



## Fettsäuren im Innenraum – Studie zum Vorkommen in Raumlufte und Hausstaub

### Gesundheitliche Beschwerden durch Reiz-, Riech- und hautsensibilisierende Stoffe

Schlagworte: Fettsäuren, Reizstoffe, Geruch, Riechstoffe, Reizungen, Sensibilisierung, Abbauprodukte, Raumlufte, Hausstaub, Orientierungswerte.

Verfasser: <sup>1</sup>Herbert Obenland, <sup>2</sup>Markus Binder, <sup>1</sup>Wigbert Maraun; im April 2003

<sup>1</sup>ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel

<sup>2</sup>IfAU Institut für Angewandte Umweltforschung e.V., Oberursel

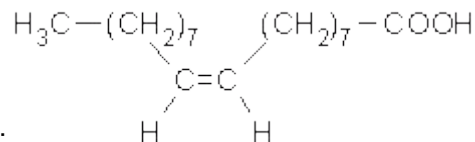
### Zusammenfassung

Das Vorkommen von Fettsäuren in Raumlufte und Hausstaub ist unserer Kenntnis nach in der Literatur bisher nur wenig beschrieben worden. Dabei besitzen Fettsäuren Potenziale, die zum Auftreten von gesundheitlichen Beeinträchtigungen beitragen können. Für ihr Vorkommen im Innenraum sprechen die hohe Produktionsmenge von (Innenraum-)Anstrichen, in denen Fettsäuren enthalten sind. In der folgenden Studie soll gezeigt werden, dass sich hohe Fettsäure-Konzentrationen besonders in Hausstäuben nachweisen lassen, und dass diese einen großen Anteil der organischen aus Hausstaub extrahierbaren Stoffen darstellen. Niedere bis mittlere Fettsäuren haben ausgesprochen unangenehme Geruchseigenschaften, während die höheren Fettsäuren zwar geruchsneutral, jedoch dem mikrobiellen Abbau zugänglich sind und dabei eine Vielzahl niedermolekularer und geruchsintensiver Metaboliten wie Alkohole, Aldehyde, Ketone und Säuren hinterlassen. Darüber hinaus sind Aerosole höherer Fettsäuren reizend für Augen, Atemwege und Haut.

### Allgemeines zu chemischer Struktur und technischer Verwendung

#### Strukturformel

Beispiel für eine höhere gesättigte Fettsäure (Palmitinsäure):  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{14}\text{-COOH}$



Beispiel für eine höhere ungesättigte Fettsäure (Ölsäure):

#### Nomenklatur

Bezeichnung bei 1-7 C-Atomen als niedere Fettsäuren, bei 8-12 C-Atomen als mittlere Fettsäuren, bei >12 C-Atomen als höhere Fettsäuren.

**Tabelle 1.** Nomenklatur, Eigenschaften und technische Verwendung von Fettsäuren.

C-At.	Name	Trivialname	Sättigung / Verzweigung	Vorkommen
C6	Hexansäure	Capronsäure	G, UV	Alkydharz
C7	Heptansäure	Önanthsäure	G, UV	
C8	Octansäure	Caprylsäure	G, UV	Alkydharz
C9	Nonansäure	Pelargonsäure	G, UV	Alkydharz
C10	Decansäure	Caprinsäure	G, UV	Alkydharz
C11	Undecansäure		G, UV	
C12	Dodecansäure	Laurinsäure	G, UV	
C13	Tridecansäure		G, UV	
C14	Tetradecansäure	Myristinsäure	G, UV	
C15	Pentadecansäure		G, UV	
C16	Hexadecansäure	Palmitinsäure	G, UV	Naturharz, Alkydharz, Öl
C17	Heptadecansäure	Margarinsäure	G, UV	
C18	Octadecansäure	Stearinsäure	G, UV	Naturharz, Alkydharz, Öl, Polyacrylharz
C18	9-Octadecensäure	Ölsäure	1-fach U, UV	trocknendes Öl
C18	9,12-Octadecadiensäure/ 9,12,15-Octadecatriensäure	Linolsäure/ Linolensäure	2- bzw. 3-fach U, UV	trocknende Öle

C-At. - Anzahl der C-Atome, G - gesättigt, U - ungesättigt, UV - unverzweigt  
(Falbe und Regitz 1995; Baumann und Muth 1997)

### Stoffeigenschaften

Niedere bis mittlere Fettsäuren sind bei Raumtemperatur flüssig oder fest und zeichnen sich durch einen penetranten schlechten Geruch aus. Höhere Fettsäuren sind fest und geruchlos. Die Siedepunkte liegen meist über 200°C.

