

# PFAS

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen in Innenräumen

## Pre-Studie

zur Untersuchung von Hausstaub und luftgetragenem  
Staub

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

**30. WaBoLu-Innenraumtag, 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-Innenraumtag, 30.05.2023, Berlin**

# Definition von PFAS

Historische Bezeichnungen:

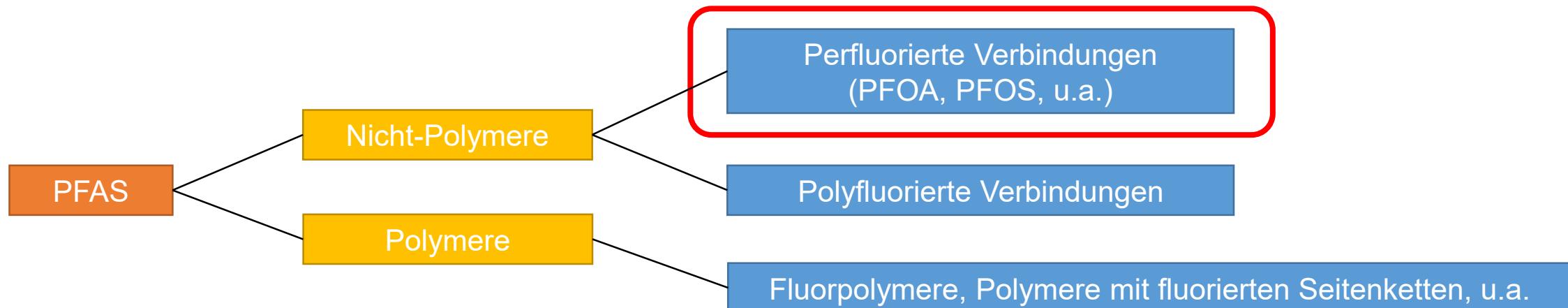
PFC = Perfluorierte Chemikalien

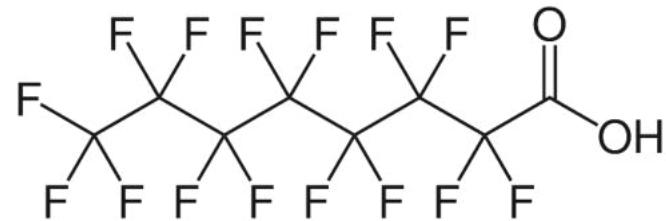
PFT = Perfluorierte Tenside

Aktuelle Definition der OECD (2021):

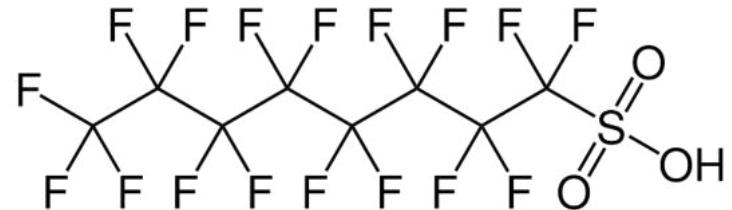
PFAS sind definiert als fluorierte Stoffe, die mindestens ein vollständig fluoriertes Methyl- oder Methylen-Kohlenstoffatom (ohne daran gebundene H/Cl/Br/I-Atome) enthalten

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]	$\Sigma$ (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS) [ng/kg Körpergewicht]
2008	ADI	1.500	150	
2018	TWI	6	13	
2020 Dioxine und dl-PCB: TWI (EFSA) = 0,002 ng/kg KG	TWI			4,4

### 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-Innenraumtag, 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 Innenraumluft 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 anthropogenen Substanzen in Hausstaub

## anbus analytik GmbH und AnBUS e.V.

- ✓ Projektleitung Jörg Thumulla und Carmen Kroczek
- ✓ 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 Innenraumluft 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. Kroczeck 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 – Springer-Eldagsen 2007
8. Jörg Thumulla und Carmen Kroczeck: 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 Kroczeck: 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 K...ü...2

## 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	EFH
Holzständer	MFH
Holz massiv	DHH
Beton	RH
unbekannt	
Alter der Bewohner	Baujahr
<25	bis 1950
25-45	1950 - 1970
45-65	1970 - 1990
65-85	1990 - 2000
>85	2000 bis jetzt
Umgebung	
Ländlich	63%
Städtisch	38%



**LABOR  
FRIEDE  
GMBH**

# Datenerhebung



**anbus**  
analytik gmbh  
Gesellschaft für  
Gebäudediagnostik  
Umweltanalytik und  
Umweltkommunikation

## Checkliste Gebäude

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

## Checkliste Probenahmeräume

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

## Probenahmeprotokoll

<b>PFAS – Forschungsprojekt 2023</b>	
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
<b>Wand (überwiegende Ausstattung)</b>	
Innenwandaufbau	<input type="radio"/> Gipskarton <input type="radio"/> Mauerwerk <input type="radio"/> Wandverkleidung <input type="radio"/> Sonstiges:
Wandbeschichtung	<input type="radio"/> Tapete <input type="radio"/> Farbe (Dispersion, Latex, Mineral) <input type="radio"/> Putz (Gips, Kalk, Kalkgips) (Mehrfachnennung möglich)
	<input type="radio"/> Sonstiges:
<b>Fußboden (überwiegende Ausstattung)</b>	
Belag	<input type="radio"/> Fliesen <input type="radio"/> Parkett <input type="radio"/> Holzdielen <input type="radio"/> Laminat <input type="radio"/> PVC <input type="radio"/> Sonstiges: (Mehrfachnennung möglich)
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:
<b>Decke (überwiegende Ausstattung)</b>	
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 Brand mit Löschschaum? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein Wasserschaden <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein

