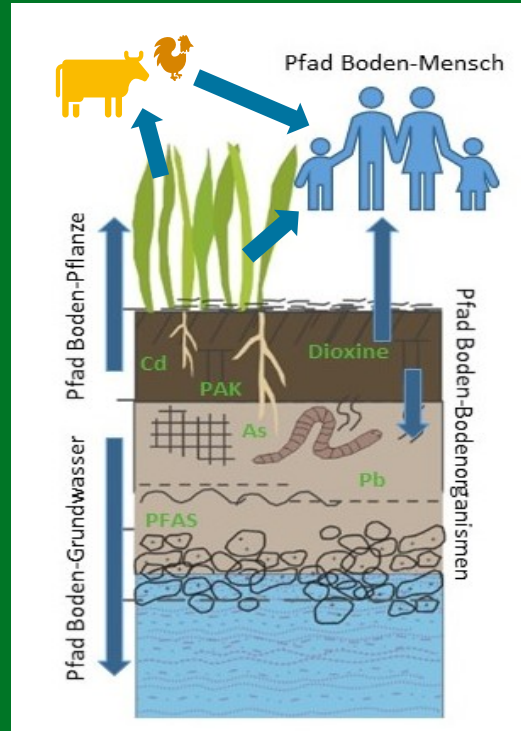


Gesunder Boden, gesunde Menschen – wie die Belastung von Böden mit PFAS unsere Gesundheit gefährdet



Quelle: UBA Fachgebiet II 2.6

Umwelt
Bundesamt

German Environment Agency

Tobias Frische – Umweltbundesamt, Fachgebiet II 2.6 Maßnahmen des Bodenschutzes

74. Wissenschaftlicher Kongress & 11. Bayerischer Kongress für den Öffentlichen Gesundheitsdienst
Erlangen, 01.-04.04.2025

Gliederung

- 1 PFAS – CHARAKTERISIERUNG UND VERWENDUNG**
- 2 PFAS – TOXIKOLOGIE UND GESUNDHEITSBESORGNIS**
- 3 PFAS – UMWELTEINTRAG UND EXPOSITION MENSCH**
- 4 BÖDEN – SENKE UND QUELLE FÜR PFAS**
- 5 PFAS-TRANSFER VOM BODEN ZUM MENSCHEN**
 - 5.1 ÜBER GRUNDWASSER**
 - 5.2 ÜBER NAHRUNGS- UND FUTTERPFLANZEN**
 - 5.3 ÜBER TIERISCHE NAHRUNGSMITTEL**
 - 5.4 ÜBER DIREKTE BODENAUFNAHME**
- 6 ZUSAMMENSCHAU UND FAZIT**

1 PFAS – Charakterisierung und Verwendung

PFAS-TOX
DATABASE

Database Chemicals Health Outcomes About

The PFAS-Tox Database was released in April 2021 with 29 PFAS which were selected based on having been commonly measured in the environment or in people. Mixtures and other chemicals analyzed in the studies of the 29 PFAS are also included in the database. These are: mixtures of PFAS (PFAS Mix) and mixtures of PFAS and other environmental chemicals (PFAS + other). Note, the well studied PFOA and PFOS are not included in this database which focuses on less well studied and emerging PFAS.

PFBA Perfluorobutyric acid
375-22-4



PFPeA Perfluoropentanoic acid
2706-90-3



PFHxA Perfluorohexanoic acid
307-24-4



PFHpA Perfluoroheptanoic acid
375-85-9; 20109-59-5; 6130-43-4



PFNA Perfluorononanoic acid
375-95-1; 4149-60-4



PFDA Perfluorodecanoic acid
335-76-2



PFUnDA Perfluoroundecanoic acid
2058-94-8



PFDoDA Perfluorododecanoic acid
307-55-1



PFTrDA Perfluorotridecanoic acid
72629-94-8



PFTeDA Perfluorotetradecanoic acid
376-06-7



PFBS Perfluorobutanesulfonic acid
375-73-5; 29420-49-3; 68259-10-9; 45187-15-3



PFPeS Perfluoropentanesulfonic acid
2706-91-4



PFHxS Perfluorohexanesulfonic acid
355-46-4; 3871-99-6; 68259-08-5



PFHpS Perfluoroheptanesulfonic acid
375-92-8; 60270-55-5



PFNS Perfluorononanesulfonic acid
68259-12-1; 17202-41-4



PFDS Perfluorodecanesulfonic acid
335-77-3; 67906-42-7



MeFOSAA 2-(N-Methylperfluorooctanesulfonamido)acetic acid
2355-31-9



EtFOSAA N-ethylperfluorooctanesulfonamidoacetic acid
2991-50-6



6:2 FTSA 6:2 fluorotelomer sulfonic acid
27619-97-2; 59587-39-2



8:2 FTSA 8:2 fluorotelomer sulfonic acid
39108-34-4



GenX 2-((Heptafluoropropoxy)-2,3,3,3-tetrafluoropropanoic acid
13252-13-6; 62037-80-3; 26099-32-1



HFPO-TA 2,3,3,3-Tetrafluoro-2-((1,1,2,3,3,3-hexafluoro-2-(perfluoropropoxy)propoxy)propanoic acid
13252-14-7



Hydro-Eve 2,2,3,3-Tetrafluoro-3-[[1,1,2,3,3,3-hexafluoro-3-((1,2,2,2-tetrafluoroethoxy)propan-2-yl)oxy]propanoic acid
773804-62-9



Nafion Byproduct 2 1,1,2,2-tetrafluoro-2-[[1,1,2,3,3-hexafluoro-3-((1,2,2,2-tetrafluoroethoxy)propan-2-yl)oxy]ethanesulfonic acid
749836-20-2



ADONA 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoic acid
919005-14-4



PFO4DA Perfluoro-3,5,7,9-butoxadecanoic acid
39492-90-5



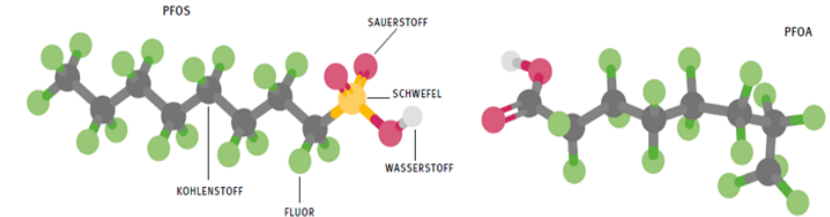
PFOSDoDA Perfluoro-3,5,7,9,11-pentaaxadecanoic acid
39492-91-6



