

Indikator-Factsheet: Humusvorrat in Waldböden

Verfasser*innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3711 41 106 Überarbeitet durch Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	Thünen-Institut (TI) für Waldökosysteme (Prof. Dr. Andreas Bolte, Dr. Nicole Wellbrock, Dr. Erik Grüneberg)	
Letzte Aktualisierung:	13.05.2014	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler)
	09.10.2017	TI für Waldökosysteme (Prof. Dr. Andreas Bolte)
	28.07.2022	TI für Waldökosysteme (Dr. Nicole Wellbrock, Dr. Erik Grüneberg), Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Einbindung der Ergebnisse der Kohlenstoffinventur und von Modellierungen; methodische Umstellung des Indikators auf die Darstellung jährlicher Daten (auf die bisherige Kategorisierung kann nun verzichtet werden); Nummerierung und Titel des Indikators geändert (vormals FW-R-5)
	06.11.2023	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Aktualisierung der Links
Nächste Fortschreibung:		

I Beschreibung

Interne Nr. FW-R-3	Titel: Humusvorrat in Waldböden
Einheit: t/ha	Kurzbeschreibung des Indikators: Im Waldboden gespeicherten organischen Kohlenstoff bis in 30 cm Tiefe
	Berechnungsvorschrift: Der Indikator nutzt modellierte Daten auf der Grundlage der BZE. Daten können unmittelbar vom TI für Waldökosysteme übernommen werden. Für Erläuterungen zur Modellierung s. u. Begründung / Ermittlung des Indikators.
Interpretation des Indikatorwerts:	Je höher der Indikatorwert, desto höher ist der Humusvorrat im Waldboden im bundesdeutschen Durchschnitt

II Einordnung

Handlungsfeld:	1. Wald und Forstwirtschaft 2. Boden
Indikationsfeld:	1.1. Verbesserung der Standortbedingungen, Reduzierung zusätzlicher Stressoren 2.1 Anpassung der Landnutzung, des Flächenmanagements
Thematischer Teilaspekt:	1.1.1 Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit 1.1.2 Steuerung des regionalen / lokalen Wasserhaushalts 2.1.1 Managementmaßnahmen zur Verminderung der Vulnerabilität

DPSIR:	Response
--------	----------

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatoren-systeme:	Pan-European Sustainable Forest Management (SFM) Indicators: Indikator 1.4 "Carbon stock"
Begründung:	<p>Wälder spielen eine wichtige Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf, da sie der Atmosphäre durch Photosynthese CO₂ entziehen und organischen Kohlenstoff (C_{org}) in die Biomasse einbauen. Ein Teil des in der Biomasse gebundenen Kohlenstoffs wird dem Boden als Streu zugeführt und als organische Bodensubstanz (auch als Humus bezeichnet). Dieser Humus erfüllt wichtige Bodenfunktionen, indem er unter anderem ein wichtiger Sorbent für organische und anorganische Stoffe ist oder das Wasserspeichervermögen und die Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen beeinflusst. Die Höhe des im Boden gespeicherten Kohlenstoffs ist neben bodenphysikalischen und chemischen Eigenschaften sowie Klimafaktoren ebenso von der Bestockung und dem Wasserregime abhängig. Bestimmte Praktiken der Waldbewirtschaftung wie Drainage, Durchforstung, Holzernte, Bodenbearbeitung oder Kalkung wirken sich ebenfalls auf die Kohlenstoffspeicherung aus. Zudem beeinflussen atmosphärische Stoffeinträge wie die Stickstoffdeposition den Kohlenstoffkreislauf in Waldböden.</p> <p>Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Humusvorräten: Zwischen Klimaveränderungen und dem Gehalt an Humus bzw. wichtigsten Bestandteilen des Humus, dem organischen Kohlenstoff (C_{org}), gibt es vielfältige Wechselwirkungen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Klima und Witterung haben Einfluss auf Humusbildung und -abbau im Boden. 2. Humus 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 stabiler bzw. resilienter gegenüber Bodenbeeinträchtigungen, ertragsreicher und können mehr Wasser aufnehmen und halten. Man kann daher davon ausgehen, dass die Sicherung eines optimalen Humusgehalts ein wesentlicher Baustein zur Anpassung der Böden an die Folgen des Klimawandels ist. <p><u>Zu 1:</u> Das Klima bzw. die Witterung spielen eine wichtige Rolle bei Auf- und Abbauprozessen von Humus. Erhöhte Jahresmitteltemperaturen bewirken in der Regel eine Erhöhung der mikrobiellen Aktivität im Boden. Zudem setzt die Aktivität der Bodenmikroorganismen mit der Temperaturerhöhung im Jahresverlauf früher ein. Eine verstärkte mikrobielle Aktivität verursacht eine Erhöhung der Mineralisation und führt zum verstärkten Abbau der organischen Bodensubstanz. Der Umfang des damit verbundenen Humusschwunds ist stark abhängig von Temperatur und Feuchtegehalt des Bodens. Allerdings kann die Produktivität des Waldes bei klimatisch bedingt günstigeren Standorteigenschaften und erhöhten CO₂-gehalten ansteigen, wodurch dem Boden auch verstärkt organisches Material zugeführt wird. Es vollziehen sich also gegenläufige Prozesse, deren Ergebnis sich noch nicht klar voraussehen lässt. Man geht davon aus, dass von klimatischen Änderungen und Nutzungsänderungen am stärksten die Kohlenstoffvorräte in den humosen Auflagen und etwas abgeschwächt die der Oberböden bis 30 cm Tiefe betroffen sind. Die alten Humusbestandteile der tieferen Bodenhorizonte sind dagegen eher Spiegel his-</p>

