

Vorkommen von Mineralöl (mineral oil saturated hydrocarbons / MOSH) und Polyolefin-Oligomeren (polyolefin oligomeric saturated hydrocarbons / POSH) in Hausstaub und Raumluft

Verfasser: Herbert Obenland, Wigbert Maraun; Oktober 2013, ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel

Erschienen in: Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche und Schadstoffarmes Bauen, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe-Eldagsen 2013, Seite 56 – 72

1. Zusammenfassung

Mineralöle sind die durch Destillation des Erdöls und gegebenenfalls auch anderen mineralischen Rohstoffen hergestellten Öle. Im Gegensatz zu Fetten und fetten Ölen (Triglyceride, auch Trifettsäureester des Glycerins) bestehen die in ihren physikalischen Eigenschaften ähnlichen Mineralöle und Mineralfette aus paraffinischen (gesättigte kettenförmige Kohlenwasserstoffe), naphthenischen (gesättigte ringförmige Kohlenwasserstoffe) und aromatischen (ringförmige Kohlenwasserstoffe mit aromatischem Doppelbindungssystem) Bestandteilen. Mineralöle enthalten daneben auch noch Alkene (Olefine) sowie je nach Provenienz schwankende geringe Mengen an schwefelhaltigen und stickstoffhaltigen organischen Verbindungen.

<http://de.wikipedia.org/wiki/Mineral%C3%B6l> (Stand 30.06.2013)

Weithin bekannt sind sie u.a. als Diesel-Treibstoff, Heizöl, Schmieröle, sowie Paraffinöle und -wachse. In den Wohn- oder Büroräumen können Mineralöle z.B. anlässlich der Emissionen naheliegender Tankstellen oder bei Undichtigkeiten in ölbetriebenen Heizungsanlagen gelangen und dort auch zu typischen Geruchsbelastungen führen. Aufgrund der vielfältigen Verwendung von Paraffinölen und -wachsen im Innenraum, z.B. als Möbel- und Fußbodenpflegemittel, sind auch zahlreiche Quellen im Innenraum gegeben.

Eine breitere Aufmerksamkeit, auch in den Medien, erhielt das Vorkommen von Mineralölen durch die Untersuchungen von karton-verpackten Lebensmitteln in den Kantonalen Laboren Zürich und St. Gallen. Von Droz und Grob wurden 1997 erste Nachweise einer Lebensmittel-Belastung durch Mineralölkohlenwasserstoffe vom Schmieröl-Typus mitgeteilt (Droz & Grob 1997). Dies betraf in Recyclingpapier verpackte Lebensmittel wie Reis, Mehl, Gries oder Müsli. Weitere Ergebnisse veröffentlichte das Kantonale Labor Zürich in seinem Jahresbericht 2009 (Kantonales Labor Zürich, 2009). Von Lorenzini et al. 2010 wurden auch Abschätzungen der Migration von Mineralölkohlenwasserstoffen aus der Verpackung in die Lebensmittel vorgenommen. Diese Berichte lösten bei den deutschen und europäischen Fachbehörden rege Aktivitäten aus, die demnächst zu einer entsprechenden Aktualisierung der sog. „Mineralölverordnung“ (Gesetzesgrundlage: Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetz) führen werden. Nach Ansicht des deutschen Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) ist angesichts der Sachlage eine Minimierung des Übergangs von Mineralölen aus Verpackungen auf Lebensmittel dringend geboten (BfR, 2009). Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) hat 2011 den Entwurf einer 22. Verordnung zur Änderung der Bedarfsgegenständeverordnung (BedGegStV) vorgelegt, der Migrationshöchstwerte für Mineralöl aus Recycling-Verpackungen vorsieht. Eine Studie zur Migration u.a. von MOSH aus Verpackungsmaterialien in Lebensmittel (u.a. Nudeln, Reis) zeigte Gehalte an MOSH der Kohlenstoffanzahl größer 16 im Bereich von < 1 mg/kg bis maximal 54 mg/kg [CVUA Stuttgart 2012]

Über das Vorkommen an Mineralölkohlenwasserstoffen in Innenraum-Medien (Raumluft, Hausstaub) liegen hingegen noch keine Erkenntnisse vor.

2. Chemische Struktur, Stoffeigenschaften und Klassifizierung

Mineralöle bestehen aus einer Vielzahl von Kohlenwasserstoffen von unterschiedlicher Molekülgröße und unterschiedlichem Molekülaufbau. Sie lassen sich entlang ihrer chemischen Struktur einteilen in

- gesättigte, geradkettige und offene Kohlenwasserstoffe (n-Alkane)
- gesättigte, verzweigte und offene Kohlenwasserstoffe (iso-Alkane)
- gesättigte, zyklische Kohlenwasserstoffe (Cyclo-Alkane / „Naphthene“)
- aromatische Kohlenwasserstoffe („Aromaten“)

Die Bezeichnung MOSH (mineral oil saturated hydrocarbons) umfasst die gesättigten, geradkettigen oder verzweigten und offenen oder zyklischen Kohlenwasserstoffe. Davon unterschieden umfasst die Bezeichnung MOAH (mineral oil aromatic hydrocarbons) die aromatischen Kohlenwasserstoffe.

Übergreifend für alle vier mineralöl-relevanten Kohlenwasserstoffgruppen wird die Bezeichnung MOH (mineral oil hydrocarbons) gebraucht. Die in Deutschland gebräuchliche Bezeichnung MKW (Mineralöl-Kohlenwasserstoffe) ist nur zum Teil identisch mit dem, was unter die Bezeichnung MOH fällt. MKW sind definiert als Gruppe aller Kohlenwasserstoffe mit einer Kohlenstoff-Anzahl von 10 bis 40. MOH hingegen umfassen alle Kohlenwasserstoffe mit einer Kohlenstoff-Anzahl von 10 bis 60.

Daneben findet sich in Mineralölgemischen mit Polyolefin-Oligomeren, den sog. POSH (polyolefin oligomeric saturated hydrocarbons) noch ein weiteres hochsiedendes, komplexes Substanzgemisch (Biedermann-Brem 2012). Eine analytische Unterscheidung der POSH von den MOSH ist jedoch schwierig, da beide Substanzgruppen in der gaschromatographischen Bestimmung coeluiieren. Als Isoparaffine aus dem Einsatz von olefinischen Vorläufersubstanzen können poly-alpha-Olefine auftreten, die sog. PAO.

Im Nachfolgenden wird daher die Bezeichnung „MOSH“ als synonym für die Bezeichnung „MOSH/POSH/PAO“ zu verstehen sein.

