroh, Rübenblatt, Gründüng.	Humuswirkung der Nebenprodukte		gesamte Veränderung der Humusvorräte
	pro FF	HÄ/ (ha*a)	HÄ / ha	pro FF	dt / ha		dt / ha	HÄ /dt	HÄ / ha	HÄ / ha
Berechnung		konv. / ökol.	A*B				D*E*F		G*H	C + I
Hackfrüchte										
Futterrüben		-1.300 / -1.840				0,4		1,0		
Zuckerrüben		-1.300 / -1.840				0,7		1,3		
Kartoffeln		-1.000 / -1.240		-	-	-	-	-	-	
Mais, Hirse										
Körnermais		-800 / -1.040				1,0		7		
Silomais		-800 / -1.040		-	-	-	-	-	-	
Sudangras		-800 / -1.040		-	-	-	-	-	-	
Getreide										
Braugerste		-400 / -520				0,7		7		
Sommerfuttergerste		-400 / -520				0,8		7		
Hafer		-400 / -520				1,1		7		
Sommerweizen		-400 / -520				0,8		7		
Dinkel		-400 / -520				0,8		7		
Wintergerste		-400 / -520				0,7		7		
Winterroggen		-400 / -520				0,9		7		
Wintertriticale		-400 / -520				0,9		7		
Winterweizen		-400 / -520				0,8		7		
Getreide für Ganzpflanzen-nutzung ab Blühbeginn		-400 / -520		-	-	-	-	-	-	
Öl- und Faserpflanzen										
Öllein		-400 / -520				1,5		7		
Sonnenblumen		-400 / -520				2,0		7		
Sommerraps		-400 / -520				1,7		7		
Winterraps/-rübsen		-400 / -520				1,7		7		
Körnerleguminosen										
alle Arten		160		-	-	-	-	-	-	
									Zwischensumme	

[14] https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/humusbilanz_beratung_bleistift-version_nov_2014_2.pdf, abgerufen am 20.07.2023.

									Übertrag Zwischensumme	
Spalte	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**
Ackergras, Futterleguminosen, Bockshorn-, Schabziger-, Steinklee, einschl. Gemenge und Vermehrung										**1)**
je Hauptnutzungsjahr		800		-	-	-	-	-	-	
im Ansaatjahr als Blanksaat im Frühjahr		500		-	-	-	-	-	-	
im Ansaatjahr mit Grünfutter-Deckfrucht		400		-	-	-	-	-	-	
im Ansaatjahr mit Körner-Deckfrucht ("Untersaat")		300		-	-	-	-	-	-	
im Ansaatjahr als Blanksaat im Spätsommer		150		-	-	-	-	-	-	
Obst-, Gemüse-, Duft-, Gewürz- und Heilpflanzen										
Blumenkohl, Brokkoli, China-kohl, Fingerhut, Gurke, Knollen-sellerie, Kürbis, Porree, Rha-barber, Rotkohl, Stabtomate, Stangensellerie, Weißkohl, Wir-sing, Zucchini, Zuckermelone		-1.000 -1.240		-	-	-	-	-	-	
Aubergine, Chicoree (Wurzel), Goldlack, Kamille, Knoblauch, Kohlrübe, Malve, Möhre, Meer-rettich, Paprika, Pastinak, Rin-gelblume, Schöllkraut, Schwarzwurzel, Sonnenhut, Zuckermais		-800 -1.040		-	-	-	-	-	-	
Ackerschachtelhalm, Alant, Arzneifenchel, Baldrian, Bergarnika, Bergbohnenkraut, ... [2]		-400 -520		-	-	-	-	-	-	
Zwischenfrüchte [3]					**(bei 10 % TM)**					**3)**
Untersaat: Phazelie, Inkarnat-klee, Serradella, Weißklee, Rotklee u. ä.		250			190	1		0,8		
Untersaat: Alexandrinerklee, Buchweizen, Weidelgras u. ä.		250			250	1		0,8		
Stoppelsaat: Wintergetr. (z. B. Grünroggen), Einarbeiten / Ab-fahren bis Ende Ährenschieben		-120			280	1		0,8		
Stoppelsaat: Phazelie, Sommerwicken, Inkarnatklee u. ä.		100			190	1		0,8		
Stoppelsaat: Ackerbohnen/Erbsen/Wicken-Gemenge, Alexandriner-klee, Ackerbohnen, Buchweizen, Erbsen, Ölrettich, Sommerraps, -rübsen, 1jähr. Weidelgras u. ä.		100			250	1		0,8		
Stoppelsaat: Erbsen / Sonnenblumen-Gemenge, Senf, Sonnenblumen u. ä.		100			300	1		0,8		
Stoppelsaat: Welsches Weidel-gras, Winterraps, -rübsen u. a. Winter-Zwischenfrüchte		140			250	1		0,8		
Brache / GLÖZ-Flächen										
Selbstbegrünung mindestens ab Herbst des Vorjahres		180		-	-	-	-	-	-	
Selbstbegrünung ab Frühjahr des Brachejahrs		80		-	-	-	-	-	-	
gezielte Begrünung ab Sommer der Brachlegung inkl. des folgenden Jahres mit einer Klee-/Gras- oder Blühmischung		700		-	-	-	-	-	-	
gezielte Begrünung ab Frühjahr des Brachejahres mit einer Klee-/Gras- oder Blühmischung		400		-	-	-	-	-	-	
									Summe 1 (HÄ / ha über die gesamte Fruchtfolge)	

