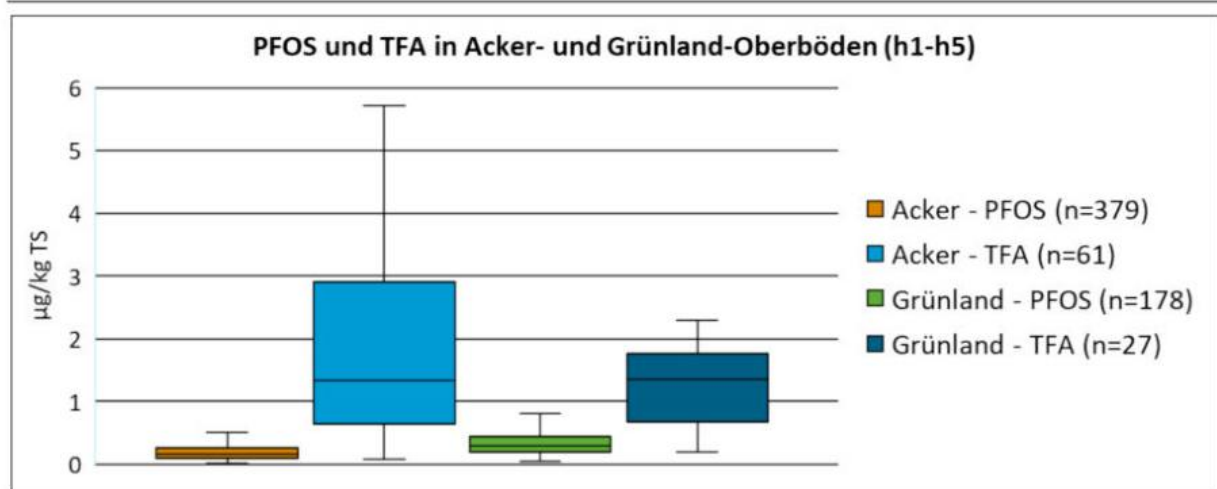


Abbildung 9 Bundesweite Verteilung von PFOS und TFA in Acker- und Grünlandproben des ländlichen Raums



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

3.2.2 Substanzspezifische Auswertung der PFAS-Gesamtgehalte

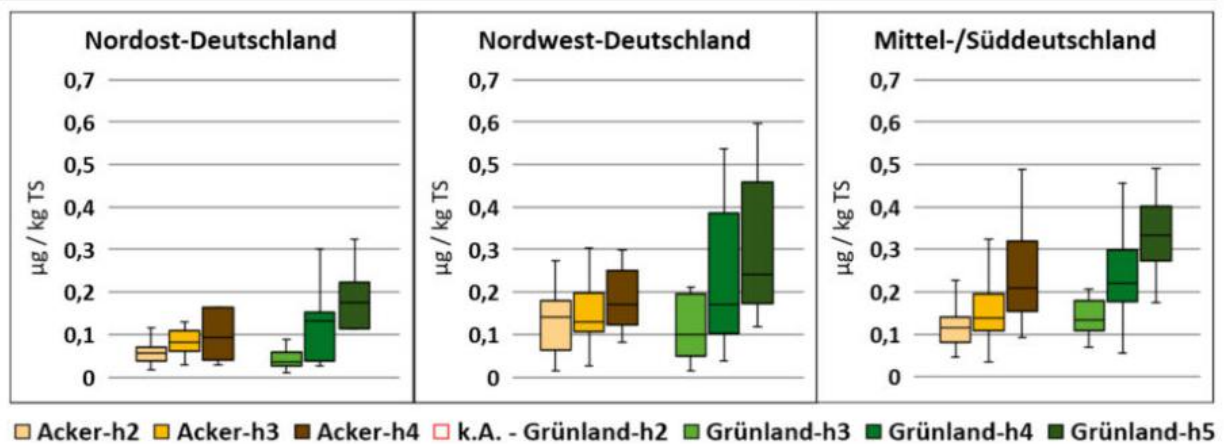
Im folgenden Abschnitt werden die Analyseergebnisse der untersuchten PFAS-Substanzen detailliert aufgeführt. Die Darstellung erfolgt dabei für jede Substanz konsistent anhand der ermittelten Differenzierungskriterien (Region, Nutzung, Humusklasse) sowie der bundesweiten und regionalen Medianwerte. Ergänzend veranschaulichen Whisker-Boxplots im Text und Kartendarstellungen in den Anhängen B und C die jeweiligen statistischen und geographischen Verteilungen. Dargestellt wird hierbei der ungefilterte Datenbestand vor einer auf logarithmierten Daten basierenden Ausreißer- und Extremwertbereinigung, wie sie für die Ableitung von Hintergrundwerten für Böden erforderlich ist. Dies führt dazu, dass der Abstand zwischen den Quantilen und die Gesamtspannweite in den hier gezeigten Plots vereinzelt enger ausfallen als bei den abgeleiteten Hintergrundwerten (Kapitel 4 und Anhang A).

PFOA wurde in allen untersuchten Bodenproben oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,007 µg/kg TS quantifiziert (Nachweisgrenze 0,002 µg/kg TS). Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von 0,015 bis 0,49 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,11 µg/kg TS für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,06 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,13 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,14 µg/kg TS.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen 0,01 und 0,60 µg/kg TS, der bundesweite Medianwert liegt bei 0,20 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,04 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,17 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,23 µg/kg TS.

In Abbildung 10 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFOA-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die PFOA-Gehalte steigen in der Regel mit zunehmendem Humusgehalt an. Die Karte für PFOA in Anhang B Abbildung 35 verdeutlicht die räumliche Verteilung dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 10 PFOA – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

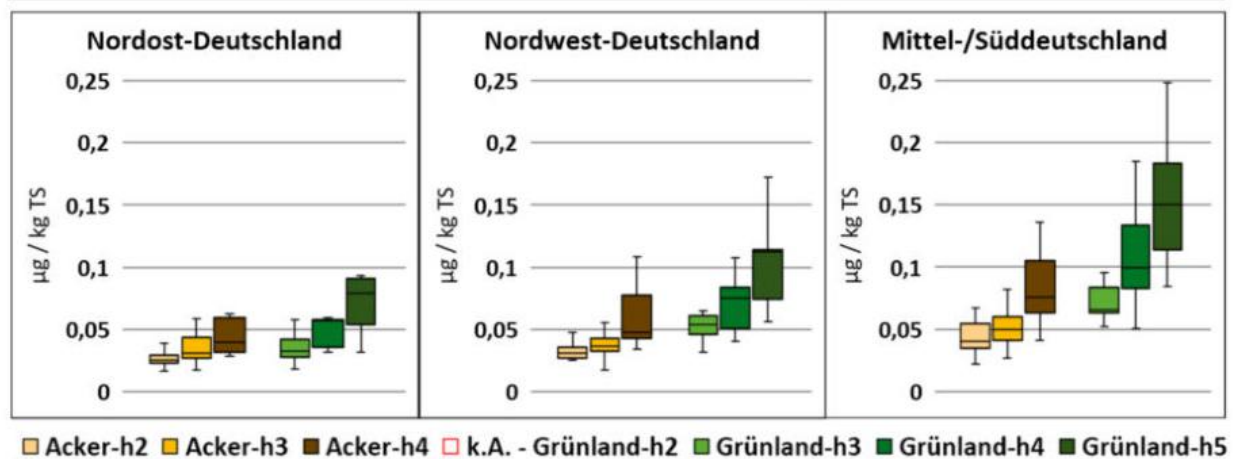
Die in der Abbildung nicht dargestellten Messergebnisse für die Humusklassen h6 (n=9) und h7 (n=12) bestätigen die generelle Zunahme der PFOA-Gehalte mit steigendem Humusanteil. Die PFOA-Gehalte bei h6 liegen überwiegend zwischen 0,11 und 0,74 µg/kg TS, wobei der Maximalwert von 1,85 µg/kg TS bei einer Trockenrohdichte von 0,62 g/cm³ auftrat. In der Klasse h7 wurden Gehalte zwischen 0,27 und 1,47 µg/kg TS gemessen.

PFNA wurde in nahezu allen untersuchten Bodenproben (Acker 98 %, Grünland 100 %) oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,016 µg/kg TS quantifiziert (Nachweisgrenze 0,005 µg/kg TS). Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von 0,017 bis 0,14 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,04 µg/kg TS für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,03 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,04 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,05 µg/kg TS.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen 0,019 und 0,25 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,09 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,04 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,06 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,11 µg/kg TS.

In Abbildung 11 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFNA-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die PFNA-Gehalte steigen in der Regel mit zunehmendem Humusgehalt an. Die Karte für PFNA in Anhang B Abbildung 35 verdeutlicht die räumliche Verteilung dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 11 PFNA – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

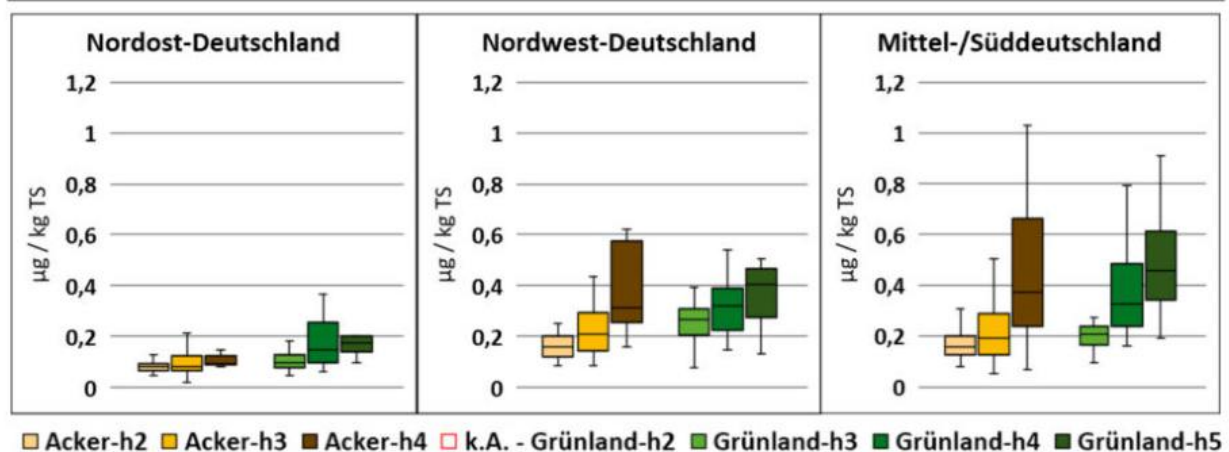
Die in der Abbildung nicht dargestellten Messergebnisse für h6 (n=9) und h7 (n=12) bestätigen die generelle Zunahme der Gehalte mit steigendem Humusanteil. Die Gehalte bei h6 liegen zwischen 0,06 und 0,45 µg/kg TS, während in der Klasse h7 Werte von 0,11 bis 0,26 µg/kg TS gemessen wurden.

PFOS wurde in allen untersuchten Bodenproben oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,013 µg/kg TS quantifiziert (Nachweisgrenze 0,004 µg/kg TS). Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von 0,022 bis 1,03 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,15 µg/kg TS für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,08 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,20 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,19 µg/kg TS.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen 0,05 und 0,91 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,29 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,10 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,30 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,34 µg/kg TS.

