

Monitoring von PFAS in der Boden-Dauerbeobachtung: Ergebnisse aus Hessen und Rheinland-Pfalz

Christian Heller¹, Annett Drusba² & Katrin Lügger¹

Einleitung und Zielstellung

Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind eine sehr große Stoffgruppe langlebiger, ausschließlich anthropogen hergestellter organischer Verbindungen, die aufgrund ihrer Stabilität sowie ihrer wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften seit Jahrzehnten in zahlreichen Industrie- und Verbraucherprodukten verwendet werden und über unterschiedliche Eintragspfade in die Umwelt gelangen. Viele dieser Verbindungen sind für den Menschen gesundheitsschädlich [1]. Da PFAS unter natürlichen Bedingungen gar nicht oder nur bis zu einem perfluorierten Rest abgebaut werden, können sie sich im Boden anreichern. Aus Gründen der Vorsorge sind Untersuchungen zur Verbreitung und Höhe der PFAS-Belastung in Böden mittlerweile fester Bestandteil in vielen Länderprogrammen der Boden-Dauerbeobachtung. In Hessen und in Rheinland-Pfalz wurden Proben von Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) seit 2022 auf PFAS untersucht. Im Folgenden werden die bisherigen Ergebnisse aus beiden Ländern dargestellt und verglichen.

Material & Methoden

Vergleichende Auswertungen der PFAS-Untersuchungen wurden anhand der Ergebnisse von 16 BDF unter Forst aus Rheinland-Pfalz (BDF-RLP) [2] und der bisher 10 untersuchten BDF unter Forst aus Hessen (BDF-HE) [3] durchgeführt. Dabei wurden die PFAS-Gehalte in den entnommenen Humusauflage- und Mineralbodenproben im Feststoff und im Eluat bestimmt. Zusätzlich werden als Vergleichswerte Ergebnisse der in Hessen untersuchten landwirtschaftlich genutzten BDF (Acker und Grünland) herangezogen.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die im Gelände und Labor verwendeten Methoden. Zwischen den Länderprogrammen bestehen Unterschiede sowohl in der Probennahme als auch bei den beauftragten Laboren und der PFAS-Analytik.

