

TEXTE

134/2026

Bundesweite Hintergrundwerte für PFAS in landwirtschaftlich genutzten Böden des ländlichen Raums

von:

Simone Schmidt, René Zahl, Annegret Biegel-Engler

Umweltbundesamt, Dessau

Christian Piechotta, Tanja Westphalen, Luisa Hantschke, Stephanie Kluge, Katja Kaminski, Juliane Scholl

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Karlheinz Weinfurtnner

Fraunhofer IME, Schmallenberg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

Bundesweite Hintergrundwerte für PFAS in landwirtschaftlich genutzten Böden des ländlichen Raums

von

Simone Schmidt, René Zahl, Annegret Biegel-Engler
Umweltbundesamt, Dessau

Christian Piechotta, Tanja Westphalen, Luisa Hantschke,
Stephanie Kluge, Katja Kaminski, Juliane Scholl
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Karlheinz Weinfurtner
Fraunhofer IME, Schmallenberg

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

Abschlussdatum:

Mai 2026

Redaktion:

Fachgebiet II 2.6 Maßnahmen des Bodenschutzes
Dr. Annegret Biegel-Engler, Simone Schmidt, René Zahl

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8512>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, August 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen*Autoren.

Kurzbeschreibung: Bundesweite Hintergrundwerte für PFAS in landwirtschaftlichen genutzten Böden des ländlichen Raums

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind eine große Gruppe anthropogener, hoch stabiler Fluorchemikalien, die aufgrund ihrer wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften breit eingesetzt wurden. Ihre extreme Persistenz führt dazu, dass sie sich in der Umwelt anreichern, weltweit verbreitet sind und über lange Zeit in Böden verbleiben können. Gleichzeitig stehen PFAS aufgrund möglicher gesundheitlicher Wirkungen zunehmend im Fokus regulatorischer Maßnahmen auf EU- und internationaler Ebene.

PFAS gelangen sowohl aus punktuellen Quellen (z. B. Industrie, Feuerlöschschäume) als auch aus diffusen Einträgen (z. B. Klärschlämme, Düngemittel, Bewässerung und atmosphärische Deposition) in Böden und können von dort ins Grundwasser sowie in die Nahrungskette übergehen. In Deutschland wurden in den letzten Jahren wiederholt erhebliche Bodenbelastungen festgestellt, was den Bedarf an einheitlichen Bewertungsgrundlagen unterstreicht.

Während in der Bundesbodenschutzverordnung für den Wirkungspfad Boden–Grundwasser bereits einzelne Prüfwerte existieren, fehlen für Boden–Mensch und Boden–Pflanze bislang PFAS-spezifische Bewertungsmaßstäbe. Hintergrundwerte spielen hierfür eine zentrale Rolle, da sie die Ableitung von Vorsorge- und Prüfwerten sowie die rechtssichere Bewertung von Belastungen ermöglichen.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden daher bundesweit die Oberböden von 605 landwirtschaftlich genutzten Standorte beprobt und analysiert. Der Bericht liefert erstmals bundesweite Hintergrundwerte für PFAS in Acker- und Grünlandböden des ländlichen Raums und schafft damit eine wissenschaftliche Grundlage für die Weiterentwicklung des Bodenschutzrechts.

Abstract:

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a large group of anthropogenic, highly stable fluorinated chemicals that are widely used due to their water-, grease- and dirt-repellent properties. Their extreme persistence means that they accumulate in the environment, are found worldwide and can remain in the soil for long periods of time. At the same time, PFAS are increasingly the focus of regulatory measures at EU and international level due to potential health impacts.

PFAS enter the soil from both point sources (e.g. industry, fire-fighting foams) and diffuse sources (e.g. sewage sludge, fertilisers, irrigation and atmospheric deposition), and can migrate from there into groundwater and the food chain. In Germany, significant soil contamination has been repeatedly identified in recent years, underscoring the need for uniform assessment criteria.

Whilst individual guideline values already exist in the Federal Soil Protection Ordinance for the soil–groundwater exposure pathway, PFAS-specific guideline values for soil–human and soil–plant pathways are currently lacking. Background values play a central role in this context, as they enable the derivation of precautionary and test values as well as the legally sound assessment of contamination.

On behalf of the Federal Environment Agency, topsoil samples were therefore taken and analysed from 605 agricultural sites across the country. The report provides, for the first time, nationwide background values for PFAS in arable and grassland soils in rural areas, thereby establishing a scientific basis for the further development of soil protection legislation.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis	13
1 Einleitung.....	18
2 Methodik	21
2.1 Fachliche Grundlagen.....	21
2.2 Auswahl der Untersuchungsstandorte.....	22
2.3 Probenahme, Probenvorbereitung und Bestimmung von Bodenkenngrößen	24
2.4 PFAS-Analytik	27
2.4.1 Untersuchungsspektrum.....	27
2.4.2 Bestimmung von PFAS-Gesamtgehalten in Böden	29
2.4.3 TOP Assay.....	33
2.5 Datenauswertung.....	34
3 Untersuchungsergebnisse	39
3.1 Untersuchungsstandorte und Differenzierungskriterien	39
3.1.1 Standorte für die Ermittlung von bundesweiten Hintergrundwerten für PFAS in landwirtschaftlich genutzten Oberböden des ländlichen Raums	39
3.1.2 Kriterien für die Differenzierung von PFAS in landwirtschaftlich genutzten Oberböden des ländlichen Raums	40
3.2 Ergebnisse der Untersuchung von PFAS-Gesamtgehalten in Acker- und Grünlandböden des ländlichen Raums.....	46
3.2.1 Allgemeiner Überblick über die Verteilung der Messwerte.....	46
3.2.2 Substanzspezifische Auswertung der PFAS-Gesamtgehalte	49
3.2.3 Summe der Gesamtgehalte von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS (EFSA4-PFAS).....	65
3.2.4 Summe der Gesamtgehalte von 19 PFAS-Verbindungen (Summe PFAS19)	67
3.3 Ergebnisse der TOP-Assay Untersuchungen	69
4 Bundesweite Hintergrundwerte für PFAS-Gesamtgehalte in landwirtschaftlichen genutzten Böden des ländlichen Raums.....	74
5 Zusammenfassung/Summary	78
5.1 Zusammenfassung	78
5.2 Summary	84
6 Quellenverzeichnis	89
A Anhang: Bundesweite Hintergrundwerte für PFAS in Acker- und Grünland-Oberböden	93

