

Tabelle 11 Regionale und bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Summen EFSA4-PFAS und PFAS19 in Acker- und Grünland- Oberböden des ländlichen Raums - humusklassenübergreifend

			Σ-EFSA4-PFAS			Σ-PFAS19		
Region	HK	n	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.
			in µg / kg TS			in µg / kg TS		
Acker - Oberboden								
NO-Deutschland	h1-5	116	0,17	0,21	0,26	0,22	0,27	0,33
NW-Deutschland	h1-5	85	0,38	0,50	0,66	0,44	0,56	0,74
Mittel-/Süddeutschland	h1-5	178	0,39	0,52	0,70	0,48	0,63	0,80
bundesweit	h1-5	379	0,32	0,46	0,64	0,39	0,56	0,76
Grünland - Oberboden								
NO-Deutschland	h2-5	33	0,20	0,32	0,40	0,26	0,43	0,53
NW-Deutschland	h2-5	38	0,20	0,32	0,40	0,26	0,43	0,53
Mittel-/Süddeutschland	h2-5	106	0,71	1,04	1,27	0,92	1,39	1,58
bundesweit	h2-5	177	0,57	0,95	1,19	0,75	1,16	1,53

HK = Humusklasse; h1= <1 Ma-% Humus, h2= 1 - <2 Ma-% Humus, h3= 2 - <4 Ma-% Humus, h4= 4 - <8 Ma-% Humus, h5= 8 - <15 Ma-% Humus; n = Probenanzahl; P. = Perzentil

Tabelle 12 Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFBA und PFOA sowie der Perfluorsulfonsäure PFOS in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raums – humusklassenübergreifend

			PFBA (C4)			PFOA (C8)			PFOS (C8)		
Region	HK	n	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.
			in µg / kg TS			in µg / kg TS			in µg / kg TS		
Acker - Oberboden											
NO-Deutschland	h1-5	116	0,07	0,10	0,14	0,06	0,09	0,12	0,08	0,09	0,12
NW-Deutschland	h1-5	85	0,08	0,11	0,14	0,13	0,20	0,28	0,20	0,26	0,38
Mittel-/Süddeutschland	h1-5	178	0,10	0,12	0,15	0,14	0,20	0,30	0,19	0,28	0,38
bundesweit	h1-5	379	0,09	0,12	0,16	0,11	0,17	0,27	0,15	0,24	0,37
Grünland - Oberboden											
NO-Deutschland	h2-5	33	0,08	0,17	0,23	0,04	0,12	0,17	0,10	0,14	0,19
NW-Deutschland	h2-5	38	0,15	0,23	0,31	0,17	0,37	0,52	0,30	0,39	0,52
Mittel-/Süddeutschland	h2-5	106	0,22	0,31	0,43	0,23	0,33	0,40	0,34	0,51	0,72
bundesweit	h2-5	177	0,18	0,26	0,37	0,20	0,30	0,41	0,29	0,43	0,65

HK = Humusklasse; h1= <1 Ma-% Humus, h2= 1 - <2 Ma-% Humus, h3= 2 - <4 Ma-% Humus, h4= 4 - <8 Ma-% Humus, h5= 8 - <15 Ma-% Humus; n = Probenanzahl; P. = Perzentil

Anhand der Werte des 90. Perzentils zeigt sich ein klares, übergreifendes Muster: Die Werte auf Grünland-Oberböden liegen in allen Regionen sowohl für die beiden Summenparameter als auch für die ausgewählten Einzelstoffe über denen für Ackerböden. Unabhängig vom Nutzungstyp ist zudem ein regionales Gefälle erkennbar. Die geringsten Perzentilwerte treten durchgehend in Nordost-Deutschland auf, während für Nordwest-Deutschland sowie Mittel-/Süddeutschland z.T. deutlich höhere Werte abgeleitet wurden. Der Vergleich der Summenparameter verdeutlicht dabei, dass das Niveau der PFAS19-Summe maßgeblich - mit der Ausnahme von PFHxS - durch die EFSA4-Verbindungen geprägt ist. Wie in Abbildung 24 dargestellt, beträgt der prozentuale Anteil von PFHxS an der Summe EFSA4 ca. 1%.

Bei Acker-Oberböden bewegen sich die Perzentilwerte gegenüber Grünlandböden in einem engeren Bereich und weisen für die Summe EFSA 4 in Nordost-Deutschland ihren niedrigsten Wert auf. Höhere Werte für die Summe EFSA 4 wurden für Mittel- und Süddeutschland sowie Nordwest-Deutschland berechnet. Bei den betrachteten Einzelverbindungen zeigen sich hingegen regionale Unterschiede: Für PFOS wird der Höchstwert sowohl in Nordwest-Deutschland als auch in Mittel-/Süddeutschland erreicht. Demgegenüber liegt das Maximum für PFOA in Nordwest-Deutschland, während für PFBA der höchste Perzentilwert in Mittel- /Süddeutschland ermittelt wurde.

Bei Grünland-Oberböden fallen die regionalen Unterschiede deutlicher aus. Während für Nordost-Deutschland durchgehend die geringsten Werte berechnet wurden, werden in Nordwest-Deutschland und Mittel-/Süddeutschland höhere Perzentilwerte erreicht. Für die Summe PFAS 19 wird in Mittel-/Süddeutschland der höchste Wert verzeichnet. Dieses Muster

wiederholt sich bei den Einzelverbindungen: Mit Ausnahme von PFOA, für das in Nordwest-Deutschland sowie Mittel-/Süddeutschland der gleiche Wert ermittelt wurde, liegen die Höchstwerte für PFOS und PFBA der Grünlandflächen durchgehend in Mittel-/Süddeutschland.

Die Hintergrundwerte für PFAS-Gesamtgehalte (Perfluorcarbon- und Perfluorsulfonsäuren, ADONA sowie für die Summe der EFSA4-PFAS und die Summe PFAS19) können im Einzelnen Anhang A entnommen werden.

Hintergrundwerte für die Vorläuferverbindungen und den Ersatzstoff HFPO-DA(GenX) wurden nicht in den Tabellenanhang aufgenommen. Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen (siehe Tabelle 13):

Tabelle 13 Hintergrundwerte für Vorläuferverbindungen und HFPA-DA(GenX)

Substanz	Acker	Grünland
N-MeFOSA	alle Perzentilwerte < Nachweisgrenze	alle Perzentilwerte < Nachweisgrenze
N-EtFOSA		
N-MeFOSAA		
6-2-FTS		
8-2-FTS		
9Cl-PF3ONS		
8:2 FTUCA		
8:2 diPAP		
HFPO-DA (GenX)		
PFOSA	Region Mittel-/Süddeutschland - Humusklasse h4: < Bestimmungsgrenze (< 0,02 µg/kg TS)	alle Perzentilwerte < Nachweisgrenze
	alle sonstigen Perzentilwerte < Nachweisgrenze	
N-EtFOSAA	bundesweit und Region Mittel-/Süddeutschland – h4 < Bestimmungsgrenze (< 0,016 µg/kg TS)	alle Perzentilwerte < Nachweisgrenze
	alle sonstigen Perzentilwerte < Nachweisgrenze	

5 Zusammenfassung/Summary

5.1 Zusammenfassung

Hintergrundwerte von Schadstoffen in land- und forstwirtschaftlichen Böden sind neben der Beschreibung des stofflichen Bodenzustands eine wesentliche Grundlage für die Ableitung von Bodenwerten nach der BBodSchV, die eine Plausibilitätsprüfung anhand solcher Werte vorsieht. Darüber hinaus sind sie wichtig für die Risikobewertung sowie für die vorsorgliche Begrenzung weiterer Stoffeinträge. Für viele anorganische und einige organische Altstoffe (z. B. PAK, PCB, Dioxine) existieren bereits Hintergrundwerte. Für neuere organische Schadstoffe — insbesondere PFAS — fehlen sie weitgehend. Zur Schließung dieser Datenlücke wurden im Rahmen der Ressortforschungspläne 2020 und 2021 zwei Projekte zur Untersuchung von Acker- und Grünlandböden im ländlichen Raum durchgeführt:

- „Hintergrundwerte für PFAS und (Mikro)Kunststoffe - bundesweit repräsentative Beprobung von landwirtschaftlich genutzten Böden“ (FKZ 3720 72 288 0) und
- „Bundesweite Hintergrundwerte für per- und polyfluorierte Chemikalien (PFAS) und weitere Schadstoffe in Böden“ (FKZ 3721712010).