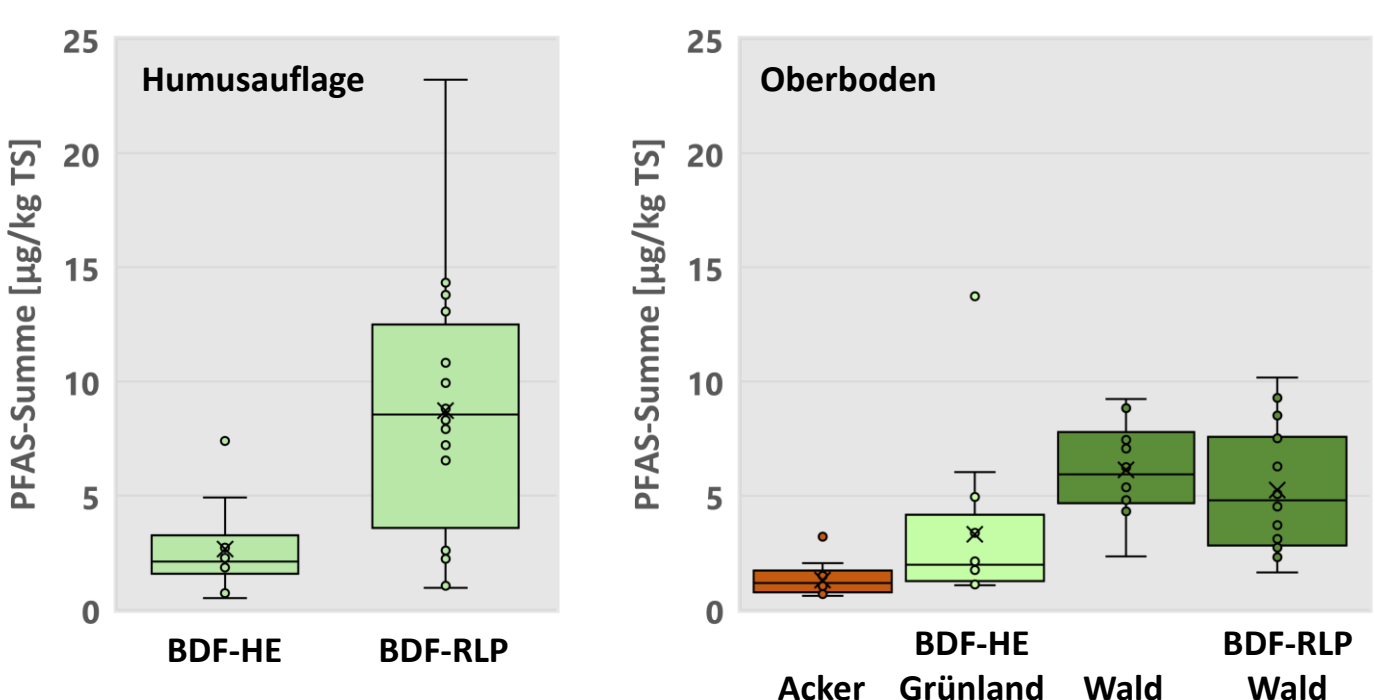


Abb. 1a: PFAS-Summen im Feststoff in den Humusauflagen und Oberböden von Hessen und Rheinland-Pfalz