	<p>torischer Klimabedingungen (Schubert 2010). Da sich auch die Trockenraumdichte des Feinbodens (TRD_{FB}) in Abhängigkeit vom C_{org}-Gehalt verändert, sind die Vorräte (Gehalt und TRD_{FB}) ein relevanter Indikator.</p> <p><u>Zu 2:</u> Im Boden sind etwa 80 % der aktiv am Kohlenstoffkreislauf teilnehmenden terrestrischen organischen Kohlenstoffvorräte gebunden. Somit sind in den Böden der Erde gegenwärtig insgesamt ca. 70 Mrd. t Kohlenstoff gespeichert (Blume et al. 2002 und EU 2008 zit. in: Kaufmann-Boll 2011: 139). 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). In den Wäldern umfasst das Verhältnis zwischen dem ober- und unterirdischen Kohlenstoffspeicher eine große Spannweite. Als mittlere Faustzahl wird in der Literatur für Europa ein Verhältnis von 1:2 angegeben (Schubert 2010).</p> <p><u>Zu 3:</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 (Körschens et al. 2004):</p> <ul style="list-style-type: none">• 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). <p>Eine systematische, quantitative Analyse der Zusammenhänge zwischen Humusgehalt und Bodenfunktionen liegt bisher 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 auch der Grund dafür, dass es bis heute noch keine belastbaren, an Bodenfunktionen und Standorttypen orientierten Angaben zu Optimalgehalten organischer Substanz gibt (Wessolek et al. 2008).</p> <p>Der DAS-Response-Indikator fokussiert im Wesentlichen auf den oben beschriebenen <u>dritten</u> Sachverhalt und beruht auf der Hypothese, dass hohe Humusgehalte in Waldböden der Stabilisierung des Wasser- und Stoffhaushalts der Waldökosysteme dienen und deren Widerstandskraft und Anpassungsfähigkeit stärken. Ein großes Wasserspeichervermögen ermöglicht es den Waldökosystemen, auch länger andauernde heiße und niederschlagsarme Perioden zu überstehen. Als Reaktion auf die Klimaveränderungen wird einer gezielten Humuswirtschaft vor diesem Hintergrund auch im Wald eine erhöhte Bedeutung für die Leistungsfähigkeit der Wälder zukommen. Diese Erkenntnis hat wiederum Auswirkungen auf die künftige Ausgestaltung forstwirtschaftlicher Nutzungspraktiken, die in Zukunft darauf auszurichten sind, in ausreichendem Umfang Holzernteste, Astmaterial und Altholz im Wald zu belassen.</p> <p>Trotz der genannten Fokussierung auf Anpassungsaspekte liegt eine Stärke des Indikators darin, dass er mit der Sicherung hoher Vorräte organischen</p>
--	---