Im Rahmen dieser bundesweiten Forschungsprojekte wurden Bodenproben an 605 landwirtschaftlich genutzten Standorten entnommen und hinsichtlich des Vorkommens verschiedener organischer Schadstoffe analysiert. In der vorliegenden Veröffentlichung sind ausschließlich die Ergebnisse der Feststoffuntersuchungen für PFAS dargestellt. Grundlage hierfür sind die Analysendaten von 581 Standorten im ländlichen Raum nach dem Ausschluss von Proben aus Verdichtungsräumen und Überschwemmungsgebieten. Die methodischen Vorgehensweisen bei Probenahme und Analytik werden in den Kapiteln 2.2, 2.3 und 2.4 beschrieben.

PFAS sind ausschließlich anthropogenen Ursprungs. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen eine flächenhafte PFAS-Belastung der Böden. Die zunehmende, bundesweite Belastung der Umwelt durch Einträge aus der Schadstoffgruppe der PFAS spiegelt sich in den Ergebnissen dieser Untersuchungen zweifelsfrei wider: In allen untersuchten Bodenproben konnten PFAS nachgewiesen werden.

Ermittlung von Differenzierungskriterien für PFAS-Gehalte in Böden

Die statistische Datenauswertung basiert auf den Untersuchungsergebnissen von 382 Acker- und 199 Grünland-Standorten im ländlichen Raum. Analyseergebnisse unterhalb der substanzspezifischen Bestimmungsgrenze wurden durch die halbe Bestimmungsgrenze ersetzt und Ergebnisse unterhalb der Nachweisgrenze auf „null“ gesetzt. Mittels statistischer Cluster- und Korrelationsanalysen wurde anhand der PFAS-Gesamtgehalte untersucht, ob sie eine räumliche Aufteilung vorzunehmen ist und welche Bodenkenngößen oder sonstigen Standortparameter die Analyseergebnisse beeinflussen. Da die unlogarithmierten Daten zu stark von einer Normalverteilung abwichen, wurden die statistischen Analysen durchgehend mit logarithmisch-transformierten Daten durchgeführt.

Die Untersuchung der räumlichen Verteilung erfolgte anhand der sieben naturräumlichen Großlandschaften Deutschlands (BfN, 2022). Mittels GIS-Analysen, Tukey-Tests, Whitney-Mann-Tests und einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) wurde die Abhängigkeit der Messdaten von

der geografischen Lage der Standorte präzise analysiert und statistisch geprüft, ob eine Zusammenfassung dieser Großlandschaften zu größeren Regionen valide ist.

Zudem wurde mittels eines Kendall-Tau-Tests systematisch geprüft, ob Korrelationen mit Standortparametern vorliegen. Die Untersuchung umfasste die Faktoren Humusgehalt, mittlere Niederschläge, Bodenart, pH-Wert, Trockenrohdichte sowie Trockensubstanz. Die Erkenntnisse dieser Untersuchung wurden anschließend genutzt, um mithilfe von multiplen linearen Modellen neben der räumlichen Clusterung weitere erklärende Variablen für die Verteilung der PFAS-Gehalte in den Böden zu bestimmen.

Die PFAS-Gehalte in Oberböden sind getrennt nach Nutzungsarten zu betrachten, da die Art der Bewirtschaftung einen erheblichen Einfluss auf die Stoffverteilung in Böden und die Höhe von Stoffeinträgen hat. So führt regelmäßiges Pflügen (ca. bis 30 cm) auf Ackerflächen zu einer Vermischung und damit Verdünnung von Schadstoffen. Demgegenüber reichern sich Stoffeinträge in Grünlandböden in deren obersten Zentimetern (ca. 10 cm Ah-Horizont) an.

Die statistische Auswertung zeigt eine räumliche Differenzierung der PFAS-Gesamtgehalte in Deutschland auf. Hierbei erweist sich eine Einteilung in die drei Regionen Nordostdeutsches Tiefland, Nordwestdeutsches Tiefland und Mittel-/Süddeutschland als statistisch valide.

Als weitere Einflussfaktoren auf die PFAS-Gehalte in landwirtschaftlich genutzten Böden wurden die Bodenkenngrößen Trockenrohdichte und Humusgehalt identifiziert. Da die Trockenrohdichte des Oberbodens – insbesondere auf Ackerflächen – jedoch stark vom Zeitpunkt und der Durchführung der Probenahme abhängt, erscheinen darauf basierende Hintergrundwerte für die Praxis ungeeignet; für die Auswertungen wurde daher nur der Humusgehalt herangezogen. Gleichwohl besitzt die Trockenrohdichte eine zentrale Bedeutung bei Fragestellungen zu volumenbezogenen Stoffgehalten, weil sie die Berechnung realer Stoffvorräte in Böden sowie die direkte Vergleichbarkeit von Böden unterschiedlicher Dichte (wie etwa Moorböden versus Mineralböden) und Nutzungsarten ermöglicht.

Zur Prüfung der Stärke der Korrelation von PFAS- und Humusgehalten wurden für die drei identifizierten Regionen Signifikanztest durchgeführt. Hier ergab sich ein gemischtes Bild: Während sich für die Nutzungsart Acker in Nordost-Deutschland ein deutlicher Zusammenhang von Humusgehalt und PFAS-Gesamtgehalt ergab, können diese Zusammenhänge in den beiden anderen Regionen mit dem gewählten Verfahren nicht bestätigt werden. Auch für Grünland ist der Zusammenhang von Humusgehalt und PFAS-Gesamtgehalt deutlich weniger signifikant. Durch eine nach Humusklassen differenzierte Darstellung der Verteilung der Messergebnisse in Box-Plots wird demgegenüber ersichtlich, dass mit steigendem Humusgehalt die PFAS-Gesamtgehalte in der Regel ebenfalls zunehmen. Vor diesem Hintergrund wurde entschieden, die Daten sowohl humusklassenübergreifend als auch nach Humusklassen differenziert auszuwerten.

Zusammenfassend kann dargestellt werden, dass die Gehalte von PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFBS, PFOS in der Regel mit zunehmendem Humusgehalt ansteigen. Für TFA, PFTrDA, PFTeDA, PFHxDA, PFODA, PFHpS, PFDS, PFHxS und ADONA konnte keine Abhängigkeit vom Humusgehalt identifiziert werden, da diese Stoffe nur an einer begrenzten Anzahl an Bodenproben quantifizierbar waren.

Vorkommen von PFAS in Böden

Für die untersuchten PFAS mit Kettenlängen von 4-18 perfluorierten Kohlenstoffatomen (C4 bis C18) zeigt sich ein flächenhaft wiederkehrendes Belastungsmuster. In Bezug auf die kurz und langkettigen **PFAS (C4-C18)** wird die Hauptbelastung durch die drei Verbindungen PFBA, PFOA

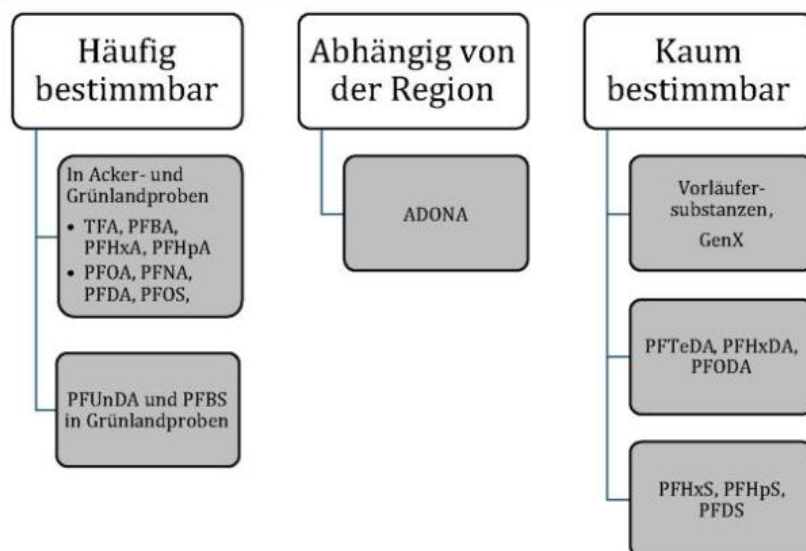
und PFOS bestimmt. Mit geringeren Gehalten folgen PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA. Die Gesamtgehalte der langkettigen Vertreter der Perfluorcarbonsäuren PFDA und PFUnDA liegen i.d.R. unterhalb der zuvor genannten PFAS. Die Anhänge B und C verdeutlichen die räumliche Verteilung der PFAS-Belastung. Wie in Abbildung 33 dargestellt waren einige PFAS (nahezu) in allen Bodenproben bestimmbar:

- die kurzkettigen Perfluorcarbonsäuren (bis C7) PFBA, PFHxA, PFHpA und
- die langkettigen Perfluorcarbonsäuren (ab C8) PFOA, PFNA, PFDA und die langkettige Perfluorsulfonsäure PFOS (C8).

