AGÖF-Orientierungswerte für den Hausstaub –

Ein Vorschlag für eine Aktualisierung,

Jörg Thumulla, Florian Schrettl, Bastian Berndl, Carmen Kroczek,
anbus analytik GmbH, Fürth

Zusammenfassung

Da Menschen den Großteil ihrer Zeit in Innenräumen verbringen, kommt der Belastung durch Schadstoffe in diesen Umgebungen besondere Bedeutung zu. Bauprodukte, Reinigungsmittel und andere Materialien können schwerflüchtige Substanzen wie Weichmacher, Flammschutzmittel, Biozide oder Duftstoffe freisetzen, die sich im Hausstaub anreichern. Hausstaub dient somit als wichtiger Indikator für die Innenraumbelastung. In diesem Beitrag soll eine erweiterte Herangehensweise zur statistischen Auswertung von Hausstaubergebnissen aufgezeigt werden und die Verteilung der Schadstoffkonzentration in anlassbezogenen und nicht anlassbezogenen Probenkohorten verglichen werden.

Schlüsselwörter: Hausstaub, Weichmacher, Flammschutzmittel, Biozide, Perzentile, Verteilungsfunktionen, Hintergrundbelastung, Hot-Spots

1. Hintergrund und Problemstellung

Hausstaub ist ein Sammelbecken für mittel- und schwerflüchtige Stoffe und hat damit für diese Substanzen in Innenräume Die Innenraumhygienische n eine wichtige Indikatorfunktion. Für die Durchführung von Hausstaubuntersuchungen hat die AGÖF den AGÖF-Leitfaden – Hausstaubuntersuchungen auf chemische Parameter - Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC) und Schwermetalle herausgegeben. Der Leitfaden „Hausstaubuntersuchungen auf chemische Parameter“ behandelt mögliche Fragestellungen, Untersuchungsstrategien, Probenahmetechniken, Aspekte der Aufbereitung und der Analytik der Proben im Labor sowie die Bewertung der erhaltenen Ergebnisse bei der Untersuchung chemischer Parameter im Oberflächenstaub aus Innenräumen (AGÖF 2020).

Für die Bewertung von Untersuchungsergebnissen von Hausstaub in Bezug auf die Expositionssituation ist es wichtig, ob die festgestellten Hausstaubbelastungen auf die allgemeine Hintergrundbelastung ohne Hinweis auf konkrete Quellen zurückzuführen sind oder auf konkrete Quellen und Hotspots hinweisen.

2. Die innenraumhygienische Bedeutung von Hausstaubuntersuchungen

Innenräume sind wesentliche Lebensumfelder für den Menschen. Einer Schadstoffminimierung bzw. -begrenzung in Innenräumen kommt daher eine hohe Bedeutung zu. Aus Bauprodukten,

Thumulla, Jörg (2026): AGÖF-Orientierungswerte für den Hausstaub –. Ein Vorschlag für eine Aktualisierung. Beitrag zum 14. Fachkongress 2026, Bremen, 25.09.2026. Hrsg. AGÖF. https://www.agoef.de/veranstaltungen/fachkongresse/14-fachkongress-2026/agoef-orientierungswerte-fuer-den-hausstaub
Beitrag zum 14. AGÖF-Fachkongress am 24. und 25. September 2026 in Bremen, „Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Gerüche, Asbest, PCB und weitere SVOC“

Reinigungsmitteln und anderen Innenraum-Materialien können zahlreiche, u.a. auch schwerflüchtige Schadstoffe austreten. In aller Regel handelt es sich um Additive, die in großem Umfang eingesetzt werden und die gesundheitsbedenklich sein können; zu den problematischen Stoffen gehören nach wie vor die Weichmacher, aber auch Flammschutzmittel oder Biozide und Duftstoffe.

Die Gesamtheit aller nicht-genetischen, endogenen wie exogenen Umwelteinflüsse, denen ein Individuum lebenslang ausgesetzt ist, wird als Exposom bezeichnet und repräsentiert die Summe aller lebenslangen Veränderungen der menschlichen Physiologie und Pathophysiologie durch Umweltfaktoren (Wild et al., 2005).