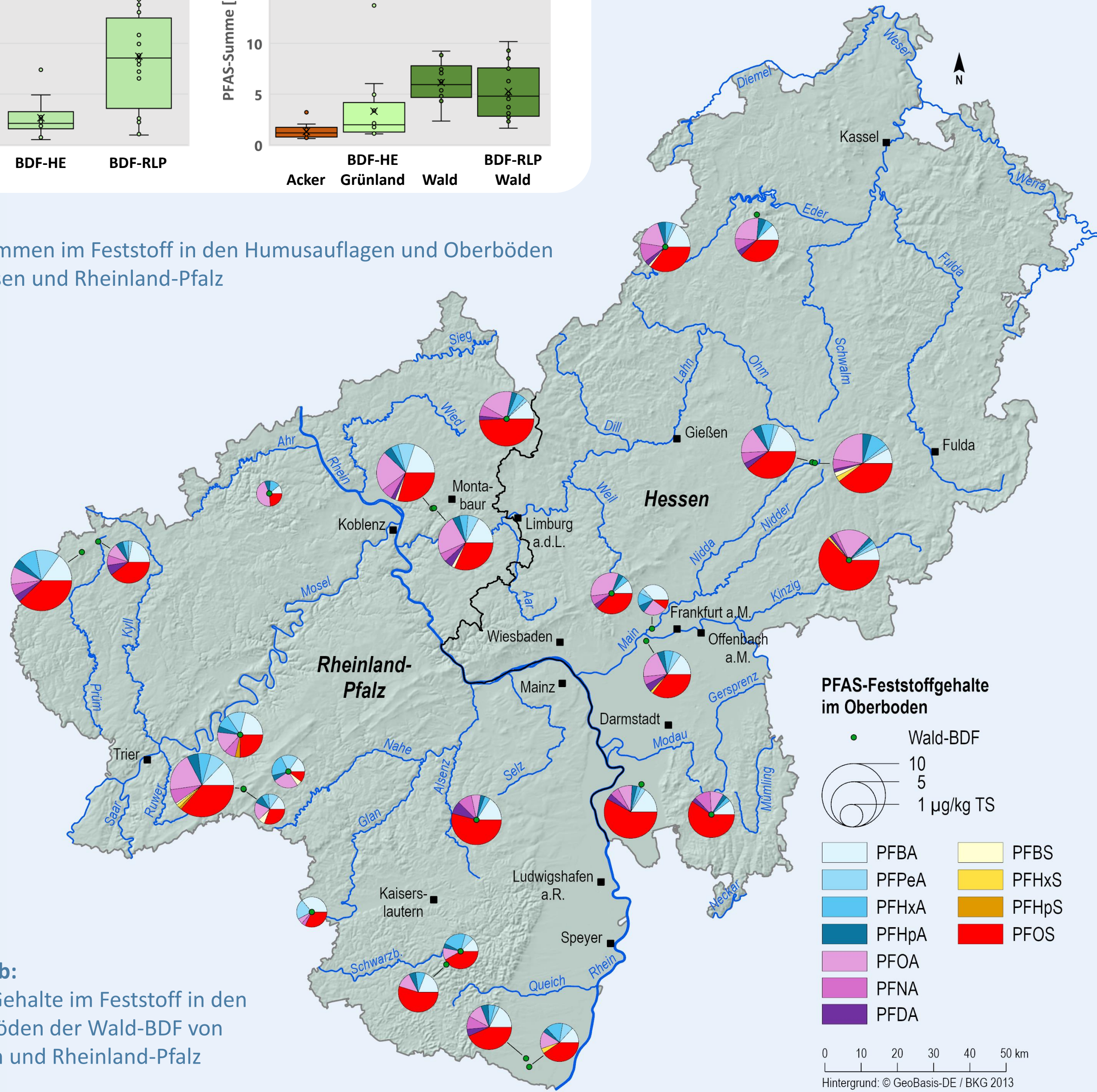


Abb. 1b: PFAS-Gehalte im Feststoff in den Oberböden der Wald-BDF von Hessen und Rheinland-Pfalz

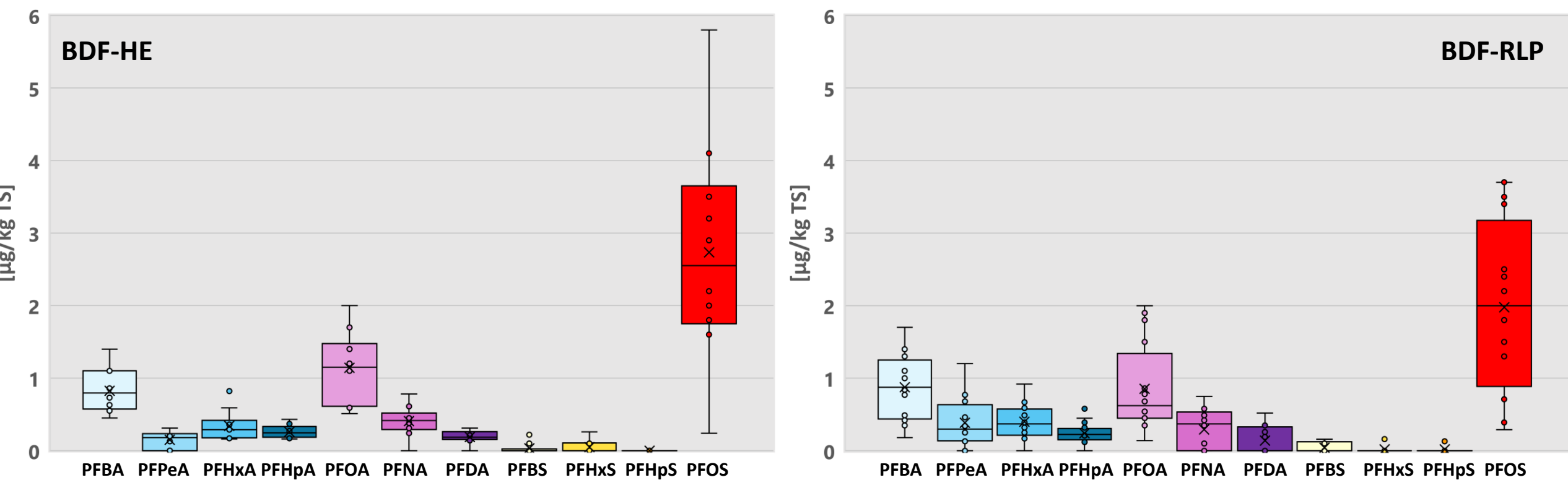


Abb. 2: Vergleich der gemessenen PFAS-Einzelparameter im Feststoff (Oberboden, Wald-BDF)