In Grünlandböden war zusätzlich PFUnDA (C11) in fast jeder Probe nachweisbar. Andere PFAS wurden deutlich weniger häufig oder gar nicht in den Bodenproben detektiert oder quantifiziert.

Von den beiden untersuchten PFOA-Ersatzstoffen wurde **HFPO-DA (GenX)** mit der hier verwendeten Methode in keiner der Proben nachgewiesen. **ADONA** hingegen konnte in 33 Prozent der Grünlandproben nachgewiesen und in 15 Prozent quantitativ bestimmt werden; bei Acker liegen die jeweiligen Anteile niedriger.

Abbildung 33: Zusammenfassende Darstellung der Häufigkeit der PFAS-Nachweise in den untersuchten Bodenproben



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

In den Grünlandproben sind PFAS häufiger nachweisbar oder quantitativ bestimmbar. So war z.B. bei den Perfluorsulfonsäuren das kurzkettige PFBS deutlich häufiger bestimmbar (67 % der Mess-Ergebnisse liegen oberhalb der Bestimmungsgrenze) als in den untersuchten Ackerproben (12% oberhalb der Bestimmungsgrenze). Die im Vergleich zu Ackerflächen häufigeren PFAS-Nachweise im Grünland können u.a. auf die Art der Bewirtschaftung zurückgeführt werden: Während eingetragene PFAS im Grünland überwiegend im Oberboden akkumulieren (10 cm), führt die Bodenbearbeitung auf Ackerflächen zu einer Durchmischung des Bodens bis in eine Bodentiefe von 30 cm zu einer Verdünnung der Einträge im beprobten Horizont.

Hervorzuheben sind die Nachweise von **Trifluoressigsäure (TFA)**. TFA wurde als Vertreter der ultrakurzkettigen PFAS an 93 Standorten des ländlichen Raums untersucht. Mit der Ausnahme von zwei Ackerproben konnte TFA in allen Bodenproben oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,16 µg/kg TS quantifiziert werden. Für TFA konnte auf Grund der geringen Probenzahlen in den Regionen keine regionale Differenzierung und die Abhängigkeit der Messergebnisse von

Humusgehalten nachgewiesen werden. Aufgrund der physikochemischen Eigenschaften weist TFA eine sehr hohe Mobilität auf, was die Auswaschung in das Grundwasser sowie die Aufnahme in Nutzpflanzen begünstigt. Anders als bei den C4-C18-PFAS sind die TFA-Gehalte im Acker im Vergleich zum Grünland höher. Dies kann damit erklärt werden, dass TFA aus anderen Eintragsquellen stammt. Die Hauptquellen für TFA in der Umwelt in Deutschland sind neben Kälte- und Treibmittel Pflanzenschutzmittel (UBA 2023). Die analysierten TFA-Gehalte in den hier untersuchten Böden liegen im Vergleich zu PFOS ca. 9-fach höher in Acker- und ca. 5-fach höher in Grünlandböden. Diese Nachweise in Verbindung mit der hohen Mobilität deuten auf eine kontinuierliche Nachlieferung aus Abbauprozessen und atmosphärischen Einträgen hin. Es sei aber darauf hingewiesen, dass in dieser Studie für die TFA-Analytik Standorte mit vergleichsweise höheren C4-C18-PFAS-Gehalten ausgewählt wurden. Daher sind gering belastete Ackerflächen in der Stichprobe möglicherweise unterrepräsentiert.

Die mit der Targetanalytik untersuchten 10 **Vorläuferverbindungen** (PFOSA, N-MeFOSA, N-EtFOSA, N-MeFOSAA, N-EtFOSAA, 6-2-FTS, 8-2-FTS, 9Cl-PF3ONS, 8:2 FTUCA) waren in den Bodenproben häufig nicht nachweisbar. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die hier untersuchten Vorläufersubstanzen (> C4) kaum auf Standorten vorhanden sind, welche nicht im Umfeld von spezifischen Belastungsquellen liegen. Der Nachweis von Vorläuferverbindungen korreliert häufig mit erhöhten Gehalten an Perfluorcarbon- und Perfluorsulfonsäuren (z. B. PFOA, PFNA, PFOS) oder erhöhten PFAS-Summenwerten einzelner Proben. Zudem wurden PFOSA und N-EtFOSAA oft gemeinsam in denselben Bodenproben detektiert. Diese Ergebnisse werden durch die zusätzlich durchgeführten **TOP-Assay**-Untersuchungen von 50 Bodenproben gestützt. Beim TOP-Assay werden PFAS-Vorläuferverbindungen durch Oxidation in mit Standardanalytik messbare PFAS umgewandelt, um das potenzielle Ausmaß einer PFAS-Belastung zu erfassen. Bei solchen Proben, in denen bereits mit der Targetanalyse Vorläufersubstanzen nachgewiesen wurden, fanden sich auch Nachweise weiterer Vorläufer nach dem TOP-Assay. Dies weist darauf hin, dass an diesen Standorten spezifische Emissionsquellen vorliegen könnten, die zu prüfen wären. In den meisten der 50 analysierten Proben konnten jedoch keine Hinweise auf signifikante Gehalte an Vorläuferverbindungen gefunden werden. Das heißt, dass Vorläuferverbindungen in Gebieten mit nicht spezifischer PFAS-Belastung kaum nachweisbar sind und daher für die Bewertung der PFAS-Gehalte in den Böden vernachlässigbar sind. Allerdings wurde in dieser Studie TFA nicht in diesem Zusammenhang analysiert. Es ist zu erwarten, dass in den Böden Stoffe vorhanden sind, die mittels TOP-Assay zu TFA abgebaut werden können, z.B. Pflanzenschutzmittel. Dies ist bei der Bewertung von TFA-Gehalten zusätzlich zu berücksichtigen.

Generell sind die PFAS-Gehalte im Nordostdeutschen Tiefland am niedrigsten und nehmen über das Nordwestdeutschen Tiefland zur Region Mittel-/Süddeutschland zu. Die PFAS-Karten in Anhang B verdeutlichen die räumlichen Verteilungen der regelmäßig quantifizierten Substanzen. In Anhang C sind die Raummuster von Substanzen dargestellt, welche in der Regel nicht quantifiziert oder detektiert werden konnten.

Das in dieser Studie dargestellte Belastungsmuster der C4- bis C18-PFAS stimmt über alle Bodenproben hinweg mit den von Nordrhein-Westfalen (LANUV, 2023) und Hessen (Lügger et al., 2025) erhobenen Daten zu PFAS-Gesamtgehalten in Acker- und Grünland-Oberböden im Wesentlichen überein.

Das flächendeckende Vorkommen von PFAS in den Oberböden des ländlichen Raums ist ein Indiz dafür, dass die atmosphärische Deposition – resultierend aus dem regionalen und

weiträumigen Transport industrieller Luftemissionen – neben Punktquellen (z.B. Einsatz von fluorhaltigen Löschschäume, Klärschlamm- oder Kompostaufbringung, Beregnungswasser) als wichtiger Eintragspfad angesehen werden kann. Dies wurde in der Wissenschaft u.a. anderem bereits von Kotthoff et al. (2020) und Cousins et al., (2022) diskutiert.

Das bundesweit typische Mischungsverhältnis der **EFSA 4** (PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS) ist geprägt von PFOS (ca.51 %), PFOA (36%), PFNA (13 %) und geringfügigen PFHxS-Gehalten. Im Alpenvorland findet man hingegen eine abweichende spezifische Zusammensetzung vor: Hier stellt PFOA mit einem Median von 48 % häufig den größten Anteil dar, während PFOS (37 %) einen deutlich geringeren Anteil an der Gesamtsumme aufweist. Gleichzeitig begrenzt sich der Nachweis und die Bestimmung von ADONA bis auf seltene Ausnahmen auf den Süden Deutschlands und hier insbesondere auf das Alpenvorland und direkt angrenzende Gebiete. Es ist nicht das Ziel dieses Berichtes die einzelnen PFAS-Funde zu interpretieren. Dennoch ist es naheliegend, dass dieses spezifische Belastungsmuster von PFOA und ADONA auf die Emissionen bei der Herstellung von Fluorpolymeren zurückzuführen ist.³

Bundesweite Hintergrundwerte für PFAS in Böden

Für die Ableitung von Hintergrundwerten wurde der erhobene Datensatz nach den Vorgaben der LABO (2017) ausgewertet. Vor der Ermittlung von statistischen Kenngrößen (50., 75. und 90. Perzentil) erfolgte eine Unterteilung des Datensatzes entsprechend der genannten Differenzierungskriterien und eine Ausreißer- und Extremwertbereinigung anhand von logarithmierten Daten. Für die Ermittlung von Hintergrundwerten ist eine Mindestprobenzahl von n=20 für die jeweiligen Stichproben erforderlich. Bei kleineren Datensätzen (15-19 Messwerten) kann zur Orientierung der Median (50. Perzentil) herangezogen werden.