B	Anhang: Karten der bundesweiten Verteilung von PFAS-Gesamtgehalten in landwirtschaftlichen genutzten Böden des ländlichen Raums.....	109
C	Anhang: Karten der bundesweiten Detektion und Quantifizierung von PFAS-Gesamtgehalten in landwirtschaftlich genutzten Böden des ländlichen Raums.....	117

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Probenahmeschema der Satellitenmethode	25
Abbildung 2	Verdichtungsräume und Abgrenzung von Flussauen	34
Abbildung 3	Naturräumliche Großlandschaften des BfN und zusammengefasste regionale Cluster für die Ableitung von Hintergrundwerten	36
Abbildung 4	schematische Darstellung und Erläuterung von Whisker-Box- Plots	38
Abbildung 5	Lage der Untersuchungsstandorte	39
Abbildung 6	Prozentuale Anteile von PFAS-Messwerten oberhalb der Nachweis- und Bestimmungsgrenzen bei der Bestimmung von Gesamtgehalten	46
Abbildung 7	Verteilung der Perfluorcarbonsäuren, Perfluorsulfonsäuren und ADONA in Acker-Oberböden in den Regionen Nordostdeutsches Tiefland (NO-Deutschland), Nordwestdeutsches Tiefland (NW-Deutschland) und Mittel- /Süddeutschland	47
Abbildung 8	Verteilung der Perfluorcarbonsäuren, Perfluorsulfonsäuren und ADONA in Grünland-Oberböden in den Regionen Nordostdeutsches Tiefland (NO-Deutschland), Nordwestdeutsches Tiefland (NW-Deutschland) und Mittel- /Süddeutschland	48
Abbildung 9	Bundesweite Verteilung von PFOS und TFA in Acker- und Grünlandproben des ländlichen Raums	49
Abbildung 10	PFOA – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung	50
Abbildung 11	PFNA – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung	51
Abbildung 12	PFOS – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung	52
Abbildung 13	PFHxS – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung	53
Abbildung 14	PFBA– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung	54
Abbildung 15	PFPeA – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung	55
Abbildung 16	PFHxA– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung	56
Abbildung 17	PFHpA – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung	57
Abbildung 18	PFDA– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung	58

Abbildung 19	PFUnDA– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung.....	59
Abbildung 20	PFDoDA – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung.....	60
Abbildung 21	PFBS– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung	61
Abbildung 22	ADONA– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung.....	62
Abbildung 23	Lage der Untersuchungsstandorte von TFA und Verteilung der Messergebnisse	64
Abbildung 24	Bundesweit Verteilung und mittlere prozentuale Anteil von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS an der Summe-EFAS4.....	65
Abbildung 25	Mittlere prozentuale Anteil von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS an der Summe-EFAS4 im Alpenvorland.....	66
Abbildung 26	Summe-EFSA4– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung.....	66
Abbildung 27	Bundesweit mittlere prozentuale Anteile der einzelnen PFAS-Verbindungen an der Summe-PFAS19	68
Abbildung 28	Summe-PFAS19– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung.....	68
Abbildung 29	PFAS in Acker-Oberböden vor und nach TOP-Assay	70
Abbildung 30	PFAS in Grünland-Oberböden vor und nach TOP-Assay	71
Abbildung 31	Prozentuale PFAS-Gehalte nach TOP-Assay im Vergleich zum Ausgangswert in Ackerböden und Spannweiten der erweiterten Messunsicherheiten	72
Abbildung 32	Prozentuale PFAS-Gehalte nach TOP-Assay im Vergleich zum Ausgangswert in Grünlandböden und Spannweiten der erweiterten Messunsicherheiten	73
Abbildung 33:	Zusammenfassende Darstellung der Häufigkeit der PFAS-Nachweise in den untersuchten Bodenproben.....	80
Figure 34:	Summary of the frequency of PFAS detections in the soil samples analysed	86
Abbildung 35	Verteilung der PFOA- und PFNA- Gesamtgehalte in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes (nach Perzentilklassen gruppiert)	110
Abbildung 36	Verteilung der PFOS- und Σ -EFSA4- Gesamtgehalte in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes (nach Perzentilklassen gruppiert)	111
Abbildung 37	Verteilung der PFBA- und PFPeA- Gesamtgehalte in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes (nach Perzentilklassen gruppiert)	112

Abbildung 38	Verteilung der PFHxA- und PFHpA- Gesamtgehalte in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes (nach Perzentilklassen gruppiert)	113
Abbildung 39	Verteilung der PFDA- und PFUnDA- Gesamtgehalte in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes (nach Perzentilklassen gruppiert)	114
Abbildung 40	Verteilung der Σ -PFAS19- Gesamtgehalte in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes (nach Perzentilklassen gruppiert)	115
Abbildung 41	Detektion und Quantifizierung von PFHxS- und PFDoDA- Gesamtgehalten in landwirtschaftlich genutzten Böden des ländlichen Raums	118
Abbildung 42	Detektion und Quantifizierung von PFBS- und PFTrDA- Gesamtgehalten in landwirtschaftlich genutzten Böden des ländlichen Raums	119
Abbildung 43	Detektion und Quantifizierung von PFTeDA- und PFHxDA- Gesamtgehalten in landwirtschaftlich genutzten Böden des ländlichen Raums	120
Abbildung 44	Detektion und Quantifizierung von PFHpS- und ADONA- Gesamtgehalten in landwirtschaftlich genutzten Böden des ländlichen Raums	121