6:2 Cl-PFESA 6:2 chlorinated polyfluorinated ether sulfonic acid
73606-19-6



8:2 Cl-PFESA 8:2 chlorinated polyfluorinated ether sulfonic acid
83329-89-9



aus: UBA (2020)

- Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
- Stoffgruppe mit x-tausend Einzelstoffen
- persistent und mobil in der Umwelt
- langkettige: bioakkumulierend, Anreicherung in Nahrungsketten
- teilweise (sehr) toxisch in Mensch und Tier
- „prominenteste“ PFAS:

Perfluoroktancarbonensäure (PFOA)
Perfluoroktansulfonsäure (PFOS)

Click the icon to the left to link out and view the PFAS-Tox Database chemicals on US EPA's CompTox Chemicals Dashboard.

Screenshot: PFASTOXDATABASE.ORG (13.04.25)

1 PFAS – Charakterisierung und Verwendung

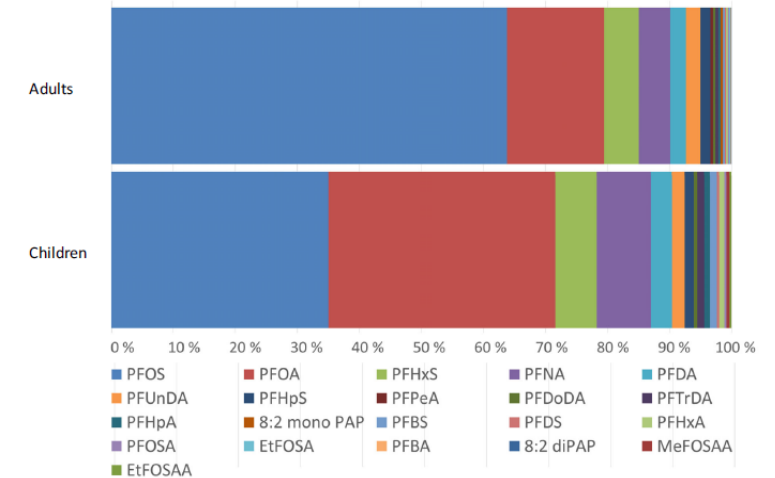


Vielfältige Einsatzbereiche in Industriegesellschaften wegen technisch günstiger Eigenschaften (wasser-, schmutz- und fettabweisend, oberflächenaktiv, stabil, isolierend) bereits seit ca. 1950

2 PFAS – Toxikologie und Gesundheitsbesorgnis

Toxikokinetik

- **Umfassende Resorption im Magen-Darm-Trakt**, Anreicherung besonders in Blut (Bindung an Albumin), Leber und Nieren
- **Keine Biotransformation** in Säugern (einschließlich Mensch)
- **Rückresorption** (Leber, Darm, Nieren), langsame Ausscheidung (Urin, Kot, Muttermilch)
- Kurzkettige PFAS mit relativ kurzen, **langkettige PFAS mit sehr langen Halbwertszeiten im menschlichen Körper** (3 Jahre und mehr)
- **Mutter-Kind-Transfer** (in utero und Muttermilch)
- „**EFSA4**“ (PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS)* **> 80 bzw. 90 % der mittleren PFAS-Belastung im Blut** (Kinder bzw. Erwachsene in EU/ DE)



aus: EFSA (2020)

*Perfluoroktancarbonsäure (PFOA), Perfluornonancarbonsäure (PFNA), Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS), Perfluoroktansulfonsäure (PFOS)

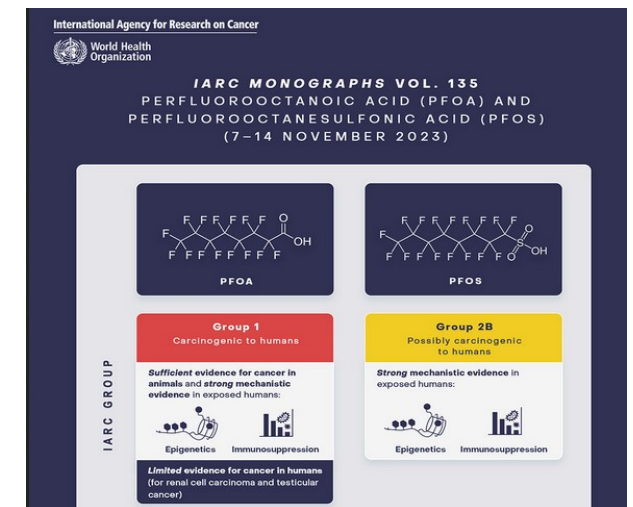
2 PFAS – Toxikologie und Gesundheitsbesorgnis

Toxikodynamik

- **verschiedene Wirkmechanismen**, für die meisten Effekte ungeklärt
- **breites Spektrum toxischer Effekte bei langfristiger Exposition** (speziell langkettige PFAS)
- **in Tierversuch und bei Menschen (Epidemiologie) konsistent beobachtet:**
 - lebertoxische Wirkungen, verringertes Geburtsgewicht, **immuntoxische Effekte**
 - **PFOA Kanzerogenität (IARC Group 1)**
- **gesundheitsbasierter Leitwert für die lebenslange Aufnahme über den Nahrungspfad** (Summenwert für die EFSA4):
 - **TWI (tolerable weekly intake):** 4.4 ng/kg Körpergewicht /Woche