MOSH lassen sich entlang ihrer Kohlenstoff-Anzahl sowie ihrer Viskosität weiter klassifizieren. Das „Joint Expert Committee on Food Additives“ (JECFA) aus Experten der beiden UNO-Unterorganisationen „Food and Agriculture Organization“ (FAO) und „World Health Organization“ (WHO) unterscheidet nach Viskosität, der Kohlenstoff-Anzahl (Kettenlänge) und der mittleren Molmasse (mittlere MM in g/mol):

Tabelle 1: Einteilung der Mineralölbestandteile (aromatenfreie Wachse und Öle)

Wachse, hohe Viskosität		C 25 und höher	mittlere MM > 500 (ca. C35)
Öle mittlere bis niedrige Viskosität		C 17 und höher	mittlere MM < 500
	Klasse I	C 25 und höher	mittlere MM 480 - 500
	Klasse II	C 22 und höher	mittlere MM 400 - 480
	Klasse III	C 17 und höher	mittlere MM 300 - 400

(JECFA, 2002)

3. MOSH/POSH im Hausstaub

Nach unserem Kenntnisstand sind bisher noch keine Nachweise von MOSH bzw. POSH in Hausstaub-Proben aus Innenräumen publiziert worden. Nach eigenen sporadischen Untersuchungen kam es immer mal wieder bei der Untersuchung von Hausstaub-Proben auf anderweitige Parameter (z.B. im Rahmen eines Biozid-Screening, bei der Untersuchung auf Weichmacher oder Flammschutzmittel) zu Befunden eines charakteristischen Substanzgemisches. Mit dem Aufkommen der MOSH-Problematik bei Lebensmittel-Verpackungen und der Ähnlichkeit des Chromatogramm-Musters mit den aus Bodenuntersuchungen bekannten Mineralölkohlenwasserstoffen haben wir hier einen möglichen Zusammenhang mit dem Auftreten von MOSH in Innenräumen gesehen.

Wie zwischenzeitlich bekannt geworden ist, sind neben den MOSH als vergesellschaftetes Substanz-Gemisch auch POSH und PAO zu erwarten. Da eine analytische Abtrennung uns bisher nicht möglich gewesen ist, ist im Nachfolgenden unter der Bezeichnung MOSH das Substanzgemisch MOSH und POSH/PAO zu verstehen.

3.1. Material und Methode

In dieser Studie wurde ein Kollektiv von 52 Hausstäuben auf ihren jeweiligen MOSH-Gehalt hin untersucht. Die Proben stammen aus dem laufenden Auftragseingang des ARGUK-Umweltlabors, der Hauptteil der MOSH-Untersuchungen wurde in 2011 durchgeführt. Der Anlass für Beprobung und Analysenauftrag war in keinem Falle die Vermutung einer MOSH-Belastung. Häufigster Anlass war der Verdacht auf biozide Belastungen (20), Weichmacher (8) sowie riech-, reiz- und hautirritative Stoffe (8). 26 Proben entstammten Wohnräumen und 24 wurden in Büroräumen entnommen. Bei zwei Proben war die Zuordnung nicht zu klären.

Die Probenahme erfolgte entweder durch Mitarbeiter des ARGUK-Umweltlabors selbst oder durch die Auftraggeber nach einer Probenahme-Anleitung durch das Labor. In der Regel handelt es sich bei den Hausstäuben um sog. Frischstaub (7-Tage-Staub), der sieben Tage lang in der Wohnung zusammenkam und danach in einen neuen Staubsaugerbeutel mit einem haushaltsüblichen Staubsauger ausgesaugt wurde. Die Probenahme sollte als Vorgabe nach der VDI-Richtlinie 4300, Blatt 8, durchgeführt werden.

Von den Proben wurde die Korngrößen-Fraktion kleiner 2 mm abgesiebt und ein Aliquot mit Hexan im Ultraschallbad extrahiert. Der Extrakt wurde über Festphasen-Extraktion aufgereinigt und fraktioniert, die unpolare Hexan-Fraktion mittels Kapillar-Gaschromatografie und Massenspektrometrie (GC/MS) über eine OPTIMA 5-Kapillarsäule analysiert. Der MOSH-Gehalt wurde gegen externe MKW-Standards quantifiziert. Die Bestimmungsgrenze beträgt 100 mg/kg. Die aufsitzenden Signale der n-Alkane wurden durch manuelle Integration ausgeschlossen.

Zwischenzeitlich liegt zur Bestimmung der MOSH/POSH/PAO (als Summengehalt) sowie der MOAH (ebenfalls als Summengehalt) aus Mineralöl bzw. Kunststoffen in Verpackungsmaterialien und trockenen Lebensmitteln eine Analysenmethode des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) aus 2012 vor (BfR 2012).

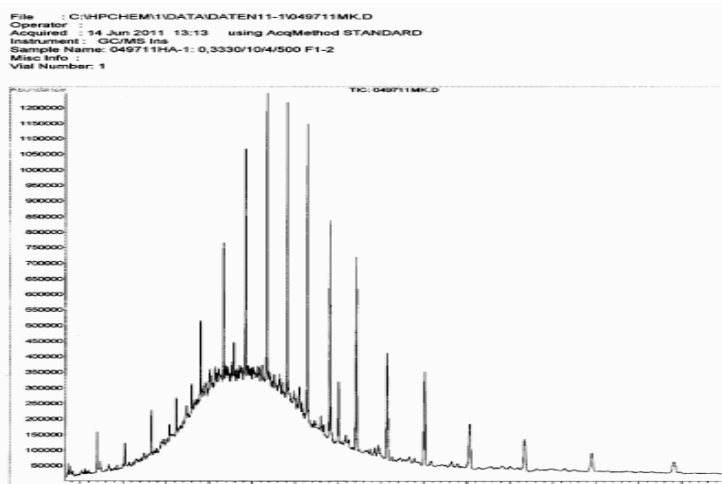
3.2. Ergebnis

3.2.1. Klassifizierung der MOSH-Befunde

Die Befunde zeigen ein typisches und sehr einheitliches Mineralöl-Muster. Es reicht von einer Kettenlänge C₁₉ bis zu einer Kettenlänge C₃₄, wobei das Verteilungs-Maximum bei C₂₅ bis C₂₇ liegt. Die mittlere Molmasse beträgt in erster Näherung gerundet 380 g/mol. Damit fallen die im Hausstaub anzutreffenden MOSH in Klasse III (Kohlenstoff-Anzahl 17 und höher, mittlere Molmasse 300 – 400 g/mol).

Im Nachfolgenden ist zur Veranschaulichung das Gaschromatogramm einer MOSH-haltigen Hausstaub-Probe angegeben (Abb. 1).

Abbildung 1: Gaschromatogramm eines MOSH-Gemisches in einer Hausstaub-Probe.



3.2.2. Statistische Kenngrößen und Größenklassenverteilung des MOSH-Vorkommens in Hausstaub

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die statistischen Kenngrößen des MOSH-Vorkommens in den Hausstaub-Proben (Gesamt-Kollektiv) zusammengestellt.

Tabelle 2: Vorkommen von MOSH in Hausstaub (Gesamt-Kollektiv)

	Anzahl Proben	Spannweite (mg/kg)	Mittelwert (mg/kg)	P50 (mg/kg)	P90 (mg/kg)
MOSH C₁₉-C₃₄ Klasse III	52	1.200 – 94.000	18.200	9.400	46.000

Für das Hausstaub-Kollektiv (52 Proben) wird eine Spannweite der MOSH-Konzentrationen von 1.200 bis 94.000 mg/kg erhalten. Der Mittelwert errechnet sich zu 18.200 mg/kg. Für das 50. Perzentil wird ein Gehalt von 9.400 mg/kg bestimmt und für das 90. Perzentil ein Wert von 46.000 mg/kg. Alle Gehalte liegen damit auch über der Bestimmungsgrenze von 100 mg/kg. Damit zählen die MOSH hinsichtlich ihres Massenaufkommens zu den dominierenden Substanzen in Hausstaub-Proben. Zum Vergleich: Nach den „AGÖF-Orientierungswerten für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub“ (Stand Frühjahr 2004) liegen die aufsummierten 90-Perzentil-Werte für die Phthalat-Gehalte im Hausstaub im Bereich von 2.000 mg/kg, die für die Fettsäuren bei gerundet 3.000 mg/kg.

http://agoef.de/agoef/oewerte/orientierungswerte_staub.html

In der folgenden Abbildung 2 ist die Größenklassenverteilung der Einzelbefunde, ebenfalls für das Kollektiv aller Staubproben, dargestellt.