Tabelle 1: Vergleich der beiden Länderprogramme zur Boden-Dauerbeobachtung

	BDF Hessen	BDF Rheinland-Pfalz
BDF-Größe	• 30 m x 30 m	• 50 m x 50 m
Mischproben	• aus 18 Einzelproben, Anordnung über die Flächendiagonalen	• aus 24 Einzelproben, Anordnung in 4 Reihen mit jeweils 6 Rasterpunkten
Probennahme	• Horizontbezogene Entnahme - Organische Auflagen: separate Beprobung von L, Of, Oh bzw. Of/Oh - Mineralboden (bis 30 cm): Ah, Bv etc.	• Tiefenstufenbezogene Entnahme - Organische Auflage: gemeinsame Beprobung von L/Of/Oh - Mineralboden: 0-5 cm, 5-10 cm
Proben-vorbereitung	• Trocknung bei 40 °C	• Trocknung bei 40 °C
Verfahren Feststoff	• Messung nach DIN 38414-14 - Bestimmung von 23 Einzelparametern - Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg TS	• Messung nach DIN 38414-14 - Bestimmung von 13 Einzelparametern - Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg TS, teilweise Anhebung wegen Matrixstörungen (bis 3 µg/kg TS)
Verfahren Eluat	• Schüttel eluat - Organische Auflagen: Wasser/Feststoffverhältnis 10:1 nach DIN EN 12457-4 - Mineralboden: Wasser/Feststoffverhältnis 2:1 nach DIN 19529 • Messung nach DIN 38407-42 - Bestimmung von 23 Einzelparametern - Bestimmungsgrenze: 0,001 µg/L	• Schüttel eluat - Organische Auflage und Mineralboden: Wasser/Feststoffverhältnis 10:1 nach DIN EN 12457-4 • Messung nach DIN 38407-42 - Bestimmung von 13 Einzelparametern - Bestimmungsgrenze: 0,001 µg/L, teilweise Anhebung wegen Matrixstörungen (bis 0,01 µg/L)

Ergebnisse

In allen der in Hessen und Rheinland-Pfalz untersuchten BDF-Proben konnten sowohl im Feststoff als auch im Eluat PFAS nachgewiesen werden.

PFAS-Feststoffgehalte

- Die PFAS-Summen der **Oberböden** liegen in einem vergleichbarem Bereich (**Abb. 1a, 1b**):
 - BDF-HE: Spannweite von 2,34 bis 9,24 µg/kg TS (Median 5,94 µg/kg TS)
 - BDF-RLP: Spannweite von 1,64 bis 10,17 µg/kg TS (Median 4,80 µg/kg TS)
 - Ähnliches Muster der PFAS-Einzelfstoffe in beiden Bundesländern: PFOS ist dominant, es folgen PFBA und PFOA, die Gehalte weiterer Einzelstoffe sind geringer (**Abb. 2**).
 - Im Mittel weisen die Oberböden unter Wald höhere PFAS-Summen als unter landwirtschaftlicher Nutzung auf. Das Maximum zeigt allerdings eine Grünland-BDF in der Rheinaue (**Abb. 1a**)
- Die PFAS-Summen in den **Humusauflagen** unterscheiden sich im Feststoff deutlicher - die mittleren Gehalte liegen in den BDF-RLP ca. viermal höher (**Abb. 1a**)

PFAS-Eluatgehalte

- In den **Oberböden** sind die PFAS-Summen aufgrund der abweichenden Elutionsverfahren (BDF-HE Wasser/Feststoffverhältnis 2:1, BDF-RLP 10:1) in Hessen im Mittel deutlich höher (Daten nicht gezeigt)
- In den **Humusauflagen** liegen die PFAS-Summen in einem vergleichbaren Wertebereich:
 - BDF-HE: Spannweite von 0,021 bis 0,120 µg/L (Median 0,039 µg/L)
 - BDF-RLP: Spannweite von 0,006 bis 0,143 µg/L (Median 0,028 µg/L)
 - Ähnliches Muster der PFAS-Einzelfstoffe in beiden Bundesländern (**Abb. 3**)

