

PFAS

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen in Innenräumen

Pre-Studie

zur Untersuchung von Hausstaub und luftgetragendem
Staub

*Albrecht Friedle, Athanasios Nitsopoulos, Labor Friedle &
Jörg Thumulla, Carmen Kroczek, AnBUS e.V. & anbus analytik GmbH*

30. WaBoLu-Innenraumtage, 30.05.2023, Berlin

PFAS

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen in Innenräumen

Einführung

*Albrecht Friedle, Athanasios Nitsopoulos, Labor Friedle &
Jörg Thumulla, Carmen Kroczek, AnBUS e.V. & anbus analytik GmbH*

30. WaBoLu-Innenraumtage, 30.05.2023, Berlin

Historische Bezeichnungen:

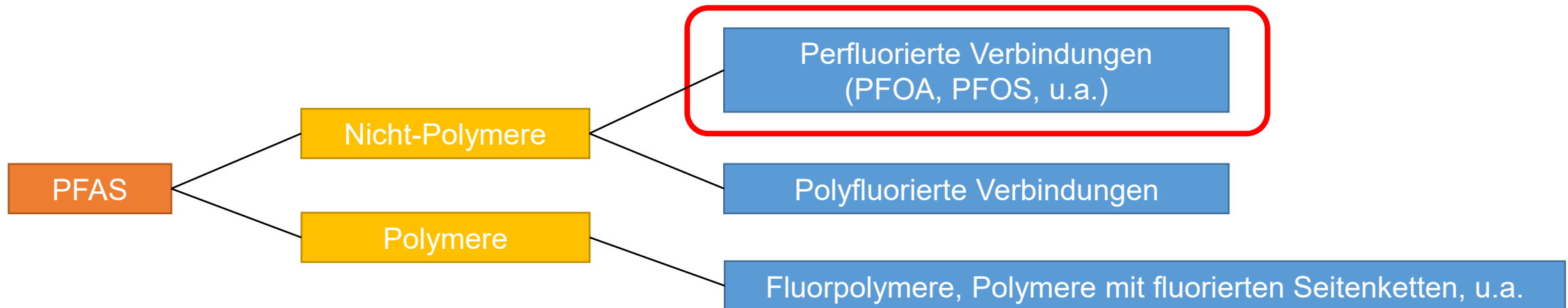
PFC = Perfluorierte Chemikalien

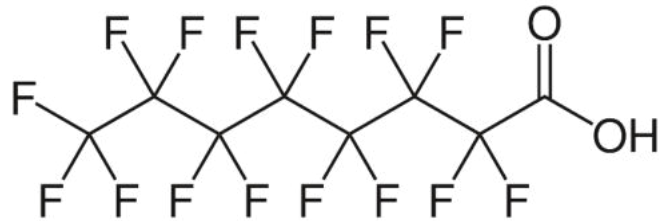
PFT = Perfluorierte Tenside

Aktuelle Definition der OECD (2021):

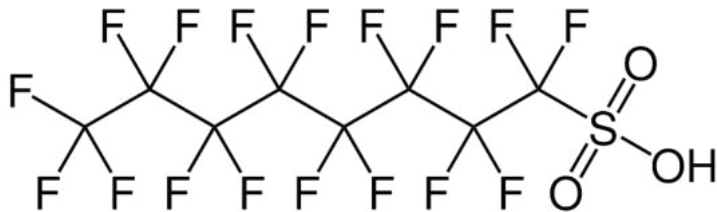
PFAS sind definiert als fluorierte Stoffe, die mindestens ein vollständig fluoriertes Methyl- oder Methylen-Kohlenstoffatom (ohne daran gebundene H/Cl/Br/I-Atome) enthalten

Systematische Einteilung (EPA, 2021):





PFOA: Leitsubstanz der Perfluorcarbonsäuren



PFOS: Leitsubstanz der Perfluorsulfonsäuren

- ✓ über 10.000 Vertreter sind bekannt, keine natürlichen Quellen
- ✓ Tenside, oberflächenaktive Substanzen: hydrophil, hydrophob, lipophil, lipophob
-> PFAS weisen neben Wasser auch Öl, Fette und Schmutzpartikel ab („Super-Pril“)
- ✓ Einsatz in der Textil-, Papier-, Teppich-, Lederindustrie, in Feuerlöschern, Reinigern, Polituren
- ✓ POP: *Persistent Organic Pollutants*, hohe thermische und chemische Stabilität
- ✓ Bioakkumulation, einige Vertreter werden als krebserzeugend eingestuft

Entwicklung der toxikologischen Erkenntnisse über die Jahre

Jahr	Tox. Kenngröße *	PFOA [ng/kg Körpergewicht]	PFOS [ng/kg Körpergewicht]	Σ (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS) [ng/kg Körpergewicht]
2008	ADI	1.500	150	
2018	TWI	6	13	
2020	TWI			4,4

Dioxine und dl-PCB: TWI (EFSA) = 0,002 ng/kg KG

Gesundheitsschädliche Eigenschaften:

- ✓ geringere Bildung von Antikörpern nach üblichen Impfungen bei Kindern
- ✓ Schwächung der Immunabwehr gegen Krankheitserreger
- ✓ Verminderte Fertilität
- ✓ „PFOA und PFOS können den Fettstoffwechsel, die Schilddrüsenfunktion und das Immunsystem beeinflussen.“ (BfR, 2019)

PFAS

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen in Innenräumen

Studiendesign

30. WaBoLu-Innenraumtage, 30.05.2023, Berlin

Labor Friedle

- ✓ Projektleitung: Albrecht Friedle und Athanasios Nitsopoulos
- ✓ modernes gründergeführtes Analyse-Zentrum mit rund 100 Mitarbeitern
- ✓ Schwerpunkt im Bereich der Lebensmittelsicherheit, Rückstandsanalytik und Innenraumdiagnostik
- ✓ nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert für die Untersuchung von Innenraumlufte und Materialien aus Innenräumen
- ✓ nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert für die Untersuchung von Lebensmitteln, Futtermitteln und pflanzlichen Materialien für ein Multiverfahren zur Bestimmung von Pestizidrückständen mit GC/MS und LC/MS-MS.
- ✓ Seit 1993 Beschäftigung mit der Analytik anthropogener Substanzen in Hausstaub

anbus analytik GmbH und AnBUS e.V.

- ✓ Projektleitung Jörg Thumulla und Carmen Krocze
- ✓ AnBUS e.V. führt Forschungsprojekte durch und organisiert seit 1998 die Fachkongresse der AGÖF
- ✓ Die anbus analytik GmbH wurde im Jahre 2000 zur Abwicklung der kommerziellen Aufträge des AnBUS e.V. gegründet
- ✓ anbus analytik GmbH ist nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert für die Untersuchung von Innenraumlufte und Materialien aus Innenräumen
- ✓ Schwerpunkt der Umweltanalytik sind Schadstoffe, Schimmel und Gerüche in Gebäuden (insgesamt 10 Mitarbeiter)
- ✓ Zwei öffentlich bestellte Sachverständige für Schadstoffe in Innenräumen
- ✓ Seit 1995 Beschäftigung mit der Probenahme und Untersuchung anthropogener Substanzen in Hausstaub

Bisherige Forschungsprojekte / Veröffentlichungen zur Untersuchung von Hausstaub

1. Pöhner, A., Simrock, S., Thumulla, J., Weber, S. and Wirkner, T., (1997) "Hintergrundbelastung des Hausstaubes von Privathaushalten mit mittel- und schwerflüchtigen organischen Schadstoffen", AnBUS e.V., Fürth, Germany 1997, Zusammenfassung in Pöhner, A., Simrock, S., Thumulla, J., Weber, S. and Wirkner, T., (1998) "Hintergrundbelastung des Hausstaubes von Privathaushalten mit mittel- und schwerflüchtigen organischen Schadstoffen", Zeitschrift für Umweltmedizin 6, 337-345 und in Diel F; Feist W; Krieg HU, Linden, W (Hrsg.): Ökologisches Bauen und Sanieren. C.F. Müller (Heidelberg 1998) 122-7.
2. Ingerowski G, Friedle A, Thumulla J (2001) Chlorinated ethyl and isopropyl phosphoric acid triesters in the indoor environment-an inter-laboratory exposure study. Indoor Air 11:145–149
3. Haumann, T., Thumulla, J.: Semi volatile organochemicals in indoor environment – chlorinated phosphorous and organotin compounds in material and house dust samples. Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air '02, Vol. 4. Monterey, CA, 2002, p. 865-870.
4. Becker, K., Seiwert, M., Angerer, J., Kolossa-Gehring, M., Hoppe, H.-W., Ball, M., Schulz, C., Thumulla, J., Seifert, B., 2006. GerES IV Pilot Study: Assessment of the exposure of German children to organophosphorus and pyrethroid pesticides. Int. J. Hyg. Environ. Health 209, 221–233.
5. Albrecht Friedle, Jörg Thumulla and Kees Snepvangers: Quaternary ammonium compounds (QUAT) in house dust, Indoor Air 2008, 17-22 August 2008, Copenhagen, Denmark - Paper ID: 332
6. Kroczek C, Thumulla J, Quaternary Ammonium Compounds – case studies and sampling methods, conference proceedings 12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Austin, Texas, Juni 2011
7. Jörg Thumulla und Wigbert Maraun: AGÖF-Orientierungswerte für den Hausstaub - Ein Vorschlag für eine Aktualisierung in AGÖF – Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (Hrsg.) Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Innenraumschadstoffe, Fogging und Gerüche, AGÖF – Springe-Eldagsen 2007
8. Jörg Thumulla und Carmen Kroczek: Tätigkeitsbezogene Gefahrstoffmessungen zur Festlegung von Arbeitsschutzmaßnahmen beim Umzug von Archiven des GNM, in Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute Tagesband 13. AGÖF-Fachkongress am 20./21. Oktober 2022 in Hallstadt bei Bamberg - Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Innenraumhygiene, Asbest und Arbeitsschutz
9. Kerttu Valtanen und Carmen Kroczek: Forschung und Praxis – Mykotoxine in Innenräumen- aktuelle Ergebnisse aus der Vorstudie im Rahmen von GerES VI Forschungsprojekt Schimmel und biologische Schadstoffe in Innenräumen, in Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute: Tagungsband 13. AGÖF-Fachkongress am 20./21. Oktober 2022 in Hallstadt bei Bamberg - Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Innenraumhygiene, Asbest und Arbeitsschutz

PFAS wurden bisher im Boden, im Grundwasser, im Leitungswasser und im Human-Biomonitoring (HBM) untersucht.

