

Indikator-Factsheet: Humusgehalte von Acker- und Grünlandböden

Verfasser*innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3711 41 106	
Mitwirkung:	für 2015 und 2019: Umweltbundesamt (UBA), Fachgebiet II 2.7 Bodenzustand, Bodenmonitoring (Dr. Frank Glante, Marc Marx, Jeannette Mathews) Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (Dr. Robert Beck) für 2023: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau (Dr. Martin Wiesmeier)	
Letzte Aktualisierung:	30.04.2014	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Ersterstellung
	05.09.2018	UBA, FG II 2.7 (Marc Marx)
	21.12.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Leichte Änderungen bei der Indikator-Darstellung, textliche Anpassungen und Ergänzungen, Darstellung der Perspektiven für die Weiterentwicklung
	08.03.2023	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): In Abstimmung mit LfL (Dr. Martin Wiesmeier) Aufnahme der Ergebnisse der Grünland-BDF in die Indikatordarstellung, Titel des Indikators entsprechend geändert (vormals Humusgehalte von Ackerböden)
	06.11.2023	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Aktualisierung der Links
Nächste Fortschreibung:	Die Fallstudie für Bayern soll für den Monitoringbericht 2027 durch eine bundesweite Darstellung ersetzt werden. Im Rahmen des UBA-Vorhabens „Ausbau und Weiterentwicklung bodenbezogener Indikatoren für die nationale und EU-weite Berichterstattung zur Klimaanpassung und zum Klimaschutz“ (FKZ 3722 74 201 0) wird seit Januar 2023 daran gearbeitet, weitere Indikatoren aus bundesweiten harmonisierten qualitätsgesicherten Bodeninformationen zu generieren. Es soll im Rahmen dieses Vorhabens auch ein Indikator zur organischen Substanz entwickelt werden. Es wird zudem weiter diskutiert, ob in Zukunft anstelle der Humusgehalte – analog zum Indikator FW-R-3 „Humusvorrat in Waldböden“ – die Humusvorräte abgebildet werden. Hierzu bedarf es allerdings einer Erfassung der Lagerungsdichte (die beispielsweise in Bayern nur für die initiale und die letzte Probenahmeserie 2020/2021 durchgeführt wurde).	

I Beschreibung

Interne Nr. BO-R-1	Titel:
	Humusgehalte von Acker- und Grünlandböden
	Fallstudie für Bayern

Einheit: <u>Teil A:</u> mg/g <u>Teil B:</u> mg/g <u>Teil C:</u> mg/g <u>Teil D:</u> mg/g	Kurzbeschreibung des Indikators: <u>Teil A:</u> Humusgehalt (organischer Kohlenstoff C_{org}) im Oberboden von ackerbaulich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen in Bayern (BDF) <u>Teil B:</u> Humusgehalt (organischer Kohlenstoff C_{org}) im Oberboden von Grünland-Bodendauerbeobachtungsflächen in Bayern (BDF) <u>Teil C:</u> Gehalt von Gesamtstickstoff (N_t) im Oberboden von ackerbaulich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen in Bayern <u>Teil D:</u> Gehalt von Gesamtstickstoff (N_t) im Oberboden von Grünland-Bodendauerbeobachtungsflächen in Bayern Berechnungsvorschrift: <u>Teil A:</u> Mittlerer C_{org} -Gehalt = Summe der C_{org} -Gehalte (Masseprozent) aller betrachteten Acker-BDF in Bayern / Anzahl aller betrachteten Acker-BDF in Bayern <u>Teil B:</u> Mittlerer C_{org} -Gehalt = Summe der C_{org} -Gehalte (Masseprozent) aller betrachteten Grünland-BDF in Bayern / Anzahl aller betrachteten Acker-BDF in Bayern <u>Teil C:</u> Mittlerer N_t -Gehalt = Summe der N_t -Gehalte (Masseprozent) aller betrachteten Acker-BDF in Bayern / Anzahl aller betrachteten Acker-BDF in Bayern <u>Teil D:</u> Mittlerer N_t -Gehalt = Summe der N_t -Gehalte (Masseprozent) aller betrachteten Acker-BDF in Bayern / Anzahl aller betrachteten Grünland-BDF in Bayern
Interpretation des Indikatorwerts:	<u>Teile A und B:</u> Je höher der Indikatorwert, desto höher der Gehalt an organischem Kohlenstoff C_{org} <u>Teile C und D:</u> Je höher der Indikatorwert, desto höher der Gehalt an Gesamtstickstoff N_t

II Einordnung

Handlungsfeld:	Boden
Themenfeld:	Anpassung der Landnutzung, des Flächenmanagements
Thematischer Teilaspekt:	Managementmaßnahmen zur Verminderung der Vulnerabilität
DPSIR:	Response

