



Wie umgehen mit gefährlichen Ewigkeitschemikalien in landwirtschaftlichen Böden?



PFAS-Hintergrundgehalte NRW

- Hintergrundwerte für PFAS-Eluatgehalte in Böden ländlicher Gebiete in NRW in ng/l
- Summe 90. Perzentil Hintergrundgehalte NRW im Oberboden von Äckern = 0,34 µg/l

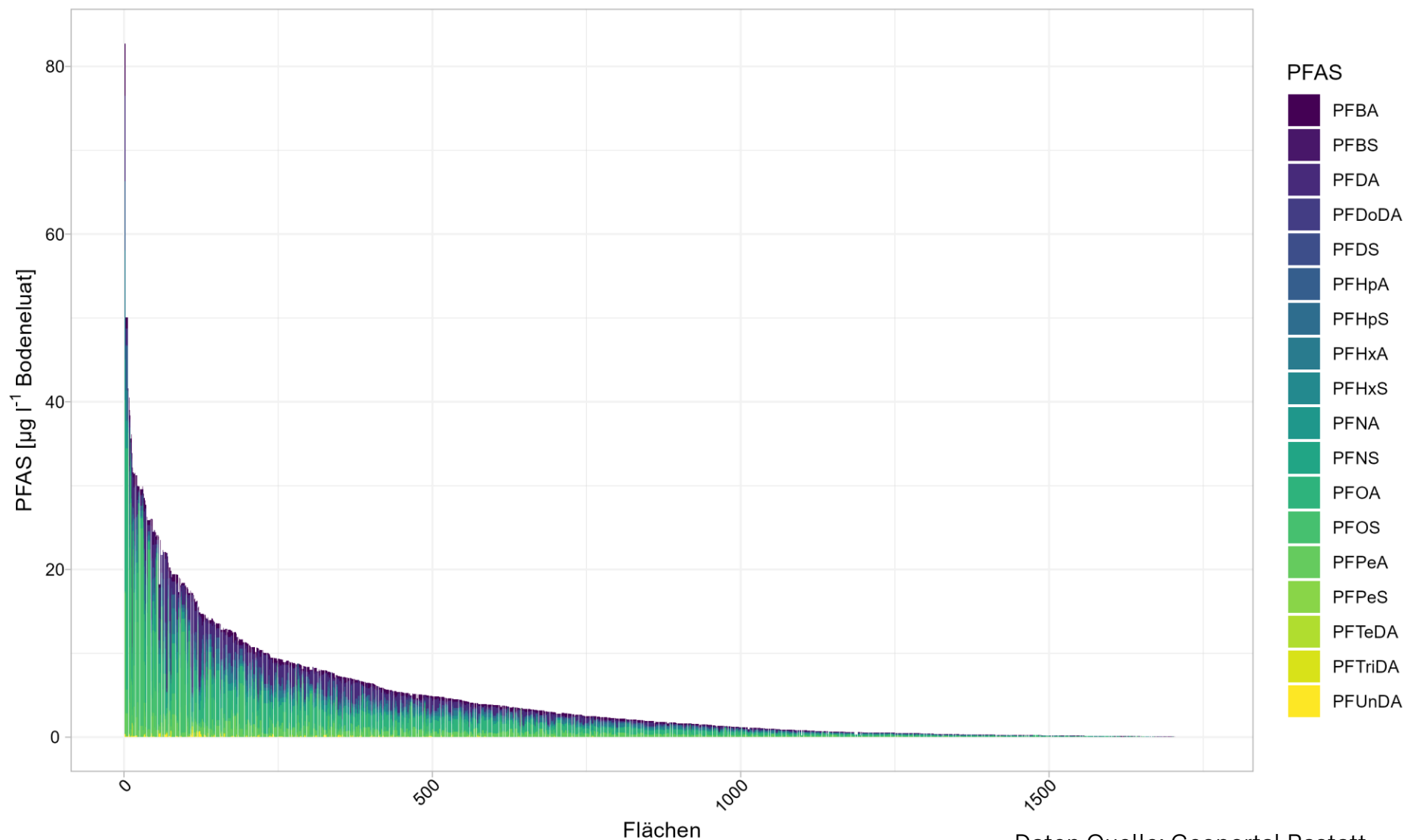
Nutzung	n=	PFBA			PFPeA			PFHxA		
		50. P.	90. P.	A.	50. P.	90. P.	A.	50. P.	90. P.	A.
Grünland Oberboden	67	145	288	0	24	42	2	24	44	2
Acker Oberboden	95	75	126	2	16	29	0	24	38	1
Grünland Unterboden	27	86	165	1	20	31	0	22	34	0
Acker Unterboden	31	39	100	0	7	22	0	12	40	0
Nutzung	n=	PFHpA			PFOA			PFNA		
		50. P.	90. P.	A.	50. P.	90. P.	A.	50. P.	90. P.	A.
Grünland Oberboden	67	24	42	0	65	118	0	7	9	4
Acker Oberboden	95	20	29	1	77	113	1	6	9	2
Grünland Unterboden	27	17	28	0	94	124	0	5	12	0
Acker Unterboden	31	8	31	0	40	168	0	3	9	0

Quelle: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/LANUV-Fachbericht_150.pdf



PFAS-Gehalte Bodenproben Mittelbaden

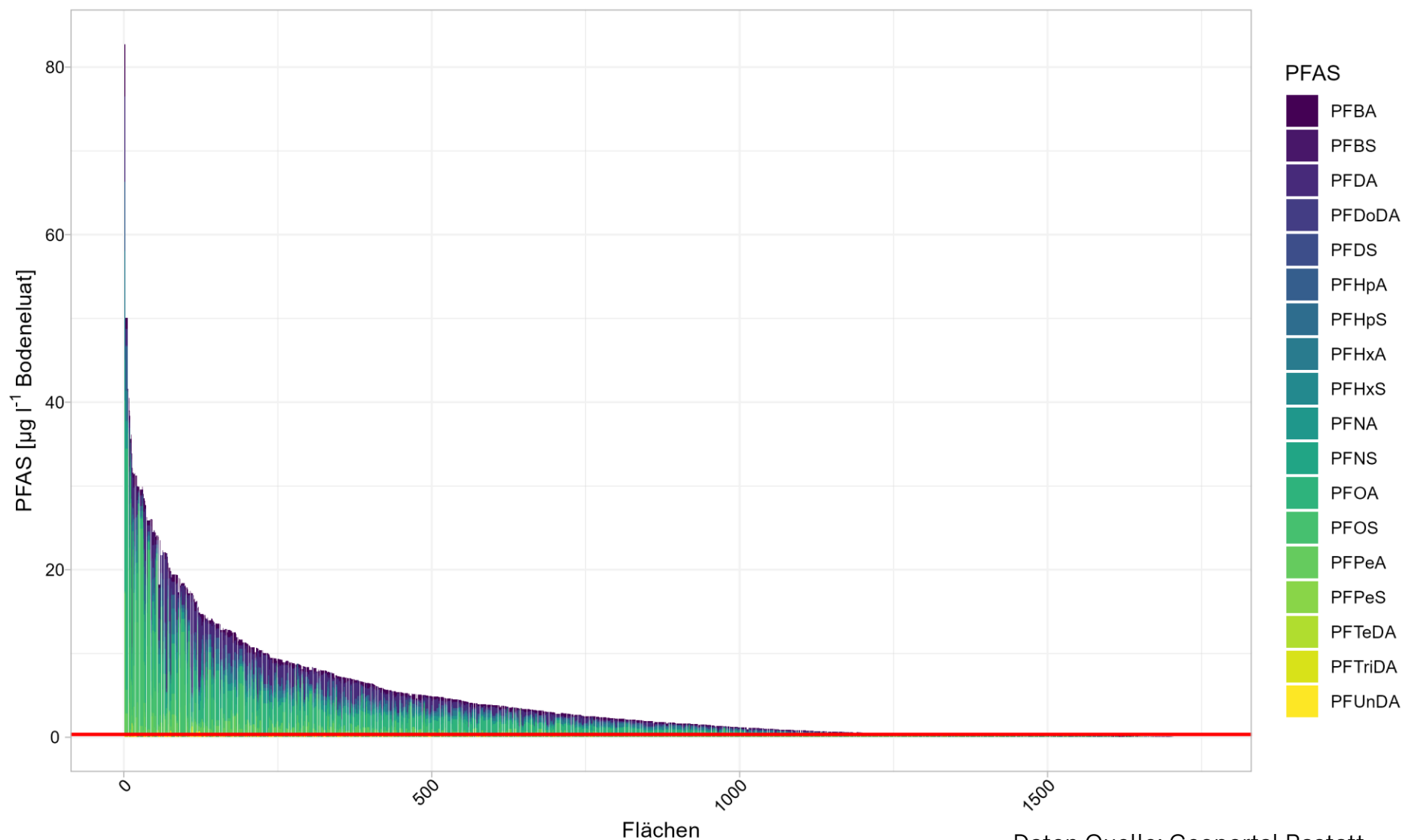
- Bodeneluat-
gehalte in
0–30 cm Tiefe
von 1770
Flächen