→ Der Einfluss der häuslichen Umgebung wurde bisher noch nicht analytisch untersucht.

Ziele der Pre-Studie sind:

- Etablierung der PFAS-Staubanalytik mittels HPLC-MS/MS im Ultraspurenbereich
- Identifikation von innenraumrelevanten PFAS
- Informationen zur Konzentrationsverteilung von PFAS im Hausstaub und luftgetragenen Staub
- Vergleich der in Haushalten vorgefundenen Konzentrationen mit anderen Umweltmedien
- Abschätzung der Exposition und Vergleich mit aktuellen toxikologischen

Finanzierung

- ✓ Eigenmittel der Projektpartner
- ✓ keine Fremdmittel

Objekte:

- ✓ 36 Haushalte in Süddeutschland

Auswahl der untersuchten Haushalte:

- ✓ Stadt ← → Land
- ✓ Einfamilienhäuser ← → Mehrfamilienhäuser
- ✓ Altbauten ← → Neubauten
- ✓ Breiter Altersquerschnitt
- ✓ Kinderzahl und Alter
- ✓ Aufnahme von Wohnungs- und Nutzungsdaten

Bauweise		Gebäudeart	
Massiv	81%	EFH	31%
Holzständer	9%	MFH	44%
Holz massiv	3%	DHH	3%
Beton	3%	RH	22%
unbekannt	3%		
Alter der Bewohner		Baujahr	
<25	18%	bis 1950	10%
25-45	31%	1950 - 1970	23%
45-65	38%	1970 - 1990	23%
65-85	11%	1990 - 2000	3%
>85	2%	2000 bis jetzt	42%
Umgebung			
Ländlich	63%		
Städtisch	38%		

Checkliste Gebäude

Gebäude	
Baujahr des Gebäudes	
Letzte Sanierung / Renovierung	<input type="checkbox"/> großflächige Erneuerungen / Sanierungen Oberflächen (Boden, Wand, Putz etc.); Jahr _____ <input type="checkbox"/> kleinflächige Schönheitsrenovierungen (streichen etc.); Jahr _____ <input type="checkbox"/> unbekannt
Bauweise	<input type="checkbox"/> unbekannt <input type="checkbox"/> massiv <input type="checkbox"/> Holzverbund <input type="checkbox"/> Fachwerk <input type="checkbox"/> Sonstiges:
Gebäudeart, Wohnung	<input type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> MFH <input type="checkbox"/> Reihenhaus <input type="checkbox"/> Hochhaus <input type="checkbox"/> Wohnung, Stockwerk _____
Keller	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> teilunterkellert
Umgebung	<input type="checkbox"/> ländlich <input type="checkbox"/> städtisch
Dach	
Dachform	<input type="checkbox"/> Satteldach <input type="checkbox"/> Flachdach <input type="checkbox"/> Walmdach <input type="checkbox"/> Pultdach <input type="checkbox"/> Sonstiges:
Dachdämmung	<input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> unbekannt <input type="checkbox"/> KMF <input type="checkbox"/> Isofloc <input type="checkbox"/> Sonstiges:
Außenwände	
Außenfassade	<input type="checkbox"/> unbekannt <input type="checkbox"/> Putz <input type="checkbox"/> Ziegel <input type="checkbox"/> Klinker <input type="checkbox"/> KS (Kalksandstein) <input type="checkbox"/> Sandstein <input type="checkbox"/> WDVS <input type="checkbox"/> Holz <input type="checkbox"/> Sonstiges:
Außendämmung Material	<input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> unbekannt <input type="checkbox"/> Hartschaumplatten z.B. EPS, PUR <input type="checkbox"/> Glaswolle <input type="checkbox"/> Steinwolle <input type="checkbox"/> Mineralschaum <input type="checkbox"/> Hanf <input type="checkbox"/> Holzfasern <input type="checkbox"/> Sonstiges:

Checkliste Probenahmeräume

Allgemeine Angaben (Mehrfachnennungen möglich)	
Etage (z.B. EG, Souterrain oder 1.OG etc.)	
Etagen- / Wohnungsgröße (abgesaugte Gesamtfläche ca.)	_____ m ²
Raumhöhe	_____ m
Raumnutzung bzw. Etagennutzung (Mehrfachnennungen möglich)	<input type="checkbox"/> Wohnen <input type="checkbox"/> Kochen <input type="checkbox"/> Essen <input type="checkbox"/> Schlafen <input type="checkbox"/> Arbeiten <input type="checkbox"/> Eingang Flur <input type="checkbox"/> Sonstiges:

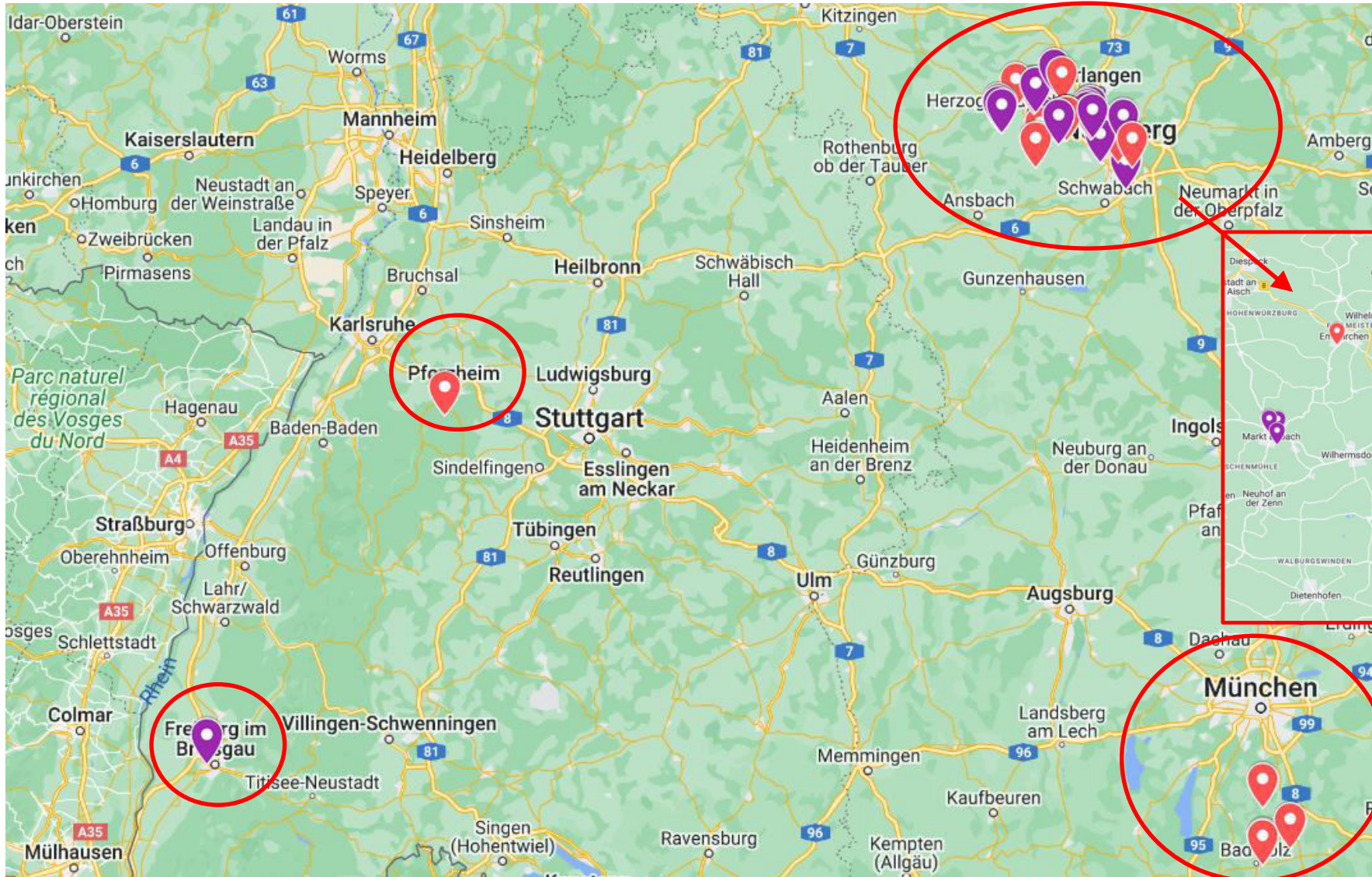
Probenahmeprotokoll

PFAS – Forschungsprojekt 2023

Altersgruppe Bewohner	<input type="radio"/> < 25 J. <input type="radio"/> 25 - 45 J. <input type="radio"/> 45 – 65 J. <input type="radio"/> 65 – 85 J. <input type="radio"/> > 85 J.
Anzahl Bewohner	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> > 6
Kinder Anzahl	<input type="radio"/> keine <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> > 4
Kinder Alter	<input type="radio"/> 0 – 3 J <input type="radio"/> 4 – 7 J <input type="radio"/> 8 - 14 J <input type="radio"/> > 14 J
Haustiere	<input type="radio"/> keine <input type="radio"/> Hund <input type="radio"/> Katze <input type="radio"/> Fische <input type="radio"/> Vögel <input type="radio"/> Sonstiges:
Haustiere Anzahl	Tierart 1: <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> > 4 Tierart 2: <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> > 4
Zimmerpflanzen Anzahl	<input type="radio"/> keine <input type="radio"/> 1 - 5 <input type="radio"/> > 5
Wand (überwiegende Ausstattung)	
Innenwandaufbau	<input type="radio"/> Gipskarton <input type="radio"/> Mauerwerk <input type="radio"/> Wandverkleidung <input type="radio"/> Sonstiges:
Wandbeschichtung (Mehrfachnennung möglich)	<input type="radio"/> Tapete <input type="radio"/> Farbe (Dispersion, Latex, Mineral) <input type="radio"/> Putz (Gips, Kalk, Kalkgips) <input type="radio"/> Sonstiges:
Fußboden (überwiegende Ausstattung)	
Belag (Mehrfachnennung möglich)	<input type="radio"/> Fliesen <input type="radio"/> Parkett <input type="radio"/> Holzdielen <input type="radio"/> Laminat <input type="radio"/> PVC <input type="radio"/> Sonstiges:
Aufbau	<input type="radio"/> unbekannt <input type="radio"/> Schwimmender Estrich <input type="radio"/> Verbundestrich <input type="radio"/> Gussasphalt <input type="radio"/> Fehlboden Schüttung <input type="radio"/> Sonstiges:
Dämmung	<input type="radio"/> unbekannt <input type="radio"/> EPS / XPS <input type="radio"/> Hanf <input type="radio"/> Kokosfaser <input type="radio"/> PUR <input type="radio"/> Sonstiges:
Decke (überwiegende Ausstattung)	
Belag	<input type="radio"/> Tapete <input type="radio"/> Farbe (Dispersion, Latex, Mineral) <input type="radio"/> Putz (Gips, Kalk, Kalkgips etc.)

