



ARBEITSGEMEINSCHAFT  
ÖKOLOGISCHER  
FORSCHUNGSINSTITUTE e.V.

---

## **AGÖF-LEITFADEN**

# **HAUSSTAUBUNTERSUCHUNGEN AUF CHEMISCHE PARAMETER (SVOC, Schwermetalle, POM)**

***ENTWURF***

**EINSPRUCHSFRIST BIS 31.03.2020**

**VERSION : 12.09.2019**

---

**Dieser Leitfaden-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Stellungnahme vorgelegt.**

**Stellungnahmen werden erbeten bis 31.03.2020 an den Herausgeber.**

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung auch von Teilen außerhalb des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V. unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Autoren, Herausgeber und Verlag, redaktionelle Mitarbeiter und Herstellungsbetriebe haben das Werk nach bestem Wissen und mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Inhaltliche und technische Fehler sind jedoch nicht vollständig auszuschließen.

© 2019 Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V., Springe-Eldagsen

**HERAUSGEBER:**

Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.  
Energie- und Umweltzentrum 1  
31832 Springe-Eldagsen  
Tel.: 05044/ 9 75 75  
Fax: 05044/ 9 75 77  
Email: [info@agoef.de](mailto:info@agoef.de)  
Internet: [www.agoef.de](http://www.agoef.de)

## **AUTORENVERZEICHNIS**

In alphabetischer Reihenfolge

**Sabine BECKER**

(ALAB GmbH, Berlin)

**Elke BRUNS-TOBER**

(Umwelt- und Gesundheitsinstitut Bruns-Tober, Wittingen)

**Sunhild VON CARLOWITZ**

(PMA - Perimedizinische Analytik Sindelfingen GmbH)

**Frank HARTMANN**

(Wartig Nord GmbH)

**Michael KÖHLER**

(Bremer Umweltinstitut GmbH)

**Wigbert MARAUN**

(ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel)

**Bernd SCHIFFER**

(WARTIG Chemieberatung GmbH)

**Renate SEYFERT**

(Lafu - Labor für chemische und mikrobiologische Analytik GmbH)

**Jörg THUMULLA**

(anbus analytik GmbH, Fürth)

**Thomas WIRKNER †**

(Analytik Aurachtal GmbH)

**Gary ZÖRNER**

(Lafu - Labor für chemische und mikrobiologische Analytik GmbH)

## Inhalt

1	EINLEITUNG .....	6
2	ANWENDUNGSBEREICH.....	7
3	GRUNDLAGEN .....	8
3.1	BEGRIFFSBESTIMMUNGEN .....	8
3.2	Grenzen, Fehlerbetrachtung.....	9
3.3	Reproduzierbarkeit von Hausstaubuntersuchungen .....	10
4	ZIELE VON HAUSSTAUBUNTERSUCHUNGEN.....	11
4.1	Prüfen auf Schadstoffbelastungen in genutzten Innenräumen .....	11
4.2	Quellensuche.....	12
4.3	Toxikologische Beurteilung von staubgetragenen Schadstoffbelastungen.....	12
4.4	Kontrolluntersuchungen nach Schädlingsbekämpfung .....	13
4.5	Sanierungszielkontrolle .....	13
4.6	Arbeitsschutz / Gefährdungsabschätzung für Arbeiten in kontaminierten Bereichen.....	13
4.6.1	Liegestäube in holzschutzmittelkontaminierten Dachböden.....	14
5	MESSSTRATEGIE.....	14
5.1	Prüfen auf Schadstoffbelastungen in genutzten Innenräumen .....	14
5.2	Quellensuche.....	14
5.3	Messziel Toxikologie.....	15
5.4	Kontrolluntersuchung nach Schädlingsbekämpfung.....	15
5.5	Sanierungszielkontrolle .....	15
5.6	Arbeitsschutz .....	16
6	PROBENAHMETECHNIKEN .....	16
6.1	Probenahmetechniken .....	16
6.1.1	Probenahme durch Saugen mit Staubbeutel .....	16
6.1.2	Probenahme durch Saugen mit vorgeschaltetem Planfilter .....	17
6.1.3	Probenahme durch Kehren.....	17
6.2	Probenahmeprotokoll (Musterformular).....	17
7	ANALYTIK.....	18
7.1	Analytik/ Untersuchungstrategien.....	18
7.2	Analyseverfahren.....	18
7.2.1	Probenvorbereitung .....	18
7.2.2	Analysegeräte .....	19
7.3	Qualitätssicherung.....	19
7.4	Analysenbericht/Laborbericht .....	19
8	BEWERTUNG.....	20
8.1	AGÖF- Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub .....	20
8.1.1	Allgemeines .....	20

8.1.2	Vorläufige AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub.....	21
8.1.3	Metalle .....	25
8.2	Bewertung von Schadstoffbelastungen in Hausstaub: Studien des Umweltbundesamtes.....	25
8.2.1	Umwelt-Survey 1998: Band V Hausstaub – Stoffgehalte im Hausstaub aus Haushalten der Bevölkerung in Deutschland (WaBoLu 05/04) .....	25
8.2.2	Kinder-Umwelt-Survey 2003/06 -KUS-; Hausstaub - Stoffgehalte im Hausstaub aus Haushalten mit Kindern in Deutschland (WaBoLu 02/08) .....	25
8.2.3	Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit, GerES 2014-2017.....	27
8.3	Toxikologische Ansätze.....	27
8.4	Arbeitsschutz.....	28
8.4.1	Teerprodukte als Baustoffe .....	29
9	GUTACHTEN BZW UNTERSUCHUNGSBERICHT.....	31
10	LITERATUR .....	32
11	ANHANG .....	34

# 1 EINLEITUNG

Eine Vielzahl von Schadstoffen in Gebäuden entstammt dem mittel- bis schwerflüchtigen Bereich und lagert sich im Wesentlichen an den Staubpartikeln an. Somit gilt der Hausstaub – ähnlich wie Klärschlamm oder Sediment - als Senke für viele Chemikalien. Mit seiner Analyse lässt sich aufzeigen, welchen mittel- und schwerflüchtigen Substanzen die Bevölkerung ausgesetzt ist. Die im Hausstaub ermittelten Konzentrationen können somit als Indikator für die Exposition der Bevölkerung mit Schadstoffen betrachtet werden.<sup>1</sup>

Mit der Aufnahme von Hausstaub durch die Raumnutzer gelangen an und in den Staubpartikeln befindlichen Schadstoffe in den Organismus. Babys und Kleinkinder sind in vielerlei Hinsicht vermehrt betroffen. Sie befinden sich näher am Boden und nehmen den abgelagerten Staub eher durch Einatmen und auch durch Hand- und Mundkontakt mit Spielzeugen auf. Durch eine schnellere Stoffwechselrate und eine größere Oberfläche im Vergleich zu Erwachsenen sind sie in besonderem Maße gegenüber den toxischen Wirkungen von Umweltschadstoffen empfindlich.

Im Kinder-Umwelt-Survey 2003/06 Hausstaub - KUS und weiteren Studien konnte ein Zusammenhang zwischen der Hausstaubkonzentration einzelner Substanzen und der in den Körper aufgenommenen Dosis nachgewiesen werden. Eine toxikologische Bewertung der dermalen und oralen Aufnahme von Schadstoffen über den Hausstaub bis hin zur Ableitung von Handlungsempfehlungen ist bisher nicht erfolgt.

Die Untersuchung von Hausstaub erfolgt häufig mit Screeningverfahren (Erläuterung Kapitel 7), um Belastungen mit schwerer flüchtigen organischen Substanzen in Innenräumen detektieren zu können. Sie dient der Überprüfung bzw. des Nachweises von Verdachtssubstanzen, der Feststellung von Auffälligkeiten und bietet wertvolle Aussagen im Bereich der Sanierungskontrolle. Darüber hinaus bietet sie die Möglichkeiten eines Umweltmonitorings, mit dem die Freisetzung neuer technischer Substanzen im Innenraum- und Wohnbereich verfolgt und neue potentielle Problemsubstanzen entdeckt werden können.

Der Entwurf zum AGÖF-Leitfaden „Hausstaubuntersuchungen auf chemische Parameter“ behandelt die Themen Anwendungsbereiche, Grundlagen, Begriffsbestimmungen und Ziele von Hausstaubuntersuchungen. Der Anwendungsbereich des Leitfadens umfasst die staubgebundenen Substanzen der mittel bis schwerflüchtige SVOC (im Folgenden als *PBM – particulate bounded matter* – bezeichnet) und Schwermetalle. Erläutert werden die Bereiche Messstrategien und Probenahmetechniken, weitere Kapitel bieten Fachinformationen zu den Themen Analytik und Bewertungen.

Leider findet die Thematik der mittel- und schwerflüchtigen organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub immer noch viel zu wenig Aufmerksamkeit in der Fachöffentlichkeit und im Bereich Forschung- und Entwicklung. Aus Sicht der AGÖF besteht im Hinblick auf das Vorkommen verschiedenster schwerer flüchtiger Schadstoffe im Hausstaub weiterhin Forschungsbedarf. Auch im Bereich der toxikologischen Bewertung von Staub sieht die AGÖF erheblichen Handlungsbedarf.

Mit Erstellung des Leitfadens soll dem Sachverständigen Hilfestellungen zur Durchführung und Bewertung von Staubuntersuchungen geboten werden, insbesondere da eine Regelungslücke entstanden ist, nachdem die VDI 4300 Blatt 8:2001-06 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Probenahme von Hausstaub“ zurückgezogen wurde.

---

<sup>1</sup> M. Uhl, P. Hohenblum, S. Scharf, C. Trimbacher, Umweltbundesamt, HAUSSTAUB – EIN INDIKATOR FÜR INNENRAUMBELASTUNG BERICHTE BE-258, Wien, 2004.

Nicht enthalten im Leitfaden sind die „AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub“<sup>2</sup>. Diese wurden im Jahr 2004 erstmals zusammen mit den „AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft“ veröffentlicht.<sup>3</sup>

Erstere wurden im Jahr 2007 überarbeitet, allerdings handelt es sich bei der aktualisierten Datenbasis der "Vorläufigen AGÖF-Orientierungswerte Hausstaub" überwiegend um zugeschickte Proben, so dass die Dokumentation der Probenahmen nicht vergleichbar ist mit der Dokumentation der Erhebung für die VOC-Werte. Die Standardisierung der Probenahme ist damit nicht in gleichem Umfang gesichert.<sup>4</sup>

## 2 ANWENDUNGSBEREICH

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.

Unter dem Begriff „Innenräume“ fallen „alle Räume von Wohnungen, Arbeitsräume bzw. Arbeitsplätze in Gebäuden, die nicht arbeitsschutzrechtlichen Kontrollen unterliegen, öffentliche Gebäude sowie Fahrgasträume von Kraftfahrzeugen und allen öffentlichen Verkehrsmitteln“ (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, 1987).

Gegenstand dieses Leitfadens ist sowohl die Entnahme von Stäuben, die Partikel aus Primärquellen enthalten (primär belastete Stäube), als auch von sekundär belasteten Stäuben. Damit wird die Probenahme von primär, sekundär und nicht- belasteten Flächen beschrieben.

Der Leitfaden gilt nur für die Untersuchung des Hausstaubes auf chemische Parameter wie mittel- bis schwerflüchtige organische Verbindungen oder Schwermetalle, im Folgenden unter dem Begriff *PBM* zusammengefasst. Behandelt werden ausschließlich aktive Probenahmetechniken.

Nicht Gegenstände dieses Leitfadens ist die Untersuchung von:

- nicht sedimentiertem Schwebstaub oder Feinstaub,
- biogenen Partikeln,
- gesundheitsschädlichen Fasern in Stäuben,
- metallischem Quecksilber,
- flüchtigen und sehr flüchtigen organischen Substanzen, die in der Raumluft eher nicht partikelgebunden vorkommen,
- die passive Beprobung durch Sammlung von Depositionsstaub auf inerten Oberflächen.

Das vorliegende Dokument soll dem Sachverständigen Hilfestellungen für die Bewertung der ermittelten

---

<sup>2</sup> AGÖF (2004/2007): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub, <https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-hausstaub-orientierungswerte-2007.html> (12.09.2019)

<sup>3</sup> AGÖF (2013): AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft, <http://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-voc-orientierungswerte.html> - Die AGÖF-Orientierungswerte für VOC wurden kontinuierlich auch im Rahmen zweier Forschungsprojekte aktualisiert. In sie gehen mittlerweile statistische Daten aus 4846 Datensätzen ein, die von AGÖF-Instituten im Rahmen ihrer Untersuchungstätigkeiten 2006 bis 2012 erhoben wurden.

<sup>4</sup> Thumulla J, Maraun W (2007): AGÖF-Orientierungswerte für den Hausstaub - Ein Vorschlag für eine Aktualisierung, 8. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF): Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Innenraumschadstoffe, Fogging und Gerüche, 19.-20. 09.2007 in Fürth / Bay., Tagungsband, S.57-65

Analyseresultate geben. Dazu werden Verweise auf die aktuelle Literatur für die Beurteilung von Staubproben und auf statistisch abgeleitete Referenzwerte aufgeführt. Die Möglichkeit der toxikologischen Bewertung wird diskutiert und die Problematik der Ableitung von Richtwerten dargestellt.

### 3 GRUNDLAGEN

#### 3.1 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

Es gibt derzeit keine allgemein verbindliche Definition des Begriffs „Hausstaub“. Im Rahmen dieses Leitfadens soll darunter - in Übernahme der Begriffsbestimmung aus der zurückgezogenen VDI 4300 Blatt 8 - zur Abgrenzung gegenüber „Schwebstaub“ alle Arten von Partikeln verstanden werden, die sich in abgelagerter („niedergeschlagener“) Form im Innenraum antreffen lassen. Dabei kann es sich um Feststoffe aus den verschiedensten anorganischen und organischen Materialien handeln, die natürlichen oder synthetischen Ursprungs sein können. Der Begriff umfasst sowohl Anteile, die im Innenraum selbst ihren Ursprung haben, als auch solche, die von außen eingetragen werden.

Die feineren Bestandteile des Hausstaubs bestehen u.a. aus Hautabschilferungen und Haaren von Tieren und Menschen, dem Abrieb von Textilien und Einrichtungsgegenständen (z.B. Fasern von Kleiderstücken und Teppichen), anorganischem Material wie Sand, Lehm und Ton, Nahrungskrümeln sowie Rußpartikeln und Stäuben aus Verbrennungsprozessen (Rauch). Ebenso sind Mikroorganismen, Pilzsporen und Pollen enthalten. Größere Bestandteile bestehen u.a. aus Pflanzenteilen wie Blättern und Nadeln, Haaren, Steinchen, Sand. Hausstaub umfasst somit gleichermaßen Partikel mit Durchmesser im Submillimeterbereich wie im Bereich mehrerer Millimeter, mit runder, eckiger, faserförmiger oder amorpher Gestalt.