Einen Umweltrisikofaktor für die menschliche Gesundheit stellt die Exposition mit chemischen Schadstoffen dar. Da Menschen den Großteil ihrer Zeit in Innenräumen verbringen, kommt der Belastung durch Schadstoffe in diesen Umgebungen besondere Bedeutung zu. Im Hausstaub können sich mittel- bis schwerflüchtige chemische Schadstoffe anreichern. Hausstaub hat damit für die Detektion der für die im Exposom relevanten Umweltfaktoren in Innenräumen eine wichtige Indikatorfunktion. Unter ungünstigen Bedingungen kann Hausstaub selbst zur Quelle gesundheitlicher Belastung werden – insbesondere durch Einatmen oder orale Aufnahme, etwa bei Kleinkindern. Auch wenn die genaue Aufnahme noch schwer zu quantifizieren ist, belegen zahlreiche Studien entsprechende Effekte:

Auch wenn der Aufnahmemechanismus noch nicht genau quantifizierbar ist, konnten solche Effekte in früheren Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes nachgewiesen werden. So konnte im Rahmen der Pilotstudie GerES IV 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 et al. 2006).

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 (UBA GerES VI, 2023).

Die Metastudie von Lanphear et al. (1998) umfasst 18 epidemiologische Studien zur Korrelation von Blei im Hausstaub und im Blutserum von Kindern, davon wurden 12 Studien als auswertbar erachtet. Dabei wurde ein starker Zusammenhang zwischen erhöhten Konzentrationen von Blei im Staub und Blut gefunden. Der Aufnahmeweg wird dabei durch Hand zu Mund Aktivität bei Kindern postuliert. Es wurde keine einheitliche Methodik der Staubprobenahme angewandt.

Stapleton et al. (2012) untersuchten PBDE (PolyBromierteDiphenylEther) in Wischproben von Oberflächen, Hausstaubproben von Innenräumen und korrelieren den Gehalt mit den Blutgehalten der Bewohner*innen. Es wurde eine Korrelation zwischen dem Penta-BDE im Staub / auf den Wischtüchern und im Blut gefunden. Eine Aufnahme von PBDE`s durch Hand zu Mund Aktivität wird

aufgrund der Korrelation als wahrscheinlich eingestuft. Die Studie umfasste n = 83 Kinder aus variablen Haushalten in North Carolina USA.

Karlsson et al. (2007) haben sich in einer Studie mit der Frage nach einer Korrelation zwischen den Gehalten an BDE (BromierteDiphenylEther) in Staub, Luft und Blutplasma in Schweden anhand von 5 Haushalten befasst. Dabei wurde ein Zusammenhang zwischen der BDE-Summe im Hausstaub und im Blutplasma gefunden. Es wurde kein Zusammenhang bezüglich der Hauseigenschaften wie Bodenmaterial und Nutzung von elektrischen Geräten gefunden.

Johnson et al. (2013) haben einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition durch bromierte Flammschutzmittel (PolyBromierteDiphenylEther, PDBE) im Hausstaub und dem Hormonhaushalt von Männern untersucht. Dabei wurden Hinweise auf eine Korrelation zwischen der Staubkonzentration von PBDE`s in Innenräumen und einem veränderten Hormonvorkommen bei Männern gefunden. Die Studiengröße betrug n = 38 (n = 62 bei PentaBDE). Die Probanden wurden aus Paaren, welche wegen Unfruchtbarkeit in Behandlung waren, ausgewählt.

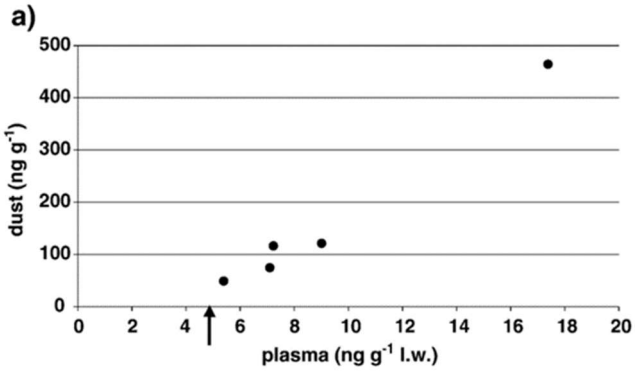


Abbildung 1: Korrelation zwischen Hausstaubgehalt und Blutplasmagehalt für PDBE, Quelle: nach Karlsson et al. 2007