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	keine
Begründung:	Humusgehalte und Klimaveränderungen: Zwischen Klimaveränderungen und dem Gehalt an Humus bzw. seinem wichtigsten Bestandteil, dem organischen Kohlenstoff (C_{org}), gibt es vielfältige Wechselwirkungen: 1. Klima und Witterung haben Einfluss auf Humusbildung und -abbau im Boden. 2. Humus bzw. der organische Kohlenstoff im Boden ist ein wichtiger Bestandteil des globalen Kohlenstoffkreislaufs; Aufbau- und Abbauprozesse

	von Humus bzw. organischem Kohlenstoff entscheiden, ob Böden Senken oder Quellen von CO₂ sind. 3. Humus spielt eine herausragende Rolle für die Bodenqualität. Humusreiche Böden sind i.d.R. ertragsreicher und können mehr Wasser aufnehmen und halten. Man kann daher davon ausgehen, dass die Sicherung einer standortabhängigen („optimalen“) Humusgehaltsspanne ein wesentlicher Baustein zur Anpassung der Böden an die Folgen des Klimawandels ist. Der DAS-Response-Indikator fokussiert auf den oben beschriebenen dritten Sachverhalt. Dennoch werden im Folgenden zur richtigen Einordnung des Indikators auch die beiden erstgenannten Wechselwirkungen erläutert. <u>Zu 1: Einfluss von Klima und Witterung auf den Humushaushalt</u> Das Klima bzw. die Witterung spielt eine wichtige Rolle bei Auf- und Abbauprozessen von Humus. Erhöhte Jahresmitteltemperaturen bewirken in der Regel eine Erhöhung der mikrobiellen Aktivität im Boden. Zudem verlängert sich möglicherweise die Dauer der Aktivität der Bodenmikroorganismen durch den Klimawandel im Jahresverlauf. Eine verstärkte mikrobielle Aktivität verursacht eine Erhöhung der Mineralisation und führt zu einem verstärkten Abbau der organischen Bodensubstanz. Der Umfang des damit verbundenen Humuschwunds ist stark abhängig von Temperatur und Feuchtegehalt des Bodens. Außerdem können den Böden durch das prognostizierte steigende Erosionsrisiko über den Abtrag des oberflächennahen Materials relevante Mengen an Humus verloren gehen (Kaufmann-Boll et al. 2011, LABO 2010). Zugleich wird diskutiert, dass die Primärproduktion der Pflanzen bei klimatisch bedingt günstigeren Standorteigenschaften ansteigen kann und damit dem Boden auch verstärkt organisches Material zugeführt wird (Kaufmann-Boll et al. 2011). Es wird vermutet, dass dieser gegenläufige Prozess die durch die verstärkte Mineralisation bedingten Humusverluste in gewisser Weise kompensieren könnte (Gottschalk et al. 2012). Zumindest für landwirtschaftlich genutzte Böden bestehen allerdings erhebliche Zweifel, ob es durch den Klimawandel zu einem erhöhten Eintrag organischen Materials kommt, da es deutliche Anzeichen für eine Stagnation von Ernteerträgen gibt, die direkt mit der Menge eingetragenen organischen Materials zusammenhängen. In Bayern stagnieren die Erträge zahlreicher Kulturen, insbesondere Getreide, seit etwa Mitte der 1990er Jahre, was vermutlich mit einem stagnierenden Eintrag organischen Materials in Böden verbunden ist (Wiesmeier et al. 2014, 2015). Da sich die erwähnten Prozesse nur schwer quantifizieren lassen, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine verlässliche Prognose hinsichtlich der Entwicklung der Humusvorräte gestellt werden. Auch ClimSoil (Schils et al. 2008) berichtet nicht über einen eindeutigen und klar gerichteten Effekt des Klimawandels auf den organischen Kohlenstoffvorrat von mineralischen Böden (teilweise sich überlagernde Einflüsse von Temperaturanstieg, erhöhten CO₂-Konzentrationen, veränderten Niederschlags- und Grundwasserverhältnissen). Hinzu kommt, dass humusdynamische Prozesse in ackerbaulichen Ökosystemen grundsätzlich sehr langsam und langfristig ablaufen. Auch aus diesem Grunde sind entsprechende Projektionen nur in begrenztem Umfang möglich (Wessolek et al. 2008). Ein erster Ansatz einer Modellierung der Humusentwicklung in bayerischen Acker- und Grünlandböden im 21. Jahrhundert zeigte unter verschiedenen Ertragsszenarien und einem gemäßigten Klimaszenario einen generellen Rückgang der Humusvorräte (Wiesmeier et al. 2016). Für belastbare Ergebnisse sind jedoch weitere Daten, insbesondere zum Eintrag organischen Materials in Böden, notwendig. Die größten Veränderungen des Humusstatus werden jedoch durch sich ändernde Nutzungen induziert (Wessolek & Asseng 2006), Witterung und Klima spielen also nur eine nachgeordnete Rolle. Dies gilt in besonderer Weise für landwirtschaftlich genutzte Böden. Dabei sind wesentlich die Nutzungsform (z. B. Grünland oder Acker) und die Nutzungspraktiken (z. B. Fruchtfolgen,
--	--