PFAS-Gehalte Bodenproben Mittelbaden

- Bodeneluat-
gehalte in
0–30 cm Tiefe
von 1770 Flächen
- rote Linie:
Summe 90.
Perzentil
Hintergrund-
gehalte NRW im
Oberboden von
Äckern
= 0,34 µg/l



Daten Quelle: Geoportal Rastatt



PFAS-Versuche am LTZ

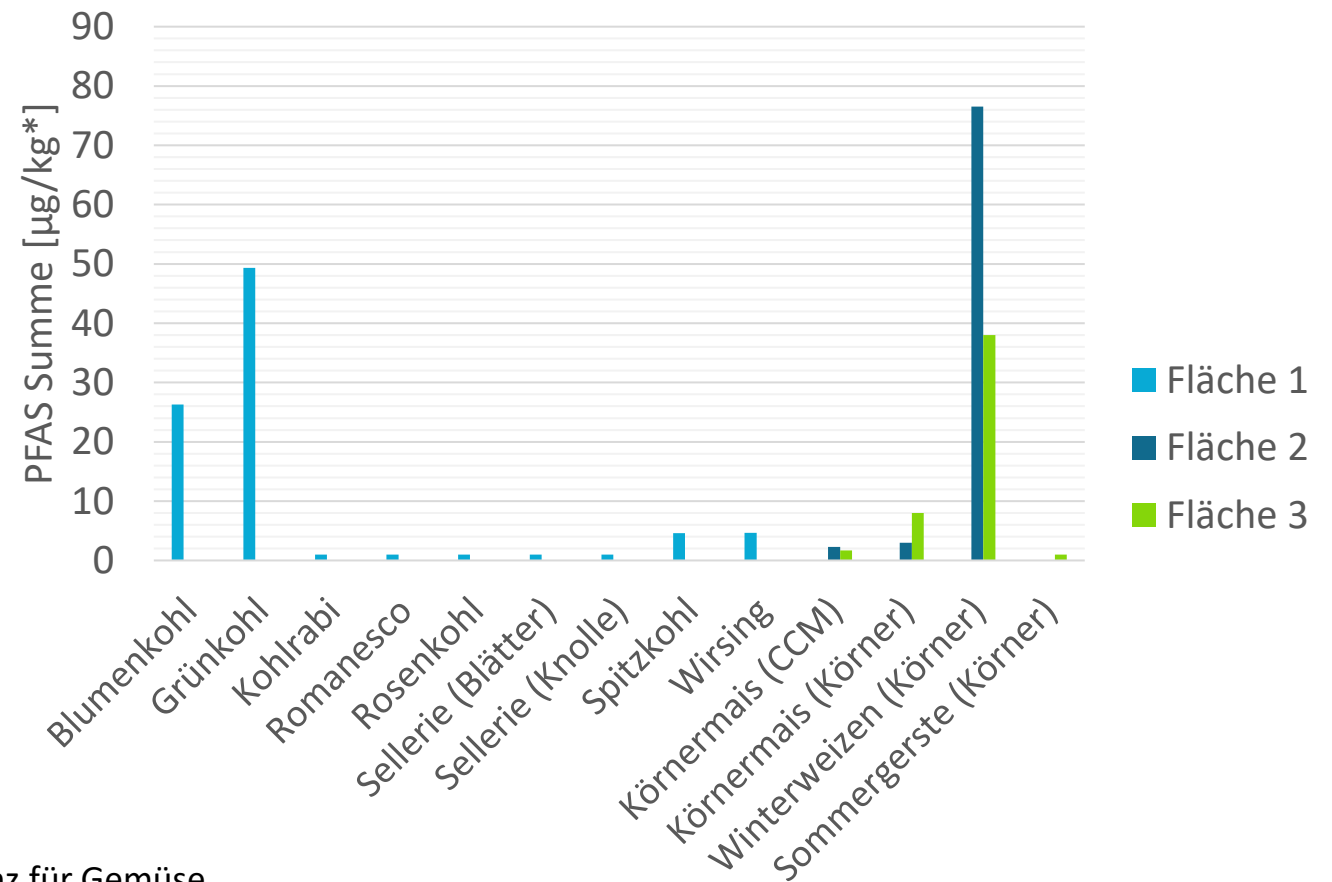
- Gefäßversuche im Kalt-Gewächshaus in Kick-Brauckmann-Gefäßen
- Feldversuche an zwei PFAS-verunreinigten Standorten (Hügelsheim, l`S; Steinbach, uL)
- **Ziele**
 - ⇒ Ermittlung des PFAS-Aufnahmeverhaltens von Hauptkulturen im Ackerbau in den Regionen Mittel- und Nordbaden
 - ⇒ Finden von alternativen Anbaukulturen:
 - ⇒ geringe oder keine PFAS-Aufnahme in Ernteprodukte
 - ⇒ Steigerung der Biodiversität in der Fruchtfolge
 - ⇒ Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel

 Anbauempfehlungen für Landwirt:innen mit PFAS-belasteten Flächen



PFAS-Aufnahme in Pflanzen

- Pflanzenartenspezifische Aufnahme von PFAS am Beispiel von 3 Flächen mit mehreren Kulturen im Verlauf der Untersuchungsjahre



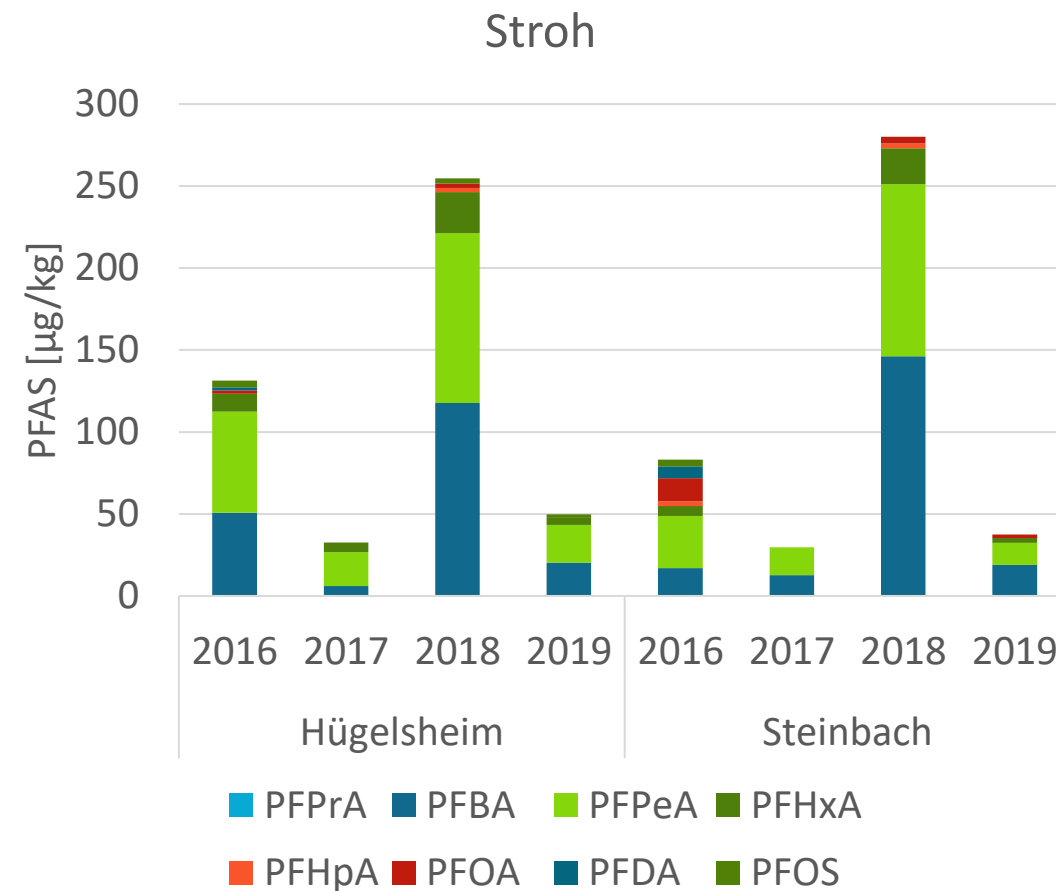
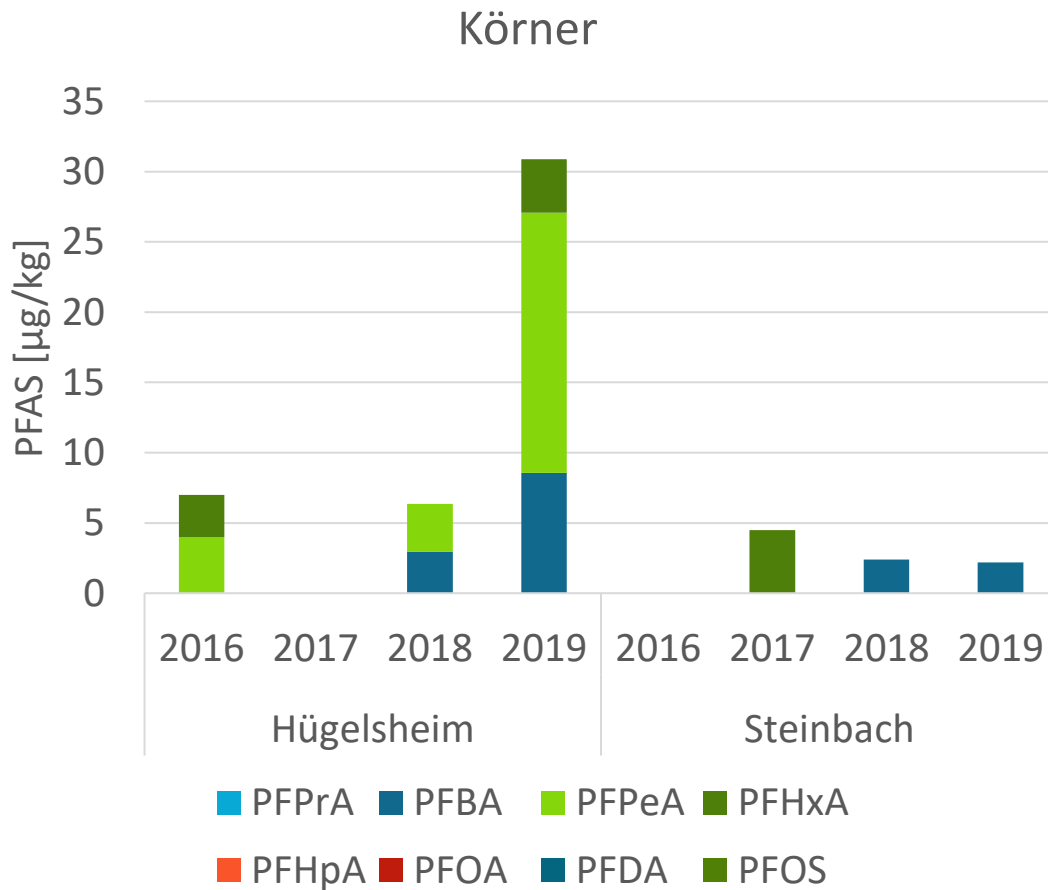
* Trockensubstanz für Mais und Getreide, Frischsubstanz für Gemüse