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Methoden zur Bestimmung der Bodenkenngößen	27
Tabelle 2	Übersicht der untersuchten PFAS-Verbindungen	28
Tabelle 3	Gradientenprogramm für die LC-Trennung von 30 PFAS-Spezies (C4-C18).....	30
Tabelle 4	Nachweis- und Bestimmungsgrenzen für PFAS-Gesamtgehalte im Boden	31
Tabelle 5	Erweiterte Messunsicherheit der Bestimmung von PFAS-Gesamtgehalten in Böden	32
Tabelle 6	Nach Bundesländern differenzierte Anzahl der im ländlichen Raum untersuchten Acker- und Grünlandstandorte.....	40
Tabelle 7	Ergebnisse des Signifikanztests für die Clusterung der PFAS-Gehalte nach Regionen	41
Tabelle 8	Ergebnisse des Signifikanztests für die Korrelation von PFAS- und Humusgehalten	42
Tabelle 9	Ergebnisse des Signifikanztests für die Korrelation von PFAS-Gehalten und der Trockenrohdichte	43
Tabelle 10	Nach Regionen und Humusklassen differenzierten Anzahl der im ländlichen Raum untersuchten Acker- und Grünlandstandort.....	44
Tabelle 11	Regionale und bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Summen EFSA4-PFAS und PFAS19 in Acker- und Grünland- Oberböden des ländlichen Raums - humusklassenübergreifend.....	75
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	76
Tabelle 13	Hintergrundwerte für Vorläuferverbindungen und HFPA-DA(GenX).....	77
Tabelle 14	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFBA, PFPeA und PFHxA in Acker- Oberböden des ländlichen Raums	94
Tabelle 15	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFBA, PFPeA und PFHxA in Grünland- Oberböden des ländlichen Raums	95
Tabelle 16	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFHpA, PFOA und PFNA in Acker- Oberböden des ländlichen Raums	96
Tabelle 17	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFHpA, PFOA und PFNA in Grünland- Oberböden des ländlichen Raums	97

Tabelle 18	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFDA, PFUnDA und PFDoDA in Acker-Oberböden des ländlichen Raums 98
Tabelle 19	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFDA, PFUnDA und PFDoDA in Grünland-Oberböden des ländlichen Raums 99
Tabelle 20	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFTrDA, PFTeDA und PFHxDA in Acker-Oberböden des ländlichen Raums 100
Tabelle 21	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäuren PFTrDA, PFTeDA und PFHxDA in Grünland-Oberböden des ländlichen Raums 101
Tabelle 22	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäure PFODA und Perfluorsulfonsäuren PFBS / PFHxS in Acker-Oberböden des ländlichen Raums 102
Tabelle 23	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorcarbonsäure PFODA und Perfluorsulfonsäuren PFBS / PFHxS in Grünland-Oberböden des ländlichen Raums.....103
Tabelle 24	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorsulfonsäuren PFHpS, PFOS und PFDS in Acker-Oberböden des ländlichen Raums 104
Tabelle 25	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Perfluorsulfonsäuren PFHpS, PFOS und PFDS in Grünland-Oberböden des ländlichen Raums 105
Tabelle 26	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Summen EFSA4-PFAS und PFAS19 in Acker-Oberböden des ländlichen Raums 106
Tabelle 27	Bundesweite Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte der Summe EFSA4-PFAS und PFAS24 in Acker-Oberböden des ländlichen Raums 107
Tabelle 28	(Bundesweite) Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte des Ersatzstoffes ADONA in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raums 108

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
ADONA	Ammoniumsalz der Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure
Ah	oberster Bodenhorizont unter Grünland- und Waldnutzung
Ap	oberster Bodenhorizont unter Ackernutzung
ASTM	American Society for Testing and Materials (internationale Normungsorganisation)
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BB	Brandenburg
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BE	Berlin
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BG	Bestimmungsgrenze
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
BZE	Bodenzustandserhebung
C	Kohlenstoff
CaCl₂	Calciumchlorid
Destatis	Statistisches Bundesamt
DIN	Deutsches Institut für Normung
DWD	Deutscher Wetterdienst
EFSA	Europäische Nahrungsmittelbehörde
EtOAc	Ethylacetat
EU	Europäische Union
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.
FKZ	Forschungskennzahl

Abkürzung	Erläuterung
Fraunhofer IME	Fraunhofer IME – Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie
GIS	Geografisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
h	Humusklasse
H₂SO₄	Schwefelsäure
HB	Bremen
HE	Hessen
HFPO-DA (GenX)	Hexafluorpropylenoxiddimersäure bzw. seine prominenten Verbindungen
HGW	Hintergrundwerte
HH	Hamburg
HILIC	Hydrophile Interaktions-Flüssigkeitschromatographie
HK	Humusklasse
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
IEC	International Electrotechnical Commission (Internationale Elektrotechnische Kommission)
IQR	Interquartilsabstand
ISO	International Organisation for Standardization
IUTA	Institut für Umwelt & Energie, Technik & Analytik e. V.
KA	Kartieranleitung
L/L	Flüssig-Flüssig (engl. Liquid/Liquid, bezogen auf Extraktionsverfahren)
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LANUK	Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (jetzt LANUK)
LC	Flüssigkeitschromatographie (engl. Liquid Chromatography)
LC-MS/MS	Flüssigkeitschromatographie mit Tandem-Massenspektrometrie
Ma-%	Masseprozent
Milli-Q-Wasser	Reinstwasser (Typ 1) mit einem spezifischen Widerstand von 18,2 MΩ·cm bei 25 °C