	Düngepraxis und Umgang mit Ernte- und Wurzelrückständen und Zwischenfrüchten) angesprochen (LABO 2010). Eine Quantifizierung des Klimawandeleinflusses auf die Entwicklung der Humusvorräte erscheint vor diesem Hintergrund außerordentlich schwierig (Capriel 2013). Zum jetzigen Forschungsstand überdeckt der Einfluss von Bewirtschaftungsfaktoren die möglichen Einflüsse des Klimawandels. Für Waldstandorte in den bayerischen Alpen ist dieser Einfluss allerdings inzwischen nachgewiesen worden (Prietz et al. 2016). <u>Zu 2: Humus als Bestandteil des globalen Kohlenstoffkreislaufs</u> In den Böden der Welt sind gegenwärtig insgesamt ca. 1.460 Milliarden Tonnen Kohlenstoff gespeichert, womit Böden den größten terrestrischen Kohlenstoffspeicher der Erde darstellen (Scharlemann et al. 2014). Sowohl land- als auch forstwirtschaftlich genutzte Böden haben schon allein aufgrund ihrer Flächenausdehnung ein immenses Potenzial zur Kohlenstoffspeicherung (Wiesmeier 2014). Aufgrund dieser immensen Kohlenstoffvorräte in Böden sowie des Ausmaßes der CO₂-Flüsse zwischen Boden und Atmosphäre können bereits geringfügige Änderungen im C_{org}-Gehalt der Böden erhebliche Auswirkungen auf das Klima und die Bodenqualität haben (Schils et al. 2008, LABO 2010). Insbesondere für organische Böden und hier insbesondere die Moore, die große Senken von Kohlenstoff sein können, besteht die Gefahr, dass sie sich infolge von Veränderungen von Management oder Bewirtschaftung (z. B. Moorkultivierung, Grünlandumbruch oder Drainierung) oder durch klimatische Veränderungen (Austrocknung oder Auftauen) zu Quellen von CO₂-Emissionen entwickeln (BayStMUV 2015: 70). <u>Zu 3: Sicherung eines optimalen Humusgehalts als Beitrag zur Anpassung der Böden an die Folgen des Klimawandels</u> Humus hat immense Bedeutung für die Verbesserung nahezu aller Bodeneigenschaften. Eine ausreichende Humusversorgung ackerbaulich genutzter Böden dient der nachhaltigen Sicherung ihrer Produktivität. Humus beeinflusst die physikalischen, chemischen und biologischen Bodenfunktionen. Hierzu zählen (Ebertseder et al. 2014): • die Speicherung von Nährstoffen und Wasser, • das Filter- und Puffervermögen, • die biologische Aktivität, • das Bodengefüge (Förderung der Aggregatstabilität, positive Beeinflussung des Luft- und Wasserhaushalts, Schutz vor Schadverdichtung und Erosion). Vor allem auf tonarmen Sandböden sind die gefügestabilisierenden Funktionen des Humus von großer Bedeutung für die Fruchtbarkeit. Auf sandigen Standorten trägt der Humus ganz wesentlich zum Nähr- und Schadstoffbindungsvermögen der Böden bei und verbessert deren Wasserspeicherkapazität. Allerdings können zu hohe Humuszufuhren auch nachteilige Auswirkungen haben. In Folge des hohen Mineralisierungspotenzials kann es zu Schadstoff-Austrägen in die Hydro- und Atmosphäre kommen. Anzustreben ist daher eine „optimale Humusversorgung“, die zwischen den Eckpunkten einer Über- und Unterversorgung liegt, aber standortabhängig unterschiedlich zu definieren ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine optimale Humusversorgung erheblich dazu beitragen kann, die Böden auf die zu erwartenden Klimaveränderungen und deren Folgen wie u. a. vermehrte sommerliche Austrocknung oder auch erhöhtes Erosionsrisiko vorzubereiten (LABO 2010). Eine systematische, quantitative Analyse der Zusammenhänge zwischen Humusgehalt und Bodenfunktionen liegt bisher allerdings nur für Teilfunktionen wie die Wasserspeicherung und die Kationenaustauschkapazität, jedoch noch keineswegs für alle relevanten Bodenfunktionen vor. Dies liegt auch darin begründet, dass die Zusammenhänge zwischen Bodenfunktionen und der organischen Substanz i.d.R. (mit Ausnahme der o.g. Teilfunktionen) weniger auf den
--	--