Das BfR und UBA empfehlen 2008, den Einsatz von Organozinnverbindungen in Verbraucherprodukten weiter zu begrenzen (BfR und UBA, 2008). Über eine Expositionsabschätzung wurde festgestellt, dass die Ausschöpfung des TDI durch die Aufnahme eines Kleinkindes im typischen (=mittleren) Fall mit 2 % als gering anzusetzen ist. Bei worst case-Annahmen wird der TDI jedoch zu 78 % ausgeschöpft. Die Aufnahme von Hausstaub kann bei Kleinkindern daher zu einer hohen Auslastung des TDI führen.

Fromme et al. (2014) untersuchten in einer Studie Organophoshorverbindungen in Raumluft- und Staubproben aus 63 Kindertagesstätten in Deutschland sowie den Urin von 312 Kindern im Alter zwischen 22 und 80 Monaten, die diese Einrichtungen regelmäßig besuchten. Dabei wurde eine signifikante Korrelation zwischen den Staubkonzentrationen von Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP) und Tris-(2-butoxyethyl)phosphat (TBEP) sowie den jeweiligen Metabolitenkonzentrationen im Urin beobachtet. Insgesamt zeigt diese Studie, dass Kindertagesstätten Innenräume sind, die zur Exposition mit Organophosphorverbindungen beitragen.

3. Notwendigkeit der Aktualisierung der Hausstauborientierungswerte

Der Vergleich von Hausstaubstudien verschiedener Jahre zeigt, dass sich das Spektrum von Schadstoffen mit den Jahren ändert. Ursachen sind vor allem veränderte Produktionsweisen und Regulierungen. So wurden die Phthalate als Weichmachern in PVC-Produkten zunehmend durch Ersatzstoffe ersetzt. Die Folgen von Regulierungen sollen am Beispiel der Flammschutzmittel auf Phosphorsäureesterbasis der regulierten Substanz TCEP und der nicht regulierten Ersatzsubstanz TCPP dargestellt werden.

Tabelle 1:Vergleich ausgewählter Perzentile von TCEP zwischen 1997 und 2003

Projekt	AnBUS e.V. 1997 (Pöhner et. al. 1997)	Umweltsurvey für Kinder und Jugendliche 2003 (Thumulla et al. 2004)	GerES-VI 2023
Analyten / Perzentile	TCEP	TCEP	TCEP
10-% [µg·g^{-1}]	<BG	<NWG	<NWG
50-% [µg·g^{-1}] (Median)	0,6	0,16	<NWG
95-% [µg·g^{-1}]	7,6	3,6	0,49

Gemäß der REACH-Verordnung Anhang XVII darf TCEP seit dem 21.8.2015 zur Verwendung für die breite Öffentlichkeit, weder als Stoff, als Bestandteil anderer Stoffe oder in Gemischen, nicht mehr in Verkehr gebracht werden, wenn die Konzentration von TCEP oder die Summe der reproduktionstoxischen Stoffe (Kat. 1B) die Konzentration von 0,3 % überschreitet

Tabelle 2:Vergleich ausgewählter Perzentile von TCPP zwischen Studien

Projekt	Interlaborstudie (Ingerowski et. al 2001)	Umweltsurvey für Kinder und Jugendliche 2003 (Thumulla et al. 2004)	GerES-VI 2023
Analyten / Perzentile	TCPP	TCPP	TCPP
10-% [µg·g^{-1}]	<BG	< BG	0,61
50-% [µg·g^{-1}] (Median)	0,52	0,56	1,6
95-% [µg·g^{-1}]	3,1	11	8,9

TCPP wird als Ersatzprodukt für TCEP eingesetzt. Dies spiegelt sich im zeitlichen Verlauf der Konzentration im Hausstaub wider, während die Konzentration von TCEP im zeitlichen Verlauf deutlich abnimmt, nimmt die Konzentration von TCPP deutlich zu.

