



ARBEITSGEMEINSCHAFT
ÖKOLOGISCHER
FORSCHUNGSINSTITUTE e.V.

AGÖF-LEITFADEN

HAUSSTAUBUNTERSUCHUNGEN AUF CHEMISCHEPARAMETER

**Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC)
und Schwermetalle**

VERSION : 12.11.2020

Dieser Leitfaden wurde als Entwurf der Öffentlichkeit zur Stellungnahme vorgelegt und die Einwendungen berücksichtigt.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung auch von Teilen außerhalb des Urheberrechtgesetzes 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.

© 2020 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

Internet: 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.....	8
3	GRUNDLAGEN.....	8
3.1	Charakterisierung von Hausstaub.....	8
3.2	Grenzen, Fehlerbetrachtung.....	10
3.3	Reproduzierbarkeit von Hausstaubuntersuchungen	10
4	ZIELE VON HAUSSTAUBUNTERSUCHUNGEN.....	12
4.1	Prüfen auf Schadstoffbelastungen in genutzten Innenräumen	12
4.2	Quellensuche.....	13
4.3	Toxikologische Beurteilung von staubgetragenen Schadstoffbelastungen.....	13
4.4	Kontrolluntersuchungen nach Schädlingsbekämpfung	14
4.5	Sanierungszielkontrolle	14
4.6	Arbeitsschutz / Gefährdungsabschätzung für Arbeiten in kontaminierten Bereichen.....	14
4.6.1	Liegestäube in holzschutzmittelkontaminierten Dachböden.....	15
5	MESSSTRATEGIE.....	15
5.1	Prüfen auf Schadstoffbelastungen in genutzten Innenräumen	15
5.2	Quellensuche.....	15
5.3	Messziel Toxikologie.....	16
5.4	Kontrolluntersuchung nach Schädlingsbekämpfung.....	16
5.5	Sanierungszielkontrolle	17
5.6	Arbeitsschutz	17
6	PROBENAHMETECHNIKEN	17
6.1	Probenahmetechniken	17
6.1.1	Probenahme durch Saugen mit Staubbeutel	17
6.1.2	Probenahme durch Saugen mit vorgeschaltetem Planfilter	18
6.1.3	Probenahme durch Kehren.....	19
6.2	Probenahmeprotokoll (Musterformular).....	19
7	ANALYTIK	19
7.1	Analytik/ Untersuchungsstrategien.....	19
7.2	Analyseverfahren.....	19
7.2.1	Probenvorbereitung	20
7.2.2	Analysegeräte	20
7.3	Qualitätssicherung.....	20
7.4	Analysenbericht/Laborbericht	20
8	BEWERTUNG.....	21
8.1	AGÖF- Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub	21

8.1.1	Allgemeines	21
8.1.2	Vorläufige AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub.....	22
8.1.3	Metalle	26
8.2	Bewertung von Schadstoffbelastungen in Hausstaub: Studien des Umweltbundesamtes.....	27
8.2.1	Umwelt-Survey 1998: Band V Hausstaub – Stoffgehalte im Hausstaub aus Haushalten der Bevölkerung in Deutschland (WaBoLu 05/04)	27
8.2.2	Kinder-Umwelt-Survey 2003/06 -KUS-; Hausstaub - Stoffgehalte im Hausstaub aus Haushalten mit Kindern in Deutschland (WaBoLu 02/08)	27
8.2.3	Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit, GerES 2014-2017.....	29
8.3	Toxikologische Ansätze.....	29
8.4	Arbeitsschutz.....	30
8.4.1	Teerprodukte als Baustoffe	31
9	GUTACHTEN BZW UNTERSUCHUNGSBERICHT.....	33
10	LITERATUR	34
11	ANHANG	36

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 (SVOC - Semi-Volatile Organic Compounds) und Schwermetallen die Bevölkerung ausgesetzt ist. Die im Hausstaub ermittelten Konzentrationen können somit als Indikator für die Exposition im Innenraum mit Schadstoffen betrachtet werden.¹

Mit der Aufnahme von Hausstaub durch die Raumnutzer gelangen Schadstoffe in den Organismus, die sich an und in den Staubpartikeln befinden. 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 ihren erhöhten Stoffwechsel und die vergleichsweise größere Hautoberfläche in Bezug auf das Körpergewicht sind sie für toxische Wirkungen von Umweltschadstoffen empfindlicher als Erwachsene.