	Gesamtgehalten basieren als auf einzelnen Fraktionen. So dient z. B. insbesondere die leicht abbaubare organische Substanz als Lebensgrundlage für Bodenorganismen und daran geknüpfte Prozesse (Aggregation, Abbau organischer Schadstoffe, Nährstofffreisetzung). Stark umgewandelte organische Substanz ist besonders wichtig für die Sorption von Kationen und organischen Schadstoffen. Diese Komplexität der Zusammenhänge ist der Grund dafür, dass es bis heute noch keine belastbaren, an Bodenfunktionen und Standorttypen orientierten Angaben zu Optimalgehalten organischer Substanz in Böden gibt (Wessolek et al. 2008). Der DAS-Response-Indikator „Humusgehalte von Acker- und Grünlandböden“ beruht auf der Hypothese, dass landwirtschaftlich genutzte Böden mit „optimalen“ Humusgehalten aus derzeitiger Sicht besser auf die steigenden Risiken u. a. von Starkregen und Austrocknung etc. vorbereitet sind als solche mit standortgemäß zu niedrigen oder zu hohen Gehalten. Das Ziel einer Stabilisierung der Böden durch optimale Humusgehalte deckt sich auch mit gleichlautenden Zielformulierungen u.a. im BBodSchG. Die Entwicklung der Humusgehalte „Response“ lässt sich wenn auch nicht komplett, so doch in Teilen (d. h. im Hinblick auf bestimmte Humusfraktionen) durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung beeinflussen. Ergebnisse aus Bayern zeigen, dass Acker-BDF mit höherem Mais- und Hackfruchtanteil und einem niedrigeren Getreide-, Raps- und Futterleguminosen-Anteil in der Fruchtfolge diejenigen BDF sind, auf denen die Humusgehalte seit Ende der 1980er Jahre signifikant zurückgegangen sind. Dies konnte im bundesweiten Trend nicht ausreichend bestätigt werden (Marx et al. 2016). Relevant ist außerdem die Düngepraxis: Die abnehmende Bedeutung des Stallmistes zugunsten der Güllewirtschaft und das Abfahren von Stroh führen dazu, dass dem Boden weniger organischer Kohlenstoff zugeführt wird. Auch der Umfang des Zwischenfruchtanbaus zur Gründüngung spielt eine wichtige Rolle für die Humuserhaltung (Capriel & Seiffert 2009).
Einschränkungen:	Die Erhebungen zum C_{org}-Gehalt sind grundsätzlich mit größeren methodischen Unsicherheiten behaftet. Grundsätzlich sind die Messergebnisse stark von der Probenahme abhängig und können auch auf kleinräumiger Ebene deutlich variieren. Die zwischen den Erhebungen ermittelten Änderungen bewegen sich teilweise im Bereich von Messungenauigkeiten. Bei den Grünland-BDF, die generell im Vergleich zu Ackerböden höhere C_{org}-Gehalte aufweisen, sind diese Messungenauigkeiten noch relevanter. Es bestünde dringender Bedarf, unterschiedlich stabile C-Fractionen regelhaft in die Monitoringprogramme zu integrieren, um die Messgenauigkeiten zu verbessern. Hinsichtlich der Repräsentativität der Ackerflächen zeigte sich, dass die Verteilung der Acker-BDF auf die Boden- und Standorteigenschaften wie auch auf Bewirtschaftungsaspekte und regionalen Klimate in Bayern grundsätzlich als repräsentativ erachtet werden können (Treisch & Burmeister 2022). Leicht unterrepräsentiert waren lediglich Betriebe mit Viehhaltung. Im Falle der Grünland-BDF ergeben sich Einschränkungen bei der Repräsentativität, da diese fast ausschließlich im Bereich des Alpenvorland liegen. Dort befindet sich zwar auch der überwiegende Teil des bayerischen Grünlands, aber andere Klimabereiche in Bayern, in denen es ebenfalls Grünlandnutzung gibt, sind damit nicht berücksichtigt. Dies muss bei der Diskussion der BDF-Auswertungsergebnisse in jedem Falle berücksichtigt werden. Für die Auswertung der Daten der bayerischen landwirtschaftlich genutzten BDF wurden gezielt nur diejenigen BDF ausgewählt, auf denen im Beobachtungszeitraum keine Nutzungsänderungen (z. B. Umbruch von Grünland) stattgefunden haben. Dennoch ist bekannt, dass auch die längerfristige Nutzungshistorie (noch vor Beginn der BDF-Datenerhebungen) Einfluss auf die Entwicklung der Humusgehalte in Böden nimmt. Vor diesem Hintergrund bleiben auch

	für die ausgewählten BDF noch gewisse Unsicherheiten für die Interpretation der Daten. Aufgrund der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Klimaveränderungen und dem Gehalt an Humus im Boden (s. die unter „Begründung“ dargestellten Zusammenhänge) ist bei der Erläuterung des Indikators im Indikatorenbericht große Sorgfalt geboten, um die dem Indikator zugrunde liegende Hypothese, dass landwirtschaftlich genutzte Böden mit standorttypischen Humusgehalten aus derzeitiger Sicht besser auf die steigenden Risiken u. a. von Starkregen und Austrocknung vorbereitet sind als solche mit standortgemäß zu niedrigen oder zu hohen Gehalten, eindeutig darzustellen und von den anderen Zusammenhängen abzugrenzen. Erstrebenswert wären neben der Darstellung der C_{org}-Gehalte die der C_{org}-Vorräte bezogen auf eine festgelegte Bodentiefe, da die landwirtschaftlichen Oberböden sehr unterschiedlich mächtig sein können. Hinzu kommt, dass bei tiefen Pflugfurchen Verdünnungseffekte insbesondere bei Betrachtung längerer Zeiträume sehr wahrscheinlich sind. Derzeit ermöglichen die BDF-Daten bei einer länderübergreifenden Betrachtung keine vergleichbare Abbildung der C_{org}-Vorräte.
Erläuterungen zur Fallstudie:	Daten zu Humusgehalten werden bereits in unterschiedlichen Bodenbeobachtungs-Programmen erhoben. Für bundesweite Auswertungen bieten sich am ehesten die Erhebungen im Rahmen der Bodendauerbeobachtung (BDF) an, da diese methodisch weitgehend vereinheitlicht und wiederholt durchgeführt werden. Im Rahmen des BDF werden auch die Parameter C_{org} und N_t erfasst. Im UBA gibt es seit mehreren Jahren Bemühungen zur länderübergreifenden Auswertung der BDF-Daten (u.a. Spatz 2001, Huscheck et al. 2004, Schilli et al. 2011, Marx et al. 2016). Die Daten zur Fallstudie stammen aus der landwirtschaftlichen Bodendauerbeobachtung (BDF) in Bayern. Von allen Ackerstandorte, die in die Berechnung einfließen, wurden pro Beprobung Mischproben aus den ersten 10 cm gezogen. Gleiches gilt für die Grünland-BDF. Im BDF-Programm Ackerflächen gibt es keine Probenahme Flächen auf organischen Böden mit sehr hohen Humusgehalten. Dargestellt werden die Medianwerte. <u>Perspektiven für eine bundesweite Darstellung des Indikators:</u> Das UBA hat vor dem Hintergrund der problematischen Datenlagen in den letzten Jahren mehrere Forschungsprojekte in Auftrag gegeben, in denen die Situation und Verfügbarkeit bei den bodenbezogenen Daten im Hinblick auf die bundesweite Darstellung und Beschreibung des Bodenzustand und seiner Veränderungen umfassend analysiert und beschrieben worden ist. Der Fokus lag dabei vor allem auf dem Themenfeld Klimaanpassung und Klimaschutz. Im Ergebnis liegt seit 2022 ein Konzept für einen Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund vor (Kaufmann-Boll et al. 2020). Ein weiteres UBA-Vorhaben „Ausbau und Weiterentwicklung bodenbezogener Indikatoren für die nationale und EU-weite Berichterstattung zur Klimaanpassung und zum Klimaschutz“ widmet sich ab Januar 2023 der Frage, wie die Bundesregierung bei der nationalen und EU-weiten Berichterstattung zu Fragen der Klimaanpassung und des Klimaschutzes mit Indikatoren aus bundesweiten harmonisierten qualitätsgesicherten Bodeninformationen unterstützt werden kann. Es sollen im Rahmen dieses Vorhabens Vorschläge für weitere Indikatoren unter anderem zu organischen Substanz entwickelt werden. Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) startete als erste bundesweit einheitliche Inventur landwirtschaftlich genutzter Böden im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Jahr 2011. Zwischen 2011 und 2018 wurden deutschlandweit in einem 8 x 8 km Raster die Vorräte an organischem Kohlenstoff in landwirtschaftlichen Böden bis in eine Tiefe von einem Meter erfasst und ihre Beeinflussung durch Standort- und Nut-