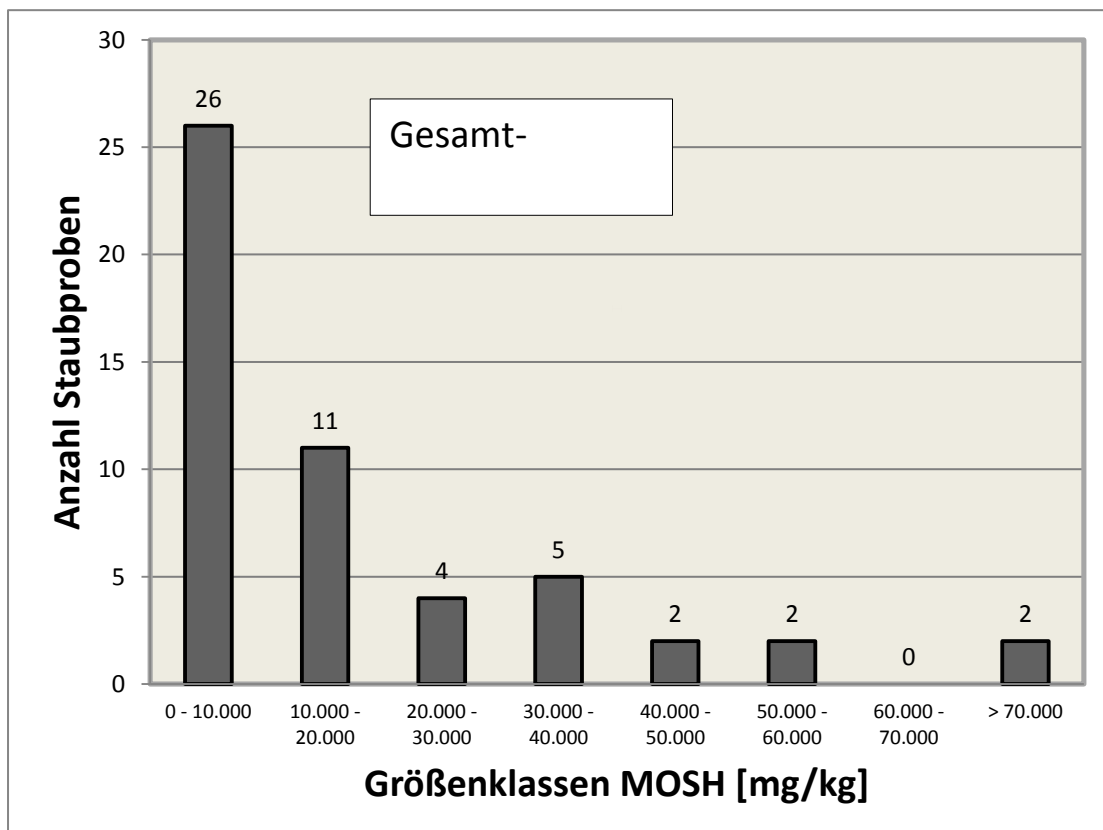


Abbildung 2: Größenklassenverteilung der MOSH-Befunde in Hausstaub (n = 52)

Die Größenklassenverteilung für das Gesamt-Kollektiv zeigt, dass hier keine Normalverteilung über den Gesamt-Wertebereich vorliegt. In exakt der Hälfte der Proben wird ein MOSH-Gehalt von bis zu 10.000 mg/kg festgestellt. Demgegenüber weisen nahezu 30% der Proben einen Gehalt von mehr als 20.000 mg/kg auf.

Eine statistische Differenzierung des Gesamtkollektivs nach Hausstäuben aus Wohnräumen und Hausstäuben aus Büroräumen ergibt dazu ein anderes Bild. Tabelle 3 zeigt in den statistischen Kenngrößen das Ergebnis dieser Differenzierung.

Tabelle 3: Vorkommen von MOSH in Hausstaub, differenziert nach Wohn- und Büroräumen

MOSH C ₁₉ -C ₃₄ Klasse III	Anzahl Proben	Spannweite (mg/kg)	Mittelwert (mg/kg)	P50 (mg/kg)	P90 (mg/kg)
Wohnräume	26	1.200 – 37.000	7.300	5.000	12.000
Büroräume	24	4.500 – 94.000	29.600	23.800	58.400

Für zwei untersuchte Hausstaub-Proben konnte deren Herkunft (Wohn- oder Büroraum) nicht geklärt werden.

Danach wird für den MOSH-Gehalt in Staubproben aus Wohnräumen bei einer Spanne von 1.200 bis 37.000 mg/kg ein Mittelwert von 7.380 mg/kg erhalten. Der 50. Perzentilwert wird zu 5.000 mg/kg bestimmt und der 90. Perzentilwert zu 12.000 mg/kg.

Für den MOSH-Gehalt in Staubproben aus Büroräumen liegt eine wesentlich breitere Spanne von 4.500 bis 94.000 mg/kg vor bei einem Mittelwert von 29.600 mg/kg. Auch das 50. Perzentil von 23.800 mg/kg wie auch das 90. Perzentil von 58.400 mg/kg gehen weit über die entsprechenden Größen der Messwert-Verteilung für das Kollektiv „Wohnraum-Stäube“ hinaus.

In den nachfolgenden Abbildungen 3 und 4 ist die Größenklassenverteilung der beiden Teil-Kollektive „Wohnraum-Staub“ und „Büroraum-Staub“ dargestellt.