4. Verfahren zur Ableitung von Orientierungswerten für den Hausstaub

4.1 Die Verteilungsfunktionen des Gehalts von Hausstaubinhaltstoffen

Für die Bewertung von Untersuchungsergebnissen von Hausstaub in Bezug auf die Expositionssituation ist es wichtig zu wissen, ob die festgestellten Hausstaubbelastungen auf die allgemeine Hintergrundbelastung ohne Hinweis auf konkrete Quellen zurückzuführen sind oder auf konkrete Quellen und Hotspots hinweisen.

Häufig werden in der Umweltanalytik Perzentile zur Beurteilung von Belastungen herangezogen, um Belastungssituationen von der ubiquitären Hintergrundbelastung zu unterscheiden. Diese Herangehensweise kann jedoch zu einer verzerrten Risikobewertung führen, weil Perzentile nur unter der Annahme einer Normalverteilung statistisch aussagekräftig sind.

Im Rahmen der GerES VI Studie (Thumulla et. al. Umweltbundesamt (UBA). Vorhaben des GerES (2023-2024)) wurden nicht anlassbezogene Proben auf Phthalate, Flammschutzmittel und deren Ersatzstoffe untersucht. Diese wurden statistisch ausgewertet und werden im Folgenden mit anlassbezogenen Proben von AGÖF-Instituten im Zeitraum von 2017 bis 2025 verglichen. Bereits im GerES VI Bericht wird auf die mögliche statistische Auswertung jenseits der standardmäßig genutzten Perzentile hingewiesen.

Die folgenden Auswertungen zeigen mit der graphischen Darstellung beispielhafter Verteilungsfunktionen, dass die Belastungssituationen für die untersuchten Substanzen nicht lognormalverteilt sind, nur die Hintergrundkonzentrationen folgen einer Lognormalverteilung. Mehrere überlagernde Verteilungen basierend auf den speziellen Quellsituationen sind erkennbar.

Di(2-ethylhexyl)terephthalat

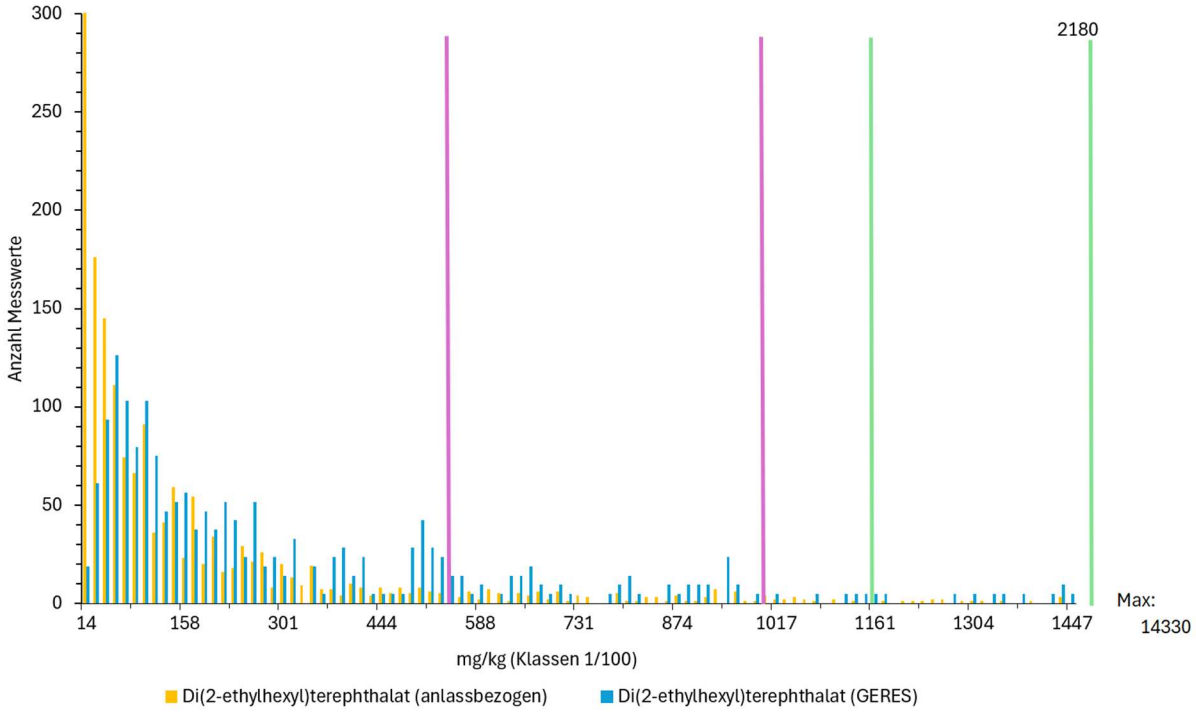


Abbildung 2: Verteilungsfunktion bis 10% des Maximalwertes für DEHT mit dem 90% und 95% Perzentil für die anlassbezogenen (pink) und GerES (grün) Proben