Abkürzung	Erläuterung
mM	Millimolar
mol/l	Mol pro Liter
MV	Mecklenburg-Vorpommern
Na₂CO₃	Natriumcarbonat
NaCl	Natriumchlorid
N-EtFOSA	N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid
N-EtFOSAA	N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamidoessigsäure
NI	Niedersachsen
N-MeFOSA	N-Methyl-Perfluoroctansulfonamid
N-MeFOSAA	N-Methyl-Perfluoroctansulfonamidoessigsäure
NO	Nordost
ns	nicht signifikant
NW	Nordrhein-Westfalen
NW	Nordwest
NWG	Nachweisgrenze
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
p	berechneter Wahrscheinlichkeitswert (engl. probability value) zur Bestimmung der statistischen Signifikanz
P.	Perzentil
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCA	Principal Component Analysis
PE	Polyethylen
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanz(en)
PFBA	Perfluorbutansäure
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFCA	Perfluorcarbonsäuren
PFDA	Perfluordecansäure
PFDoDA	Perfluordodecansäure
PFDoDS	Perfluordodecansulfonsäure
PFDS	Perfluordecansulfonsäure

Abkürzung	Erläuterung
PFHpA	Perfluorheptansäure
PFHpA	Perfluorheptansäure
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFNA	Perfluornonansäure
PFOA	Perfluoroctansäure
PFOS	Perfluoroctansulfonsäure
PFOSA	Perfluoroctansulfonamid
PFPeA	Perfluorpentansäure
PFPeS	Perfluorpentansulfonsäure
PFPPrA	Perfluorpropansäure
PFPPrS	Perfluorpropansulfonsäure
PFSA	Perfluorsulfonsäuren
PFTeDA	Perfluortetradecansäure
PFTrDA	Perfluortridecansäure
PFTrDS	Perfluortridecansulfonsäure
PFUnDA	Perfluorundecansäure
PFUnDS	Perfluorundecansulfonsäure
Q-Q-Plots	Quantil-Quantil-Diagramm
QS	Qualitätssicherung
RC	regenerierte Cellulose
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
RIVM	National Institute for Public Health and the Environment
RP	Rheinland-Pfalz
rpm	Umdrehungen pro Minute (engl. revolutions per minute)
RT	Retentionszeit
SH	Schleswig-Holstein
SL	Saarland

Abkürzung	Erläuterung
SN	Sachsen
ST	Sachsen Anhalt
STS	Split tube sampler
TFA	Trifluoressigsäure
TH	Thüringen
TOC	gesamter organischer Kohlenstoffgehalt (total organic carbon)
TOP-Assay	Total Oxidizable Precursor-Assay
TQ-MS	Triple-Quadrupol-Massenspektrometer
TRD	Trockenrohddichte
TS	Trockensubstanz
TWI	Tolerable Weekly Intake
UBA	Umweltbundesamt
v/v	Volumenverhältnis
ZRM	zertifiziertes Referenzmaterial

1 Einleitung

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind eine große Gruppe von chemischen Substanzen, die ausschließlich anthropogenen Ursprungs sind. Nach der erweiterten Definition der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) aus dem Jahr 2021 gehören PFAS zu einer sehr großen Stoffgruppe fluorierter Chemikalien. Demnach sind PFAS als Stoffe definiert, die mindestens ein vollständig fluoriertes Methyl- oder Methylen-Kohlenstoffatom enthalten. Basierend auf dieser Definition geht man von mehr als 10.000 PFAS-Verbindungen aus. PFAS werden anhand der Länge ihrer fluorierten Kohlenstoffkette in lang- und kurzkettige Verbindungen eingeteilt. Als langkettige PFAS gelten perfluorierte Carbonsäuren mit sieben oder mehr Kohlenstoffatomen (z. B. Perfluoroktansäure, PFOA) sowie perfluorierte Sulfonsäuren mit sechs oder mehr Kohlenstoffatomen (z. B. Perfluoroktansulfonsäure PFOS). Verbindungen mit kürzeren Ketten werden als kurzkettige PFAS bezeichnet. Zunehmend werden auch ultrakurzkettige PFAS betrachtet. Hierzu zählen PFAS mit sehr kurzen Kohlenstoffketten, typischerweise mit zwei bis drei Kohlenstoffatomen, wie beispielsweise Trifluoressigsäure (TFA). Aufgrund ihrer wasser-, schmutz- und fettabweisenden Eigenschaften werden und wurden sie in einer Vielzahl von industriellen Anwendungen und Konsumgütern eingesetzt. PFAS sind außerdem hitzestabil und widerstandsfähig gegenüber Abbauprozessen. Die hohe Stabilität von PFAS hat eine Kehrseite: Einmal in die Umwelt gelangt, verbleiben die Stoffe dort über Jahrzehnte. PFAS werden deshalb auch Ewigkeitschemikalien genannt. Die Kettenlänge beeinflusst maßgeblich die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Stoffe. Langkettige PFAS weisen in der Regel eine höhere Hydrophobizität und Lipophilie auf, adsorbieren stärker an organische Materialien und Sedimente und besitzen ein höheres Bioakkumulationspotenzial. Kurzkettige PFAS sind dagegen besser wasserlöslich und mobiler in Böden, wodurch sie über das Boden-Sickerwasser leichter ins Grundwasser eingetragen werden können.

Aufgrund ihrer hohen chemischen Stabilität, ihrer weiten Verbreitung und ihrer teilweise gesundheitsschädlichen Eigenschaften, wie die Schwächung des Immunsystems, Leberschädigungen oder die Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit, stehen PFAS zunehmend im Fokus internationaler und europäischer Regulierungen. Die Herstellung und Verwendung von PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA sowie weitere sogenannte langkettige PFAS ist seit 2010, 2020, 2022 bzw. 2025 mit dem Stockholmer Übereinkommen weltweit, mit Ausnahme weniger Einsatzbereiche, verboten. Über die Europäische Chemikalienverordnung (REACH) sind zusätzlich Herstellung, Inverkehrbringen und Verwendung von Perfluorhexansäure (PFHxA) sowie die Verwendung von PFAS in Feuerlöschschäumen beschränkt. Eine Beschränkung der gesamte Stoffgruppe unter dem Europäischen Chemikalienabkommen REACH ist derzeit in Bearbeitung.