Quelle: Daten LTZ



PFAS-Aufnahme in Pflanzen

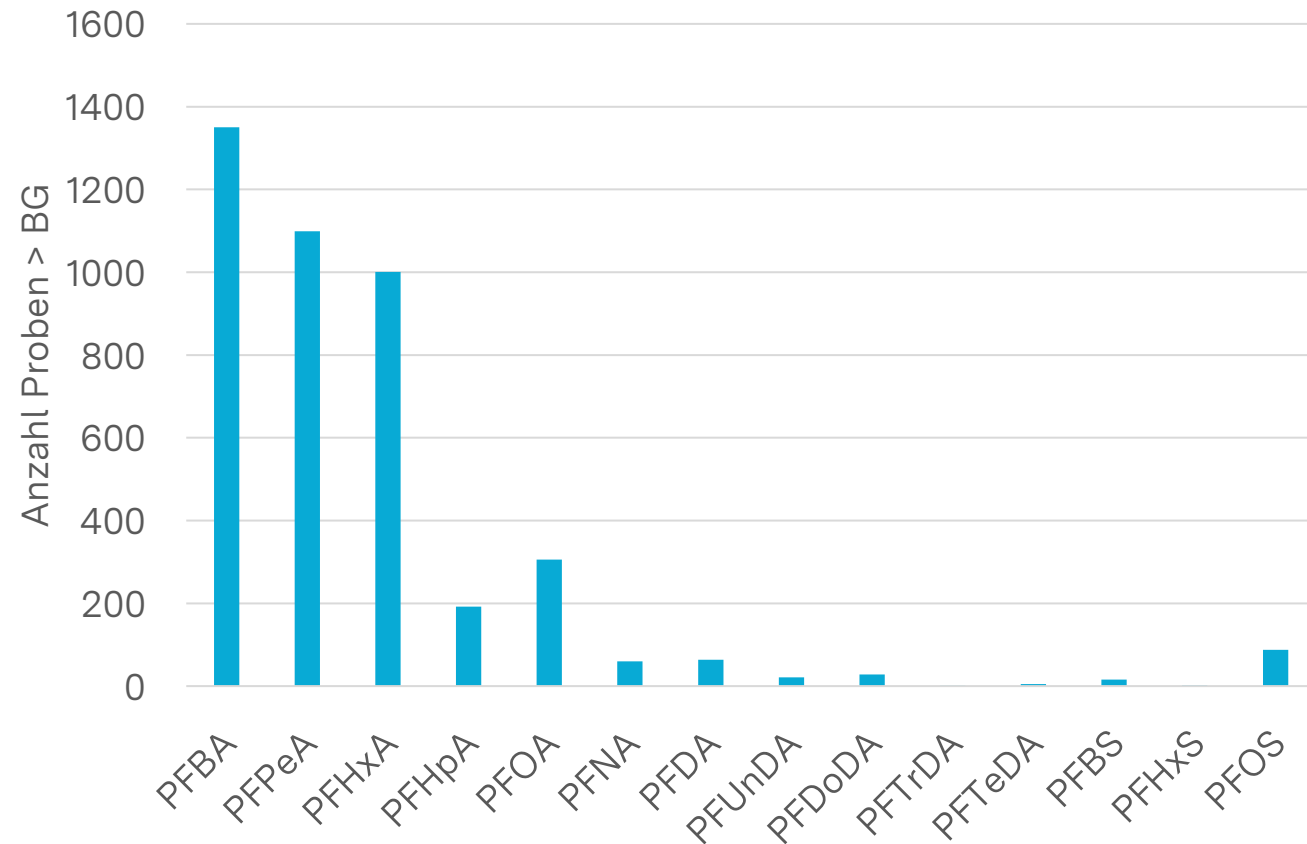
PFAS-Gehalte über mehrere Jahre, Beispiel Sommergerste



Quelle: Daten LTZ

PFAS-Aufnahme in Pflanzen

- kurzkettige PFAS werden am häufigsten in Pflanzen detektiert
- Aufnahme abhängig von der Kettenlänge
- Carbonsäuren werden stärker aufgenommen als Sulfonsäuren



BG = Bestimmungsgrenze, Gesamtanzahl Proben = 3705

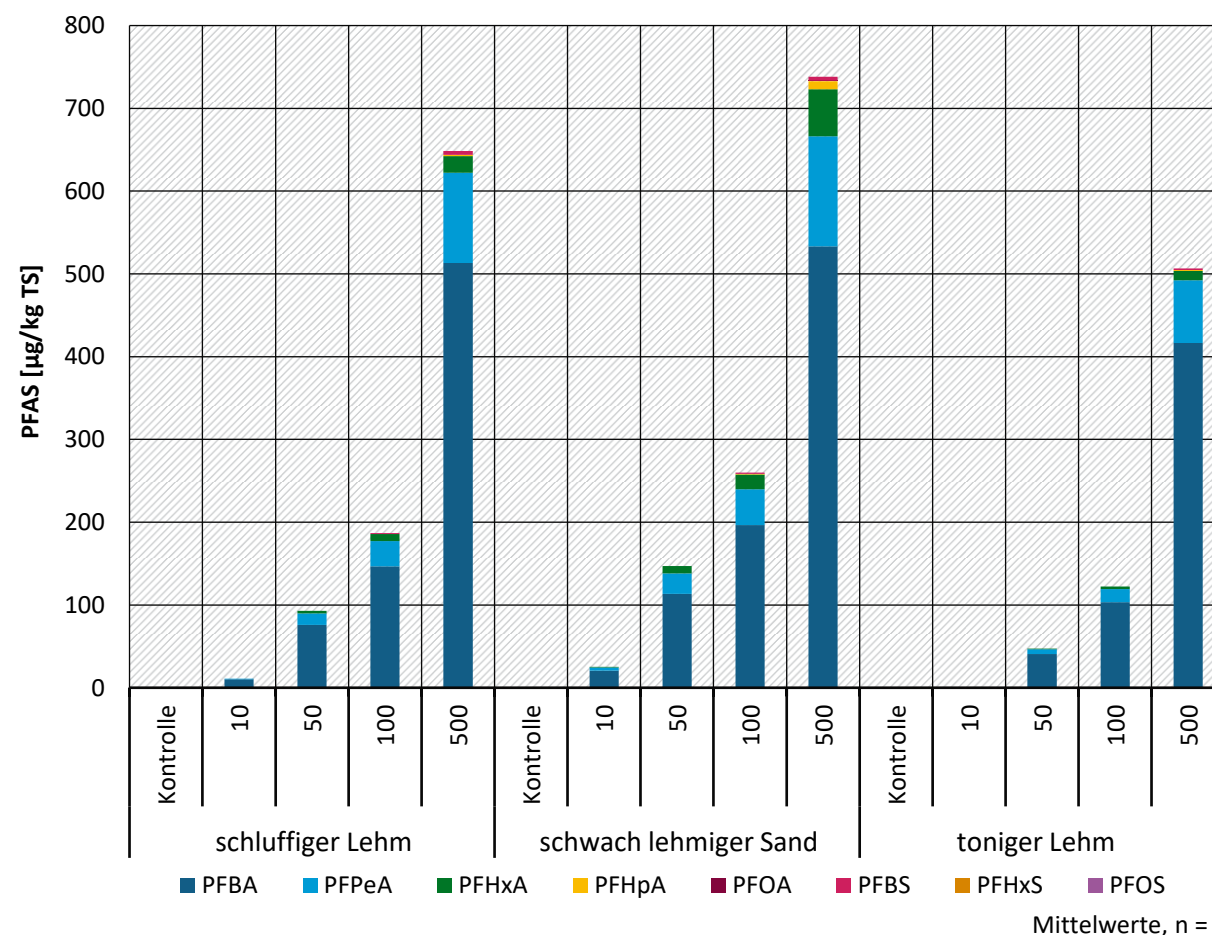
Quelle: Daten LTZ



Einfluss der Bodenart auf den PFAS-Transfer

Steigerungsversuch

- PFAS-Gehalte in Weizenkörnern
- signifikante Einflüsse der PFAS-Aufnahme in Pflanzen durch:
 - ⇒ Bodenart
 - ⇒ Höhe der PFAS-Gehalte des Bodens