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 möglich.

Hausstaubuntersuchungen erfolgen häufig im Screeningverfahren (Erläuterung siehe Kapitel 7) um:

- Belastungen mit SVOC und Schwermetallen in Innenräumen detektieren zu können,
- das Vorhandensein von verdächtigen Substanzen zu überprüfen bzw. nachzuweisen und Auffälligkeiten festzustellen.

Sie bieten außerdem wertvolle Aussagen im Bereich von Sanierungskontrollen. Darüber hinaus kann mit dem Hausstaub-Umweltmonitoring die Entwicklung der Freisetzung von chemischen Substanzen im Innenraum verfolgt und der Einsatz neuer chemischer Problemsubstanzen entdeckt werden.

Dieser Leitfaden thematisiert:

- die Anwendungsbereich und Ziele von Hausstaubuntersuchungen,
- die Grundlagen und Grenzen von Hausstaubuntersuchungen,
- die Messstrategien und Probenahmetechniken,
- die Analytik
- und die Bewertung von Analyseergebnissen.

Für die Bewertung von Hausstäuben werden Publikationen von Studien aus Umweltsurveys und AGÖF-Studien mit statistischen Auswertungen herangezogen.

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

Die AGÖF- Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen im Hausstaub von 2004 wurden bis auf die Tabelle der Schwermetalle zurückgezogen² und durch „Vorläufige AGÖF- Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub, 2007³ ersetzt.

Bei der aktualisierten Datenbasis handelt es sich wie bei der Vorgängerversion überwiegend um zugeschnittene Proben, so dass die Standardisierung der Probenahme nicht im gleichen Umfang wie beispielsweise bei den AGÖF- Raumluftorientierungswerten gesichert ist.

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 sollen 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.

² AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub, 2004-alt, <https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-hausstaub-orientierungswerte/agoef-hausstaub-orientierungswerte-2004-alt.html> (23.10.2020)

³ 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 und [https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-hausstaub-orientierungswerte-2007.html](https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-hausstaub-orientierungswerte/agoef-hausstaub-orientierungswerte-2007.html) (23.10.2020)

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 den 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. 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 Depositionstaub auf inerten Oberflächen.

Das vorliegende Dokument soll dem Sachverständigen Hilfestellungen für die Bewertung der ermittelten Analysresultate 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 Charakterisierung von Hausstaub

Es gibt derzeit keine allgemein verbindliche Definition des Begriffs „Hausstaub“. Im Rahmen dieses Leitfadens sollen 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 sedimentierter 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 „Hausstaub“ 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 Kleidungsstücken und Teppichen), anorganischem Material wie Sand, Lehm und Ton, sowie Rußpartikeln und Stäuben aus Verbrennungsprozessen (Rauch). Ebenso sind Nahrungskrümel, 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 Durchmessern 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),⁴
- 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 Staubpartikeln anlagern können. Quellen können entweder der Abrieb von kontaminierten Innenraummaterialien oder die belastete Raumluft sein. Hausstaub kann neben dem oralen oder dermalen Weg ggf. über die Inhalation aufgenommen werden und zu einer Exposition im menschlichen Körper führen. .

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 dem Alter des Staubes.

In den überwiegenden Fällen werden Staubuntersuchungen auf die Masse des untersuchten Staubes bezogen ausgewertet. 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.

⁴ 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

Die an den Hausstaub gebundenen mittel- bis schwerflüchtige organischen Verbindungen und Schwermetalle werden im Folgenden unter dem Begriff partikelgebundene Substanzen (PBM, particulate bounded matter) zusammengefasst

Der Eintrag 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 (Kondensation oder Verdampfung) 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, Materialzusammen–setzungen 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 jeweils durch die Nutzung von Räumen, dem Verhalten und dem Hygienestandard der Raumnutzer, der 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.⁵ 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 Probenahmetermine auf gleichen

⁵ Schriftliche Mitteilung, Unveröffentlichte Ergebnisse Jörg Thumulla, anbus analytik GmbH, 90762 Fürth

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 ^a [mg/kg]	δ^a [mg/kg]	rel δ^a [%]
Naphthalin (VOC)	0,2	<	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	20,2%
Acenaphthylen (VOC)	0,2	<	<	<	<	<	-	-
Acenaphthen (VOC)	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%
Fluoranthren	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%
Benzo(a)pyren	0,2	7,5	16	12	16	14,7	1,89	12,9%
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)perylen	0,2	6	9,5	8,5	11	9,7	1,03	10,6%
Summe PAK^a	-	121	469	358	241	356	93	26,1%

BG = Bestimmungsgrenze, '<' = kleiner Bestimmungsgrenze, 'n.b.' = nicht bestimmt, δ = Standardabweichung, ^a = Konzentrationen < BG wurden gleich 0 gesetzt.