Nutzungsverhalten	
Kleidung (Alltags-, Sport-, Wanderkleidung, Schuhe etc.)	<input type="radio"/> Verwendung von Weichspüler <input type="radio"/> Verwendung von Imprägniermitteln <input type="radio"/> unbekannt <input type="radio"/> Verwendung von Skiwachs <input type="radio"/> Verwendung von Textilien mit Goretex etc.? Wie oft wird gewaschen? <input type="radio"/> täglich <input type="radio"/> mehrmals pro Woche <input type="radio"/> seltener
Kochen	Teflonpfannen vorhanden? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> unbekannt sonstiges beschichtetes Kochgeschirr? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> unbekannt Wird Backpapier verwendet? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> unbekannt <input type="radio"/> Dunstabzugshaube mit Außenanschluss <input type="radio"/> Dunstabzugshaube <input type="radio"/> Umlufthaube Wie oft wird gekocht? <input type="radio"/> unbekannt <input type="radio"/> täglich <input type="radio"/> mehrmals pro Woche <input type="radio"/> seltener
Haushaltsreinigung	Wie oft wird gewischt? <input type="radio"/> unbekannt <input type="radio"/> täglich <input type="radio"/> mehrmals pro Woche <input type="radio"/> seltener Wie oft wird gesaugt? <input type="radio"/> unbekannt <input type="radio"/> täglich <input type="radio"/> mehrmals pro Woche <input type="radio"/> seltener
Schadensereignisse	<input type="radio"/> unbekannt <input type="radio"/> Brand mit Löschschaum? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> Wasserschaden? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein

Räumliche Verteilung der Haushalte



- PFAS Staubproben
- EFH
- MFH

„Sammelbecken“ für mittel- bis schwerflüchtige Stoffe:

- Hausstaub ist ein Sammelbecken für mittel- bis schwerflüchtige Stoffe und hat damit für diese Substanzen in Innenräumen eine wichtige Indikatorfunktion. Unter ungünstigen Bedingungen kann Hausstaub auch **eine Quelle für die korporale Belastung mit diesen Stoffen z.B. über den inhalativen oder den oralen (bei kleineren Kindern) Aufnahmepfad** darstellen. Auch wenn der Aufnahmemechanismus noch nicht genau quantifizierbar ist, konnten solche Effekte in Forschungsvorhaben nachgewiesen werden. *(UBA GerES VI 2023-2024)*
- Im Rahmen der Pilotstudie **GerES IV** konnte festgestellt werden, dass die Exposition von Kindern gegenüber Pyrethroiden u.a. durch die Verwendung von Bioziden in Innenräumen zu Hause beeinflusst wird. Dabei konnte eine **signifikante Korrelation zwischen Permethrin im Hausstaub und den Metabolitenkonzentrationen im Urin** beobachtet werden. Daher scheint es wahrscheinlich, dass die Aufnahme von Hausstaub zur Exposition von Kindern beiträgt.

(Becker, K., Seiwert, M., Angerer, J., Kolossa-Gehring, M., Hoppe, H.-W., Ball, M., Schulz, C., Thumulla, J., Seifert, B., 2006. GerES IV Pilot Study, von 40 Assessment of the exposure of German children to organophosphorus and pyrethroid pesticides. Int. J. Hyg. Environ. Health 209, 221–233.)

Toxikologische Bewertung:

- Anders als beim Hausstaub ist bei der Erfassung luftgetragenen Feinstaubes eine direkte Berechnung der aufgenommenen Körperdosis möglich.

Analytische Probleme:

Die Probenahme erfolgte mit einem High-Volumen-Sampler auf einem Glasfaserfilter:

- ✓ Aufgrund des hohen Sammelvolumens und des hohen Durchflusses ist ein „Ausspülen“ flüchtiger PFAS-Verbindungen möglich
- ✓ Gasförmige PFAS werden nicht erfasst

Qualitätssicherung und Absicherung der Blindwerte

- ✓ Untersuchung von Staubbeuteln, die in die Probenahmesauger eingelegt wurden und die für 15 Minuten an der Außenluft betrieben wurden
- ✓ Probenahme nach akkreditiertem Verfahren mit Reinigung der beiden neuen Probenahmesauger gemäß Arbeitsanweisung
- ✓ Dokumentation der Reihenfolge, in der die Probenahmesauger eingesetzt wurden, um mögliche Verschleppungen nachvollziehen zu können
- ✓ Blindwertprüfung der Glasfaserfilter für die Probenahme des luftgetragenen Feinstaubes

Raumluftprobenahme

- ✓ High-Volume-Sammler: E-Staub; 25 m³/h → Probenahmenvolumen > 50.000 Liter



Bestimmung der PFAS in Hausstaub und Raumluft

Matrix	Methode	Extraktion (Probenvorbereitung)	Detektionsmodul	Bestimmungsgrenzen
Hausstaub	„Hausmethode“ , LC-MS/MS	Acetonitril mit Cleanup und Aufkonzentrierung	LC-MS/MS (ESI+/-)	0,1 µg/kg
Luftgetragener Feinstaub	„Hausmethode“ , LC-MS/MS	Acetonitril ohne Cleanup und Aufkonzentrierung	LC-MS/MS (ESI+/-)	0,05 ng/Probe, bzw. 0,0005-0,001 ng/m ³

Messbedingungen

- ✓ Chromatographiesäule: Agilent Technologies; Poroshell 120 SB-C18: 2,1mm x 100mm x 2,7µm
- ✓ Eluenten: A: Wasser (0,1% Ameisensäure); B: Acetonitril (0,1% Ameisensäure)
- ✓ HPLC: Agilent Technologies 1290 Infinity II
- ✓ MS/MS: Agilent Technologies Triple Quad 6495C

- ✓ Perfluorcarbonsäuren (PFCA)
- ✓ Perfluorsulfonsäuren
- ✓ Sulfonamide
- ✓ Vorläufersubstanzen (Precursor)
- ✓ FTUCA
- ✓ Fluortelomere
- ✓ Ersatzverbindungen
- ✓ Zwitterionen PFAS

Nr.		Kurzbezeichnung	Bezeichnung
1	Carboxylic acids	PFBA	Perfluorobutanoic acid
2		PFPA	Perfluoropentanoic acid
3		PFHxA	Perfluorohexanoic acid
4		PFHpA	Perfluoroheptanoic acid
5		PFOA	Perfluorooctanoic acid
6		PFNA	Perfluorononanoic acid
7		PFDA	Perfluorodecanoic acid
8		PFUnDA	Perfluoroundecanoic acid
9		PFDoDA	Perfluorododecanoic acid
10		PFTTrDA	Perfluorotridecanoic acid
11		PFTeDA	Perfluorotetradecanoic acid
12	Sulfonic acids	PFBS	Perfluorobutane sulfonic acid
13		PFPS	Perfluoropentane sulfonic acid
14		PFHxS	Perfluorohexane sulfonic acid
15		PFHpS	Perfluoroheptane sulfonic acid
16		PFOS	Perfluorooctane sulfonic acid
17		PFNS	Perfluorononane sulfonic acid
18		PFDS	Perfluorodecane sulfonic acid
19		PFUnDS	Perfluoroundecane sulfonic acid
20		PFDoDS	Perfluorododecane sulfonic acid
21		PFTTrDS	Perfluorotridecane sulfonic acid
22	Sulfonamide	PFOSA (aka FOSA)	Perfluorooctane sulphonamide
23	Precursor	N-Me-FOSA	N-Methyl-perfluorooctanesulfonamide
24		N-Et-FOSA	N-Ethyl-perfluorooctanesulfonamide
25		N-Me-FOSAA	N-methylperfluoro-1-octanesulfonamidoacetic acid
26		N-Et-FOSAA	N-ethylperfluoro-1-octanesulfonamidoacetic acid
27	FTUCA	FOUEA	2H-Perfluoro-2-decenoic Acid
28	Fluortelomers	6:2-FTS	6:2-Fluortelomersulfonsäure
29		8:2-FTS	8:2-Fluortelomersulfonsäure
30	Replacement compounds	DONA	2,2,3-Trifluoro-3-[1,1,2,2,3,3-hexafluor-3-(trifluormethoxy)propoxy]-propionic acid [=Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure]
31		HFPO-DA	2,3,3,3-Tetrafluoro-2-(1,1,2,2,3,3,3-heptafluoropropoxy)-propanoic acid
32		9Cl-PF3ONS	9-Chlorohexadecafluoro-3-oxanone-1-sulfonic Acid
33		11Cl-PF3OUdS	11-Chloroeicosafluoro-3-oxaundecane-1-sulfonic acid
34	Zwitterionen PFAS	Capstone A	N-[3-(Dimethyloxidoamino)propyl]-3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-tridecafluoro-1-octanesulfonamide
35		Capstone B	N-(carboxymethyl)-N,N-dimethyl-N-[3-(1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonamido)propan-1yl]ammonium