Seiner makroskopischen Erscheinung nach kann Hausstaub eine eher grobfaserige Struktur aufweisen wie häufig der Staub aus Wohnungen oder eine eher feinkörnige, wie der Staub aus Büroräumen.

Bei der Analytik von Hausstaub werden folgende Fraktionen im Hinblick auf die Partikelgrößen unterschieden:

- Staubfraktion < 63 µm (durch Sieben gewonnen),
- Zwischenlagenstaub (aus den Zwischenlagen von Papierbeuteln entnommen),<sup>5</sup>
- Staubfraktion < 2 mm (durch Sieben gewonnen)
- Gesamtstaub (ohne Fraktionierung).

Im Folgenden werden die beiden ersten Fraktionen unter dem Begriff „Feinstaub“ zusammengefasst.

Neben der Größenverteilung der Partikel variiert auch der Anteil an organischem und anorganischem Material im Hausstaub. Der Hausstaub von Kindergärten besteht häufig fast überwiegend aus anorganischem Material wie Sand, Lehm und Ton aus Sandkästen. Hausstaub aus Wohnungen von Tierhaltern mit gleichzeitigem starkem Abrieb von Teppichen kann fast ausschließlich aus organischem Material bestehen. So kann der Anteil an organischer Substanz (gemessen mit Hilfe des Glühverlustes) im Hausstaub zwischen < 5 % und > 95 % betragen [Butte und Walker, 1994].

Von Bedeutung für den vorliegenden Leitfaden ist, dass sich chemische Schadstoffe an Staubpartikel, gebunden durch Abrieb von kontaminierten Innenraummaterialien oder Anlagerung aus der Raumluft, im Hausstaub anreichern können. Dies bedingt, dass es ausgehend von chemischen Belastungen im

---

<sup>5</sup> Pöhner A, Simrock S, Thumulla J, Weber S, Wirkner T: Hintergrundbelastung des Hausstaubes von Privathaushalten mit mittel- und schwerflüchtigen organischen Schadstoffen. AnBUS e.V., Zusammenfassungen in Zeitschrift für Umweltmedizin 6 (1998) 337-45 und in Diel F; Feist W; Krieg HU, Linden, W (Hrsg.): Ökologisches Bauen und Sanieren. C.F. Müller (Heidelberg 1998) 122-7

Hausstaub auf oralen oder dermalen Weg zu einer – ggf. zu einem inhalativen Pfad zusätzlichen – Exposition kommen kann.

Die Höhe der Konzentration einer chemischen Noxe im Hausstaub ist abhängig von unterschiedlichen Faktoren, wie etwa Lage und Umfang der Primärquelle im Raum, Nutzungs- und Lüftungsverhalten, Reinigungszyklen und insbesondere auch Alter des Staubes.

In den überwiegenden Fällen werden Staubuntersuchungen auf die Masse bezogen durchgeführt. Bei speziellen Fragestellungen können auch auf die Fläche bezogene Untersuchungen aussagekräftige Ergebnisse liefern.

Als pragmatische Unterscheidung hat sich die Trennung von „Frischstaub“ und „Altstaub“ etabliert. Die folgenden Begriffsbestimmungen werden hierbei im Rahmen des Leitfadens verwendet:

- Bei **Frischstaub** handelt es sich um Liegestaub von Oberflächen, dessen Alter mit 1-2 Wochen angenommen werden kann, da er in einem entsprechenden Zeitraum nach einer vorbereitenden Reinigung und anhaltender Nutzung von den gleichen Flächen entnommen wurde. Zu beachten ist, dass nach der vorbereitenden Reinigung in jedem Fall eine übliche Nutzung der Räume stattfindet, da ansonsten keine Nachlieferung von Staub erfolgt.
- Als **Altstaub** wird Staub verstanden, bei dem von einem Alter von deutlich mehr als 2 Wochen ausgegangen werden kann (i.d.R. weil er von Liegeflächen entnommen wird, bei denen erkennbar entweder nur sehr unregelmäßig oder über längere Zeit keine Reinigung mehr erfolgt ist). Im Allgemeinen ist im Altstaub mit einer höheren Anreicherung von Schadstoffen zu rechnen.

Der Eintrag von PBM in den Hausstaub kann auf folgenden Wegen erfolgen:

- Ausgasung aus der Primärquelle in die Raumluft, Adsorption an luftgetragenen sedimentationsfähigen Staub und Sedimentation,
- Ablagerung von Staub auf Primär- oder Sekundärquellen, diffusiver Übergang von der Quelle in den Hausstaub (ohne Beteiligung der Gasphase), Aufwirbelung des Staubes und Ablagerung,
- Mechanische Freisetzung von Partikeln aus Quellen (Abrieb, Bearbeitung, ...),
- Eintrag durch Aerosole beispielsweise durch den Einsatz von Bioziden im Innenraum oder in der Landwirtschaft.

Prinzipiell ist bei *PBM* von einem Austausch zwischen Gas- und Partikelphase auszugehen. Aufgrund der unterschiedlichen Dampfdrücke und Adsorptionsfähigkeiten an Hausstaub ist jedoch nicht von einem einfachen Zusammenhang zwischen einem Gehalt im Hausstaub und in der Raumluft auszugehen.

### 3.2 Grenzen, Fehlerbetrachtung

Hausstaub ist ein heterogen zusammengesetztes Material, das hinsichtlich des spezifischen Gewichts, der Korngrößen und –formen, Korngrößenverteilungen, Materialzusammensetzungen etc. eine erhebliche Variabilität aufweisen kann. Auch innerhalb eines Gebäudes kann sich die Art, Zusammensetzung und Struktur der Matrix Hausstaub stark unterscheiden. Unterschiede ergeben sich durch die Nutzung des Raums, Verhalten und Hygienestandard der Raumnutzer, Art der Inneneinrichtung, insbesondere der Innenraum-Oberflächen, Raumklima, Staubalter etc. Eine getrennte Beprobung repräsentativer Räume oder Gebäudebereiche kann daher erforderlich sein.

Zudem kann die gewählte Probenahmetechnik die Qualität des gewonnenen Hausstaubs beeinflussen. Mögliche Einflussgrößen können z.B. die Bewegungsgeschwindigkeit des Saugers, die Intensität der Flächenbeprobung, Ansauggeschwindigkeit, Form der Ansaugdüse, Abscheidegrad etc. sein. Weiterhin kann bei der Beprobung auf z.B. Holzdielenböden und Holzparkett aus vorhandenen Fugen und Zwischenräumen für die Fragestellung unerwünschter abgelagerter Altstaub in die Probe gelangen. Dies ist bei der Beprobung sowie auch bei der späteren Bewertung der Analyseergebnisse zu

berücksichtigen.

Werden die Hausstaubproben für eine gutachterliche Bewertung genommen, dann sollte die Probenahme auch durch den Sachverständigen erfolgen. Für das Messziel „Prüfen auf Schadstoffbelastung“, kann die Probenahme auch durch Dritte unter sorgfältiger Anleitung durch Sachverständige erfolgen.

### 3.3 Reproduzierbarkeit von Hausstaubuntersuchungen

Zur Reproduzierbarkeit von Hausstaubuntersuchungen liegen bisher keine systematischen Untersuchungen vor. Im Folgenden werden exemplarisch Messergebnisse aus zwei Gerichtsgutachten im Jahre 2000 vorgestellt.<sup>6</sup> Hier war die Reproduzierbarkeit von Hausstaubuntersuchungen wesentlicher Bestandteil der Fragestellung. Es fanden daher jeweils 4 Ortstermine statt. Die Grundreinigung (als Termin 0 bezeichnet), erfolgte durch den Sachverständigen (der hierbei gewonnene Hausstaub wurde ebenfalls analytisch ausgewertet). Die Räume wurden nach der Grundreinigung normal weiter genutzt. In wöchentlichem Abstand erfolgten 3 weitere Probenahmeterminale auf gleichen Flächen durch den Sachverständigen. In den folgenden Tabellen sind für 2 Wohnungen jeweils die Einzelergebnisse sowie die absoluten und relativen Standardabweichungen angegeben:

**Tabelle1: Wohnung A**

Stoff	BG [mg/ kg]	0. Saugen [mg/kg]	1. Saugen [mg/kg]	2. Saugen [mg/kg]	3. Saugen [mg/kg]	Mittel- wert <sup>a</sup> [mg/kg]	$\delta^a$ [mg/kg]	rel $\delta^a$ [%]
Naphthalin	0,2	<	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	20,2%
Acenaphthylen	0,2	<	<	<	<	<	-	-
Acenaphthen	0,2	1,1	3,5	2,4	2,4	2,8	0,52	18,7%
Fluoren	0,2	0,7	2,5	1,5	1,5	1,8	0,47	25,7%
Phenanthren	0,2	21	90	55	33	59,3	23,5	39,6%
Anthracen	0,2	2,8	14	5,5	3,3	7,6	4,61	60,7%
Fluoranthen	0,2	21	110	75	44	76,3	27,0	35,3%
Pyren	0,2	14	75	55	32	54,0	17,6	32,5%
Benzo(a)anthracen	0,2	8,8	40	35	22	32,3	7,59	23,5%
Chrysen	0,2	10	38	30	23	30,3	6,13	20,2%
Benzo(b)fluoranthren	0,2	14	48	45	29	40,7	8,34	20,5%
Benzo(k)fluoranthren	0,2	4,8	9	22	9,9	13,6	5,93	43,5%
<b>Benzo(a)pyren</b>	<b>0,2</b>	<b>7,5</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>14,7</b>	<b>1,89</b>	<b>12,9%</b>
Indeno(c,d)pyren	0,2	7,5	10	8,8	11	9,9	0,90	9,1%
Dibenzo(a,h)anthracen	0,2	1,7	3,4	2,3	2,9	2,9	0,45	15,7%
Benzo(g,h,i)perylene	0,2	6	9,5	8,5	11	9,7	1,03	10,6%
<b>Summe PAK<sup>a</sup></b>	-	<b>121</b>	<b>469</b>	<b>358</b>	<b>241</b>	<b>356</b>	<b>93</b>	<b>26,1%</b>

BG = Bestimmungsgrenze, '<' = kleiner Bestimmungsgrenze, 'n.b.' = nicht bestimmt,  $\delta$  = Standardabweichung, <sup>a</sup> = Konzentrationen < BG wurden gleich 0 gesetzt.

<sup>6</sup> Schriftliche Mitteilung, Unveröffentlichte Ergebnisse Jörg Thumulla, anbus analytik GmbH, 90762 Fürth

**Tabelle 2: Wohnung B**

Stoff	BG [mg/kg]	0. Saugen [mg/kg]	1. Saugen [mg/kg]	2. Saugen [mg/kg]	3. Saugen [mg/kg]	Mittel- wert <sup>a</sup> [mg/kg]	$\delta^a$ [mg/kg]	rel $\delta^a$ [%]
Naphthalin	0,2	2,3	2,8	1,8	2,4	<b>2,3</b>	0,41	17,7%
Acenaphthylen	0,2	0,3	0,5	0,3	0,3	<b>0,4</b>	0,09	26,0%
Acenaphthen	0,2	12	13	11	17	<b>13,3</b>	2,49	18,8%
Fluoren	0,2	12	14	12	17	<b>13,8</b>	2,05	14,9%
Phenanthren	0,2	230	260	140	230	<b>215,0</b>	50,99	23,7%
Anthracen	0,2	37	42	28	47	<b>38,5</b>	8,04	20,9%
Fluoranthen	0,2	190	240	160	200	<b>197,5</b>	32,66	16,5%
Pyren	0,2	140	180	120	150	<b>147,5</b>	24,49	16,6%
Benzo(a)anthracen	0,2	89	110	110	96	<b>101,3</b>	6,60	6,5%
Chrysen	0,2	92	120	110	99	<b>105,3</b>	8,58	8,1%
Benzo(b)fluoranthen	0,2	79	110	120	88	<b>99,3</b>	13,37	13,5%
Benzo(k)fluoranthen	0,2	31	40	53	33	<b>39,3</b>	8,29	21,1%
Benzo(a)pyren	0,2	48	66	78	53	<b>61,3</b>	10,21	16,7%
Indeno(c,d)pyren	0,2	23	34	38	27	<b>30,5</b>	4,55	14,9%
Dibenzo(a,h)anthracen	0,2	14	17	12	15	<b>14,5</b>	2,05	14,2%
Benzo(g,h,i)perylene	0,2	22	32	34	26	<b>28,5</b>	3,40	11,9%
<b>Summe PAK<sup>a</sup></b>	-	<b>1021,6</b>	<b>1281,3</b>	<b>1028,1</b>	<b>1100,7</b>	<b>1107,9</b>	<b>106,46</b>	<b>9,6%</b>

BG = Bestimmungsgrenze, ‚<‘ = kleiner Bestimmungsgrenze, ‚n.b.‘ = nicht bestimmt,  $\delta$  = Standardabweichung, <sup>a</sup> = Konzentrationen < BG wurden gleich 0 gesetzt.

Die exemplarisch dargestellten Ergebnisse zeigen, dass bei sachgemäßer Probenahme relative Standardabweichungen von unter 30% erreicht werden können.

## 4 ZIELE VON HAUSSTAUBUNTERSUCHUNGEN

### 4.1 Prüfen auf Schadstoffbelastungen in genutzten Innenräumen

Ein deutlich erhöhter Gehalt eines bestimmten Stoffes (*PBM*) im Hausstaub ist Indikator für eine auf anderem Wege möglicherweise schwerer erkennende Quelle. Ein Beispiel ist die durch hohe Gehalte von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen im Hausstaub Anfang 1998 erkannte großflächige Belastung von Innenräumen durch teerhaltige Parkettkleber.<sup>7</sup>

Bei Schadstoffhebungen in Gebäuden können versteckte Quellen übersehen oder teilweise nur mit einem hohen finanziellen Aufwand beispielsweise durch Beschädigungen von Bauteilen beprobt werden. Unter der Voraussetzung, dass die Schadstoffquelle mit dem Hausstaub in Verbindung steht, kann eine *PBM*-Multiparameteranalyse von Hausstaubproben eine kostengünstige Alternative darstellen. Ein Nachweis von auffälligen Konzentrationen ist als deutlicher Hinweis auf eine versteckte oder übersehene Quelle im Gebäude zu sehen. Im nächsten Schritt können gezielte Quellenermittlungen und/oder Raumlufmessungen zur weiteren Beurteilung eingeleitet werden.