Die Darstellung der Verteilungsfunktionen zeigen, dass die Perzentile der nicht anlassbezogenen Kohorte höher liegen als die der anlassbezogenen Kohorte. Dies kann darauf zurückgeführt wurden, dass die Proben aus dem GerES 2023-2024 neuer sind als die anlassbezogenen Proben, die bis zum Jahr 2017 zurückreichen. Es ist davon auszugehen, dass DEHT als Alternativweichmacher erst seit jüngerer Zeit verstärkt eingesetzt wird.

Diisononylphthalate

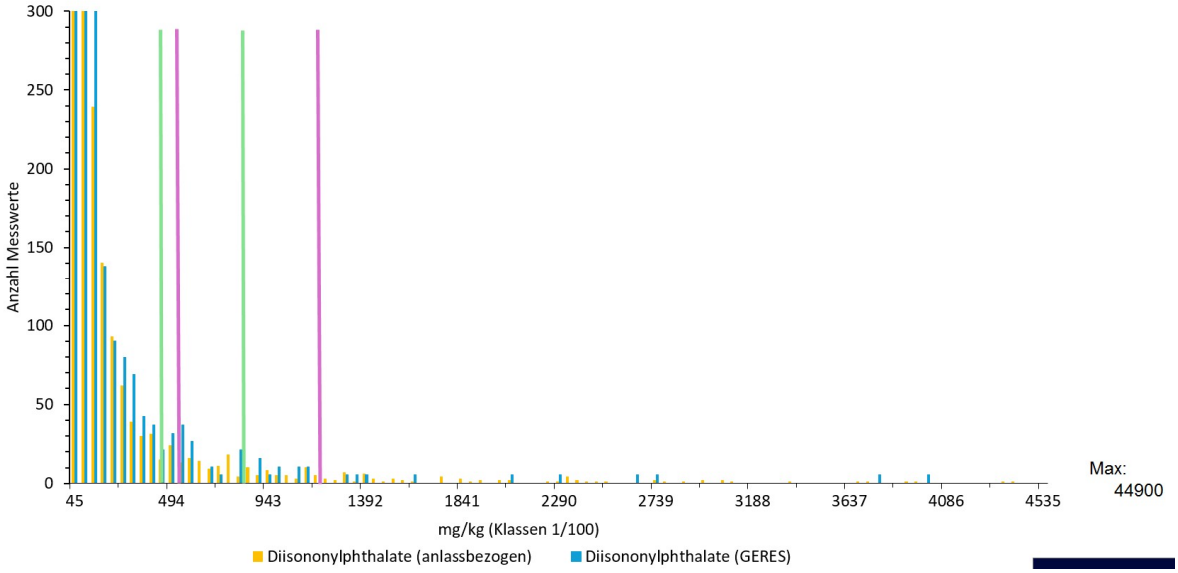


Abbildung 3: Verteilungsfunktion bis 10% des Maximalwertes für DINP mit dem 90% und 95% Perzentil für die anlassbezogenen (pink) und GerES (grün) Proben

Bei Diisononylphthalaten liegen 90 und 95 Perzentil für anlassbezogene und nicht anlassbezogene Kohorte sehr nahe beisammen. Dies kann damit zusammenhängen, dass kaum Hausstaubproben mit Verdacht auf Diisononylphthalate untersucht wurden.