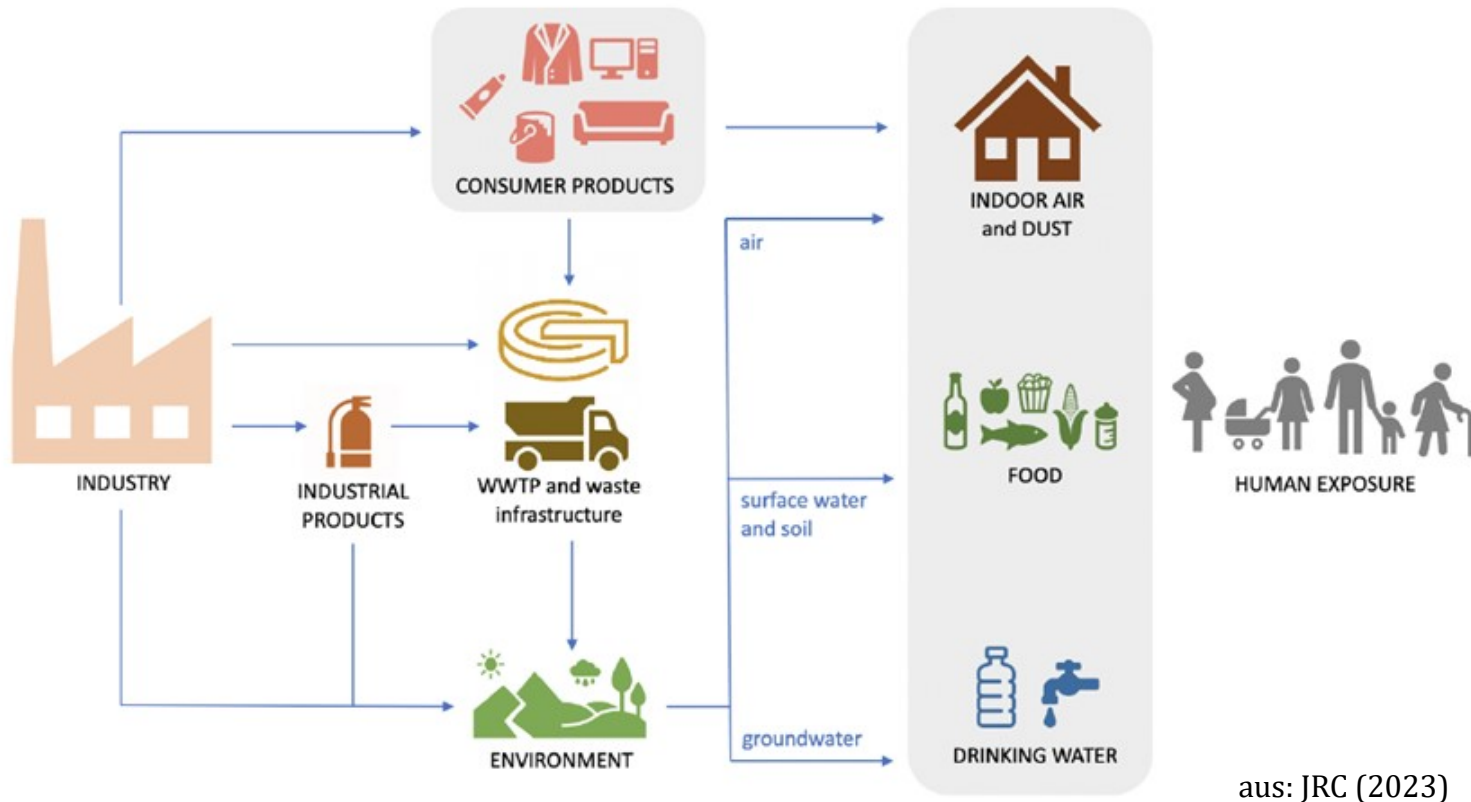


aus: JRC (2023)



von: WHO-IARC (2023)

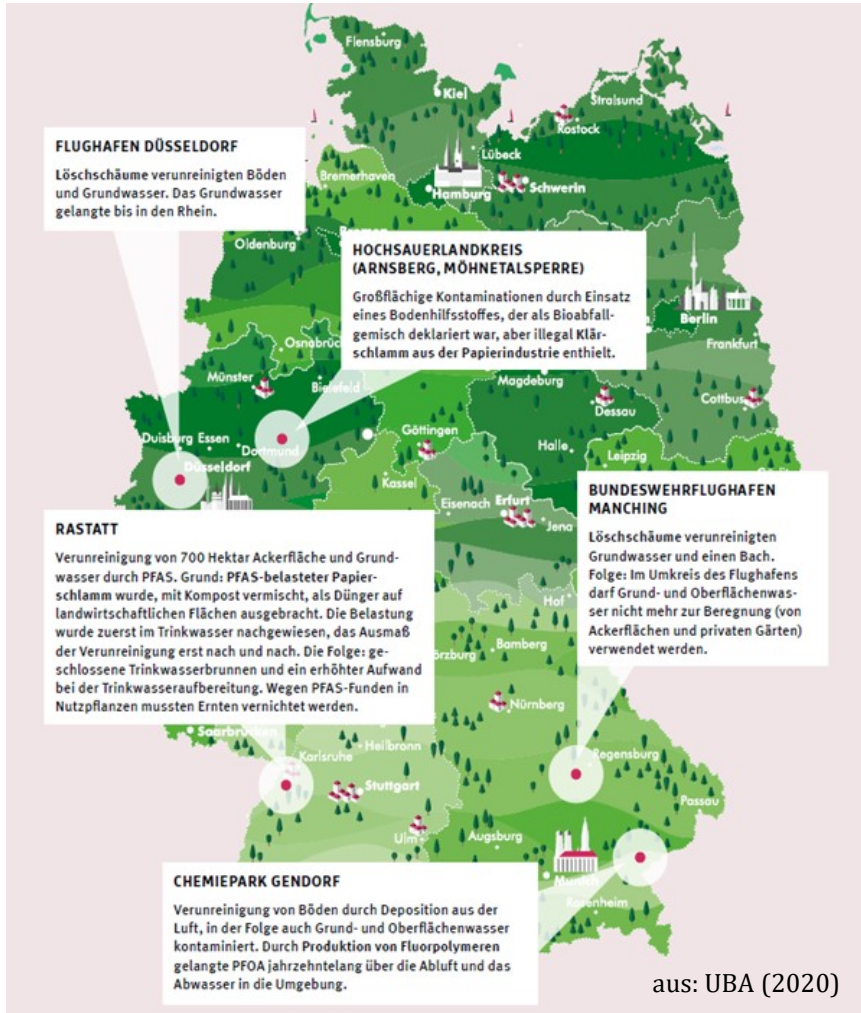
3 PFAS – Umwelteintrag und Exposition Mensch