höchstmengenrelevant

Ergebnisse

Identifikation von innenraumrelevanten PFAS
&
Konzentrationsverteilung von PFAS

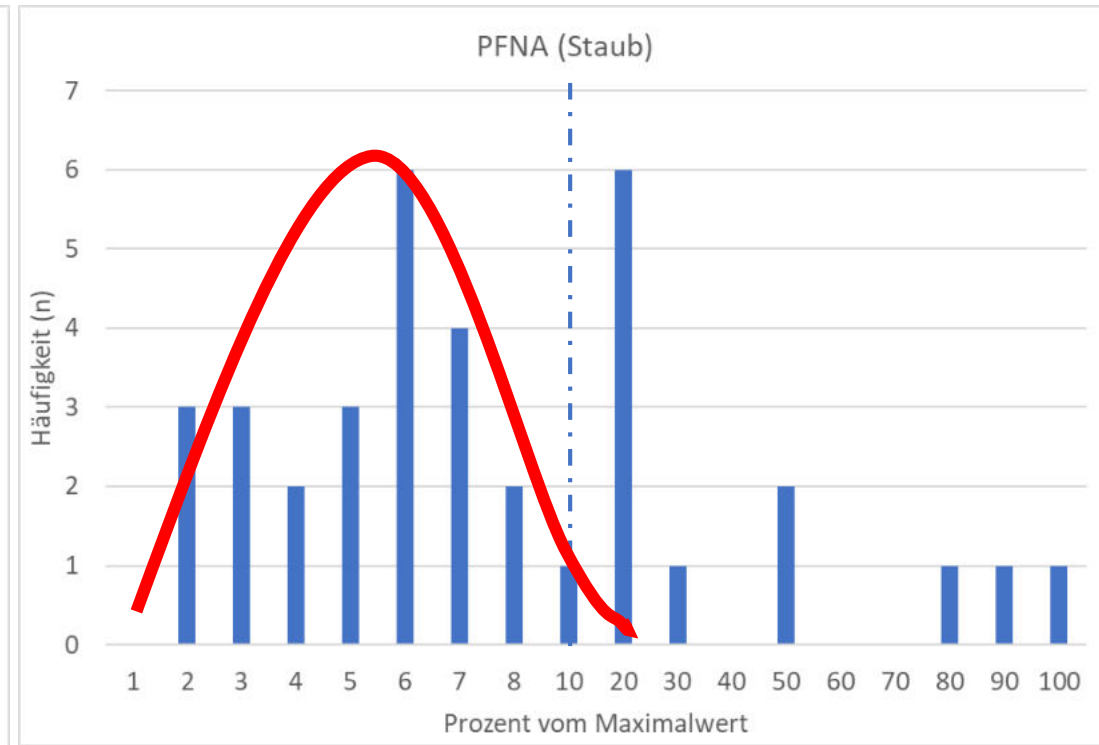
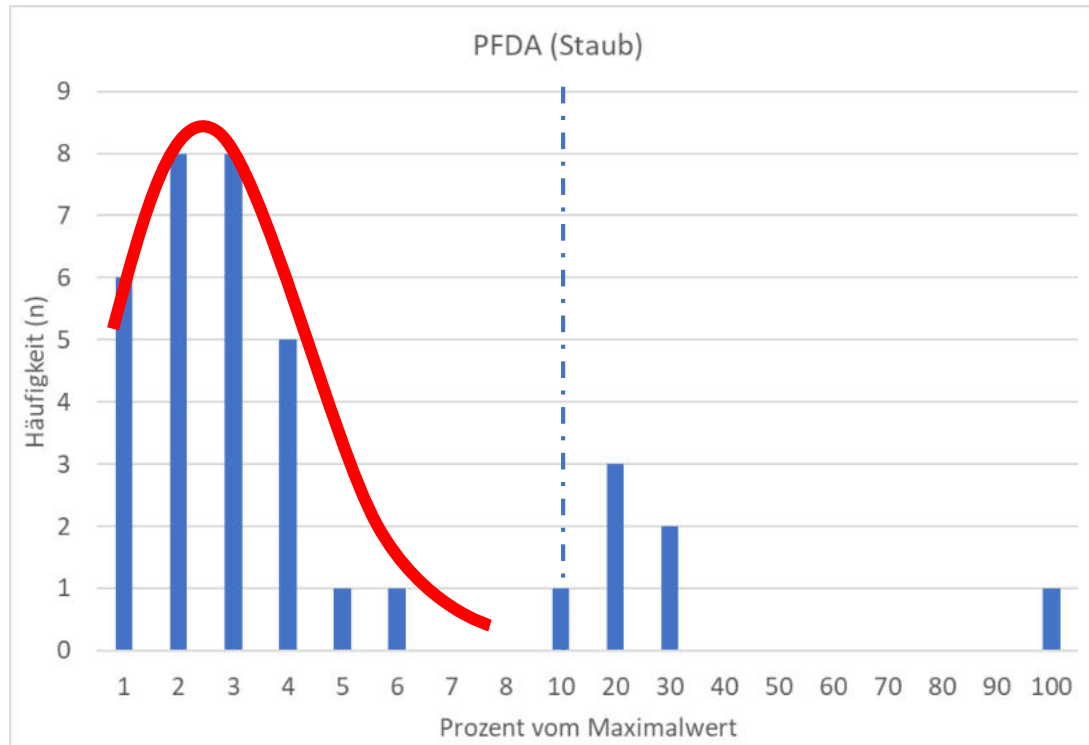
30. WaBoLu-Innenraumtage, 30.05.2023, Berlin

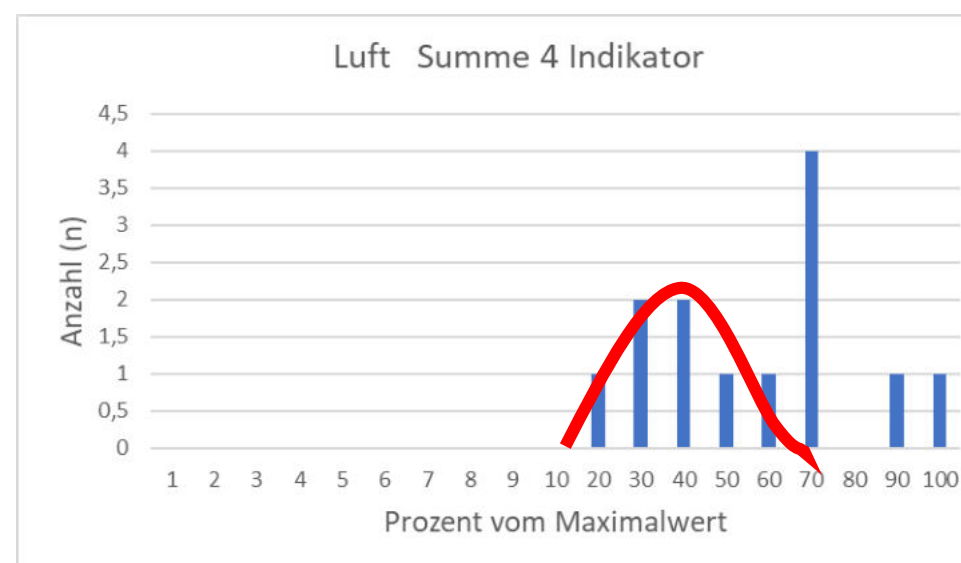
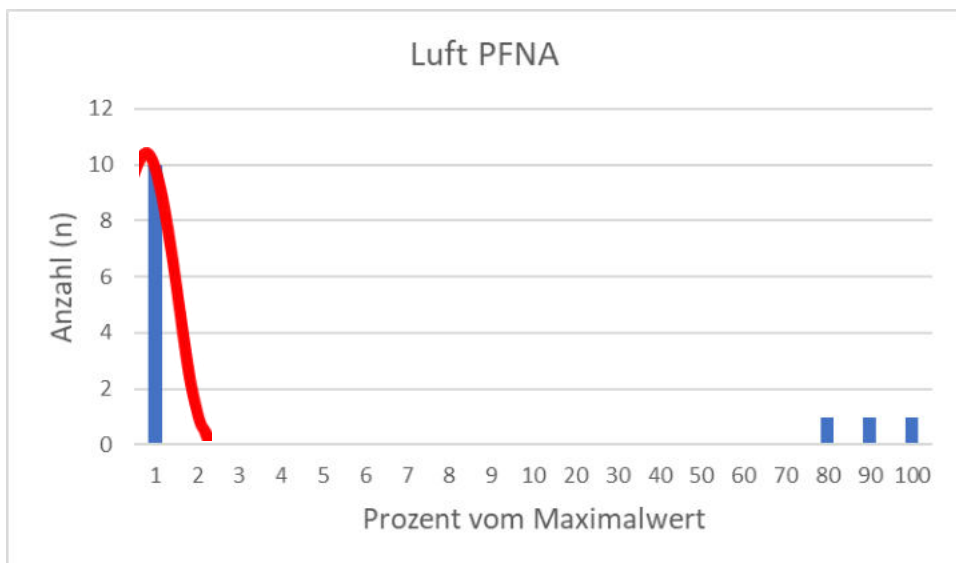
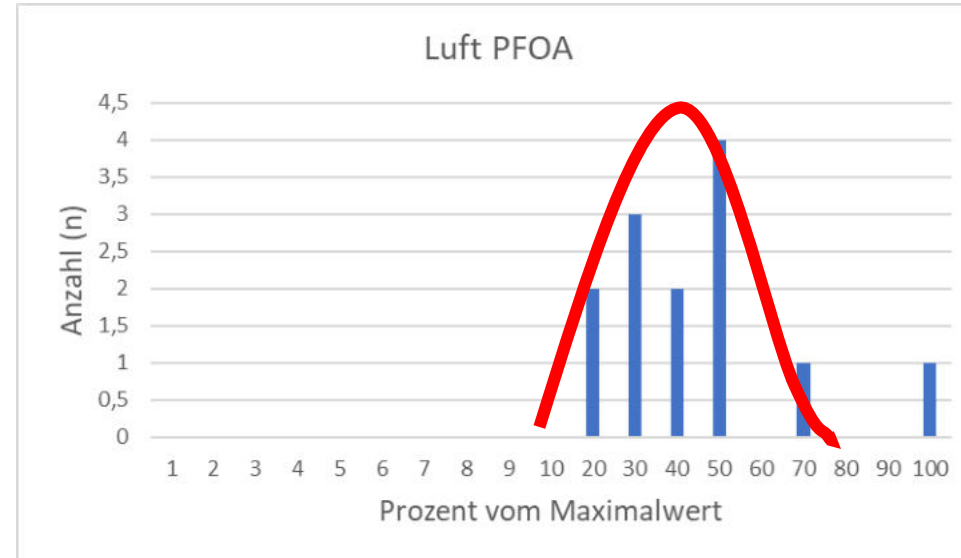
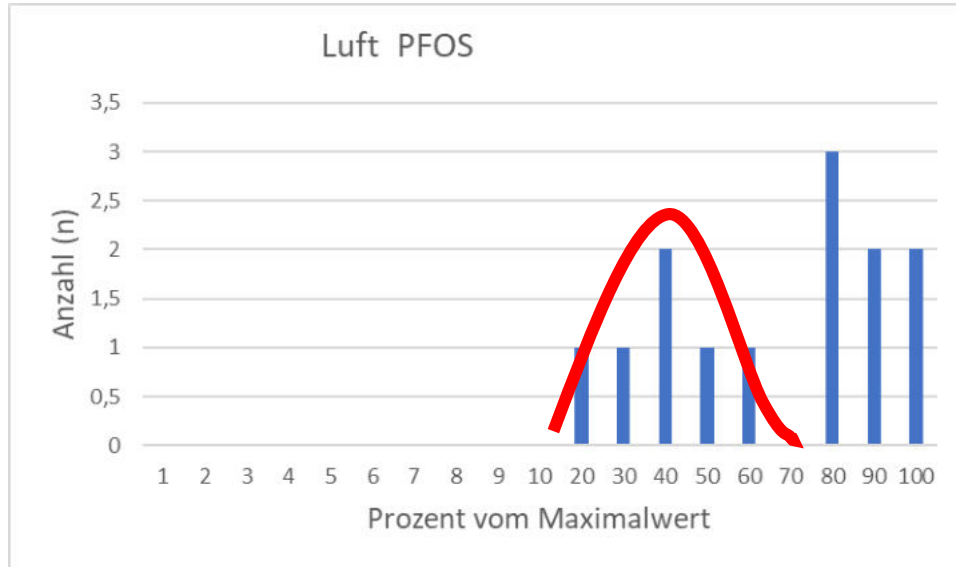
Ergebnisse: Perzentile Hausstaub