Di(2-ethylhexyl)phthalat

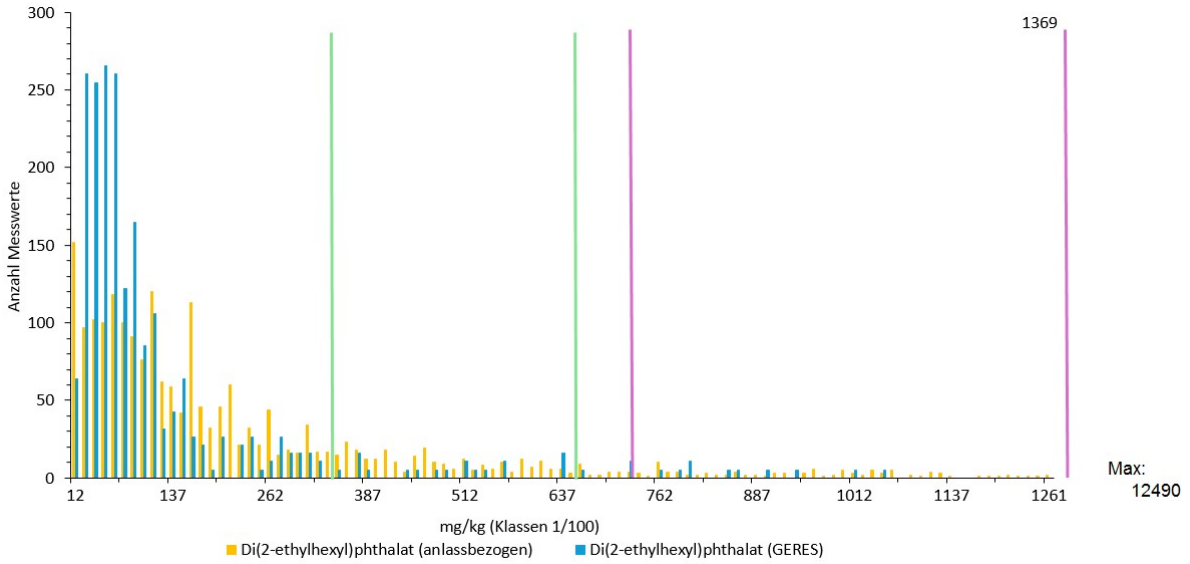


Abbildung 4: Verteilungsfunktion bis 10% des Maximalwertes für DEHP mit dem 90% und 95% Perzentil für die anlassbezogenen (pink) und GerES (grün) Proben

Bei Di(2-ethylhexyl)phthalat liegen die Lognormalverteilungen für die Hintergrundbelastung weitgehend übereinander. Die Perzentile liegen für die anlassbezogenen Proben erheblich höher. Eine Erklärung kann sein, dass DEHP nur bis 2015 in Fußbodenbelägen eingesetzt wurde und daher Quellensituationen bei der GerES Studie anders als bei Di(2-ethylhexyl)terephthalat sehr viel geringer ins Gewicht gefallen sind als bei den anlassbezogenen Proben.