Die Berechnung von Perzentilwerten erfolgte einerseits für Gesamtdeutschland (bundesweit), andererseits für die drei Regionen Nordostdeutsches Tiefland, Nordwestdeutsches Tiefland und Mittel- /Süddeutschland. Weiterhin wurden die Perzentile für die Humusklassen h1 bis h5 und humusklassenübergreifend berechnet. Lagen mehr als 20 Probenpunkte vor, wurden alle Perzentilwerte angegeben. Lagen 15 bis 19 Probenpunkte vor, wurde lediglich das 50. Perzentil berechnet. Bei weniger als 15 Probenpunkten wurde keine Perzentilberechnung durchgeführt.

Als Kriterien für die Ableitung der Hintergrundwerte wurden neben der Nutzungsart eine regionale Differenzierung sowie die Differenzierung nach Humusgehalt bzw. Humusklassen ermittelt. Die räumliche Differenzierung ermöglicht eine genauere Berücksichtigung regionalspezifische Verhältnisse (u.a. Ausmaß der früheren und aktuellen Immissionsverhältnisse).

Mit dieser Veröffentlichung werden bundesweite Hintergrundwerte für folgende PFAS vorgelegt: PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTTrDA, PFTeDA, PFHxDA, PFODA, PFBS, PFHxS, PFHpS, PFOS und PFDS. Darüber hinaus wurden Hintergrundwerte für die Summe der EFSA4-PFAS und die Summe PFAS 19 abgeleitet. Für ADONA werden nur regionale Hintergrundwerte angegeben, da die ADONA-Belastung bis auf einzelne Werte nur in Mittel-/ Süddeutschland detektiert oder quantifiziert wurden.

Die Hintergrundwerte sind substanzspezifisch detailliert im Anhang A der Veröffentlichung aufgeführt. Nachstehend werden die Hintergrundwerte für PFAS-Summenwerte und der am häufigsten nachgewiesenen PFAS-Einzelverbindungen dargestellt:

³ PFOA wurde zur Herstellung von Fluorpolymeren verwendet und ab 2008 durch ADONA ersetzt. Herstellung und Verwendung von Fluorpolymeren führen zu Einträgen der Stoffe in die Umwelt (Gordon, 2011; Dalmijn et al., 2023; LfU, 2026).

Die Hintergrundwerte für Summe der **EFSA4** (PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS) liegt beim 90. Perzentil in einem Wertebereich von 0,26 µg/kg TS (Acker) und 0,4 µg/kg TS (Grünland) im Nordostdeutschen Tiefland bis 0,7 µg/kg TS (Acker) und 1,27 µg/kg TS (Grünland) in Mittel-/Süddeutschland.

Die Hintergrundwerte für Summe **PFAS19** sind gegenüber der Summe EFSA4 etwas höher: die 90er Perzentilwerte liegen in einem Wertebereich von 0,33 µg/kg TS (Acker) und 0,53 µg/kg TS (Grünland) in im Nordostdeutschen Tiefland bis 0,8 µg/kg TS (Acker) und 1,58 µg/kg TS (Grünland) in Mittel-/Süddeutschland. Dies spiegelt wider, dass die Haupt-PFAS Belastung durch die EFSA4 PFAS zustande kommt.

Die höchsten Hintergrundwerte weist bei den untersuchten Einzelverbindungen **PFOS** auf: Die Hintergrundwerte liegen hier beim 90. Perzentil in einem Wertebereich von 0,12 µg/kg TS (Acker) und 0,19 µg/kg TS (Grünland) im Nordostdeutschen Tiefland bis 0,38 µg/kg TS (Acker) im Nordwestdeutschen Tiefland / Mittel- & Süddeutschland und 0,72 µg/kg TS (Grünland) in Mittel-/Süddeutschland.

Die Hintergrundwerte für **PFOA** liegen beim 90. Perzentil in einem Wertebereich von 0,12 µg/kg TS (Acker) und 0,17 µg/kg TS (Grünland) im Nordostdeutschen Tiefland bis 0,3 µg/kg TS (Acker) in Mittel-/Süddeutschland und 0,52 µg/kg TS (Grünland) im Nordwestdeutschen Tiefland.

Die Hintergrundwerte für **PFBA** liegen beim 90. Perzentil in einem Wertebereich von 0,14 µg/kg TS (Acker) und 0,23 µg/kg TS (Grünland) im Nordostdeutschen Tiefland bis 0,15 µg/kg TS (Acker) und 0,43 µg/kg TS (Grünland) in Mittel-/Süddeutschland.

Diese Studie bestätigt und aktualisiert die bisherigen Erkenntnisse zum flächenhaften Vorkommen von PFAS in Böden. Sie stellt die erhobenen PFAS-Gehalte und die daraus abgeleiteten Hintergrundwerte dar. Die Hintergrundwerte können nun die Grundlage für die Ableitung von Vorsorge- Prüf- und Maßnahmenwerten gemäß Bundesbodenschutzverordnung sein. Um weitere Einträge und Anreicherungen in Böden zu vermeiden, ist es notwendig, gesetzlichen Werteregungen auch in anderen Rechtsbereichen fortzuschreiben.

5.2 Summary

Background values for contaminants in agricultural and forestry soils, along with a description of the soil's physical condition, serve as an essential basis for deriving soil values in accordance with the German Soil Protection Ordinance (BBodSchV), which requires a plausibility check based on such values. Furthermore, they are important for risk assessment and for the precautionary limitation of further contaminant inputs. Background values already exist for many inorganic and some organic legacy contaminants (e.g., PAHs, PCBs, dioxins). However, they are largely lacking for newer organic contaminants—particularly PFAS. To close this data gap, two projects were carried out as part of the 2020 and 2021 departmental research plans to investigate arable and grassland soils in rural areas:

- ▶ “Background values for PFAS and (micro)plastics—nationwide representative sampling of agricultural soils” (FKZ 3720 72 288 0) and
- ▶ “Nationwide background levels for per- and polyfluorinated chemicals (PFAS) and other contaminants in soils” (FKZ 3721712010).

As part of these nationwide research projects, soil samples were collected from 605 agricultural sites and analyzed for the presence of various organic pollutants. This publication presents only the results of the solid-phase analyses for PFAS. This is based on analytical results from 581 rural sites, after excluding samples from densely populated areas and floodplains. The methodological procedures for sampling and analysis are described in Chapters 2.2, 2.3, and 2.4.

PFAS are exclusively of anthropogenic origin. The findings presented here indicate widespread PFAS contamination of soils. The increasing nationwide environmental contamination caused by inputs from the PFAS group of pollutants is unequivocally reflected in the results of these investigations: PFAS were detected in all soil samples analyzed.

Identification of Differentiation Criteria for PFAS Contents in Soils

The statistical data analysis is based on the results from 382 arable land and 199 grassland sites in rural areas. Analysis results below the substance-specific limit of quantification were replaced by half the limit of quantification, and results below the limit of detection were set to “zero.” Using statistical cluster and correlation analyses based on total PFAS contents, the study examined whether a spatial classification should be performed and which soil characteristics or other site parameters influence the analysis results. Since the non-log-transformed data deviated too greatly from a normal distribution, the statistical analyses were performed throughout using log-transformed data.

The spatial distribution was examined based on Germany's seven major natural landscapes (BfN, 2022). Using GIS analyses, Tukey tests, Whitney-Mann tests, and principal component analysis (PCA), the dependence of the measurement data on the geographic location of the sites was precisely analyzed, and a statistical test was conducted to determine whether grouping these major natural landscapes into larger regions is valid.

In addition, a Kendall's tau test was used to systematically examine whether correlations with site parameters existed. The analysis included the following factors: humus content, average precipitation, soil type, pH, dry bulk density, and dry matter content. The findings of this study were then used to determine, with the aid of multiple linear models, additional explanatory variables for the distribution of PFAS contents in the soil, in addition to spatial clustering.