Langkettige Fettsäuren im Hausstaub stellen eine wichtige Quelle für eine Vielzahl kurzketziger Abbauprodukte dar, wobei zwei Prozesse eine wichtige Rolle spielen. Zum einen findet ein Abbau durch mikrobielle Aktivität statt, zum anderen können langkettige Fettsäuren auch thermisch zersetzt werden, wenn sich Staub auf heißen Oberflächen wie Heizkörpern oder Lampen niedergelassen hat (Pedersen et al. 2002). Bei diesen Prozessen entstehen niedermolekulare Aldehyde, Carbonsäuren, Ketone und Alkohole, die für den oftmals muffigen oder ranzigen Geruch von Hausstaub und Raumluft verantwortlich sind.

## Anwendung und Innenraum-Quellen, Gefährdungspotenzial

Höhere Fettsäuren sind Bestandteil von Seifen, Tensiden, Schmierstoffe, Epoxid- und Alkydharzen, Anstrichmitteln wie Farben und Lacke, und Weichmachern (Falbe und Regitz 1995; Baumann und Muth 1997) (Tabelle 1). Niedere und überwiegend auch die mittleren Fettsäuren finden demgegenüber im Innenraum keine technische Anwendung, sondern treten dort vorwiegend als Abbauprodukte der höheren Fettsäuren auf.

Höhere Fettsäuren und ihre Aerosole können reizend für Augen, Atemwege, Schleimhaut und Haut sein (Baumann und Muth 1997). Niedere Fettsäuren sind über ihren widerlichen Geruch hinaus von Wilkins et al. (1993) potenzielle Verursacher von Schleimhautreizungen und Konzentrationsstörungen identifiziert worden.

## Material und Methoden

In dieser Studie wurde ein Gesamtkollektiv von  $n = 24$  Hausstaubproben und  $n = 10$  Luftproben untersucht. Die Hausstaubproben stammen aus Privathaushalten und wurden dem laufenden Laboreingang entnommen. Die Probenahme des Staubes erfolgte dabei durch die Bewohner. Diese wurden telefonisch angewiesen, ihre Wohnung zu reinigen, Staub über sieben Tage zusammenkommen zu lassen und dann in einen frischen Staubsaugerbeutel aufzunehmen. Im Labor wurde der Staub gesiebt ( $< 2$  mm), ein Teil davon mit Aceton im Ultraschallbad extrahiert, mit N,O-bis(Trimethylsilyl)acetamid (BSA) derivatisiert (Silylierung), ein Aliquot mittels Kapillar-Gaschromatographie und Elektroneneinfang- bzw. Flammenionisations-Detektor (GC-ECD/FID) analysiert und der Gehalt der interessierenden Substanzen gegen externe Standards quantitativ bestimmt.

Die Luftproben stammten ebenfalls aus Privathaushalten und wurden durch unser Personal entnommen. Dabei wurden die Zielstoffe aus 200 l Probevolumen an Florisil adsorbiert, mit 10% BSA in Aceton desorbiert, ein Aliquot mittels GC-ECD/FID analysiert und der Gehalt der interessierenden Substanzen gegen externe Standards quantitativ bestimmt.