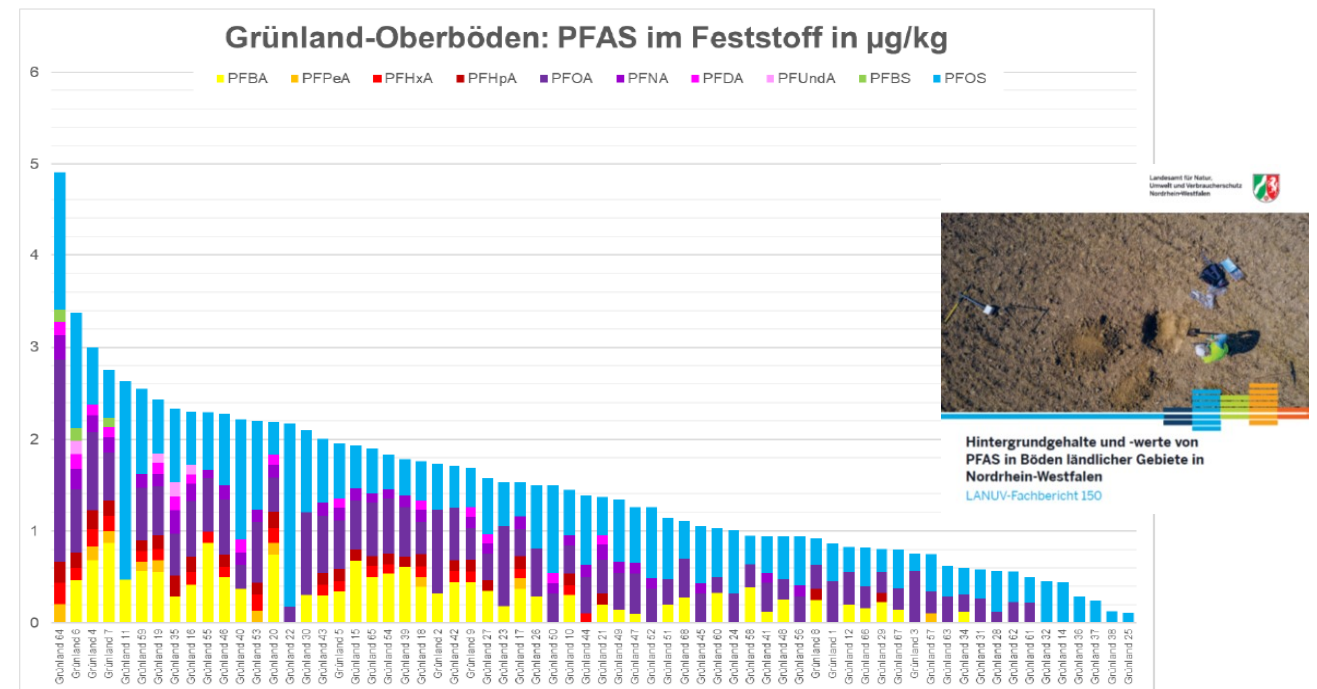
aus: JRC (2023)

- **Nahrung** ist nach EFSA und BfR Hauptquelle
- besonders relevant sind **tierische Lebensmittel**
- Teile der Bevölkerung in DE nach BfR-Schätzung mit **Exposition im Bereich des EFSA-TWI-Wertes**
- Expositionsabschätzungen aber mit **großen Datenunsicherheiten**

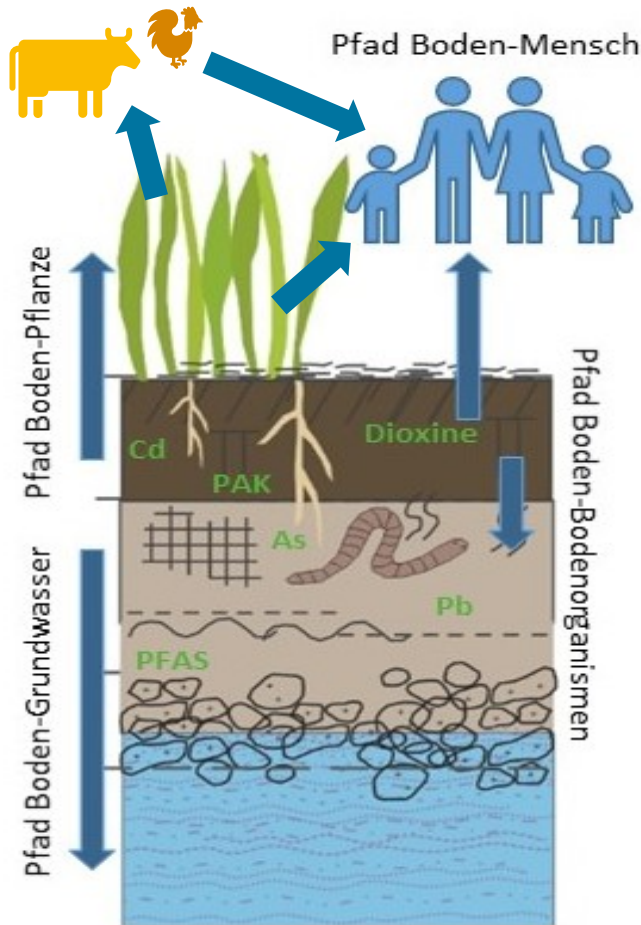
4 Böden – Senke und Quelle für PFAS



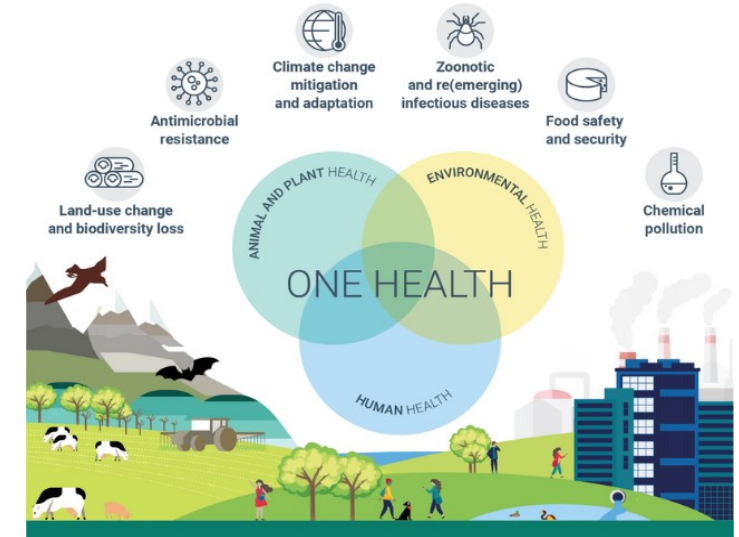
- **Hot-spots:** kleinflächige aber vereinzelt auch großräumige hohe bis sehr hohe PFAS-Einträge (Industrie-Emissionen, Schadensfälle, Entsorgung industrieller Materialien), Gehalte bis mg/kg-Bereich
- **Hintergrundbelastung:** diffus-ubiquitärer atmosphärischer Eintrag (trocken und nass), Gehalte im niedrigen einstelligen µg/kg-Bereich