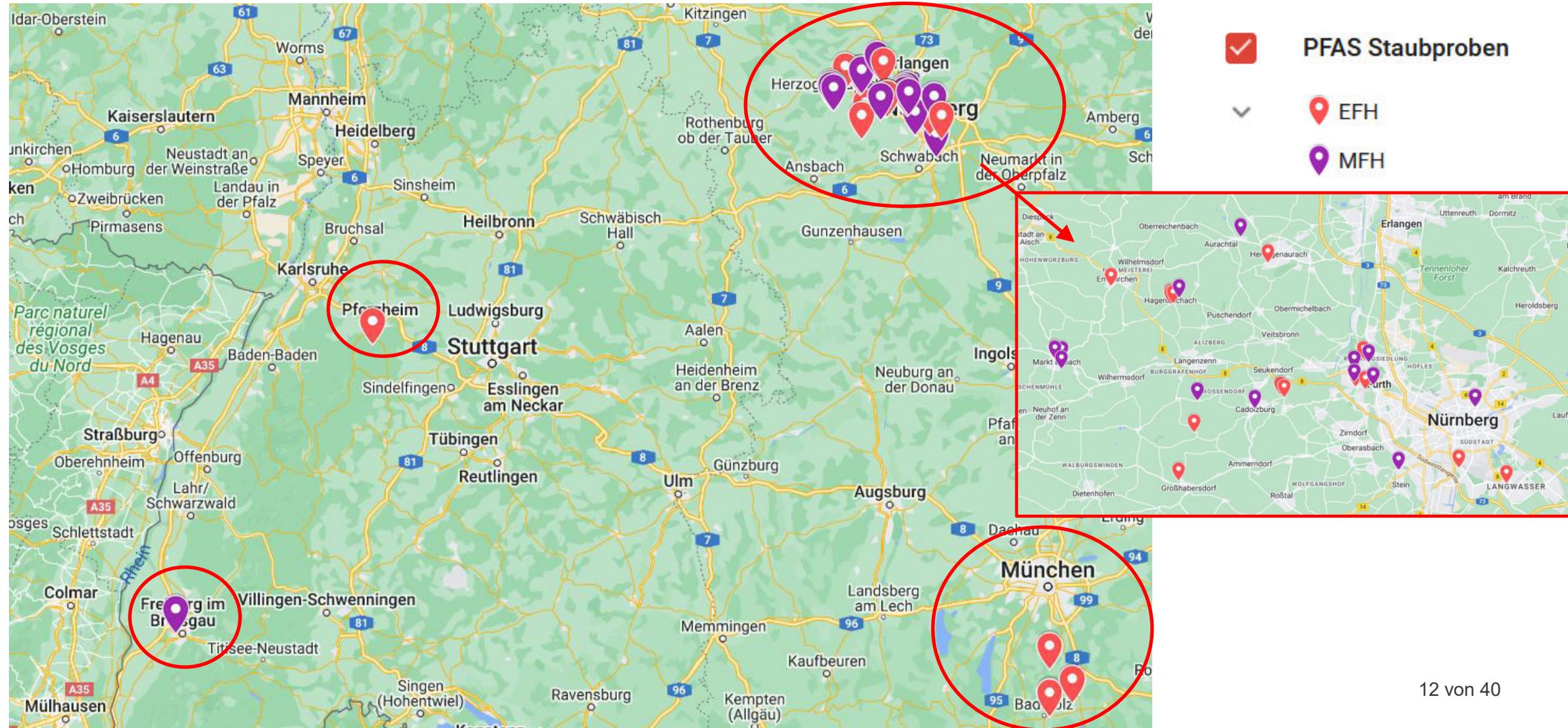


LABOR  
FRIEDE  
GMBH

# Räumliche Verteilung der Haushalte



**anbus**  
analytik gmbh  
Gesellschaft für  
Gebäudediagnostik  
Umweltanalytik und  
Umweltkommunikation



## „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: 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 Sammelmengens 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 eingelebt 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 m<sup>3</sup>/h -> Probenahmenvolumen > 50.000 Liter



## Bestimmung der PFAS in Hausstaub und Raumluft

Matrix	Methode	Extraktion (Probenvorbereitung)	Detektionsmodul	Bestimmungsgrenzen
Hausstaub	„Hausmethode“, LC-MS/MS	Acetonitril <b>mit</b> Cleanup und Aufkonzentrierung	LC-MS/MS (ESI+/-)	0,1 µg/kg
Luftgetragener Feinstaub	„Hausmethode“, LC-MS/MS	Acetonitril <b>ohne</b> Cleanup und Aufkonzentrierung	LC-MS/MS (ESI+/-)	0,05 ng/Probe, bzw. 0,0005-0,001 ng/m³

## 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

# Untersuchungsumfang: 35 PFAS

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

Nr.		Kurzbezeichnung	Bezeichnung
1	Carboxylic acids	PFBA	Perfluorbutanoic acid
2		PFPA	Perfluorpentanoic acid
3		PFHxA	Perfluorhexanoic acid
4		PFHpA	Perfluoroheptanoic acid
5		PFOA	Perfluooctanoic acid
6		PFNA	Perfluorononanoic acid
7		PFDA	Perfluorodecanoic acid
8		PFUnDA	Perfluoroundecanoic acid
9		PFDoDA	Perfluorododecanoic acid
10		PFTrDA	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	Perfluoroctane sulfonic acid
17		PFNS	Perfluorononane sulfonic acid
18		PFDS	Perfluorodecane sulfonic acid
19		PFUnDS	Perfluoroundecane sulfonic acid
20		PFDoDS	Perfluorododecane sulfonic acid
21		PFTrDS	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-decanoic Acid
28	Fluortelomers	6:2-FTS	6:2-Fluortelomersulfonsäure
29		8:2-FTS	8:2-Fluortelomersulfonsäure
30	Replacement compounds	DONA	2,2,3-Trifluo-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-heptafluoropropoxy)-propanoic acid
32		9CI-PF3ONS	9-Chlorohexadecafluoro-3-oxanone-1-sulfonic Acid
33		11CI-PF3OUdS	11-Chloroeicosfluoro-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-1-yl]ammonium

höchstmengenrelevant

# Ergebnisse

## Identifikation von innenraumrelevanten PFAS & Konzentrationsverteilung von PFAS

**30. WaBoLu-Innenraumtag, 30.05.2023, Berlin**

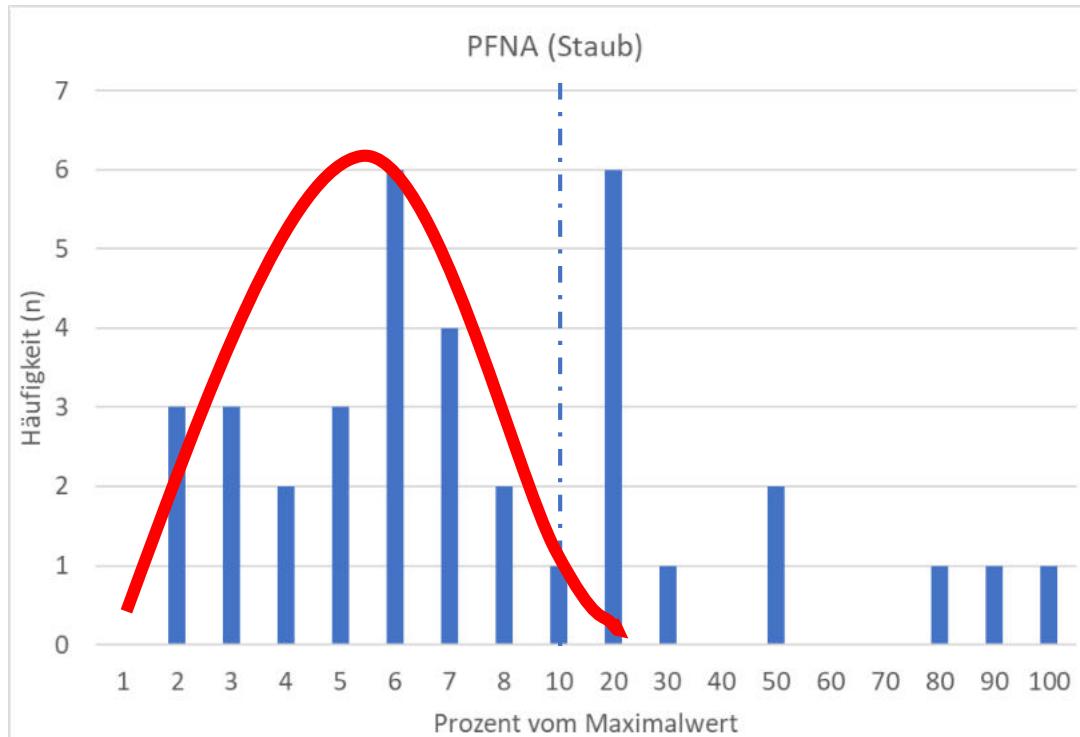
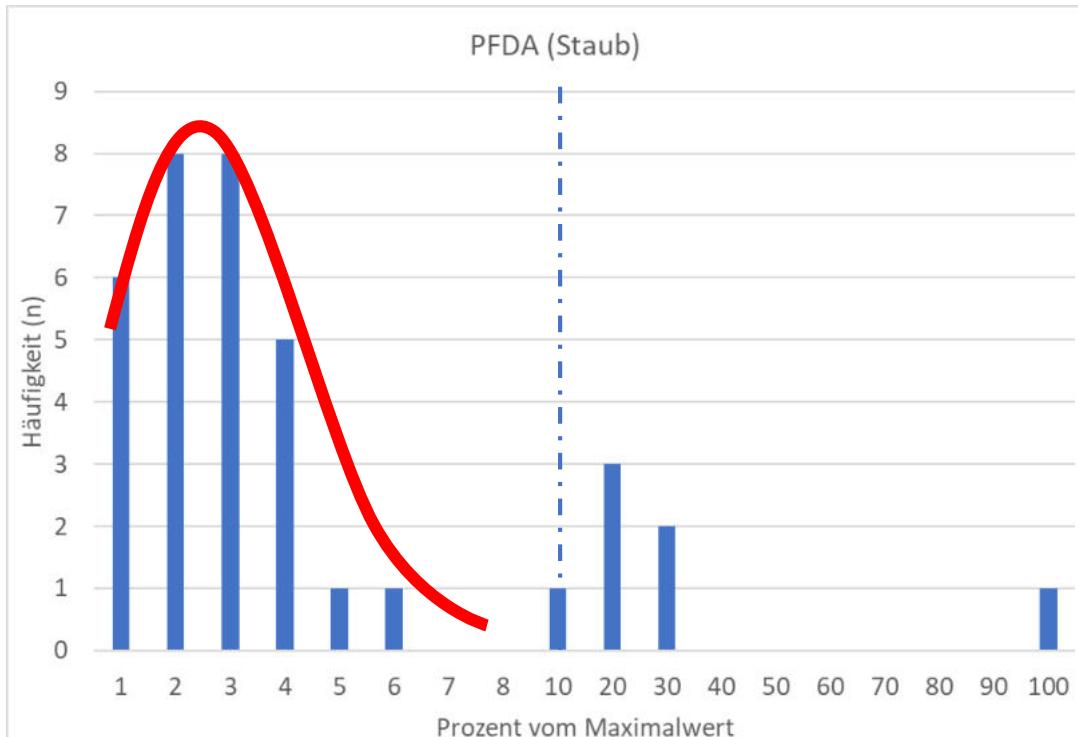
# Ergebnisse: Perzentile Hausstaub