## Ergebnisse und Diskussion

### Vorkommen im Hausstaub

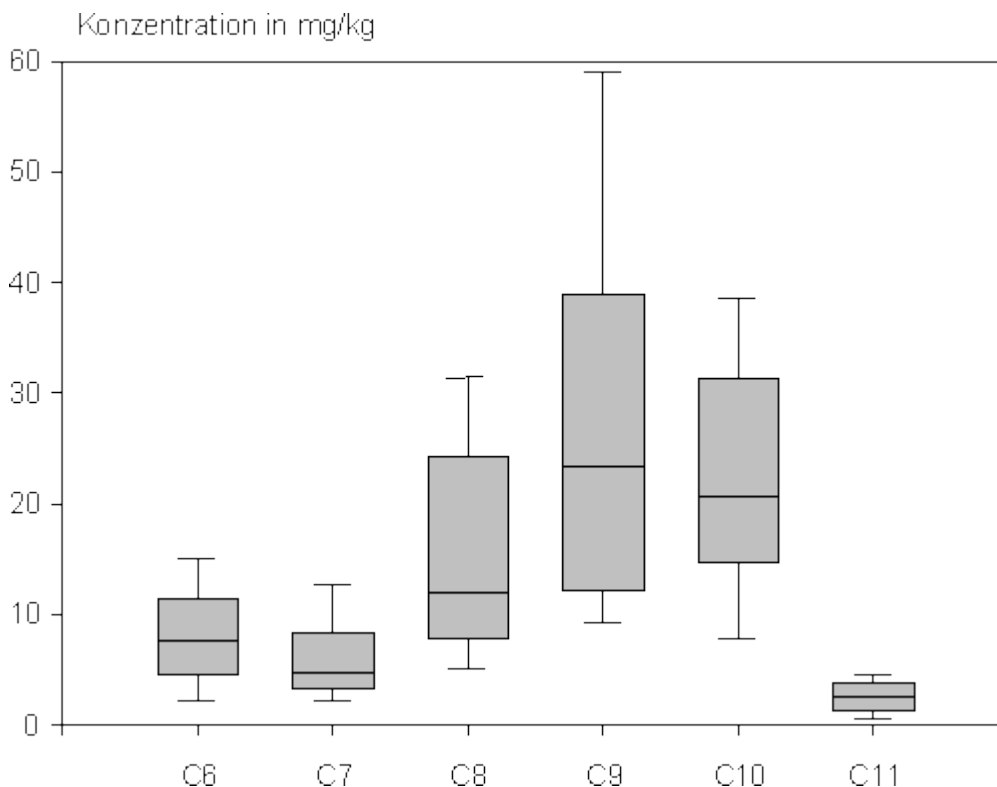
Die statistischen Kenngrößen der untersuchten Fettsäuren im Hausstaub sind in Tabelle 2 wiedergegeben. Konzentrationen kleiner oder in der Höhe der Bestimmungsgrenze (BG) wurden mit der Hälfte der BG in die Statistik einbezogen. In den Abbildungen 1 und 2 sind die Verteilungen graphisch in Form von Box-und-Whisker-Plots dargestellt.

**Tabelle 2.** Vorkommen von Fettsäuren im Hausstaub ( $n = 24$ ). Konzentrationen in mg/kg.

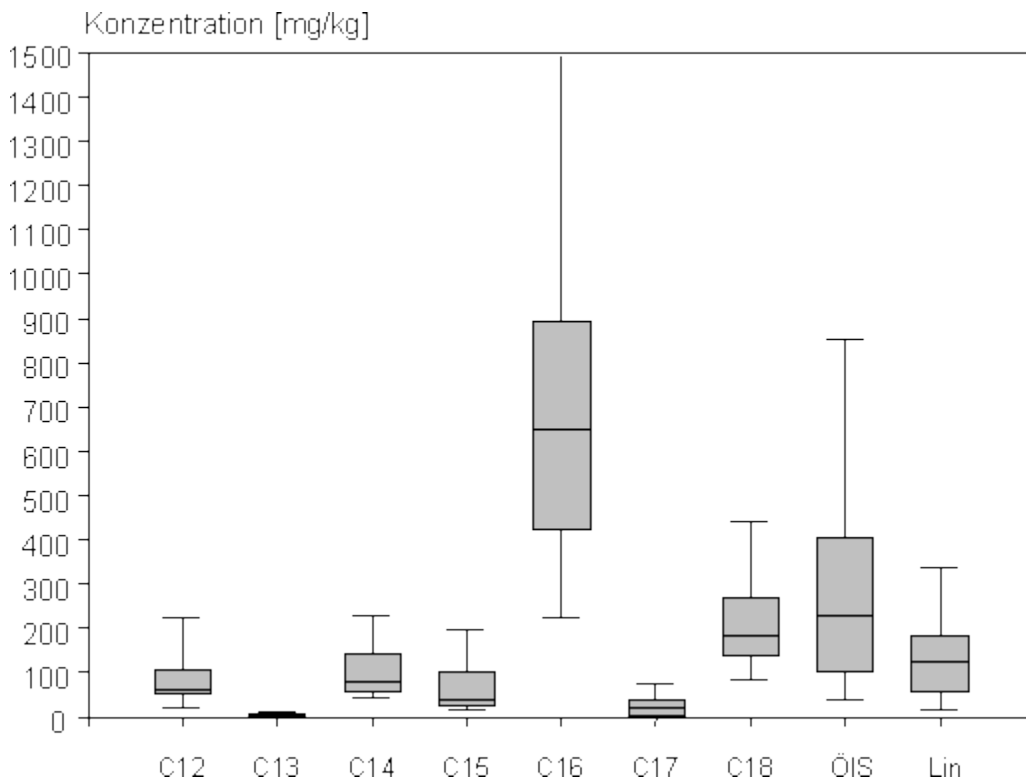
Bezeichnung	A	BG	Spannweite	MW	Median	90.-Perz.
Hexansäure (C6)	24 (100%)	1	1,2 - 27	8,6	7,6	16
Heptansäure (C7)	22 (92%)	1	0,5 - 17	6,2	4,8	14
Octansäure (C8)	24 (100%)	1	2,2 - 48	16	12	33
Nonansäure (C9)	24 (100%)	1	4,6 - 99	29	23	59
Decansäure (C10)	24 (100%)	1	3,7 - 62	23	21	41
Undecansäure (C11)	20 (83%)	1	0,5 - 6,5	2,7	2,5	4,8
Dodecansäure (C12)	24 (100%)	1	12 - 280	88	63	220
Tridecansäure (C13)	21 (88%)	1	0,5 - 33	6,0	4,8	11