Tris-(2-butoxyethyl)-phosphat

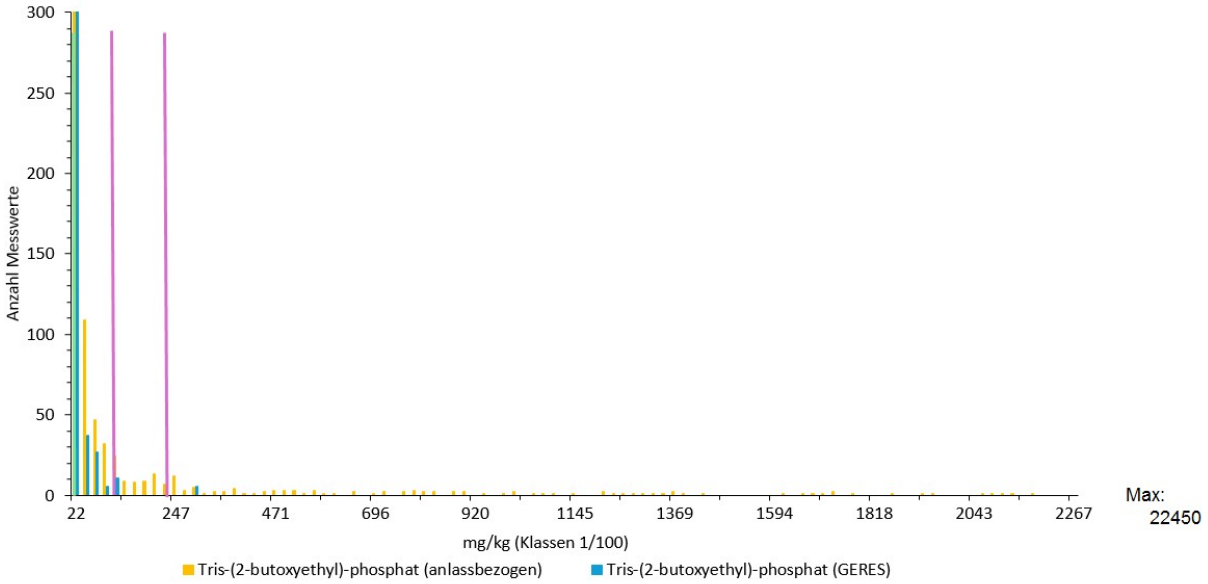


Abbildung 5: Verteilungsfunktion bis 10% des Maximalwertes für TBEP mit dem 90% und 95% Perzentil für die anlassbezogenen (pink) und GerES (grün) Proben

Auch bei Tris-(2-butoxyethyl)-phosphat sind das 90. und 95. Perzentil der anlassbezogenen Kohorte deutlich höher. Eine Erklärung kann hier sein, dass die GerES Proben ausschließlich aus Wohnräumen gewonnen wurden und TBEP in rutschhemmenden Pflegeversiegelungen für glatte Bodenbeläge bevorzugt in öffentlichen Gebäuden eingesetzt wird.

Anhand dieser Verteilungsfunktionen lassen sich bei den meisten Verbindungen zwei Bereiche unterteilen. Im niedrigen Konzentrations-Bereich lassen sich die Daten bei optischer Betrachtung als angenähert lognormal verteilt interpretieren. Festgestellte Hausstaubbelastungen in diesem Bereich dürften auf die allgemeine Hintergrundbelastung zurückzuführen sein, ohne dass sich zwangsläufig Hinweise auf konkrete Quellen im Innenraum ergeben.
Oberhalb dieses Bereiches folgen Analysenwerte, die offensichtlich nicht mehr normalverteilt sind, und nicht mehr auf die allgemeine Hintergrundbelastung zurückzuführen sind, sondern auf konkrete Quellen und Hotspots im Einzelfall hinweisen.
Vergleicht man für die unterschiedlichen Substanzen, ab welchem Prozentsatz des Höchstwertes die Messwerte nicht mehr durch eine Lognormalverteilung erklärt werden können, sind hier deutliche Unterschiede festzustellen.

5. Fazit

Die zeitliche Veränderung der Gehalte von Staubinhaltsstoffen durch Produktionsänderung oder Regulierung macht eine Aktualisierung der AGÖF-Hausstauborientierungswerte notwendig. Der Vergleich zwischen der nicht anlassbezogenen Kohorte des GerES VI und der anlassbezogenen Kohorte

zeigt, dass sich das Merkmal „anlassbezogen“ weniger auf die Verteilungsfunktion auswirkt als andere Merkmale, insbesondere das Alter der Proben. Um die AGÖF-Hausstauborientierungswerte aktuell zu halten ist es damit gerechtfertigt auch auf anlassbezogene Proben zurückzugreifen.

Betrachtet man die Verteilungsfunktionen beider Kohorten, stellt man fest, dass die Hintergrundkonzentrationen einer Lognormalverteilung folgen, die die Quellsituationen nicht beschreibt. Quellsituationen spiegeln sich dagegen in mehreren überlagernden Verteilungen wider. Vor diesem Hintergrund ist geplant bei der Ableitung der neuen AGÖF-Hausstauborientierungswerte nicht nur statische Perzentile heranzuziehen, sondern die Verteilungsfunktionen zu analysieren um die Hintergrundbelastung von typischen Quellsituationen zu unterscheiden.

6. Literaturverzeichnis

AGÖF 2020 (Hrsg.): AGÖF-Leitfaden – Hausstaubuntersuchungen auf chemische Parameter - Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC) und Schwermetalle, https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEF-Leitfaden-Hausstaubuntersuchungen-final-2020.pdf

Becker K, Seiwert M, Angerer J, Kolossa-Gehring M, Hoppe HW, 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.