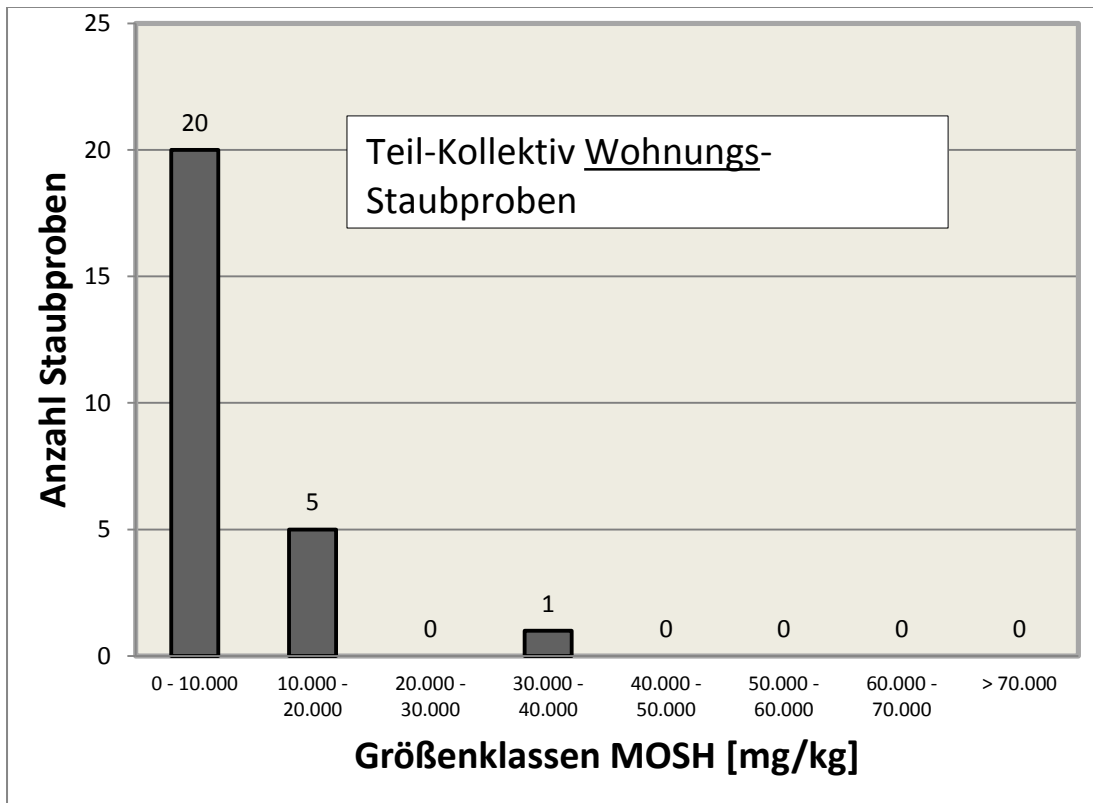


Abbildung 3: Größenklassenverteilung der MOSH-Befunde in Hausstaub, Teil-Kollektiv Wohnungs-Staubproben (n=26)

Die Darstellung zeigt, dass sich nahezu alle Gehalte an MOSH in der Größenklasse bis 20.000 mg/kg befinden und davon 80% allein in der Größenklasse bis 10.000 mg/kg. Unter Bezug auf die oben genannten (auffällig erhöhten) Gehalte an Phthalaten und Fettsäuren im Hausstaub stellen 10.000 mg/kg an MOSH eine sehr hohe Belastung von Hausstäuben dar.

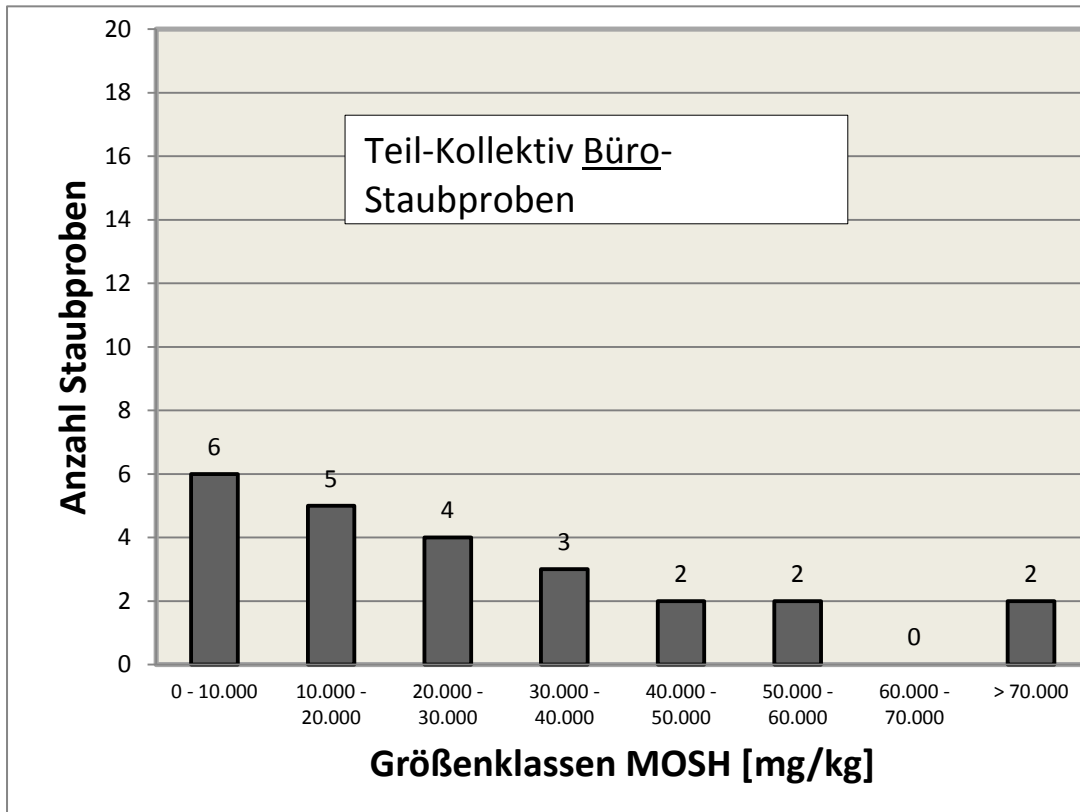


Abbildung 4: Größenklassenverteilung der MOSH-Befunde in Hausstaub, Teil-Kollektiv Büro-Staubproben (n=24)

Abb. 4 zeigt im Gegensatz zur Verteilung der MOSH-Gehalte für das Kollektiv „Wohnungs-Hausstaub“ mit einer schmalen Gehaltsklasse (von 1.200 bis 20.000 mg/kg) für das Kollektiv „Büro-Hausstaub“ ein breites Vorkommen von der niedrigsten Größenklasse bis zur höchsten Klasse der Messwerte von mehr als 70.000 mg/kg. Der Spitzengehalt an MOSH in den bisher untersuchten Staubproben aus Innenräumen fällt mit 94.000 mg/kg in das Kollektiv der Bürostäube.

Aus den Darstellungen Abb. 3 und 4 lässt es sich erkennen, dass sich die beiden Untergruppen der Hausstaubproben aus einem Wohn-Innenraum und aus einem Büro-Innenraum auffallend unterscheiden. Es zeichnet sich zwischen diesen beiden Unterkollektiven eine eindeutige Abgrenzung zumindest bei Gehalten oberhalb von 20.000 mg/kg ab. Für Hausstaub-Proben aus Wohnungen wird eine deutlich geringere Spanne der MOSH-Gehalte und auf niedrigerem Niveau von 1.200 bis 14.000 mg/kg vorgefunden wird. Demgegenüber steht die Spanne von 18.000 bis 94.000 mg/kg für die MOSH-Gehalte in den Hausstaub-Proben aus Büroräumen. Auch die statistischen Kenngrößen zeigen einen deutlichen Unterschied zwischen diesen beiden Staub-Herkünften.

Zur Quelle der MOSH in den Bodenstaub-Proben liegen bislang nur erste Anhaltspunkte vor. Die Bodenstaub-Proben mit den höchsten Gehalten von 50.000 mg/kg aufwärts stammten aus Büroräumen mit Teppichböden. Dies lässt zuerst einmal vermuten, dass der Teppichboden selbst als eine mögliche Quelle für MOSH anzusehen ist. Eine nähere Spezifizierung der Bodenbeläge nach Polymer-Art wurde jedoch nicht vorgenommen.

Für die Bodenstaub-Probe mit dem höchsten Gehalt an MOSH (37.000 mg/kg) aus einem Wohnraum kann hingegen ein Teppichboden als Quelle ausgeschlossen werden, da dort ein Parkettboden verlegt worden war.

Der Erfahrung nach mit dem Vorkommen schwer flüchtiger Inhaltsstoffe von Hausstaubproben (Phthalate, TRIS-Phosphate, PCB) lässt annehmen, dass zumindest bei hohen MOSH-Gehalten als Quelle der Bodenbelag selbst anzusehen ist. Möglicherweise kommt es dabei zu unterschiedlichen Beiträgen von MOSH oder POSH an dem Summenwert „MOSH“. Dies wäre noch detaillierter zu prüfen.