Die Befassung mit der Belastung der Umwelt durch PFAS hat in den letzten Jahren stetig an Bedeutung gewonnen. Hintergrund dafür sind die Herabsetzung der wöchentlich duldbaren Aufnahme von PFAS mit der Nahrung durch die Europäische Nahrungsmittelbehörde (EFSA) und die damit in Verbindung stehenden Höchstgehalte in bestimmten Lebensmitteln wie Fisch und Fleisch sowie die Aufnahme von PFAS in die EU-Trinkwasserverordnung. Ergänzend zu diesen produkt- und verbraucherschutzbezogenen Regelungen verfolgt die EU-Bodenstrategie für 2030 (Europäische Kommission, 2021) das Ziel, alle Böden in der Europäischen Union bis spätestens 2050 in einen gesunden Zustand zu versetzen. Zur Umsetzung dieser Strategie trat 2025 das EU Soil Monitoring Law (DIRECTIVE (EU) 2025/2360) in Kraft. Diese Richtlinie zielt

auf eine europaweit einheitliche Überwachung des Bodenzustands ab – einschließlich der Erfassung von Schadstoffen wie PFAS. Diese Entwicklung betont die Notwendigkeit verlässlicher Bewertungsmaßstäbe für bodenbezogene Risiken.

PFAS gelangen sowohl aus punktuellen als auch aus diffusen Quellen in den Boden. Zu den punktuellen Einträgen zählen insbesondere industrielle Emissionen sowie der Einsatz fluorhaltiger Feuerlöschschäume, etwa auf Flughäfen oder Übungsplätzen. Diffuse Einträge erfolgen hingegen vor allem über landwirtschaftliche Anwendungen wie Klärschlämme, Komposte und Düngemittel, über die Bewässerung mit belastetem Wasser sowie über atmosphärische Deposition, bei der PFAS aus der Luft über Regen oder Staub großflächig abgelagert werden. Aufgrund ihrer hohen Stabilität verbleiben PFAS anschließend langfristig im Boden und können sich dort anreichern. Von dort können sie ins Grundwasser gelangen oder über Nahrungs- und Futtermittel in die Nahrungskette übergehen und damit ein erhebliches Risiko für die menschliche Gesundheit darstellen.

Die in Deutschland in jüngster Zeit festgestellten PFAS-Schadensfälle verdeutlichen den Bedarf an geeigneten Bewertungsgrundlagen. Erhebliche Bodenverunreinigungen sind unter anderem auf PFAS-Verunreinigungen in Klärschlämmen und Komposten oder durch industrielle Emissionen etwa in Baden-Württemberg, Bayern, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz zurückzuführen

In Deutschland bildet das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) zusammen mit der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) den rechtlichen Rahmen für die Bewertung und Sanierung von Bodenverunreinigungen. Für den Wirkungspfad Boden–Grundwasser existieren in der BBodSchV bereits Prüfwerte für bestimmte PFAS, wie z. B. PFOA und PFOS. Für die Wirkungspfade Boden–Mensch (z. B. über direkten Kontakt oder Inhalation von aufgewirbeltem Bodengstaub) und Boden–Nutzpflanze (PFAS-Transfer in Nahrungs- und Futtermittelpflanzen) liegen bislang jedoch keine PFAS-spezifischen Prüf- oder Vorsorgewerte vor.

Ein zentrales Element für die Bewertung des Vorkommens von PFAS und die Festlegung von Bodenwerten stellen Hintergrundwerte für Böden dar. Hintergrundwerte spiegeln die allgemein verbreiteten oder regional typischen Gehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe in Böden wider. Mit ihrer Hilfe können wissenschaftlich fundierte Vorsorge- und Prüfwerte abgeleitet werden, die einerseits den vorsorgenden Bodenschutz stärken und andererseits die Ableitung von Maßnahmen rechtssicher in der Praxis unterstützen. Bei Erarbeitung von Maßstäben für die Bewertung von PFAS in Böden (Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte des Bodenrechts) dienen sie der Plausibilitätsprüfung von rechnerisch ermittelten Belastungsgrenzen.

Für die Ermittlung von Hintergrundwerten für PFAS in landwirtschaftlich genutzten Oberböden des ländlichen Raums wurden im Rahmen der Ressortforschung des Bundesumweltministeriums zwei Projekte im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführt. Bundesweit wurden 605 Standorte beprobt und auf PFAS analysiert. Das Analytenspektrum umfasste vierzehn Perfluorcarbonsäuren, fünf Perfluorsulfonsäuren und zwei PFOA-Ersatzstoffe. Zusätzlich wurden die Bodenproben auf 12 sogenannte Vorläufersubstanzen (auch Precursor oder polyfluorierte Stoffe genannt) untersucht. Diese können zu Perfluorcarbon und -sulfonsäuren abgebaut werden. Um weitere unbekannte Vorläuferverbindungen zu erfassen, wurde an Teilproben der TOP-Assay (Total Oxidizable Precursor Assay) durchgeführt.

Die ist ein analytisches Verfahren zur Erfassung von PFAS-Vorläuferverbindungen, die mit klassischen Zielanalysen nicht direkt messbar sind.

Ziel dieses Berichts ist es, zum aktuellen Kenntnisstand hinsichtlich der Hintergrundbelastung von PFAS in landwirtschaftlich genutzten Oberböden des ländlichen Raums beizutragen, entsprechende bundesweite Hintergrundwerte darzustellen sowie methodische Ansätze zu ihrer Erhebung zu beschreiben.