5 PFAS-Transfer vom Boden zum Menschen



Quelle: UBA Fachgebiet II 2.6



kopiert von: EEA (2025)

Wir Menschen leben auf und vom Boden – und damit sind wir auch betroffen von den chemischen Belastungen des Bodens

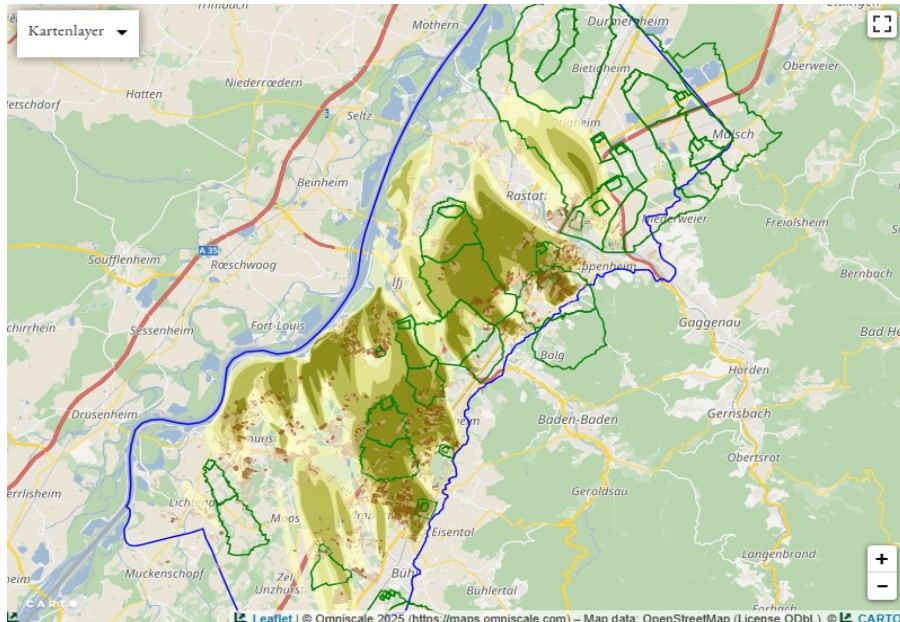
- **über das Grundwasser**
- **über pflanzliche Nahrungsmittel**
- **über tierische Nahrungsmittel**
- **über direkte Bodenaufnahme**

5.1 PFAS-Transfer vom Boden zum Menschen – über Grundwasser

NEUE DATENBASIS: AUSMASS DER PFAS-BELASTUNG IM GRUNDWASSER GRÖßER

20.01.2025

TZW legt für Mittelbaden aktualisierte Werte vor – Stadtwerke Geschäftsführer Olaf Kasprzyk weist auf Konsequenzen für Generationen hin – Dimension online einsehbar



Von: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/pfc-karten-online>

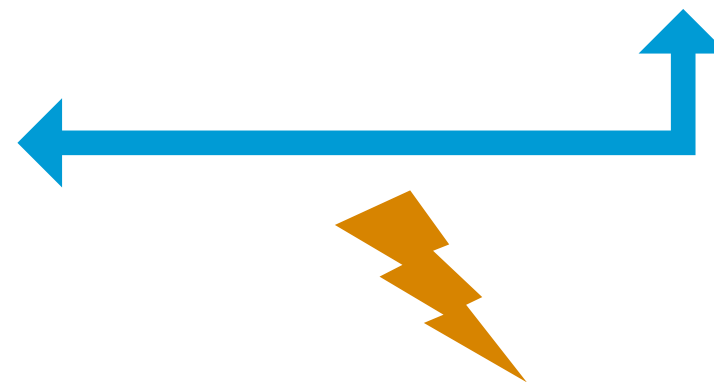
- **Rastatt/ Mittelbaden** mit einer betroffenen Fläche von etwa 200 km²
- Ursache: landwirtschaftliche **Ausbringung von PFAS-belasteten Abfällen** aus der Papierproduktion
- Geschätzt **490 Millionen Kubikmeter belastetes Grundwasser** (Jahresverbrauch Baden-Württemberg)
- Trinkwassereinzugsgebiete betroffen, fortdauernd **hohe Kosten für Aufreinigung** des belasteten Rohwassers
- Blutkontrolluntersuchungen (2020):
 - Median PFOA-Gehalte im Blutplasma der Personen mit einer früheren Belastung über das Trinkwasser: 12.6 Mikrogramm pro Liter → **„unerwünschte Belastung, (...) jedoch keine unmittelbare Gesundheitsgefährdung“**
 - Median PFOA-Gehalte im Blutplasma der Kontrollgruppe: 1.4 Mikrogramm pro Liter

5.1 PFAS-Transfer vom Boden zum Menschen – über Grundwasser

- Neue Anforderungen für das Schutzgut Trinkwasser kommen mit EU-Trinkwasserrichtlinie 2020/2184 in der **Trinkwasserverordnung (TrinkwV)**:
 - „Summe PFAS-20“ mit 100 ng/L (ab 2026)
 - „Summe PFAS-4“ mit 20 ng/L (ab 2028)
- Neue, sehr niedrige **Umweltqualitätsziele für Grundwasser** sind aktuell in der EU-Abstimmung
- **Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)** mit Prüfwerten für sieben PFAS für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser, z.B. für PFOA mit 100 ng/L
- **Die Wasserwirtschaft ist besorgt...**