4. MOSH in der Raumluft

Aus dem Vorkommen an MOSH im Hausstaub kann ein Vorkommen der MOSH auch in der Raumluft erwartet werden. Es kommt entweder der Eintrag der MOSH aus Quellen des Innenraumes über die Raumluft in den Hausstaub in Betracht – oder MOSH aus Bodestaub-nahen Quellen werden mit der Aufwirbelung von Feinstaub in die Raumluft verfrachtet. Auf Grund der sehr unterschiedlichen Dampfdrücke der unter dem Begriff MOSH subsumierten -Verbindungen ist auch eine entsprechend unterschiedliche Verteilung zwischen der Gasphase und der luftgetragenen Partikel zu erwarten. Es galt daher zu prüfen, in welchem Ausmaß MOSH-Anteile in der Gasphase und in der Partikelphase der Raumluft anzutreffen sind.

Für die Untersuchung der Raumluft auf MOSH konnte ein Büroraum in einem Verwaltungsgebäude ausgewählt werden. Nach einer ersten Abschätzung der zu erwartenden MOSH-Konzentrationen in der Raumluft wurde eine mehrstündige Probenahme als erforderlich angesehen. Da die Nutzung des Raumes einen erheblichen Einfluss auf die Freisetzung von Feinstaub aufweist, sollte die Probenahme unter Nutzungsbedingungen vorgenommen werden. Als nutzungsüblich wurde eine Raumlüftung am Vorabend der Probenahme vorgegeben, während der Probenahme waren die Fenster jedoch geschlossen zu halten, die Bürotür stand jedoch wie üblich offen. In dem Ein-Personen-Büro wurden die Verwaltungsarbeiten wie üblich fortgeführt. Das Büro (ca. 10 m²) war mit einem Schreibtisch, einem Aktenschrank und einem Laserdrucker sowie einem Kopierer ausgestattet. Der Fußboden war mit einem Teppichboden ausgelegt. Der gleiche Teppichboden war auch im vorgelagerten Flur sowie den angrenzenden Büroräumen vorhanden. Die Lauffrequenz in Büro und Flur kann als durchschnittlich eingestuft werden.

4.1. Material und Methoden

In dem Büroraum mit einer eher unterdurchschnittlichen MOSH-Belastung im Hausstaub von 27.000 mg/kg wurde über 5 Stunden bei üblicher Raumnutzung Luft über Polyurethan-Schaum mit vorgeschaltetem Partikelfilter (Glasfaserfilter) gezogen. Beide Filter wurden getrennt mit Aceton im Soxhlet desorbiert und das Desorbat mittels Kapillar-Gaschromatografie und Massenspektrometrie (GC/MS) auf seinen MOSH-Gehalt hin analysiert. Die Quantifizierung erfolgte gegen externe MKW-Standards. Die Bestimmungsgrenze des Prüfverfahrens beträgt 0,2 µg/m³.

4.2. Ergebnis

4.2.1. Klassifizierung der MOSH-Befunde in Gas- und Partikelphase

Das in der Partikelphase vorgefundene MOSH-Muster gleicht dem der Hausstaub-Probe. Die Kettenlänge reicht von C₁₉ bis C₃₄, das Signal-Maximum liegt zwischen C₂₅ und C₂₇ und die mittlere Molmasse beträgt hier in erster Näherung gerundet 390 g/mol. Die in der Partikelphase der Raumluft angetroffenen MOSH fallen damit ebenso wie jene im Hausstaub in Klasse III (s. Tabelle 4).

Tabelle 4: Raumluftbelastung mit MOSH in einem Büroraum

	Konzentration (µg/m ³)	Kettenlänge	Mittlere Molmasse (g/mol)	MOSH-Klasse
Gasphase	9	C ₁₅ – C ₂₄	275	teilweise III
Partikelphase	6	C ₁₉ – C ₃₄	390	III

Das in der Gasphase vorgefundene MOSH-Muster reicht von einer Kettenlänge C₁₅ bis zu einer Kettenlänge C₂₄, wobei das Maximum bei C₁₉ bis C₂₁ liegt. Die mittlere Molmasse beträgt in erster Näherung gerundet 275 g/mol. Damit unterschreiten die MOSH aus der Gasphase knapp die Untergrenze der Zuordnung zur Klasse III, wobei auf Grund der Verteilung der größere Anteil allerdings noch in Klasse III fallen dürfte.

Für den Gehalt an MOSH in der Gasphase wurde ein Wert von 9 µg/m³ ermittelt und für den Gehalt in der Partikelphase von 6 µg/m³. Als Gesamt-Gehalt errechnet sich daraus eine Raumluft-Konzentration an MOSH von 15 µg/m³.

5. Expositions- und Risikoabschätzung

5.1. Toxikologische Basisdaten und duldbare tägliche Aufnahme (acceptable daily intake / ADI)

Für MOSH liegen bislang nur wenige toxikologische Basisdaten vor. Deshalb beschränkt sich das JECFA als Expertengruppe der FAO und WHO seit 2002 auf vorläufige Ableitungen von tolerablen täglichen Aufnahmen (ADIs). Tabelle 5 zeigt eine Aufstellung der vom JECFA in 2002 für die einzelnen MOSH-Gruppen und -Klassen vorläufig festgelegten ADI-Werte (JECFA, 2002).

Tabelle 5: Duldbare tägliche Aufnahme (ADI) von MOSH

MOSH-Gruppe bzw. –Klasse	ADI (mg/kg KG/d)
MOSH-Gruppe 1: Viskosität: hoch Kettenlänge: > C ₂₅ Mittlere Molmasse: > 500 g/mol	20
MOSH-Gruppe 2; Klasse I: Viskosität: mittel bis niedrig Kettenlänge: > C ₂₅ Mittlere Molmasse: 480 – 500 g/mol	10
MOSH-Gruppe 2; Klasse II: Viskosität: mittel bis niedrig Kettenlänge: > C ₂₂ Mittlere Molmasse: 400 – 480 g/mol	0,01
MOSH-Gruppe 2; Klasse III: Viskosität: mittel bis niedrig Kettenlänge: > C ₁₇ Mittlere Molmasse: 300 – 400 g/mol	0,01

(KG: Körpergewicht)

Das JECFA hat für 2012 eine Überarbeitung dieser ADI-Werte angekündigt. Sie ist bislang noch nicht erfolgt. Die ADI-Ableitungen werden mit tierexperimentell festgestellten Schädigungen durch MOSH-Zufuhr im Bereich der Leber, der Milz, der Lymphknoten und des Herzens begründet. Ablagerungen von MOSH in diesen Organen finden sich auch beim Menschen und akkumulieren dort (JECFA 2002; EFSA 2012). In der EFSA-Opinion (EFSA 2012) werden die vorliegenden ADI-Werte für die MOSH-Klassen in Frage gestellt, selbst jedoch keine eigenen Ableitungen vorgetragen.

5.2. Grundlagen der nachfolgenden Expositions- und Risikoabschätzung

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 Umwelt-bundesamt (UBA) hat im Rahmen des „Aktionsprogramms Umwelt und Gesundheit“ (APUG) die Datenbasis für bevölkerungsbezogene Expositionsabschätzungen gesichtet, erweitert und aktualisiert (Mekel 2007). Die nachfolgenden

Expositionsabschätzungen erfolgen unter Berücksichtigung der dort gemachten Empfehlungen zu Expositionsfaktoren und Vorgehensweise.