BfR. (2018), 21. Sitzung der BfR-Kommission für kosmetische Mittel. https://www.bfr.bund.de/cm/343/21-sitzung-der-bfr-kommission-fuer-kosmetische-mittel.pdf (31.07.25)

Bundesamt für Risikobewertung (BfR) und Umweltbundesamt: BfR und UBA empfehlen, den Einsatz von Organozinnverbindungen in Verbraucherprodukten weiter zu begrenzen - Aktualisierte gemeinsame Stellungnahme* Nr. 032/2008 des UBA und des BfR (2008), https://www.bfr.bund.de/cm/343/bfr_und_uba_empfehlen_den_einsatz_von_organozinnverbindungen_in_verbraucherprodukten_weiter_zu_begrenzen.pdf (04.08.25)

Fromme H, et. al. Organophosphate flame retardants and plasticizers in the air and dust in German daycare centers and human biomonitoring in visiting children (LUPE 3), Environment International 71 (2014) 158–163, https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.06.016.

Ingerowski G, Friedle A, Thumulla J. Chlorinated ethyl and isopropyl phosphoric acid triesters in the indoor environment--an inter-laboratory exposure study, Comparative Study, Indoor Air, (2001);11(3):145-9. doi: 10.1034/j.1600-0668.2001.011003145.x.

Johnson PI, Stapleton HM, Mukherjee B, Hauser R, Meeker JD. Associations between brominated flame retardants in house dust and hormone levels in men. Sci Total Environ. 2013 Feb 15;445-446:177-84. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.12.017.

Karlsson M, Julander A, van Bavel B, Hardell L. Levels of brominated flame retardants in blood in relation to levels in household ai and dust in household air and dust. Environment International 33 (2007) 62–69.

Lanphear BP, Matte TD, Rogers J, Clickner RP, Dietz B, Bornschein RL, Succop P, Mahaffey KR, Dixon S, Galke W, et al.: The Contribution of Lead-Contaminated House Dust and Residential Soil to Children's Blood Lead Levels: A Pooled Analysis of 12 Epidemiologic Studies. Environ Res (1998), 79:51–68.

Stapelton HM, Klosterhaus S, Eagle S, Fuh J, Meeker JD, Blum A, Watkins D, McClean MD, Webster TF: IDENTIFICATION OF TRIS(1,3-DICHLORO-2-PROPYL)PHOSPHATE AND OTHER ORGANOPHOSPHATE FLAME RETARDANTS IN U.S. INDOOR ENVIRONMENTS. Organohalogen Compounds Vol. 71 (2009), page 001566.

Pöhner A, Simrock S, Thumulla J, Weber S, Wirkner T. Hintergrundbelastung des Hausstaubes von Privathaushalten mit mittel- und schwerflüchtigen organischen Schadstoffen, Analyse und Bewertung von Umweltschadstoffen (AnBUS) e.V., Rudolf-Breitscheid-Straße 49, Fürth, (1997).

Thumulla J, Friedle A. Umweltsurvey für Kinder und Jugendliche – Pilotphase Teilvorhaben 4: Biozide, Flammschutzmittel und Weichmacher im Hausstaub, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Förderkennzeichen 201 62 212/04 (2004).

Thumulla J., Kroczek C., Schrettl F., Friedle A., Nitsopoulos A.: Umweltbundesamt (UBA). Vorhaben des GerES (2023-2024) Untersuchung von Hausstaub auf Phthalate, Ersatzstoffe für Phthalate und Flammschutzmittel sowie die Identifizierung neuerer Stoffe (z.B. schwererflüchtige Duftstoffe), Forschungskennzahl 3718 61 201 0.

Umweltbundesamt (UBA). Öffentliche Leistungsbeschreibung Thema: „Vorhaben des GerES (2023-2024): Untersuchung von Hausstaub auf Phthalate, Ersatzstoffe für Phthalate und Flammschutzmittel sowie die Identifizierung neuerer Stoffe (z.B. Biozide, schwerer flüchtige Duftstoffe)“ (2023) Förderkennzeichen 3718 61 201 0.

Wild CP. Complementing the genome with an "exposome": the outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev. (2005) Aug;14(8):1847-50. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-05-0456.