	PFOA	PFNA	PFHxS	PFOS	$\Sigma$ 4 Ind. PFAS	$\Sigma$ PFAS ges.	PFBA	PFPA	PFHexA	PFHepA	PFDA	PFuDA	PFdoDA	PFtrIDA	PFtetraDA	xDA (Screen)	DDA (Screen)	PFBS	PPeS	PFHpS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoDS	PFTrDS	PFOSA	N_MeFOSA	N_ET_FOSA	N_MeFOSAA	N_EFOSAA	FOUEA	6:2-FTS	8:2-FTS	iPAP Screen	HFPo-DA	NaDONA	9CI-PF30N	1CL-PF30UD	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	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,5	<	0,2	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	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,8	<	0,2	0,3	<	<	<	<	<	<	<	<	
	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	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	1,3	<	0,3	0,3	<	<	<	<	<	<	<	<	
	25	1,5	0,4	0,0	0,5	2,9	12	0,2	0,1	0,7	0,4	0,5	0,3	0,3	<	0,2	<	<	0,2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	1,7	<	0,3	0,4	<	<	<	<	<	<	<	<		
	30	1,7	0,5	0,1	0,6	3,4	15	0,2	0,1	0,7	0,4	0,6	0,3	0,5	<	0,3	<	<	0,3	<	<	<	<	<	<	<	<	<	1,8	<	0,4	0,5	<	<	<	<	<	<	<	<		
	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	<	<	<	<	<	<	<	<	<	2,3	<	0,5	0,6	<	<	<	<	<	<	<	<		
	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	<	<	<	<	<	<	<	<	<	2,6	<	0,6	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	<	<	0,6	<	<	<	<	<	<	<	<	<	3,7	<	1,1	1,0	<	<	<	<	<	<	<	<		
	70	5,8	1,1	0,4	2,2	11	53	0,5	0,3	1,8	1,0	1,5	0,6	1,0	0,0	0,5	<	1,2	<	<	1,2	<	<	<	<	<	<	<	4,5	<	1,3	1,3	<	<	<	<	<	<	<	<		
	75	6,3	1,2	0,4	2,4	13	56	0,6	0,3	2,1	1,2	2,0	1,1	0,1	0,7	<	1,5	<	<	1,5	<	<	<	<	<	<	<	<	5,1	<	1,4	1,6	<	<	<	<	<	<	<	<		
	90	7,3	1,3	0,7	3,1	23	63	1,7	0,4	2,2	1,2	2,7	1,0	1,2	0,8	<	2,6	<	<	2,6	<	<	<	<	<	<	<	<	6,1	<	1,5	2,3	<	<	<	<	<	<	<	<		
	90	13	4,2	1,5	4,2	26	124	3,9	0,5	4,3	2,5	5,6	1,8	2,9	2,2	<	4,5	<	<	4,5	<	<	<	<	<	<	<	<	23	<	3,0	3,0	<	<	<	<	<	<	<	<		
	95	18	6,1	2,5	7,9	49	176	7,9	1,1	12	2,8	12	2,9	5,6	0,2	3,0	<	<	44	0,0	0,1	0,1	<	<	<	<	<	0,0	<	0,5	45	0,3	3,8	5,4	<	<	<	<	<	0,1	1,6	
	99	60	9,6	4,7	26	86	241	29	1,6	16	6,3	36	4,7	11	0,7	3,4	<	<	132	0,1	0,4	0,1	0,6	<	<	<	<	0,2	<	<	1,6	116	0,5	6,1	36	<	0,0	<	<	0,2	2,3	
100	81	9,9	7,1	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	<	<	<	<	0,3	<	<	2,0	137	0,5	7,1	51	<	0,1	<	<	0,2	2,6		
Maximum	81	9,9	7,1	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	<	<	<	<	0,3	<	<	2,0	137	0,5	7,1	51	<	0,1	<	<	0,2	2,6		
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	<	<	<	<	0,0	<	<	0,2	13	0,1	1,3	3,2	<	0,0	<	<	0,0	0,2		
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	<	<	<	<	<	<	<	<	<	2,6	<	0,8	0,8	<	<	<	<	<	<	<	<			

	PFOA	PFNA	PFHxS	PFOS	$\Sigma$ 4 Ind. PFAS	$\Sigma$ 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	