In Abbildung 12 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFOS-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die PFOS-Gehalte steigen in der Regel mit zunehmendem Humusgehalt an. Die Karte für PFOS in Anhang B Abbildung 36 verdeutlicht die räumliche Verteilung dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 12 PFOS – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

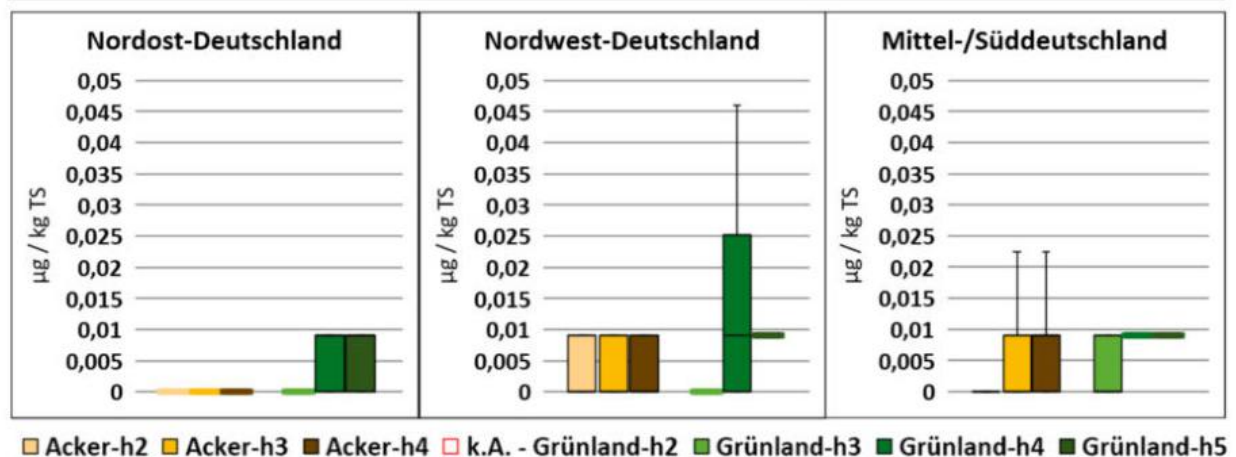
Die in der Abbildung nicht dargestellten Messergebnisse für h6 (n=9) und h7 (n=12) bestätigen die generelle Zunahme der Gehalte mit steigendem Humusanteil. Bei h6 liegen die Werte zwischen 0,14 und 1,0 µg/kg TS. In Klasse h7 wurden 0,2 bis 1,27 µg/kg TS gemessen, wobei ein Maximalwert von 1,84 µg/kg TS bei einer Trockenrohdichte von 0,4 g/cm³ auftrat.

PFHxS wurde in 31 % der Ackerproben und 71 % der Grünlandproben nachgewiesen (Nachweisgrenze 0,006 µg/kg TS), wobei eine Quantifizierung nur in 3 % der Ackerproben (an 13 Standorten) und 16 % der Grünlandproben möglich war (Bestimmungsgrenze 0,018 µg/kg TS). Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden wurde PFHxS in Nordost-Deutschland bis auf drei Standorte nicht nachgewiesen. In Nordwest-Deutschland erfolgte ein Nachweis in 43 % der Proben und eine Quantifizierung in 4 % der Proben, während in Mittel-/Süddeutschland in 44 % der Proben ein Nachweis (3 % quantifiziert) erfolgte.
- ▶ In Grünland-Oberböden lagen in Nordost-Deutschland 62 % der Proben unterhalb der Nachweisgrenze und 38 % unterhalb der Bestimmungsgrenze. In Nordwest-Deutschland wurde die Substanz in 60 % der Proben nachgewiesen (27 % quantifiziert) und in Mittel-/Süddeutschland in 82 % der Proben (9 % quantifiziert).

In Abbildung 13 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFHxS-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Aufgrund der geringen Anzahl an Quantifizierungen ist keine Abhängigkeit von den Humusgehalten erkennbar. Die Karte für PFHxS in Anhang C Abbildung 41 verdeutlicht die räumliche Verteilung der Nachweise im ländlichen Raum.

Abbildung 13 PFHxS – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

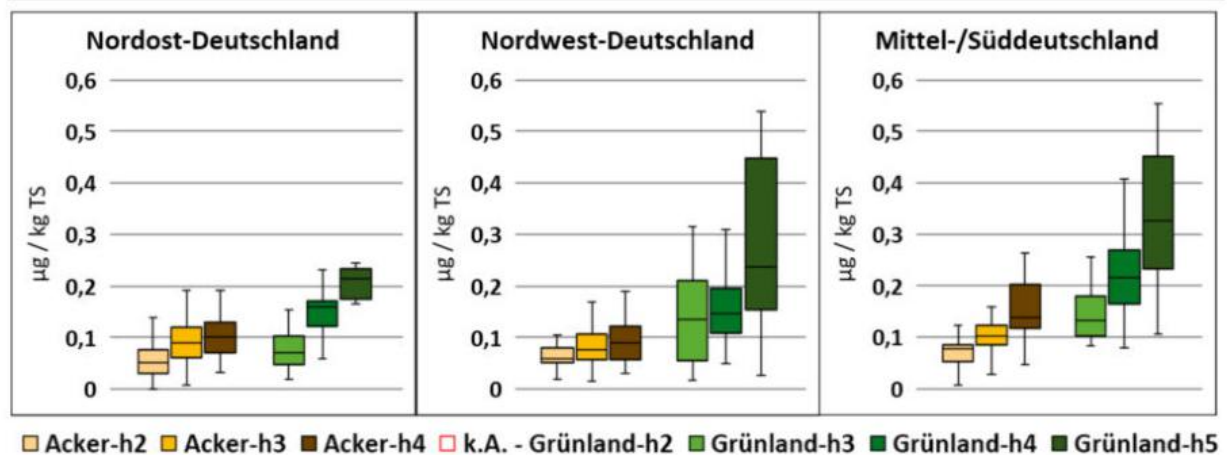
Die in der Abbildung nicht dargestellten Messergebnisse für h6 (n=9) und h7 (n=12) bestätigen die generelle Zunahme der Gehalte mit steigendem Humusanteil. Die Gehalte bei h6 reichen von < NWG bis 0,06 µg/kg TS. In Klasse h7 wurden Werte von < 0,18 bis 0,09 µg/kg TS gemessen, wobei die beiden höchsten Messwerte mit Trockenrohdichten unter 0,5 g/cm³ verknüpft sind.

PFBA wurde in 98 % der Ackerböden und 100 % der Grünlandböden oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,016 µg/kg TS quantifiziert (Nachweisgrenze 0,005 µg/kg TS). Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von 0 bis 0,26 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,09 µg/kg TS für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,07 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,08 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,10 µg/kg TS.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen 0,018 und 0,56 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,18 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,08 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,15 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,22 µg/kg TS.

In Abbildung 14 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFBA-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die PFBA-Gehalte steigen in der Regel mit zunehmendem Humusgehalt an. Die Karte für PFBA in Anhang B Abbildung 37 verdeutlicht die räumliche Verteilung dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 14 PFBA– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

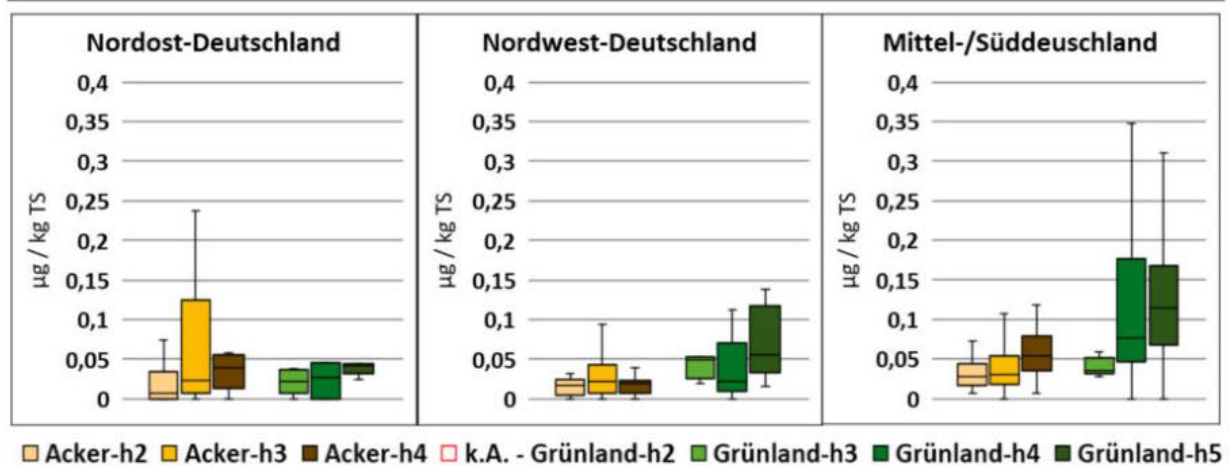
Die in der Abbildung nicht dargestellten Messergebnisse für h6 (n=9) und h7 (n=12) bestätigen die generelle Zunahme der Gehalte mit steigendem Humusanteil. Die Gehalte bei h6 liegen zwischen 0,09 und 0,77 µg/kg TS. In Klasse h7 wurden Werte von 0,34 bis 0,96 µg/kg TS gemessen, mit einem Maximalgehalt von 1,33 µg/kg TS bei einer Trockenrohdichte von 1,36 g/cm³.

PFPeA wurde in 69 % der Ackerproben und 87 % der Grünlandproben oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,014 µg/kg TS quantifiziert (Nachweisgrenze 0,004 µg/kg TS). Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von 0 bis 0,24 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,03 µg/kg TS für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,01 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,02 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,03 µg/kg TS.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen 0 und 0,35 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,05 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,03 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,03 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,07 µg/kg TS.

In Abbildung 15 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFPeA-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die PFPeA-Gehalte steigen in der Regel mit zunehmendem Humusgehalt an. Die Karte für PFPeA in Anhang B Abbildung 37 verdeutlicht die räumliche Verteilung dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 15 PFPeA – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

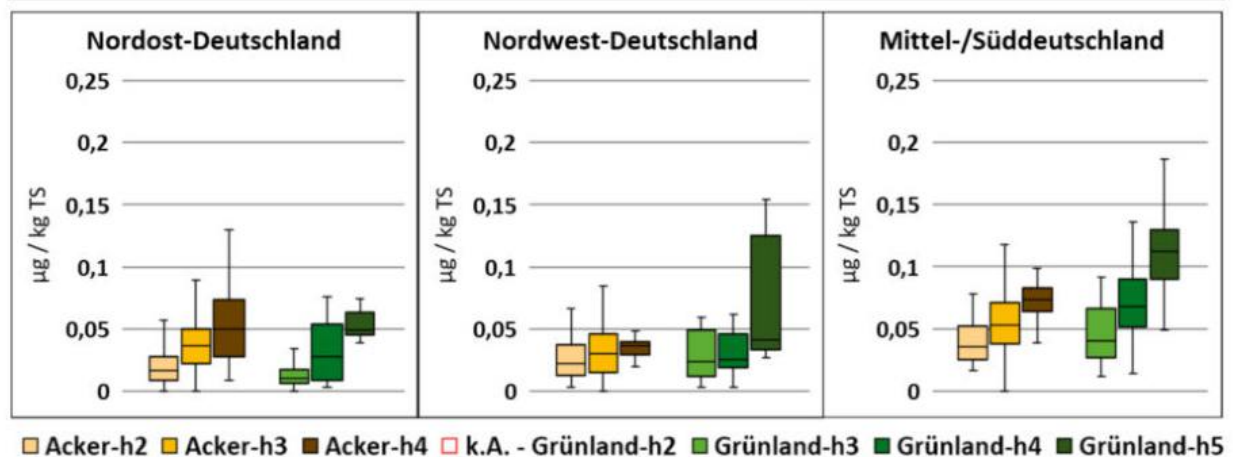
Die in der Abbildung nicht dargestellten Grünland-Messergebnisse für h6 (n=9) und h7 (n=12) liegen bei h6 zwischen 0,02 und 0,18 µg/kg TS (Extremwerte bis 0,87 µg/kg TS). In der Klasse h7 wurden Gehalte von < NWG bis 0,16 µg/kg TS gemessen, mit einem Extremwert von 0,63 µg/kg TS bei einer Trockenrohdichte von 0,4 g/cm³. Für NO- und NW-Deutschland bestätigt sich damit der Trend, dass die Gehalte mit steigendem Humusgehalt zunehmen. Bei Mittel- /Süddeutschland liegen die Messergebnisse von Proben mit Humusgehalten von h6 und h7 in der Regel im Bereich der Humusklassen h4 und h5, wobei auch hier die Maximalwerte deutlich höher liegen.