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

BG = Bestimmungsgrenze, '<' = kleiner Bestimmungsgrenze, 'n.b.' = nicht bestimmt, δ = Standardabweichung, a = Konzentrationen < BG wurden gleich 0 gesetzt.

Die exemplarisch dargestellten Ergebnisse zeigen, dass bei sachgemäßer Probenahme relative Standardabweichungen von unter 30% erreicht werden können. Dies gilt auch für den flüchtigsten Vertreter Naphthalin.

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 zu 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.⁶

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 Multiparameteranalyse von PBM in 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 Raumluftmessungen zur weiteren Beurteilung eingeleitet werden.

⁶ ARGUK-Umweltlabor (1998): US Housings oder PAK in älterem Parkettkleber, https://www.arguk.de/forschung/us_housing.html (23.106.2020)

Geben Gesundheitsbeschwerden Anlass auf den Verdacht einer Innenraumbelastung auf gesundheitlich relevante Stoffe, kann eine Staubuntersuchung ein geeignetes Verfahren zum Prüfen von Belastungen mit PBM sein. Bei auffälligen Befunden von Einzelstoffen können anschließend gezielte Raumluftmessungen zur gesundheitlichen Bewertung des Schadstoffvorkommens 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 Innenräumen können gesundheitliche Effekte auf die Gebäudenutzer haben. Weil 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 Konventionsmethode 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 (gesiebten) 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.⁷

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).

⁷ Uhl M, Hohenblum P, Scharf S, Trimbacher C, Umweltbundesamt, HAUSSTAUB – EIN INDIKATOR FÜR INNENRAUMBELASTUNG BERICHTE BE-258, Wien, 2004

Bezüglich der quantitativen Abschätzung der Schadstoffaufnahme über die Nahrung und über 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 Räumen mit am Boden spielenden Kindern der Fall.

Eine unmittelbare toxikologische Bewertung anhand von Richt- und Orientierungswerten ist bei der Vielzahl der Einflussfaktoren schwierig und in vielen Fällen nicht möglich. In Einzelfällen werden toxikologisch-gesundheitliche Beurteilungen durchgeführt (siehe Kapitel 7.3). Es besteht Forschungsbedarf.

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 523 (Schädlingsbekämpfung mit sehr giftigen, giftigen und gesundheitsschädlichen Stoffen und Zubereitungen) 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 523 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

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

Erste Erfahrungen mit Staubuntersuchungen zur Sanierungskontrolle liegen bei PAK-Sanierungen vor.⁸

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

⁸ ARGUK-Umweltlabor: PAK - Sanierung von teerpechhaltigen Parkettklebern, <https://www.arguk.de/leistung/innenraum/Sanierung-von-teerpechhaltigen-Parkettklebern.htm> (23.10.2020)

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 bei mit Holzschutzmittel behandelten Dachstühlen auf.

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 bei vermutetem oder gesichertem Vorliegen stark erhöhter Belastungen unter Nutzung persönlicher Schutzausrüstung durchzuführen.

Staubanalysen sind hier geeignet um eine Gefährdungsbeurteilung zu erstellen.

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 stattfinden muss, 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. von Teppichen, Polstermöbeln, Matratzen, antiken Möbeln und Objekten, 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.

Wenn die Probenflächen klein 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 die Entnahme von Staub als Grundlage einer toxikologischen Beurteilung ist derjenige Staub heranzuziehen, für den 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 der Probenahmezyklus 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 523. 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. Eine Wartezeit von 1-2 Wochen bis zur Staubprobennahme 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 m² der abgelagerte Staub erfasst. Labortechnisch erfolgt das Auswiegen des gesamten Staubbeutelinhaltes und in einem Aliquot die Bestimmung des BaP-Gehaltes zur Ermittlung des Flächengehaltes.