# Ergebnisse: Verteilungen Hausstaub

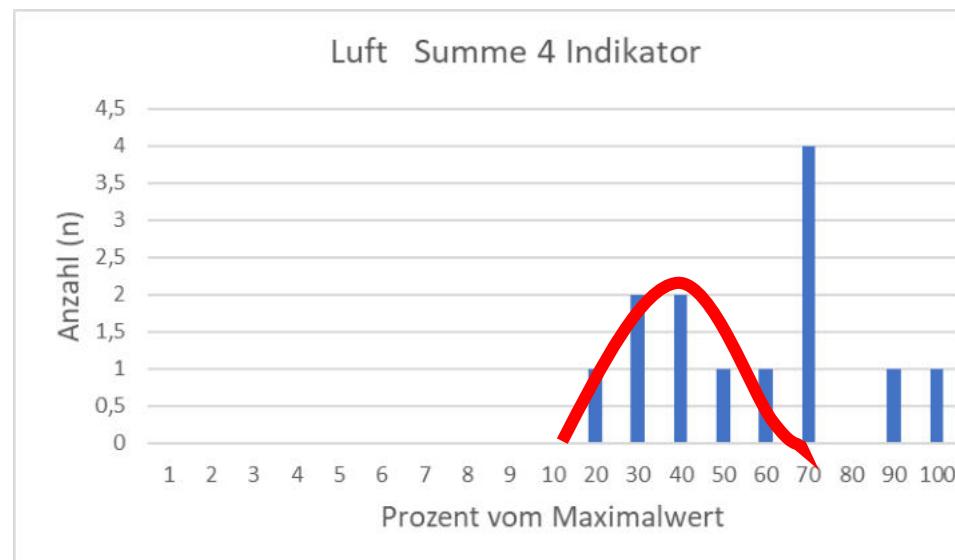
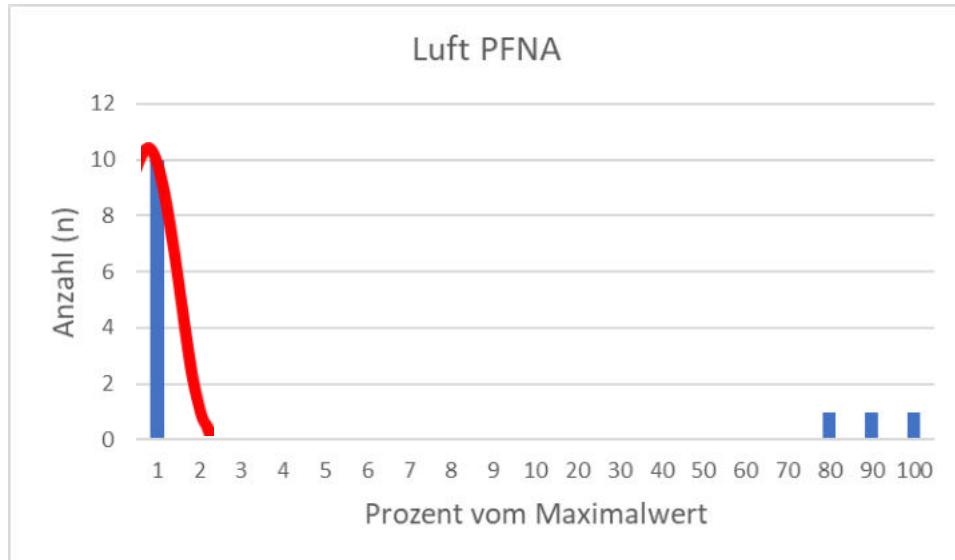
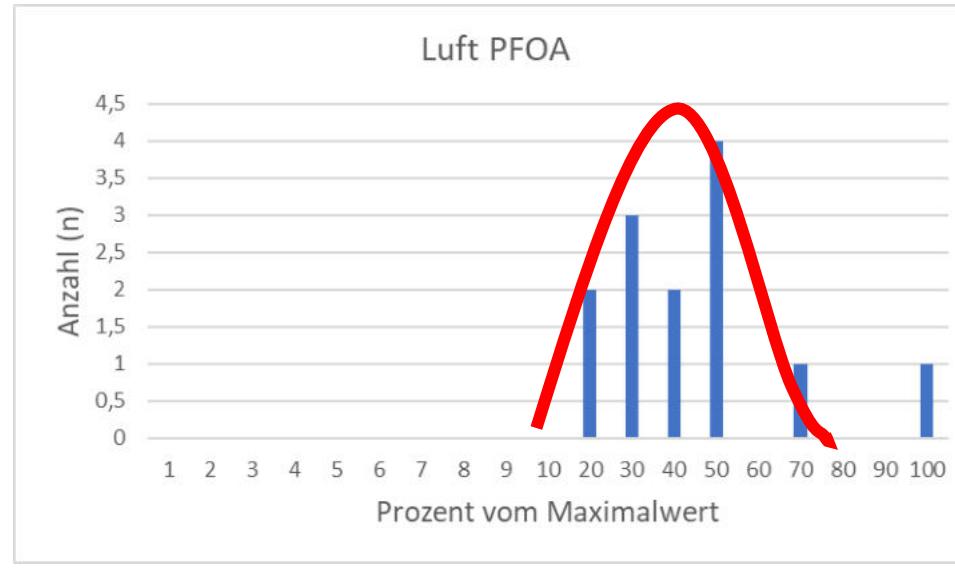
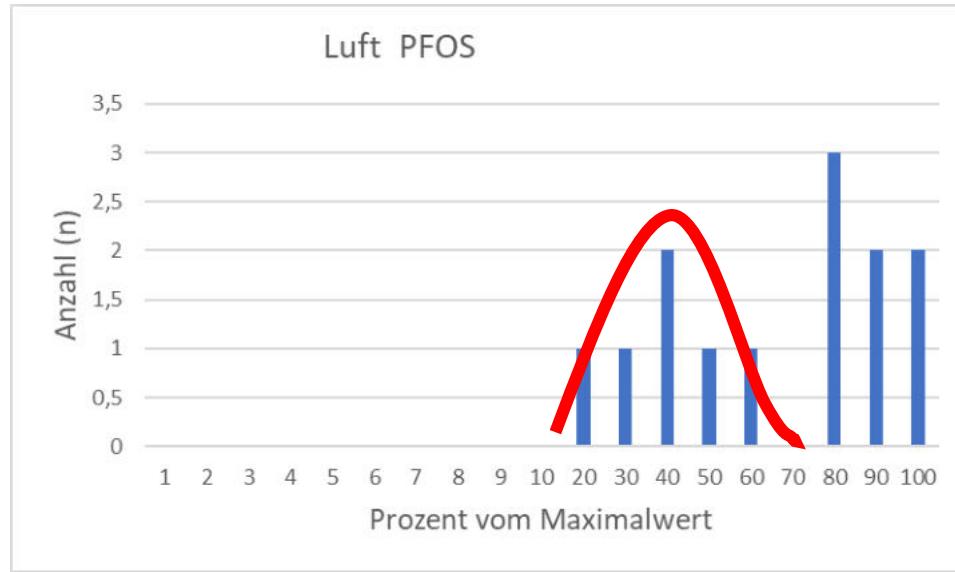
- Verwendung unterschiedlicher Klassengrößen um breiten Verteilungsraum darzustellen
- Normierung auf den Maximalgehalt (100%):
  - 1-10%:** 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 10%
  - 10-100%:** 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 80%, 100%