PFHxA wurde in 95 % der Ackerproben und 93 % der Grünlandproben oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,007 µg/kg TS quantifiziert (Nachweisgrenze 0,002 µg/kg TS). Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von 0 bis 0,12 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,04 µg/kg TS für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,02 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,03 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,05 µg/kg TS.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen 0 und 0,19 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,06 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,02 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,03 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,07 µg/kg TS.

In Abbildung 16 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFHxA-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die PFHxA-Gehalte steigen in der Regel mit zunehmendem Humusgehalt an. Die Karte für PFHxA in Anhang B Abbildung 38 verdeutlicht die räumliche Verteilung dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 16 PFHxA– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

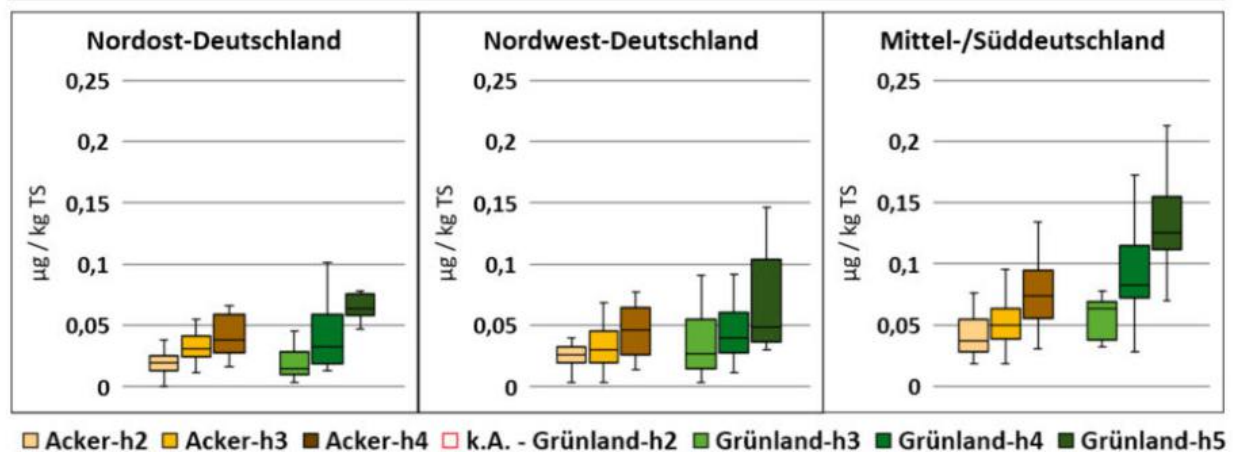
Die in der Abbildung nicht dargestellten Messergebnisse für h6 (n=9) und h7 (n=12) bestätigen die generelle Zunahme der Gehalte mit steigendem Humusanteil. Die Gehalte bei h6 liegen zwischen 0,05 und 0,25 µg/kg TS, in der Klasse h7 zwischen 0,08 und 0,28 µg/kg TS.

PFHpA wurde in jeweils 98 % der Acker- und Grünlandproben oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,008 µg/kg TS quantifiziert (Nachweisgrenze 0,002 µg/kg TS). Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von 0 bis 0,13 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,04 µg/kg TS für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,02 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,03 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,05 µg/kg TS.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen 0 und 0,21 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,07 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,02 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,04 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,09 µg/kg TS.

In Abbildung 17 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFHpA-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die PFHpA-Gehalte steigen in der Regel mit zunehmendem Humusgehalt an. Die Karte für PFHpA in Anhang B Abbildung 38 verdeutlicht die räumliche Verteilung dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 17 PFHpA – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



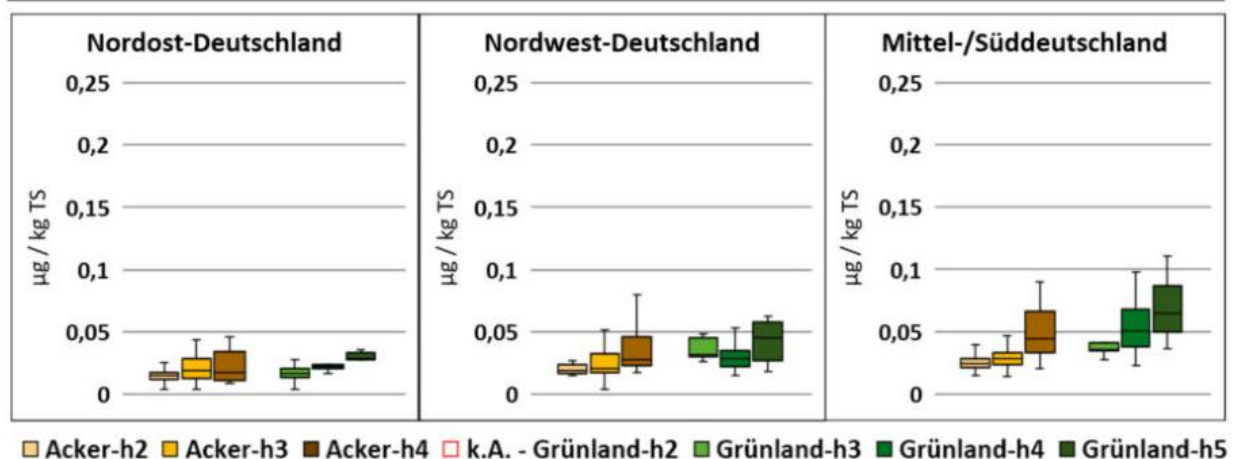
Die in der Abbildung nicht dargestellten Messergebnisse für h6 (n=9) und h7 (n=12) bestätigen die generelle Zunahme der Gehalte mit steigendem Humusanteil. Die Werte bei h6 liegen zwischen 0,03 und 0,51 µg/kg TS, in der Klasse h7 wurden Gehalte von 0,11 bis 0,24 µg/kg TS gemessen.

PFDA wurde in 97 % der Ackerproben und 99 % der Grünlandproben oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,008 µg/kg TS quantifiziert (Nachweisgrenze 0,003 µg/kg TS). Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von kleiner Bestimmungsgrenze bis 0,09 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,024 µg/kg TS für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,02 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,02 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,03 µg/kg TS.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen kleiner Bestimmungsgrenze und 0,11 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,039 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,02 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,03 µg/kg TS und in Mittel- /Süddeutschland 0,05 µg/kg TS.

In Abbildung 18 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFDA-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die PFDA-Gehalte steigen in der Regel mit zunehmendem Humusgehalt an. Die Karte für PFDA in Anhang B Abbildung 39 verdeutlicht die räumliche Verteilung dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 18 PFDA– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

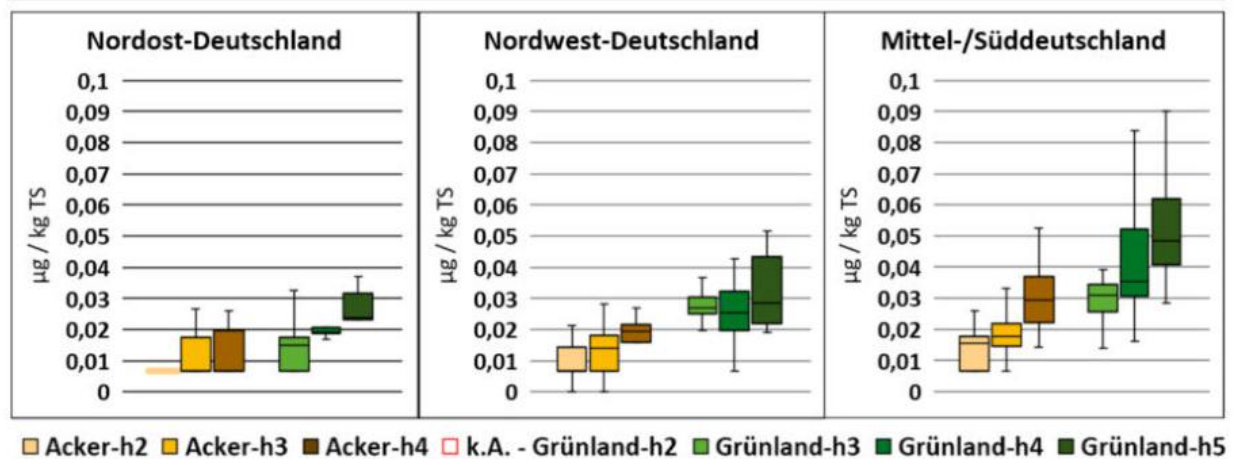
Die in der Abbildung nicht dargestellten Messergebnisse für h6 (n=9) und h7 (n=12) bestätigen die generelle Zunahme der Gehalte mit steigendem Humusanteil. Bei h6 wurden Gehalte von 0,03 bis 0,16 µg/kg TS gemessen, während die Werte in Klasse h7 zwischen 0,05 und 1,3 µg/kg TS liegen.

PFUnDA wurde – mit Ausnahme von drei Ackerproben – in allen Bodenproben nachgewiesen und in 63 % der Ackerböden und 95 % der Grünlandböden oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,013 µg/kg TS quantifiziert (Nachweisgrenze 0,004 µg/kg TS). Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von 0 bis 0,05 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,02 µg/kg TS für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland kleiner Bestimmungsgrenze, in Nordwest-Deutschland 0,01 µg/kg TS und in Mittel- /Süddeutschland 0,02 µg/kg TS.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen kleiner Bestimmungsgrenze und 0,09 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,03 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,02 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,03 µg/kg TS und in Mittel- /Süddeutschland 0,04 µg/kg TS.

In Abbildung 19 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFUnDA-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die PFUnDA-Gehalte steigen in der Regel mit zunehmendem Humusgehalt an. Die Karte für PFUnDA in Anhang B Abbildung 39 verdeutlicht die räumliche Verteilung dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 19 PFUnDA– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

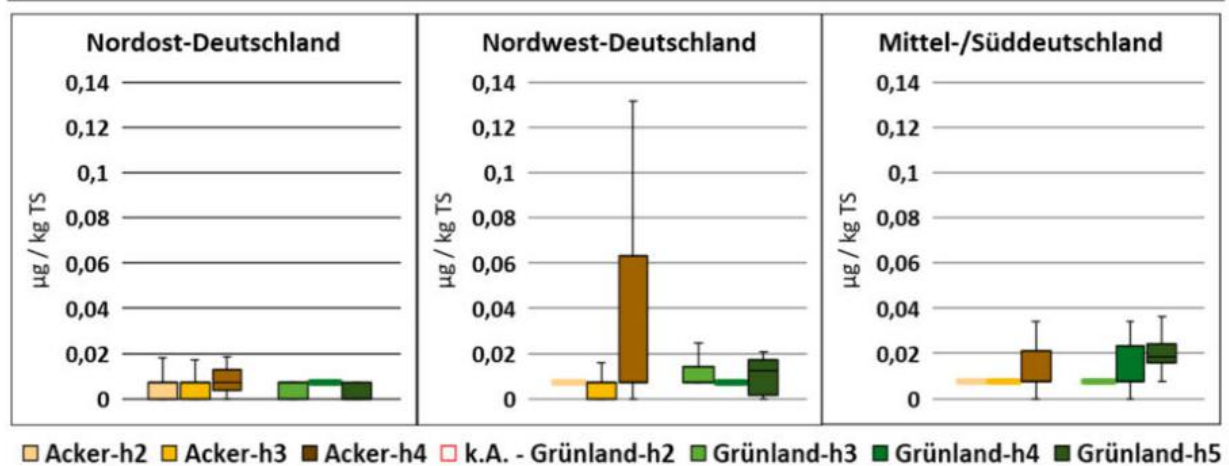
Die in der Abbildung nicht dargestellten Messergebnisse für h6 (n=9) und h7 (n=12) bestätigen die generelle Zunahme der Gehalte mit steigendem Humusanteil. Die Gehalte bei h6 liegen zwischen 0,02 und 0,17 µg/kg TS, in der Klasse h7 zwischen 0,04 und 0,11 µg/kg TS.