Bei Gesundheitsbeschwerden, die Anlass zur Untersuchung auf gesundheitlich relevante Stoffe im

<sup>7</sup> ARGUK-Umweltlabor (1998): US Housings oder PAK in älterem Parkettkleber, [https://www.arguk.de/forschung/us\\_housing.html](https://www.arguk.de/forschung/us_housing.html) (12.09.2019)

Innenraum geben, kann eine Staubuntersuchung ein geeignetes Verfahren zum Prüfen von Belastungen mit PBM sein. Bei auffälligen Befunden von Einzelstoffen der PBM-Palette können anschließend gezielte Raumluftmessungen zur gesundheitlichen Bewertung des Schadstoffs veranlasst werden.

Zumeist ist hierzu die Beprobung von Liegestaub vom Boden als Frischstaubbeprobung sinnvoll, da eine Reihe von Referenzstudien Vergleichswerte zur Beurteilung von PBM-Konzentrationen liefern. Altstäube sind aufgrund fehlender Referenzwerte schwieriger zu bewerten.

Grundlegend ist zu beachten, dass der Bodenbelag oder Teile des Bodenaufbaus Emissionsquellen darstellen können, die einen nicht repräsentativen Mehrbefund verursachen können. Dieser Umstand muss ggf. bei der Probenahmestrategie bzw. der Ergebnisbewertung berücksichtigt werden.

## 4.2 Quellensuche

Staubuntersuchungen können zur Identifizierung von Schadstoffquellen im Innenraum eingesetzt werden. Im Vergleich zu einer direkten Materialbeprobung bringt die Staubprobenahme beispielsweise in folgenden Fällen Vorteile, weil sie das gesamte Emissionsverhalten einer Quelle berücksichtigt und zerstörungsfrei durchführbar ist:

- Baumaterialien oder Ausstattungsgegenständen, die sich aus verschiedenen Komponenten zusammensetzen (z.B. Mobiliar),
- Wollteppiche,
- Wertvolle Oberflächen, die nicht beschädigt werden dürfen.

## 4.3 Toxikologische Beurteilung von staubgetragenen Schadstoffbelastungen

Schadstoffe in Innenraum können gesundheitlich Effekte auf die Gebäudenutzer haben. Nachdem Schadstoffgehalte im Hausstaub Indikatoren für Schadstoffprobleme eines Gebäudes sind, können grundsätzlich auch die Ergebnisse von Hausstaubanalysen Hinweise auf eine aus toxikologischer Sicht problematische Schadstoffexposition geben.

Zur Beurteilung unter toxikologischen Gesichtspunkten ist relevant, welcher Staub auf welchem Pfad auf den Raumnutzer einwirken kann. Als Aufnahmepfade kommen der orale Pfad (insbesondere bei Kleinkindern die Aufnahme direkt über den Mund), der dermale Pfad sowie der inhalative Pfad in Frage.

Hierbei ist die Entnahme und Analyse von durch Absaugen gewonnenem Staub als eine Konventionmethode anzusehen, die einen Vergleich zu toxikologischen Richtwerten erlaubt. Es ist nicht geklärt ob bei der Exposition oral, dermal oder inhalativ aufgenommene Stäube in Zusammensetzung und Partikelgrößenverteilung den beprobten und aufgearbeiteten (gesiebt) Stäuben entsprechen.

Babys und Kleinkinder sind in vielerlei Hinsicht vermehrt betroffen. Sie befinden sich näher am Boden und den abgelagerten Stäuben, nehmen diese eher durch Einatmen als auch durch Hand- und Mundkontakt mit Spielzeugen auf. Babys und Kleinkinder haben eine schnellere Stoffwechselrate und eine größere Oberfläche im Vergleich zum Körpergewicht und ihr Organismus ist aufgrund von Wachstums- und Entwicklungsvorgängen in besonderem Maße gegenüber den toxischen Wirkungen von Umweltschadstoffen empfindlich.<sup>8</sup>

Mit der Aufnahme von Hausstaub durch die Raumnutzer gelangen die an und in den Staubpartikeln befindlichen Schadstoffe in den Organismus. Dabei kann es auch zu einer Aufnahme von gesundheitsschädlichen Substanzen kommen, siehe auch Kapitel 8.3.

Bezüglich der quantitativen Abschätzung der Schadstoffaufnahme über die Nahrung und über

---

<sup>8</sup> Uhl M, Hohenblum P, Scharf S, Trimbacher C, Umweltbundesamt, HAUSSTAUB – EIN INDIKATOR FÜR INNENRAUMBELASTUNG BERICHTE BE-258, Wien, 2004

Umweltmedien wie Luft, Hausstaub und Boden sind in den vergangenen zwanzig Jahren viele Arbeiten veröffentlicht worden. Sie differieren in ihren Ergebnissen zum Teil erheblich. Das Umweltbundesamt (UBA) hat im Rahmen des „Aktionsprogramms Umwelt und Gesundheit“ (APUG) die Datenbasis für bevölkerungsbezogene Expositionsabschätzungen gesichtet, erweitert und aktualisiert.

Zur Bewertung der inhalativen Exposition ist die Entnahme von Luftproben inklusive einer Erfassung des Schwebstaubanteils unter realer Nutzung oder Durchführung einer Nutzungssimulation bzw. Simulation des *Worst Case* vorzuziehen (nicht Gegenstand der Richtlinie). Besondere Bedeutung gewinnt die toxikologische Bewertung des Staubes dort, wo auch eine orale oder dermale Exposition nicht vernachlässigbar ist. Dies ist besonders in Räume mit am Boden spielenden Kindern der Fall.

#### **4.4 Kontrolluntersuchungen nach Schädlingsbekämpfung**

Hausstaubuntersuchungen können eingesetzt werden, um den Erfolg einer Dekontamination nach erfolgter Schädlingsbekämpfung zu prüfen. Die dafür notwendigen Maßnahmen sind gemäß TRGS 323 vom Sachkundigen vorzugeben. Diese Maßnahmen können z.B. in ausreichend langem Lüften, Ergreifen von Abschirmmaßnahmen oder der Reinigung mit empfohlenen Mitteln oder Verfahren bestehen. In Punkt 6.9 bis 6.11 der TRGS 323 wird vorgegeben, dass Räume, in denen Bekämpfungsmaßnahmen mit bioziden Wirkstoffen durchgeführt wurden, erst dann wieder vom Sachkundigen freigegeben werden dürfen, wenn eine gefahrlose Nutzung zulässig ist. Staubuntersuchungen können zum Nachweis einer erfolgreichen Dekontamination eingesetzt werden.

Der Begriff „Schädlinge“ wird allgemein verwendet sowohl für größere Tiere wie Taube, Ratte oder Maus, als auch für viele Insekten (Ameisen, Silberfischchen, Kakerlaken, Kleidermotten, Mehlmotten, Speckkäfer, Flöhe etc.). Zum Einsatz kommt eine Vielzahl unterschiedlicher Wirkstoffe, die zur Abwehr, Vertreibung oder Tötung der „Schädlinge“ dienen. Schädlingsbekämpfungsmittel werden im Innenraum sowohl als Aerosol, gesprüht oder als Puder, und in flüssiger Form auf Materialien oder an Tieren (z.B. aufs Fell von Katze, Hund gegen Zecken und Flöhe) verwendet. Ebenso gibt es Köder mit Wirkstoffen, die ausgelegt werden.

#### **4.5 Sanierungszielkontrolle**

Grundlegend ist es möglich, Staubproben zur Kontrolle von Schadstoffsanierungen in Gebäuden einzusetzen. Hierzu liegen jedoch nur wenige Erfahrungen vor. Problematisch ist, dass für eine Untersuchung ausreichende Hausstaubmengen wegen der abschließenden Feinreinigung häufig erst nach Nutzungsaufnahme zur Verfügung stehen.

Erste Erfahrungen mit Staubuntersuchungen als Sanierungskontrolle liegen bei PAK-Sanierungen vor.<sup>9</sup>

#### **4.6 Arbeitsschutz / Gefährdungsabschätzung für Arbeiten in kontaminierten Bereichen**

Kontaminierte Stäube /Hausstäube sind als gefährliche Arbeitsstoffe in Innenräumen anzusehen. Untersuchungen des Hausstaubes sind daher notwendige Grundlage für die Durchführung von Gefährdungsabschätzungen. Für Arbeiten in kontaminierten Bereichen gilt für gewerblich Beschäftigte die TRGS 524: „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen.“ Verbraucher sollten als Nutzer von Innenräumen dabei nicht gleichgestellt werden mit gesunden gewerblichen Arbeitnehmern, die einer regelmäßigen arbeitsmedizinischen Betreuung unterliegen. Solche Fragestellungen treten beispielsweise bei PAK-Sanierungen oder mit Holzschutzmittel behandelten Dachstühlen auf.

---

<sup>9</sup> ARGUK-Umweltlabor: PAK - Sanierung von teerpechhaltigen Parkettklebern, <https://www.arguk.de/leistung/innenraum/Sanierung-von-teerpechhaltigen-Parkettklebern.htm> (12.09.2019)

#### **4.6.1 Liegestäube in holzschutzmittelkontaminierten Dachböden**

Dachböden werden häufig als Abstellräume verwendet. Sind die Dachstühle holzschutzmittelbelastet, treten regelmäßig kontaminierte Liegestäube auf, die zu einer Gefährdung der Nutzer beim Reinigen und Umlagerung von gelagerten Gegenstände führen können.

Reinigungsarbeiten sind hierbei ggf. bei stark erhöhten Belastungen unter Nutzung persönlicher Schutzausrüstung durchzuführen.

Staubanalysen sind hier geeignet um eine Gefährdungsbeurteilung zu erlauben.

## **5 MESSSTRATEGIE**

### **5.1 Prüfen auf Schadstoffbelastungen in genutzten Innenräumen**

Zur Prüfung auf Schadstoffbelastungen in genutzten Innenräumen erfolgt eine massenbezogene Frischstaubprobenahme von unverdächtigen Innenraumbooberflächen (in der Regel vorrangig von der Fußbodenfläche). Vor der Probenahme wird in einem zeitlich festgelegten Abstand von 1-2 Wochen eine Reinigung der gesamten später zu beprobenden Fläche mit dem Staubsauger vorgenommen. Diese Reinigung dient zur Herstellung einer definierten Ausgangslage. Die später zu beprobende Fläche wird in Abhängigkeit möglicher Inhomogenitäten ausgewählt. In der Zeit zwischen der Grundreinigung und der Probenahme sollte durch den Nutzer keine weitere Reinigung der zu beprobenden Flächen erfolgen. Nach Ablauf des festgelegten Zeitraums wird die vorbereitete Oberfläche mit einem handelsüblichen Staubsauger (s. Kap 6.2.2) abgesaugt, um eine für die Analytik ausreichend große Staubmenge zu gewinnen. Lokale Verunreinigungen (wie Brotkrümel, Eingangsschmutz) werden bei der Probenahme nicht berücksichtigt.

Die Reinigung dient bereits der Vorbereitung der Beprobung und ist als Teil des Probenahmeprozederes zu verstehen. In entscheidungsrelevanten Fällen, wie z.B. ein gerichtliches Verfahren, muss die vorbereitende Reinigung und Probenahme durch dieselbe sachverständige Person erfolgen. Bei orientierenden Beprobungen im privaten oder gewerblichen Bereich kann die Vorbereitung der zu beprobenden Räume nach Anweisung z.B. dem Raumnutzer überlassen bleiben.

Zu beachten ist, dass nach der vorbereitenden Reinigung in jedem Fall eine übliche Nutzung der Räume stattfindet, da ansonsten keine ausreichende Nachlieferung von Staub erfolgt.

### **5.2 Quellensuche**

Wird die Staubuntersuchung zur Quellensuche eingesetzt, sind Verdachtsflächen sowie geeignete Referenzflächen getrennt zu beproben. Beispielsweise können Staubproben von verdächtigen Flächen (z.B. Teppiche, Polstermöbel, Matratzen, antike Möbel und Objekte, die nicht beschädigt werden sollen) durch direktes Absaugen mit Staubsauger ggf. auch mit einem aufgesetzten Planfilter gewonnen werden. Entscheidend ist, dass von den Flächen genügend Staub gewonnen werden kann (in der Regel ist daher die vollständige Verdachtsfläche als Beprobungsfläche vorzusehen). Die anschließende vergleichende Bewertung der Staubproben von Referenz- und Verdachtsflächen kann Hinweise auf Quellen geben.

Bei Staubuntersuchungen zur Quellensuche ist zu berücksichtigen, dass durch Anreicherungseffekte die Schadstoffkonzentrationen im Liegestaub stark ansteigen können. Bei Pyrethroid-Belastungen aus Teppichböden beispielsweise kann die Pyrethroidkonzentration im Liegestaub des Teppichbodens höher sein als die Konzentrationen in der Teppichfaser.

Da die Probeflächen in vielen Fällen gering sind, ist häufig die Gewinnung einer ausreichenden Frischstaubprobenmenge nicht möglich. In diesen Fällen kann auf eine Beprobung von Altstaub zurückgegriffen werden.

### 5.3 Messziel Toxikologie

Für eine toxikologische Bewertung bzw. Fragestellung gilt es den Staub zu beproben, zu dem ein Expositionskontakt besteht. Im Allgemeinen wird dies der Bodenliegestaub sein, ggf. auch der Staub auf Inventar. Hierbei kann es sich ggf. um quellnahen Staub handeln. In der Regel nicht beprobt werden sollen unter dem Gesichtspunkt der toxikologischen Bewertung Altstäube die auf nicht expositionsrelevanten Flächen (hohen Schränken oder ähnlichem) abgelagert sind.

Hierbei ist das vorhandene Reinigungsverhalten zu berücksichtigen, ggf. muss die Probenahme mehrmals mit dem gleichen Filter (bzw. Staubbeutel) durchgeführt werden. Im privaten Umfeld erfolgt meist eine wöchentliche Reinigung, dementsprechend ist hier der 7-Tage-Staub zu empfehlen. In Büroräumen sollte an den Reinigungszyklus angepasst werden. Ggf. ist eine mehrmalige Probenahme nach jeweils wenigen Tagen nötig.

Einen Sonderfall stellen Bereiche dar, in denen täglich gereinigt wird (bspw. Grundschulen, Kindergärten). Die Probenahme sollte dementsprechend täglich und mehrmals erfolgen bis eine zur Analyse ausreichende Staubmenge vorliegt.

Im Allgemeinen sollte die Probenahme von einem Sachverständigen durchgeführt werden.