5.6 Arbeitsschutz

Zur Durchführung der Gefährdungsabschätzung ist es wesentlich, denjenigen 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 PROBEHAHMETECHNIKEN

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 Staubbiladung 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 mehrlagige (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 m² (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/m²) 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/ Untersuchungstrategien

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 Staubbeutel) für die weitere Analytik zu verwenden. Eine Vergleichbarkeit beider Fraktionen wurde durch Pöhner et. al.⁹ 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 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.

⁹ 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

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 Auffälligkeitsswerte. Als Hintergrundwert wird dabei das 10-Perzentil der Messwerteverteilung verwendet, als Normalwert das 50-Perzentil und als Auffälligkeitsswert 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.

Auffälligkeitsswert

Der Auffälligkeitsswert beschreibt eine Überschreitung von in Innenräumen üblichen Konzentrationen und legt das Vorhandensein einer Schadstoffquelle nahe.

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 einem 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. Es handelt sich hierbei nicht um Grenz- oder Richtwerte.

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 1992 –2002 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, siehe Tabelle 3.¹⁰

Die für die zwei Auswertungen zugrunde gelegten Daten basieren auf 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.

¹⁰ 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- u. in Verkehr bringungsverbot (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	
Dichlofluamid	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	
Furmecyclox	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	

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

Stoffnahme	CAS	Anzahl			Normal	Auffällig		Hinweise
Perzentil			10%	25%	50%	90%	95%	
Naphthalin	91-20-3	990	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	Carc.Cat.3 ***
Acenaphthylen	208-96-8	990	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	
Acenaphthen	83-32-9	990	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	
Fluoren	86-73-7	990	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	
Phenanthren	85-01-8	990	<0,2	<0,2	0,3	1,7	3,9	
Anthracen	120-12-7	990	<0,2	<0,2		<0,2	0,3	
Fluoranthen	206-44-0	990	<0,2	<0,2	0,2	1,5	3,6	
Pyren	129-00-0	990	<0,2	<0,2	0,2	1,1	2,2	
Benz(a)anthracen	56-55-3	990	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	0,9	Carc.Cat.2
Chrysen	218-01-9	990	<0,2	<0,2	<0,2	0,6	1,3	Carc.Cat.2 , Muta.Cat.3
Benzo(b)fluoranthen	205-99-2	990	<0,2	<0,2	<0,2	0,8	1,8	Carc.Cat.2
Benzo(k)fluoranthen	207-08-9	990	<0,2	<0,2	<0,2	0,3	0,6	Carc.Cat.2
Benzo(a)pyren	50-32-8	1240	<0,1	<0,2	<0,2	0,3	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	<0,2	0,3	0,6	
Dibenz(ah)anthracen	53-70-3	990	<0,2	<0,2		<0,2	0,2	Carc.Cat.2
Benzo(ghi)perylen	191-24-2	990	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	0,9	
Summe PAK nach EPA		1028	<	<	0,7	7,4	19,3	
Tris(2-chlorethyl)phosphat	115-96-8	1208	<0,1	<0,5	<0,5	3,4	8	Karzinogen , Carc.Cat.3 , TRGS 905: K2
Tris-chlorpropylphosphat	13674-84-5	1175	<0,1	<0,5	1,2	8,1	16	
Tris-2,3-dichlor(iso)propylphosphat	13674-87-8	1200	<0,1	<0,5	<0,5	0,7	1,7	
Tri-ethyl-phosphat	78-40-0	545				<0,2	<0,2	
Tri-butyl-phosphat	126-73-8	990	<0,5	<0,5	<0,5	0,9	1,3	Carc.Cat.3
Tris(2-ethylhexyl)phosphat	78-42-2	990	<0,5	<0,5		<0,5	0,7	Herstellungs- und In-Verkehrbringungsverbot (ChemVerbotsV)
Tris(2-butoxyethyl)phosphat	78-51-3	1218	0,18	0,9	3,7	73	205	
Tri-phenyl-phosphat	115-86-6	684	<0,5	<0,5	0,7	3,3	7,1	
Dimethylphthalat	131-11-3	942	<2	<2	<2	<5	<5	Reizstoff
Diethylphthalat	84-66-2	942	<2	2,5	<5	79	170	
Dibutylphthalat	84-74-2	952	8,8	19	41	240	389	Repr.Cat.2 , Repr.Cat.3
Diisobutylphthalat	84-69-5	954	<5	12	31	300	460	
Benzylbutylphthalat	85-68-7	947	2,9	<5	12	150	310	Repr.Cat.2 , Repr.Cat.3
Diocetylphthalat	117-84-0	752	<2	<2	<2	5,3	13	
Di(2-ethylhexyl)phthalat	117-81-7	960	100	210	430	2320	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)