Quelle: Scheurer et al.(2022) https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_77-2022_fluortransfer.pdf

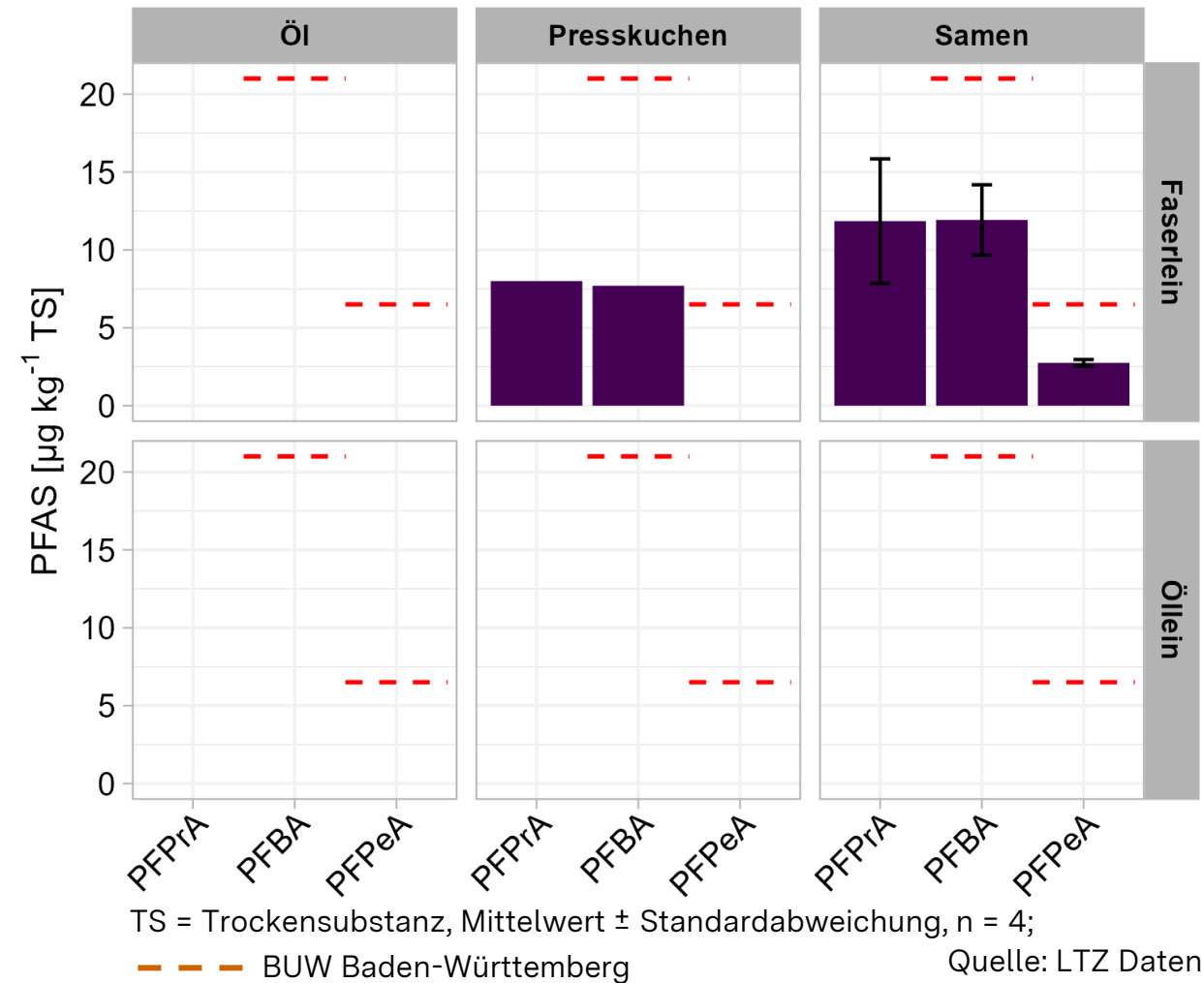


PFAS-Aufnahme in Pflanzen

Perfluorpropionsäure (PFPrA)

- Feldversuch mit Lein
- PFPrA Aufnahme ähnlich wie PFBA
- ähnliche Ergebnisse in anderen Untersuchungen gefunden

➔ PFPrA sollte in die Routineanalytik aufgenommen werden



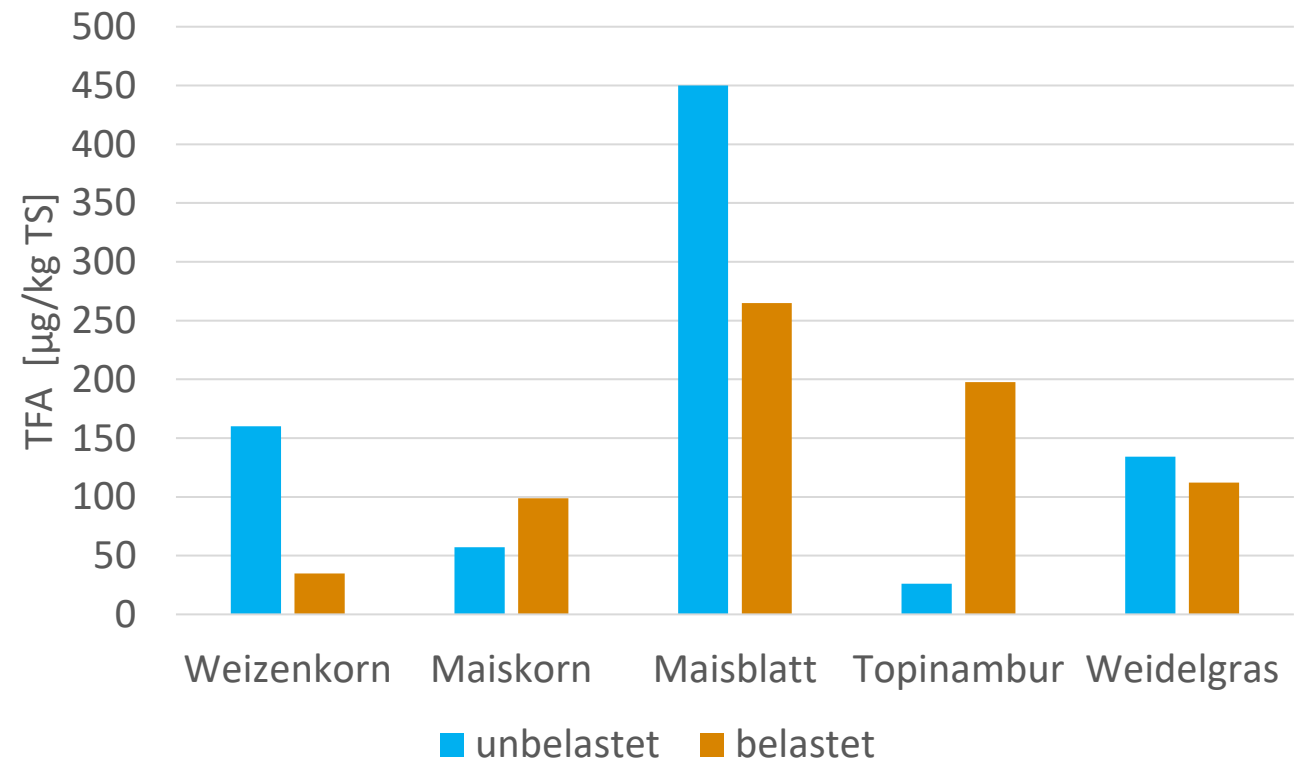


TFA in Pflanzen

Pflanzen

- Proben von PFAS-verunreinigten und unbelasteten Standorten
- Aufnahme von TFA in relevanten Mengen