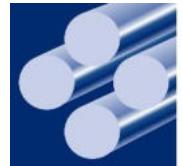


	L_PFOA	L_PPNA	L_PPHX5	L_PPQ5	Σ4 Indikator	Σ gesamt	L_PFB4	L_PPPA	L_PFRexA	L_PFHepA	L_PFDA	L_PFuNDa	L_PFrDOA	L_PFrIDA	L_PFrTrDA	L_PFRhDA (Screening)	L_PPODA (Scree ning)	L_PFBPs	L_PRHPS	L_PINs	L_PFDs	L_PFuNDs	L_PFdDOs	L_PFrTDS	L_PFOSA	L_N_MeFOSSA	L_NetFOSA	L_MeFOSSA	L_N_EFOSSA	L_FOUEA	L_6.20FTS	L_8.20FTS	L_B2dIP (Screening)	L_HFOPODA (Screening)	L_NDONA	L_9C10PFSONG	L_C10PFSONG	L_dS	L_CapsoneA	L_Capsone
ng/m <sup>3</sup>																																								
Maximum	0.0153	0.0005	0.0014	0.0187	0.0349	0.1662	0.0008	0.0010	0.0017	0.0022	0.0006	<	<	<	<	<	<	0.0038	<	0.0005	<	0.0003	0.0009	<	0.0287	0.0038	0.0760	<	0.0169	0.0023	0.0023	<	<	<	<	<	<			
Mittelwert	<b>0.0060</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0187</b>	<b>0.0183</b>	<b>0.0371</b>	<b>0.0014</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0001</b>	<	<	<	<	<	<	<b>0.0005</b>	<	<b>0.0001</b>	<	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<	<b>0.0029</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.0077</b>	<	<b>0.0023</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0003</b>	<	<	<	<	<	<			
Median	0.057	<	0.0004	0.0137	0.0137	0.0285	0.01	<	0.0005	0.0008	0.0001	<	<	<	<	<	<	0.0005	<	0.0001	<	0.0000	0.0004	<	0.0006	0.0006	0.0006	<	0.0006	<	0.0006	<	0.0006	<	0.0006	<	0.0006	<	0.0006	
Perzentil 5	0.0024	<	<	0.0039	0.0005	0.01	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	<	<	<	<	<	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	0.0003	<	0.0003	0.0003	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003		
10	0.0026	<	<	0.0049	0.0005	0.0144	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	<	<	<	<	<	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	0.0003	<	0.0003	0.0003	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003		
20	0.0033	<	<	0.0067	0.010	0.017	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	<	<	<	<	<	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	0.0004	<	0.0004	0.0004	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004		
25	0.0035	<	<	0.0075	0.011	0.017	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	<	<	<	<	<	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	0.0004	<	0.0004	0.0004	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004		
30	0.0036	<	0.0002	0.0078	0.012	0.021	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	<	<	<	<	<	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	0.0004	<	0.0004	0.0004	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004		
40	0.0053	<	0.0003	0.0102	0.016	0.024	0.0007	0.0005	0.0005	0.0005	<	<	<	<	<	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	0.0004	<	0.0005	0.0004	0.0005	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004		
50	<b>0.0057</b>	<	<b>0.0004</b>	<b>0.0137</b>	<b>0.021</b>	<b>0.028</b>	<b>0.0009</b>	<	<b>0.0006</b>	<b>0.0008</b>	<	<	<	<	<	<	0.0004	<	0.0004	<	0.0004	0.0004	<	<b>0.0006</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0012</b>	<	<b>0.0006</b>	<	<b>0.0006</b>	<	<b>0.0006</b>	<	<b>0.0006</b>	<	<b>0.0006</b>				
60	0.0067	<	0.0006	0.0147	0.022	0.031	0.0009	0.0008	0.0009	0.0009	<	<	<	<	<	<	0.0001	<	0.0001	<	0.0001	0.0001	<	0.0007	0.0009	0.0015	<	0.0004	<	0.0006	<	0.0008	<	0.0008	<	0.0008	<	0.0008		
70	0.0067	<	0.0006	0.0151	0.023	0.036	0.0009	0.0009	0.0012	0.0010	<	<	<	<	<	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	0.0003	<	0.0008	0.0016	0.0017	<	0.0020	<	0.0007	<	0.0001	<	0.0001	<	0.0001	<	0.0001		
75	0.007	<	0.0006	0.0157	0.023	0.036	0.0009	0.0009	0.0012	0.0010	<	<	<	<	<	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	0.0003	<	0.0008	0.0017	0.0017	<	0.0021	<	0.0006	<	0.0001	<	0.0001	<	0.0001	<	0.0001		
80	0.007	<	0.0006	0.0160	0.023	0.036	0.0010	0.0010	0.0013	0.0010	<	<	<	<	<	<	0.0003	<	0.0003	<	0.0003	0.0003	<	0.0008	0.0017	0.0017	<	0.0021	<	0.0006	<	0.0001	<	0.0001	<	0.0001	<	0.0001		
90	0.0090	<	0.0004	0.0005	0.0181	0.026	0.040	0.0026	0.0002	0.0011	0.0004	<	<	<	<	<	<	0.0015	<	0.0004	<	0.0003	0.0003	<	0.0024	0.0024	0.0104	<	0.0059	<	0.0007	<	0.0007	<	0.0007	<	0.0007	<	0.0007	
95	0.0118	<	0.0005	0.0011	0.0186	0.031	0.091	0.0049	0.0005	0.0016	0.0015	0.0005	<	<	<	<	<	<	0.0025	<	0.0005	<	0.0005	0.0005	<	0.0131	0.0330	0.0379	<	0.0107	<	0.0113	<	0.0114	<	0.0114	<	0.0114	<	0.0114
99	0.0146	<	0.0005	0.0014	0.0187	0.034	0.151	0.0074	0.0005	0.0017	0.0021	0.0006	<	<	<	<	<	<	0.0036	<	0.0005	<	0.0003	0.0008	<	0.0255	0.0336	0.0584	<	0.0157	<	0.0211	<	0.0221	<	0.0221	<	0.0221	<	0.0221
100	<b>0.0153</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0014</b>	<b>0.0187</b>	<b>0.035</b>	<b>0.166</b>	<b>0.080</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.001</b>	<b>0.0017</b>	<b>0.0006</b>	<	<	<	<	<	<	<b>0.0036</b>	<	<b>0.0005</b>	<	<b>0.0003</b>	<b>0.0009</b>	<	<b>0.0253</b>	<b>0.0324</b>	<b>0.0584</b>	<	<b>0.0157</b>	<	<b>0.0211</b>	<	<b>0.0221</b>	<	<b>0.0221</b>	<	<b>0.0221</b>	<	<b>0.0221</b>	

	L PFOA	L PFNA	L PFHxS	L PFOS	Σ 4 Indikator	Σ gesamt
ng/m <sup>3</sup>						
Maximum	0,0153	0,0005	0,0014	0,0187	0,0349	0,1662
Mittelwert	<b>0,0060</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0117</b>	<b>0,0183</b>	<b>0,0371</b>
Median	<b>0,0057</b>	<	<b>0,0004</b>	<b>0,0137</b>	<b>0,0208</b>	<b>0,0285</b>
Perzentil 5	0,0024	<	<	0,0039	0,006	0,013
<b>10</b>	<b>0,0026</b>	<	<	<b>0,0049</b>	<b>0,008</b>	<b>0,014</b>
20	0,0033	<	<	0,0067	0,010	0,017
25	0,0035	<	<	0,0075	0,011	0,017
30	0,0036	<	0,0002	0,0078	0,012	0,021
40	0,0053	<	0,0003	0,0102	0,016	0,024
<b>50</b>	<b>0,0057</b>	<	<b>0,0004</b>	<b>0,0137</b>	<b>0,021</b>	<b>0,028</b>
60	0,0067	<	0,0006	0,0147	0,022	0,031
70	0,0067	<	0,0006	0,0151	0,023	0,036
75	0,0067	<	0,0006	0,0157	0,023	0,036
80	0,0069	0,0002	0,0007	0,0160	0,024	0,038
<b>90</b>	<b>0,0090</b>	<b>0,0004</b>	<b>0,0008</b>	<b>0,0181</b>	<b>0,028</b>	<b>0,040</b>
<b>95</b>	<b>0,0118</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0011</b>	<b>0,0186</b>	<b>0,031</b>	<b>0,091</b>
99	0,0146	0,0005	0,0014	0,0187	0,034	0,151
<b>100</b>	<b>0,0153</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0014</b>	<b>0,0187</b>	<b>0,035</b>	<b>0,166</b>