1) die berechnete Humusnachlieferung durch Feldfutter gilt nur, wenn der zu erwartende Frischmasseertrag im Hauptnutzungsjahr über 50 t/ha liegt, andernfalls sollten hier nur 75 % des errechneten Wertes angerechnet werden

2) ..., Bergbohnenkraut, Brennnessel, Drachenkopf, Dill, Dost, Eibisch, Eichblattsalat, Eisbergsalat, Endivie, Engelswurz, Erdbeere, Estragon, Faserpflanzen, Feldsalat, Fenchel, Goldrute, Grünerbse, Grünkohl, Hopfen, Johanniskraut, Kohlrabi, Kopfsalat, Kornblume, Kümmel, Lollo, Liebstöckel, Majoran, Mangold, Mutterkraut, Nachtkerze, Ölfrüchte, Petersilie, Pfefferminze, Radicchio, Radies, Rettich, Romana, Rote Rübe, Salbei, Schafgarbe, Schnittlauch, Spinat, Spitzwegerich, Stangenbohne, Tabak, Thymian, Zitronenmelisse, Zwiebel

3) die berechnete Humusnachlieferung durch Zwischenfrüchte gilt nur, wenn der Bestand 80 % Bodenbedeckung erreicht hat. War der Bestand dünner, sollten hier nur 70 % des errechneten Wertes angerechnet werden

2. Zufuhr von zusätzlichem organischem Material in der gesamten Fruchtfolge

- Tragen Sie in Spalte A die insgesamt im Verlauf der Fruchtfolge (FF) auf die Fläche ausgebrachte Menge an organischen Dünger in t / ha ein
- berechnen Sie das Produkt aus den Spalten A und B
- für Substrate in flüssiger Form (bis ca. 15 % TM) können die Angaben auch in m3 erfolgen

		Trockenmasse-gehalt (TM) %	aufgebrachtes org. Material t / ha u. FF	Humusfaktor HÄ / t bzw. m^3	damit erfolgte Zu-fuhr an Humus HÄ / ha
Organisches Material			A	B	A * B
Stallmist	frisch	20		28	
		30		40	
	verrottet	25		40	
		35		56	
	kompostiert	35		62	
		55		96	
Gülle *	Schwein	2		2	
		4		4	
		6		6	
		8		8	
	Rind	2		3	
		4		6	
		7		9	
		10		12	
		12		14	
	Geflügel (Kot)	15		12	
		25		22	
		35		30	
		45		38	
	feste Fraktion aus separierter Gülle	20		32	
		30		48	
		40		64	
Bioabfall	nicht verrottet	20		30	
		30		46	
		40		62	
	Frischkompost	30		40	
		40		53	
		50		66	
	Fertigkompost	40		46	
		50		58	
		60		70	
				Zwischensumme	

		Trockenmasse-gehalt (TM) %	aufgebrachtes org. Material t / ha u. FF	Humusfaktor HÄ / t bzw. m^3	damit erfolgte Zu-fuhr an Humus HÄ / ha
Organisches Material			A	B	A * B
				Übertrag Zwischensumme	
Klärschlamm *	ausgefault, unbehandelt	5		4	
		10		8	
		15		12	
		25		28	
		35		40	
		45		52	
	kalkstabilisiert	20		16	
		25		20	
		35		36	
		45		46	
		55		56	
Gärreste *	flüssig	4		6	
		7		9	
		10		12	
	fest	25		36	
		35		50	
	Kompost	30		40	
		60		70	
Stroh	z. B. zu Erdbeeren	86		100	
Sonstiges *	Rindenkompost	30		60	
		50		100	
	See-, Teichschlamm	10		10	
		40		40	
	Marktabfälle, Grünschnitt, Kleegras u. ä.	10		8	
		12		10	
		14		11	
		16		13	
		18		14	
		20		16	
		22		18	
		24		19	
		26		21	
		28		22	
		30		24	
				Summe 2 (HÄ / ha über die gesamte Fruchtfolge)	

* für Substrate in flüssiger Form (bis ca. 15 % TS) gelten die Angaben mit ausreichender Genauigkeit auch pro m^3

THÜNEN

UGÖ--Schlussbericht Teil II.8

Kontext, Methodik und Qualität von Indikatoren zur Bewertung von Umweltleistungen: Humusbilanzen (HB) und Gehalt an organischem Kohlenstoff (Corg)

Thünen-Institut für Betriebswirtschaft
Bundesallee 63
DE-38116 Braunschweig