Mit diesem Bericht werden erstmalig bundesweite Hintergrundwerte für Gesamtgehalte von PFAS in Acker- und Grünlandoberböden des ländlichen Raums vorgelegt. Damit wird eine wissenschaftlich fundierte Grundlage für die Fortschreibung des Bodenschutzrechts geschaffen.

2 Methodik

2.1 Fachliche Grundlagen

Für die Ableitung von Hintergrundwerten für Böden in Deutschland stellt der LABO-Bericht „Hintergrundwerte für anorganische und organische Schadstoffe“ (LABO, 2017) eine wesentliche fachliche Grundlage dar. Der Bericht definiert die zentralen Begriffe „Hintergrundgehalt“ und „Hintergrundwert“ und beschreibt, welche Anforderungen an die Planung und Durchführung von Untersuchungsprogrammen zu beachten sind, um Daten für die Ableitung von Hintergrundwerten zu erheben. Zudem werden methodische Anforderungen an die chemische Analyse und statistische Auswertung gestellt, um bundesweit vergleichbare Hintergrundwerte zu gewährleisten.

Begriffsbestimmungen und Erläuterungen (LABO, 2017)

Hintergrundgehalte

Schadstoffgehalt eines Bodens, der sich aus dem geogenen (natürlichen) Grundgehalt eines Bodens und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden zusammensetzt (BBodSchV, 1999).

- ▶ Schadstoffe sind Stoffe und Zubereitungen, die auf Grund ihrer Gesundheitsschädlichkeit, ihrer Langlebigkeit oder Bioverfügbarkeit im Boden oder auf Grund anderer Eigenschaften und ihrer Konzentrationen (Gehalte) geeignet sind, den Boden in seinen Funktionen zu schädigen oder sonstige Gefahren hervorzurufen (BBodSchV, 1999)
- ▶ Die Formulierung „ubiquitär/diffus“ grenzt den Hintergrundgehalt von solchen Gehalten ab, die durch lokal erhöhte Stoffeinträge (Emittenteneinfluss, Altlasten) gegenüber den Hintergrundgehalten erhöht sind. Sie unterstellt damit, dass der bezeichnete Hintergrundgehalt typisch bzw. repräsentativ für bestimmte Böden, Gebiete oder auch Nutzungen ist und nicht durch lokal erhöhte (geogene, chalkogene und/oder anthropogene, z.B. bewirtschaftungsbedingte) Werte beeinflusst wird.
- ▶ Für die meisten organischen Schadstoffe können lithogene oder chalkogene Komponenten ausgeschlossen werden, da diese Stoffe im Wesentlichen nicht als Ausgangsmaterialien der Bodenbildung vorkommen. Natürliche Ursachen (z.B. PAK-Entstehung bei Waldbränden, Dioxine in tertiären Lagerstätten) sind in der Regel vernachlässigbar. Der Hintergrundgehalt organischer Schadstoffe ist daher weitgehend identisch mit den ubiquitären Einträgen, die durch pedogenetische Prozesse und Nutzungseinflüsse im Boden umverteilt werden.

Hintergrundwert

Hintergrundwerte sind repräsentative, statistisch abgeleitete Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe in Böden.

- ▶ Hintergrundwerte für Böden beruhen auf den ermittelten Hintergrundgehalten und bezeichnen unter Angabe der statistischen Kenngrößen sowie der Bezugsgrößen wie Ausgangsgestein der Bodenbildung, Bodeneigenschaften, Bodenhorizont, Nutzung und Gebietsdifferenzierung die repräsentativen Stoffgehalte in Böden.

PFAS-spezifische Anforderungen an die Erhebung von Hintergrundgehalten und Ableitung von Hintergrundwerten sind bislang noch kein Bestandteil des LABO-Berichts. Daher wird hier ergänzend auf den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand und vorliegende Normen zurückgegriffen.

2.2 Auswahl der Untersuchungsstandorte

Im Rahmen der Forschungsaktivitäten zur Bestimmung von bundesweiten Hintergrundwerten für PFAS in landwirtschaftlichen genutzten Böden des ländlichen Raums wurden bundesweit die Oberböden von 605 Standorten untersucht, aufgeteilt auf 401 Acker- und 204 Grünlandstandorte. Ziel der Standortauswahl war eine weitestgehend repräsentative Erfassung von PFAS-Hintergrundgehalten für potentiell relevante Bezugsgrößen (Gebietstyp, Bodennutzungen, Humusgehalt, regionale Einflüsse). Bei der Auswahl der Untersuchungsstandorte galt es sicherzustellen, dass für die einzelnen Raumeinheiten jeweils ein ausreichender Probenumfang zur Verfügung stand, um statistisch belastbare Auswertungen zu ermöglichen. Probenahmeplanung und Probenahme erfolgte durch das *Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME* im Rahmen des UBA-Forschungsprojekts „Hintergrundwerte für PFAS und (Mikro)Kunststoffe - bundesweit repräsentative Beprobung von landwirtschaftlich genutzten Böden“ (FKZ 3720 72 288 0).

Gebietstyp: Vorwiegend ländlicher Raum

Gebietsspezifische Immissionssituationen – z.B. in Regionen mit hoher Industriedichte oder Ballungsräume versus ländliche Räume – können unmittelbaren auf die Hintergrundgehalten in Oberböden wirken. Es wird empfohlen eine Differenzierung der Hintergrundwerte für vorwiegend ländliche geprägte Räume und Verdichtungsräume vorzunehmen (LABO, 2017). Die Abgrenzung erfolgt entsprechend der vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung ausgewiesenen Verdichtungsräume (BBSR, 2023).

