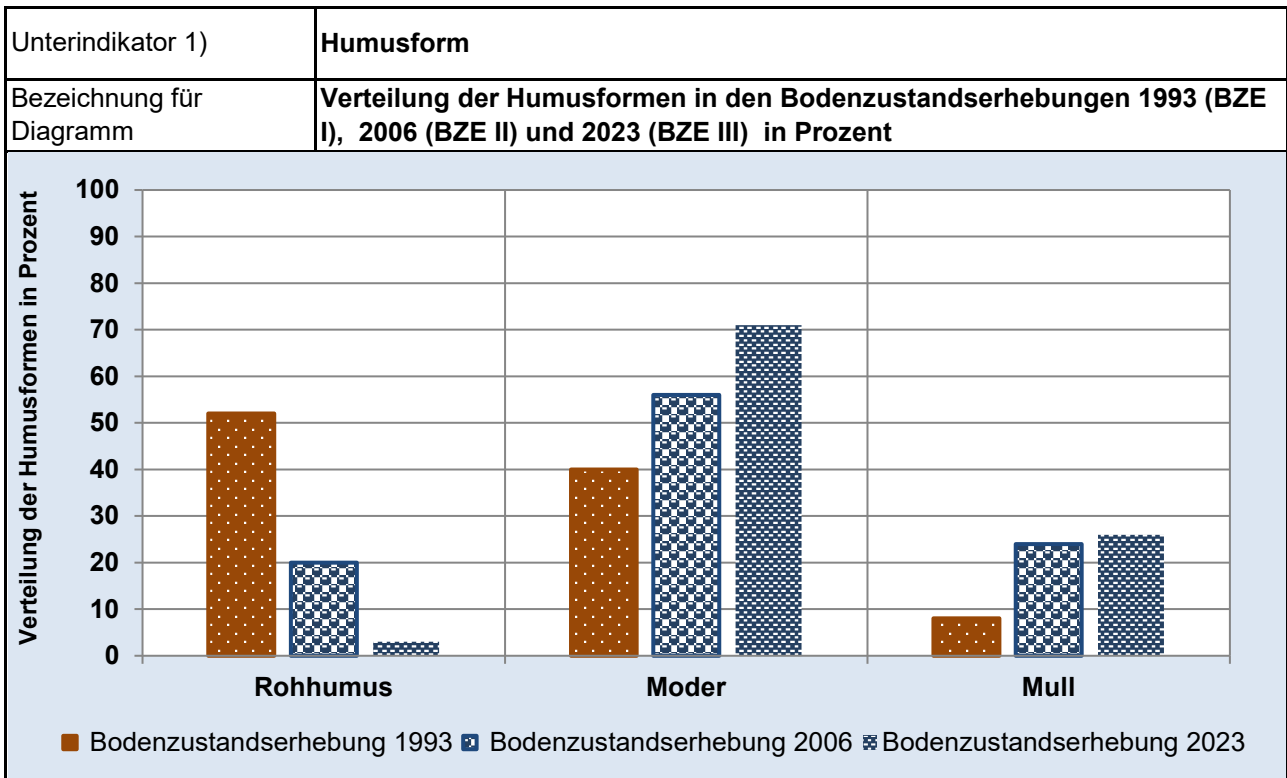


Nr. des Indikators	E6
Bezeichnung	Entwicklung des Humusvorrats in forstlichen Böden
Themenfeld	Forstwirtschaft
Unterindikator 1)	Humusform
Unterindikator 2)	Mittlere Kohlenstoffvorräte in der Humusauflage und im Mineralboden bis 30 cm Tiefe
Räumliche Gliederung	Sachsen-Anhalt
Bearbeitungsstand	Unterindikator 1: 23.06.2025 Unterindikator 2: 02.02.2021