# Ergebnisse: Verteilung luftgetragener Feinstaub



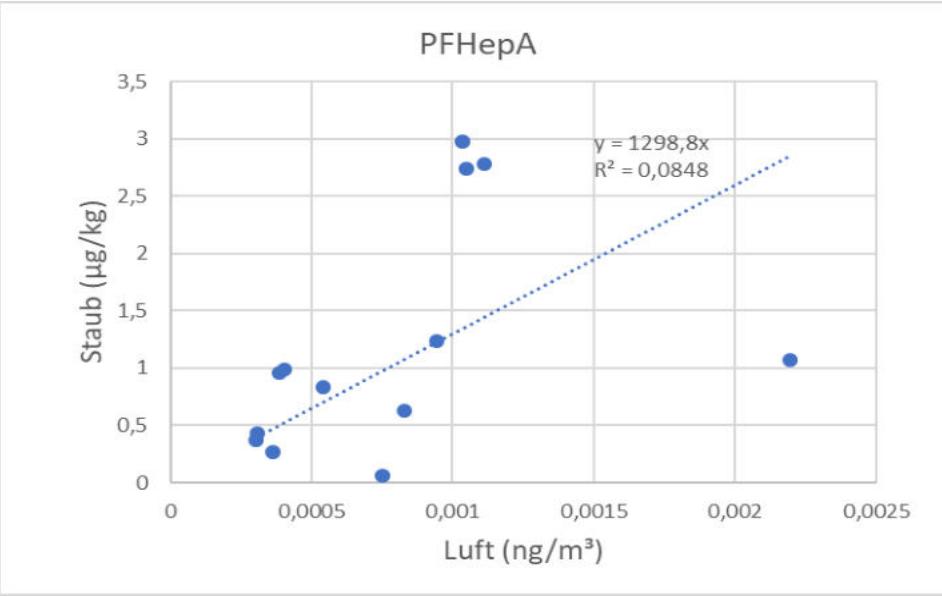
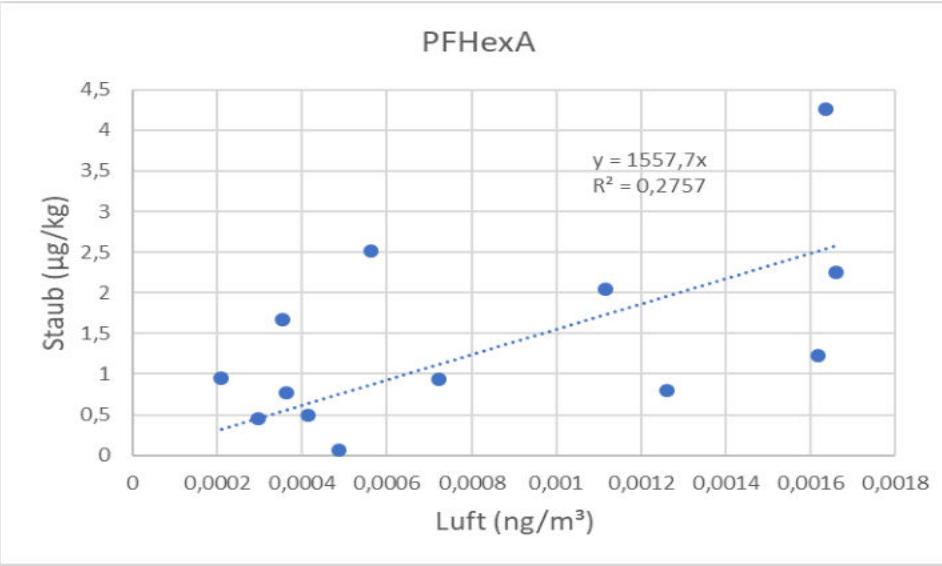
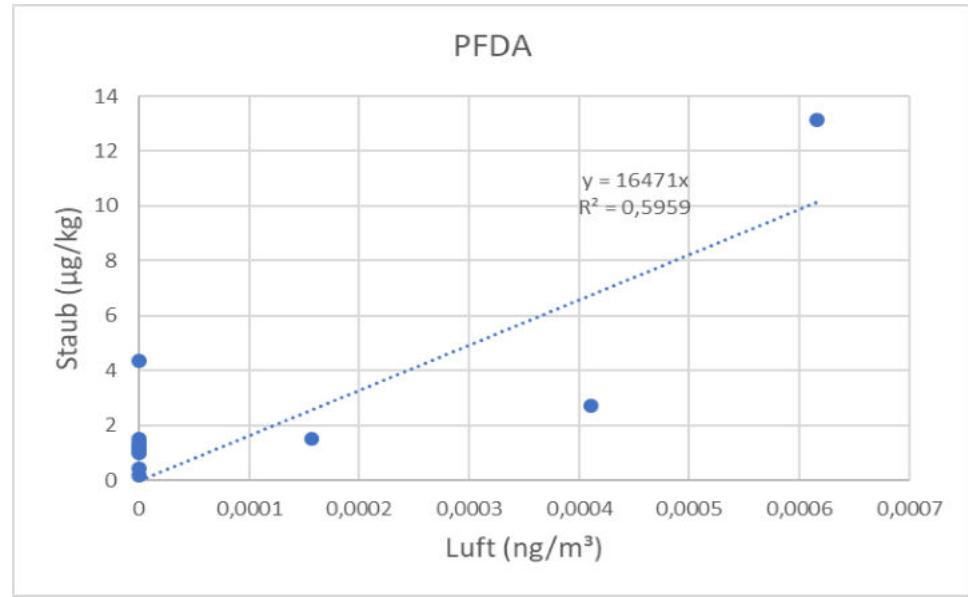
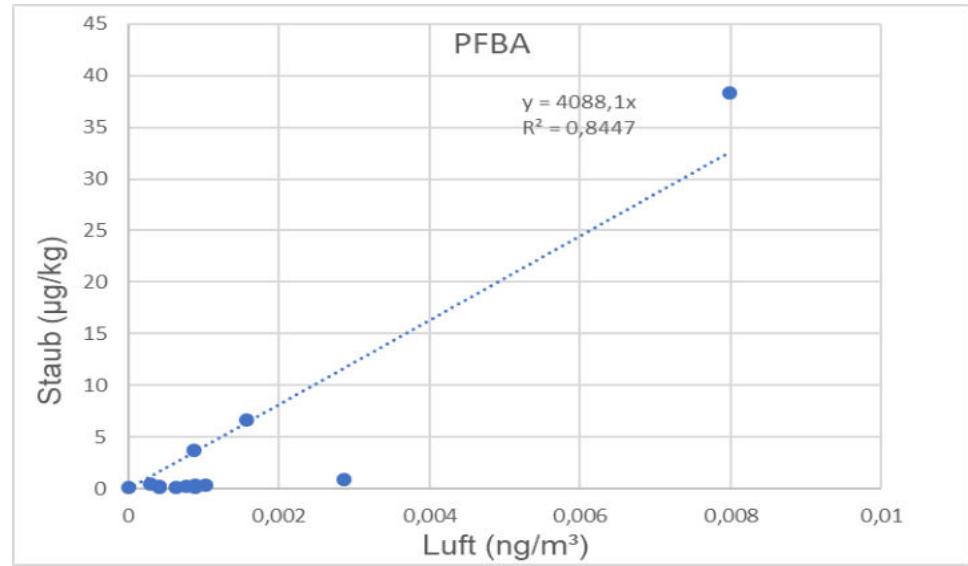