Nutzungsarten: Acker, Grünland

Nutzungsspezifische Stoffeinträge und Bearbeitungstiefen beeinflussen maßgeblich die Verteilung von Schadstoffen in Oberböden. So werden in Ackerböden eingetragenen Schadstoffe durch eine regelmäßige Bodenbearbeitung bis in eine Pflugtiefe von ca. 30 cm eingemischt und verdünnt. Dem gegenüber reichern sich in Grünlandböden ohne zwischenzeitlichem Umbruch (Dauergrünland) die Schadstoffe insbesondere in den oberen 10 cm an. Waldböden weisen meist höhere Schadstoffgehalte auf, was sich u.a. auf den höheren Auskämmeffekt der Vegetation von luftgetragenen Stoffeinträgen (Interzeption) und eine in der Regel geringere Lagerungsdichte der Oberböden zurückführen lässt.

Die Aufteilung der Beprobung auf 401 Acker- und 204 Grünlandstandorte (Dauergrünland) entspricht in etwa dem flächenhaften Verhältnis der Acker- und Grünlandnutzung in Deutschland.

Humusgehalte

Persistente organische Schadstoffe binden generell stark an die organische Bodensubstanz. Für die Ableitung von PFAS-Hintergrundwerten war daher zu prüfen, ob diese Eigenschaft auch für diese Stoffgruppe maßgeblich ist. Vor diesem Hintergrund zielte die Probenahmeplanung darauf ab, möglichst für jede gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden, 2009) definierte Humusklasse (HK) hinreichende Stichprobenumfänge ($n > 20$) zur Verfügung zu stellen.

Auf eine Beprobung von Ackerstandorten mit Humusgehalten $> 15\%$ (Humusklassen 6 und 7) wurde auf Grund ihrer geringen Flächenanteile und mit Blick auf die begrenzte Gesamtprobenzahl verzichtet.

Räumliche Verteilung der Untersuchungsstandorte

Zur Gewährleistung einer flächenhaft repräsentativen Verteilung der Probenahme-Standorte wurden zunächst für die Verteilung der zu beprobenden Acker- und Grünlandstandorte bundeslandspezifische „Faustzahlen“ ermittelt. Grundlagen hierfür waren

- ▶ die prozentualen Anteile von Acker- und Grünlandflächen der einzelnen Bundesländer an der jeweiligen Gesamtfläche dieser Nutzungsarten in Deutschland (Destatis, 2019) und
- ▶ die prozentualen Anteile des Vorkommens der Humusklassen in Acker- und Grünlandböden in Deutschland und die jeweiligen Anteile der Bundesländer (BGR, 2007).

Eine alleinige Betrachtung der prozentualen Verteilung der Humusklassen hätte bei flächenarmen Klassen zu einem zu geringen Stichprobenumfang (weniger als 20 Proben) geführt. Daher wurde in diesen Fällen im Rahmen der Probenahme-Planung eine Aufstockung von zu untersuchenden Standorten zu Lasten der flächenreicheren Klassen vorgenommen.

Die für die Bundesländer ermittelten „Faustzahlen“ dienten den für die Probenahme zuständigen Forschungsnehmer, den Länderbehörden, die sich an der Standortauswahl beteiligt haben und anderen Institutionen als Grundlage für eine möglichst gezielte und räumlich gut verteilte Auswahl von Probenahme-Standorten.

Ausschlusskriterien

Entsprechend der Zielstellung der Untersuchungen waren folgende Standorte von den Untersuchungen auszuschließen:

- ▶ Verdichtungsräume, Stadtstaaten (Hamburg, Bremen, Berlin)
- ▶ Böden in rezenten Auen,
- ▶ Sonderkulturen (z.B. Obst-, Wein- oder Hopfenanbau),
- ▶ Nähe zu Punktquellen,
- ▶ Altlasten, Altablagerungen, (potentiell) schädliche Bodenveränderungen, hierzu zählen auch PFAS-Schadensfälle infolge Klärschlamm-Aufbringung,
- ▶ Standorte im unmittelbaren Einflussbereich von Straßen (Mindestabstand > 20 Meter),
- ▶ Standorte in Gebieten mit bekannten, lokal erhöhten PFAS-Gehalten in Böden oder Grundwasser.

Mit Klärschlamm und/oder Kompost beaufschlagte Standorte (mit Ausnahme o.g. Schadensfälle) wurden nicht explizit von der Beprobung ausgeschlossen. Zum einen war die Klärschlammnutzung in der Vergangenheit eine flächenhaft weitverbreitete Bewirtschaftungsform. Aufgrund ihres deutlichen Rückgangs ist davon auszugehen, dass untypisch hoch belastete Proben über Ausreißer- und Extremwerttests erkannt werden und eine entsprechende Bereinigung des Datensatzes möglich ist. Ein systematischer Ausschluss von Standorten mit Klärschlamm- oder Kompostaufbringungen war zudem faktisch nicht möglich, da entsprechende Informationen nur in seltenen Fällen für das Umweltbundesamt oder vom Umweltbundesamt beauftragte Institutionen verfügbar sind.

2.3 Probenahme, Probenvorbereitung und Bestimmung von Bodenkenngößen

PFAS-spezifische Anforderungen an Probenahme und Probenvorbereitung

PFAS sind häufige Bestandteile alltäglicher Gebrauchsgegenstände. Um eine Kontamination der Proben zu vermeiden, war daher von der Probenahme bis zur Probenvorbereitung der Einsatz PFAS-haltiger Materialien so weit wie möglich auszuschließen. Da gleichzeitig Bodenproben für Kunststoffuntersuchungen entnommen wurden, war die Verwendung von Kunststoffen bei den Arbeitsmaterialien ebenfalls so weit wie möglich zu vermeiden.

Als mögliche Kontaminationsquellen während Probenahme, Probentransport und Probenaufbereitung wurden folgende Gebrauchsgüter identifiziert:

- ▶ Gefäße zur Aufbewahrung und Trocknung von Bodenproben,
- ▶ Kunststoffprodukte und PFAS in Kleidung,
- ▶ Kunststoffprodukte im Schlagkopf des Schonhammers.