### 5.4 Kontrolluntersuchung nach Schädlingsbekämpfung

Die Freigabe nach einem Schädlingsbekämpfungseinsatz erfolgt durch den Sachkundigen nach TRGS 323. In der Praxis wird die Nutzung behandelter Innenräume durch den Schädlingsbekämpfer selbst ohne analytische Prüfung freigegeben. Bestehen Zweifel an einer ausreichenden Dekontamination ist eine Hausstaubuntersuchung ein geeignetes Mittel zur Untersuchung auf Rückstände. Dies setzt voraus, dass ausreichend Staub vorhanden ist. Wurde im Abschluss an die Maßnahme eine Feinreinigung durchgeführt, ist damit zu rechnen, dass nicht ausreichend Staub zur Probenahme vorhanden ist. Dann müssen andere analytische Verfahren (Raumluftmessung, Oberflächenuntersuchung, Materialbeprobung) angewendet werden. Ein Abwarten von 1-2 Wochen für die Staubprobenahme ohne Nutzung der Räume ist in den meisten Fällen nicht hilfreich, weil der Staubanfall dann für eine Probenahme nicht ausreicht.

Die Probenahme wird wie unter Kap. 5.1 beschrieben durchgeführt.

Bei der Festlegung der Probenahmestrategie ist zu berücksichtigen, ob ein Eintrag der Biozide aus anderen Quellen (Eintrag durch private Nutzer, Landwirtschaft etc.) möglich ist oder durch die Untersuchung abgeklärt werden muss. Neben der gewerblichen Schädlingsbekämpfung gibt es auch Anwendungen im privaten Bereich.

Ist nicht bekannt, welches Mittel für eine Schädlingsbekämpfung verwendet wurde, kann durch ein möglichst breit angelegtes Hausstaub-Screening nach Schädlingsbekämpfungsmitteln und auch sogenannten Synergisten (z.B. Wirkungsverstärker Piperonylbutoxid) gesucht werden. Damit werden unter Umständen nicht alle Substanzen erfasst, jedoch können durch den Nachweis von begleitenden Wirkstoffen der Schädlingsbekämpfungsprodukte Hinweise auf Mittelanwendungen und Kontaminationen gegeben werden.

### 5.5 Sanierungszielkontrolle

Zur Überprüfung des Reinigungserfolges beim Ausbau teerhaltiger Bauprodukte hat sich die Bestimmung der Flächenbelegung durch die Leitkomponente BaP bewährt (ARGUK-Verfahren). Dazu wird von den Wänden und dem Fußboden mittels Staubsaugen in einen Staubbeutel auf ca. 40 m<sup>2</sup> der abgelagerte Staub erfasst. Labortechnisch erfolgt das Auswiegen des gesamten Staubbeutelinhaltes und in einem Aliquot die Bestimmung des BaP-Gehaltes.

## 5.6 Arbeitsschutz

Zur Durchführung der Gefährdungsabschätzung ist es wesentlich, den Staub zu untersuchen, gegenüber dem die Exposition besteht. Dies sind auf Holzschutzmittelbelasteten Dachböden die dort vorhandenen Altstäube, bei der Reinigung von Parkettböden der beim Saugen der Flächen aus den Ritzen gesaugte Staub, etc. Die Randbedingungen der Probenahme sind entsprechend zu beschreiben und die angenommenen Expositionsszenarien zu begründen.

## 6 PROBENAHMETECHNIKEN

Verschiedene Probenahmetechniken können zur Gewinnung von geeignetem Staub eingesetzt werden. Die Wahl der Technik ist abhängig von der Fragestellung, den Gegebenheiten vor Ort sowie auch der der komplexen Matrix Hausstaub.

### 6.1 Probenahmetechniken

#### 6.1.1 Probenahme durch Saugen mit Staubbeutel

Die Probenahme durch Saugen mit Staubbeutel eignet sich insbesondere für große zu beprobende Flächen, für Flächen mit hoher Frischstaub-Beladung, für die Probenahme auf Teppichen und die Beprobung von Altstaub.

Vor der Probenahme wird das Ansaugteil des Staubsaugers auf Sauberkeit geprüft und ggf. nachgereinigt. Der Staubsauger wird ca. eine Minute leer laufen gelassen und anschließend ein neuer Filterbeutel eingesetzt.

Zur Gewinnung von Frischstaub erfolgt eine Beprobung der Bodenflächen durch Absaugen. Hierbei muss die unterschiedliche Staubverteilung im Raum berücksichtigt werden, wie z.B. Laufflächen und Sedimentationsflächen in Ecken und unter Möbeln. Dabei sollte eine Staubmasse von mindestens 1 Gramm pro Beutel erreicht werden. Das Absaugen von Altstaub oder Material aus offenen Fugen (z.B. Parkettfußboden) muss vermieden werden. Nach Beendigung der Beprobung wird der Staubbeutel entnommen.

Erfahrungsgemäß enthalten Staubsaugerbeutel oft deutlich weniger als 1 g Feinstaub. Das kommt insbesondere dann vor, wenn der 7-Tagestaub nur in einem kleineren Raum oder in Räumen mit glatten Böden entnommen wurde. Bei geringer Staubbeladung nach der ersten Probenahme kann eine Woche später mit demselben Filter bzw. Staubbeutel nochmals Staub entnommen werden.

Eine Blindwert-Überprüfung des Beutels und der mit dem zu beprobenden Staub in Kontakt kommenden Teile des Saugsystems ist in geeigneter Weise durchzuführen (z.B. Chargenweise Untersuchung der Filtermedien, exemplarische Feldblindwerte durch Einlegen des Beutels und Betreiben des Systems an sauberer Außenluft).

Folgende Reinigungsmöglichkeiten der Geräte haben sich bewährt:

Nach der Beprobung wird ein Reinigungsbeutel eingelegt. Die Ansaugdüse/ Bürstenkopf wird durch Absaugen mittels des Ansaugstutzens (1 Minute) gründlich gereinigt. Danach wird der Ansaugstutzen bzw. Schlauch des Probenahmesystems mittels Flaschenbürste, Stoßtechnik etc. sorgfältig gereinigt. Bei der Stoßtechnik wird der Ansaugstutzen für 1-2 sec mit der flachen Hand verschlossen, so dass ein Unterdruck im Ansaugrohr entsteht, und danach die Hand schnell wieder abgezogen. Durch die entstehende Stoßwelle sollen im Ansaugraum anhaftende Partikel gelöst und in den Filterbeutel transportiert werden. Dieser Vorgang wird dreimal wiederholt. Auch das Staubbeutelgefäß sollte regelmäßig gereinigt werden (Feucht wischen, mit einem zweiten Sauger aussaugen). Erreichbare Flächen können ggf. mit Isopropanol getränkten Tüchern gereinigt werden.

Eine Blindwert-Überprüfung für die Zielanalyten ist bei entscheidungsrelevanten Untersuchungen

durchzuführen.

Im Labor erfolgt die Einwaage eines Teils der dem Filterbeutel entnommenen Staubmasse und Analyse der Staubinhaltsstoffe, deren Gehalte massenbezogen (mg/kg Staub) ermittelt werden.

#### Material & Geräte

*Staubsauger: handelsüblich (bei Gefahrstoffverdacht mit HEPA-Filter), Ansauggeschwindigkeit am Stutzen mindestens 15 m/s*

*Staubsaugerbeutel: möglichst mehrlagig (mindestens zwei Lagen) Papierfilterbeutel, bei Beprobungen aus Vliesbeuteln kann es zu erheblichen Fehlern bei der Probenvorbereitung kommen.*

### **6.1.2 Probenahme durch Saugen mit vorgeschaltetem Planfilter**

Diese Probenahme ist geeignet für kleine zu beprobende Flächen bis 2 m<sup>2</sup> (Quellensuche bei Polstermöbeln, Schränken, etc). Die Probenahme kleiner Partikel kann nachteilig beeinflusst werden, wenn die Anströmgeschwindigkeit am Ort des Absaugens zu gering ist, insofern muss ein ausreichend leistungsstarkes Saugsystem (Staubsauger oder Pumpe) eingesetzt werden.

Eine Blindwert-Überprüfung des Filters und der mit dem zu beprobenden Staub in Kontakt kommenden Teile des Saugsystems ist in geeigneter Weise durchzuführen (z.B. Chargenweise Untersuchung der Filtermedien, exemplarische Feldblindwerte durch Einlegen des Filters in die Düse und Betreiben des Systems an sauberer Außenluft).

Vor Probenahme wird das Ansaugteil auf Sauberkeit geprüft und anschließend der Filter in den Filterhalter eingelegt. Bei luftdurchströmbaren Flächen wird die Ansaugöffnung senkrecht über die Fläche geführt. Bei nicht luftdurchströmbaren Flächen wird der Kopf leicht schräg gehalten um eine möglichst hohe Strömungsgeschwindigkeit zu erreichen.

Der Filter wird mit der beladenen Seite nach Oben in horizontaler Lage mit der Pinzette entnommen, in ein Gefäß gelegt oder komplett in Alufolie verpackt. Im Labor erfolgt gegebenenfalls die Konditionierung des Filters, Bestimmung der Staubmasse und die chemische Analyse. Die Gehalte der Staubinhaltsstoffe können flächenbezogen (mg/m<sup>2</sup>) oder auch massenbezogen (mg/kg Staub) ermittelt werden. Für eine flächenbezogene Angabe des Messergebnisses ist sicherzustellen, dass die gesamte beprobte Fläche bekannt ist. Sofern mit geringen Staubmengen zu rechnen ist, kann der Filter nach Konditionierung vorgewogen werden und im Gesamten in die Analytik eingesetzt werden.

#### Material & Geräte:

*Planfilter: Glasfaserfilter (bindemittelhaltig), Durchmesser: ab 50 mm*

*Filterhalter/Ansaugvorrichtung: mit Ansaugdüse mit eingefrästen Nuten oder Ansaugschlitz*

*Pumpe/Staubsauger: handelsüblich*

*Transportbehälter für Filter: geeignetes Gefäß, z.B. Petrischale, oder Aluminiumfolie.*

### **6.1.3 Probenahme durch Kehren**

Erfahrungen zeigen, dass die Probenahme durch Kehren Ergebnisse liefert, die nicht reproduzierbar sind. Insbesondere bei Parkettböden mit Fugenbildung gehen entscheidende Staubfraktionen in den Fugen verloren. Von einer Probenahme durch Kehren von Bodenstaub ist abzuraten.

## **6.2 Probenahmeprotokoll (Musterformular)**

Das Musterformular beschreibt die Erfassung der Randbedingungen bei der Probenahme von Hausstaub. Ein Musterformular ist im Anhang des Leitfadens zu finden.

## 7 ANALYTIK

### 7.1 Analytik/ Untersuchungsstrategien

Eine Staubprobe enthält mehrere hundert Substanzen. Bei der Laboruntersuchung muss der Sachverständige nach Lage vor Ort und in Abstimmung mit dem Labor entscheiden, was er untersucht haben möchte.

Einzelstoffanalytik: Hier sind schon bestimmte Schadstoffe im Verdacht und es ist das Ziel der Laboruntersuchung, diese Substanzen zu überprüfen. Das Labor wird mit der Untersuchung der Proben auf ausgewählte Substanzen beauftragt und kann gezielte Ergebnisse liefern.

Verdachtsanalytik – Screening/Multiparameteranalyse: Hier liegt ein Verdacht vor, aber es ist noch relativ unklar, woher die Belastungen kommen. Für diese Fälle werden von Laboren sogenannte Screening- oder Multiparameteranalyse-Verfahren angeboten. Bei diesen werden die Proben auf viele Verbindungen hin untersucht, die Untersuchungen gehen in die Breite.

Bei den Screening-Verfahren ist zu beachten, dass es keine einheitliche vorgeschriebene Definition und somit kein einheitliches Vorgehen hierfür gibt. Die einzelnen Labore bieten jeweils ihre eigenen Verfahren an. Prinzipiell können zwei Arten von Screening unterschieden werden. Bei (einem Screening oder besser) Multiparameteranalyse auf festgelegte Verbindungen wird die Probe nur auf diese untersucht. Erfahrungsgemäß werden ca. 20 - 200 Verbindungen bestimmt, die Empfindlichkeit ist mit der Einzelstoffanalytik vergleichbar. Die Gesamtauswahl ist hier laborspezifisch. Bei einem Screening wird die Probe auf alle Verbindungen, die mit der Analysenmethode erfasst werden können, untersucht. Hierbei ist die Empfindlichkeit geringer und es besteht die Gefahr, dass relevante Verbindungen übersehen werden können. Das erfordert vom Sachverständigen Klarheit in der Fragestellung und umfassende Sachkenntnis, so dass die Laboranalytik zielgerichtet und aussagekräftig durchgeführt werden kann.

### 7.2 Analyseverfahren

Dieser Leitfaden gibt keine Analyseverfahren im Sinne einer Norm wieder. Hier muss das Labor sicherstellen, dass das angewendete Verfahren für die Untersuchung der jeweiligen Verbindungen aus Hausstaub geeignet ist. Bei der Erstellung eines Verfahrens kann aber auf entsprechende Normen zurückgegriffen werden.

#### 7.2.1 Probenvorbereitung

Zur Analytik im Labor ist die Feinstaubmenge (Staubfraktion < 63 µm bzw. aus der Zwischenlage des Staubbeutels) für die weitere Analytik zu verwenden. Eine Vergleichbarkeit beider Fraktionen wurde durch Pöhner et. al.<sup>10</sup> bestätigt.

Sollte die Feinstaubmenge nicht ausreichend sein, kann der Gesamtstaub eingesetzt werden, der ggf. mit einem groben Sieb zur Abtrennung von größeren Teilen und Steinen/Sand vorgereinigt werden kann. Bei zu geringen Staubmengen ist eine Rücksprache mit dem Auftraggeber zum weiteren Vorgehen notwendig. Die Aussagekraft von Gesamtstaubproben ist deutlich geringer. Für die Bewertung ist besondere Sachkunde notwendig, insbesondere ist die Vergleichbarkeit mit den AGÖF-Referenzwerten (die sich auf Feinstaub beziehen) nicht gegeben.

Bei Staubproben, die mit vorgeschaltetem Plan-Filter genommen wurden, kann bei größeren

---

<sup>10</sup> Pöhner A, Simrock S, Thumulla J, Weber S, Wirkner T: Hintergrundbelastung des Hausstaubes von Privathaushalten mit mittel- und schwerflüchtigen organischen Schadstoffen. AnBUS e.V., Zusammenfassungen in Zeitschrift für Umweltmedizin 6 (1998) 337-45 und in Diel F; Feist W; Krieg HU, Linden, W (Hrsg.): Ökologisches Bauen und Sanieren. C.F. Müller (Heidelberg 1998) 122-7

Staubmengen Staub von dem Filter auf das Sieb gegeben werden. Eine Zugabe des Filters ist dann zu vermeiden um Faserabrieb zu verhindern.