LABOR  
FRIEDEL  
GMBH

# Korrelation Gehalte im Hausstaub und Raumluft



**anbus**  
analytik gmbh  
Gesellschaft für  
Gebäudediagnostik  
Umweltanalytik und  
Umweltkommunikation





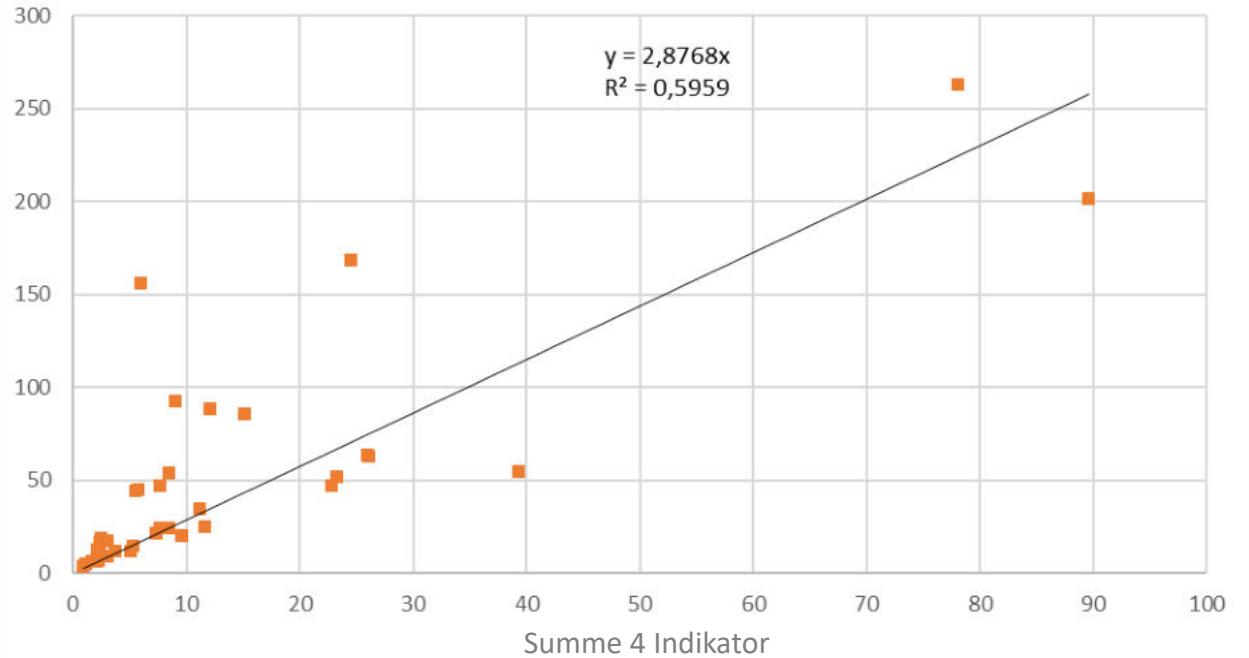
LABOR  
FRIEDEL  
GMBH

# Korrelation: $\Sigma$ 4 Indikatoren $\Sigma$ gesamt

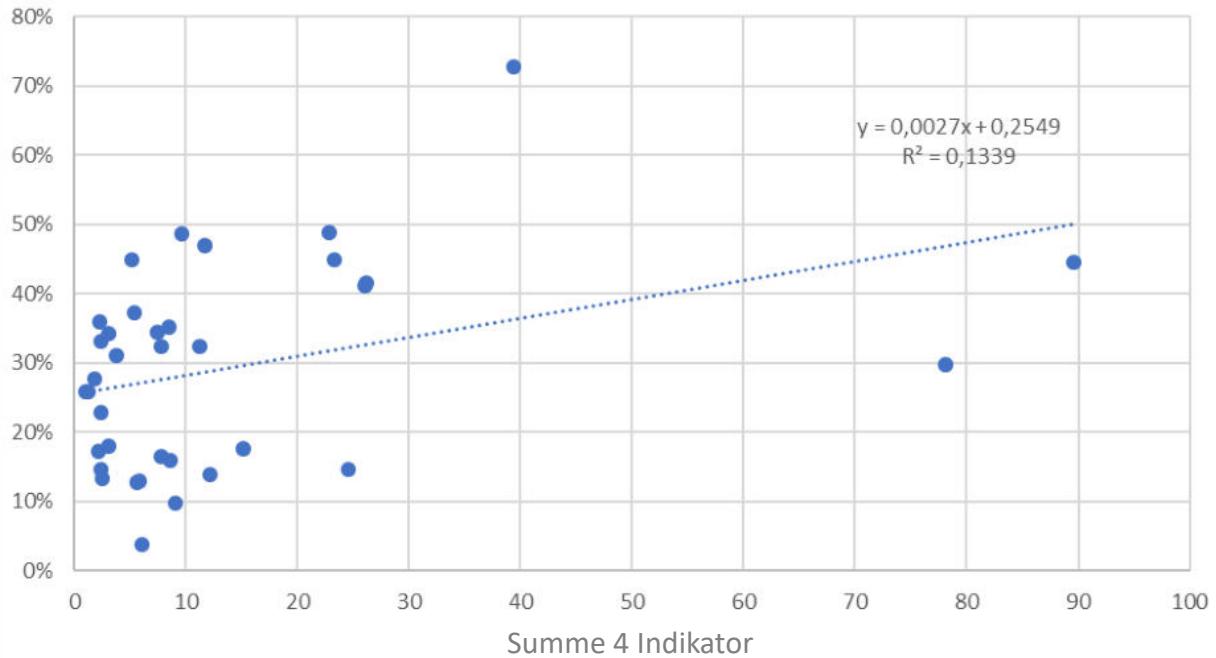


**anbus**  
analytik gmbh  
Gesellschaft für  
Gebäudediagnostik  
Umweltanalytik und  
Umweltkommunikation

Hausstaub:  $| \Sigma 4 \text{ Ind} / \Sigma \text{ ges.}$



Hausstaub: % Anteil  $\Sigma 4 \text{ Ind}$  an  $\Sigma \text{ ges.}$



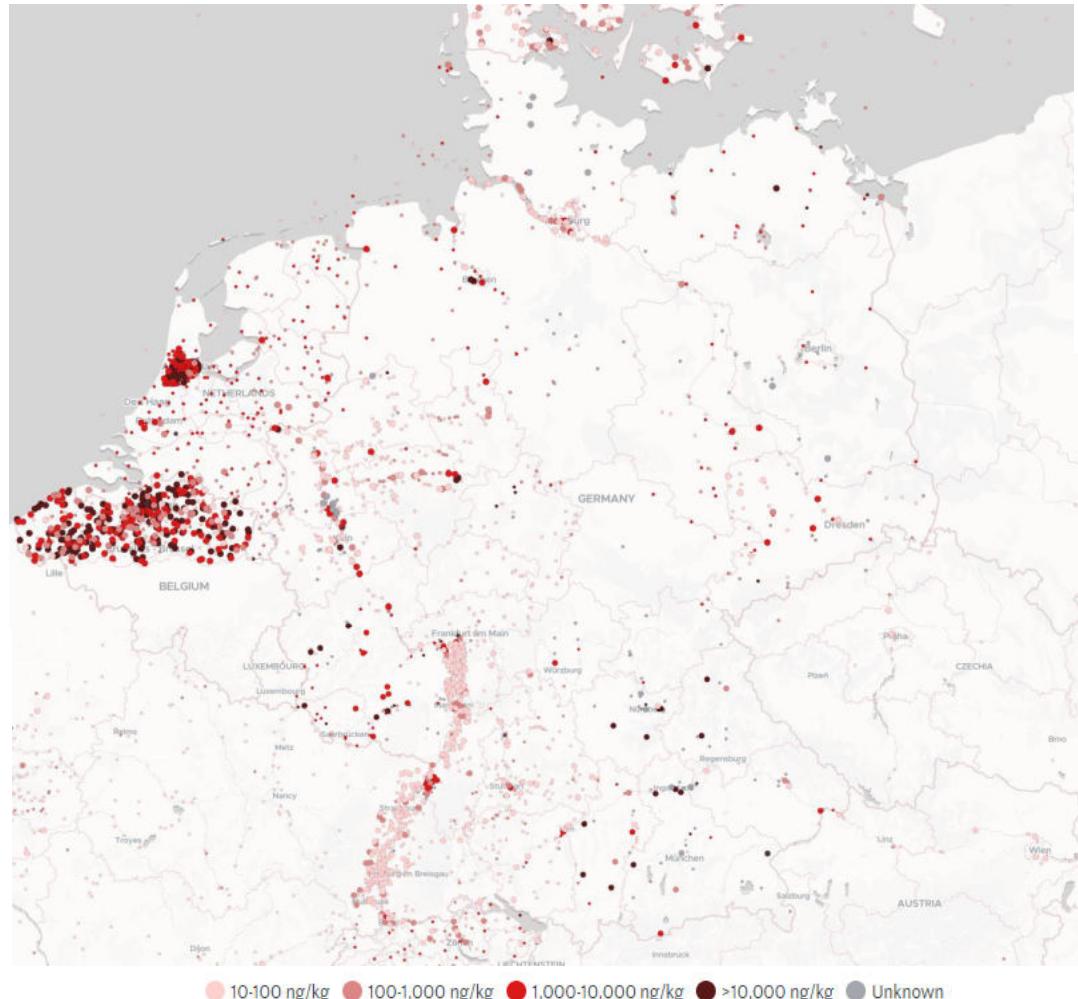
# PFAS

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen in Innenräumen

# Bewertung

30. WaBoLu-Innenraumtag, 30.05.2023, Berlin

# Einordnung: Bodenkontaminationen



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](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)

## The Forever Pollution Project

Journalists tracking PFAS across Europe

DATADISTA

Spain

Knack

Belgium

le Scienze

edizione italiana di Scientific American

Latvijas Radio

Latvia

Le Monde

France



Italy

NDR<sup>®</sup>

Germany



Greece

nrc

Netherlands

POLITIKEN

Denmark



Germany



Switzerland

The  
Guardian

United Kingdom



Netherlands



United Kingdom

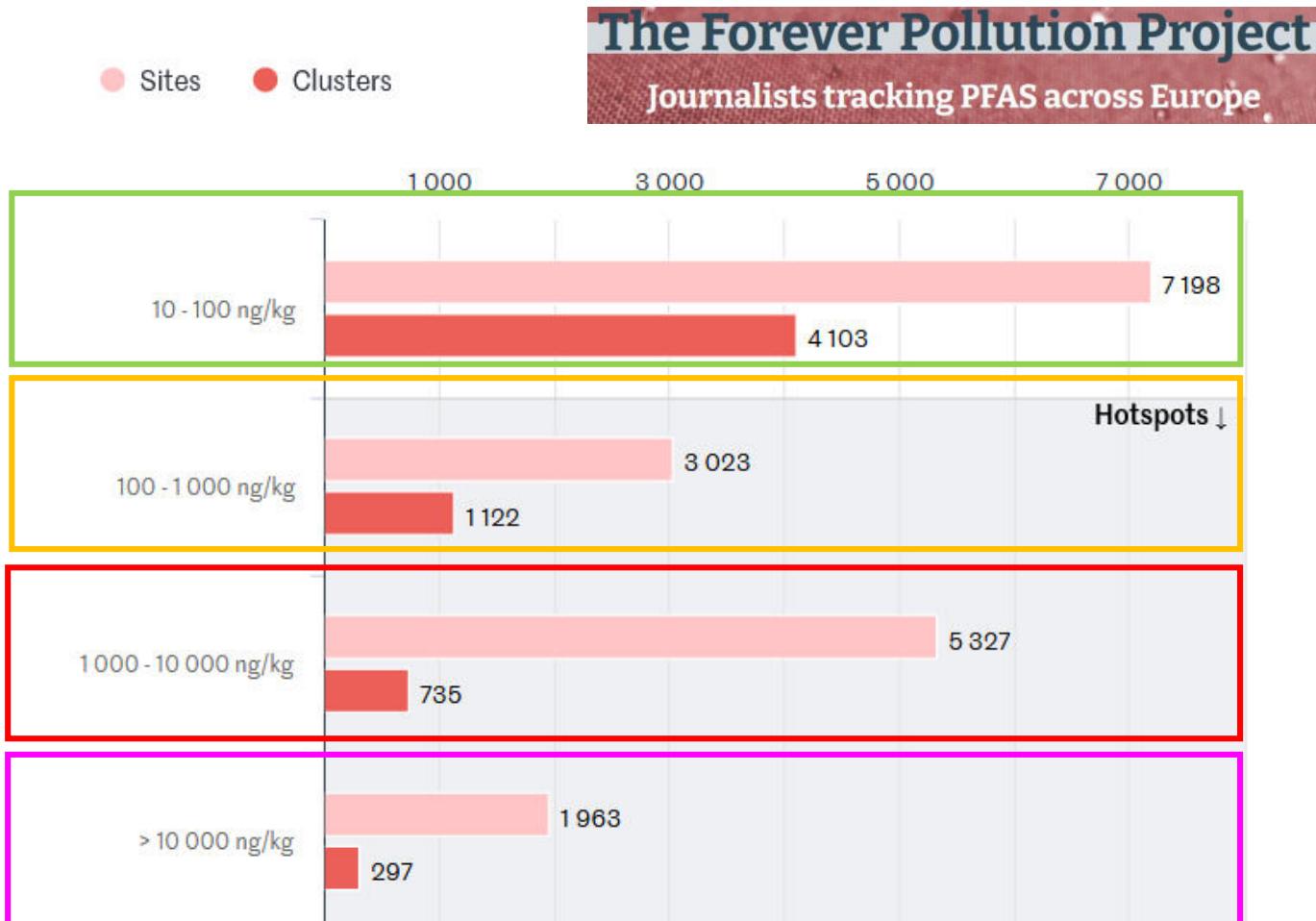


Germany

<https://foreverpollution.eu/>

# Einordung: Bodenkontaminationen

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



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

**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 - Schafe	0,30 1,0	0,80 0,20	0,20 0,20	0,20 0,20	1,3 1,6
Schlachtnahrungserzeugnis- se - 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
Beikost [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