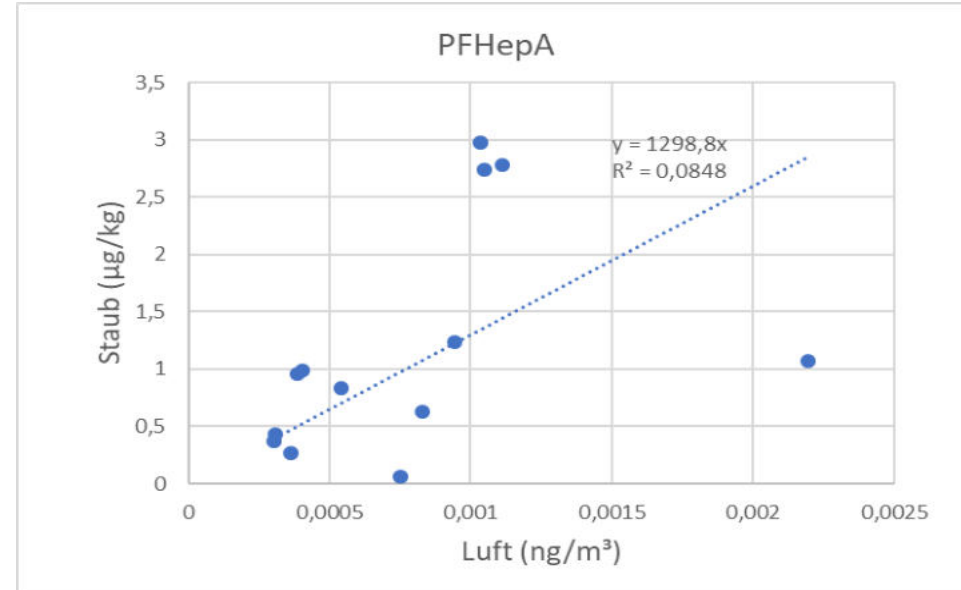
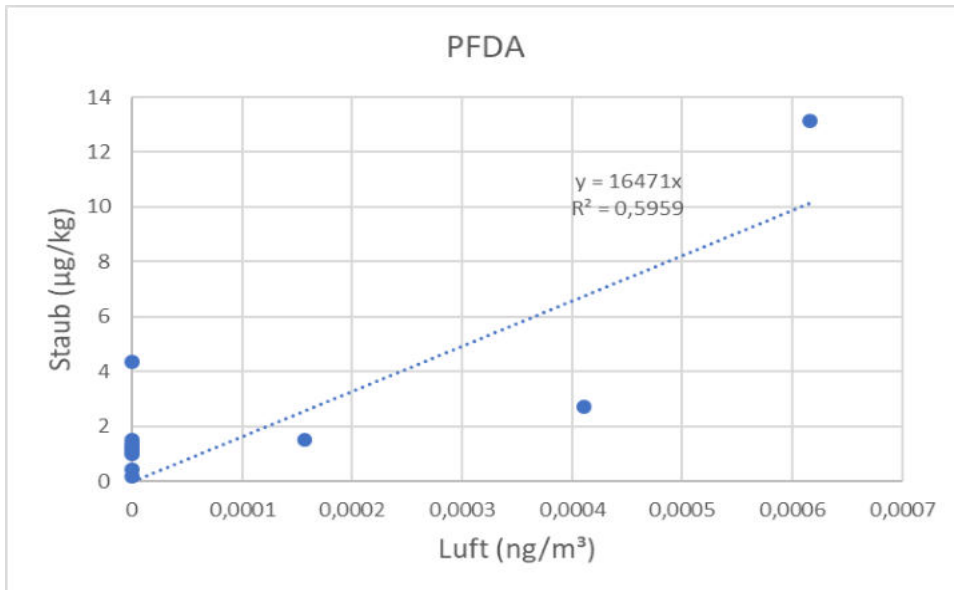
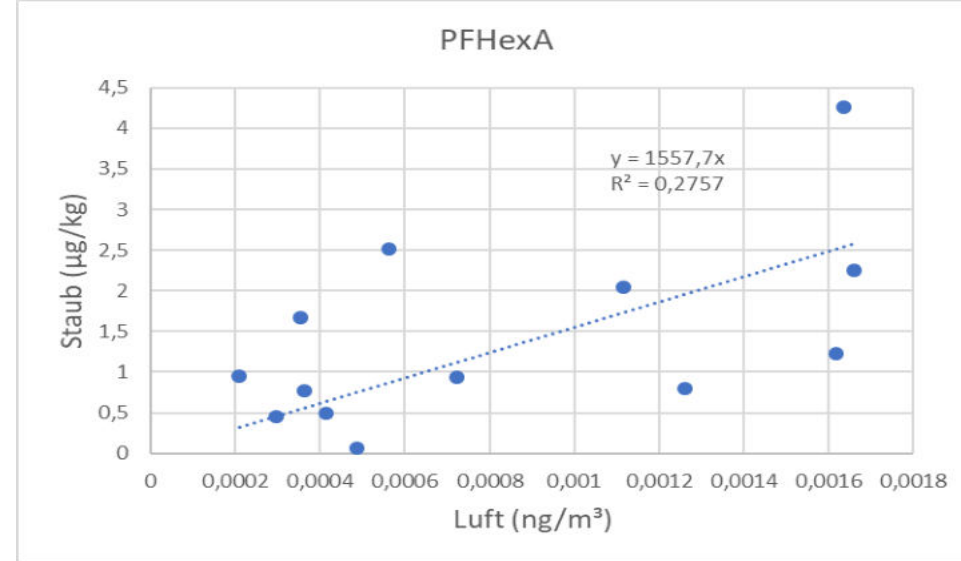
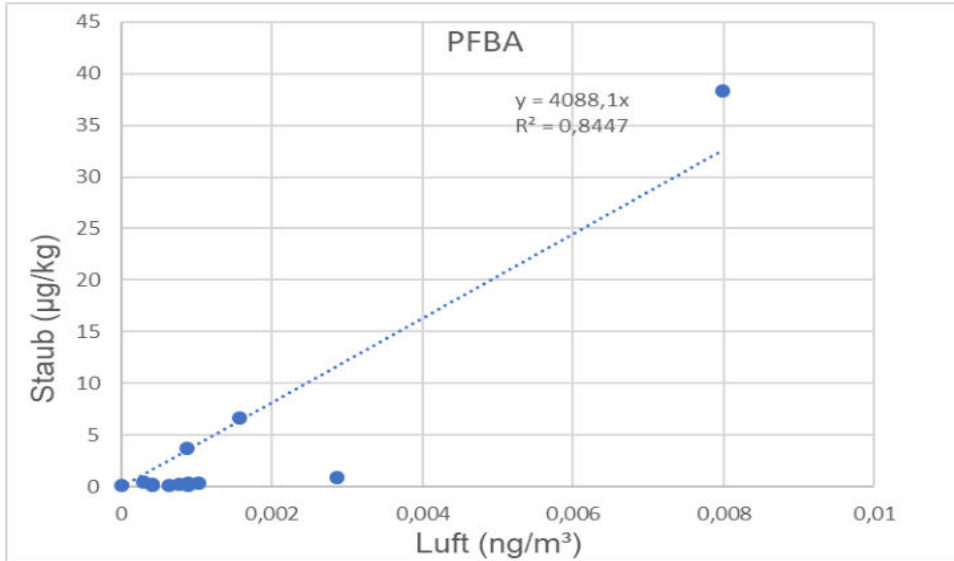
	PFOA	PFNA	PFHxS	PFOS	Σ 4 Ind. PFAS	Σ PFAS ges.	PFBA	PFPA	PFHexA	PFHepA	PFDA	PFunDA	PfDoDA	PfTriDA	PfTetraDA	hDA (Screen)	DDA (Screen)	PFBS	PFPeS	PFHpS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoDS	PfTriDS	PFOSA	N_MeFOSA	N-ET_FOSA	N_MeFOSA	N_EtFOSA	FOUEA	6:2-FTS	8:2-FTS	pPAP (Screen)	HFPO-DA	NaDONA	βCI-PF3ONS	ICL-PF3OU	CapstoneA	CapstoneB								
µg/kg																																																
Perzentil 5	0,9	0,1	<	0,3	1,6	5,8	0,1	<	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	<	0,1	<	<	0,2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<				
10	1,3	0,3	<	0,3	2,2	6,7	0,1	0,0	0,4	0,3	0,4	0,1	0,2	<	0,1	<	<	0,2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<			
20	1,4	0,3	<	0,4	2,4	11	0,2	0,1	0,6	0,4	0,5	0,2	0,3	<	0,2	<	<	0,2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<		
25	1,5	0,4	0,0	0,5	2,9	12	0,2	0,1	0,7	0,4	0,7	0,3	0,3	<	0,2	<	<	0,2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<		
30	1,7	0,5	0,1	0,6	3,4	15	0,2	0,1	0,7	0,4	0,8	0,3	0,5	<	0,3	<	<	0,3	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<		
40	2,7	0,6	0,1	1,1	5,6	20	0,3	0,1	0,8	0,5	1,0	0,4	0,6	<	0,3	<	<	0,4	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<		
50	3,7	0,6	0,1	1,3	7,5	25	0,4	0,2	0,9	0,7	1,1	0,4	0,7	<	0,4	<	<	0,6	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
60	4,4	0,7	0,2	1,8	8,5	45	0,4	0,2	1,3	0,8	1,3	0,5	0,8	<	0,5	<	<	0,8	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
70	5,8	1,1	0,4	2,2	11	53	0,5	0,2	1,8	1,0	1,5	0,6	1,0	0,0	0,5	<	<	1,2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
75	6,3	1,2	0,4	2,4	13	56	0,8	0,3	2,1	1,2	2,0	0,7	1,1	0,1	0,7	<	<	1,5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
80	7,3	1,3	0,7	3,1	23	63	1,7	0,4	2,2	1,2	2,7	1,0	1,2	0,1	0,8	<	<	2,5	<	0,0	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
90	13	4,2	1,5	4,2	26	124	3,9	0,5	4,3	2,5	6,6	1,8	2,9	0,1	2,2	<	<	15	<	0,1	<	0,0	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
95	18	8,1	2,5	7,9	49	176	7,9	1,1	12	2,8	12	2,9	5,5	0,2	3,0	<	<	44	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
99	60	9,6	47	26	86	241	29	1,6	16	5,3	36	4,7	11	0,7	3,4	<	<	132	0,1	0,4	0,1	0,6	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
100	81	9,9	71	32	90	263	38	1,6	17	8,0	49	5,5	13	0,9	3,5	<	<	166	0,1	0,4	0,1	0,8	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
Maximum	81	9,9	71	32	90	263	38	1,6	17	8,0	49	5,5	13	0,9	3,5	<	<	166	0,1	0,4	0,1	0,8	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
Mittelwert	7,7	1,4	2,9	3,3	15	58	2,7	0,2	2,0	1,1	3,7	0,7	1,4	0,0	0,7	<	<	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
Median	3,7	0,6	0,1	1,3	7,5	25	0,4	0,2	0,9	0,7	1,1	0,4	0,7	<	0,4	<	<	0,6	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	