PFAS contents in topsoil must be considered separately by land use type, as the type of land management has a significant influence on the distribution of substances in the soil and the

extent of substance inputs. For example, regular plowing (to a depth of approximately 30 cm) on cropland leads to the mixing and thus dilution of contaminants. In contrast, contaminant inputs in grassland soils accumulate in the uppermost centimeters (approximately 10 cm Ah horizon).

The statistical analysis reveals spatial variation in total PFAS contents across Germany. A division into three regions—the Northeast German Lowlands, the Northwest German Lowlands, and Central/Southern Germany—proves to be statistically valid.

The soil parameters dry bulk density and humus content were identified as additional factors influencing PFAS concentrations in agricultural soils. However, since the dry bulk density of the topsoil—particularly on arable land—depends heavily on the timing and method of sampling, background values based on this parameter appear unsuitable for practical applications; therefore, only humus content was used for the analyses. Nevertheless, dry bulk density is of central importance when addressing volume-related substance contents, as it enables the calculation of actual substance reservoirs in soils as well as the direct comparability of soils of different densities (such as peat soils versus mineral soils) and land-use types.

To examine the strength of the correlation between PFAS and humus content, significance tests were conducted for the three identified regions. The results presented a mixed picture: While a clear correlation between humus content and total PFAS content was found for arable land in northeastern Germany, these correlations could not be confirmed in the other two regions using the selected method. For grassland as well, the relationship between humus content and total PFAS content is significantly less pronounced. However, a box plot analysis of the distribution of measurement results, differentiated by humus class, shows that total PFAS contents generally increase as humus content rises. Against this background, it was decided to evaluate the data both across humus classes and differentiated by humus class.

In summary, it can be stated that the contents of PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFBS, and PFOS generally increase with increasing humus content. For TFA, PFTTrDA, PFTeDA, PFHxDA, PFODA, PFHpS, PFDS, PFHxS, and ADONA, no dependence on humus content could be identified, as these compounds were quantifiable in only a limited number of soil samples.

Occurrence of PFAS in Soils

For the PFAS with chain lengths of four to 18 perfluorinated carbon atoms (C4–C18) analyzed, a widespread and repeating contamination pattern is evident. With regard to short- and long-chain **PFAS (C4–C18)**, the main contamination is caused by the three compounds PFBA, PFOA, and PFOS. These are followed by PFPeA, PFHxA, PFHpA, and PFNA, which are present in lower contents. The total contents of the long-chain perfluorocarboxylic acids PFDA and PFUnDA are generally lower than those of the PFAS mentioned above. Appendices B and C illustrate the spatial distribution of PFAS contamination. As shown in Figure 33, some PFAS were detectable in (nearly) all soil samples:

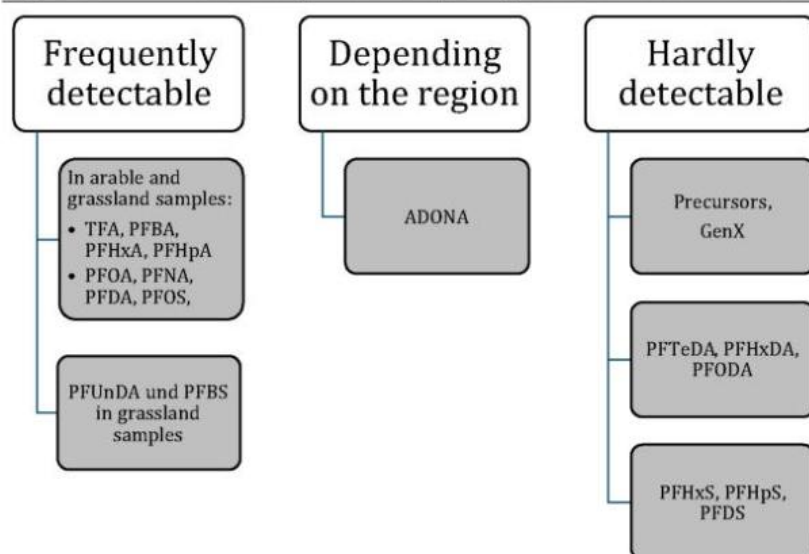
- ▶ the short-chain perfluorocarboxylic acids (up to C7)—PFBA, PFHxA, PFHpA—and
- ▶ the long-chain perfluorocarboxylic acids (C8 and above)—PFOA, PFNA, PFDA, and the long-chain perfluorosulfonic acid PFOS (C8).

In grassland soils, PFUnDA (C11) was also detectable in nearly every sample. Other PFAS were detected or quantified significantly less frequently or not at all in the soil samples.

Of the two PFOA substitutes examined, **HFPO-DA (GenX)** was not detected in any of the samples using the method employed here. **ADONA**, on the other hand, was detected in 33 percent of the

grassland samples and quantified in 15 percent; the respective proportions are lower for arable land.

Figure 34: Summary of the frequency of PFAS detections in the soil samples analysed



Source: Original image, Umweltbundesamt

PFAS are detected or quantified more frequently in grassland samples. For example, among perfluorosulfonic acids, the short-chain PFBS was detected significantly more often (67% of the measurement results were above the limit of quantification) than in the arable land samples analyzed (12% above the limit of quantification). The more frequent detection of PFAS in grassland compared to cropland can be attributed, among other things, to the type of land management: While PFAS inputs in grassland accumulate predominantly in the topsoil (10 cm), tillage on arable land results in the soil being mixed to a depth of 30 cm, leading to a dilution of the inputs in the sampled horizon.

Of particular note are the detections of **trifluoroacetic acid (TFA)**. TFA, as a representative of ultra-short-chain PFAS, was analyzed at 93 rural sites. With the exception of two arable land samples, TFA was quantified in all soil samples at levels above the limit of quantification of 0.16 µg/kg DM. Due to the small number of samples in each region, it was not possible to identify regional differences in TFA contents or to demonstrate a correlation between measurement results and humus content. Because of its physicochemical properties, TFA exhibits very high mobility, which facilitates its leaching into groundwater and uptake by crops. Unlike C4–C18 PFAS, TFA contents are higher in arable land than in grassland. This can be explained by the fact that TFA originates from different sources of input. In addition to refrigerants and propellants, the main sources of TFA in the environment in Germany are pesticides (UBA 2023). The TFA contents analyzed in the soils examined here are approximately 9 times higher in arable soils and approximately 5 times higher in grassland soils compared to PFOS. These findings, combined with the high mobility of TFA, indicate a continuous supply from degradation processes and atmospheric inputs. It should be noted, however, that sites with comparatively higher C4–C18 PFAS contents were selected for TFA analysis in this study. Consequently, arable lands with low-contamination may be underrepresented in the sample.

The 10 **precursor compounds** analyzed using target analysis (PFOSA, N-MeFOSA, N-EtFOSA, N-MeFOSAA, N-EtFOSAA, 6-2-FTS, 8-2-FTS, 9Cl-PF3ONS, 8:2 FTUCA) were often not detectable in the soil samples. These results illustrate that the precursor substances examined here (> C4) are rarely present at sites that are not located near specific sources of contamination. The detection

of precursor compounds often correlates with elevated levels of perfluorocarbon and perfluorosulfonic acids (e.g., PFOA, PFNA, PFOS) or elevated total PFAS contents in individual samples. In addition, PFOSA and N-EtFOSAA were often detected together in the same soil samples. These results are supported by the additional **TOP assay** analyses conducted on 50 soil samples. In the TOP assay, PFAS precursor compounds are converted by oxidation into PFAS that can be measured using standard analytical methods, in order to assess the potential extent of PFAS contamination. In samples where precursor substances had already been detected by the target analysis, evidence of additional precursors was also found following the TOP assay. This suggests that there may be specific emission sources at these sites that should be investigated. However, in most of the 50 samples analyzed, no evidence of significant levels of precursor compounds was found. This means that precursor compounds are scarcely detectable in areas with non-specific PFAS contamination. However, TFA was not analyzed in this context in this study. It is to be expected that substances are present in the soil that can be degraded to TFA via the TOP assay, such as pesticides. This must also be taken into account when evaluating TFA contents.

In general, PFAS contents are lowest in the Northeast German Lowlands and increase across the Northwest German Lowlands toward Central and Southern Germany. The PFAS maps in Appendix B illustrate the spatial distributions of the substances that were regularly quantified. Appendix C shows the spatial patterns of substances that generally could not be quantified or detected.

The contamination pattern of C4 to C18 PFAS presented in this study is essentially consistent across all soil samples with the data collected by North Rhine-Westphalia (LANUV, 2023) and Hesse (Lügger et al., 2025) on total PFAS contents in topsoil from arable land and grassland.