Bezeichnung	A	BG	Spannweite	MW	Median	90.-Perz.
Tetradecansäure (C14)	24 (100%)	1	13 - 680	120	81	230
Pentadecansäure (C15)	24 (100%)	1	6,2 - 510	80	41	200
Hexadecansäure (C16)	24 (100%)	1	4,3 - 2600	740	650	1500
Heptadecansäure (C17)	20 (83%)	1	0,5 - 150	30	20	92
Octadecansäure (C18)	24 (100%)	1	42 - 610	220	180	460
Ölsäure (C18)	24 (100%)	1	3,5 - 2000	350	230	850
Linol/Linolensäure (C18)	24 (100%)	1	8,3 - 780	160	120	340
Summe C6-C12	-	7	25 - 410	170	150	330
Summe C10-Linol/Linolen-S.	-	9	410 - 7500	1800	1600	3300

A - Anzahl der Proben, in der die Verbindung oberhalb der BG nachgewiesen werden konnte (Anteil am Gesamtkollektiv in Prozent); BG - Bestimmungsgrenze; MW - Mittelwert; 90.-Perz. - 90. Perzentil.



**Abbildung 1.** Verteilung der Konzentrationen an kurzen und mittleren Fettsäuren im Hausstaub (C6 - C11). Untere / obere Linie = 10. / 90. Perzentil, Box = 25. bis 75. Perzentil, Linie in Box = 50. Perzentil. Cn - Anzahl der C-Atome der entsprechenden Fettsäure (vgl. Tabelle 1).



**Abbildung 2.** Verteilung der Konzentrationen an langkettigen Fettsäuren im Hausstaub (C12 - C18). Untere / obere Linie = 10. / 90. Perzentil, Box = 25. bis 75. Perzentil, Linie in Box = 50. Perzentil. Cn - Anzahl der C-Atome der entsprechenden Fettsäure (vgl. Tabelle 1); ÖIS - Ölsäure; Lin - Linol/Linolensäure.

Bis auf wenige Ausnahmen waren in den Proben alle Fettsäuren von C6 - C18 gleichzeitig nachweisbar. Dabei liegen die Konzentrationen langkettiger Fettsäuren im Hausstaub in einem Bereich ähnlich dem der Phthalate, teilweise sogar weit darüber. Besonders auffällig sind Hexadekansäure und Ölsäure. Hexadekansäure ist die in Farben und Lacken am weitesten verbreitete Fettsäure, wo sie als Ausgangsstoff für oder Bestandteil von Bindemitteln eingesetzt wird. Sie ist bei Raumtemperatur fest (Schmelzpunkt ca. 63°C, Siedepunkt 390 °C), und ihre Dämpfe können zu Reizungen der Augen und Atemwege führen (Baumann und Muth 1997). Ölsäure ist die wichtigste unter den ungesättigten Fettsäuren und praktisch in allen pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten in vielfach sehr hohen Anteilen enthalten (Willems 1990; Falbe und Regitz 1995). Ölsäure kann bei Abbauprozessen aufgrund ihrer chemischen Struktur verstärkt zur Bildung von Nonanal führen, ein Aldehyd, das bei Raumluftproben meist in bedeutenden Konzentrationen nachgewiesen werden kann. So beträgt die mittlere Nonanal-Konzentration eines Kollektivs von 16 Raumluftproben aus dem laufenden Laboreingang des Jahres 2002 6,5 µg/m<sup>3</sup> (ARGUK 2002a). Die Geruchsschwelle dieser Verbindung liegt bei 13,5 µg/m<sup>3</sup> (Scholz und Santl 1999). Damit war etwa 1/4 der Proben des Kollektivs geruchlich auffällig (75. Perzentil 16 µg/µ<sup>3</sup>), wobei der Geruch mit "muffig" oder "ranzig" beschrieben werden kann. In Kombination mit anderen geruchsaktiven Stoffen kann Nonanal auch schon bei geringeren Konzentrationen zu einem schlechten Geruchseindruck beitragen, wenn man von einem additiven Mechanismus ausgeht. Wahrscheinlich hat Nonanal einen maßgeblichen Anteil am muffigen Geruch von Hausstaub.