PFAS-Gehalte (ng/L) im 2:1 Boden-Wasser-Schütteleluat

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



5.2 PFAS-Transfer vom Boden zum Menschen – über Nahrungs- und Futterpflanzen



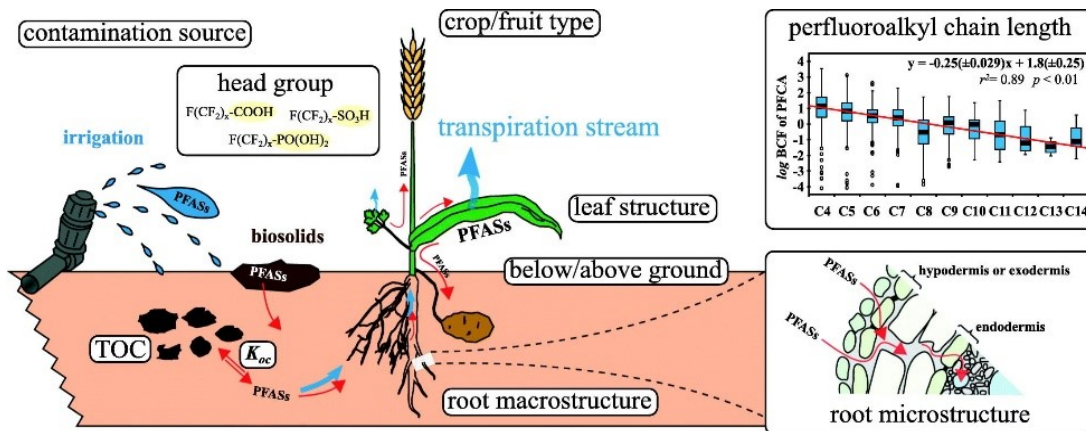
Science of The Total Environment
Volume 766, 20 April 2021, 142640



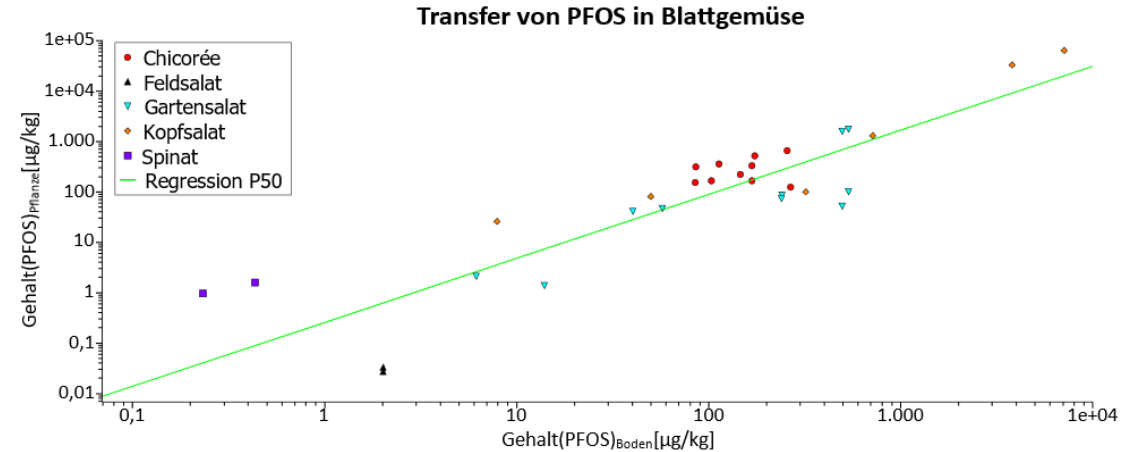
Review

Extending the knowledge about PFAS bioaccumulation factors for agricultural plants – A review

Lukas Lesmeister^a, Frank Thomas Lange^a, Jörn Breuer^b, Annegret Biegel-Engler^c, Evelyn Giese^c, Marco Scheurer^a



aus: Lesmeister et al. (2021)



Grafik von: L. Gehrenkemper (UBA)

- Daten aus 7 Studien für 5 Gemüsesorten (Freiland- und Gefäßversuche)
- Lineare Regressionen der log/log-Daten zu Boden- und Pflanzengehalten zeigt gute Korrelation ($R^2 = 0,78$)

Aufnahme von PFAS aus dem Boden in Pflanzen ist evident, mehr Detailwissen ist erforderlich

5.2 PFAS-Transfer vom Boden zum Menschen – über Nahrungs- und Futterpflanzen

- **PFAS-Gehalte in Pflanzen resultieren aus**
 - Aufnahme über kontaminiertes Bewässerungs- oder Grundwasser / systemische Aufnahme aus belastetem Boden
 - Anhaftungen von belastetem Boden am Erntegut
 - atmosphärische Deposition
- **Höchstgehalte für PFAS in Nahrungs- und Futterpflanzen fehlen aktuell**, diese gibt es bisher nur für tierische Lebensmittel (EU Verordnung 2023/915)
- Projekt im Umweltbundesamt erarbeitet aktuell fachliche Grundlagen für die **Ableitung von Prüfwerten für den Wirkungspfad Boden-Pflanze**



Tabelle 1: PFAS-Höchstgehalte in Lebensmitteln tierischen Ursprungs entsprechend der Verordnung (EU) 2023/915 sowie modellierte maximal mögliche PFAS-Gehalte in Alleinfuttermitteln für Legehennen, 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

Lebensmittel*	PFOS	PFOA	PFNA	PFHxS
Eier	1,0	0,30	0,70	0,30
Fleisch von Rindern, Schweinen und Geflügel	0,30	0,80	0,20	0,20
Fleisch von Schafen	1,0	0,20	0,20	0,20
Schlachtnieberzeugnisse von Rindern, Schafen, Schweinen und Geflügel	6,0	0,70	0,40	0,50
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

„Verbraucherschutz-basierte Orientierungswerte für Alleinfuttermittel“ (modelliert)

5.3 PFAS-Transfer vom Boden zum Menschen – über tierische Nahrungsmittel



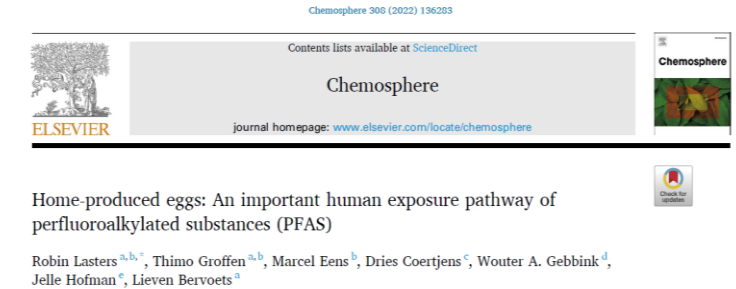
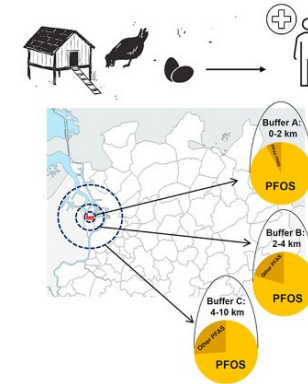
Korsør, Denmark

A fire-fighting training facility contaminated farming land and cattle with PFOS and PFHxS.