The widespread presence of PFAS in the topsoil of rural areas indicates that atmospheric deposition—resulting from the regional and long-range transport of industrial air emissions—can be considered an important pathway of entry alongside point sources (e.g., the use of fluorinated firefighting foams, sewage sludge or compost application, and irrigation water) as an important pathway of entry. This has already been discussed in the scientific literature by Kotthoff et al. (2020) and Cousins et al. (2022), among others.

The typical nationwide mixture ratio of **EFSA 4** (PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS) is characterized by PFOS (approx. 51%), PFOA (36%), PFNA (13%), and trace amounts of PFHxS. In the Alpine foothills, however, a different specific composition is found: Here, PFOA frequently accounts for the largest fraction, with a median of 48%, while PFOS (37%) represents a significantly smaller proportion of the total. At the same time, the detection and quantification of ADONA are limited, with rare exceptions, to southern Germany—and specifically to the Alpine foothills and directly adjacent areas. It is not the purpose of this report to interpret the individual PFAS findings. Nevertheless, it stands to reason that this specific contamination pattern of PFOA and ADONA is attributable to emissions from the production of fluoropolymers.

Nationwide background values for PFAS in soils

To derive background values, the collected dataset was analyzed in accordance with the guidelines set forth by LABO (2017). Before determining statistical parameters (50th, 75th, and 90th percentiles), the dataset was subdivided according to the specified differentiation criteria, and outliers and extreme values were removed using logarithmic data. To determine background values, a minimum sample size of $n=20$ is required for each sample. For smaller datasets (15–19 measurements), the median (50th percentile) can be used as a guide.

Percentile values were calculated both for Germany as a whole (nationwide) and for the three regions: the Northeast German Lowlands, the Northwest German Lowlands, and

Central/Southern Germany. Furthermore, the percentiles were calculated for humus classes h1 through h5 and across all humus classes. If more than 20 sampling points were available, all percentile values were reported. If 15 to 19 sampling points were available, only the 50th percentile was calculated. If fewer than 15 sampling points were available, no percentile calculation was performed.

In addition to land use type, regional differentiation and differentiation based on humus content or humus classes were identified as criteria for deriving the background values. Spatial differentiation allows for a more precise consideration of region-specific conditions (including the extent of past and current exposure conditions).

This publication presents nationwide background values for the following PFAS: PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTrDA, PFTeDA, PFHxDA, PFODA, PFBS, PFHxS, PFHpS, PFOS, and PFDS. In addition, background values for the sum of EFSA4 PFAS and the sum of PFAS 19 were derived. For ADONA, only regional background values are provided, as ADONA contents—with the exception of a few isolated values—have been detected or quantified only in central and southern Germany.

The background values are listed in detail by substance in Appendix A of the publication. The background values for total PFAS contents and the most frequently detected individual PFAS compounds are presented below:

The background values for the sum of **EFSA4** (PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS) are at the 90th percentile, ranging from 0.26 µg/kg DM (arable land) and 0.4 µg/kg DM (pasture) in the Northeast German Lowlands to 0.7 µg/kg DM (arable land) and 1.27 µg/kg DM (pasture) in central and southern Germany.

The background values for the total of the sum of **PFAS19** are slightly higher than the totals for the EFSA4: the 90th percentile values range from 0.33 µg/kg DM (arable land) and 0.53 µg/kg DM (pasture) in the Northeast German Lowlands to 0.8 µg/kg DM (arable land) and 1.58 µg/kg DM (pasture) in Central/Southern Germany. This reflects the fact that the primary PFAS contamination stems from the EFSA4 PFAS.

Among the individual compounds examined, **PFOS** exhibits the highest background levels: The background levels here, at the 90th percentile in a range from 0.12 µg/kg DM (arable land) and 0.19 µg/kg DM (pasture) in the Northeast German Lowlands to 0.38 µg/kg DM (arable land) in the Northwest German Lowlands / Central and Southern Germany and 0.72 µg/kg DM (pasture) in Central and Southern Germany.

The background levels for **PFOA** are at the 90th percentile, ranging from 0.12 µg/kg DM (arable land) and 0.17 µg/kg DM (pasture) in the Northeast German Lowlands to 0.3 µg/kg DM (arable land) in Central and Southern Germany and 0.52 µg/kg DM (pasture) in the Northwest German Lowlands.

The background values for **PFBA** at the 90th percentile range from 0.14 µg/kg DM (arable land) and 0.23 µg/kg DM (pasture) in the Northeast German Lowlands to 0.15 µg/kg DM (arable land) and 0.43 µg/kg DM (pasture) in Central/Southern Germany.

This study confirms and updates previous findings on the widespread occurrence of PFAS in soils. It presents the measured PFAS contents and the background values derived from them. These background values can now serve as the basis for deriving precautionary, testing and action values in accordance with the Federal Soil Protection Ordinance. To prevent further inputs and accumulation in soils, it is necessary to extend regulatory value provisions to other fields of law as well.

6 Quellenverzeichnis

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2009): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte und erweiterte Auflage, Nachdruck. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) (Hrsg.), Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

BBodSchV, Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), zuletzt geändert durch Artikel 126 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328).

BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumordnung (2023) Verdichtungsräume [Karte/Datensatz]. Datenbasis: Laufende Raumbeobachtung des BBSR, Bonn. Online verfügbar unter: [BBSR - Raumbeobachtung – Verdichtungsräume](#) (01.03.2026)

BfN, Bundesamt für Naturschutz (2021): Flussauen in Deutschland 2021 (Datensatz/WMS). Bonn. Online verfügbar unter: [BfN-Viewer](#) (01.03.2026)

BfN, Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (2022): Naturräumliche Gliederung Deutschlands (WMS-Dienst). Bonn. Online verfügbar unter: [BfN-Viewer](#) (02.03.2026)

BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2007): Karte der Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands 1:1.000.000. Hannover.

Cousins, I.T., Johansson, J.H., Salter, M.E., Sha, B. & Scheringer, M. (2022): Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). *Environmental Science & Technology*, 56(16), 11172–11179.

DALMIJN, J. et al. (2024): Emission inventory of PFASs and other fluorinated organic substances for the fluoropolymer production industry in Europe. In: *Environmental Science: Processes & Impacts*, Jg. 26, H. 1, S. 108–122. DOI: 10.1039/D3EM00426K. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1039/D3EM00426K> (24.06.2026)

Destatis, Statistisches Bundesamt (2019): Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung – 2019. Fachserie 3 Reihe 5.1. Wiesbaden.

DIN 19528:2023-07, Elution von Feststoffen - Perkulationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen

DIN 19529:2023-07, Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen bei einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg

DIN 32645:2008, Chemische Analytik - Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung

DIN 38407-42:2011-03, Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Wasser - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) nach Fest- Flüssig-Extraktion (F 42)

DIN 38414-14:2011, Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14)

DIN EN ISO 21675:2019-10, Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Wasser – Verfahren mittels Flüssigkeitschromatographie-Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) (ISO 21675:2019)

DWD Climate Data Center (CDC) (2025): Vieljähriges Mittel der Raster der Niederschlagshöhe für Deutschland 1981-2010, Version v1.0.

EFSA CONTAM Panel, Schrenk D, Bignami M, et al. (2020): Scientific Opinion on the risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal*, 18(9), 6223. Online verfügbar unter:

Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food - - 2020 - EFSA Journal - Wiley Online Library (01.04.2026)

Europäische Kommission (2021): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: EU-Bodenstrategie für 2030 – Die Vorteile gesunder Böden für Menschen, Lebensmittel, Natur und Klima nutzen. COM (2021) 699 final, Brüssel, 17.11.2021. Online verfügbar unter: [EUR-Lex - 52021DC0699 - EN - EUR-Lex \(01.03.2026\)](#)

Europäisches Parlament & Rat der Europäischen Union (2025): Richtlinie (EU) 2025/2360 vom 12. November 2025 zur Bodenüberwachung und -resilienz (Bodenüberwachungsrichtlinie). In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 2025/2360. Online verfügbar unter: [Directive - EU - 2025/2360 - EN - EUR-Lex \(01.03.2026\)](#).