➔ TFA sollte in die Routineanalytik aufgenommen werden

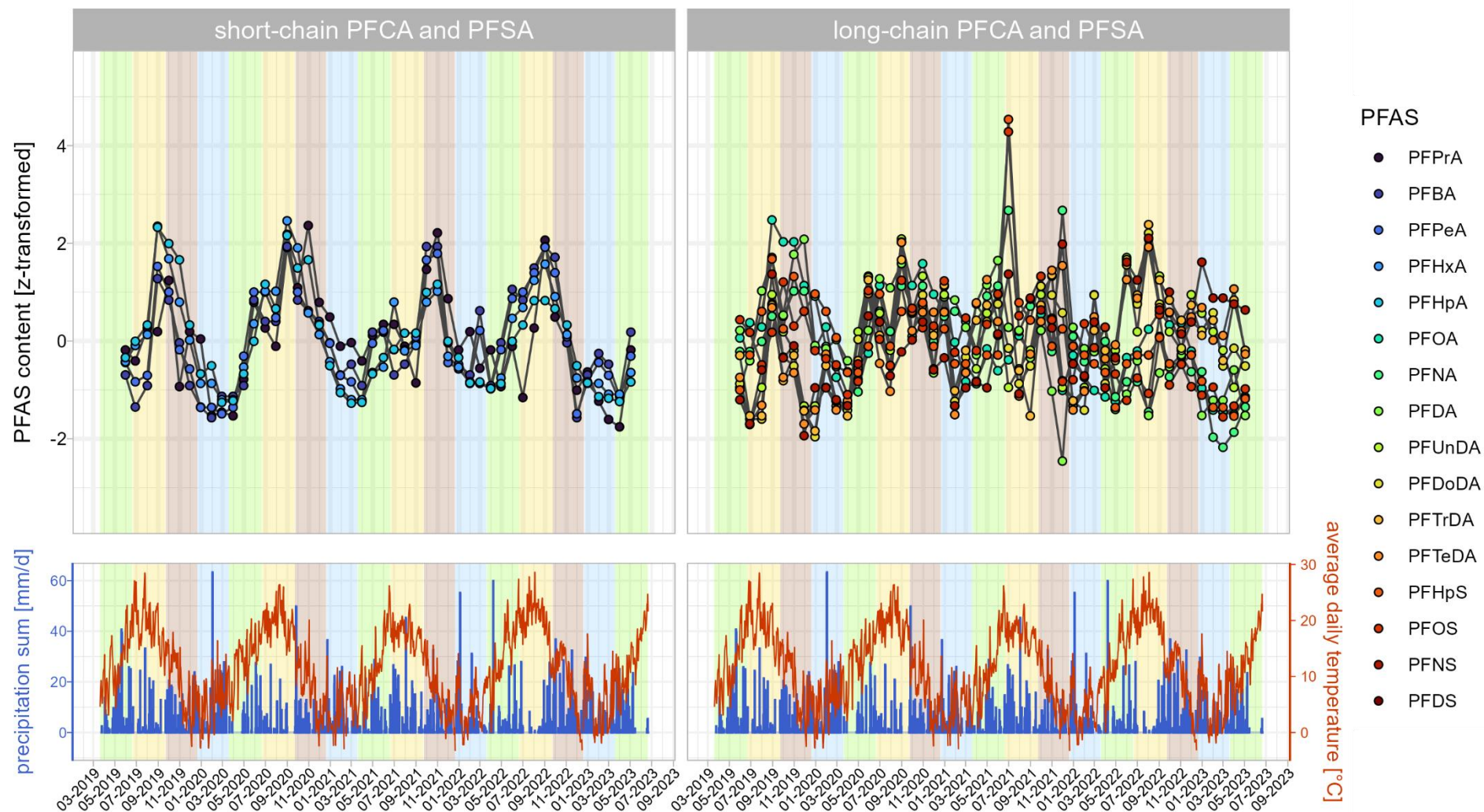


Sacher, F.; Lange, F.T.; Nödler, K.; Scheurer, M.; Müller, J.; Nürnberg, G.; Janda, J.; Freeling, F.; Muschket, M.; Keltsch, N.; Paschke, H.; Reemtsma, T.; Berger, U.; Zwiener, C.; Tisler, S.; Bugsel, B.; Schlummer, M.; Gruber, L.; Breuer, J.; Mechler, M.; Beiser, D.; Köhler, H.-R.; Wilhelm, S.; Lorenz, C. (2019): Forschungsbericht BWPLUS – Optimierung der EOF-Analytik unter Berücksichtigung der Beiträge verschiedener Stoffklassen poly- und perfluorierter Verbindungen. Förderkennzeichen: L7517011 -16.



PFAS-Gehalte im Boden – Grünlanddauerversuch

- PFAS Daten
z-transformiert
- saisonale
Schwankungen
bei kurzkettigen
PFAA und PFOA
- bei
Probennahmen
beachten!

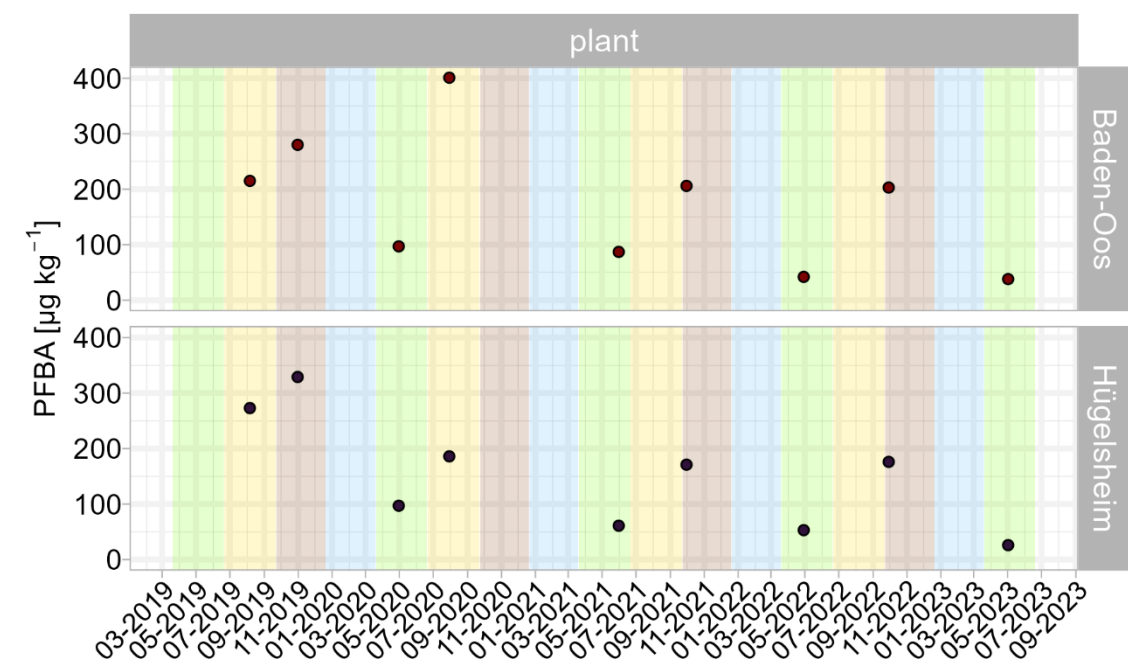
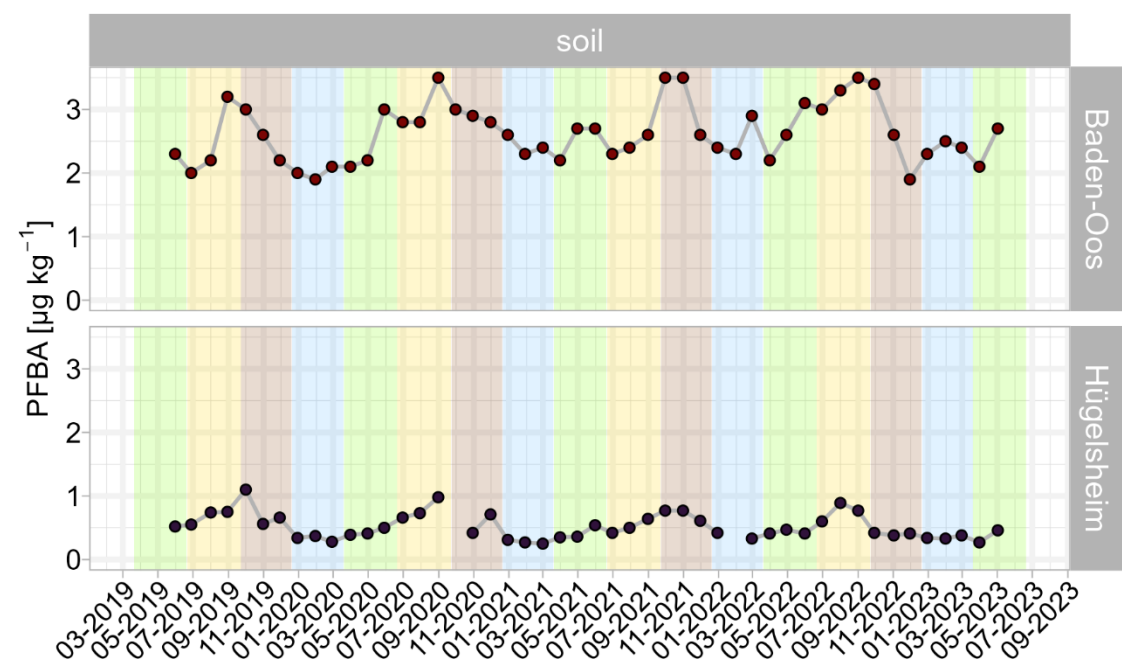


Boeddinghaus et al. in prep.