	PFOA	PFNA	PFHxS	PFOS	Σ 4 Ind. PFAS	Σ PFAS ges.
µg/kg						
Perzentil 5	0,9	0,1	<	0,3	1,6	5,8
10	1,3	0,3	<	0,3	2,2	6,7
20	1,4	0,3	<	0,4	2,4	11
25	1,5	0,4	0,0	0,5	2,9	12
30	1,7	0,5	0,1	0,6	3,4	15
40	2,7	0,6	0,1	1,1	5,6	20
50	3,7	0,6	0,1	1,3	7,5	25
60	4,4	0,7	0,2	1,8	8,5	45
70	5,8	1,1	0,4	2,2	11	53
75	6,3	1,2	0,4	2,4	13	56
80	7,3	1,3	0,7	3,1	23	63
90	13	4,2	1,5	4,2	26	124
95	18	8,1	2,5	7,9	49	176
99	60	9,6	47	26	86	241
100	81	9,9	71	32	90	263
Maximum	81	9,9	71	32	90	263
Mittelwert	7,7	1,4	2,9	3,3	15	58
Median	3,7	0,6	0,1	1,3	7,5	25

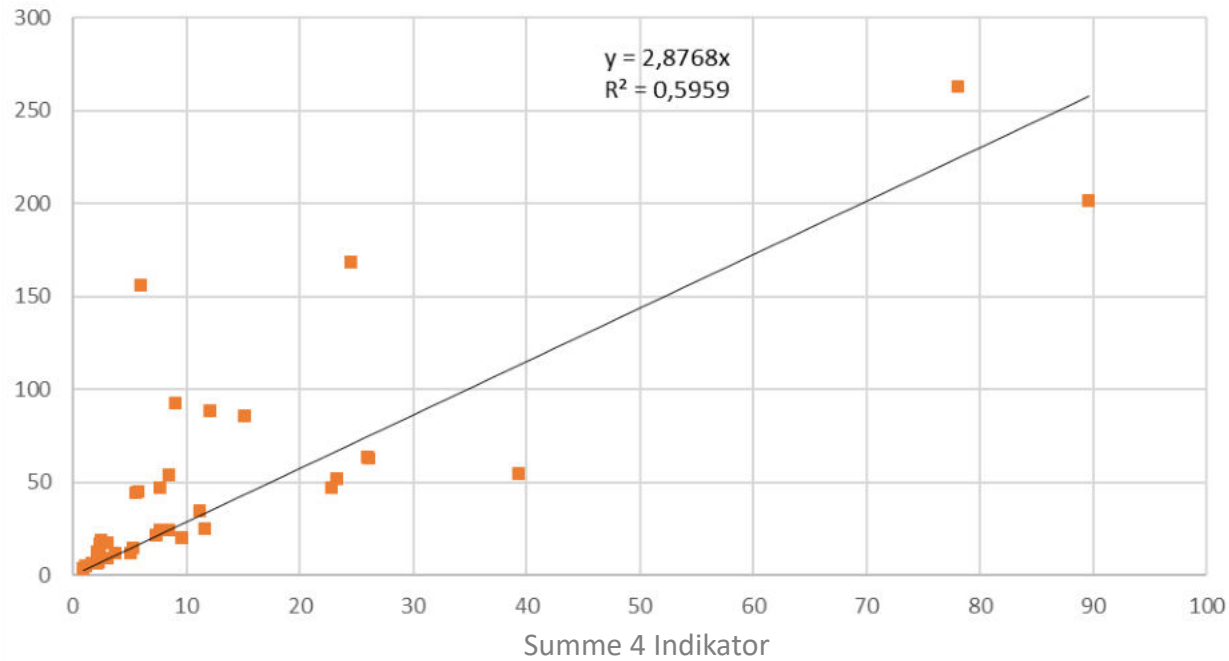
- Verwendung unterschiedlicher Klassengrößen um breiten Verteilungsraum darzustellen
- Normierung auf den Maximalgehalt (100%):
 - 1-10%:** 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 10%
 - 10-100%:** 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 80%, 100%



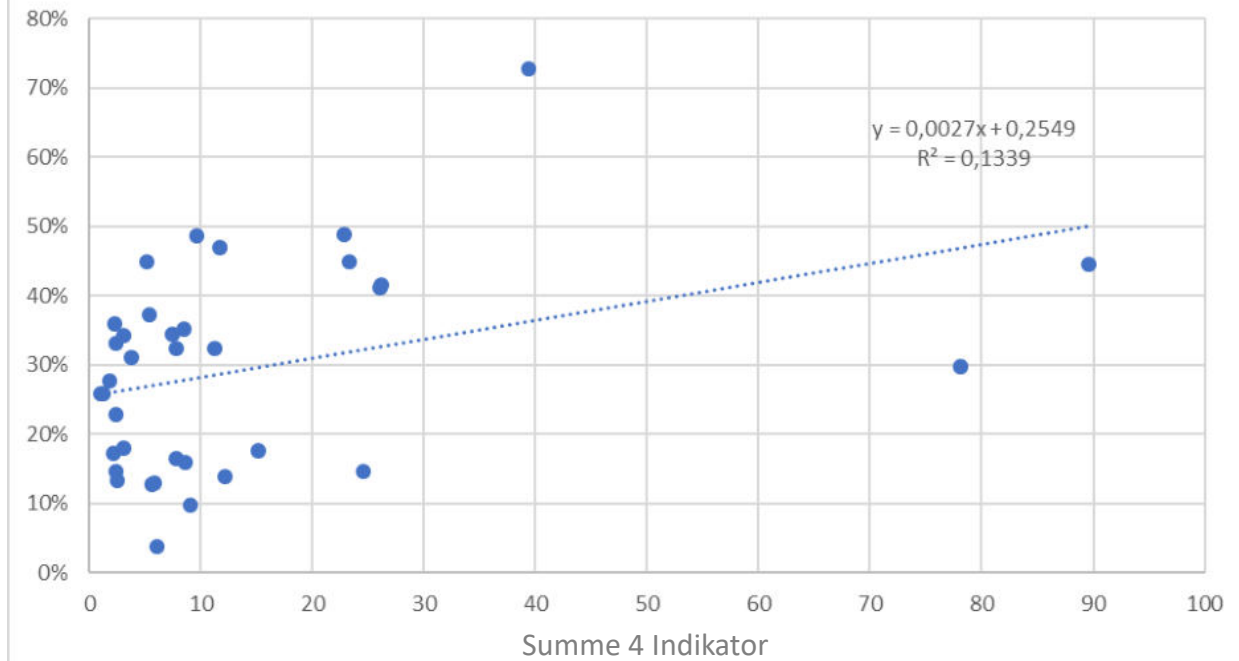




Hausstaub: | Σ 4 Ind / Σ ges.



Hausstaub: % Anteil Σ 4 Ind an Σ ges.