Folgende einschlägige Anpassungen wurden für die Probenahme vorgenommen:

- ▶ Für Transport und Lagerung ausschließlich Verwendung von verschleißbaren Metallbehältern.
- ▶ Die Trocknung von Proben erfolgte in Schalen aus Edelstahl.
- ▶ Verwendung von Kleidung aus Baumwollfasern. Problematisch ist dies bei Regen, da dann kein ausreichender Regenschutz gewährleistet werden kann. Daher wurden bei der Probenahmeplanung die Witterungsverhältnisse berücksichtigt und versucht, Perioden mit Niederschlag so weit möglich zu vermeiden. Regenschutz war deshalb nur vereinzelt nötig und es kamen dabei nur reine Kunststoffmaterialien und keine Funktionskleidung mit PFAS zum Einsatz. Die Kontaminationsgefahr durch den Einsatz von Kunststoffjacken wird als eher gering eingeschätzt, da es zu keiner Faserbildung bei diesen Materialien kommt.
- ▶ Verwendung von Baumwollhandschuhen, unter die zum Schutz gegen Nässe normale Laborhandschuhe aus Kautschuk angezogen wurden. Alle verwendeten Baumwollhandschuhe wurden vor dem ersten Einsatz mehrfach gewaschen.
- ▶ Zum Eintreiben der Split-Tube-Probenahmegeräte wurden Schonhämmer mit Schlagköpfen aus Nylon verwendet. Um eine Kontamination der Proben durch vom Schlagkopf abplatzende Partikel zu vermeiden, wurde die Fläche um den Probenahmepunkt mit einem Baumwolltuch abgedeckt. Dies ist allerdings nur praktikabel, wenn kein oder nur ein niedriger Pflanzenbestand auf der Fläche vorliegt. Auf Acker-Standorten wurde daher die Probenahmen bevorzugt nach der Ernte oder im zeitigen Frühjahr vor starkem Längenwachstum durchgeführt. Auf Grünlandflächen wurde bei hohem Wuchs teilweise heruntergeschnitten oder der Grünlandbestand flachgetreten.
- ▶ Der Forschungsnehmer untersuchte Möglichkeiten zum Ersatz der üblichen Nylonschlagköpfe der Schonhämmer und versah diese versuchsweise mit einer Aluminium-Ummantelung. Aufgrund der im Vergleich zu Nylon geringeren Dämpfung der Schlagenergie führt diese Modifikation jedoch zu einer starken Belastung des Ellenbogens. Aus gesundheitlichen Gründen erwies sich der so angepasste

Schonhammer für intensive Probenahme-Kampagnen als ungeeignet und wurde lediglich vereinzelt auf Ackerstandorten genutzt, wenn die oben beschriebene Abdeckung des Pflanzenbestandes nicht möglich war.

Probenahme

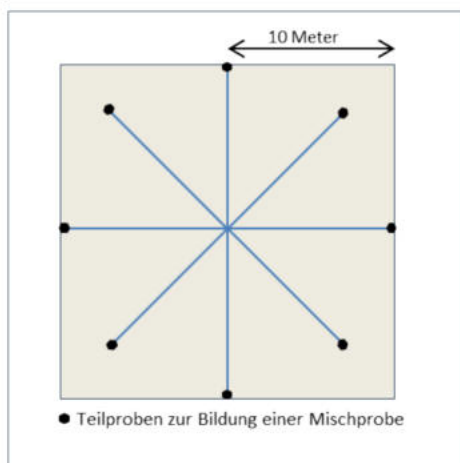
Zu beproben waren bei Ackerböden der Ap-Horizont (0-max. 30 cm) und bei Grünland die Tiefenstufe 0-10 cm (i.d.R. ausschließlich Ah-Horizont). Die Beprobungstiefen reichen daher nutzungsabhängig i.d.R. bei Ackerböden bis max. 30 cm und bei Grünlandböden bis max. 10 cm.

Die Entnahme der Bodenproben wurde zwischen Oktober 2021 und September 2024 durchgeführt. Um die bundesweite Beprobung logistisch zu bewältigen, wurde die Fraunhofer-Gesellschaft (FhG) durch das Institut für Energie- und Umwelttechnik (IUTA) unterstützt. Während die FhG rund 60 Prozent der Proben entnahm, übernahm IUTA die verbleibenden Standorte. Zur Qualitätssicherung und Standardisierung erstellte die FhG eine Arbeitsanweisung und führte drei Schulungen für das IUTA-Personal durch.

Die Probennahme erfolgte mittels Split-Tube-Sampler (STS) mit einem definierten Durchmesser von 4,8 cm. Aus dem Durchmesser des STS, der jeweiligen Probenahmetiefe und den im Labor bestimmten Trockensubstanzgehalten konnten die Trockenrohichte des Bodens bestimmt werden. Diese ist u.a. zur Interpretation von Schadstoffgehalten in Böden hilfreich. Weiterhin können so die Vorräte von Schadstoffen in Böden berechnet werden und die Beachtung der Lagerungsdichte ermöglicht auch einen besseren Vergleich von Schadstoffgehalten in Böden unterschiedlicher Nutzungsarten und Ausprägung (mineralische/organische Böden).

Die Beprobung erfolgte nach der Satellitenmethode und entspricht der Vorgehensweise bei der Bodenzustandserhebung im Wald (Wellbrock, 2022). Dabei wird, von einem zentralen Punkt ausgehend, die zu beprobende Fläche kreisförmig mit einem Radius von 10m in mindestens acht Segmenten unterteilt und an den jeweiligen Endpunkten Teilproben entnommen (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1 Probenahmeschema der Satellitenmethode



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Für die Untersuchung auf die Gehalte an PFAS, weitere organische Schadstoffe und Mikroplastik sowie die Einlagerung von Rückstellproben sollten pro Flächen ca. 10 kg Probenmaterial entnommen werden. In der Regel waren hierfür auf Ackerflächen 10 bis 15 und auf Grünlandflächen, bedingt durch die geringere Beprobungstiefe, 30 bis 40 Einstiche/Teilproben nötig.