Bei kleineren Staubmengen kann Staub und Filter nach Rückwägung in die Analytik eingegeben werden.

### **7.2.2 Analysegeräte**

Für die Bestimmung der organischen Verbindungen werden gaschromatografische und flüssigchromatografische Systeme mit geeigneten Injektoren verwendet. Das Detektorsystem muss die jeweilige Verbindung in der komplexen Matrix Hausstaub sicher bestimmen können. Hierzu eignen sich insbesondere Massenspektrometer oder für ausgewählte Verbindungen auch ECD/FID.

Für die Bestimmung der Metalle kann der Staub nach Säureaufschluss z. B. mit ICP oder AAS analysiert werden. Auch hier muss wieder sichergestellt sein, dass das Verfahren für die komplexe Matrix Hausstaub geeignet ist. Es hat sich gezeigt, dass bei den Aufschlussverfahren mit Königswasser und Salpetersäure/Mikrowelle vergleichbare Ergebnisse erzielt werden.

### **7.3 Qualitätssicherung**

Das Labor muss über ein Qualitätssicherungssystem verfügen. Bei den einzelnen Analyseverfahren muss das Labor mit geeigneten Methoden und Verfahrenskenndaten verifizieren, dass die entsprechende Verbindung aus der Matrix Hausstaub bestimmt werden kann. Zu nennen sind hier z. B. Blindwerte, interne Standards, Referenzmaterial, Doppelprobenanalytik, Kontrollkarten, etc. Bei Isomeregemischen und Verbindungen ohne Referenzstandard ist der Bezugsstandard mit anzugeben.

Empfohlen wird die Vergabe von Analyseaufträgen an Labore, die erfolgreich an Ringversuchen bzw. Laborabgleichen zur Hausstaubanalytik teilgenommen haben.

### **7.4 Analysenbericht/Laborbericht**

Vorgaben zur Berichtserstellung des Sachverständigen sind in Kap. 9 angegeben. Der Laborbericht kann als Anhang hierzu beigegeben werden oder die Ergebnisse werden in den Sachverständigenbericht aufgenommen.

Der Laborbericht muss folgende Angaben enthalten:

- Name des Analyselabors,
- Eindeutige Bezeichnung der Probe. Nähere Angaben zur Probenahme können enthalten sein, sind aber Aufgabe des Sachverständigenberichts,
- Angabe und Kurzbeschreibung des Analyseverfahrens und Extraktionsgemisches bzw. verwendete Norm und ob es sich um ein akkreditiertes Verfahren handelt,
- Angabe des analysierten Staubes (Staubfraktion < 63 µm, Zwischenlagenstaub, Gesamtstaub, Fusseln, etc.) mit Einwaage bzw. Mindesteinwaage (hier möglichst 100 mg oder Rücksprache mit dem Kunden)
- Analyseergebnisse mit Bestimmungsgrenze.

## 8 BEWERTUNG

### 8.1 AGÖF- Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub

#### 8.1.1 Allgemeines

Die "AGÖF- Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub " basieren auf statistischer Ableitung und umfassen "Hintergrund-, Normal- und Auffälligkeitswerte". Als Hintergrundwert wird dabei das 10-Perzentil der Messwerteverteilung verwendet, als Normalwert das 50-Perzentil und als Auffälligkeitswert das 90-Perzentil.

"Hintergrundwert"

Der "Hintergrundwert" beschreibt einen Zustand, der durch die konsequente Vermeidung von Emissionsquellen erreichbar und deswegen grundsätzlich anzustreben ist. Diese Hintergrundwerte liegen vielfach kleiner gleich der Nachweisgrenze der angewandten Methoden.

"Normalwert"

Der "Normalwert" stellt die durchschnittliche Belastungssituation des betrachteten Kollektivs vor, die im Allgemeinen auf Quellen im Innenraum zurückgeht. Bei diesen Werten können zwar Innenraumquellen angenommen werden, ein Handlungsbedarf lässt sich daraus üblicherweise jedoch nicht ableiten.

"Auffälligkeitswert"

Der "Auffälligkeitswert" beschreibt eine Überschreitung von in Innenräumen üblichen Konzentrationen und legt das Vorhandensein einer Schadstoffquelle nahe. Je nach Konzentration und Eigenschaften.

Zum überwiegenden Anteil handelt es sich bei den verwendeten Daten um Auftragsanalytik in Verdachtsfällen, weshalb die Möglichkeit besteht, dass die festgestellten Hintergrundkonzentrationen oberhalb der Konzentrationen liegen, die bei einer statistisch ausgewählten Kollektiv festgestellt worden wären. Dieser Effekt tritt jedoch in den Hintergrund, da nur Ergebnisse von Multiparameteranalysen in der Auswertung berücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass bei jeder Analyse nur für einen geringen Teil der untersuchten Substanzen Verdachtsmomente bestanden, so dass die Verteilung der übrigen Verbindungen einem zufällig ausgewählten Kollektiv entspricht.

Dennoch ist damit zu rechnen, dass insbesondere die Auffälligkeitswerte gegenüber einem unbelasteten Kollektiv eher zu hoch liegen. Zu beobachten war beispielsweise ein Ansteigen der "Hintergrundkonzentrationen" von Polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) im Hausstaub nach bekannt werden der Teerkleberproblematik in *US-Housing-Areas*. Solange für die allermeisten Substanzen keine Daten aus unbelasteten Kollektiven vorliegen, muss oben genannter Effekt in Kauf genommen und gegebenenfalls bei der Anwendung der Werte im Einzelfall berücksichtigt werden.

Die von der AGÖF herausgegebenen statistisch abgeleiteten Orientierungswerte sind somit nicht toxikologisch begründet. Sie beschreiben eine Überschreitung von in Innenräumen üblichen Konzentrationen. Eine Überschreitung dieser Werte weist auf eine Auffälligkeit bzw. einen unüblichen Zustand hin. Eine gesundheitliche Bewertung ist nicht ableitbar.

Die "AGÖF-Orientierungswerte" sollen dem Sachverständigen ein Werkzeug in die Hand geben, die Relevanz von Innenraumbelastungen beurteilen zu können. Letztendlich liegt es jedoch in der Verantwortung des Sachverständigen im Einzelfall, unter Berücksichtigung der Umstände vor Ort (Art der Probenahme, Nutzung der Räumlichkeiten, Charakteristik der Quellen) die Anwendbarkeit der Orientierungswerte zu prüfen und Maßnahmen bei Überschreiten von Auffälligkeits- oder Handlungswerten festzulegen.

### **8.1.2 Vorläufige AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub**

Im Frühjahr 2004 wurden der Öffentlichkeit erstmals die "AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub" vorgestellt. Die synoptische Auswertung gründete auf Untersuchungsergebnissen der beteiligten AGÖF-Mitgliedsinstitute aus den Jahren 1994 – 2004 und repräsentiert eine Grundgesamtheit von mehr als 3.500 Hausstaubanalysen.

Im September 2007 folgte im Rahmen des 8. AGÖF-Fachkongresses in Fürth eine weitere Veröffentlichung „AGÖF -Orientierungswerte für den Hausstaub - Ein Vorschlag für eine Aktualisierung“ der Autoren Jörg Thumulla und Wigbert Maraun. Die Daten dieser Veröffentlichung aus 2007 stammen aus den Jahren 2002 bis 2007 und schreiben damit die alten Orientierungswerte mit einem Datenpool aus 1992 bis 2002 fort. Die AGÖF empfiehlt, die Werte von 2007 zu verwenden.<sup>11</sup>

Die für die zwei Auswertungen zugrunde gelegten Daten basieren aus den Untersuchungsergebnissen von überwiegend zugeschickten Proben. Die Dokumentation der Probenahme von Hausstaub ist somit nicht vergleichbar mit der Dokumentation der Probenahme von Raumluft als Grundlage der aktualisierten „AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen (VOC) in der Raumluft“.

Die zusammengeführten Analysedaten beruhen auf unterschiedlichen Laborverfahren. Bei den angewendeten Analysenmethoden handelt es sich um validierte Verfahren, die durch Laborvergleichsmessungen evaluiert und kontrolliert wurden.

Der Vergleich der verschiedenen Datensätze untereinander zeigt, dass zwischen den einzelnen Labor-Statistiken eine gute Übereinstimmung besteht. Zu Abweichungen kann es dann kommen, wenn neben analytischen Effekten vor allem die Probenahme unter besonderen Bedingungen oder in unüblichen Situationen vorgenommen wird.

---

<sup>11</sup> Thumulla J, Maraun W (2007): AGÖF-Orientierungswerte für den Hausstaub - Ein Vorschlag für eine Aktualisierung, 8. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF): Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Innenraumschadstoffe, Fogging und Gerüche, 19.-20. 09.2007 in Fürth / Bay., Tagungsband, S.57-65

**Tabelle 3: Vorschlag für die AGÖF-Orientierungswerte 2007**

Stoffnahme	CAS	Anzahl			Normal	Auffällig		Hinweise
Perzentil			10%	25%	50%	90%	95%	
Aldrin	309-00-2	698	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	POP (Stockholmer Konvention)* , Carc.Cat.3
Bendiocarb	22781-23-3	684	<0,3	<0,3		<0,3	<0,3	
Bromophos	2104-96-3	1356	<0,1	<0,1		<0,2	<0,2	
Carbaryl	63-25-2	684	<0,5	<0,5		<0,5	<0,5	Carc.Cat.3
Chlordan	57-74-9	755	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	POP (Stockholmer Konvention)* , Carc.Cat.3
p-Chlor-m-kresol	59-50-7	1006	<0,2	<0,2	<0,2	0,6	0,9	
5Chlor2methyl4isothiazolin3on	026172-55-4	990	<0,5	<0,5		<0,5	<0,5	
1-Chlornaphthalin	90-13-1	990	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	
2-Chlornaphthalin	91-58-7	990	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	
Chlorpyrifos	2921-88-2	1365	<0,1	<0,2	<0,2	0,4	0,87	
Chlorthalonil	1897-45-6	990	<0,3	<0,3		<0,3	<0,3	Carc.Cat.3
p,p'-DDT	50-29-3	1374	<0,1	<0,3	<0,3	0,7	1,7	POP (Stockholmer Konvention)* ; Herstellungs- und in Verkehrbringungsverbot (ChemVerbotsV), Immunsuppressiv, endokrin, Carc.Cat.3
o,p'-DDT	50-29-3	929	<	<		<0,1	0,4	Stockholmer Konvention* ; Immunsuppressiv, endokrin , Carc.Cat.3
p,p'-DDE	72-55-9	1374	<0,1	0,11		<0,2	0,3	Immunsuppressiv, endokrin
p,p'-DDD	72-54-8	1068	<0,1	<0,1		<0,2	0,3	Immunsuppressiv, endokrin
Diazinon	333-41-5	1356	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	
Dicofol	115-32-2	684	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	
Dichlofluandil	1085-98-9	1368	<0,1	<0,1		<0,3	<0,3	
p-Dichlorbenzol	106-46-7	684	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	Carc.Cat.3
Dichlorphos/Naled	62-73-7	984	<0,3	<0,3		<0,3	<0,3	
Dieldrin	60-57-1	1361	<0,1	<0,1		<0,2	<0,2	POP (Stockholmer Konvention)* ; Gefahrenwert für Kleinkinder 0,2 mg/kg**, Carc.Cat.3
a-Endosulfan	959-98-8	990	<0,3	<0,3		<0,3	<0,3	
b-Endosulfan	33213-65-9	990	<0,4	<0,4		<0,4	<0,4	
Endrin	72-20-8	1054	<0,1	<0,1		<0,3	<0,3	POP (Stockholmer Konvention)*
Eulan (PCSD/PCAD)		1362	<0,5	<0,5	<0,5	3,6	11	
Fenobucarb	3766-81-2	990	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	
Furmecycloxy	60568-05-0	1005	<0,4	<0,4		<0,4	<0,4	
Heptachlor	76-44-8	1054	<0,1	<0,1		<0,2	<0,2	POP (Stockholmer Konvention)*
Heptachlorepoxyd	1024-57-3	698	<0,3	<0,3		<0,3	<0,3	POP (Stockholmer Konvention)*
Hexachlorbenzol	118-74-1	1360	<0,1	<0,1		<0,2	<0,2	Carc.Cat.2
Lindan (g-HCH)	58-89-9	1372	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	0,7	TRGS 905 K3
a-HCH	319-84-6	684	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	Carc.Cat.3
b-HCH	319-85-7	1054	<0,1	<0,1		<0,2	<0,2	Carc.Cat.3
d-HCH	319-86-8	915	<	<	<	<0,1	<0,1	
Malathion	121-75-5	1050	<0,3	<0,3	<0,3	<0,5	<0,5	
Methoxychlor	72-43-5	1370	<0,2	<0,3	<0,3	0,85	2,9	
2-Octyl-2H-isothiazol-3-on	26530-20-1	990	<0,5	<0,5		<0,5	<0,5	
Omethoat	1113-02-6	559	<	<		<0,2	<	