	zungsfaktoren bewertet. Die BZE-LW basiert auf der freiwilligen Zusammenarbeit mit über 3.000 Landwirt:innen. Sie dient in erster Linie der wissenschaftlichen Absicherung und Weiterentwicklung der Treibhausgas-Emissionsberichterstattung Deutschlands im Rahmen der UNFCCC und des Kyoto-Protokolls. Perspektivisch sind diese Daten nach einer Wiederholungserhebung auch für das DAS-Monitoring von Interesse. <u>Sonstiges:</u> Im Rahmen der Umsetzung der Direktzahlungen-Verpflichtungen-Verordnung (DirektZahlVerpflV) müssen die Bezieher von landwirtschaftlichen Direktzahlungen nach §3 einen Nachweis zur Erhaltung der organischen Substanz und zum Schutz der Bodenstruktur zu leisten. Sie haben hierzu drei Möglichkeiten: 1. Sie halten ein bestimmtes Mindestmaß an Fruchtwechsel auf Betriebsebene ein. 2. Sie lassen den Humusgehalt ihrer Ackerflächen untersuchen. 3. Sie erstellen eine betriebliche Humusbilanz für ihre Ackerflächen. Die Nutzung der Ergebnisse aus dieser betrieblichen Humusbilanzierung wurde als Grundlage für einen möglichen Indikator diskutiert. Es handelt sich aber um ein sehr stark vereinfachtes Verfahren, das für die Bilanzierung im Wesentlichen mit standardisierten Werten arbeitet (für die einzelnen Fruchtarten wird z. B. von bestimmten Verfahren der Bodenbearbeitung ausgegangen). Wesentliche bestimmende Faktoren für die Einschätzung und Bewertung des Humusgehalts wie die Bodenart, die Höhenlage, die Niederschlags- und Temperaturverhältnisse sowie der Humus-Ausgangsgesamt werden nicht berücksichtigt. Das Verfahren erlaubt daher nur eine qualitative Abschätzung der Humusreproduktion bei unterschiedlichen Bodenbewirtschaftungsverfahren, aber keine wissenschaftlich fundierte Aussage zum tatsächlichen Humusstatus der Böden und zu Trends. Auch die aus Vereinfachungsgründen pauschalisierende Bewertung des Humussaldo (Mittel aus 3 Jahren soll im Bereich zwischen -75 und +125 kg Humus-C/ha und Jahr liegen und darf -75 kg Humus-C/ha und Jahr nicht unterschreiten) widerspricht den wissenschaftlichen Erkenntnissen, dass sich „optimale“ Humusgehaltsspannen nur standort- und klimazonenabhängig festlegen lassen. Von einer Nutzung der Datenquelle Humusbilanzierung im Zusammenhang mit der DirektZahlVerpflV wird daher abgesehen.
Rechtsgrundlagen, Strategien:	• Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 30 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) • Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung (Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand) 2004 (DirektZahlVerpflV) 04.11.2004 BGBl. I S. 2778; aufgehoben durch § 11 V. v. 17.12.2014 • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS) • LABO-Positionspapier „Klimawandel - Betroffenheit und Handlungsempfehlungen des Bodenschutzes“ vom 9.6.2010 (LABO 2010)
Ziele:	BBodSchG § 17 (2): „Gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft“: Zu den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis gehört [...], dass der standorttypische Humusgehalt des Bodens, insbesondere durch eine ausreichende Zufuhr an organischer Substanz oder durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität erhalten wird. DirektZahlVerpflV § 3 (1): „Erhalt der organischen Substanz im Boden und Schutz der Bodenstruktur“: Der Betriebsinhaber hat seine Ackerflächen so zu bewirtschaften, dass die organische Substanz im Boden erhalten bleibt. DAS, Kap. 3.2.4: • Schutz der ökologischen Leistungsfähigkeit der Böden durch Verringerung bzw. Vermeidung der Bodenerosion und der schadhafte Bodenverdichtung sowie durch den Erhalt der organischen Substanz