Stoffnahme	CAS	Anzahl			Normal	Auffällig		Hinweise
Diisononylphthalat	28553-12-0	755	<10	22	62	380	750	
Methylmercapto)benzothiazol	615-22-5	990	<0,3	<0,3		<0,3	0,5	
Nikotin	54-11-5	990	<0,5	<0,5	2	50	100	
Phthalsäureanhydrid	85-44-9	1025	1,2	2,6	5,9	35	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 in der Umwelt
- Das Stockholmer Übereinkommen ist es ein globales Abkommen zur Beendigung oder Einschränkung der Produktion, Verwendung und Freisetzung von POPs und trat am 17. Mai 2004 in Kraft. (vgl. <http://www.umweltbundesamt.de/chemikalien/pops.htm>)

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

*** Dichlorbenzol und Naphthalin zählen zu den VOC

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, 2004 - alt, <https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-hausstaub-orientierungswerte/agoef-hausstaub-orientierungswerte-2004-alt.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 Probanden¹¹ (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.¹²

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 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-µm-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:

¹¹ 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.

¹² Umweltbundesamt (2004): Umwelt-Survey 1998, Bd. V, Seite3.

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

	BG	N	n<BG	%>BG	P10	P50	P90	P95	P98	MAX	AM	GM
Biozide												
Chlorpyrifos	0,05	600	409	32	<0,05	<0,05	0,21	0,45	0,99	61,0	0,232	<0,05
DDT	0,05	600	364	39	<0,05	<0,05	0,43	0,92	2,61	31,4	0,315	0,063
HCB	0,03	600	588	2	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	4,90	<0,03	<0,03
Lindan	0,03	600	437	27	<0,03	<0,03	0,07	0,11	0,21	0,75	0,035	<0,03
Methoxychlor	0,05	600	455	24	<0,05	<0,05	0,41	0,80	2,52	26,0	0,281	<0,05
PCSD/PCAD	0,5	600	509	15	<0,5	<0,5	1,50	3,40	14,1	80,2	1,36	<0,5
Propoxur	0,10	600	566	6	<0,10	<0,10	<0,10	0,29	0,65	6,48	<0,10	<0,10
PCP	0,03	600	102	83	<0,03	0,08	0,65	1,30	2,54	30,4	0,348	0,097
Polychlorierte Biphenyle (PCB)												
PCB 28	0,02	600	592	1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,41	<0,02	<0,02
PCB 52	0,02	600	586	2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,67	<0,02	<0,02
PCB 101	0,02	600	525	12	<0,02	<0,02	0,02	0,04	0,09	4,30	0,027	<0,02
PCB 138	0,02	600	440	27	<0,02	<0,02	0,05	0,10	0,25	12,0	0,060	<0,02
PCB 153	0,02	600	418	30	<0,02	<0,02	0,05	0,10	0,25	9,40	0,055	<0,02
PCB 180	0,02	600	489	19	<0,02	<0,02	0,03	0,07	0,18	6,10	0,037	<0,02
PCB-Summe	0,60	600	522	13	<0,60	<0,60	0,75	1,65	4,15	162	0,975	<0,60
PCB 118	0,02	600	567	5	<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);
- % ≥ 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 größerer 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) führte das Umweltbundesamt (UBA) in den Jahren 2014 bis 2017 die 5. große Erhebung zur Umweltbelastung der Bevölkerung in Deutschland durch. Dabei lag das Hauptaugenmerk wieder auf der jungen Generation. Ziele der Studie waren 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 sollte 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 hatte. Die Ergebnisse lieferten 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.¹³

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.¹⁴ 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 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.

¹³ Umweltbundesamt (2018): Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen, GerES 2014 - 2017 <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/deutsche-umweltstudie-zur-gesundheit-von-kindern> (23.10.2020)

¹⁴ 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

- 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.¹⁵ 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 gewonnen 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“¹⁶ 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 Hausstaub¹⁷ 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 teerhaltigen (kohlestämmigen) Materialien im Hochbau:

1. Bei Umbau, Rückbau und der Modernisierung von Gebäuden trifft man häufig auf teerhaltige Abdichtungs-, Isolier- und Klebmittel. 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

¹⁵ Broschüre "Pyrethroidexposition in Innenräumen" (2001), Herausgeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Industrieverband Agrar e.V. (IVA).