FBU, Fachbeirat für Bodenuntersuchungen (2024): Empfehlungen des FBU zum methodischen Vorgehen bei der Bestimmung von niedrigen PFAS-Gehalten in Böden. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter: [20220407 Protokoll Hintergrund PFAS Boden \(01.03.2026\)](#)

Frische, T., Gehrenkemper, L., (2026): Ableitung von Bodenwerten für PFAS. UBA-Texte 50/2026, Umweltbundesamt. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-8137> (13.05.2026)

Gordon, S.C. (2011): Toxicological evaluation of ammonium 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoate, a new emulsifier to replace ammonium perfluorooctanoate in fluoropolymer manufacturing. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 59(1), 64–80. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2010.09.008> (05.06.2026)

Houtz, E. F., & Sedlak, D. L. (2012): Oxidative Conversion as a Means of Detecting Precursors to Perfluoroalkyl Acids in Urban Runoff. Environmental Science & Technology, 46(17), 9342–9349. Online verfügbar unter: [Oxidative Conversion as a Means of Detecting Precursors to Perfluoroalkyl Acids in Urban Runoff | Environmental Science & Technology \(12.04.2026\)](#)

ISO 21675:2019-10, Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Wasser - Verfahren mittels Flüssigkeitschromatographie/Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) nach Festphasenextraktion

ISO/IEC 17025:2017-11. Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien. Genf: International Organization for Standardization, 2017

ISO 17034:2016-11. Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Referenzmaterialherstellern. Genf: International Organization for Standardization, 2016

Koenzen, U., Kurth, A. & Günther-Diringer, D. (2021): Auenzustandsbericht 2021 – Flussauen in Deutschland. Herausgegeben vom Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn. <https://doi.org/10.19217/brs211> (01.03.2026)

Kotthoff, M., Fliedner, F., Rüdell, H., Göckener, B., Bücking, M., Biegel-Engler, A., Koschorreck, J. (2020): Per- and polyfluoroalkyl substances in the German environment – Levels and patterns in different matrices. Science of The Total Environment, Volume 740, 140116. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140116> (05.06.2026)

LABO (2017): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. IN: UTERMANN, J., KERTH, M. & STANGE, F. (Hrsg.): Bodenschutz – Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Kennziffer 9006, Erich Schmidt Verlag, Berlin. Online verfügbar unter: [LABO Fassung_HGW_Bericht_02_2017.pdf \(01.03.2026\)](#)

LANUV, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (2023): PFAS in Böden ländlicher Gebiete in Nordrhein-Westfalen. – LANUV-Fachbericht 150, 67 S., Recklinghausen. Online verfügbar unter: [LANUV Fachbericht_150.pdf \(01.03.2026\)](#)

LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2026): PFOA-Problematik im Raum Gendorf. Online- Informationsportal. Online verfügbar unter: https://www.lfu.bayern.de/altlasten/pfoa_gendorf/index.htm (24.06.2026).

Lügger, K., Heller, C. (2025): Untersuchungen von Standorten der hessischen Boden-Dauerbeobachtung auf Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS). In: HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (Hrsg.): Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen: Ausgabe 2025. Wiesbaden, S. 19-33. Online verfügbar unter: [Boden und Altlasten Newsletter 2025.pdf](#) (26.03.2026)

Piechotta, C., Westphalen, T., Hantschke, L., Kluge, S., Klyk-Seitz, U., Kaminski, K., Mauch, T., Scholl, J. (2027): Bundesweite Hintergrundwerte für per- und polyfluorierte Chemikalien (PFAS) und weitere Schadstoffe in Böden. UBA-Texte- Dessau-Roßlau (*Veröffentlichung in Vorbereitung*).

Scholl J, Meiers E, Mauch T, Lisec J, Sommerfeld T, Weinfurtnner K, Haase H, Koch M. (2025): Approaches towards sensitive and reliable determination of trifluoroacetic acid (TFA) from German grass- and farmland soils. Chemosphere. 382, Artikel 144496. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144496> (01.03.2026)

UBA, Umweltbundesamt (2023): Trifluoracetat (TFA): Grundlagen für eine effektive Minimierung schaffen. Räumliche Analyse der Eintragspfade in den Wasserkreislauf. Texte 102/2023, Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter: [Trifluoracetat \(TFA\): Grundlagen für eine effektive Minimierung schaffen - Räumliche Analyse der Eintragspfade in den Wasserkreislauf | Umweltbundesamt](#) (13.04.2026)

Wellbrock, N., Makowski, V., et al. (2022): Arbeitsanleitung für die dritte Bodenzustandserhebung im Wald (BZE III). Thünen Working Paper 195. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut. Online verfügbar unter: [Arbeitsanleitung für die dritte Bodenzustandserhebung im Wald \(BZE III\)](#)

Wellington Laboratories Inc. (2020). ISO 21675-NSS: Native Stock Solution/Mixture [Zertifiziertes Referenzmaterial]. Online verfügbar unter: [ISO21675_12nov2020_WR.pdf](#)

A Anhang: Bundesweite Hintergrundwerte für PFAS in Acker- und Grünland-Oberböden

Tabelle 14 Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFBA, PFPeA und PFHxA in Acker-Oberböden des ländlichen Raums

Acker-Oberboden			PFBA (C4)			PFPeA (C5)			PFHxA (C6)		
Region	HK	n	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.
			in µg / kg TS			in µg / kg TS			in µg / kg TS		
NO-Deutschland	h1	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	54	0,05	0,08	0,11	<0,014	0,03	0,06	0,02	0,03	0,04
	h3	51	0,09	0,12	0,14	0,02	0,12	0,15	0,04	0,05	0,06
	h4	7	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	116	0,07	0,10	0,14	0,01	0,06	0,13	0,02	0,04	0,06
NW-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	16	0,06	–	–	0,02	–	–	0,02	–	–
	h3	51	0,08	0,11	0,14	0,02	0,04	0,08	0,03	0,05	0,06
	h4	15	0,09	–	–	0,02	–	–	0,03	–	–
	h5	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	85	0,08	0,11	0,14	0,02	0,04	0,09	0,03	0,04	0,06
Mittel-/Süddeutschland	h1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	25	0,08	0,09	0,10	0,03	0,04	0,06	0,04	0,05	0,07
	h3	119	0,10	0,12	0,15	0,03	0,05	0,10	0,05	0,07	0,10
	h4	30	0,14	0,20	0,26	0,05	0,08	0,12	0,07	0,08	0,09
	h5	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	178	0,10	0,12	0,15	0,03	0,06	0,10	0,05	0,07	0,09
bundesweit	h1	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	95	0,06	0,08	0,11	0,02	0,04	0,07	0,02	0,04	0,06
	h3	221	0,10	0,12	0,15	0,03	0,06	0,12	0,04	0,06	0,09
	h4	52	0,12	0,16	0,24	0,04	0,07	0,12	0,06	0,08	0,11
	h5	6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	379	0,09	0,12	0,16	0,03	0,06	0,11	0,04	0,06	0,09

HK = Humusklasse; h1= <1 Ma-% Humus, h2= 1 - <2 Ma-% Humus, h3= 2 - <4 Ma-% Humus, h4= 4 - <8 Ma-% Humus, h5= 8 - <15 Ma-% Humus; n = Probenanzahl; P. = Perzentil;

Tabelle 15 Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFBA, PFPeA und PFHxA in Grünland-Oberböden des ländlichen Raums

Grünland-Oberboden			PFBA (C4)			PFPeA (C5)			PFHxA (C6)		
Region	HK	n	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.
			in µg / kg TS			in µg / kg TS			in µg / kg TS		
NO-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	15	0,07	–	–	0,02	–	–	0,01	–	–
	h4	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h5	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2-5	33	0,08	0,17	0,23	0,03	0,04	0,15	0,02	0,04	0,06
NW-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h4	22	0,15	0,20	0,26	0,02	0,07	0,30	0,02	0,04	0,06
	h5	6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2-5	38	0,15	0,23	0,31	0,03	0,05	0,10	0,03	0,05	0,06
Mittel-/Süd-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	13	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h4	63	0,22	0,27	0,36	0,07	0,15	0,35	0,07	0,09	0,12
	h5	29	0,33	0,45	0,50	0,10	0,16	0,24	0,11	0,13	0,15
	h2-5	106	0,22	0,31	0,43	0,07	0,15	0,27	0,07	0,11	0,14
bundesweit	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	38	0,11	0,16	0,21	0,03	0,05	0,07	0,02	0,04	0,06
	h4	94	0,20	0,26	0,35	0,06	0,13	0,31	0,06	0,08	0,10
	h5	40	0,28	0,40	0,52	0,09	0,16	0,23	0,11	0,13	0,15
	h2-5	177	0,18	0,26	0,37	0,05	0,12	0,25	0,06	0,09	0,12

HK = Humusklasse; h1= <1 Ma-% Humus, h2= 1 - <2 Ma-% Humus, h3= 2 - <4 Ma-% Humus, h4= 4 - <8 Ma-% Humus, h5= 8 - <15 Ma-% Humus; n = Probenanzahl; P. = Perzentil;