	• Schutz der Bodenfunktionen • Intensivierung des Bodenschutzes im Hinblick auf die Gefahren der Erosion und des Rückgangs der Humusgehalte, v. a. auch in hydromorphen Böden • Umsetzung standortangepasster Landnutzungsstrategien zur Verringerung negativer Effekte durch Veränderungen in der Boden- und Humusbildung und damit der C-Sequestrierung LABO 2010: nachhaltige Nutzung von Ackerflächen, insbesondere durch: Sicherstellung einer ausgeglichenen Humusbilanz; Vermeidung des Verlustes organischer Substanz infolge von Wasser- und Winderosion
Berichtspflichten:	Im Rahmen der Umsetzung der Direktzahlungen-Verpflichtungen-Verordnung (DirektZahlVerpflV) müssen die Bezieher von landwirtschaftlichen Direktzahlungen nach §3 einen Nachweis zur Erhaltung der organischen Substanz und zum Schutz der Bodenstruktur leisten.

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Bayerisches Landesanstalt für Landwirtschaft, Arbeitsgruppe Humushaushalt und Umwelt-Mikrobiologie: Auswertungen zu Erhebungen auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS 1
Geographische Abdeckung:	Teile A bis D: Freistaat Bayern (80 Acker-BDF und 18 Grünland-BDF)	
Zeitliche Auflösung:	bisher sechsmalig, seit 1986 1. Probenahme: 1986–1987 (dargestellt für 1987) 2. Probenahme: 1989–1993 (dargestellt für 1993) 3. Probenahme: 1996–1999 (dargestellt für 1999) 4. Probenahme: 2005–2007 (dargestellt für 2007) 5. Probenahme: 2012 (dargestellt für 2012) 6. Probenahme: 2015-2016 (dargestellt für 2016) In der Zeitreihe wird jeweils das letzte Jahr der Erhebungsphase angegeben. Es werden zwar im ersten Jahr i. d. R. die überwiegende Zahl der Flächen beprobt, aber das letzte Datenjahr repräsentiert den gesamten Datenbestand.	
Beschränkungen:	keine	
Verweis auf Daten-Factsheet:	BO-R-1_Daten_Humus.xlsx	

V Zusatz-Informationen

Glossar:	Humus: Zur organischen Substanz der Böden gehören alle in und auf dem Boden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe sowie deren organische Umwandlungsprodukte. Die Gesamtheit der organischen Substanz bildet den Humus. Der Humuskörper durchsetzt im Boden teils den Mineralkörper, teils bedeckt er diesen als Auflagehumus (Scheffer & Schachtschabel 2002). Die stoffliche Beschaffenheit des Humus und seine Zusammensetzung sind sehr heterogen. Die Bedeutung des Humus liegt in der komplexen Beeinflussung nahezu aller Bodeneigenschaften und -funktionen. Er ist eine langsam fließende Nährstoffquelle für die Pflanzen. Durch mikrobiellen Abbau der Humusbestandteile werden organisch gebundene Elemente (Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Sauerstoff) in pflanzenverfügbare Verbindungen umgewandelt (Capriel & Seiffert 2009).
-----------------	---