Für die in dem als MOSH-Gemisch enthaltenen POSH-Vertreter sind bislang keine eigenständigen toxikologischen Beurteilungen vorhanden. Es wird daher vorsorglich von einer vergleichbaren toxikologischen Relevanz ausgegangen. Die im Nachfolgenden aufgeführten Ableitungen sind deshalb mit der Unkenntnis der tatsächlichen toxikologischen Einschätzung der POSH-Anteile in den Staub- und Luftproben als Unsicherheit behaftet.

5.2.1. Expositionsabschätzung gegenüber MOSH im Hausstaub

Um die Spannweite der individuellen Betroffenheit von MOSH-Belastungen in Hausstäuben anzudeuten, differenzieren wir zum einen zwischen Kleinkindern und Erwachsenen und zum anderen zwischen der häufigsten oder normalen Belastungssituation sowie einer von ungünstigen Umständen geprägten hohen Belastungssituation.

Nach Bothe (Bothe 2004) liegen nur wenige Daten zur oralen Hausstaub-Aufnahme erwachsener Personen vor. Zitiert wird ein Aufnahmewert von 18 mg/d, der einer Vortragspublikation und dort ohne näheren Nachweis der Quelle („Ausschuss für Umwelthygiene der AgLMB“) entnommen wurde.

In einem älteren Überblick werden Angaben u.a. zu kombinierten Boden- und Hausstaub-Aufnahmen für die Altersgruppe der 20-75-jährigen von 50 mg/d als „typical case“ und von 100 mg/d als „reasonable worst case“ aufgeführt (BAGS 1995).

Hilfsweise kann hier auf die Aufnahme von Boden durch Erwachsene verwiesen werden. Bothe (Bothe 2004) führt hierzu „Vorläufige Empfehlungen zu Bodeningestionsraten in den „Standards zur Expositionsabschätzung““ nach Lit. BAGS 1995 auf. Für die Gruppe der 20 bis 75-jährigen wird als „wahrscheinlicher Fall ein Bereich von 2-10 mg/d angegeben und als „ungünstiger Fall“ ein Bereich von 10-50 mg/d.

Mekel (Mekel 2007) übernimmt für die Aufnahme von Hausstaub den Wert für die Aufnahme von Boden für die Gruppe der 20-70-jährigen von „ca. 30 mg/d“.

Es bestehen somit erhebliche Spannen in den Abschätzungen der oralen Aufnahme von Boden- und / oder Hausstaub durch erwachsene Personen.

In der folgenden Ableitung gehen wir von einer als „normal“ bezeichneten Aufnahme von Hausstaub durch Erwachsene von 10 mg/d aus. Unter als „ungünstig“ bezeichneten Bedingungen (staubreiche Umgebung, Zeitbudget, aber auch geringeres Körpergewicht) legen wir eine tägliche Staubaufnahme von 50 mg zu Grunde. Bei der arbeitstäglichen Aufnahme wird linear auf einen 40-stündigen Anteil pro Woche herunter gerechnet.

Tabelle 6: Exposition von Kleinkindern und Erwachsenen gegenüber MOSH in Hausstaub (Wohnungsstaub) unter a) häufigen/normalen und b) ungünstigen Umständen

	Kleinkinder (2 Jahre)		Erwachsene	
	Normal	Ungünstig	Normal	Ungünstig
Körpergewicht (kg)	15	10	75	60
Hausstaub-Aufnahme (mg/d)*	81	139	10	50
MOSH in Hausstaub (mg/kg)	5.000	12.000	5.000	12.000
MOSH-Aufnahme Hausstaub (mg/kg KG/d)	0,027	0,167	0,00067	0,010
ADI-Ausschöpfung (%)	270	1.670	6,7	100

* (Bothe, M., 2004)

Dabei wird für den Fall „Normal“ der 50. Perzentilwert der Messwerte-Verteilung für das Kollektiv „Wohnungsstaub“ von 5.000 mg/kg zu Grunde gelegt und für den Fall „Ungünstig“ der 90. Perzentilwert.

Tabelle 6 zeigt, dass es bei Kleinkindern bereits unter gegenwärtig normalen Umständen zu erheblichen Überschreitungen der täglich duldbaren Aufnahme von MOSH von 0,010 mg/kg/d kommen kann. Unter ungünstigen

Umständen kann die Überschreitung mit 1.670% des ADI-Wertes geradezu dramatische Ausmaße annehmen. Bei Erwachsenen ist die täglich duldbare Aufnahme unter gegenwärtig normalen Umständen mit 6,7% des ADI-Wertes wesentlich geringer, doch bereits beim Erreichen des 90. Perzentils der Hausstaubbelastung in Wohnräumen und weiteren ungünstigen Umständen wird die täglich duldbare Aufnahme zu 100% erreicht. Bei dieser Pfad-Betrachtung ist noch nicht in Rechnung gestellt, dass MOSH neben dem Hausstaub-Pfad auch über weitere Pfade, u.a. über den eingangs angesprochenen Nahrungspfad, in den Körper gelangen. Der Eintrag pro Pfad muss deshalb letztlich deutlich unter der täglich duldbaren Aufnahme liegen, wenn gesundheitliche Risiken ausgeschlossen bleiben sollen. Es soll daher bei Schadstoffen, die bereits in nennenswertem Maße über die Nahrung aufgenommen werden, dem Hausstaub- oder auch dem Luftpfad jeweils maximal 10-20% des ADI zugeordnet werden. Dies in Rechnung gestellt, wird auch für Erwachsene bereits unter normalen Umständen eine kritische Grenze erreicht.

Wir halten es daher für dringend geboten, das Vorkommen der MOSH im Hausstaub von Wohnräumen zu kontrollieren und zu begrenzen. Dies umso mehr, wenn Kleinkinder in der betreffenden Wohnung leben.

Für MOSH in Bürostäuben gilt Vergleichbares. Da Bürostäube generell ein gegenüber Hausstäuben aus Wohnräumen höheres MOSH-Belastungsniveau aufweisen (vgl. Kap. 3.2.2), erhöht eine Regel-beschäftigung im Büro mit Sicherheit die MOSH-Aufnahme.

Eine gegenüber der allgemeinen täglichen Aufnahme von Staub durch Erwachsene noch differenziertere Quantifizierung der oralen Staubaufnahme während einer Bürotätigkeit liegt unserem Wissen nach nicht vor. In erster Näherung wird daher auch auf Grund einer kürzeren Aufenthaltsdauer in einem Büro gegenüber der Verweildauer in häuslicher Umgebung von einer bürospezifisch geringeren Staubaufnahme für den Fall „Normal“ ausgegangen. Unter betrieblichen Bedingungen wie der Nähe eines Büroarbeitsplatzes zu einem Bereich mit gewerblicher Tätigkeit (u.a. mit Anwendung bzw. Freisetzung von Mineralölen) und einer damit verbundenen Verfrachtung von Staub in den Bürobereich sehen wir den als „ungünstig“ benannten Fall.