	<p>Kohlenstoffs in den Böden eine Maßnahme propagiert, die sowohl mit Blick auf den Klimaschutz als auch die Anpassung für sinnvoll erachtet wird.</p> <p>Ermittlung des Indikators:</p> <p>Dem DAS-Monitoring-Indikator lagen bisher die Daten der Bodenzustandserhebungen im Wald (BZE) aus den Zeiträumen 1987-1993 sowie 2006-2009 zugrunde. Im Rahmen der Treibhausgasberichterstattung wird verlangt, die Änderungsraten des Bodenkohlenstoffs über den Erhebungszeitraum der letzten BZE Wald hinaus abzuschätzen. Diese Fortschreibung erfolgt mit dem speziell für Waldböden entwickelten prozess-basierten Modell Yasso15 zur Simulation von organischem Bodenkohlenstoff (Järvenpää et al. 2018), das mit dem Modellierungsrahmen Sorcering (Scherstjanoi et al. 2021) umgesetzt wurde. Das Modell kann direkt auf den DAS-Monitoringindikator übertragen werden.</p> <p>Zur Berechnung benötigt das Modell Klimadaten wie die mittlere Lufttemperatur und Niederschlagshöhen sowie Inputdaten zu bestimmten Kohlenstoffpools und Holzanteilen. Für die Modellierung wurden die beprobten Punkte der BZE-Wald genutzt. Da die Randbedingungen der Modellierung mit den Klima- und Kohlenstoffinputdaten abgedeckt sind, waren zu Beginn der Simulationen lediglich die Anfangsbedingungen ungeklärt. Die durch die BZE Wald gewonnenen Daten zum organischen Kohlenstoff wurden als die initiale Gesamtmengen für die Modellierung benutzt. Die Simulationen begannen zum Zeitpunkt der jeweiligen Inventur und gingen bis 2030.</p> <p>Alle Modellläufe wurden in monatlichen Zeitschritten durchgeführt und können als Gesamtergebnis ab der BZE I Wald dargestellt werden. Die modellierte Zustandsgröße ist der im Boden gespeicherten organischen Kohlenstoff bis in 30 cm Tiefe inklusive dem Auflagehumus, da bis in diese Bodentiefe der größte Vorrat an Kohlenstoff gespeichert ist. Bezogen auf den Gesamtvorrat sind im Auflagehumus 17 % und in den oberen 30 cm des Mineralbodens 57 % enthalten. Mit zunehmender Bodentiefe nehmen die Vorräte deutlich ab. Die Simulationen wurde zunächst für alle Punkte der BZE Wald separat durchgeführt. Das Gesamtergebnis für Deutschland beruht auf dem gewichteten Mittel des Flächenanteils und der Anzahl der Probestellen der Bundesländer.</p>
<p>Einschränkungen:</p>	<p>Da die Humusgehalte stark kleinräumlich variieren, ist eine statistische Absicherung von Änderungen des organischen Kohlenstoffvorrats trotz der großen Erhebungspunkte der BZE-Wald schwierig. Regional unterschiedliche Änderungen werden durch die bundesweite Mittelung überdeckt. Der weiterentwickelte DAS-Monitoringindikator basiert auf modellierten Daten, was weitere Erläuterungen bedingt.</p> <p>Der Indikator trifft mit seiner aktuellen Formulierung Aussagen zur Entwicklung der organischen Kohlenstoffvorräte in Waldböden. Hierzu zählt der Auflagehumus inklusive des Mineralbodens bis in eine Tiefe von 30 cm. Hier gilt, dass für Waldböden allgemein eine Steigerung der C_{org}-Vorräte wünschenswert ist, da Wälder – im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Flächen – häufig auf ungünstigen, sehr steinigen, steilen oder flachgründigen Standorten zu finden sind. Landwirtschaftliche Böden speichern über ihr gesamtes Profil zwar mehr organischen Kohlenstoff, doch bei Einbeziehung des Auflagehumus weisen Waldböden eine höhere Speicherkapazität auf. Allerdings besteht für den Auflagehumus die Gefahr, dass eine hohe Kohlenstoffanreicherung auch ungünstig sein, denn wenn der Abbau der organischen Substanz gehemmt ist, die Nährstoffe in Folge weitgehend blockiert werden und nur in geringen Anteilen für die Pflanzen verfügbar, kann es zu einer sogenannten C-Sperre kommen. Darüber weisen sehr mächtige Humusaufgaben häufig hydrophobe Eigenschaften auf, was sich nachteilig auf die Wasserspeicherkapazität des Bodens auswirkt. Zu diesen Entwicklungen trifft der Indikator keine Aussage.</p>