Definition und Berechnungsvorschrift (Teil 1)	<p>Unter Humus wird die Gesamtheit der von abgestorbenen Pflanzenteilen und Tiersubstanzen abstammenden organischen Stoffe auf und im Boden verstanden. Im Wald wird die Humusauflage überwiegend durch die Blatt- und Nadelstreu gebildet und liegt dem Mineralboden auf.</p> <p>Die Humusformen kennzeichnen die Zersetzerfähigkeit und Mineralisationsraten. Die höchsten Umsetzungsraten werden beim Mull erreicht, mittlere Raten beim Moder und eine gehemmte Zersetzerfähigkeit zeigt sich beim Rohhumus. Die Humusformen werden morphologisch nach Vorhandensein, Beschaffenheit und Mächtigkeit der Humuslagen (L, F- und H-Lage) ausgewiesen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Litter-Lage (L) im Auflagehumus besteht aus noch unzersetzten Blättern und Nadeln. - Die Förna-Lage (F) zeigt bereits deutliche Zersetzungen durch Mikroorganismen und Pilze. - In der Humus-Lage (H) sind kaum noch Blatt- und Nadelstrukturen erkennbar, da diese durch die Mikroorganismen und Pilze komplett verarbeitet sind. <p>Hinweis: Die Klassifikation der Humusformen in der Bodenzustandserhebung (BZE) hat sich geändert. Rohhumusartiger Moder wurde zum moderartigen Rohhumus (entsprechend der bundeseinheitlichen Bodenkundlichen Kartieranleitung, 6. Auflage KA6). Dadurch ändern sich rückwirkend – im Vergleich zum letzten Stand des Kennblatts vom Februar 2021- alle prozentualen Verteilungen (BZE I, II und III) der Humusformen im BZE-Kollektiv.</p>
---	--

Definition und Berechnungsvorschrift (Teil 2)	<p>Beim Mull wird die Auflage schnell mineralisiert, sodass die Blätter meist innerhalb eines Jahres in den Mineralboden eingearbeitet sind. Im Mull sind sehr viele Regenwürmer aktiv, der obere Mineralboden hat krümeliges Gefüge. In ihm ist eine H-Lage nie, eine F-Lage allenfalls nur ansatzweise vorhanden.</p> <p>Im Moder gibt es weniger Regenwürmer, die Streuzersetzung verläuft deutlich langsamer. Stets sind L- und F-Lagen, aber auch schon H-Lagen ausgebildet. Wanderungsfähige Huminstoffe, die mit dem Sickerwasser in den tieferen Mineralboden gelangen, treten auf.</p> <p>Im Rohhumus fehlen größere Bodenwühler, die Streuzersetzung findet ausschließlich in der organischen Auflage statt. Sie verläuft sehr langsam und unvollständig. Die H-Lage ist kompakt und brechbar. In ihr entstehen im Vergleich zum Moder in stärkerem Maß wanderungsfähige Huminstoffe.</p> <p>Die Kohlenstoffvorräte in der Humusaufgabe werden über das Trockengewicht und die gemessene Kohlenstoffkonzentration bestimmt und in Tonnen je Hektar angegeben. Im Mineralboden berechnen sich die Kohlenstoffvorräte aus dem Produkt der organischen Kohlenstoffkonzentration, der Trockenrohichte des Feinbodens und der Schichtmächtigkeit, abzüglich des Steingehaltes. Die als Datenquellen genutzten Bodenzustandserhebungen (BZE) wurden im Wald an 96 Stichprobenpunkten in einem repräsentativen, systematischen Stichprobenraster von 8 km mal 8 km durchgeführt. Dabei sind Humusaufgaben und Mineralböden bis 200 cm Bodentiefe beprobt, analysiert und ausgewertet worden.</p>
Datenquelle, Aufbereitung	<p>NW-FVA Bodenzustandserhebungen 1993 (BZE I), 2006 (BZE II) und 2023 (BZE III)</p>
Bedeutung	<p>Der Schutz von Kohlenstoff im Waldboden ist von großer Bedeutung für den Kohlenstoffkreislauf und für den Klimaschutz. Gleichzeitig ist der Schutz organischer Substanz für den Wasser- und Nährstoffhaushalt der Waldböden ein zentrales Thema der nachhaltigen Forstwirtschaft. Der voranschreitende Klimawandel könnte durch höhere Temperaturen eine zügigere Mineralisierung und damit geringere Kohlenstoffspeicherung bewirken. Wenn aber durch Trockenheit die Mineralisierung zum Erliegen kommt, wären auch höhere Kohlenstoffspeicherraten im Wald möglich. Dies würde sich in mächtigeren Humusaufgaben widerspiegeln, die aber relativ schnell bei Wiederbefeuchtung veratmet werden könnten. Diese Speicher sind daher nicht als sehr stabil anzusehen.</p> <p>Wichtige Indikatoren für die Situation des Kohlenstoffs im Waldboden sind Mächtigkeit, Qualität und Verteilung der organischen Substanz, dem Humus. Dabei wird nach aufliegenden Humusformen und organischer Substanz im Mineralboden unterschieden.</p> <p>Aufbau, Mächtigkeit und Zusammensetzung von Humus kennzeichnen zudem wesentliche standörtliche Bedingungen für das Waldwachstum. Klimatische Faktoren wie Temperatur und Niederschlag steuern die Auf- und Abbaubedingungen von Humus.</p> <p>Der Verteilung der Humusformen Mull, Moder und Rohhumus in der Bodenzustandserhebung sowie der organischen Kohlenstoffvorräte in der Humusaufgabe und des Mineralbodens kommen insbesondere in ihrer Dynamik wichtige Bedeutung für Wirkungen des Klimas in Wäldern zu. Gleichzeitig beeinflusst auch die Zusammensetzung und die Struktur des Baumbestandes den Humuszustand.</p>
Intervall der Zeitreihe	1993, 2006 und 2023
Aktualisierung	2025 für Humusaufgabe, ca. 2027 für Kohlenstoffvorräte im Mineralboden