Stoffnahme	CAS	Anzahl			Normal	Auffällig		Hinweise
Perzentil			10%	25%	50%	90%	95%	
Parathion-ethyl (E605)	56-38-2	1004	<	<		<b>&lt;0,2</b>	<	
Pentachlorphenol	87-86-5	1371	<0,1	<0,2	<b>&lt;0,2</b>	<b>1,5</b>	3,2	< 1 mg/kg: Unbelastet nach PCP - Richtlinie, Carc.Cat.3, TRGS 905 K2
Phosmet	732-11-6	545	<	<		<b>&lt;0,2</b>	<	
Phoxim	14816-18-3	545	<	<		<b>&lt;0,2</b>	<	
Piperonylbutoxid (PBO)	51-03-6	990	<0,2	<0,2	<b>&lt;0,2</b>	<b>0,8</b>	2,2	Synergist für Pyrethroide
Pirimiphos-methyl	29232-93-7	545	<	<	<	<	<	
Propiconazol	60207-90-1	990	<0,3	<0,3		<b>&lt;0,3</b>	<0,3	
Propoxur	114-26-1	990	<0,2	<0,2		<b>&lt;0,2</b>	<0,2	
Tebuconazol	107534-96-3	990	<0,4	<0,4		<b>&lt;0,4</b>	<0,4	Repr.Cat.3
Tetrachlorvinphos	22248-79-9	684	<0,2	<0,2		<b>&lt;0,2</b>	<0,2	
Tolyfluanid	731-27-1	990	<0,3	<0,3		<b>&lt;0,3</b>	<0,3	
Allethrin	584-79-2	1358	<0,3	<0,3	<b>&lt;0,3</b>	<b>&lt;0,5</b>	<0,5	Immunsuppressiv mit PBO
Bioresmethrin	28434-01-7	1052	<0,3	<0,3	<b>&lt;0,3</b>	<b>&lt;0,5</b>	<0,5	
Cyfluthrin	68359-37-5	1358	<0,5	<0,5	<b>&lt;0,5</b>	<b>&lt;0,5</b>	<0,5	Immunsuppressiv mit PBO
Cyhalothrin	68085-85-8	559	<	<		<b>&lt;0,5</b>	<	
Cypermethrin	52315-07-8	1358	<0,5	<0,5		<b>&lt;0,6</b>	<0,6	Immunsuppressiv mit PBO
Deltamethrin	52918-63-5	1358	<0,5	<0,5		<b>&lt;0,5</b>	<0,5	Immunsuppressiv mit PBO
Fenvalerat	51630-58-1	1358	<0,5	<0,5		<b>&lt;0,5</b>	<0,5	Immunsuppressiv mit PBO
Permethrin	52645-53-1	1371	<0,3	<0,3	<b>&lt;0,5</b>	<b>6</b>	21	Immunsuppressiv mit PBO
Phenothrin	26002-80-2	1004	<0,3	<0,3		<b>&lt;0,3</b>	<0,3	Immunsuppressiv mit PBO
Pyrethrin (Summe I + II)	121-21-1 (I) 121-29-9 (II)	1004	<1	<1		<b>&lt;1</b>	<1	Immunsuppressiv mit PBO ; Allergen
Tetramethrin	7696-12-0	1359	<0,3	<0,3	<b>&lt;0,3</b>	<b>&lt;0,5</b>	<0,5	
Summe Pyrethroide		990	<	<	<	<b>9,9</b>	31	
PCB Nr. 28	7012-37-5	1257	<0,01	<0,1		<b>&lt;0,1</b>	<0,1	Stockholmer Konvention* ; ChemVerbotsV
PCB Nr. 52	35693-99-3	1256	<0,01	<0,1		<b>&lt;0,1</b>	<0,1	Stockholmer Konvention* ; ChemVerbotsV
PCB Nr. 101	37680-73-2	1259	<0,01	<0,1	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,1</b>	0,3	Stockholmer Konvention* ; ChemVerbotsV
PCB Nr. 138	35065-28-2	1259	<0,01	<0,1	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,3</b>	0,7	Stockholmer Konvention* ; ChemVerbotsV
PCB Nr. 153	74472-44-9	1259	<0,01	<0,1	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,3</b>	0,67	Stockholmer Konvention* ; ChemVerbotsV
PCB Nr. 180	35065-29-3	1258	<0,01	<0,1	<b>&lt;0,1</b>		0,5	Stockholmer Konvention* ; ChemVerbotsV
Summe PCB nach LAGA		1260	<	<	<	<b>4,5</b>	12,5	Herstellungs- und in Verkehrbringungsverbot (ChemVerbotsV) Grenzwert 50 mg/kg,
Naphthalin	91-20-3	990	<0,2	<0,2		<b>&lt;0,2</b>	<0,2	Carc.Cat.3
Acenaphthylen	208-96-8	990	<0,2	<0,2		<b>&lt;0,2</b>	<0,2	
Acenaphthen	83-32-9	990	<0,2	<0,2		<b>&lt;0,2</b>	<0,2	
Fluoren	86-73-7	990	<0,2	<0,2		<b>&lt;0,2</b>	<0,2	
Phenanthren	85-01-8	990	<0,2	<0,2	<b>0,3</b>	<b>1,7</b>	3,9	
Anthracen	120-12-7	990	<0,2	<0,2		<b>&lt;0,2</b>	0,3	

Stoffnahme	CAS	Anzahl			Normal	Auffällig		Hinweise
Perzentil			10%	25%	50%	90%	95%	
Fluoranthren	206-44-0	990	<0,2	<0,2	<b>0,2</b>	<b>1,5</b>	3,6	
Pyren	129-00-0	990	<0,2	<0,2	<b>0,2</b>	<b>1,1</b>	2,2	
Benz(a)anthracen	56-55-3	990	<0,2	<0,2	<b>&lt;0,2</b>	<b>0,4</b>	0,9	Carc.Cat.2
Chrysen	218-01-9	990	<0,2	<0,2	<b>&lt;0,2</b>	<b>0,6</b>	1,3	Carc.Cat.2 , Muta.Cat.3
Benzo(b)fluoranthren	205-99-2	990	<0,2	<0,2	<b>&lt;0,2</b>	<b>0,8</b>	1,8	Carc.Cat.2
Benzo(k)fluoranthren	207-08-9	990	<0,2	<0,2	<b>&lt;0,2</b>	<b>0,3</b>	0,6	Carc.Cat.2
Benzo(a)pyren	50-32-8	1240	<0,1	<0,2	<b>&lt;0,2</b>	<b>0,3</b>	0,6	50 mg/kg, Grenzwert für Einstufung als krebserregender Arbeitsstoff (TRGS 905) , Carc.Cat.2 , Muta.Cat.2, Repr.Cat.2
Indeno(123cd)pyren	193-39-5	990	<0,2	<0,2	<b>&lt;0,2</b>	<b>0,3</b>	0,6	
Dibenz(ah)anthracen	53-70-3	990	<0,2	<0,2		<b>&lt;0,2</b>	0,2	Carc.Cat.2
Benzo(ghi)perylene	191-24-2	990	<0,2	<0,2	<b>&lt;0,2</b>	<b>0,4</b>	0,9	
Summe PAK nach EPA		1028	<	<	<b>0,7</b>	<b>7,4</b>	19,3	
Tris(2-chlorethyl)phosphat	115-96-8	1208	<0,1	<0,5	<b>&lt;0,5</b>	<b>3,4</b>	8	Karzinogen , Carc.Cat.3 , TRGS 905: K2
Tris-chlorpropylphosphat	13674-84-5	1175	<0,1	<0,5	<b>1,2</b>	<b>8,1</b>	16	
Tris-2,3-dichlor(iso)propylphosphat	13674-87-8	1200	<0,1	<0,5	<b>&lt;0,5</b>	<b>0,7</b>	1,7	
Tri-ethyl-phosphat	78-40-0	545	<	<		<b>&lt;0,2</b>	<	
Tri-butyl-phosphat	126-73-8	990	<0,5	<0,5	<b>&lt;0,5</b>	<b>0,9</b>	1,3	Carc.Cat.3
Tris(2-ethylhexyl)phosphat	78-42-2	990	<0,5	<0,5		<b>&lt;0,5</b>	0,7	Herstellungs- und In-Verkehrbringungsverbot (ChemVerbotsV) ,
Tris(2-butoxyethyl)phosphat	78-51-3	1218	0,18	0,9	<b>3,7</b>	<b>73</b>	205	
Tri-phenyl-phosphat	115-86-6	684	<0,5	<0,5	<b>0,7</b>	<b>3,3</b>	7,1	
Dimethylphthalat	131-11-3	942	<2	<2	<b>&lt;2</b>	<b>&lt;5</b>	<5	Reizstoff
Diethylphthalat	84-66-2	942	<2	2,5	<b>&lt;5</b>	<b>79</b>	170	
Dibutylphthalat	84-74-2	952	8,8	19	<b>41</b>	<b>240</b>	389	Repr.Cat.2 , Repr.Cat.3
Diisobutylphthalat	84-69-5	954	<5	12	<b>31</b>	<b>300</b>	460	
Benzylbutylphthalat	85-68-7	947	2,9	<5	<b>12</b>	<b>150</b>	310	Repr.Cat.2 , Repr.Cat.3
Dioctylphthalat	117-84-0	752	<2	<2	<b>&lt;2</b>	<b>5,3</b>	13	
Di(2-ethylhexyl)phthalat	117-81-7	960	100	210	<b>(430)*</b> <b>**</b>	<b>(2320)</b> <b>***</b>	3500	Repr.Cat.2, hormonell wirksam; Richtwerte für am Boden spielende Kleinkinder : 250 mg/kg (B.A.U.C.H. 1991) , 100 mg/Kg (IFAU 2004)
Diisononylphthalat	28553-12-0	755	<10	22	<b>62</b>	<b>380</b>	750	
Methylmercapto)benzothiazol	615-22-5	990	<0,3	<0,3		<b>&lt;0,3</b>	0,5	
Nikotin	54-11-5	990	<0,5	<0,5	<b>2</b>	<b>50</b>	100	
Phthalsäureanhydrid	85-44-9	1025	1,2	2,6	<b>5,9</b>	<b>35</b>	52	

\* Als POP ("persistent organic pollutants") werden organische Chemikalien bezeichnet, die ein bestimmtes Profil an Umwelteigenschaften aufweisen:

- langsame Abbaubarkeit in der Umwelt
- Anreicherung im Körper vom Menschen, Tieren und Pflanzen
- toxische oder ökotoxische Wirksamkeit
- Potential zum weiträumigen Transport
- Das Stockholmer Übereinkommen ist es ein globales Abkommen zur Beendigung oder Einschränkung der Produktion,

\*\* gemäß Staubaufnahmmodell für Kleinkinder gemäß Bundesgesundheitsblatt 1-99, S. 88, Bekanntmachungen des WaBoLu des Umweltbundesamtes: „DDT in Housings“

### 8.1.3 Metalle

Folgende Studien liegen aus den Jahren 1991 bis 2004 vor:

- Umweltsurvey Band IIIa; Wohn-Innenraum: Spurenelementgehalte im Hausstaub; WaBoLu-Hefte 2/1991,
- Riehm G, Schwermetalle im Innenraum, Wissenschafts-Verlag Dr. Wigbert Maraun, Frankfurt, 1994,
- AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub Stand 2004, <https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-hausstaub-orientierungswerte.html>.

Eine Aktualisierung mit neuen Studien ist wünschenswert.

## 8.2 Bewertung von Schadstoffbelastungen in Hausstaub: Studien des Umweltbundesamtes

Seit Mitte der 80er Jahre werden vom Umweltbundesamt durch die Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit, GerES (bisher Umwelt-Survey genannt) repräsentative Bevölkerungsstudien zur Ermittlung der Schadstoffbelastung der Allgemeinbevölkerung durchgeführt.

Drei relevante Studien, die sich mit der Schadstoffbelastung in Hausstaub beschäftigen, werden im Folgenden vorgestellt.

### 8.2.1 Umwelt-Survey 1998: Band V Hausstaub – Stoffgehalte im Hausstaub aus Haushalten der Bevölkerung in Deutschland (WaBoLu 05/04)

Im Zeitraum von 1997 bis 1999 wurde der 3. Umweltsurvey (Umweltsurvey 1998) durchgeführt. Untersucht wurden 750 Hausstaubproben aus den Staubsaugerbeuteln der Probanden<sup>12</sup> (hiervon 600 aus den alten Bundesländern und 150 aus den neuen Bundesländern) auf PCB und 8 Biozide sowie 199 Hausstaubproben auf Flammschutzmittel und Weichmacher. Für die Analyse wurde die 2 mm Fraktion der Hausstaubproben eingesetzt.

Die Untersuchung von Ost-West-Unterschieden gehörte zu den zentralen Aufgaben des Umweltsurveys. Bei der Bevölkerung aus den alten Bundesländern ließ sich im Vergleich zu der Bevölkerung der neuen Bundesländer ein höherer mittlerer PCB- und PCP-Gehalt im Hausstaub feststellen; bei Lindan und bei DDT war es umgekehrt.<sup>13</sup>

Aufgrund des Alters der Studie und der Auswertung der 2mm-Fraktion sollte diese Studie in der Regel nicht mehr herangezogen werden.

### 8.2.2 Kinder-Umwelt-Survey 2003/06 -KUS-; Hausstaub - Stoffgehalte im Hausstaub aus Haushalten mit Kindern in Deutschland (WaBoLu 02/08)

Während mit den bisherigen Umwelt-Surveys repräsentative Daten zur Belastung der erwachsenen

---

<sup>12</sup> Umweltbundesamt (2004): Umwelt-Survey 1998, Bd. V, Seite3: Hausstaub. Stoffgehalte im Hausstaub aus Haushalten der Bevölkerung in Deutschland (WaBoLu-Hefte, 05/04). UBA, Dessau-Roßlau. - Verwertbar waren 741 Messdaten.

<sup>13</sup> Umweltbundesamt (2004): Umwelt-Survey 1998, Bd. V, Seite3.

Bevölkerung mit Umweltschadstoffen erfasst wurden, wurden im Kinder-Umwelt-Survey (KUS) erstmalig die Schadstoffbelastungen der 3- bis 14-jährigen Kinder in Deutschland auf repräsentativer Basis (1790 Kinder) erfasst. Hausstaubproben wurden von 600 Haushalten untersucht. In der durch Sieben hergestellten 63- $\mu$ m-Fraktion des Staubes wurden 8 Biozide und PCB bestimmt.