Key Information

PFOS was found near the firefighting training facility in a drainage channel (up to 9000 ng/l), the surrounding grass (up to 165 ng/g) and soil.

Approximately two-thirds of the participants studied within the cow grazer association had elevated PFOS (up to 553 ng/ml) and PFHxS (up to 38 ng/ml) compared to the Danish normal range.



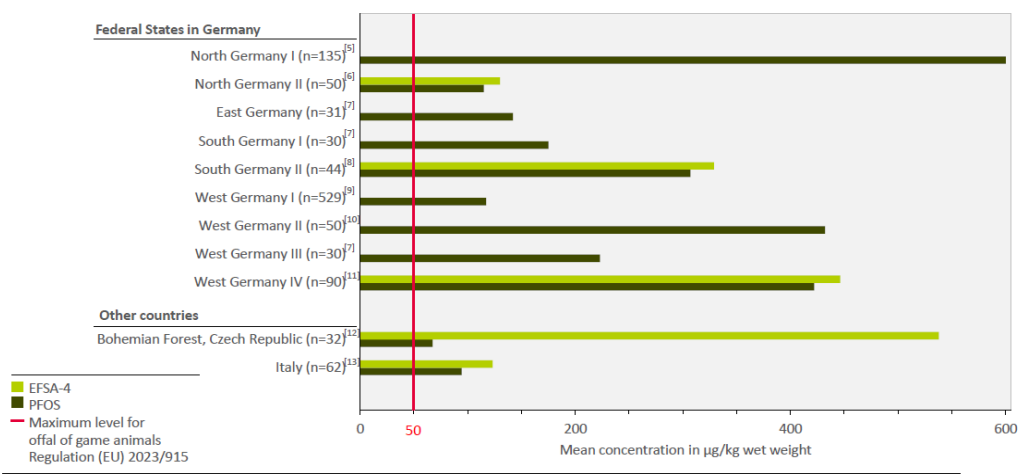
ng/g ww)		
PFOS		
0.13		
Buffer A: 0-2 km (N = 18)	Median	11
	Mean	39
	Range (min. - max.)	<LOQ – 241
	Freq. (%)	100
	Contribution to $\sum$ PFAS (%)	91.7
Buffer B: 2-4 km (N = 30)	Median	3.5
	Mean	6.5
	Range (min. - max.)	0.54–44
	Freq. (%)	100
	Contribution to $\sum$ PFAS (%)	79.3
Buffer C: 4-10 km (N = 22)	Median	3.3
	Mean	4.4
	Range (min. - max.)	0.78–13
	Freq. (%)	100
	Contribution to $\sum$ PFAS (%)	74.1

**Höchstgehalt (EU) für
PFOS im Ei: 1 µg/kg**

- Aufnahme von PFAS in Nutztiere bei **Freilandhaltung auf höher belasteten Flächen (Hot-Spots)**
- Bisweilen wurde auch der **Transfer in den Menschen bei Konsum der tierischen Lebensmittel** beschrieben
- Exposition der Tiere nicht nur über Futterpflanzen, **auch über Tränkwasser oder Boden**

5.3 PFAS-Transfer vom Boden zum Menschen – über tierische Nahrungsmittel

II. Maximum levels of PFAS exceeded in wild boar livers



4 Funded by the European Union Jana Rupp | Webinar "PFAS in game meat and offal" | 19.08.2024.



Hintergrundbelastung führt bereits zu Überschreitung der EFSA4-Höchstgehalte in Wildschweinlebern



„Das Bundesumweltministerium rät vom Verzehr von Wildschweinleber (...) ab.“

PFAS Contamination Patterns in Wild Boar Liver Samples and Soil Samples from a PFAS Hot Spot Area – Distinct, yet Indicative

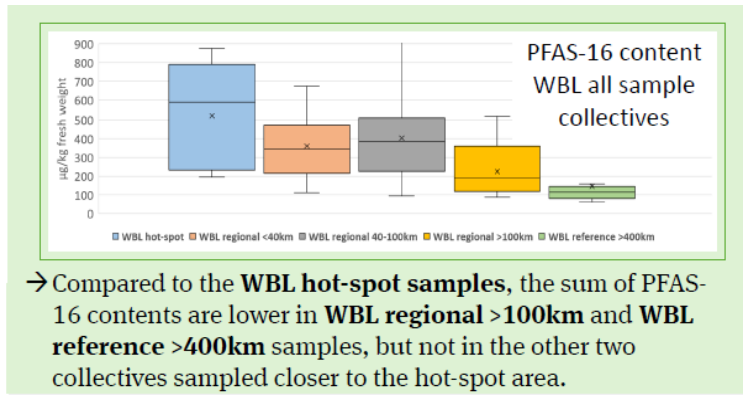
Tobias Frische¹, Annegret Biegel-Engler¹, Marc Guckert², Jan Koschorreck¹, Raphaela Osterauer³, Christina Riemenschneider⁴, Jana Rupp⁵, Reiner Söhlmann⁶