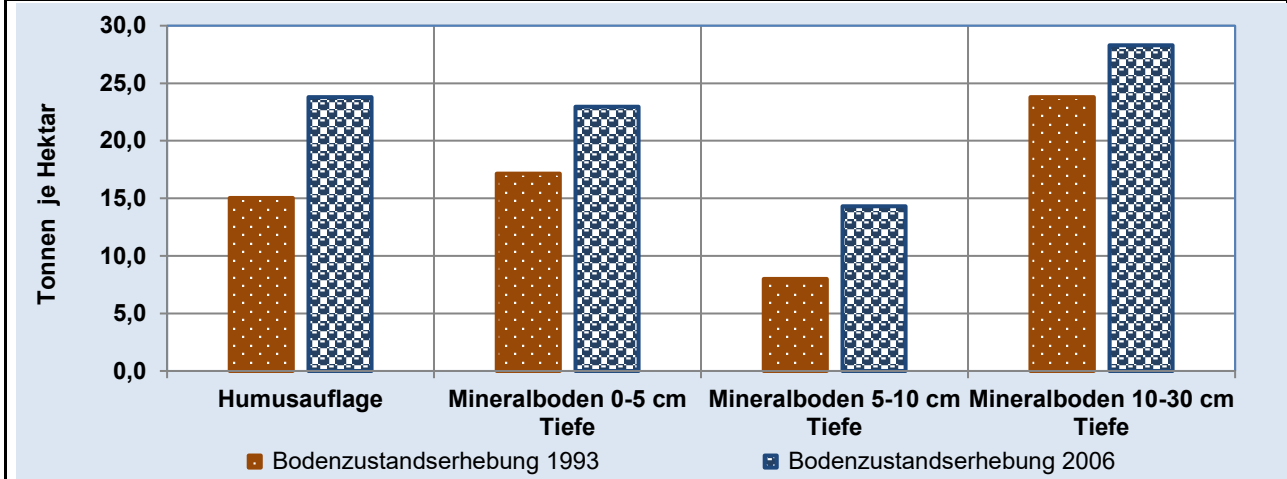
1) Kommentierung des Indikatorverlaufs Humusauflage	<p>Die Umverteilungen der Humusformen vom Rohhumus zu Moder und vom Moder zu Mull deuten auf günstigere Zersetzungsbedingungen zum Zeitpunkt der BZE II im Vergleich zur BZE I hin. Dieser Trend hat sich nach den Ergebnissen der BZE III (2023) weiter fortgesetzt. Die Anteile beim Rohhumus sind weiter zurückgegangen und mit 3 % bei der BZE III nur noch sehr gering (BZE I: 52%; BZE II 20%). Entsprechend häufiger sind in der BZE III Moderhumusformen (71%) anzutreffen. Die Mull-Humusformen sind um 2 Prozentpunkte in der BZE III höher als in der BZE II und damit nur leicht angestiegen. Für diese Entwicklung hin zu mehr Moder- und Mull-Humusformen sind höhere Temperaturen im Zuge des Klimawandels in der Humusauflage und damit eine angeregte Mineralisierung sehr wahrscheinlich. Dafür muss allerdings die Feuchte zumindest während eines Teils des Jahres ausreichend sein, damit eine Mineralisierung stattfinden kann. Weiterhin könnten Stickstoffeinträge und auch Flugascheeinträge die Mineralisationsraten erhöht und damit die Umverteilung zu besseren Humusformen begünstigt haben. Nicht zuletzt sind großflächige Kalamitäten wie z. B. im Ostharz mit Freiflächen, höheren Mineralisationsraten und in Folge mit besseren Humusformen häufiger im BZE III-Kollektiv vertreten.</p>
2) Kommentierung des Indikatorverlaufs Mittlere Kohlenstoffvorräte im Mineralboden bis 30 cm Tiefe	<p>Die Ergebnisse der beiden ersten Bodenzustandserhebungen im Wald Sachsen-Anhalts belegen eine deutliche und signifikante Zunahme der Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus und Mineralboden bis 30 cm Bodentiefe. Mit durchschnittlich 1,8 Tonnen je Hektar jährlicher Speicherrate liegt Sachsen-Anhalt deutlich über dem Mittelwert Deutschlands (0,75 