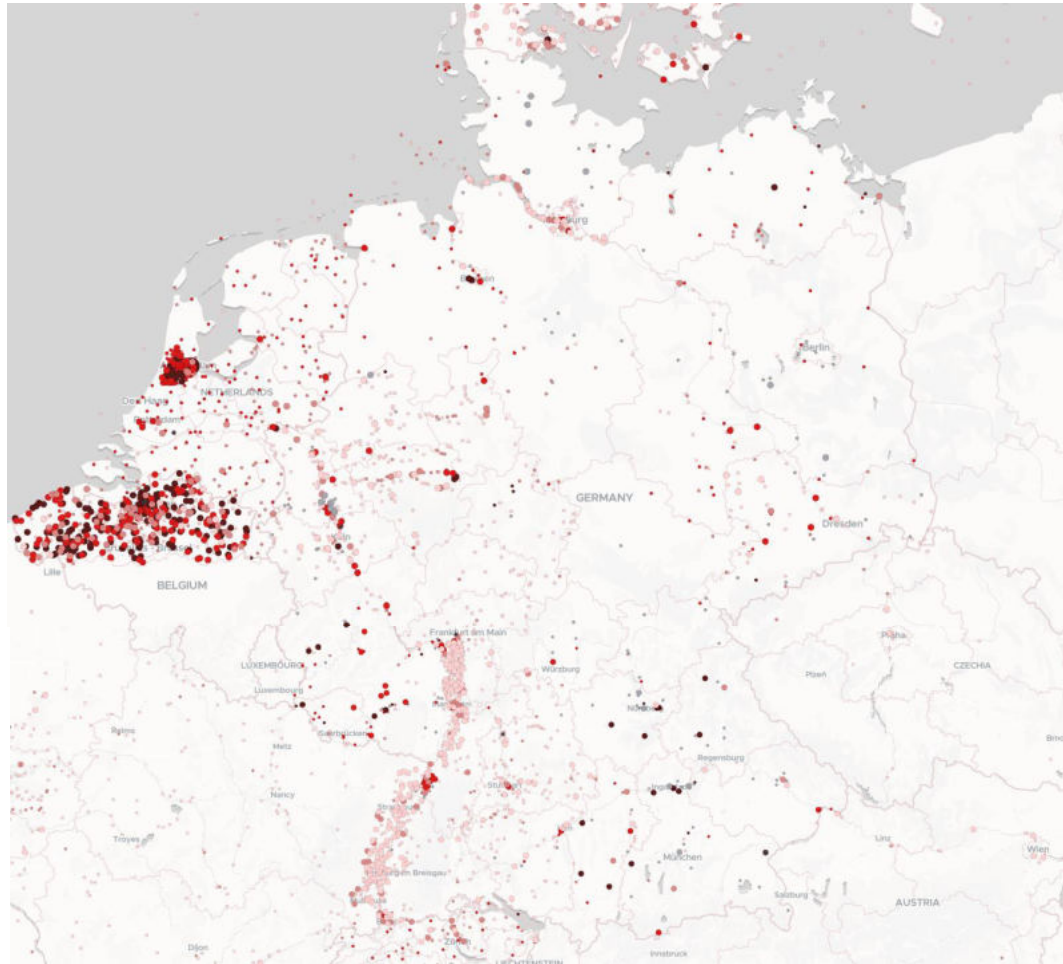
PFAS

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen in Innenräumen

Bewertung

30. WaBoLu-Innenraumtage, 30.05.2023, Berlin

Einordnung: Bodenkontaminationen



● 10-100 ng/kg ● 100-1,000 ng/kg ● 1,000-10,000 ng/kg ● >10,000 ng/kg ● Unknown

The Forever Pollution Project Journalists tracking PFAS across Europe

DATADISTA

Spain

Knack

Belgium

le Scienze

edizione italiana di Scientific American

Italy

Latvijas Radio

Latvia

Le Monde

France

NDR

Germany

nrc

Netherlands

POLITIKEN

Denmark

RADAR

Italy

REPORTERS UNITED

Greece

SRF

Switzerland

SZ

Germany

The Guardian

United Kingdom

THE INVESTIGATIVE DESK

Netherlands

WATERSHED

United Kingdom

WDR

Germany

Bildquelle: https://www.lemonde.fr/en/les-decodeurs/article/2023/02/23/forever-pollution-explore-the-map-of-europe-s-pfas-contamination_6016905_8.html
(letzter Abruf: 02.03.2023)

<https://foreverpollution.eu/>

"Hotspots" are sites where contamination reaches levels considered hazardous to health by the experts we interviewed (over 100 ng/kg).

The Forever Pollution Project

Journalists tracking PFAS across Europe

● Sites ● Clusters



		Staub S 4 Ind. PFAS µg/kg	Staub PFAS ges. µg/kg	[ng/kg]
Perzentil	5	1,64	5,79	1.000-10.000
	10	2,20	6,75	
	20	2,40	11,42	
	25	2,89	12,44	
	30	3,41	15,40	
	40	5,62	19,80	
	50	7,54	24,52	10.000-100.000
	60	8,54	44,53	
	70	11,47	52,69	
	75	12,91	56,27	
	80	22,87	63,37	
	90	26,08	124,12	
	95	49,03	176,41	
	99	85,59	241,31	
	100	89,60	262,85	
Maximum		89,60	262,85	
Mittelwert		15,36	57,71	
Median		7,54	24,52	

Verordnung (EU) 2022/2388 (Geltungsbeginn: 01.01.2023, aktuell nur für tierische Lebensmittel)

Lebensmittel (Auswahl)	PFOS [µg/kg]	PFOA [µg/kg]	PFNA [µg/kg]	PFHxS [µg/kg]	Summe [µg/kg]
Eier	1,0	0,30	0,70	0,30	1,7
Fisch - Muskelfleisch zur Herstellung von Beikost	2,0	0,20	0,50	0,20	2,0
Fleisch - Rinder, Schweine, Geflügel	0,30	0,80	0,20	0,20	1,3
- Schafe	1,0	0,20	0,20	0,20	1,6
Schlachtabfall erzeugnisse - Rinder, Schweine, Geflügel, Schafe	6,0	0,70	0,40	0,50	8,0

	Staub S 4 Ind. PFAS µg/kg	Staub PFAS ges. µg/kg	
Perzentil	5	1,64	5,79
	10	2,20	6,75
	20	2,40	11,42
	25	2,89	12,44
	30	3,41	15,40
	40	5,62	19,80
	50	7,54	24,52
	60	8,54	44,53
	70	11,47	52,69
	75	12,91	56,27
	80	22,87	63,37
	90	26,08	124,12
	95	49,03	176,41
	99	85,59	241,31
	100	89,60	262,85
Maximum		89,60	262,85
Mittelwert		15,36	57,71
Median		7,54	24,52

Empfehlung (EU) 2022/1431: „indicative levels“

Lebensmittel	PFOS [µg/kg]	PFOA [µg/kg]	PFNA [µg/kg]	PFHxS [µg/kg]	Summe [µg/kg]
Obst, Gemüse (ausgenommen Wildpilze), stärkehaltige Wurzeln und Knollen	0,010		0,010	0,005	0,015
Wildpilze	1,5		0,010	0,005	0,015
Milch	0,020		0,010	0,050	0,060
Backwaren [µg/kg Lebensmittel]	0,050		0,050	0,050	0,050

Lebensmittel Richtwerte sind:
→ Faktor 100 unter den Grenzwerten
→ Faktor 1.000 unter Gehalten im Hausstaub



**Anlass für Ursachenforschung
mit dem Ziel, das Auftreten von PFAS
in Innenräumen zu vermindern**

**Es soll keine Beeinträchtigung der Verkehrsfähigkeit
aufgrund dieser Richtwerte erfolgen !**

→ Überschreitung im genießbaren Teil der Lebensmittel ist Anlass für
Ursachenforschung mit dem Ziel, das Auftreten von PFAS in Lebensmitteln zu
verhindern

Bewertung über die Summe der 4 Indikator-PFAS

Toxikologische Kenngröße: TWI 4,4 ng/kg KG und Woche EFSA

<https://www.efsa.europa.eu/de/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>

Körperdosis	MAX	95. Perzentil	90. Perzentil	50. Perzentil
Luftkonzentration	0,035 ng/m ³	0,031 ng/m ³	0,028 ng/m ³	0,021 ng/m ³
Körpergewicht (KG)	70 kg	70 kg	70 kg	70 kg
Atemvolumen	20 m ³ /d	20 m ³ /d	20 m ³ /d	20 m ³ /d
Resorptionsquote	1	1	1	1
Körperdosis/d	0,01 ng/kg KG * d	0,0089 ng/kg KG * d	0,008 ng/kg KG * d	0,006 ng/kg KG * d
Körperdosis je Woche	0,07 ng/kg KG * Woche	0,062 ng/kg KG * Woche	0,056 ng/kg KG * Woche	0,042 ng/kg KG * Woche
Anteil TWI	1,6 %	1,4 %	1,3 %	1,0 %

Bis zu 2% der zulässigen wöchentlichen Aufnahme erfolgen allein über den Luftpfad



Aber was ist mit den anderen nachgewiesenen PFAS?

Bewertung über die Gesamtsumme PFAS analog der Summe der 4 Indikator-PFAS (Konservative Annahme)

Toxikologische Kenngröße: TWI 4,4 ng/kg KG und Woche EFSA

<https://www.efsa.europa.eu/de/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>

Körperdosis	MAX	95. Perzentil	90. Perzentil	50. Perzentil
Luftkonzentration	0,17 ng/m ³	0,091 ng/m ³	0,040 ng/m ³	0,029 ng/m ³
Körpergewicht (KG)	70 kg	70 kg	70 kg	70 kg
Atemvolumen	20 m ³ /d	20 m ³ /d	20 m ³ /d	20 m ³ /d
Resorptionsquote	1	1	1	1
Körperdosis/d	0,048 ng/kg KG * d	0,026 ng/kg KG * d	0,011 ng/kg KG * d	0,0081 ng/kg KG * d
Körperdosis je Woche	0,33 ng/kg KG * Woche	0,18 ng/kg KG * Woche	0,080 ng/kg KG * Woche	0,057 ng/kg KG * Woche
Anteil TWI	7,6 %	4,1 %	1,8 %	1,3 %

Bis zu 8% der zulässigen wöchentlichen Aufnahme erfolgen allein über den Luftpfad!