PFDODA wurde in 81 % der Ackerproben und in 87 % der Grünlandproben nachgewiesen (Nachweisgrenze 0,005 µg/kg TS) und eine Quantifizierung oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,015 µg/kg TS war in 16 % der Ackerproben und 40 % der Grünlandproben möglich. Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von 0 bis 0,13 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt unterhalb der Bestimmungsgrenze für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane liegen in Nordost- und Nordwest-Deutschland als auch in Mittel-/Süddeutschland unterhalb der Bestimmungsgrenze.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen 0 und 0,04 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt unterhalb der Bestimmungsgrenze für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane liegen in Nordost- und Nordwest-Deutschland unterhalb der Bestimmungsgrenze und in Mittel-/Süddeutschland beträgt der Median 0,016 µg/kg TS.

In Abbildung 20 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFDODA-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die Karte für PFDODA in Anhang C Abbildung 41 verdeutlicht die räumliche Verteilung der Nachweise dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 20 PFDoDA – nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

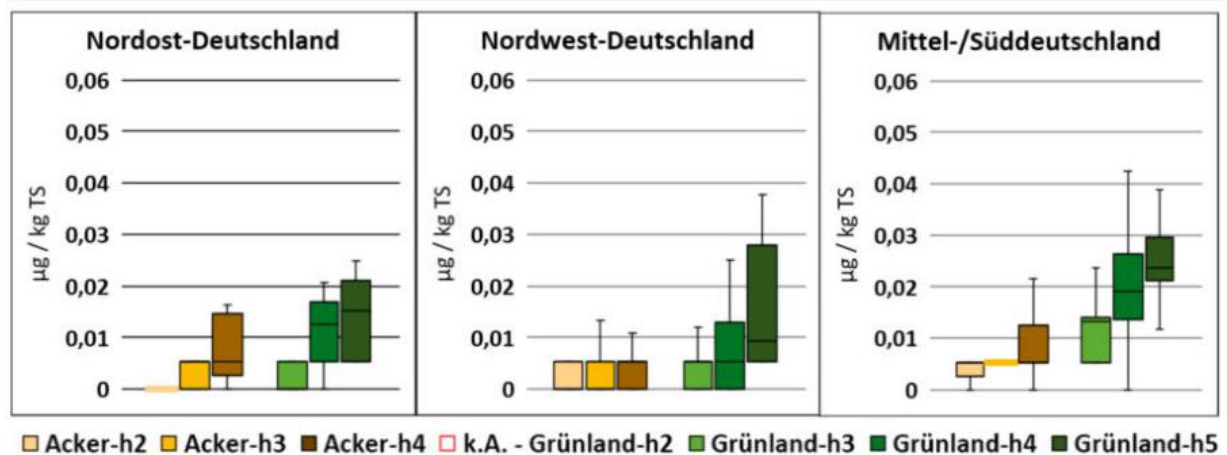
Die in der Abbildung nicht dargestellten Messergebnisse für h6 (n=9) und h7 (n=12) bestätigen die generelle Zunahme der Gehalte mit steigendem Humusanteil. Die Gehalte bei h6 liegen zwischen nicht nachweisbar und 0,05 µg/kg TS und in Klasse h7 liegen die Messergebnisse zwischen nicht nachweisbar und 0,04 µg/kg TS.

PFBS wurde in 65 % der Ackerproben und in 87 % der Grünlandproben nachgewiesen (Nachweisgrenze 0,003 µg/kg TS) und eine Quantifizierung oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,011 µg/kg TS war in 12 % der Ackerproben und 67 % der Grünlandproben möglich. Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von 0 bis 0,22 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt unterhalb der Bestimmungsgrenze für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane liegen in Nordost- und Nordwest-Deutschland unterhalb der Nachweisgrenze und in Mittel-/Süddeutschland unterhalb der Bestimmungsgrenze.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen 0 und 0,04 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,015 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane liegen in Nordost- und Nordwest-Deutschland unterhalb der Bestimmungsgrenze und in Mittel-/Süddeutschland beträgt der Median 0,02 µg/kg TS.

In Abbildung 21 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der PFBS-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die Karte für PFBS in Anhang C Abbildung 42 verdeutlicht die räumliche Verteilung der Nachweise dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 21 PFBS– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Die in der Abbildung nicht dargestellten Messergebnisse für h6 (n=9) und h7 (n=12) bestätigen die generelle Zunahme der Gehalte mit steigendem Humusanteil. Bei h6 liegen die Messergebnisse zwischen < BG und 0,06 µg/kg TS, in der Klasse h7 zwischen 0,03 und 0,07 µg/kg TS.

Das Spektrum der untersuchten Perfluorcarbon- und Perfluorsulfonsäuren umfasst zudem die Verbindungen **PFTrDA**, **PFTeDA**, **PFHxDA**, **PFODA**, **PFHpS** und **PFDS**. Für diese Stoffgruppen ergeben sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilungen:

- ▶ **PFTrDA** (Nachweisgrenze 0,007 µg/kg TS, Bestimmungsgrenze 0,02 µg/kg TS) wurde in 76 % der Acker- und 75 % der Grünlandproben nachgewiesen. Eine Quantifizierung war in 19 % der Grünlandproben und lediglich in 3 % der Ackerproben (an 13 Standorten) möglich. Die Messergebnisse liegen für beide Nutzungsarten im Bereich von 0 bis 0,025 µg/kg TS.
- ▶ **PFTeDA** (Nachweisgrenze 0,005 µg/kg TS, Bestimmungsgrenze 0,015 µg/kg TS) wurde in 20 % der Acker- und 50 % der Grünlandproben nachgewiesen. Eine Quantifizierung war in 13 Ackerproben und 8 Grünlandproben möglich. Die Messergebnisse für die Ackerproben liegen im Bereich von 0 und kleiner Bestimmungsgrenze, diejenigen für Grünland zwischen 0 und 0,017 µg/kg TS.
- ▶ **PFHxDA** (Nachweisgrenze 0,006 µg/kg TS, Bestimmungsgrenze 0,018 µg/kg TS) wurde in 4 % der Acker- und 5 % der Grünlandproben nachgewiesen. Eine Quantifizierung war lediglich in vier Ackerproben möglich; in den Grünlandproben erfolgte keine Quantifizierung.
- ▶ **PFODA** (Nachweisgrenze 0,011 µg/kg TS, Bestimmungsgrenze 0,032 µg/kg TS) wurde lediglich in jeweils vier Acker- und Grünlandproben nachgewiesen. Gehalte oberhalb der Bestimmungsgrenze konnten nur an einem Ackerstandort quantifiziert werden.
- ▶ **PFHpS** (Nachweisgrenze 0,006 µg/kg TS, Bestimmungsgrenze 0,018 µg/kg TS) wurde in 5 % der Acker- und 20 % der Grünlandstandorte nachgewiesen. Eine Quantifizierung war an drei Acker- und sieben Grünlandstandorten möglich.

- **PFDS** (Nachweisgrenze 0,008 µg/kg TS, Bestimmungsgrenze 0,024 µg/kg TS) wurde an jeweils nur an einem Acker- und einem Grünlandstandort nachgewiesen; eine Quantifizierung war in keine Bodenprobe möglich.

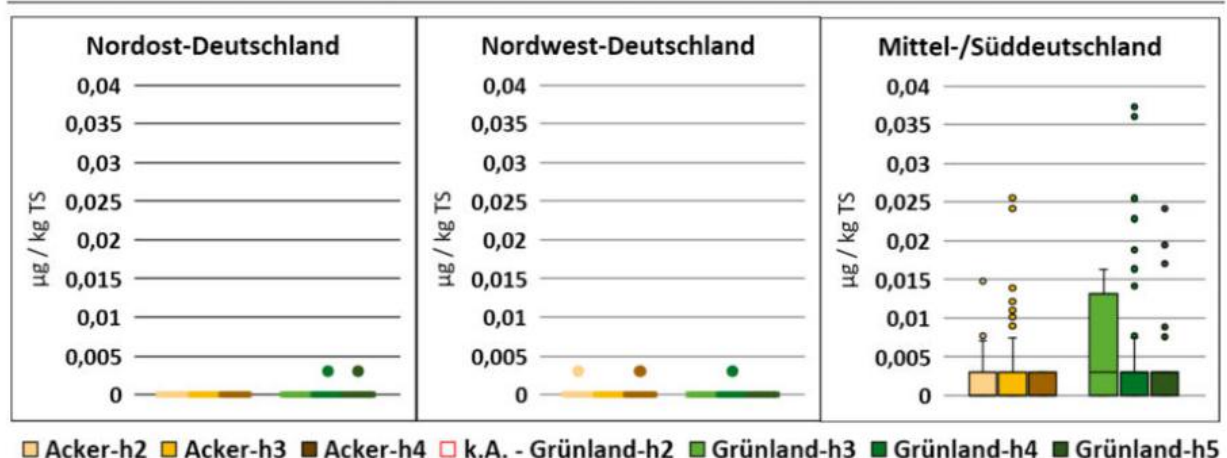
Die Karten für PFTrDA, PFTeDA, PFHxDA und PFHpS in Anhang C Abbildung 42 – Abbildung 44 verdeutlichen die räumliche Verteilung der Nachweise dieser Substanzen in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Der PFOA-Ersatzstoff **ADONA** wurde – mit Ausnahme weniger Standorte – vornehmlich im Süden Deutschlands, insbesondere im Alpenvorland und angrenzenden Gebieten, nachgewiesen. Die Nachweisgrenze liegt bei 0,002 µg/kg TS; die Bestimmungsgrenze bei 0,006 µg/kg TS. Für die Messergebnisse ergibt sich folgende Verteilung:

- In Nordost- und Nordwestdeutschland konnte ADONA lediglich in den Proben von drei Acker- und fünf Grünland-Standorten nachgewiesen werden; eine Quantifizierung dieser Substanz war in keiner der Bodenproben möglich.
- In Ackerproben aus der Region Mittel- und Süddeutschland wurde ADONA in 28% der Proben nachgewiesen und in 11% quantifiziert, wobei alle Messergebnisse oberhalb der Bestimmungsgrenze aus dem Alpenvorland stammen. Die Ergebnisse der Untersuchungen liegen zwischen „nicht nachweisbar“ und 0,03 µg/kg TS und der Medianwert liegt unterhalb der Nachweisgrenzen.
- In Grünlandproben aus der Region Mittel- und Süddeutschland wurde die Substanz in 53% der Proben nachgewiesen und in 27% quantifiziert. Die Hälfte aller Messergebnisse oberhalb der Bestimmungsgrenze stammt hier aus dem Alpenvorland. Die Ergebnisse der Untersuchungen liegen hier zwischen 0 und 0,04 µg/kg TS und der Medianwert liegt unterhalb der Bestimmungsgrenze.

In Abbildung 22 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2–h5) differenzierte Verteilung der ADONA-Gehalte im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Aufgrund der geringen Anzahl an Nachweisen von ADONA in den Bodenproben ist keine Abhängigkeit von den Humusgehalten erkennbar. Die Karte für ADONA in Anhang C Abbildung 44 verdeutlicht die räumliche Verteilung der Nachweise dieser Substanz in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 22 ADONA– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Mit **HFPO-DA (GenX)** wurde ein weiterer Ersatzstoff untersucht, welcher jedoch bei einer Nachweisgrenze von 0,008 µg/kg TS in keiner Bodenprobe detektiert werden konnte.