Trotz des Verbotes sind PCP, DDT und Lindan noch immer präsent. PCP war in 83 % der Staubproben quantifizierbar und Lindan in 27 %. DDT wurde bei 39 % der Hausstaubproben quantifiziert, wobei der Anteil in den neuen Bundesländern deutlich höher war als in den alten Bundesländern.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Ergebnisse:

**Tabelle 4: Biozide und PCB im Hausstaub (mg/kg) aus Wohnungen mit 3- bis 14-jährigen Kindern in Deutschland (63  $\mu$ m-Fraktion)**

	BG	N	n<BG	%>BG	P10	P50	P90	P95	P98	MAX	AM	GM
<b>Biozide</b>												
<b>Chlorpyrifos</b>	0,05	600	409	<b>32</b>	<0,05	<0,05	0,21	0,45	0,99	61,0	0,232	<0,05
<b>DDT</b>	0,05	600	364	<b>39</b>	<0,05	<0,05	0,43	0,92	2,61	31,4	0,315	0,063
<b>HCB</b>	0,03	600	588	<b>2</b>	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	4,90	<0,03	<0,03
<b>Lindan</b>	0,03	600	437	<b>27</b>	<0,03	<0,03	0,07	0,11	0,21	0,75	0,035	<0,03
<b>Methoxychlor</b>	0,05	600	455	<b>24</b>	<0,05	<0,05	0,41	0,80	2,52	26,0	0,281	<0,05
<b>PCSD/PCAD</b>	0,5	600	509	<b>15</b>	<0,5	<0,5	1,50	3,40	14,1	80,2	1,36	<0,5
<b>Propoxur</b>	0,10	600	566	<b>6</b>	<0,10	<0,10	<0,10	0,29	0,65	6,48	<0,10	<0,10
<b>PCP</b>	0,03	600	102	<b>83</b>	<0,03	0,08	0,65	1,30	2,54	30,4	0,348	<b>0,097</b>
<b>Polychlorierte Biphenyle (PCB)</b>												
<b>PCB 28</b>	0,02	600	592	<b>1</b>	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,41	<0,02	<0,02
<b>PCB 52</b>	0,02	600	586	<b>2</b>	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,67	<0,02	<0,02
<b>PCB 101</b>	0,02	600	525	<b>12</b>	<0,02	<0,02	0,02	0,04	0,09	4,30	0,027	<0,02
<b>PCB 138</b>	0,02	600	440	<b>27</b>	<0,02	<0,02	0,05	0,10	0,25	12,0	0,060	<0,02
<b>PCB 153</b>	0,02	600	418	<b>30</b>	<0,02	<0,02	0,05	0,10	0,25	9,40	0,055	<0,02
<b>PCB 180</b>	0,02	600	489	<b>19</b>	<0,02	<0,02	0,03	0,07	0,18	6,10	0,037	<0,02
<b>PCB-Summe</b>	0,60	600	522	<b>13</b>	<0,60	<0,60	0,75	1,65	4,15	162	0,975	<0,60
<b>PCB 118</b>	0,02	600	567	<b>5</b>	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,05	1,10	<0,02	<0,02

Anmerkungen:

- N = Stichprobenumfang; n < BG = Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (BG);
- %  $\geq$  BG = Anteil der Werte ab der Bestimmungsgrenze; P10, P50, P90, P95, P98 = Perzentile;
- MAX = Maximalwert; AM = arithmetisches Mittel; GM = geometrisches Mittel;
- KI GM = approximatives 95%-Konfidenzintervall für GM; Werte unter BG sind als BG/2 berücksichtigt;
- wenn untere Grenze des KI GM und/oder GM < BG, dann keine Angabe von KI GM;
- PCB-Summe berechnet gemäß PCB-Richtlinie, 1995.

Quelle: Umweltbundesamt 2008 (= Kinder-Umwelt-Survey 2003/06), S 2.

Ein wesentlicher Unterschied zu den AGÖF-Orientierungswerten besteht in der Art der Probenahme. Die beteiligten Familien entnahmen den Staub selber mit ihrem eigenen Staubsauger (Entnahme erfolgte ohne definierten zeitlichen Bezug). Während des Besuchs durch einen Umwelt-Interviewer wurde der Staubbeutel übergeben. In der Regel wurde der gesamte Staubbeutel-Inhalt in

Vakuumverbundfolienbeutel überführt. Bei beutellosen Staubsaugern wurde der Staub direkt in den Folienbeutel entleert.

Der gesamte Inhalt des Staubsaugerbeutels inklusive des Zwischenlagenstaubes wurde zur Siebung herangezogen; dann erfolgte eine 2-mm-Siebung zur Abtrennung gröberer Teilchen und anschließend eine 63-µm-Siebung.

Ziel des KUS ist es, eine personenbezogene Exposition der 3- bis 14-jährigen Kinder gegenüber verschiedener Substanzen aus der häuslichen Umgebung zu bestimmen und nicht die Belastung der Haushalte.

In den Schlussbemerkungen wird darauf hingewiesen, dass in Haushalten mit Kindern geringere Biozidgehalte im Hausstaub aufgefunden werden als in Haushalten ohne Kinder.

### **8.2.3 Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit, GerES 2014-2017**

Mit der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen (GerES V) führt das Umweltbundesamt (UBA) in den Jahren 2014 bis 2017 die 5. große Erhebung zur Umweltbelastung der Bevölkerung in Deutschland durch. Dabei liegt das Hauptaugenmerk wieder auf der jungen Generation. Ziele der Studie sind Untersuchungen, welche möglicherweise schädlichen Chemikalien und Umwelteinflüsse die junge Generation in Deutschland belasten. So lassen sich Rückschlüsse ziehen, wie Schadstoffe und andere Umweltfaktoren die Entwicklung und die Gesundheit von Kindern und Jugendlichen beeinflussen können.

Neben der aktuellen Belastung und deren Einfluss auf die Gesundheit soll in GerES V geklärt werden, woher einzelne Schadstoffe stammen, über welche Belastungspfade sie aus der Umwelt zum Menschen gelangen, ob es besonders belastete Gruppen gibt und wie sich die Belastung von Menschen durch die Umwelt in den vergangenen Jahren verändert hat. Die Ergebnisse liefern auch Informationen, wie jeder Einzelne seine Gesundheit fördern und Umweltbelastungen vermeiden kann. Genutzt werden sie außerdem als Entscheidungsgrundlage seitens der Politik für Regelungen zum Schutz von Mensch und Umwelt.<sup>14</sup>

## **8.3 Toxikologische Ansätze**

Verschiedene toxikologische und epidemiologische Studien haben einen Zusammenhang erhöhter Gehalte dieser Schadstoffe im Hausstaub bzw. im Innenraum mit erhöhten inkorporalen Gehalten oder gesundheitlichen Effekten gezeigt:

- Im Rahmen des Kinder-Umwelt-Surveys wurden vergleichende Untersuchungen des Hausstaubes für Permethrin im Hausstaub und dessen Metaboliten im Urin durchgeführt.<sup>15</sup> Dabei wurde festgestellt, dass die Exposition gegenüber Pyrethroiden beeinflusst ist vom Alter, Sammelort, dem Verzehr gekochter Gemüse und dem Gebrauch von Bioziden im Haushalt. Darüber hinaus wurde eine signifikante Korrelation zwischen den Hausstaubgehalten an Permethrin und der Konzentration seiner Metaboliten nachgewiesen. Dies zeigt, dass bei der Expositionsbeurteilung von Pyrethroiden über die inhalative Betrachtung hinaus weitere Aufnahmepfade wie die orale und dermale Aufnahme in Betracht gezogen werden müssen, was die Ergebnisse der oben diskutierten Studie der Arbeitsgruppe Butte bestätigt.
- Passend hierzu haben Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit von Bioziden aus

---

<sup>14</sup> Umweltbundesamt (2018): Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen, GerES 2014 - 2017 <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/deutsche-umweltstudie-zur-gesundheit-von-kindern>

<sup>15</sup> Becker K, Seiwert M, Ullrich D, Angerer J, Conrad A, Heidrich F, Hoppe H.-W, Kolossa-Gehring M, Schulz C, Thumulla J, Seifert B (2005) GerES IV Pilot Study: exposure of German children from indoor sources. ISEA 2005, October 30 - November 3 Tucson, Arizona, 2005. Abstract Book, 20

Hausstaub bei oraler und dermaler Aufnahme gezeigt, dass der Aufnahmepfad von Pyrethroiden über die Haut eine weitaus wichtigere Rolle spielt als bisher angenommen. In der Studie aus der Arbeitsgruppe Butte an der Universität Oldenburg, wurde dies anhand des Pyrethroids Permethrin demonstriert. Die Studie über die Bestimmung der Penetrationsverfügbarkeit von Permethrin zeigte, dass bei Hausstaubbelastungen mit „hohem Stoffgehalt“ (37 mg/kg Permethrin) bei der dermalen Resorption ohne Pflegeprodukte bei Erwachsenen mit einer dermalen durchschnittlichen Tagesdosis (ADD) von 0,0245 mg/kg zu rechnen ist. Dies entspricht 49 % des oralen ADI-Wertes von 0,05 mg/kg pro Tag. Bei dieser Abschätzung ist die höhere Toxizität von Permethrin bei dermalen Aufnahme aufgrund des First-Pass-Effekt noch nicht berücksichtigt.

- Im Rahmen der 2001 veröffentlichten Studien des Forschungsverbundprojektes zur Pyrethroidexposition in Innenräumen vom Bundesministeriums für Bildung und Forschung sowie dem Industrieverband Agrar e.V. (IVA) wurden Untersuchungsergebnisse zu Haushalten veröffentlicht, in denen durch eine fachgerecht erfolgte Schädlingsbekämpfungsmaßnahme Pyrethroide einmalig ausgebracht wurden. Der Pyrethroidgehalt des Hausstaubes wurde vor und nach der Durchführung der Schädlingsbekämpfungsmaßnahme gemessen.<sup>16</sup> Bezüglich Deltamethrin wird auf S. 52 ausgeführt: „... Für diesen Wirkstoff sind Zusammenhänge zwischen der äußeren Belastung und dem Auftreten pyrethroidspezifischer Symptome in der Studie 2 nicht auszuschließen. Beide Fälle mit Parästhesien traten nach einer Deltamethrinanwendung auf.“

Aus diesen aus epidemiologischer Sicht gewonnenen Erkenntnissen können Hinweise zur toxikologischen Bewertung von Hausstaubproben gezogen werden, wodurch in Einzelfällen die Beantwortung von Fragen bezüglich der Bewertung der im Hausstaub gebundenen Schadstoffe unter gesundheitlichen Aspekten möglich sein wird. Die Betrachtung der inhalativen und oralen Aufnahme kann diese epidemiologisch beobachtbaren Effekte häufig nicht ausreichend erklären. Ausnahmen in konkreten Fällen werden zum Beispiel sehr hohe Belastungen im Einzelfall sein, in denen allein über diese Aufnahme erheblich über den zulässigen Aufnahmeraten (ADI, TDI, ..) liegende Schadstoffgehalte aufgenommen werden. Für viele im Hausstaub relevante Schadstoffe liegen solche von der WHO der EPA oder dem BFR ermittelten tolerierbaren Aufnahmemengen jedoch nur für den oralen Aufnahmepfad vor. Aufgrund des „First-Pass-Effektes“ und weiterer Faktoren können diese jedoch nur mit großen Unsicherheiten auf den dermalen oder inhalativen Pfad übertragen werden.

Untersuchungen der dermalen Aufnahme von Schadstoffen aus Hausstaub<sup>17</sup> zeigen, dass dieser Aufnahmeweg sehr wahrscheinlich einen bedeutenden Anteil der Gesamtaufnahme darstellt, weshalb die alleinige Berücksichtigung der oralen oder inhalativen Aufnahme nicht ausreichend sein wird, Schadstoffgehalte im Haushalt zu beurteilen. Aus Sicht der AGÖF sind jedoch die bisher vorliegenden Modelle zur dermalen Staubaufnahme nicht ausreichend quantitativ belastbar, weshalb sich die AGÖF entschlossen hat, zum gegenwärtigen Zeitpunkt auf eine generelle Ableitung toxikologisch begründeter Richtwerte für den Hausstaub zu verzichten. Die AGÖF sieht jedoch aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse erheblichen Forschungsbedarf, um den Faktor dermale Aufnahmen von Schadstoffen in Innenräumen in Zukunft in die Beurteilung von Innenräumen einbeziehen zu können.

## 8.4 Arbeitsschutz

Kontaminierter Hausstaub stellt einen gefährlichen Arbeitsstoff dar. Für Arbeiten in kontaminierten Bereichen gilt die TRGS 524: Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen. Diese formuliert zur Problematik des Einsatzes von Teerklebstoffen in Gebäuden: 4.9.2 Tätigkeiten mit

---

<sup>16</sup> Broschüre "Pyrethroidexposition in Innenräumen" (2001), Herausgeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Industrieverband Agrar e.V. (IVA).

<sup>17</sup> Ertl H, (2007) In vitro-Resorptionsverfügbarkeit von Bioziden und PCB aus Hausstaub bei Aufnahme über den Magen-Darm-Trakt bzw. durch die Haut. Dissertation, Universität Oldenburg

teerhaltigen (kohlestämmigen) Materialien im Hochbau:

1. Bei Umbau, Rückbau und der Modernisierung von Gebäuden trifft man häufig auf teerhaltige Abdichtungs-, Isolier- und Klebemittel. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Produkte sind polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Neben den PAK treten eine Vielzahl weiterer Stoffe auf, von denen einige akute Wirkungen zeigen (z.B. Atemwegsreizungen durch Phenole, Kresole). Die nachfolgend genannten Handlungsanleitungen wurden mit dem Ziel der sicheren Durchführung von Tätigkeiten mit teerhaltigen Materialien erarbeitet.
2. Die „PAK-Handlungsanleitung“ des Landesamtes für Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz und technische Sicherheit – LAGetSi – Berlin ist für alle Tätigkeiten mit teerhaltigen Materialien im Hochbau anwendbar. Für wesentliche Arbeitsschritte werden Gefährdungsabschätzungen vorgenommen und Mindestanforderungen an die erforderlichen Schutzmaßnahmen beschrieben, die an die Gegebenheiten der jeweiligen Baumaßnahme anzupassen sind. Eine Bewertung der Sanierungsnotwendigkeit ist nicht Gegenstand der Handlungsanleitung.

Zu den Tätigkeiten mit teerhaltigen Materialien im Hochbau gehört auch das Staubsaugen von Parkettböden auf PAK-haltigen Klebern. Nach der Definition der LAGETSI (Punkt 3) sind teerhaltige Materialien Produkte oder Materialien, die mehr als 100 mg/kg Trockensubstanz PAK (Summe) enthalten. Ab diesem Gehalt ist für den gewerblichen Arbeitnehmer eine Gefährdungsabschätzung unter Berücksichtigung aller möglichen Aufnahmepfade durchzuführen.

Die TRGS 551 (Fassung 2.2.2016) "Teer und andere Pyrolyseprodukte aus organischem Material" gilt zum Schutz der Beschäftigten und anderer Personen bei Tätigkeiten mit Pyrolyseprodukten aus organischem Material, die eine Konzentration an Benzo[a]pyren (BaP) von 50 mg/kg und mehr aufweisen. (Kap. 1(1)). In Kap 4.1 (3) wird beschrieben: Gemäß TRGS 905 sind PAK-haltige Gefahrstoffe als krebserzeugend im Sinne des § 2 Absatz 3 der GefStoffV anzusehen, sofern der Massengehalt an BaP gleich oder größer als 0,005 vom Hundert (50 mg/kg) beträgt.