	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 (hohe Humusgehalte in Waldböden dienen der Stabilisierung des Wasser- und Stoffhaushalts der Waldökosysteme und stärken deren Widerstandskraft und Anpassungsfähigkeit) eindeutig darzustellen und von den anderen Zusammenhängen abzugrenzen.
Rechtsgrundlagen, Strategien:	<ul style="list-style-type: none"> • Waldstrategie 2020 (BMELV 2011) • Entschließung des Rates vom 15. Dezember 1998 über eine Forststrategie für die Europäische Union (1999/C 56/01) (Europäische Forststrategie) • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS)
Ziele:	<p>Waldstrategie 2020, S. 11: Wald soll als CO₂-Senke erhalten bleiben.</p> <p>Europäische Forststrategie (Pkt. 13): Der Rat der Europäischen Union ist der Ansicht, dass die Rolle der Wälder als Kohlendioxidabsorber und -speicher innerhalb der Europäischen Union am besten durch eine nachhaltige Waldbewirtschaftung gewährleistet werden kann und dass der Beitrag der Europäischen Union und der Mitgliedstaaten zu Strategien gegenüber Klimaveränderungen mit dem Protokoll von Kyoto in Einklang steht; dieser Beitrag kann dadurch geleistet werden, dass bestehende Kohlenstoffbestände geschützt und ausgebaut und neue Kohlenstoffbestände angelegt werden [...].</p> <p>DAS, Kap. 3.2.4:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schutz der ökologischen Leistungsfähigkeit der Böden durch [...] den Erhalt der organischen Substanz • Schutz der Bodenfunktionen • Intensivierung des Bodenschutzes im Hinblick auf die Gefahren [...] 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
Berichtspflichten:	Nationale Treibhausgas-Berichterstattung zum Kyoto-Protokoll (für C _{org})

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Thünen-Institut für Waldökosysteme: Bundesweite Waldzustandserhebung BZE und darauf basierende Modellierungen zur Treibhausgasberichterstattung	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS 0
Geographische Abdeckung:	Der Indikator ist flächenrepräsentativ für ganz Deutschland. Organische Böden sowie stark anthropogen veränderte Böden werden nicht in die Auswertung einbezogen, da diese Böden in ihren Eigenschaften eine Sonderstellung aufweisen.	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, ab 1992	
Beschränkungen:	keine	
Verweis auf Daten-Factsheet:	FW-R-3_Daten_Humusvorrat.xls	