Es wurden auch zehn **Vorläuferverbindungen (Precursor)** untersucht, die zu persistenten Perfluorcarbon- oder Perfluorsulfonsäuren abgebaut werden können: **PFOSA, N-MeFOSA, N-MeFOSAA, N-EtFOSA, N-EtFOSAA, 6:2 FTS, 8:2 FTS, 9Cl-PF3ONS, 8:2 FTUCA** und **8:2 diPAP**. Die Nachweisgrenzen liegen hier zwischen 0,004 und 0,011 µg/kg TS, die Bestimmungsgrenzen zwischen 0,012 und 0,032 µg/kg TS (vgl. Tabelle 5). Diese Verbindungen konnten nur in wenigen Proben nachgewiesen werden und lagen dann in der Regel unterhalb der Bestimmungsgrenze; lediglich in 6 % der Ackerproben und 10 % der Grünlandproben ließen sich eine oder mehrere Vorläuferverbindungen detektieren. Während zwei Verbindungen (N-MeFOSA, 9Cl-PF3ONS) an keinem Standort nachweisbar waren, wurden PFOSA und N-EtFOSAA am häufigsten detektiert und konnten an jeweils sieben Standorten auch quantifiziert werden. Die übrigen Substanzen, wie etwa die FTS-Verbindungen oder N-MeFOSAA, traten nur sporadisch auf, wobei die Nachweise hauptsächlich auf Ackerstandorte entfielen.

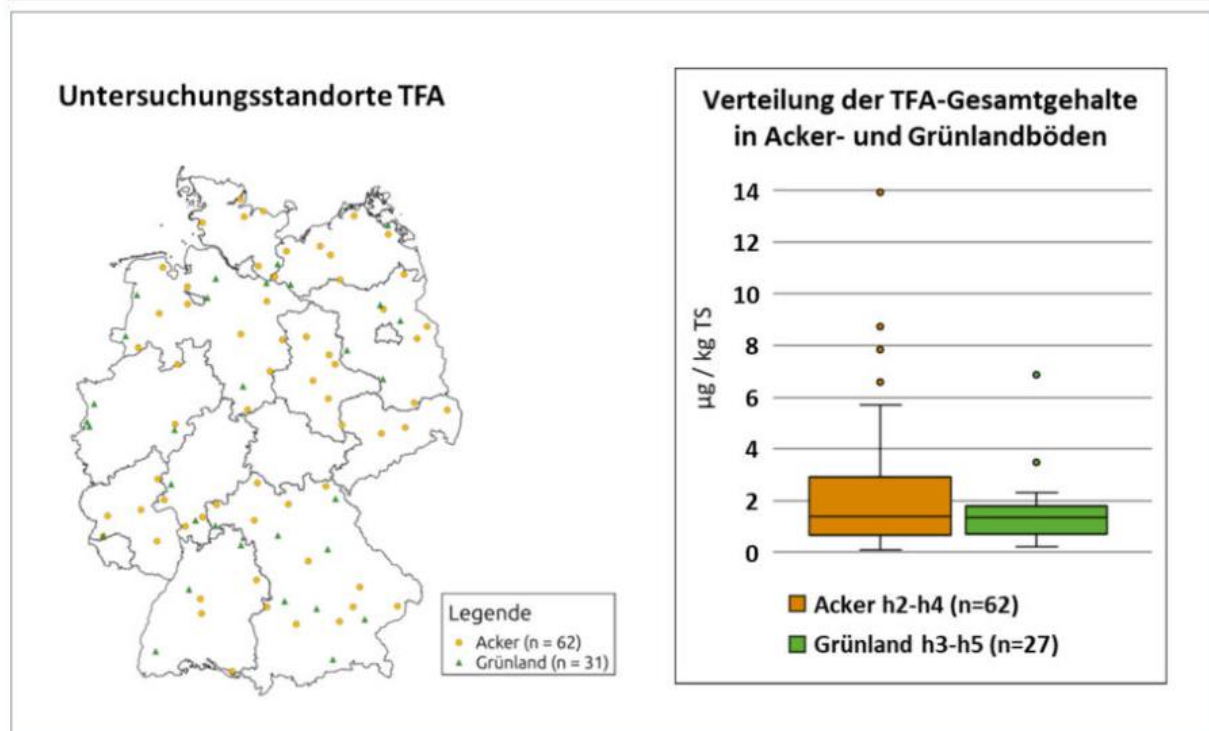
Der Nachweis von Vorläuferverbindungen korreliert häufig mit erhöhten Gehalten an Perfluorcarbon- und Perfluorsulfonsäuren (z. B. PFOA, PFNA, PFOS) oder erhöhten PFAS-Summenwerten einzelner Proben. Zudem wurden PFOSA und N-EtFOSAA oft gemeinsam in denselben Bodenproben detektiert.

Trifluoressigsäure (TFA) wurde als Vertreter der ultrakurzkettigen PFAS an 93 der 581 Standorten des ländlichen Raums untersucht und konnte – mit der Ausnahme von zwei Ackerproben – in allen Bodenproben oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,16 µg/kg TS quantifiziert (Nachweisgrenze 0,05 µg/kg TS) werden. Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Messergebnisse im Bereich von < Bestimmungsgrenze bis 5,7 µg/kg TS, der Medianwert beträgt 1,4 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h4.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Messergebnisse zwischen 0,19 und 2,3 µg/kg TS, der Medianwert liegt bei 1,3 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5.

In Abbildung 23 ist die Lage der Untersuchungsstandorte und die nach Nutzungsart differenzierte Spannweite der TFA-Gehalte (h2–h5) im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Eine regionale Differenzierung und die Abhängigkeit der Messergebnisse von Humusgehalten konnte (auf Grund der geringen Probenzahlen in den Regionen) nicht nachgewiesen werden.

Abbildung 23 Lage der Untersuchungsstandorte von TFA und Verteilung der Messergebnisse



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Der Probenumfang für die TFA-Untersuchungen umfasste zusätzlich eine Grünlandprobe der Humusklasse h6 mit einem Gehalt von 10,8 $\mu\text{g} / \text{kg TS}$ sowie drei Proben der Klasse h7, deren Gehalte zwischen 1,94 und 4,86 $\mu\text{g} / \text{kg TS}$ lagen.

Während bei den kurz- und langkettigen PFAS-Verbindungen (C4-C18) im Allgemeinen höhere Gehalte in Grünlandböden im Vergleich zu Ackerstandorten festzustellen sind, zeigt sich bei TFA – wie in Abbildung 23 dargestellt – ein abweichendes Bild. Hier liegen die Messergebnisse in Ackerböden auf einem vergleichbaren oder teils höheren Niveau. Als eine Ursache für das Belastungsniveau in Ackerböden kommen bestimmte fluorierte Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe als potenzielle Vorläufersubstanzen für TFA in Betracht. Wirkstoffe wie Flufenacet, Diflufenican oder Fluopyram enthalten Trifluoromethyl-Gruppen, die zu TFA transformiert werden können (UBA, 2023). Da diese Wirkstoffe primär im Ackerbau eingesetzt werden, stellt dies einen spezifischen Eintragspfad dar, der bei klassischen PFAS-Verbindungen in dieser Form entfällt. Demgegenüber ist die luftgetragene Deposition von TFA in Böden für beide Nutzungsarten gleichermaßen von Bedeutung. Durch die hohe Mobilität von TFA können höheren Gehalte in Ackerböden auch saisonal auf aktuelle PSM-Anwendungen hinweisen. Darüber hinaus könnte die untypische Verteilung – mit höheren 3. Quantilen und Maximalwerten im Acker – methodisch bedingt sein. Da für die TFA-Analysen im Wesentlichen Standorte ausgewählt wurden, die mittlere-höhere C4-C10-PFAS-Gehalte aufwiesen, sind gering belastete Ackerflächen in der Stichprobe möglicherweise unterrepräsentiert: Dies kann das Bild im Vergleich zum Grünland zusätzlich verschieben und eine Erklärung für die in ähnlicher Größenordnung liegenden Medianwerte sein.

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 **PFTTrDA, PFTTeDA, PFHxDA, PFODA, PFHpS, PFDS, PFHxS** konnte

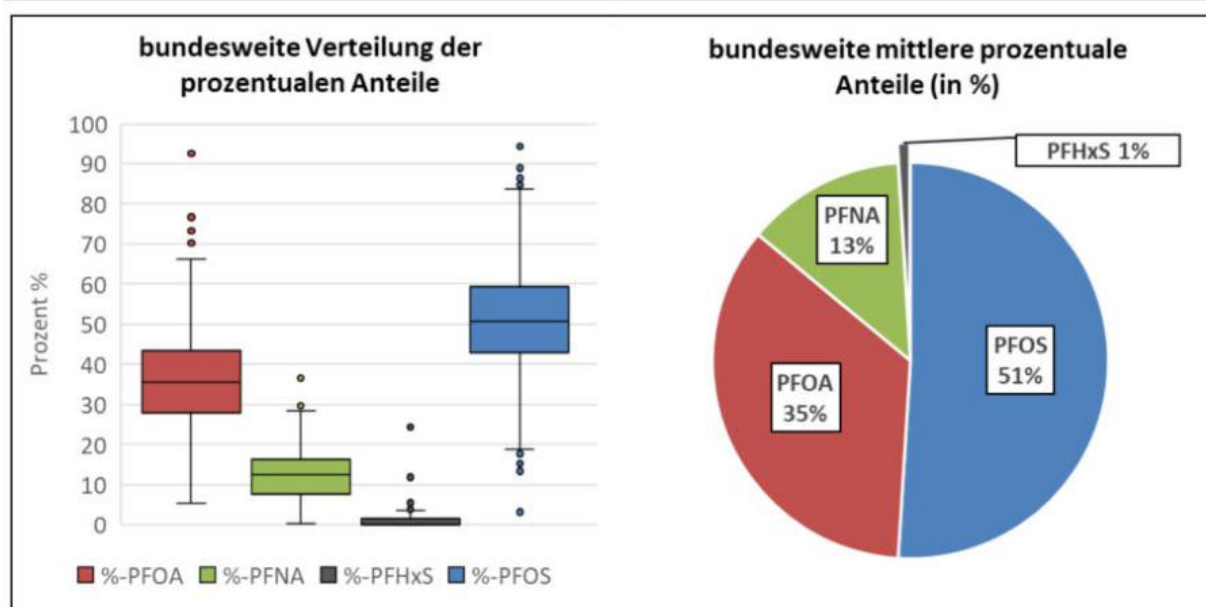
keine Abhängigkeit vom Humusgehalt identifiziert werden, da diese Stoffe häufig nicht quantifizierbar waren. Der Nachweis von **ADONA** beschränkt sich fast ausschließlich auf das Alpenvorland und angrenzende Gebiete. Für **TFA** konnte keine regionale Differenzierung und Korrelation mit Humusgehalten nachgewiesen werden. Der Nachweis von **Vorläuferverbindungen** korreliert häufig mit erhöhten Gehalten an Perfluorcarbon- und Perfluorsulfonsäuren (z. B. PFOA, PFNA, PFOS).

3.2.3 Summe der Gesamtgehalte von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS (EFSA4-PFAS)

Im Jahr 2020 veröffentlichte die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) eine umfassende Risikobewertung zu vier per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS): **PFOA**, **PFNA**, **PFHxS** und **PFOS** (EFAS, 2020). Diese vier Stoffe wurden ausgewählt, da sie zu den persistenten und toxikologisch relevanten PFAS zählen, sich stark im menschlichen Körper anreichern und etwa die Hälfte der PFAS-Belastung im menschlichen Blut ausmachen. Sie werden im Folgenden als EFSA4 bezeichnet. Da die EFSA4-PFAS die Grundlage für EU-weite Höchstgehalte in Lebensmitteln bilden, kann ihre Summe als Indikator für die Bewertung des Transferrisikos in die menschliche Nahrungskette herangezogen werden.