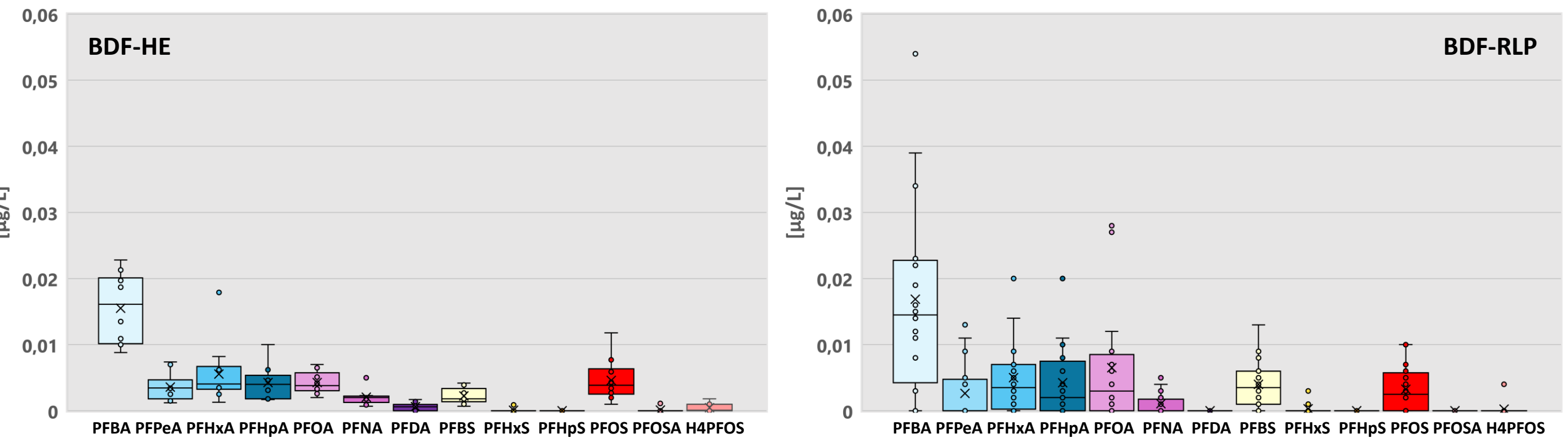


Abb. 3: Vergleich der gemessenen PFAS-Einzelparameter im Eluat (Humusauflagen, Wald-BDF)

Diskussion & Ausblick

PFAS sind mittlerweile ubiquitär in Böden unter forst- und landwirtschaftlicher Nutzung in Hessen und Rheinland-Pfalz zu finden. Die gemessenen Feststoffgehalte im Oberboden und die Eluatgehalte in den Humusauflagen lassen sich trotz einiger methodischer Unterschiede in den Länderprogrammen der Boden-Dauerbeobachtung gut miteinander vergleichen. Die im Mittel höheren Feststoffgehalte in den Humusauflagen der BDF-RLP sind möglicherweise bedingt durch unterschiedliche Eigenschaften der Auflagen (Nadel- vs. Laubwald), die sich auf Prozesse der Stoffakkumulation und -umsetzung auswirken. Auch die unterschiedliche Probennahme (BDF-HE horizontspezifisch, BDF-RLP Gesamtprobe aller Auflagehorizonte) dürfte Einfluss auf die Ergebnisse haben. Die abweichenden Eluatgehalte in den Oberböden sind methodisch bedingt (BDF-HE Wasser/Feststoffverhältnis 2:1, BDF-RLP 10:1). Die vorliegenden Untersuchungen bilden eine wichtige Grundlage zur Ableitung von PFAS-Hintergrundwerten für den vorsorgenden Bodenschutz.