V Zusatz-Informationen

<p>Glossar:</p>	<p>Humus: Unter Humus werden alle diejenigen abgestorbenen organischen Komponenten verstanden, die sich in und auf dem Mineralboden befinden. Dazu gehören u. a. abgestorbene pflanzliche und tierische Stoffe sowie deren Umwandlungsprodukte (z. B. DOM). Der Humus ist charakterisiert durch Streustoffe, Nichthumin- und Huminstoffe. Die stoffliche Beschaffenheit (z. B. Aggregatstabilität) und Zusammensetzung sind sehr heterogen (Scheffer & Schachtschabel 2002). 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 pflanzenaufnehmbare Verbindungen umgewandelt (Capriel & Seiffert 2009).</p> <p>C_{org}: Organischer Kohlenstoff (C_{org}) ist der wichtigste Bestandteil des Humus.</p> <p>Kohlenstoffvorräte: Kohlenstoffvorräte werden über die Menge des in den Böden gespeicherten Kohlenstoffs quantifiziert. Die Bestimmung erfolgt über den gewichtsbezogenen Humusgehalt (im Durchschnitt 50 % organischer Kohlenstoff) und die volumenbezogene Gesamtmenge an organischen Kohlenstoff.</p>
<p>Weiterführende Informationen:</p>	<p>Anonymous 2005: AK Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung. Waldökologische Naturräume - Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke in der Bundesrepublik Deutschland. Mitt. Ver. Forstl. Standortkunde u. Forstpflanzenzüchtung.</p> <p>Wellbrock N., Aydin CT., Block J., Bussian B., Deckert M., Diekmann O., Evers Jan, Fetzer K.D., Gauer J., Gehrman J., Kölling C., König N., Liesebach M., Martin J., Meiwes KJ, Milbert G., Raben G., Riek W., Schäffer W., Wolff B., 2006: Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II), Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen. Bonn: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. www.openagrar.de/receive/timport_mods_00003021</p> <p>Grüneberg E., Ziche D., Wellbrock N. 2014: Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. <i>Global Change Biol</i> 20(8): 2644-2662.</p> <p>Grüneberg E., Riek W., Schöning I., Evers J., Hartmann P. et al. 2016: Kohlenstoffvorräte und deren zeitliche Veränderungen in Waldböden. In: <i>Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland</i> (Hrsg. Wellbrock, N.; Bolte, A.; Flessa, H.) Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, Thünen Report 43.</p> <p>Santopuoli G., Temperli C., Alberdi I., Barbeito I., Bosela M., Bottero A., Klopčič M., Lesinski J., Panzacchi P., Tognetti R. 2021: Pan-European sustainable forest management indicators for assessing Climate-Smart Forestry in Europe. <i>Can. J. For. Res.</i> 51: 1–10 (2021). doi.org/10.1139/cjfr-2020-0166</p> <p>Järvenpää M., Repo A., Akujärvi A., Kaasalainen M., Liski J. 2018: Soil carbon model Yasso15-Bayesian calibration using worldwide litter decomposition and carbon stock data. https://webpages.tuni.fi/inverse/material/jarvenpaa2015bayesian.pdf www.semanticscholar.org/paper/Soil-carbon-model-Yasso15-Bayesian-calibration-and-J%C3%A4rvenp%C3%A4%C3%A4-Repo/410ec10374a52f54da1c2f1a69270b1f343af565</p> <p>Kaufmann-Boll C., Kappler W., Lazar S., Meiners G., Tischler B., Baritz R., Düwel O., Hoffmann R., Utermann J., Makeschin F., Abi M., Rinklebe J., Prüß A., Schilli C., Beylich A., Graefe U. 2011: Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung. <i>Texte 65/2011</i>, Dessau-Roßlau, 409 S. www.umweltbundesamt.de/publikationen/anwendung-von-bodendaten-in-klimaforschung</p>

	<p>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</p> <p>Scherstjanoi M. & Dechow R. 2021: sorcering: Soil ORganic Carbon & CN Ratio driven Nitrogen modellinG framework. CRAN, https://CRAN.R-project.org/package=sorcering.</p> <p>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. ClimSoil - Final Report, Wageningen, 177 pp and Annexes.</p> <p>Schubert A. 2010: Organisch gebundener Kohlenstoff im Waldboden – Die BZE2 gibt Einblick in die Größenordnung des Kohlenstoffspeichers. LWF aktuell 78/2010, Freising: 11-14. www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a78-organisch-gebundener-kohlenstoff-im-waldboden.pdf</p> <p>Teepe R., Dilling H., Beese F. 2003: Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. doi: 10.1002/jpln.200390001</p> <p>Wellbrock N. & Bolte A. 2008: Carbon sequestration potential of soils in commercial forests in Germany – contribution of National Forest Monitoring to the advancement of knowledge. Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research 4 2008 (58): 247-252.</p> <p>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. www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-von-optimalgehalten-an-organischer</p>
--	---

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	1	nur eine datenhaltende Institution
	Datenverarbeitung:	1	Daten können unmittelbar aus den Modellierungen des TI übernommen werden
	<u>Erläuterung:</u> Das Thünen-Institut für Waldökosysteme führt die Berechnungen für die Treibhausgasberichterstattung durch. Diese Ergebnisse können für den Monitoring-Indikator übernommen werden.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Thünen-Institut für Waldökosysteme		
	<u>Erläuterung:</u> Die Methodenentwicklung und Erstberechnung des Indikators sowie dessen Überarbeitung für den Monitoringbericht 2023 hat das Thünen-Institut für Waldökosysteme übernommen. Die Aktualisierung der Indikatorwerte liegt auch weiterhin in der Verantwortung des TI.		

VII Darstellungsvorschlag