Die Summe der EFSA4-PFAS setzt sich bei den für diese Studie untersuchten Bodenproben aus dem ländlichen Raum aus der Hauptkomponente PFOS (Median: 51%), gefolgt von PFOA (Median: 35%) und PFNA (Median: 13%) zusammen; PFHxS ist in der Regel nur geringfügig (Median: 1%) an der Höhe der EFAS4-Summe beteiligt (siehe Abbildung 24). Da sich PFHxS auf Grund seiner physikochemischen Eigenschaften in die wässrige Phase verlagert, rechtfertigen niedrige Feststoffnachweise keine Entwarnung.

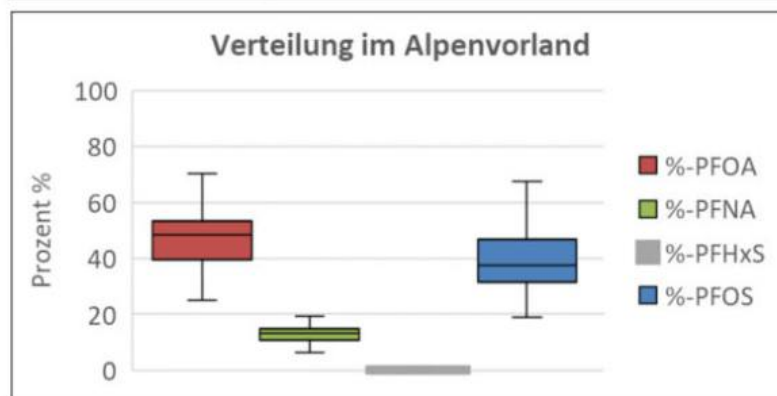
Abbildung 24 Bundesweit Verteilung und mittlere prozentuale Anteil von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS an der Summe-EFAS4



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Abweichend vom bundesweit typischen Mischungsverhältnis weist die EFSA4-Summe im Alpenvorland eine spezifische Zusammensetzung auf: Hier stellt PFOA mit einem Median von 48 % häufig den größten Anteil dar, während PFOS (37 %) einen deutlich geringeren Anteil an der Gesamtsumme aufweist als in der bundesweiten mittleren Zusammensetzung (siehe Abbildung 25).

Abbildung 25 Mittlere prozentuale Anteil von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS an der Summe-EFSA4 im Alpenvorland



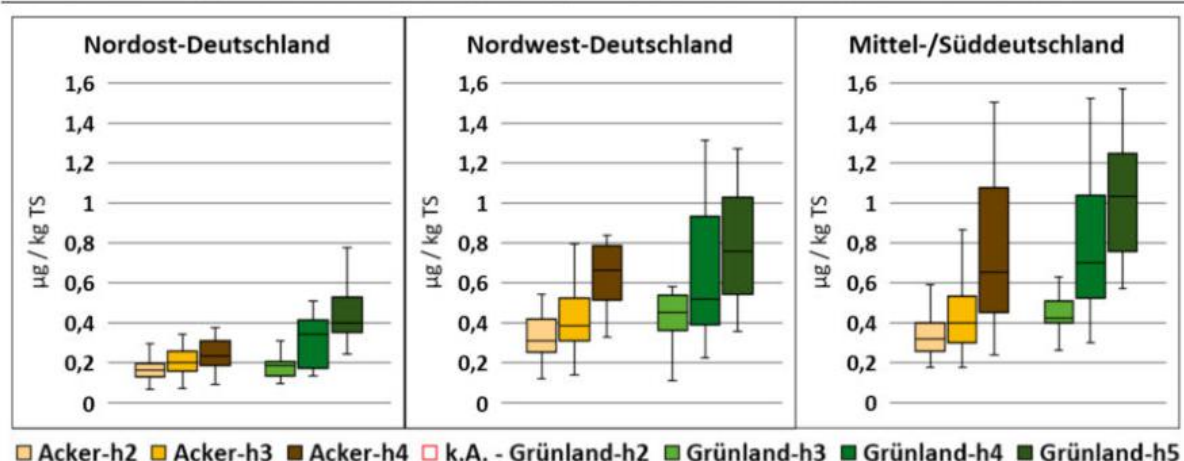
Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Für alle Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- In Acker-Oberböden liegen die Gesamtgehalte der Summe EFSA4 im Bereich von 0,07 bis 0,87 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,32 µg/kg TS für die Humusklassen h1–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,17 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,38 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,39 µg/kg TS.
- In Grünland-Oberböden liegen die Summengehalte zwischen 0,09 und 1,57 µg/kg TS, der bundesweite Median liegt bei 0,57 µg/kg TS für die Humusklassen h2–h5. Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,20 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,51 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,71 µg/kg TS.

In Abbildung 26 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der Summe der EFSA4-Verbindungen im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die EFSA4-Summengehalte steigen in der Regel mit zunehmenden Humusgehalt an. Die Karte für Summe-EFSA4 in Anhang B Abbildung 36 verdeutlicht die räumliche Verteilung der Summengehalte in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 26 Summe-EFSA4– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

3.2.4 Summe der Gesamtgehalte von 19 PFAS-Verbindungen (Summe PFAS19)

Im Rahmen eines vom Bundesumweltministerium finanzierten Forschungsvorhabens des Umweltbundesamtes zur Ableitung von PFAS-Prüfwertvorschlägen für die BBodSchV (Frische & Gehrenkemper, 2026) wurde ein Vorschlag für einen Summen-Prüfwert „Summe der PFAS“ für die nicht-kanzerogenen Wirkungen für den Wirkungspfad Boden-Mensch (Direktpfad) erarbeitet. Auf Grundlage der verfügbaren toxikologischen Datenlage empfiehlt dieser Vorschlag, die folgenden 24 überwiegend langkettigen Perfluorcarbon- und Perfluorsulfonsäuren inklusive ihrer bekannten Vorläuferverbindungen standardmäßig in der „Summe der PFAS“ zu berücksichtigen:

- ▶ 8 Perfluorcarbonsäuren (PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTrDA, PFTeDA),
- ▶ 9 Perfluorsulfonsäuren (PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnDS, PFDoDS, PFTrDS),
- ▶ 7 Vorläuferverbindungen (6:2 FTS, 8:2 FTS, PFOSA, N-EtFOSA, N-EtFOSAA, N-MeFOSA, N-MeFOSAA).

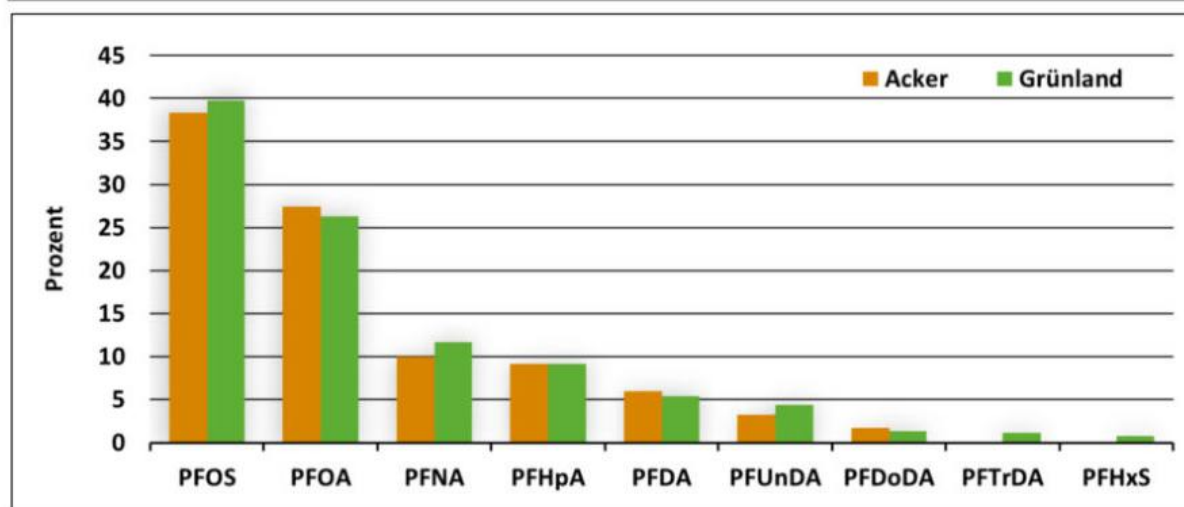
In dem vorgeschlagenen Summen-Prüfwert „Summe der PFAS“ wurden – grob skizziert - solche langkettigen PFAS eingeschlossen, für die aufgrund des aktuellen Kenntnisstandes ein im Vergleich zu den umfassend toxikologisch charakterisierten EFSA4-PFAS (PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS) ein zumindest vergleichbares toxikologisches Profil (betreffend: Verweilzeiten im menschlichen Körper, toxische Wirkungen und relative Toxizität) als plausibel anzunehmen ist. Eine ausführliche fachliche Begründung für die im Summen-Prüfwert „Summe der PFAS“ eingeschlossenen 24 PFAS findet sich in Frische & Gehrenkemper (2026).

Von den 24 empfohlenen Verbindungen für die „Summe PFAS“ wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes folgende fünf Substanzen nicht analysiert: PFPeS, PFNS, PFUnDS, PFDoDS, PFTrDS. Die Forschungsauftrag umfasste die Untersuchung der in DIN EN ISO 21675:2019-10 gelisteten Substanzen (siehe Tabelle 2) zuzüglich TFA und die o.g. genannten Substanzen sind nicht Bestandteil dieser Norm.

Die Auswertung in diesem Bericht bezieht sich daher auf die verbleibenden 19 untersuchten Verbindungen. Daher wird deren Summenwert im Folgenden als „Summe PFAS19“ bezeichnet.

Die Zusammensetzung der Summe-PFAS19 wird in beiden Nutzungsarten maßgeblich durch die Hauptkomponenten PFOS und PFOA (ca. 39 % und 27 %) bestimmt. Es folgt eine Gruppe in der Regel stetig vertretener Verbindungen bestehend aus PFNA, PFHpA, PFDA, PFUnDA und PFDoDA, deren Anteile sich in Acker- und Grünlandböden weitgehend ähneln. Während in Ackerproben regelmäßig die genannten sieben PFAS enthalten sind, treten in Grünlandproben zusätzlich noch PFTrDA und PFHxS mit Anteilen von jeweils etwa 1 % auf (siehe Abbildung 27). PFOS, PFOA, PFNA und PFHpA bilden in etwa 85 % der Gesamtsumme von PFAS19.

Abbildung 27 Bundesweit mittlere prozentuale Anteile der einzelnen PFAS-Verbindungen an der Summe-PFAS19



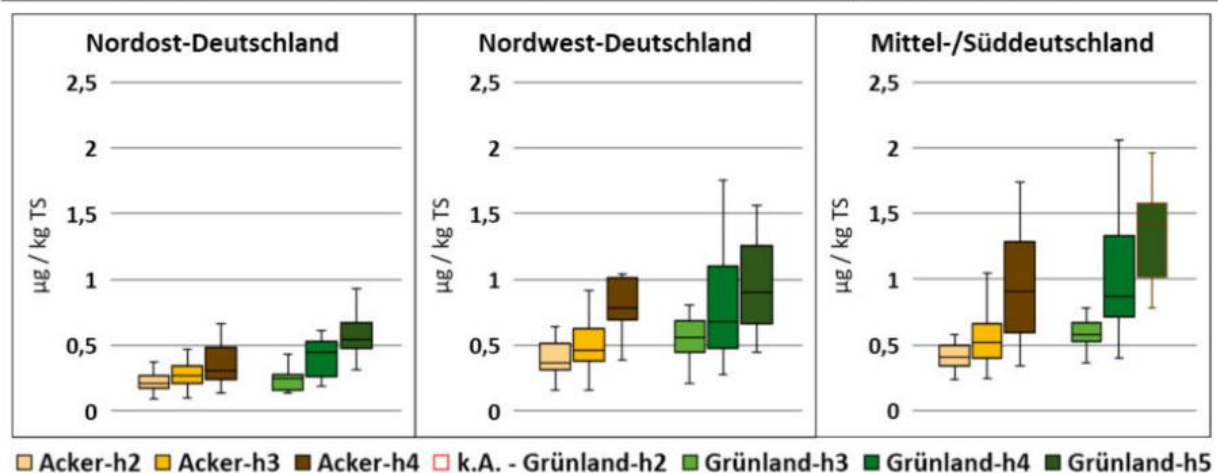
Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Für die Messergebnisse ergibt sich – ohne Ausreißer und Extremwerte – folgende Verteilung:

- ▶ In Acker-Oberböden liegen die Gesamtgehalte der Summe PFAS19 im Bereich von 0,09 bis 1,05 µg/kg TS (Median: 0,39 µg/kg TS für h1–h5). Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,22 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,44 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,48 µg/kg TS.
- ▶ In Grünland-Oberböden liegen die Summengehalte zwischen 0,14 und 2,06 µg/kg TS (Median: 0,75 µg/kg TS für h2–h5). Die Mediane betragen in Nordost-Deutschland 0,26 µg/kg TS, in Nordwest-Deutschland 0,61 µg/kg TS und in Mittel-/Süddeutschland 0,92 µg/kg TS.