Bioakkumulation von PFAS in Grünlandaufwuchs

MeOH-Extrakte von Boden und Pflanzen



Mittlere Bioakkumulationsfaktoren

site	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFDoDA	PFOS	kk-Summe	lk-Summe	PFAS-Summe
Baden-Oos	60	27	8.8	3.7	1.9	0.9	0.1	0.1	0.3	26	0.3	0.2
Hügelsheim	250	124	27	5.9	1.4	0.3	0.0	0.1	0.1	74	0.1	0.4

Boeddinghaus et al. in prep.





PFAS-Gehalte in Alleinfuttermitteln – BfR

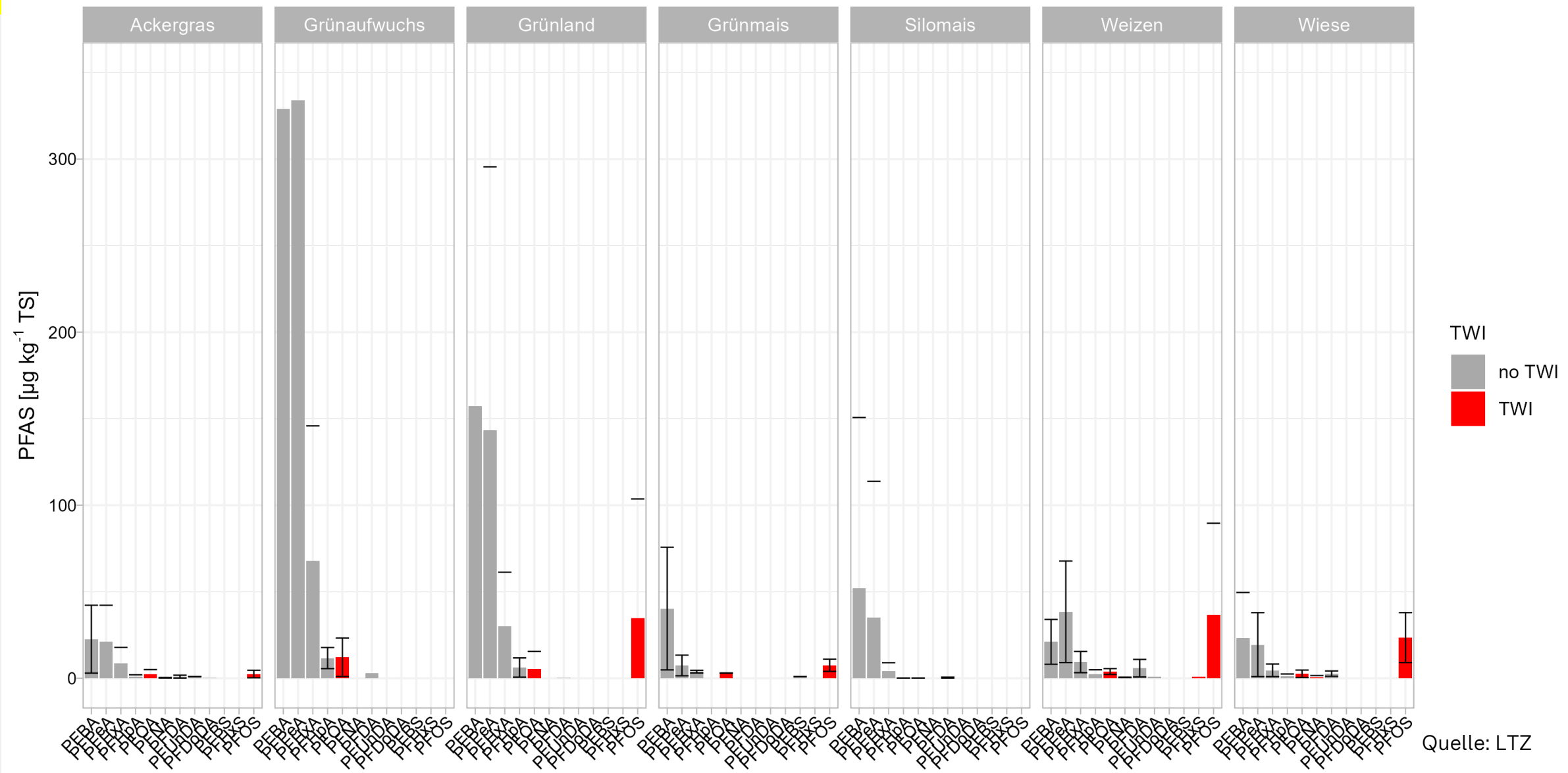
- modellierte maximal mögliche PFAS-Gehalte in Alleinfuttermitteln für Legehenne, Mastrind, Schaf und Mastschwein, für die bei Verfütterung rechnerisch im Mittel die Höchstgehalte gemäß VO (EU) 2023/915 für Eier bzw. Fleisch/Innereien nicht überschritten werden

Alleinfuttermittel	PFOS	PFOA	PFNA	PFHxS
	µg/kg Trockenmasse			
Legehenne	0,42	0,25	0,29	0,17
Mastrind	0,14	k.A.**	k.A.	1,0
Schaf	0,21 [#]	k.A.	k.A.	k.A.
Mastschwein	0,07	0,05	k.A.	0,06

* Höchstgehalte laut VO (EU) 2023/915; ** Der Transfer von PFOA bei Rindern ist sehr gering; # Kalkulation mit begrenztem Datensatz; k.A.: keine Angabe aufgrund unzureichender Datenlage

Quelle: BfR „PFAS in Futtermitteln“ Stellungnahme vom 10. Juli 2024

PFAS-Gehalte in Futtermitteln aus Mittelbaden



Quelle: LTZ





Futtermittelmonitoring Deutschland 2022–2023, BfR

**graphic removed for
public version due to
copyright reasons**

- von 214 Proben nur 40 > Bestimmungsgrenze (BG)
- Reihenfolge Messwerte > BG: Grassilage > Maissilage > Weizenkorn > Rapsmehl

Quelle: J. Kowalczyk, BfR (2025) Poster

“Results of the national feed monitoring programme in Germany on representative PFAS levels in feed (2022–2023)”



Futtermittelmonitoring Deutschland 2022–2023, BfR

- 34 von 40 Proben mit PFAS-Summe $< 1 \mu\text{g/kg}$
- In 18 von 40 Proben wurde nur ein PFAS quantifiziert, davon 12 x PFBA; 2 x PFPeA und je 1 x PFHxA, PFBS, PFHxS und PFOS
- Langkettige PFCAs C11-C14 wurden nicht nachgewiesen

**graphic removed for
public version due to
copyright reasons**

Quelle: J. Kowalczyk, BfR (2025) Poster

“Results of the national feed monitoring programme in Germany on representative PFAS levels in feed (2022–2023)”



PFAS-Akkumulationspotential

basierend auf Daten des Vor-Ernte-Monitoring und von Feldversuchen – Auswahl

hoch		niedrig
Sojabohne(bears)	Erdbeeren (Frucht)	Gerste (Körner)
Weizen (Körner)	Feldsalat (Blätter)	Hafer (Körner)
Dinkel (Körner)	Chili (Frucht)	Hirse (Körner)
Tritikale (Körner)		Raps (Körner)
Hanf (Blätter und Blüten)		Frühlingszwiebeln
Tomaten (Frucht)		Zwiebeln (Knolle)
Paprika (Frucht)		Knoblauch
Petersilie (Blätter)		Kohlrabi
		Zucchini

Quelle: LTZ Daten



Management landw. Flächen in BaWü

Das „Vor-Ernte-Monitoring“

2015:

- Installation des „Vor-Ernte-Monitorings“ (VEM) für landwirtschaftliche, PFAS-verunreinigte Flächen
- **Ziele:**
 - ⇒ Sicherstellung der Lebens- und Futtermittelsicherheit der örtlichen Erzeugnisse
 - ⇒ Erhalt landwirtschaftlicher Produktionsmöglichkeiten

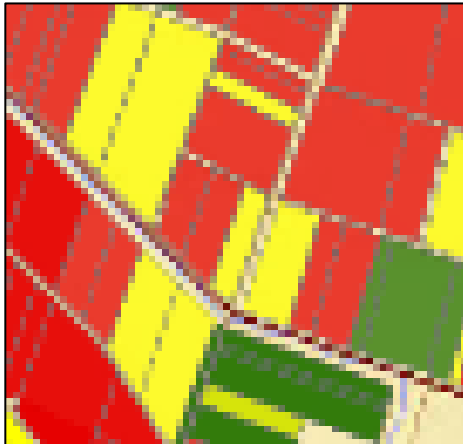
publiziert in:
**Zeitschrift für
Bodenschutz**
03/2025