Tonnen je Hektar). Damit kann der Waldboden für diesen Zeitraum als bedeutende Kohlenstoffsенке angesehen werden. Als Ursachen kommen mehrere Faktoren in Betracht. Zum einen weisen vor allem Sandböden bei relativ hohen Kohlenstoffkonzentrationen und Trockenrohdichten sowie geringen Steingehalten in der Regel schon höhere Kohlenstoffvorräte auf als z. B. stark steinhaltige Böden im Bergland. Zum anderen erhöhen Flugascheeinträge die Kohlenstoffvorräte. Auch konnten auf Waldstandorten mit Bodenbearbeitungen höhere Kohlenstoffvorräte festgestellt werden. Häufigere und hohe Trockenheiten können zudem Mineralisationsraten im Waldboden hemmen und damit zu höheren Kohlenstoffvorräten im Waldboden geführt haben.</p> <p>Die bislang vorliegenden Ergebnisse zur Höhe der Kohlenstoffvorräte müssen aufgrund erheblicher Variabilitäten in Waldböden und Unsicherheiten bei der Quantifizierung mit großer Vorsicht interpretiert werden. Die ermittelten Veränderungen seit der BZE I beruhen auf einer einheitlichen Berechnungsbasis und sind daher als Mittelwert auf Landesebene Sachsen-Anhalt als gesichert anzunehmen.</p>



Datentabelle der Humusauflage in Prozent

	Bodenzustandserhebung 1993	Bodenzustandserhebung 2006	Bodenzustandserhebung 2023
Rohhumus	52	20	3
Moder	40	56	71
Mull	8	24	26

Unterindikator 2)	Mittlere Kohlenstoffvorräte in der Humusauflage und im Mineralboden bis 30 cm Tiefe
Bezeichnung für Diagramm	Mittlere Kohlenstoffvorräte in der Humusauflage und im Mineralboden bis 30 cm Tiefe in Tonnen je Hektar



Datentabelle der mittleren Kohlenstoffvorräte in der Humusauflage und im Mineralboden bis 30 cm Tiefe in Tonnen je Hektar

	Bodenzustandserhebung 1993	Bodenzustandserhebung 2006
Humusauflage	15,0	23,8
Mineralboden 0-5 cm Tiefe	17,1	23,0
Mineralboden 5-10 cm Tiefe	8,0	14,3
Mineralboden 10-30 cm Tiefe	23,8	28,3