	C_{org} und N_t: Organischer Kohlenstoff (C_{org}) und Gesamtstickstoff (N_t) sind die wichtigsten Bestandteile des Humus. Die C-Gehalte des Humus können stark schwanken. C/N-Verhältnis: Das Verhältnis von C_{org} und N_t im Oberboden ist der klassische Indikator für die Humusqualität. Er ist ein Maß für die biologische Aktivität und damit für die Nährstoffverfügbarkeit im Boden sowie für den Abbaugrad der organischen Bodensubstanz. Es hängt von der Bodenart und der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung ab. Als stabil bzw. eng gilt ein C/N-Verhältnis von 10 bis 12, d.h. auf 10 bis 12 C-Atome kommt ein N-Atom. In diesem Falle ist die Mineralisierungsrate der organischen Substanz hoch, d.h. sie wird in ihre anorganischen Komponenten zersetzt. Sie ist dann attraktiv für die Bodenlebewesen als Nahrungsquelle. Die anorganischen Komponenten werden von den Pflanzen als Nährstoffe aufgenommen und so wiederum in den Nährstoffkreislauf integriert. Werte unterhalb von 10 kennzeichnen sehr enge C/N-Verhältnisse und dementsprechend sehr hohe Mineralisierungsraten. In diesem Falle kann die Gefahr einer Stickstoffauswaschung bestehen. Bei weiten C/N-Verhältnissen, d.h. Werten über 20, ist der Abbau der organischen Substanz gehemmt, so dass sich eine organische Auflage bestehend aus einem Fermentations- und manchmal zusätzlich aus einem Humusstoffhorizont bildet. In dieser Auflage sind die Nährstoffe weitgehend blockiert und nur in geringen Anteilen für die Pflanzen verfügbar. Bei engem C/N-Verhältnis spricht man von guter, bei weitem von schlechter Humusqualität. Humusbilanz: In der Humusbilanz nach der Direktzahlungen-Verpflichtungen-Verordnung werden Zufuhr und Abbau der organischen Substanz gegenübergestellt, d.h. es wird überprüft, ob zwischen den humusaufbauenden und humusabbauenden Prozessen in Ackerböden ein Fließgleichgewicht besteht. Das Verfahren beruht auf langjährigen Ergebnissen von Dauerfeldversuchen und erlaubt eine qualitative Abschätzung der Humusreproduktion bei unterschiedlichen Bodenbewirtschaftungsverfahren. In die Bilanzierung gehen auf der einen Seite die jeweiligen Kulturen mit ihrem Humusbedarf multipliziert mit der Fläche ein. Auf der anderen Seite wird die Reproduktion von Humus durch Ernterückstände (z. B. Rübenblatt, Stroh etc.) pro Hektar über ein vorgegebenes Hauptfrucht/Nebenproduktverhältnis vom Hauptfruchtertrag abgeleitet. Zusätzlich werden alle Mengen an Dünger und Abfallstoffen, die organische Substanz enthalten (Gülle, Stallmist, Klärschlamm, Kompost etc.), berücksichtigt. Als Berechnungseinheit wird der Humuskohlenstoff (Humus-C) pro Hektar genutzt.
Weiterführende Informationen:	Capriel P. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) 2010: Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe 05 der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft LfL, Freising, 46 S. Capriel P. 2013: Trends in organic carbon and nitrogen contents in agricultural soils in Bavaria (south Germany) between 1986 and 2007. European Journal of Soil Science, 64: 445-454. Capriel P. & Seiffert D. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) 2009: 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern. Teil 3: Entwicklung der Humusgehalte zwischen 1986 und 2007. Schriftenreihe 10 der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft LfL, Freising, 47 S. Düwel O., Siebner C.S., Utermann J., Krone F. 2007: Gehalte organischer Substanz in Oberböden Deutschlands: Länderübergreifende Auswertungen von Punktinformationen im FISBo BGR. 33 S. und Anlagen. www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Produkte/Schriften/Downloads/Humusgehalte_Bericht.pdf?__blob=publicationFile Ebertseder T., Engels C., Heyn J., Reinhold J., Brock C., Fürstenfeld F., Hülsbergen K.-J., Isermann K., Kolbe H., Leithold G., Schmid H., Schweitzer K., Willms M., Zimmer J. 2014: Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung

	und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA-Standpunkt. 12 S. www.humusbilanz.ch/download/VDLUFA_2014_Humusbilanzierung.pdf Gottschalk P., Smith J.U., Wattenbach M., Bellarby J., Stehfest E., Arnell N., Osborn T.J., Jones C., Smith P. 2012: How will organic carbon stocks in mineral soil evolve under future climate? Global projections using RothC for a range of climate change scenarios. <i>Biogeosciences</i>, 9: 3151-3171. Huschek G., Krengel D., Kayser M., Bauriegel A., Burger H. 2004: Länderübergreifende Auswertung von Daten der Boden-Dauerbeobachtung der Länder. UBA-Texte 50/04, Berlin, 104 S. www.umweltbundesamt.de/publikationen/laenderuebergreifende-auswertung-von-daten-boden Hüttl R. F., Prechtel A., Bens O. (Hg.) 2008: Zum Stand der Humusversorgung der Böden in Deutschland. Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung Bd. 7, Forschungszentrum Landschaftsentwicklung und Bergbaulandschaften, 236 S. Kaufmann-Boll C., Kappler W., Lazar S., Meiners G., Tischler B., Baritz R., Düwel O., Hoffmann R., Utermann J., Makeschin F., Abiy M., Rinklebe J., Prüß A., Schilli C., Beylich A., Graefe U. 2011: Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung. UBA-Texte 65/2011, Dessau-Roßlau, 409 S. www.umweltbundesamt.de/publikationen/anwendung-von-bodendaten-in-klimaforschung Kaufmann-Boll C., Niederschmidt S., Bamminger C., Kastler M., Müller F., Wurbs D., Steininger M. 2020: Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds. UBA-Text 41/2020, Dessau-Roßlau, 125 S. www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimafolgen-bodenmonitoring-verbund LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 2010: LABO-Positionspapier „Klimawandel - Betroffenheit und Handlungsempfehlungen des Bodenschutzes“ vom 9.6.2010 https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO_Positionspapier_Boden_und_Klimawandel_090610_aa8_bf5.pdf Leithold G., Hülsbergen K.-J., Michel D., Schönmeier H. 1997: Humusbilanz – Methoden und Anwendung als Agrar-Umwelt-Indikator. In: Initiativen zum Umweltschutz, Bd. 5, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück: 43-54. LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hg.) 2011: Den Boden fest im Blick – 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern. Fachtagung am 13. Oktober 2011. <i>UmweltSpezial</i>. Augsburg www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/25_jahre_bdf_bayern.pdf Marx M., Rinklebe J., Kastler M., Molt C., Kaufmann-Boll C., Lazar S., Lischeid G., Schilli C., Körschens M. 2016: Erarbeitung fachlicher, rechtlicher und organisatorischer Grundlagen zur Anpassung an den Klimawandel aus Sicht des Bodenschutzes - Teil 3: Bestimmung der Veränderungen des Humusgehalts und deren Ursachen auf Ackerböden Deutschlands. UBA-Texte 26/2016, Dessau-Roßlau, 90 S. www.umweltbundesamt.de/publikationen/erarbeitung-fachlicher-rechtlicher-0 Möller A. & Kennepohl A. 2014: Abschätzung von CO₂-Emissionen und -Retentionen durch Landnutzungsänderungen anhand regionalisierter Kohlenstoffvorräte auf landwirtschaftlich genutzten Böden Niedersachsens. <i>GeoBerichte</i> 27, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Hg.). Prietz J. & Christophel D. 2013: Humusschwund in Waldböden der Alpen. Die vermutliche Auswirkung des Klimawandels ist eine große Herausforderung für die nachhaltige Forstwirtschaft. <i>LWF aktuell</i> Ausgabe 97: 44-47.
--	--