#### **8.4.1 Teerprodukte als Baustoffe**

Die TRGS 524 gilt auch für das Räumen und die Reinigung kontaminierter Räume (Kapitel 2.3, Abs. 6), beispielsweise in Innenräumen mit Parkettböden auf teerhaltigen Klebern. Zur Problematik des Einsatzes von Teerlebstoffen in Gebäuden findet sich in der TRGS 524 unter Punkt 4.9.2 Tätigkeiten mit teerhaltigen (kohlestämmigen) Materialien im Hochbau:

1. „Bei Umbau, Rückbau und der Modernisierung von Gebäuden trifft man häufig auf teerhaltige Abdichtungs-, Isolier- und Klebemittel. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Produkte sind polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Neben den PAK treten eine Vielzahl weiterer Stoffe auf, von denen einige akute Wirkungen zeigen (z.B. Atemwegsreizungen durch Phenole, Kresole). Die nachfolgend genannten Handlungsanleitungen wurden mit dem Ziel der sicheren Durchführung von Tätigkeiten mit teerhaltigen Materialien erarbeitet.
2. Die „PAK-Handlungsanleitung“ des Landesamtes für Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz und technische Sicherheit – LAGetSi – Berlin ist für alle Tätigkeiten mit teerhaltigen Materialien im Hochbau anwendbar.“

Zu den Tätigkeiten mit teerhaltigen Materialien im Hochbau gehört auch das Staubsaugen von Parkettböden auf PAK-haltigen Klebern. Hier ist der aus den Ritzen gesaugte Hausstaub der gefährliche Arbeitsstoff.

Nach der Definition der LAGetSi (Punkt 3) sind teerhaltige Materialien Produkte oder Materialien, die mehr als 100 mg/kg Trockensubstanz PAK (Summe der 16 PAK nach EPA) enthalten. Ab diesem Gehalt sind für gewerbliche Arbeitnehmer eine Gefährdungsabschätzung unter Berücksichtigung aller möglichen Aufnahmepfade durchzuführen und Schutzmaßnahmen festzusetzen.

Die TRGS 551 (Fassung 2.2.2016) "Teer und andere Pyrolyseprodukte aus organischem Material" gilt zum Schutz der Beschäftigten und anderer Personen bei Tätigkeiten mit Pyrolyseprodukten aus

organischem Material, die eine Konzentration an **Benzo[a]pyren (BaP) von 50 mg/kg** und mehr aufweisen. (Kap. 1(1)). In Kap 4.1 (3) wird beschrieben: Gemäß TRGS 905 sind PAK-haltige Gefahrstoffe als krebserzeugend im Sinne des § 2 Absatz 3 der GefStoffV anzusehen, sofern der Massengehalt an BaP gleich oder größer als 0,005 vom Hundert (50 mg/kg) beträgt.

Demgegenüber sind nach Auffassung des Ausschusses für Innenraumhygiene (AIR) Messungen von PAK im deponierten Hausstaub ungeeignet für eine Bewertung von PAK in der Innenraumluft, weil die verwendeten Modelle zur Abschätzung der oralen bzw. inhalativen Aufnahme von PAK aus dem Hausstaub mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind und auch keine Angaben zur Resorptionsverfügbarkeit von PAK aus dem Hausstaub vorliegen. Demzufolge rät der AIR von Messungen auf PAK im Hausstaub ab. Stattdessen sollte eine Messung der leichterflüchtigen PAK (Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen) in der Innenraumluft erfolgen. Für diese Stoffgruppe liegen Richtwerte für die Innenraumluft vor.<sup>18</sup>

Nach Auffassung der AGÖF dienen Untersuchungen des Hausstaubes nicht primär dazu, die Bewertung der PAK in der Innenraumluft durchzuführen. Hierzu sind Raumluftuntersuchungen das geeignetere Instrument. Die Untersuchungen von Hausstaub sind ein weiterer Aspekt der Gefährdungsanalyse, die die weiteren Aufnahmepfade (dermal, oral über Hand zu Mund Kontakt, inhalativ beispielsweise durch Freisetzung von Stäuben beim Staubsaugen) mitberücksichtigt.

Teerkleber und andere teerhaltige Baumaterialien haben abhängig von der eingesetzten Teerfraktion eine sehr unterschiedliche Zusammensetzung in Bezug auf flüchtige und schwerer flüchtige PAK:

- Überwiegt die flüchtige PAK-Fraktion und sind kaum schwerflüchtige Anteile vorhanden, kommt es häufig auch zu Geruchsbelästigungen. In diesem Fall ist die Vorgehensweise der AIR zielführend.
- Bei teerhaltigen Materialien, bei denen die flüchtige Fraktion kaum vorhanden ist, ist die Messung auf die richtwertrelevanten flüchtigen PAK (Naphthaline, ... ) nicht hinreichend, weil diese kein Indikator für eine Belastung und das damit verbundene Krebsrisiko mit den schwerer flüchtigen PAK sind.

Abhängig von der Zusammensetzung der teerhaltigen Baustoffe muss daher die von der AIR vorgeschlagene Untersuchung der Raumluft auf die flüchtigen PAK durch die Untersuchung des Hausstaubes und ggf. eine Untersuchung der Raumluft auf die schwerer flüchtigen PAK unter Berücksichtigung der Schwebstaubanteile (Probenahme unter Nutzung oder Nutzungssimulation) ergänzt werden.

---

<sup>18</sup> Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR), Protokoll der 6. Sitzung am 02 und 03.11. 2017 in Berlin ( 07.05.2018) TOP 11 BaP-Hausstaubwert,  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc#textpart-5> (12.09.2019)

## 9 GUTACHTEN BZW UNTERSUCHUNGSBERICHT

Das Gutachten bzw. der Untersuchungsbericht muss Mindestanforderungen erfüllen. Diese werden im Folgenden erläutert. Zu den formalen Vorgaben gehören eine eindeutige Identifikation des Auftraggebers mit Anschrift bzw. des Untersuchungsobjektes sowie des Sachverständigen, ein Inhaltsverzeichnis mit Seitennummerierung und eine Auftragsbeschreibung.

Alle wichtigen Punkte eines Ortstermins mit Probenahme sollten angegeben werden. Dies kann mit einer Beschreibung des Ortstermins und der Anlage des Probenahmeprotokolls erfolgen. Es müssen mindestens folgende Punkte angegeben werden:

- Datum und Uhrzeit,
- Ort,
- Angaben zur Vorbereitung der Räume, Angabe der ausführenden Person,
- Angaben zu den beprobten Bereichen und Flächen, Nennung des Probenehmers,
- Angaben zum eingesetzten Verfahren,
- Angabe weiterer möglicher Einflussfaktoren auf die Bewertung,
- Angabe von für den Auftrag relevanten Beobachtungen (z. B. Holzverkleidungen, Anwendung von Schädlingsbekämpfungsmitteln, Vornutzung der Räume, Fußboden- und Dachaufbauten...).

Bei der Ergebnisdarstellung wird der Laborbericht üblicherweise der Anlage beigelegt. Dessen Anforderungen sind in Kapitel 7.4 beschrieben. Die Laborergebnisse können auch unter Angabe von:

- Angabe des Analyselabors (optional),
- Angabe des Analyseverfahrens,
- Angabe des analysierten Staubes (Staubfraktion < 63 µm, Zwischenlagenstaub, Gesamtstaub, Fusseln, etc.) mit Einwaage und Extraktionsmittel,
- Analyseergebnisse mit Bestimmungsgrenze.

in das Gutachten oder den Untersuchungsbericht übernommen werden.

Bei der Bewertung der Ergebnisse sind die Bewertungsgrundlagen darzulegen. Die in die Bewertung einfließenden Referenz- und Orientierungswerte sind mit Quellenangabe zu versehen. Mit der Bewertung der Ergebnisse sollten dem Auftraggeber abschließend Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise gegeben werden.

## 10 LITERATUR

AGÖF (2004/2007): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub“; <https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-hausstaub-orientierungswerte-2007.html> (12.09.2019)

AGÖF (2013): AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft, <http://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-voc-orientierungswerte.html> (12.09.2019)

ARGUK-Umweltlabor (1998): US Housings oder PAK in älterem Parkettkleber, [https://www.arguk.de/forschung/us\\_housing.html](https://www.arguk.de/forschung/us_housing.html) (12.09.2019)

ARGUK-Umweltlabor: PAK - Sanierung von teerpechhaltigen Parkettklebern, <https://www.arguk.de/leistung/innenraum/Sanierung-von-teerpechhaltigen-Parkettklebern.htm> (12.09.2019)

Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR), Protokoll der 6. Sitzung am 02 und 03.11. 2017 in Berlin (07.05.2018) TOP 11 BaP-Hausstaubwert, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheits/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc#textpart-5> (12.09.2019)

Becker K, Seiwert M, Ullrich D, Angerer J, Conrad A, Heidrich F, Hoppe H.-W, Kolossa-Gehring M, Schulz C, Thumulla J, Seifert B (2005) GerES IV Pilot Study: exposure of German children from indoor sources. ISEA 2005, October 30 - November 3 Tucson, Arizona, 2005. Abstract Book, 20

Broschüre "Pyrethroidexposition in Innenräumen" (2001), Herausgeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Industrieverband Agrar e.V. (IVA)

Butte W & Heinzow B (2002). Pollutants in house dust as indicators of indoor contamination. *Reviews of Environmental Contamination & Toxicology*, 175: 1–46

Ertl H, (2007) In vitro-Resorptionsverfügbarkeit von Bioziden und PCB aus Hausstaub bei Aufnahme über den Magen-Darm-Trakt bzw. durch die Haut. Dissertation, Universität Oldenburg

Riehm G, Schwermetalle im Innenraum, Wissenschafts-Verlag Dr. Wigbert Maraun, Frankfurt, 1994

Butte W & Heinzow B (2002). House dust as an important route of exposure for many chemical contaminants. Various levels of pesticides, PCBs, PAHs, plasticizers (phthalates, phenols), flame retardants, other organic xenobiotics, and inorganic constituents have been reported in house dust; USEPA, 2004)

Thumulla J, Maraun W (2007): AGÖF-Orientierungswerte für den Hausstaub - Ein Vorschlag für eine Aktualisierung, 8. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF): Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Innenraumschadstoffe, Fogging und Gerüche, 19.-20. 09.2007 in Fürth / Bay., Tagungsband, S.57-65

Mekel O, Mosbach-Schulz O, Schumann M, Okken P-K, Peters C, Hermann J, Hehel O, Bubenheim M, Fehr R, Timm J. 2007. Evaluation von Standards und Modellen zur probabilistischen Expositionsabschätzung, Teil 1-3. Umweltbundesamt, WaBoLu-Heft 02/07

Pöhner A, Simrock S, Thumulla J, Weber S, Wirkner T: Hintergrundbelastung des Hausstaubes von Privathaushalten mit mittel- und schwerflüchtigen organischen Schadstoffen. AnBUS e.V., Zusammenfassungen in Zeitschrift für Umweltmedizin 6 (1998) 337-45 und in Diel F; Feist W; Krieg HU, Linden, W (Hrsg.): Ökologisches Bauen und Sanieren. C.F. Müller (Heidelberg 1998) 122-7

Uhl M, Hohenblum P, Scharf S, Trimbacher C, Umweltbundesamt, HAUSSTAUB – EIN INDIKATOR FÜR INNENRAUMBELASTUNG BERICHTE BE-258, Wien, 2004

Umweltbundesamt (2004): Umwelt-Survey 1998, Bd. V: Hausstaub. Stoffgehalte im Hausstaub aus Haushalten der Bevölkerung in Deutschland (WaBoLu-Hefte, 05/04). UBA, Dessau-Roßlau

Umweltbundesamt (2008): Kinder-Umwelt-Survey 2003/06 - KUS. Hausstaub: Stoffgehalte im Hausstaub aus Haushalten mit Kindern in Deutschland (WaBoLu-Hefte, 02/08). UBA, Dessau-Roßlau

Umweltbundesamt (2018): Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen, GerES 2014 - 2017 <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/deutsche-umweltstudie-zur-gesundheit-von-kindern>

Umweltsurvey Band IIIa; Wohn-Innenraum: Spurenelementgehalte im Hausstaub; WaBoLu-Hefte 2/1991

USEPA (2004). A pilot study of children's total exposure to persistent pesticides and other persistent organic pollutants (CTEPP), Washington, DC, United States Environmental Protection Agency (EPA/600/R-04/193)

VDI 4300 Blatt 8:2001-06 Technische Regel. Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Probenahme von Hausstaub [ZURÜCKGEZOGEN 2012]

WHO, Summary of Principles for Evaluating Health Risks in Children Associated with Exposure to Chemicals, Genf, 2011; [http://www.who.int/ceh/health\\_risk\\_children.pdf?ua=1](http://www.who.int/ceh/health_risk_children.pdf?ua=1)

# 11 ANHANG

## Musterformular Probenahmeprotokoll

<b>Projekt-Nr.</b>	
<b>Auftraggeber, Adresse</b>	
<b>Probenehmer</b>	
<b>Probenahmedatum</b>	
<b>Probenahmeort (Liegenschaft, Gebäudetyp, Raumtyp)</b>	
<b>Probennummer</b>	
<b>Frischstaub oder Altstaub (ungefähre Altersangabe)</b>	
<b>letzte Reinigung/ Unterhaltsreinigung</b>	
<b>Nutzungsart seit der letzten Reinigung</b>	
<b>Anlass der Untersuchung</b>	
<b>Schadstoffe als Verdachtsquelle</b>	
<b>Laborauftrag</b>	Multiparameteranalyse / zu untersuchende Substanzen
<b>Probenahmeart</b>	<input type="checkbox"/> Absaugen des Hausstaubes mit Staubsauger und Papierbeuteln <input type="checkbox"/> Absaugen des Hausstaubes mit Staubsauger und Vliesbeuteln <input type="checkbox"/> Absaugen des Hausstaubes mit Planfiltern
<b>Probenahmegerät</b>	
<b>Art der beprobten Fläche</b>	<input type="checkbox"/> Fußboden ( <input type="checkbox"/> Laminat, <input type="checkbox"/> Massivholzparkett <input type="checkbox"/> Fertigparkett, <input type="checkbox"/> Teppichboden/Teppich <input type="checkbox"/> PVC, <input type="checkbox"/> Stein/Keramik-Fliesen, <input type="checkbox"/> Kautschuk <input type="checkbox"/> Sonstige Oberflächen (z.B. Fensterbänke, Glasregalböden, Polyesterflächen,...): _____
<b>Beprobte Fläche (ca. m<sup>2</sup>)</b>	
<b>letzte Grundreinigung (öffentliche Gebäude, usw.)</b>	
<b>Weitere Randbedingungen (Raumausstattung, Zustand, Alter, ...)</b>	Wände: _____ Decken: _____ Boden: _____ Mobiliar: _____ Haustiere/ Pflanzen: _____
<b>Bemerkungen</b>	
<b>Datum</b> <b>Unterschrift des Probenehmers</b>	