¹⁶ Der „First-Pass-Effekt“ beschreibt die Umwandlung eines Schadstoffes während dessen erster Passage (engl. *first pass*) durch die Leber. Durch die dabei stattfindende biochemische Umwandlung (Metabolisierung) kann ein wirksamer oder unwirksamer Metabolit entstehen. Manche Schadstoffe werden erst durch die Leberpassage toxisch, andere werden zu einem gewissen Grad dadurch entgiftet. Von Relevanz ist dieser Effekt für die betreffenden Schadstoffe, wenn orale Toxizität (gelangt über die Leber in den Blutkreislauf) mit ihrer inhalativen oder dermalen Toxizität (gelangt direkt ins Blut) verglichen werden soll.

¹⁷ 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

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 Teerklebstoffen in Gebäuden findet sich in der TRGS 524 unter Punkt 4.9.2 Tätigkeiten mit teerhaltigen (kohlestämmigen) Materialien im Hochbau. Die Problematik der Sanierung PAK haltiger Klebstoffe ist in der Handlungsanleitung „Sanierung PAK-haltiger Klebstoffe Handlungsanleitung zum Entfernen PAK-haltiger Klebstoffe für Holzfußböden“ zu entnehmen.¹⁸ :

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

¹⁸ BG BAU Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (2015), Sanierung PAK-haltiger Klebstoffe - Handlungsanleitung zum Entfernen PAK-haltiger Klebstoffe für Holzfußböden:
https://www.bgbau.de/fileadmin/Gisbau/633_SanierungPAKhaltigerKlebstoffe_4-2015_Ansicht.pdf (23.10.2020)

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.¹⁹

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.

¹⁹ 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/sites/default/files/medien/360/dokumente/empfehlungen_und_richtwerte_ergebnisprotokoll_der_6_sitzung_am_2.und3_november_2017.pdf (23.10.2020)

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.html> (23.10.2020)

AGÖF (2013): AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft, <http://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-voc-orientierungswerte.html> (26.06.2020)

ARGUK-Umweltlabor (1998): US Housings oder PAK in älterem Parkettkleber, https://www.arguk.de/forschung/us_housing.html (23.10.2020)

ARGUK-Umweltlabor: PAK - Sanierung von teerpechhaltigen Parkettklebern, <https://www.arguk.de/leistung/innenraum/Sanierung-von-teerpechhaltigen-Parkettklebern.htm> (23.10.2020)

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/sites/default/files/medien/360/dokumente/empfehlungen_und_richtwerte_ergebnisprotokoll_der_6._sitzung_am_2.und3._november_2017.pdf (23.10.2020)

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

BG BAU Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, (2015), Sanierung PAK-haltiger Klebstoffe - Handlungsanleitung zum Entfernen PAK-haltiger Klebstoffe für Holzfußböden: https://www.bgbau.de/fileadmin/Gisbau/633_SanierungPAKhaltigerKlebstoffe_4-2015_Ansicht.pdf (23.10.2020)

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, Schümann 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> (23.10.2020)

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 (23.10.2020)

11 ANHANG

Musterformular Probenahmeprotokoll

Projekt-Nr.	
Auftraggeber, Adresse	
Probenehmer	
Probenahmedatum	
Probenahmeort (Liegenschaft, Gebäudetyp, Raumtyp)	
Probennummer	
Frischstaub oder Altstaub (ungefähre Altersangabe)	
letzte Reinigung/ Unterhaltsreinigung	
Nutzungsart seit der letzten Reinigung	
Anlass der Untersuchung	
Schadstoffe als Verdachtsquelle	
Laborauftrag	Multiparameteranalyse / zu untersuchende Substanzen
Probenahmeart	<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
Probenahmegerät	
Art der beprobten Fläche	<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, Polsterflächen,...): _____
Beprobte Fläche (ca. m²)	
letzte Grundreinigung (öffentliche Gebäude, usw.)	
Weitere Randbedingungen (Raumausstattung, Zustand, Alter, ...)	Wände: _____ Decken: _____ Boden: _____ Mobiliar: _____ Haustiere/ Pflanzen: _____
Bemerkungen	
Datum Unterschrift des Probenehmers	