¹German Environmental Agency (UBA) ²UDW Technische Universität München (TUM) ³State Institute for Chemical and Veterinary Analysis of Food (CVVA) ⁴State Institute for Environmental Research (LUB) ⁵State Institute for Chemical and Veterinary Analysis of Food (CVVA) ⁶Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ ⁷District Office Rastatt, Office for Environment and Commercial Operator Inspection

tobias.frische@uba.de

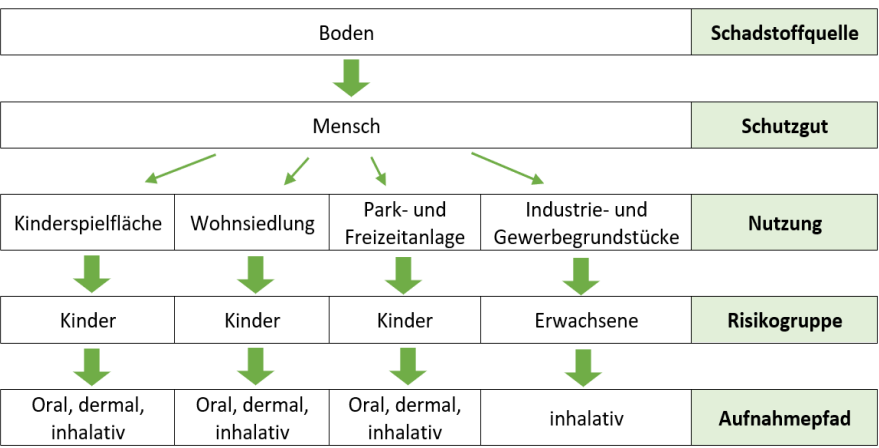
FLUOROS 2023
International Symposium on Per- and Polyfluorinated Substances – PFAS
Köln, Germany
August 31 – September 1, 2023

Hypothesis The internal exposure of wild boars (*Sus scrofa* L., liver samples) reflects the PFAS soil contamination in a PFAS hot-spot area.



Im Umkreis von Hot-spots ist deutlich höhere Belastung evident

5.4 PFAS-Transfer vom Boden zum Menschen – über direkte Bodenaufnahme



Quelle: UBA Fachgebiet II 2.6

Tabelle 4: Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch

Stoff	Kinder- spielflächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanlagen	Industrie- und Gewerbe- grundstücke
	[mg/kg TM]			
Antimon	50	100	250	250
Arsen	25	50	125	140
Blei	200	400	1 000	2 000
Cadmium	10 ¹	20 ¹	50	60
Cyanide	50	50	50	100
Chromgesamt ²	200	400	400	200
ChromVI ²	130	250	250	130
Kobalt	300	600	600	300
Nickel	70	140	350	900

aus: BBodSchV (2023)

- **Bisher keine Prüfwerte für PFAS** in Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)
- Bei Überschreitung von Prüfwerten erfolgt **Detailuntersuchung**
- **Unterschiedlich empfindliche Nutzungen** werden betrachtet
- Relevanz Direktpfad für PFAS-Aufnahme empirisch (Humanbiomonitoring) ungeklärt, aber **niedriger EFSA4-TWI-Wert begründet Besorgnis**
- Projekt im Umweltbundesamt erarbeitet aktuell fachliche Grundlagen für die **Ableitung von Prüfwerten für den Direktpfad**

6 Zusammenschau und Fazit

- **Die Besorgnis über die von PFAS ausgehenden Gesundheitsgefahren ist begründet**
- **Die Belastung von Böden mit PFAS (Hintergrund und Hot-Spots) ist zu ermitteln**
- **Das Ziel muss sein, den Transfer von PFAS in die menschliche Nahrungskette zu minimieren**
- **Dafür braucht es Entscheidungskriterien (Prüfwerte, Höchstgehalte, Grenzwerte) und ein wirksames Risikomanagement**

**Stofflicher Bodenschutz
ist
Gesundheitsschutz.**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Dank an Lennart Gehrenkemper und Annegret Biegel-Engler (UBA II 2.6) für die Unterstützung in der Vorbereitung.

✉ tobias.frische@uba.de ☎: +49 (0)340 2103-2944

www.umweltbundesamt.de



Jahre
Umweltbundesamt
1974–2024

Verwendete Quellen

- JRC (2023): Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) of possible concern in the aquatic environment. [https:// doi:10.2760/377564](https://doi:10.2760/377564)
- UBA (2020): PFAS. Gekommen, um zu bleiben. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/uba_sp_pfas_web_0.pdf
- LANUV (2024): Hintergrundgehalte und -werte von PFAS in Böden ländlicher Gebiete in Nordrhein-Westfalen (LANUV-Fachbericht 150) https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/LANUV-Fachbericht_150.pdf
- EEA (2025): One Health. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/at-a-glance/health/one-health>
- EFSA (2020): Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food (Scientific Opinion). <https://doi:10.2903/j.efsa.2020.6223>
- WHO-IARC (2023): https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2023/11/Infographic_IARC_Vol_135_web.jpg
- BfR (2021): PFAS in Lebensmitteln: BfR bestätigt kritische Exposition gegenüber Industriechemikalien. DOI 10.17590/20210628-133602
- <https://www.stadtwerke-rastatt.de/de/aktuelles/meldungen/2025/PFAS-Grundwasser-LUBW.php>
- Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (2021): Ergebnisse der PFC-Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt 2020. https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-sm/intern/downloads/Downloads_Gesundheitsschutz/Bericht_PFC-BlutkontrolluntersuchungLKRastatt_2020-Aug2021fin.pdf
- Lesmeister et al. (2021): Extending the knowledge about PFAS bioaccumulation factors for agricultural plants – A review. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142640>
- BfR (2024): BfR Stellungnahme 033 - Futtermittel sind ein Schlüssel zur Einhaltung von PFAS-Höchstgehalten in tierischen Lebensmitteln. <https://doi.org/10.17590/20240710-152906-0>
- Lasters et al. (2022): Home-produced eggs: An important human exposure pathway of perfluoroalkylated substances (PFAS). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136283>
- Rupp (2024): PFAS in German game meat - A compilation of current knowledge. Vortrag am 19.08.24 im Webinar der COST Action CA22166 – SAFETY IN THE GAME MEAT CHAIN.
- [BMUV: Verbrauchertipps Gesundheit und Lebensmittelsicherheit](https://www.bmu.de/themen/gesundheit/lebensmittelsicherheit/verbrauchertipps-gesundheit-und-lebensmittelsicherheit) (<https://www.bmu.de/themen/gesundheit/lebensmittelsicherheit/verbrauchertipps-gesundheit-und-lebensmittelsicherheit>)
- Frische et al. (2023): PFAS Contamination Patterns in Wild Boar Liver Samples and Soil Samples from a PFAS Hot Spot Area – Distinct, yet Indicative. FLUOROS 2023 – International Symposium on Per- and Polyfluoroalkyl Substances PFAS, Idstein, Germany, August 31 – September 1, 2023.
- https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschr_2023/BBodSchV.pdf