# Aufgenommene Körperdosis Luft

## 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 <sup>3</sup>	0,031 ng/m <sup>3</sup>	0,028 ng/m <sup>3</sup>	0,021 ng/m <sup>3</sup>
Körpergewicht (KG)	70 kg	70 kg	70 kg	70 kg
Atemvolumen	20 m <sup>3</sup> /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?

# Aufgenommene Körperdosis Luft

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-esfa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>)

Körperdosis	MAX	95. Perzentil	90. Perzentil	50. Perzentil
Luftkonzentration	0,17 ng/m <sup>3</sup>	0,091 ng/m <sup>3</sup>	0,040 ng/m <sup>3</sup>	0,029 ng/m <sup>3</sup>
Körpergewicht (KG)	70 kg	70 kg	70 kg	70 kg
Atemvolumen	20 m <sup>3</sup> /d	20 m <sup>3</sup> /d	20 m <sup>3</sup> /d	20 m <sup>3</sup> /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.msdmanuals.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](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](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.

# Aufgenommene Körperdosis Staub

## 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

# Aufgenommene Körperdosis Staub

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-Innenraumtag, 30.05.2023, Berlin

- ✓ Erfassung der Hintergrundbelastung von PFAS in Hausstaub und luftgetragenem 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  $\Sigma$  (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS) decken nur etwa 1/3 der Gesamtsumme ab
- ✓ Die Hintergrundbelastung (Median) erstreckt sich von 10 µg/kg Staub für die 4 Indikator-PFAS bis 25 µg/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**

# Dank an die Studienbeteiligten

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 luftgetragenem 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!**