Vor-Ernte-Monitoring

Ablauf

- Risikobasierte Auswahl landwirtschaftlicher Flächen durch Landwirtschaftsämter



Getreide (Korn)					
Kulturen	PFAS-Aufnahmeverhalten	Empfehlungen	BK LWA 2	BK LWA 3	BK LWA 4
Dinkel		Anbau	✗ ² (mit Ausnahme ³)	✗ ²	✗
		VEM	Selbstzahler	Selbstzahler	Selbstzahler
Durum/ Hartweizen		Anbau	✓ ²	✗ ²	✗ ²
		VEM	amtlich	Selbstzahler	Selbstzahler
Gerste		Anbau	✓	✓	✓
		VEM	nein	amtlich	amtlich

Quellen: Geoportal Rastatt (l), RP Karlsruhe & LTZ, 2024 (r)

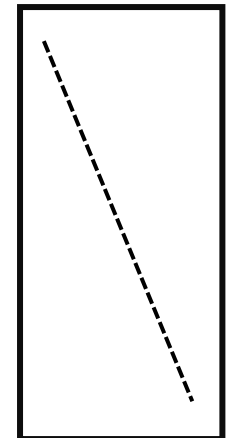
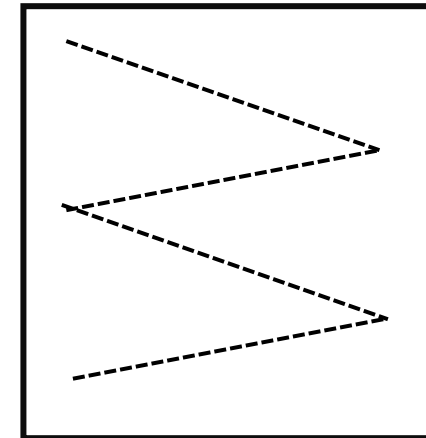




Vor-Ernte-Monitoring

Ablauf

- Risikobasierte Auswahl landwirtschaftlicher Flächen durch Landwirtschaftsämter
- Probennahme 2 Wochen vor der Ernte
 - ⇒ Lebensmittel
 - essbare Pflanzenteile wie z.B. Körner, Früchte, etc.
 - ⇒ Futtermittel
 - alle Pflanzenteile, die zur Futtergewinnung genutzt werden





Vor-Ernte-Monitoring

Ablauf

- Risikobasierte Auswahl landwirtschaftlicher Flächen durch Landwirtschaftsämter
- Probennahme 2 Wochen vor der Ernte
- Probenaufbereitung und Analyse am LTZ Augustenberg
 - ⇒ Einhaltung der Beurteilungswerte (Lebensmittel) und Beurteilungsgrundlagen (Futtermittel) prüfen



Werte zur Beurteilung von PFAS-Gehalten

Beurteilungswerte (BUW) für Lebensmittel in BaWü

PFAS	BUW Gemüse, Beeren, Obst	BUW, Getreide, Mais, Raps, etc.
PFPrA	–	–
PFBA	9,4	21
PFPeA	2,8	6,5
PFHxA	5,7	13
PFHpA	<2	<2
PFOA	TWI	TWI
PFNA	TWI	TWI
PFDA	<2	<2
PFUnDA	–	–
PFDoDA	–	–
PFTTrDA	–	–
PFTeDA	–	–
PFPrS	–	–
PFBS	5,7	13
PFPeS	–	–
PFHxS	TWI	TWI
PFHpS	–	–
PFOS	TWI	TWI
PFNS	–	–
PFDS	–	–

BUW (in µg/kg) = $\Sigma 4$ PFAS-Gehalte, bei der die TWI für Erwachsene 10-fach überschritten wird

	Getreide u. Getreide- erzeugnisse	Obst	Gemüse, Pilze, Hülsen- früchte	Kartoffeln
ΣBUW (µg/kg]	12,8	1,8	3,9	5,9



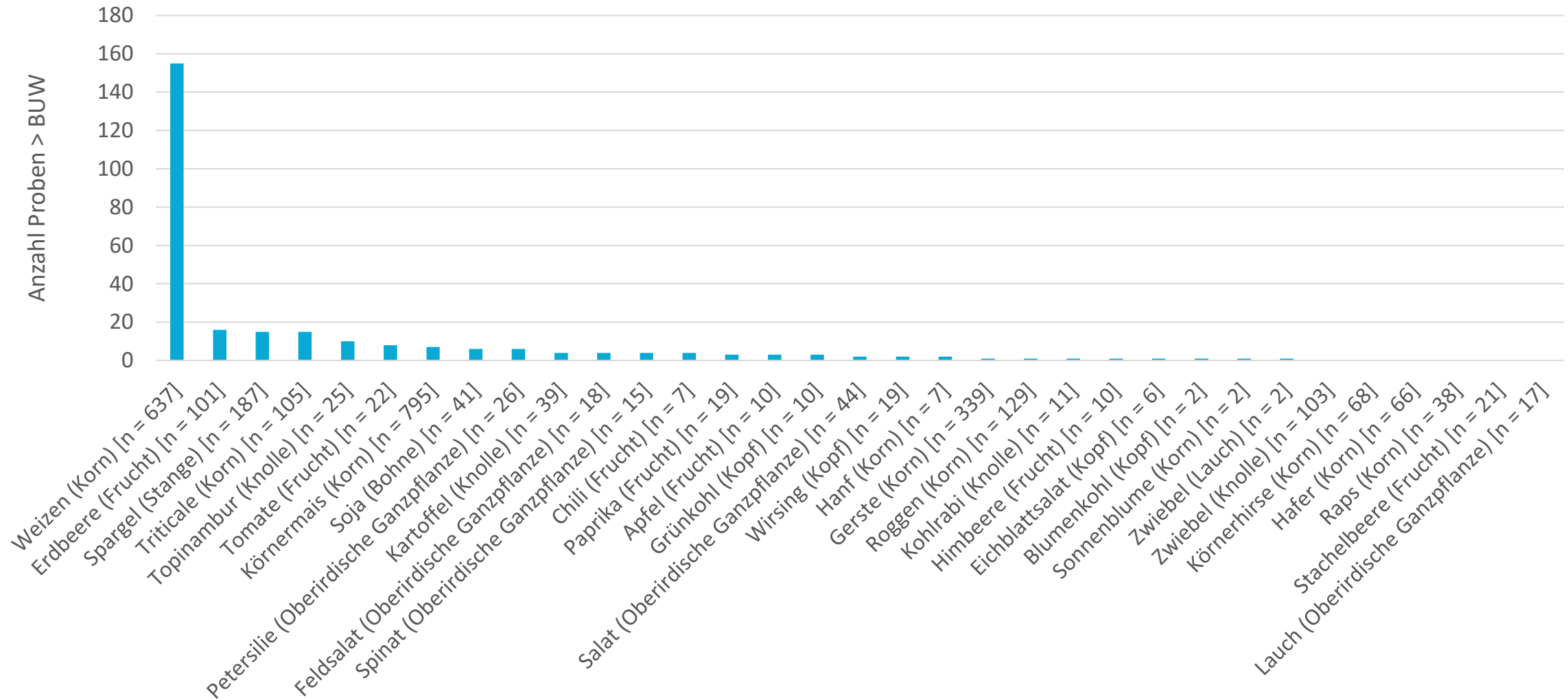


Vor-Ernte-Monitoring

Ablauf

- Risikobasierte Auswahl landwirtschaftlicher Flächen durch Landwirtschaftsämter
- Probennahme 2 Wochen vor der Ernte
- Probenaufbereitung und Analyse am LTZ Augustenberg
- Bericht der Untersuchung an Landwirte binnen 7 bzw. 10 Werktagen
- Verwertungsmöglichkeit als Lebensmittel nur bei Unterschreiten der BUW
- Rechtliche Basis: freiwillige Vereinbarung mit Bewirtschaftern

PFAS-Aufnahme > BUW



BUW = Beurteilungswert

Quelle: Daten LTZ

VEM-Pflanzenproben 2015–2024

Jahr	Gesamtzahl Proben	Anzahl Proben > BUW	Anteil Proben oberhalb BUW in %
2015	402	45	11%
2016	335	36	11%
2017	366	23	6%
2018	481	21	4%
2019	319	29	9%
2020	394	8	2%
2021	415	25	6%
2022	464	15	3%
2023	389	5	1%
2024	271	11	4%

BUW = Beurteilungswert

Quelle: LTZ

Anbauempfehlungen für Landwirt:innen

Merkblatt für ackerbauliche und gärtnerische Kulturen

Getreide (Korn)			
Kulturen	PFAS-Aufnahmeverhalten	Empfehlungen	BK
Dinkel		Anbau VEM	(mit Ausnahme) Selbstzahler
Durum/Hartweizen		Anbau VEM	an
Gerste		Anbau VEM	n
Hafer		Anbau VEM	n
Körnersorghum/Sorghumhirse		Anbau VEM	n
Mais		Anbau VEM	n
Roggen		Anbau VEM	an