Tabelle 16 Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFHpA, PFOA und PFNA in Acker-Oberböden des ländlichen Raums

Acker-Oberboden			PFHpA (C7)			PFOA (C8)			PFNA (C9)		
Region	HK	n	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.
			in µg / kg TS			in µg / kg TS			in µg / kg TS		
NO-Deutschland	h1	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	54	0,02	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,03	0,03	0,04
	h3	51	0,03	0,04	0,05	0,08	0,10	0,12	0,03	0,04	0,05
	h4	7	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	116	0,02	0,04	0,04	0,06	0,09	0,12	0,03	0,03	0,04
NW-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	16	0,03	–	–	0,14	–	–	0,03	–	–
	h3	51	0,03	0,04	0,05	0,13	0,19	0,27	0,04	0,04	0,05
	h4	15	0,05	–	–	0,17	–	–	0,05	–	–
	h5	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	85	0,03	0,05	0,06	0,13	0,20	0,28	0,04	0,04	0,05
Mittel-/Süd-Deutschland	h1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	25	0,04	0,05	0,07	0,11	0,14	0,20	0,04	0,05	0,06
	h3	119	0,05	0,06	0,08	0,14	0,19	0,29	0,05	0,06	0,07
	h4	30	0,07	0,09	0,10	0,20	0,28	0,36	0,07	0,10	0,11
	h5	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	178	0,05	0,07	0,09	0,14	0,20	0,30	0,05	0,06	0,08
bundesweit	h1	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	95	0,02	0,04	0,05	0,07	0,12	0,18	0,03	0,04	0,05
	h3	221	0,04	0,05	0,07	0,12	0,18	0,26	0,04	0,05	0,06
	h4	52	0,06	0,08	0,10	0,17	0,28	0,35	0,07	0,10	0,12
	h5	6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	379	0,04	0,05	0,07	0,11	0,17	0,27	0,04	0,05	0,07

HK = Humusklasse; h1= <1 Ma-% Humus, h2= 1 - <2 Ma-% Humus, h3= 2 - <4 Ma-% Humus, h4= 4 - <8 Ma-% Humus, h5= 8 - <15 Ma-% Humus; n = Probenanzahl; P. = Perzentil

Tabelle 17 Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFHpA, PFOA und PFNA in Grünland-Oberböden des ländlichen Raums

Grünland-Oberboden			PFHpA (C7)			PFOA (C8)			PFNA (C9)		
Region	HK	n	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.
			in µg / kg TS			in µg / kg TS			in µg / kg TS		
NO-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	15	0,01	–	–	0,04	–	–	0,03	–	–
	h4	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h5	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2-5	33	0,02	0,05	0,07	0,04	0,12	0,17	0,04	0,06	0,08
NW-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h4	22	0,04	0,06	0,08	0,17	0,39	0,47	0,08	0,08	0,11
	h5	6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2-5	38	0,04	0,06	0,09	0,17	0,37	0,52	0,06	0,09	0,11
Mittel-/Süd-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	13	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h4	63	0,08	0,11	0,15	0,22	0,28	0,38	0,10	0,13	0,18
	h5	29	0,13	0,15	0,19	0,33	0,40	0,45	0,15	0,18	0,21
	h2-5	106	0,09	0,13	0,17	0,23	0,33	0,40	0,11	0,15	0,18
bundesweit	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	38	0,03	0,06	0,08	0,08	0,13	0,20	0,05	0,06	0,08
	h4	94	0,08	0,10	0,14	0,21	0,29	0,40	0,09	0,12	0,17
	h5	40	0,12	0,14	0,18	0,30	0,40	0,49	0,12	0,17	0,21
	h2-5	177	0,07	0,11	0,15	0,20	0,30	0,41	0,09	0,12	0,18

HK = Humusklasse; h1= <1 Ma-% Humus, h2= 1 - <2 Ma-% Humus, h3= 2 - <4 Ma-% Humus, h4= 4 - <8 Ma-% Humus, h5= 8 - <15 Ma-% Humus; n = Probenanzahl; P. = Perzentil

Tabelle 18 Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFDA, PFUnDA und PFDoDA in Acker-Oberböden des ländlichen Raums

Acker-Oberboden			PFDA (C10)			PFUnDA(C11)			PFDoDA (C12)		
Region	HK	n	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.
			in µg / kg TS			in µg / kg TS			in µg / kg TS		
NO-Deutschland	h1	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	54	0,014	0,016	0,019	<0,013	<0,013	0,017	<0,015	<0,015	<0,015
	h3	51	0,018	0,025	0,036	<0,013	0,014	0,020	<0,015	<0,015	<0,015
	h4	7	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	116	0,015	0,019	0,026	<0,013	<0,013	0,018	<0,015	<0,015	<0,015
NW-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	16	0,014	0,016	0,019	<0,013	–	–	<0,015	–	–
	h3	51	0,018	0,025	0,036	0,014	0,017	0,024	<0,015	<0,015	0,025
	h4	15	–	–	–	0,018	–	–	<0,015	–	–
	h5	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	85	0,015	0,019	0,026	0,014	0,019	0,023	<0,015	<0,015	0,023
Mittel-/Süd-Deutschland	h1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	25	0,024	0,029	0,035	0,015	0,018	0,024	<0,015	<0,015	<0,015
	h3	119	0,028	0,032	0,038	0,017	0,021	0,024	<0,015	<0,015	0,016
	h4	30	0,043	0,060	0,076	0,029	0,036	0,045	<0,015	0,019	0,029
	h5	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	178	0,028	0,033	0,041	0,018	0,023	0,027	<0,015	<0,015	0,019
bundesweit	h1	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	95	0,017	0,024	0,031	<0,013	0,015	0,019	<0,015	<0,015	<0,015
	h3	221	0,025	0,031	0,040	0,016	0,020	0,025	<0,015	<0,015	0,019
	h4	52	0,036	0,055	0,074	0,022	0,034	0,042	<0,015	0,019	0,045
	h5	6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h1-5	379	0,024	0,031	0,043	0,015	0,020	0,026	<0,015	<0,015	0,019

HK = Humusklasse; h1= <1 Ma-% Humus, h2= 1 - <2 Ma-% Humus, h3= 2 - <4 Ma-% Humus, h4= 4 - <8 Ma-% Humus, h5= 8 - <15 Ma-% Humus; n = Probenanzahl; P. = Perzentil; < 0, X = kleiner Bestimmungsgrenze der jeweiligen Verbindung

Tabelle 19 Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFDA, PFUnDA und PFDoDA in Grünland-Oberböden des ländlichen Raums

Grünland-Oberboden			PFDA (C10)			PFUnDA(C11)			PFDoDA (C12)		
Region	HK	n	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.	50.P.	75.P.	90.P.
			in µg / kg TS			in µg / kg TS			in µg / kg TS		
NO-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	15	0,016	–	–	0,015	–	–	<0,015	–	–
	h4	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h5	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2-5	33	0,020	0,024	0,032	0,018	0,022	0,031	<0,015	<0,015	<0,015
NW-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h4	22	0,029	0,035	0,042	0,024	0,032	0,038	<0,015	<0,015	0,017
	h5	6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2-5	38	0,031	0,041	0,053	0,027	0,032	0,039	<0,015	<0,015	0,020
Mittel-/Süd-Deutschland	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	13	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h4	63	0,050	0,067	0,087	0,035	0,052	0,064	<0,015	0,023	0,030
	h5	29	0,065	0,087	0,094	0,048	0,062	0,073	0,019	0,024	0,033
	h2-5	106	0,051	0,069	0,089	0,039	0,056	0,068	0,016	0,024	0,032
bundesweit	h1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h2	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	h3	38	0,030	0,036	0,047	0,025	0,031	0,035	<0,015	<0,015	0,017
	h4	94	0,040	0,058	0,076	0,033	0,042	0,061	<0,015	0,019	0,028
	h5	40	0,056	0,072	0,093	0,043	0,058	0,069	0,017	0,022	0,031
	h2-5	177	0,039	0,058	0,084	0,033	0,045	0,063	<0,015	0,019	0,029

HK = Humusklasse; h1= <1 Ma-% Humus, h2= 1 - <2 Ma-% Humus, h3= 2 - <4 Ma-% Humus, h4= 4 - <8 Ma-% Humus, h5= 8 - <15 Ma-% Humus; n = Probenanzahl; P. = Perzentil; < 0, X = kleiner Bestimmungsgrenze der jeweiligen Verbindung