Pica:

- *Personen mit Pica essen regelmäßig Dinge, die keine Nahrungsmittel sind.*
- *Bei Kindern im Alter von weniger als 2 Jahren wird dieses Verhalten entwicklungsbedingt als normal angesehen. Kleine Kinder nehmen alle möglichen Dinge in den Mund und essen sie manchmal.*

<https://www.msmanuals.com/de-de/heim/psychische-gesundheitsst%C3%B6rungen/essst%C3%B6rungen/pica>

Tägliche Aufnahme durch Kleinkinder: Spanne zwischen 2 und 500 mg/d

- Besonders kleine Kinder haben eine relativ hohe unbeabsichtigte Aufnahme von Hausstaub (Krabbeln am Boden, Spielzeug in den Mund stecken), daher kann eine im Vergleich zu Erwachsenen höhere Exposition gegenüber Weichmachern angenommen werden. Man schätzt abhängig von der herangezogenen Studie eine Aufnahme von bis zu 50 mg/Tag.

https://www.lgl.bayern.de/gesundheit/umweltbezogener_gesundheitsschutz/projekte_a_z/tox_weichmacher_hausstaub.htm

- Annahmen zur Menge der Staubaufnahme (Annahmen für die Staubaufnahme bei Kleinkindern schwanken zwischen 100 mg und 500 mg täglich), Körpergewicht (Annahmen zwischen 7,6 kg und 12 kg).

https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/bfr_und_uba_empfehlen_den_einsatz_von_organozinnverbindungen_in_verbraucherprodukten_weiter_zu_begrenzen.pdf

- Die Daten umspannen in der zentralen Tendenz Werte von 2 mg/d bis 131 mg/d. Die ungünstigen Schätzungen werden mit Werten von 7 mg/d bis 140 mg/d angegeben (S. 58).

Der zur Zeit gebräuchliche Aufnahmewert liegt bei 100 mg pro Tag

Bewertung über die Summe der 4 Indikator-PFAS

Körperdosis	MAX	95. Perz.	90. Perz.	50. Perz.
Staubkonzentration	89,6 µg/kg	49,03 µg/kg	26,08 µg/kg	7,54 µg/kg
Staubkonzentration	89600 ng/kg	49030 ng/kg	26080 ng/kg	7540 ng/kg
Körpergewicht (KG)	10 kg	10 kg	10 kg	10 kg
Staubaufnahme	100 mg/d	100 mg/d	100 mg/d	100 mg/d
Staubaufnahme	0,0001 kg/d	0,0001 kg/d	0,0001 kg/d	0,0001 kg/d
Resorptionsquote	1	1	1	1
Körperdosis abs.	8,96 ng/d	4,903 ng/d	2,608 ng/d	0,754 ng/d
Körperdosis /d	0,896 ng/kg KG * d	0,4903 ng/kg KG * d	0,2608 ng/kg KG * d	0,0754 ng/kg KG * d
Körperdosis je Woche	6,272 ng/kg KG * Woche	3,4321 ng/kg KG * Woche	1,8256 ng/kg KG * Woche	0,5278 ng/kg KG * Woche
Anteil TWI	142,5%	78,0%	41,5%	12,0%

Körperdosis	MAX	95. Perz.	90. Perz.	50. Perz.
Staubkonzentration	89,6 µg/kg	49,03 µg/kg	26,08 µg/kg	7,54 µg/kg
Staubkonzentration	89600 ng/kg	49030 ng/kg	26080 ng/kg	7540 ng/kg
Körpergewicht (KG)	10 kg	10 kg	10 kg	10 kg
Staubaufnahme	2 mg/d	2 mg/d	2 mg/d	2 mg/d
Staubaufnahme	0,000002 kg/d	0,000002 kg/d	0,000002 kg/d	2E-06 kg/d
Resorptionsquote	1	1	1	1
Körperdosis abs.	0,1792 ng/d	0,09806 ng/d	0,05216 ng/d	0,01508 ng/d
Körperdosis /d	0,01792 ng/kg KG * d	0,009806 ng/kg KG * d	0,005216 ng/kg KG * d	0,00151 ng/kg KG * d
Körperdosis je Woche	0,12544 ng/kg KG * Woche	0,068642 ng/kg KG * Woche	0,036512 ng/kg KG * Woche	0,01056 ng/kg KG * Woche
Anteil TWI	2,9%	1,6%	0,8%	0,2%

Bis zu 150% der zulässigen wöchentlichen Aufnahme erfolgen allein über die orale Staubaufnahme

Bewertung über die Gesamtsumme PFAS analog der Summe der 4 Indikator-PFAS:

Körperdosis	MAX	95. Perz.	90. Perz.	50. Perz.
Staubkonzentration	262,85 µg/kg	176,41 µg/kg	124,12 µg/kg	24,52 µg/kg
Staubkonzentration	262850 ng/kg	176410 ng/kg	124120 ng/kg	24520 ng/kg
Körpergewicht (KG)	10 kg	10 kg	10 kg	10 kg
Staubaufnahme	100 mg/d	100 mg/d	100 mg/d	100 mg/d
Staubaufnahme	0,0001 kg/d	0,0001 kg/d	0,0001 kg/d	0,0001 kg/d
Resorptionsquote	1	1	1	1
Körperdosis abs.	26,285 ng/d	17,641 ng/d	12,412 ng/d	2,452 ng/d
Körperdosis /d	2,6285 ng/kg KG * d	1,7641 ng/kg KG * d	1,2412 ng/kg KG * d	0,2452 ng/kg KG * d
Körperdosis je Woche	18,3995 ng/kg KG * Woche	12,3487 ng/kg KG * Woche	8,6884 ng/kg KG * Woche	1,7164 ng/kg KG * Woche
Anteil TWI	418,2%	280,7%	197,5%	39,0%

Körperdosis	MAX	95. Perz.	90. Perz.	50. Perz.
Staubkonzentration	262,85 µg/kg	176,41 µg/kg	124,12 µg/kg	24,52 µg/kg
Staubkonzentration	262850 ng/kg	176410 ng/kg	124120 ng/kg	24520 ng/kg
Körpergewicht (KG)	10 kg	10 kg	10 kg	10 kg
Staubaufnahme	2 mg/d	2 mg/d	2 mg/d	2 mg/d
Staubaufnahme	0,000002 kg/d	0,000002 kg/d	0,000002 kg/d	2E-06 kg/d
Resorptionsquote	1	1	1	1
Körperdosis abs.	0,5257 ng/d	0,35282 ng/d	0,24824 ng/d	0,04904 ng/d
Körperdosis /d	0,05257 ng/kg KG * d	0,035282 ng/kg KG * d	0,024824 ng/kg KG * d	0,0049 ng/kg KG * d
Körperdosis je Woche	0,36799 ng/kg KG * Woche	0,246974 ng/kg KG * Woche	0,173768 ng/kg KG * Woche	0,03433 ng/kg KG * Woche
Anteil TWI	8,4%	5,6%	3,9%	0,8%

Bis zu 420% der zulässigen wöchentlichen Aufnahme erfolgen allein über die orale Staubaufnahme

Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe (POPs):

PFOS (2009), *PFOA* (2019), *PFHxS* (2022), *PFNA* und weitere langkettige Perfluorcarbonsäuren
(geplant)

Europäische Chemikalienagentur (ECHA):

- ✓ Ein Vorschlag für ein Verbot von PFAS wurde eingereicht (Februar 2023)
- ✓ Umfasst, abgesehen von einigen Ausnahmen, die gesamte Stoffgruppe → > 10.000 Verbindungen
- ✓ Untersagt Herstellung, Verwendung und Inverkehrbringen von PFAS an sich, sowie von PFAS-haltigen Stoffen und Gemischen
- ✓ Ziel: die Freisetzung von PFAS in die Umwelt drastisch zu verringern.
- ✓ Nach Inkrafttreten sind mehrjährige Übergangsfristen vorgesehen

PFAS

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen in Innenräumen

Fazit und Ausblick

30. WaBoLu-Innenraumtage, 30.05.2023, Berlin

- ✓ Erfassung der Hintergrundbelastung von PFAS in Hausstaub und luftgetragendem Feinstaub ist mittels HPLC-MS/MS im Ultraspurenbereich möglich
- ✓ In allen 40 Haushaltsproben (z.T. mehrere Proben je Haushalt) konnten mehrere PFAS nachgewiesen werden
- ✓ Etwa die Hälfte des untersuchten Stoffspektrums (35 PFAS) ist innenraumrelevant
- ✓ Die 4 Indikator-PFAS Σ (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS) decken nur etwa 1/3 der Gesamtsumme ab
- ✓ Die Hintergrundbelastung (Median) erstreckt sich von 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Staub für die 4 Indikator-PFAS bis 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Staub für die Gesamtsumme der untersuchten 35 PFAS
- ✓ Die Hintergrundbelastung im Hausstaub liegt in einem Bereich, der in Böden als deutliche Kontamination (Hot-Spots) angesehen wird ($> 1 \mu\text{g}/\text{kg}$)

Abschätzung der Körperdosis

- ✓ Die Aufnahme über die **Raumluft** liegt bei bis zu **2%** des TWI für die **4 Indikator-PFAS** und bis zu **8%**, setzt man die **Gesamtsumme** der nachgewiesenen PFAS an
- ✓ Die abgeschätzte Aufnahme über den **Hausstaub** liegt für Kleinkinder bei bis zu **150%** des TWI für die **4 Indikator-PFAS** und bis zu **420%**, setzt man die **Gesamtsumme** der nachgewiesenen PFAS an
- **PFAS aus dem Innenraum tragen zur im vom UBA 2022 im Human-Bio-Monitoring festgestellten erhöhten PFAS-Belastung bei Kindern und Jugendlichen bei**
(UBA 2022: Körperliche Belastung mit PFAS bei Kindern und Jugendlichen – Ergebnisse aus GerES V)
- **Bei der Bewertung der PFAS-Problematik ist die Kontamination der häuslichen Umgebung ein relevanter Faktor**

Wir danken den Teams von

Labor Friedle für die

- Methodenentwicklung,
- Validierung und
- Durchführung der Analytik

anbus analytik GmbH und AnBUS e.V für die

- Mitarbeit am Studiendesign
- Gewinnung der Haushalte,
- Durchführung der Probenahmen und die
- Unterstützung bei der Auswertung der Daten

- ✓ **Identifizierung von Quellen** aus der häuslichen Umgebung für die Belastung von Hausstaub und luftgetragendem Feinstaub beispielsweise anhand von ausgewählten Haushalten mit identifizierten Belastungssituationen.
- ✓ **Vergrößerung des Stichprobenumfanges**, Berücksichtigung repräsentativer Probenahmen aus dem Bundesgebiet:
 - **Berücksichtigung von PFAS im Hausstaub und der Raumluft in GERES VI?**
- ✓ **Toxikologische Bewertung** weiterer in Innenräumen relevanter **PFAS** über die 4 Indikator-PFAS hinaus.
- ✓ **Toxikologische Bewertung** der inhalativen und dermalen Aufnahme.

→ **Weiterer Forschungsbedarf!**