Download Merkblatt pdf:



Getreide (Korn) – Fortsetzung				
Aufnahme	Empfehlungen	BK LWA 2	BK LWA 3	BK LWA 4
Anbau	(mit Ausnahme ³)	✓	✗	✗
VEM	Selbstzahler	Selbstzahler	Selbstzahler	Selbstzahler
Anbau	(mit Ausnahme ³)	✗	✗	✗
VEM	Selbstzahler	Selbstzahler	Selbstzahler	Selbstzahler
Öl- und Eiweißpflanzen (Korn)				
Aufnahme	Empfehlungen	BK LWA 2	BK LWA 3	BK LWA 4
Anbau	✓	✓	✓	✓
VEM	nein	nein	nein	amtlich
Verunreinigung des Rapshonigs bei Anbau auf verunreinigten Flächen zu rechnen. Honig muss vor Inverkehrbringen untersucht werden.				
Anbau	✗	✗	✗	✗
VEM	amtlich	Selbstzahler	Selbstzahler	Selbstzahler
Nüsse (üblicherweise verzehrte Teile)				
Aufnahme	Empfehlungen	BK LWA 2	BK LWA 3	BK LWA 4
Anbau	✓ ²	keine Daten	keine Daten	keine Daten
VEM	amtlich	amtlich	amtlich	amtlich
Anbau	✗	keine Daten	keine Daten	keine Daten
VEM	Selbstzahler	Selbstzahler	Selbstzahler	Selbstzahler

Quelle: RP Karlsruhe & LTZ, 2024

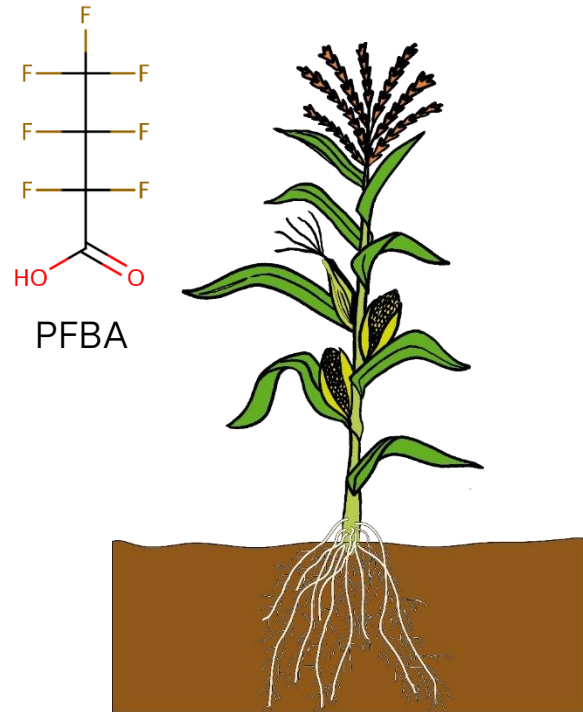




Zusammenfassung

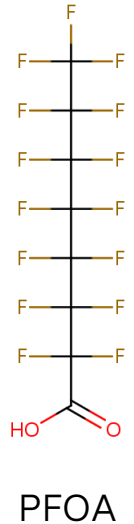
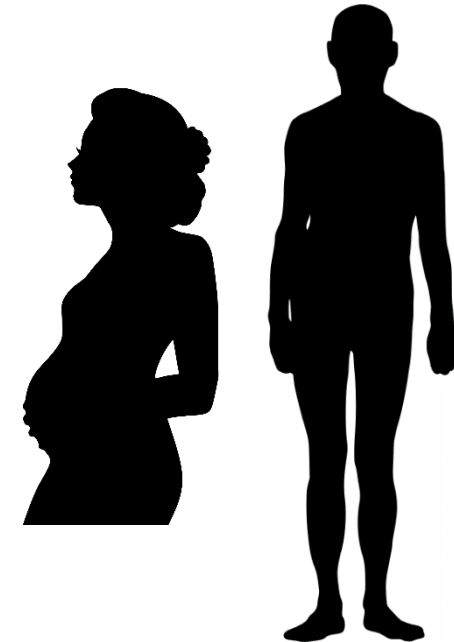
PFAS

kurzkettige PFCA & PFSA
C2–C6



- Kettenlänge bedingt Bioakkumulation in Pflanzen und Tieren
- Verhalten von Vorläufersubstanzen?
- > 14000 PFAS bekannt (US EPA)

langkettige PFCA \geq C7
& PFSA \geq C6



PFCA = Perfluorcarbonsäuren; PFSA = Perfluorsulfonsäuren

Quellen: PFAS: <https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical-lists/EPAPFASRESEARCH>;

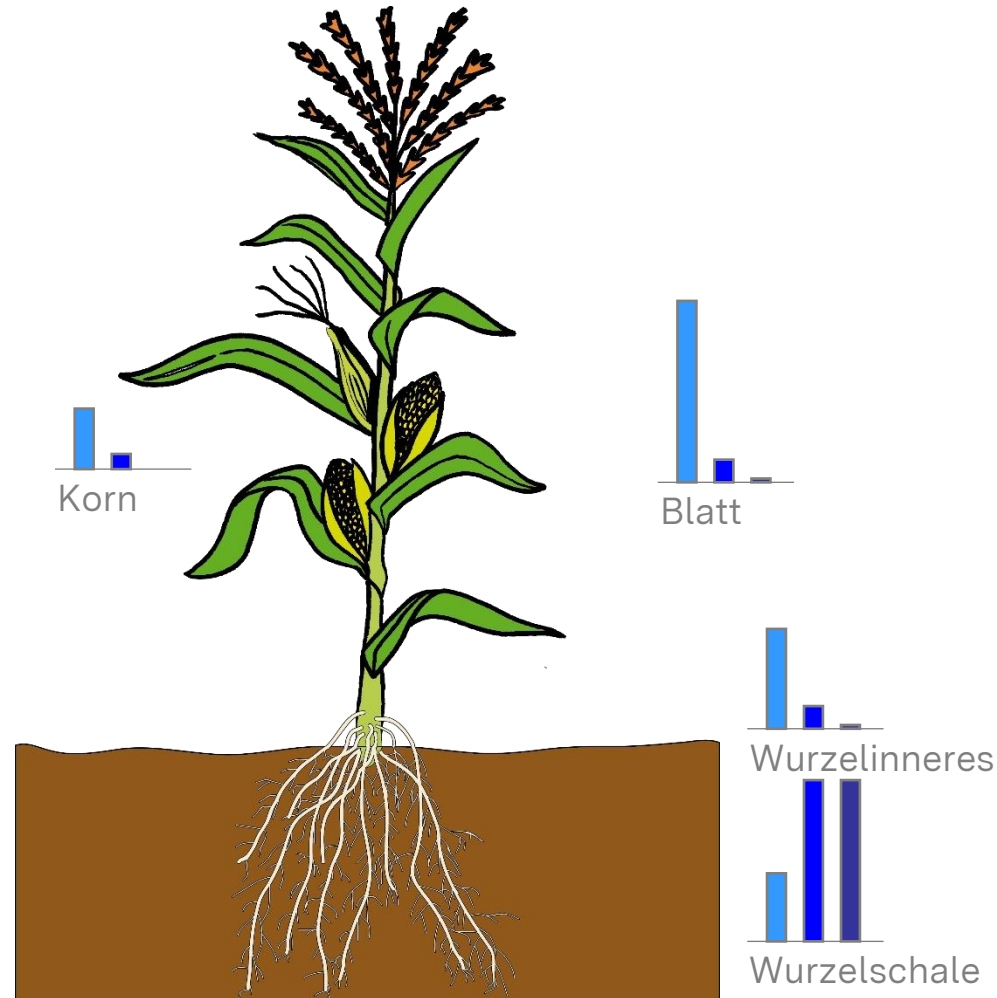
Silhouetten: <https://pxhere.com/de/photo/1446613>; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Silhouette_of_a_standing_man.svg;

Maispflanze: Boeddinghaus & Just



Zusammenfassung

- PFAS-Aufnahme unterscheidet sich zwischen
 - Pflanzenarten
 - Pflanzenteilen
- Hinweise auf:
 - Sorteneffekte
 - Einfluss Bodenfeuchte
 - Einfluss Temperatur
 - C_{org} -Gehalt Boden
 - Tongehalt Boden



- Vorläufersubstanzen
- langkettige PFCA, PFCS (LK)
- kurzkettige PFCA, PFCS (KK)

- keine Berechnung von Transferfaktoren möglich

⇒ **VEM bislang einzige Möglichkeit**

Quelle Maispflanze: Boeddinghaus & Just



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Herzlichen Dank:

- an alle Beteiligten an den Projekten, Versuchen und dem VEM
- an das MLR für die Finanzierung von VEM und LTZ-Versuchen
- an das Umweltbundesamt für die Finanzierung des Fluortransfer-Projekts
- an das Umweltministerium Baden-Württemberg für die Finanzierung der Projekte PROSPeCT, EOFplus und FluorTECH
- an das BfR für die Bereitstellung des Posters zum Futtermittelmonitoring

Foto: Stoehr (LTZ)