Tabelle 7: Exposition von Erwachsenen gegenüber MOSH in Hausstaub (Bürostaub) unter a) häufigen/normalen und b) ungünstigen Umständen

	Erwachsene	
	Normal	Ungünstig
Körpergewicht (kg)	75	60
Hausstaub-Aufnahme (mg/d)*	4	25
MOSH in Hausstaub (mg/kg)	23.800	58.400
MOSH-Aufnahme Hausstaub (mg/kg KG/d)	0,0013	0,024
ADI-Ausschöpfung (%)	13	240

* hier arbeitstächlich

Bei einem vierzigstündigen Büro-Aufenthalt pro Woche in einem Büro mit büro-normaler MOSH-Staubbelastung (P50: 26.000 mg/kg) leitet sich eine MOSH-Aufnahme von 0,0014 mg/d/kg ab. Dies bedeutet eine Ausschöpfung des ADI-Wertes von 0,010 mg/kg/d zu 14%. Bei einer kürzeren Aufenthaltsdauer im Büro wird eine mehr als die zweifach höhere Aufnahme von MOSH über den Bürostaub als über den Wohnungsstaub erreicht. Unter als „ungünstig“ bezeichneten Bedingungen wird bei Aufnahme der MOSH über den Bürostaub der ADI-Wert zu 240% überschritten, zusätzlich bzw. gegenüber einem Anteil von 100% durch Aufnahme von MOSH-haltigem Wohnungs-Hausstaub.

Die MOSH-Belastung des Hausstaubes hat auch Bedeutung für eine mögliche Sekundär-Kontamination von Lebensmitteln. Bei einer angenommenen Konzentration an MOSH im Hausstaub von 60.000 mg/kg genügt der Eintrag von 10 mg auf ein kg eines Lebensmittels, um damit einen Gehalt an MOSH von 0,6 mg/kg in diesem Lebensmittel herbei zu führen. Damit wird der auf Grundlage des JECFA-ADI von 0,01 mg/kg/d, einem Körpergewicht von 60 kg und einer täglichen Verzehrmenge von 1 kg abgeleitete Richtwert von 0,6 mg/kg erreicht (JECFA 2002).

Hieraus leitet sich unseres Erachtens die hygienische Bedeutung des MOSH-Vorkommens als ein Aspekt für den allgemeinen Gesundheitsschutz nicht nur am Arbeitsplatz ab.

5.2.2. Expositionsabschätzung gegenüber MOSH im Raumluftpfad

Da uns hier nur Daten aus lediglich einer Büroluft-Prüfung vorliegen (vgl. Kap.4.2), müssen wir uns auf eine Punktschätzung beschränken.

Tabelle 8: Aufnahme von MOSH über die Atmung während der Arbeitszeit im Umfeld „Büro“

	Erwachsene	
	Normal	Ungünstig
Körpergewicht (kg)	(60)	(60)
Atemvolumen (m ³ /8 h)	5*	10**
MOSH Klasse III, Partikelphase Raumluft (µg/m ³)	6	12
MOSH Klasse III, Gasphase Raumluft (µg/m ³)	4,5	9
MOSH-Aufnahme Raumluft (mg/kg KG/d)	0,0009	0,0035
ADI-Ausschöpfung (%)/Arbeitstag	9	35
ADI-Ausschöpfung (%)/Woche	6,4	25

* für eine leichte Aktivität berechnet über eine Atemrate von 0,13 L/(min*kg) nach Mekel 2007, gerundet zu 5 m³/8h

** für eine moderate Aktivität berechnet über eine Atemrate von 0,32 L/(min*kg) nach Mekel 2007, gerundet zu 10 m³/8h

Wir betrachten hier das Szenario einer leichten bis moderaten Bürotätigkeit mit einem arbeitstäglichen Atemvolumen von 5 m³ pro acht Stunden Büroarbeit. Bei einer Luftbelastung mit MOSH (partikelgebunden) von 6 µg/m³ und einem Gasphasenanteil von 4,5 µg/m³ (unter Zurechnung der Gasphasen-MOSH hälftig zur MOSH-Klasse III) ergibt sich während der acht Arbeitsstunden eine MOSH-Aufnahme von 0,0009 mg/kg KG/d über den Luftpfad. Das entspricht einer ADI-Ausschöpfung von 9%, bezogen auf einen Arbeitstag. Auf einer Wochen-Basis sind es gerundet 6%. Dieser Wert liegt im Bereich dessen, was für den Luftpfad noch tolerabel ist – unter der Voraussetzung, dass in der übrigen Zeit des Tages keine bis nur noch eine geringe weitere MOSH-Aufnahme über die Atmung erfolgt. Bei dieser Ableitung spielt das Körpergewicht der betreffenden Person keine Rolle, da es sich bei der Berechnung des Atemvolumens aus der Atemrate (als Faktor) und dem nachfolgenden Bezug der Aufnahmemenge auf das Körpergewicht (als Divisor) kompensiert.

Bei dem als „ungünstig“ dargestellten Szenario einer moderaten Aktivität und einer Verdoppelung der gasphasen- und partikelgebundenen MOSH (als Schätzung bei einer angenommenen Bodenstaub-Belastung in der Größe des 90. Perzentilwertes von 58.400 mg/kg) resultiert eine MOSH-Aufnahme über die Atmung während der Bürotätigkeit von 0,0035 mg/kg/d. Damit errechnet sich eine Ausschöpfung des ADI-Wertes zu 35% (auf Basis eines Arbeitstages) bzw. von 25% für den Zeitrahmen einer Woche. Dieser Wert liegt schon deutlich über dem Zielbereich der MOSH-Aufnahme über den Luftpfad von 10-20% Ausschöpfung des ADI-Wertes, wiederum unter Annahme/Voraussetzung einer Null-Aufnahme von MOSH über die Atmung außerhalb der Bürotätigkeit.

Die Raumluf-Belastung mit MOSH ist zumindest unter ungünstigen Bedingungen deshalb unseres Erachtens ebenso ein Thema für den Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz wie die Bürostaub-Belastung.

6. ARGUK-Orientierungswerte

Soweit keine behördlicherseits veröffentlichten Richt-, Prüf- oder Grenzwerte und auch keine von Fachverbänden o.ä. aufgestellten Werte-Empfehlungen vorliegen, bedienen wir uns bei der Einordnung von Analysebefunden generell zweier Typen von Orientierungswerten.

Typ eins (OW I und OW II umfassend) ist statistisch begründet und beschreibt die Normal- oder Hintergrundbelastung eines Mediums mit einem Schadstoff. OW I benennt die häufigste, als durchschnittlich zu betrachtende Belastung und ist aus dem 50. Perzentil der Verteilung der Hintergrundbelastung abgeleitet. OW II bezieht sich auf die Obergrenze der Verteilung der Normalbelastung und ist aus dem 90. Perzentil derselben abgeleitet. Wir halten uns dabei an die Sicht des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LFU Bayern), wonach „das 90. Perzentil ... als Obergrenze des als sicher geltenden Hintergrundgehaltes gedeutet werden kann und als eigentlicher Hintergrundwert definiert wird“ (LfU 2013) mit Verweis auf die BUND-Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO 2003).

Typ zwei (OW III) ist toxikologisch oder epidemiologisch begründbar. Mit seiner Überschreitung ist eine Warnschwelle überschritten, jenseits derer bei gegenwärtigem Wissensstand für empfindliche Personen und Risikogruppen, wie z.B. Kleinkinder und Kranke, gesundheitlich nachhaltige Auswirkungen nicht mehr mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können.

In der Regel sind OW I und OW II kleiner als OW III. In diesen Fällen empfehlen wir aus Gründen der gesundheitlichen Sicherheit die Unterschreitung von OW III und aus Gründen der gesundheitlichen Vorsorge die Unterschreitung von OW II sowie als Ziel die Einhaltung von OW I. Sind OW II und vielleicht sogar OW I größer als OW III, so haben wir es mit einem erstrangigen Umweltschadstoff zu tun. In diesem Fall sind für empfindliche Personen und Risikogruppen wie z.B. Kleinkinder gesundheitlich nachhaltige Auswirkungen bereits bei Exposition gegenüber der Hintergrundbelastung nicht auszuschließen. Die Aufstellung eines OW I und OW II verbietet sich hier, da mit diesen kein Vorsorge-Bezug mehr gewährleistet wäre.