In Abbildung 28 ist die nach Nutzungsart und Humusklassen (h2-h5) differenzierte Verteilung der Summe PFAS19 im ländlichen Raum Deutschlands dargestellt. Die PFAS19-Summengehalte steigen in der Regel mit zunehmenden Humusgehalt an. Die Karte für Summe-PFAS19 in Anhang B Abbildung 40 verdeutlicht die räumliche Verteilung Summengehalte in Acker- und Grünland-Oberböden des ländlichen Raumes.

Abbildung 28 Summe-PFAS19– nach Humusklassen differenzierte regionale Verteilung



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

3.3 Ergebnisse der TOP-Assay Untersuchungen

Der TOP-Assay wurde bei 31 Acker- und 17 Grünlandproben aus dem ländlichen Raum durchgeführt. Bei der Probenauswahl wurde insbesondere auf Standortproben mit mittleren bis hohen PFAS-Belastungen zurückgegriffen; in 11 dieser Proben wurden in der Target-Analyse Vorläuferverbindungen nachgewiesen, wobei PFOSA und N-EtFOSAA mit jeweils neun Nachweisen am häufigsten auftraten (siehe Abbildungen Abbildung 29 Abbildung 30). Des Weiteren wurden 8:2 FTS (4-mal), N-MeFOSAA und 8:2 diPAP (jeweils 2-mal) sowie 6:2 FTS, N-EtFOSA und 8:2 FTUCA (jeweils einmal) detektiert.

Die ausgewählten Proben verteilen sich wie folgt auf die Regionen:

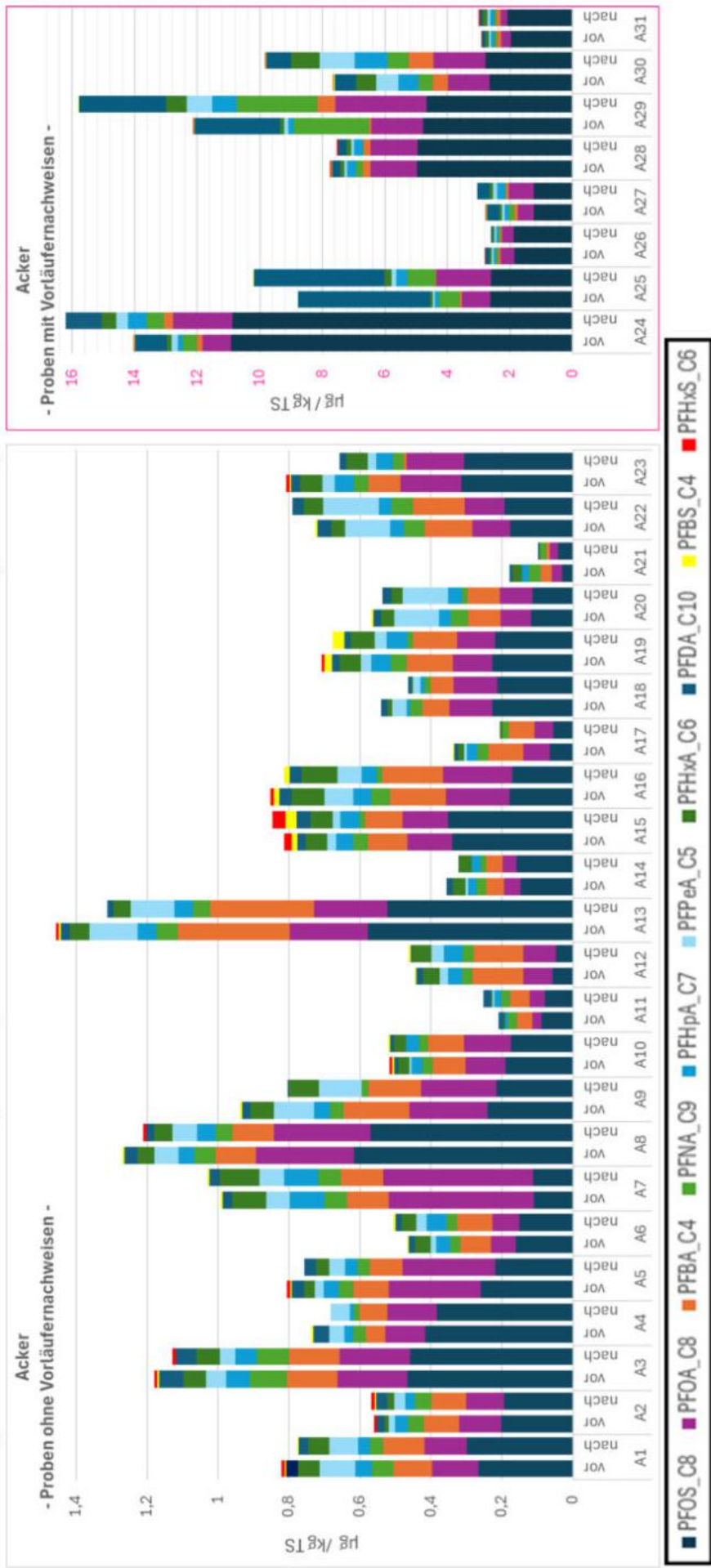
- ▶ NO-Deutschland: 8 Acker- und 11 Grünlandproben
- ▶ NW-Deutschland: 9 Acker- und 4 Grünlandproben und
- ▶ Mittel-/Süddeutschland: 14 Acker- und 11 Grünlandproben.

Die analysierten PFAS-Gehalte vor und nach dem TOP-Assay zeigen in den meisten Fällen, in denen bei der Target-Analyse keine Vorläufer gefunden werden, ähnliche Größenordnungen an. D.h., es ist in der Regel nicht davon auszugehen, dass im Bereich der Hintergrundbelastung die Vorläuferverbindungen zu einer signifikanten Belastung der Böden beitragen. In solchen Proben, in denen bereits mit der Target-Analytik PFAS Vorläufer detektiert werden konnten, wurden nur bei insgesamt höher belasteten Proben auch höhere PFCA-Gehalte durch den TOP-Assay ermittelt.

Eine nach Standorten differenzierte Darstellung der Ergebnisse vor und nach dem TOP-Assay für PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS und PFOS enthalten für Acker die nachfolgende Abbildung 29 und für Grünland die Abbildung 30.

Abbildung 29 PFAS in Acker-Oberböden vor und nach TOP-Assay

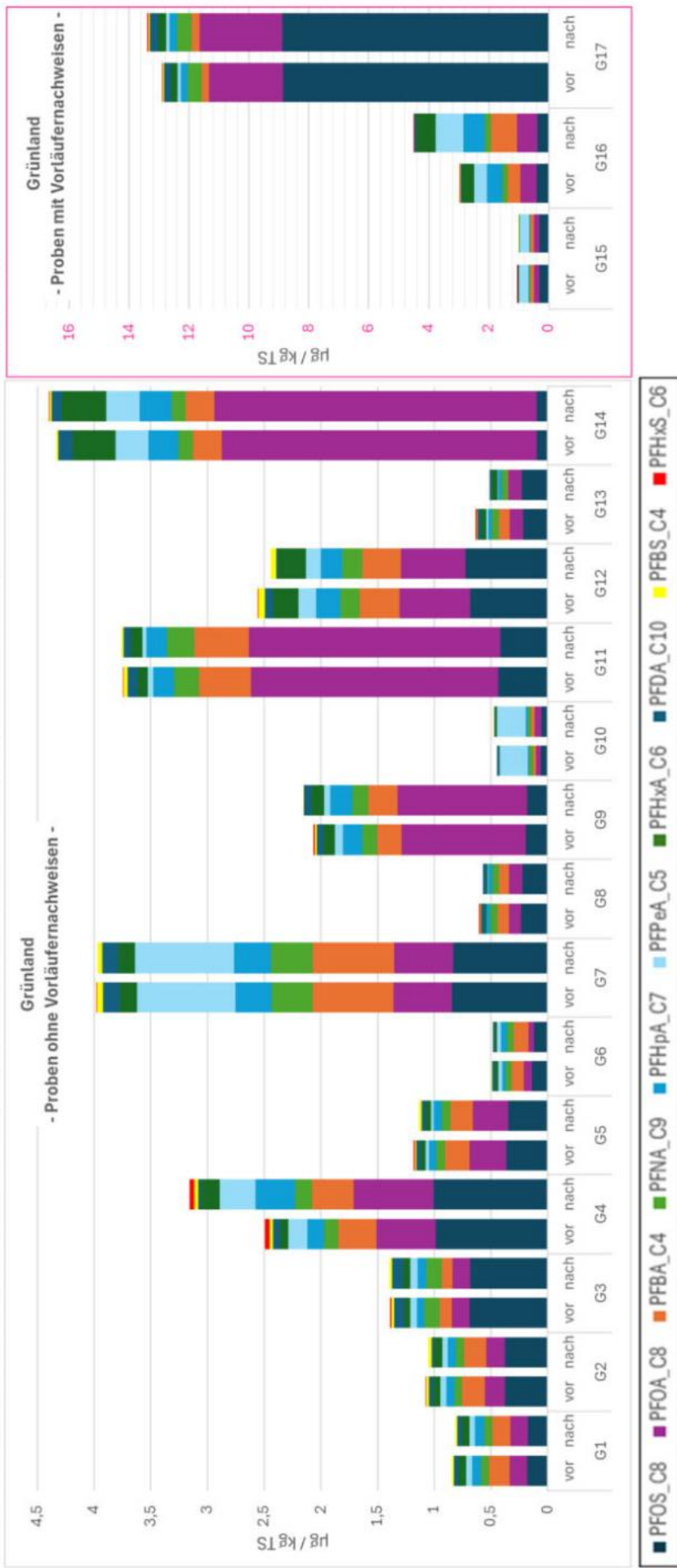
Die Darstellung ist differenziert nach Proben ohne (linke Seite) und mit dem Nachweis von Vorläufersubstanzen (rechte Seite) bei der Targetanalyse



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Abbildung 30 PFAS in Grünland-Oberböden vor und nach TOP-Assay