	Prietz J., Zimmermann L., Schubert A., Christophel D. 2016: Organic matter losses in German Alp forest soils since the 1970s most likely caused by warming. <i>Nature Geoscience</i>, 9: 543-548. doi: 10.1038/NCEO2732 Scharlemann J.P.W., Tanner E.V.J., Hiederer R., Kapos V. 2014: Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. <i>Carbon Management</i>, 5(1): 81-91. Schilli C., Rinklebe J., Lischeid G., Kaufmann-Boll C., Lazar S. 2011: Auswertung der Veränderungen des Bodenzustands für Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) und Validierung räumlicher Trends unter Einbeziehung anderer Messnetze - Teil B: Datenauswertung und Weiterentwicklung des Monitorings. UBA-Texte 90/2011, 131 S. Schils R., Kuikman P., Liski J., van Oijen M., Smith P., Webb J., Alm J., Somogyi Z., van den Akker J., Billett M., Emmett B., Evans C., Lindner M., Palosuo T., Bellamy P., Jandl R., Hiederer R. 2008: Review of existing information on the interrelations between soil and climate change. <i>ClimSoil – Technical Report 2008 - 048</i>, Wageningen, 208 pp. doi: 10.2779/12723 Spatz P. 2001: Möglichkeiten der länderübergreifenden Auswertung an Standorten der Bodendauerbeobachtung - ausgehend von der Zusammenstellung der Metadaten aus den Ländern. UBA-Texte 22/01, 5 S. Treich M. & Burmeister J. 2022: 35 Jahre Boden-Dauerbeobachtung landwirtschaftlich genutzter Flächen in Bayern - Band 1: Standorte, Methoden, Bewirtschaftung. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft Nr. 2 2022, Freising, 134 S. Wessolek G. & Asseng S. 2006: Trade-off between wheat yield and drainage under current and climate change conditions in northeast Germany. <i>European Journal of Agronomy</i> 24: 333-342. Wessolek G., Kaupenjohann M., Dominik P., Ilg K., Schmitt A., Zeitz J., Gahre F., Schulz E., Ellerbrock R., Utermann J., Düwel O., Siebner C. 2008: Ermittlung von Optimalgehalten an organischer Substanz landwirtschaftlich genutzter Böden nach § 17 (2) Nr. 7 BBodSchG. Schlussbericht zum F+E-Vorhaben 202 71 264 des UBA, Berlin, 163 S. Wiesmeier M., Spörlein P., Geuß U., Hangen E., Haug S., Reischl A., Schilling B., von Lützow M., Kögel-Knabner I. 2012: Soil organic carbon stocks in southeast Germany (Bavaria) as affected by land use, soil type and sampling depth. <i>Global Change Biology</i>, 18: 2233-2245. Wiesmeier M., Hübner R., Dechow R., Maier H., Spörlein P., Geuß U., Hangen E., Reischl A., Schilling B., Angst G., von Lützow M., Kögel-Knabner I. 2014: Estimation of past and recent carbon input by crops into agricultural soils of Bavaria. <i>European Journal of Agronomy</i>, 61: 10-23. Wiesmeier M., Hübner R., Kögel-Knabner I. 2015: Stagnating crop yields: An overlooked risk for the carbon balance of agricultural soils? <i>Science of the Total Environment</i>, 536: 1045-1051. Wiesmeier M., Poeplau C., Sierra C.A., Maier H., Frühauf C., Hübner R., Kühnel A., Spörlein P., Geuß U., Hangen E., Schilling B., von Lützow M., Kögel-Knabner I. 2016: Projected loss of soil organic carbon in temperate agricultural soils in the 21st century: effects of climate change and carbon input trends. <i>Scientific Reports</i>, 6, 32525. Wiesmeier M & Burmeister J. 2022: 35 Jahre Boden-Dauerbeobachtung - Band 4: Humus. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft Nr. 2 2022, Freising, 82 S.
--	---

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung	Datenbe-schaffung:	1	Für die Fallstudie nur eine datenhaltende Institutionen
	Datenverar-beitung:	1	Ausgewertete Daten werden direkt für die Darstellung zur Verfügung gestellt.
	<u>Erläuterung:</u> Die Fallstudie für Bayern soll für den Monitoringbericht 2027 durch eine bundesweite Darstellung ersetzt werden.		
Datenkosten	keine		
Zuständigkeit	Umweltbundesamt, Fachgebiet 2.7 Bodenzustand und Bodenmonitoring		
	<u>Erläuterung:</u> keine		

VII Darstellungsvorschlag