MOSH, Gruppe 2, Klasse III sind nach den Ergebnissen dieser Studie zu den erstrangigen Umweltschadstoffen zu zählen. Für die Risikogruppe Kleinkind kann es bereits bei der gegenwärtigen Normalbelastung von Hausstaub mit MOSH zu einer ADI-Überschreitung um das 2,7fache kommen (vgl. Tab. 6). Sollen Kleinkinder hinreichend geschützt werden, muss für den Hausstaub-Pfad ebenso wie für den Raumluftpfad in Wohnräumen eine jeweils höchstens 20%ige Ausschöpfung des ADI zugelassen werden.

In der obigen Ableitung wurde von einem MOSH-Gehalt im Hausstaub von 5.000 mg/kg ausgegangen. Für ein 15 kg schweres Kleinkind mit einer täglichen oralen Staubaufnahme von 81 mg resultiert eine Überschreitung des ADI-Wertes zu 270%. Bei einer anzustrebenden maximalen Ausschöpfung des ADI-Wertes durch die orale Aufnahme von 20% darf der aufnehmbare Bodenstaub höchstens 370 mg/kg an MOSH aufweisen.

Demnach ergibt sich für MOSH in Hausstaub aus Wohnräumen ein ARGUK-Orientierungswert III von 370 mg/kg, bezogen auf die Risikogruppe „Kleinkinder“. Für eine erwachsene Person von 60 kg Körpergewicht und einer angenommenen „normalen“ täglichen Staubaufnahme von 10 mg leitet sich ein ARGUK-Orientierungswert III für den MOSH-Gehalt im Bodenstaub von 12.000 mg/kg ab.

Nach den vorliegenden Befunden liegen jedoch alle untersuchten Hausstaub-Proben mit mindestens 1.200 mg/kg schon wesentlich über dem OW III für Kleinkinder. Demnach dürften für die Zielgruppe der Kleinkinder keine weiteren MOSH-Aufnahmen über die Nahrung, den Hautkontakt und die Atmung erfolgen.

Für MOSH in Raumlufte aus Wohnräumen mit Kleinkindern schlagen wir daher einen maximalen Gehalt von 2 µg/m³ vor. Soweit weder Kleinkinder noch Erwachsene aus Risikogruppen die fraglichen Räume nutzen, kann ein Orientierungswert III (Erwachsene) für MOSH in Hausstaub von 15.000 mg/kg angesetzt werden. Mit der Parameterfestlegung eines täglichen Atemvolumens von 15 m³, einem Körpergewicht von 60 kg und einem Pfadanteil von 20% des ADI begründet sich ein Orientierungswert OW III für die Raumlufte für Erwachsene von 8 µg/m³.

Für Büroräume schlagen wir eine Begrenzung der MOSH-Konzentration auf 50.000 mg/kg sowie eine Begrenzung der MOSH-Konzentration in der Raumlufte (Gasphase + Partikelphase) auf 20 µg/m³ vor.

Tabelle 9: ARGUK-Orientierungswerte (OW) für MOSH im Innenraum:

		OW I	OW II	OW III (K)	OW III (E)
Hausstaub	Wohnräume – Kleinkind –			370	
	Wohnräume – Nur Erwachsene –	5.000	12.000		12.000
	Büros (Erwachsene)	26.000	*		50.000
Raumluft	Wohnräume – Empfindliche Nutzer –			2	
	Wohnräume – Nur Erwachsene –				8
	Büros				20

Staubwerte in mg/kg, Luftwerte in µg/m³

* kein OW II, da der 90. Perzentilwert von 58.400 mg/kg größer ist als der toxikologisch begründbare OW III von 50.000 mg/kg

7. Ausblick

In Fortführung der bisherigen Untersuchungen ergeben sich folgende Aufgabenstellungen zum Vorkommen von MOSH/POSH/PAO/MOA in Innenräumen:

- Verbreiterung des Probenumfangs
- Quellensuche insbesondere in Büroräumen
- Bestimmung des MOA-Anteils im Hausstaub
- Bestimmung der Raumluft-Konzentrationen

Literaturverzeichnis:

BEHÖRDE FÜR ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES (BAGS). 1995. Bericht des Ausschusses für Umwelthygiene (AUH) der Arbeitsgemeinschaft der leitenden Medizinalbeamtinnen und –beamten der Länder (AGLMB). Standards zur Expositionsabschätzung.

BIEDERMANN-BREM S, KASPRICK N, SIMAT T, GROB K. 2012. Migration of polyolefin oligomeric saturated hydrocarbons (POSH) into food. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess. 29(3): 449-60

BOTHE M. 2004. Quantifizierung der Ingestion von Boden durch Kinder. Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2004-647

BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG (BfR). 2009. Übergänge von Mineralöl aus Verpackungsmaterialien auf Lebensmittel. Stellungnahme Nr. 008/2010 des BfR

BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG (BfR). 2011. Kommission für Bedarfsgegenstände. Protokoll der 7. Sitzung April 2011

BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG (BfR). 2012. Bestimmung von Kohlenwasserstoffen aus Mineralöl (MOSH und MOAH) oder Kunststoffen (POSH, PAO) in Verpackungsmaterialien und trockenen Lebensmitteln mittels Festphasenextraktion und GC/FID



CHEMISCHES UND VETERINÄRUNTERSUCHUNGSAMT STUTTGART, LANDESUNTERSUCHUNGSANSTALT FÜR DAS GESUNDHEITS- UND VETERINÄRWESEN SACHSEN, TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN, PROFESSUR FÜR LEBENSMITTELKUNDE UND BEDARFSGEGENSTÄNDE, KANTONALES LABOR ZÜRICH (CVUA Stuttgart et al). 2012. Abschlussbericht zur wissenschaftlichen Studie „Ausmaß der Migration unerwünschter Stoffe aus Verpackungsmaterialien aus Altpapier in Lebensmitteln“ <http://download.ble.de/09HS012.pdf>

DROZ C, GROB K. 1997. Determination of food contamination by mineral oil material from cardboard using online coupled LC-GC-FID. Z Lebensm Unters Forsch A 205: 239-241

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). 2012. Scientific Opinion on Mineral Oil Hydrocarbons in Food. EFSA Journal 2012; 10(6): 2704

JOINT FAO / WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES (JECFA). 2002. 59th Report of Joint FAO / WHO Expert Committee on Food Additives. WHO TRS n. 913

KANTONALES LABOR ZÜRICH. 2010. Jahresbericht 2009. www.klzh.ch/downloads/JB_2009_KLZH.pdf

LABO (BUND-LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ). 2003. Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. Beschlussfassung der 33. StAA4-Sitzung 29./30.1.2003

LfU Bayern (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT). 2013. Was sind Hintergrundwerte genau – Internetangebot. <http://www.lfu.bayern.de/boden/hintergrundwerte/index.htm>

LORENZINI R, FISELIER K, BIEDERMANN M, BARBANERA M, BRASCHI I, GROB K. 2010. Saturated and aromatic mineral oil hydrocarbons from paperboard food packaging: estimation of long-term migration from contents in the paperboard and data on boxes from the market; Food Additives&Contaminations: Part A, 27:12, 1765-1774

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