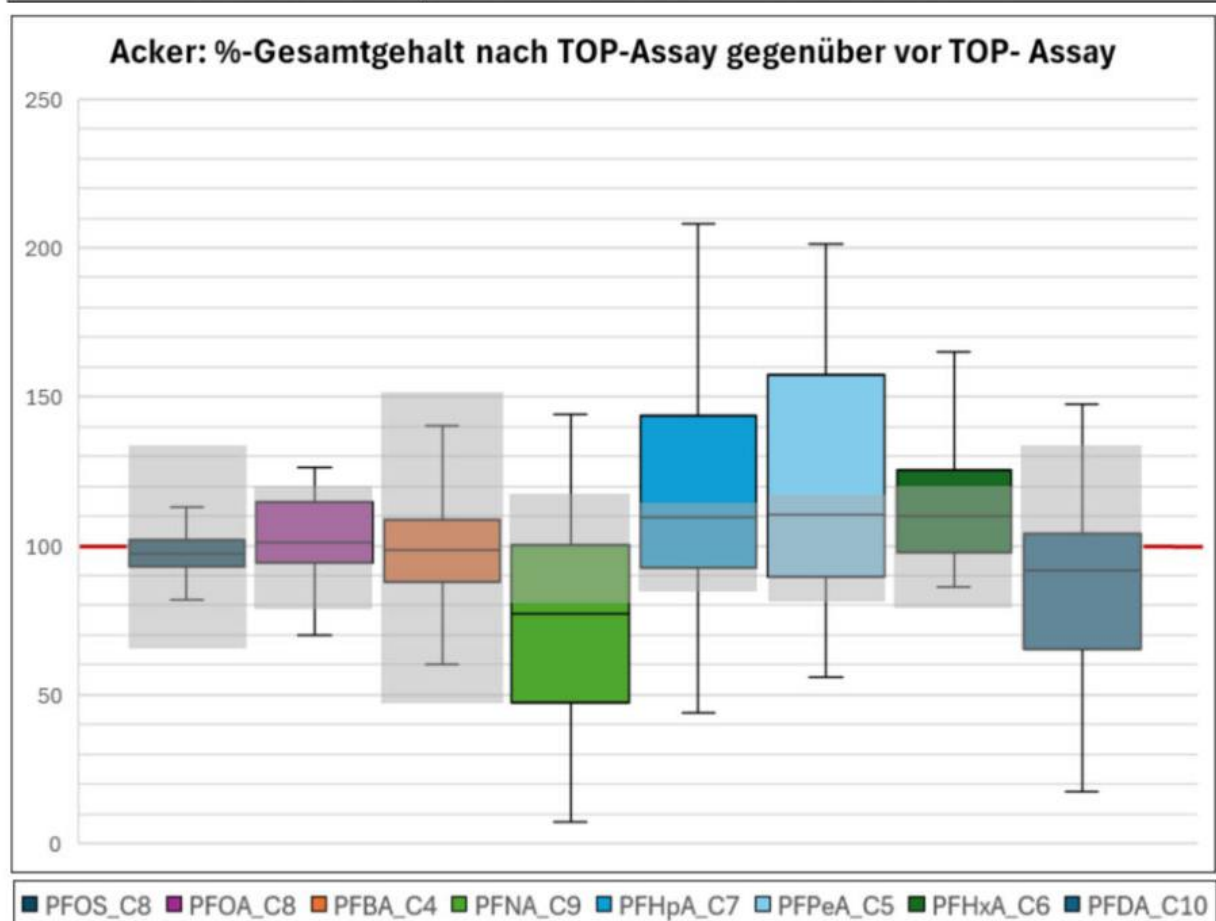
Die Darstellung ist differenziert nach Proben ohne (linke Seite) und mit dem Nachweis von Vorläufersubstanzen (rechte Seite) bei der Targetanalyse. - -



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Die Ergebnisse nach dem TOP-Assay erstrecken sich im Vergleich zu den Ausgangsgehalten über eine Spanne, die sowohl Werte oberhalb als auch unterhalb von 100 Prozent umfasst (siehe Abbildungen 31 und 32). Die Messwerte liegen überwiegend innerhalb der erweiterten Messunsicherheit, wie sie in den Abbildungen markiert und in Tabelle 6 definiert ist; davon ausgenommen sind PFNA, PFHpA und PFPeA in den Ackerproben sowie PFHpA in den Grünlandproben. Die Messergebnisse von PFNA liegen nach dem TOP-Assay häufiger niedriger als vor dem TOP-Assay, während die Gehalte von PFHpA und PFPeA nach dem Top-Assay eher ansteigen. Die Interpretation dieser Ergebnisse ist aufgrund der geringen Probenzahl schwierig. Möglicherweise handelt es sich zumindest bei PFNA um einen methodischen Fehler, denn PFNA wird durch die Reaktionsbedingungen im TOP-Assay nicht abgebaut.

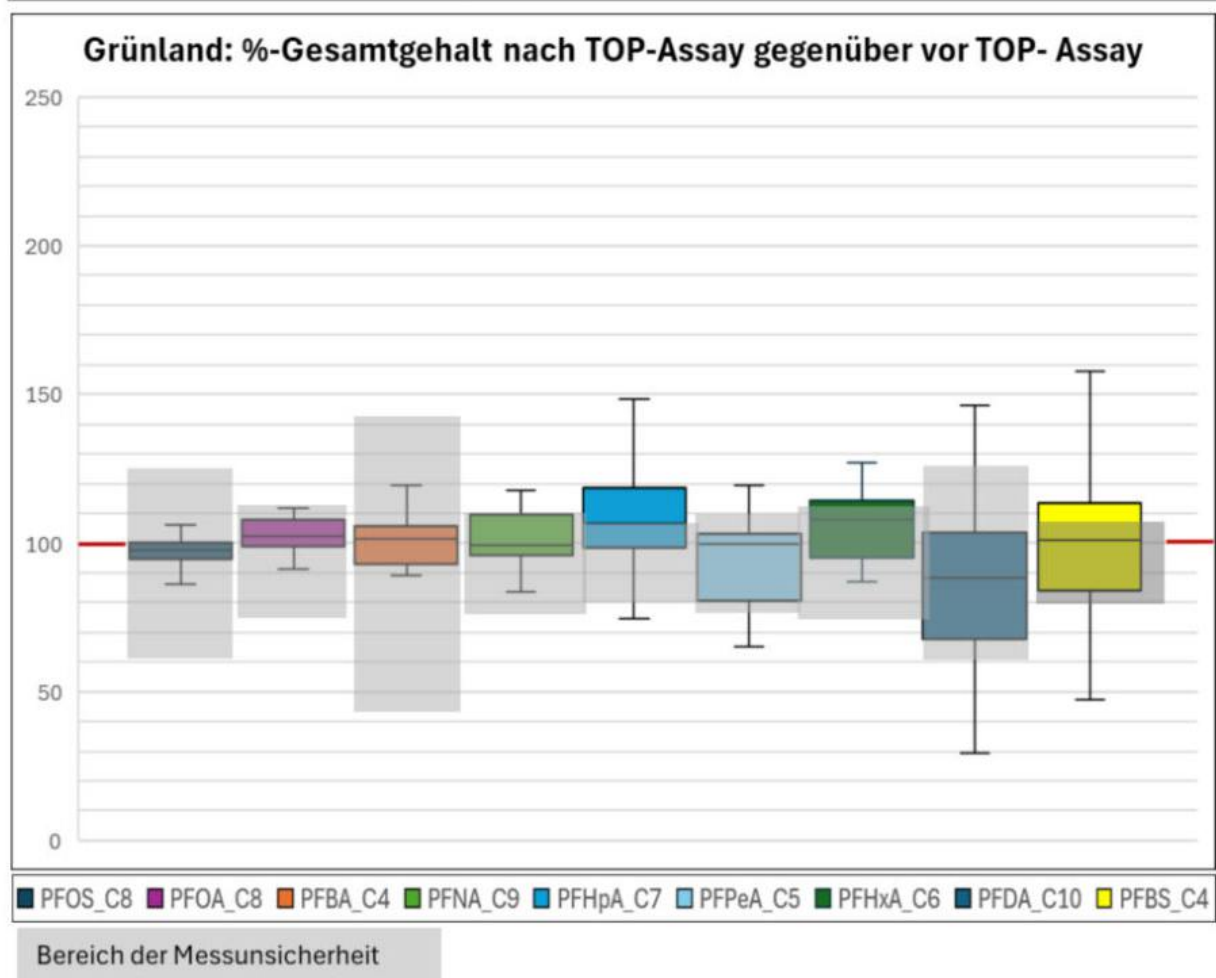
Abbildung 31 Prozentuale PFAS-Gehalte nach TOP-Assay im Vergleich zum Ausgangswert in Ackerböden und Spannweiten der erweiterten Messunsicherheiten



Bereich der Messunsicherheit

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Abbildung 32 Prozentuale PFAS-Gehalte nach TOP-Assay im Vergleich zum Ausgangswert in Grünlandböden und Spannweiten der erweiterten Messunsicherheiten



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

TFA wurde in dieser Studie nicht in Verbindung mit dem TOP-Assay untersucht. Eine Aussage zur TFA-Bildung nach dem TOP-Assay ist deshalb nicht möglich. Aus anderen Untersuchungen ist bekannt, dass TFA-Vorläufersubstanzen in Böden aus dem Bereich der Hintergrundbelastung relevant sein können. Die im Rahmen dieser Studie ermittelten Ergebnisse belegen einen gegenüber PFOS deutlich höheren TFA-Gehalt in den Bodenproben (siehe Kapitel 3.2.1, Abbildung 9). Eine Erklärung wäre, dass TFA-bildende Vorläufersubstanzen (z.B. als Bestandteil von Pflanzenschutzmitteln eingetragen) in den untersuchten Böden vorhanden sind. Dies ist insbesondere für die Bewertung von TFA-Gehalten zu beachten.

4 Bundesweite Hintergrundwerte für PFAS-Gesamtgehalte in landwirtschaftlichen genutzten Böden des ländlichen Raums

Die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Untersuchungsergebnisse zu flächenhaft typischen Gehalten (**Hintergrundgehalte**) von PFAS in landwirtschaftlich genutzten Böden des ländlichen Raums wurden zur Ableitung von **Hintergrundwerten** nach LABO (2017) herangezogen. Das Vorgehen bei der Datenauswertung wird in Kapitel 2.5 beschrieben. Demnach wurde aus dem bereinigten Datensatz das 50., 75. und 90. Perzentil errechnet. Für die Ermittlung von Hintergrundwerte ist eine Mindestprobenzahl von $n=20$ erforderlich. Bei kleineren Datensätzen (15-19 Messwerten) kann zur Orientierung über die Höhe der Belastung der Median (50. Perzentil) angegeben werden.

Als Kriterien für die Ableitung der Hintergrundwerte wurden neben der Nutzungsart eine regionale Differenzierung sowie die Differenzierung nach Humusgehalten bzw. Humusklassen ermittelt (siehe Kapitel 3.1.2). Die räumliche Differenzierung ermöglicht eine genauere Berücksichtigung regionalspezifische Verhältnisse (u.a. Ausmaß der früheren und aktuellen Immissionsverhältnisse). Ergänzend können die ermittelten regions- und humusübergreifenden Hintergrundwerte bei bundesweiten Fragestellungen, etwa bei der Plausibilitätsprüfung rechnerisch abgeleiteter Prüfwerte (z.B. für den Wirkungspfad Boden-Mensch) herangezogen werden.

Für eine Vielzahl der untersuchten PFAS konnten auf Grund niedriger Bestimmungsgrenzen quantitative Hintergrundwerte abgeleitet werden. Die langkettigen Perfluorcarbonsäuren PFHxDA (C16), PFODA (C18), die Perfluorsulfonsäuren PFHpS (C7) und PFDS (C10) sowie Vorläuferverbindungen und Ersatzstoffe waren größtenteils „nicht nachweisbar“. Für ADONA können nur regionale Hintergrundwerte angegeben werden, da diese Substanz bis auf wenige Ausnahmen nur in der Region Mittel-/ Süddeutschland detektiert oder quantifiziert wurde.

Die folgenden Tabellen 11 und 12 zeigen exemplarisch die im Rahmen dieser Studie **berechneten, humusklassenübergreifenden und nach Regionen differenzierten Hintergrundwerte** für die Summe der **EFSA 4** und die Summe **PFAS19** sowie für die drei Einzelstoffe **PFBA, PFOA, und PFOS**; letztere stellen die für das Vorkommen von PFAS im ländlichen Raum Deutschlands mengenmäßig maßgeblichen Verbindungen dar.