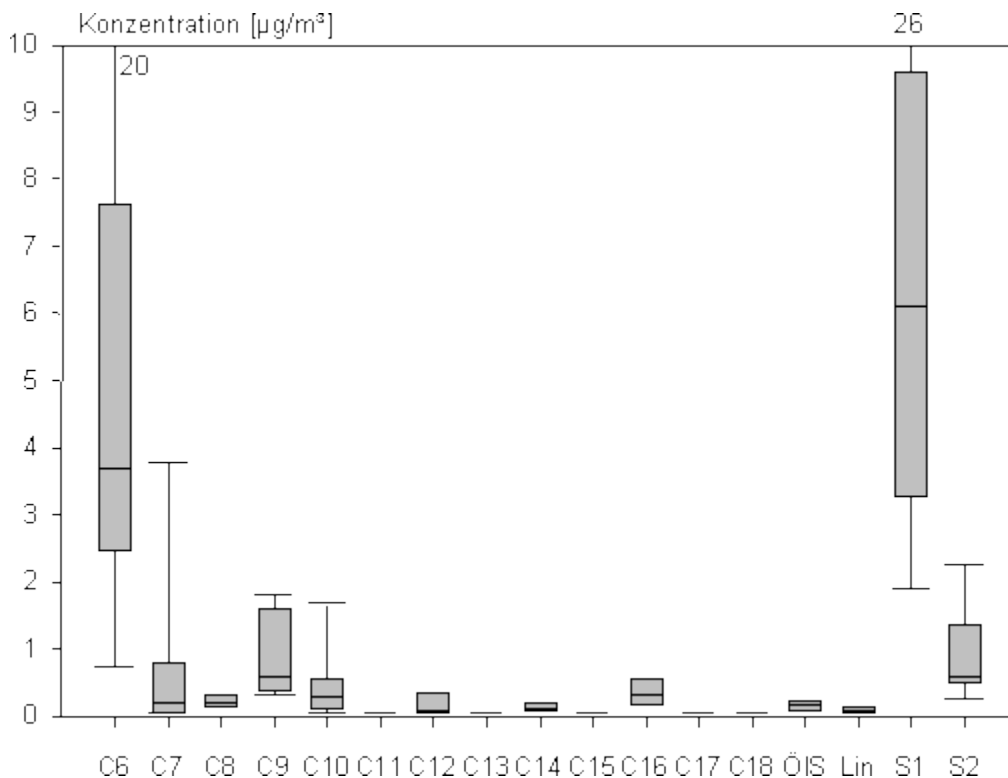
### Vorkommen in der Raumluft

Die statistischen Kenngrößen der Häufigkeitsverteilungen der untersuchten Fettsäuren in der Raumluft sind in Abbildung 3 und Tabelle 3 wiedergegeben. Auch hier wurden die Konzentrationen kleiner als die Bestimmungsgrenze mit der Hälfte der BG in die Statistik einbezogen. In Abbildungen 4 sind die Konzentrationsverteilungen der Fettsäuren in Hausstaub und Raumluft einander gegenübergestellt.

**Tabelle 3.** Vorkommen von Fettsäuren in der Raumluft. Konzentrationen in µg/m<sup>3</sup>.

Bezeichnung	A	BG	Spannweite	MW	Median	90.-Perz.
Hexansäure (C6)	9 (90%)	0,1	0,05 - 21,2	5,7	3,7	20
Heptansäure (C7)	6 (60%)	0,1	0,05 - 4,1	0,76	0,20	3,8
Octansäure (C8)	4 (100%)	0,1	0,14 - 0,39	0,23	0,20	-
Nonansäure (C9)	10 (100%)	0,1	0,24 - 1,8	0,92	0,58	1,8
Decansäure (C10)	8 (80%)	0,1	0,05 - 1,8	0,44	0,28	1,7
Undecansäure (C11)	0	0,1	-	0,05	-	-
Dodecansäure (C12)	2 (50%)	0,1	0,05 - 0,57	0,19	0,08	-
Tridecansäure (C13)	0	0,1	-	0,05	-	-
Tetradecansäure (C14)	3 (75%)	0,1	0,05 - 0,32	0,15	0,11	-
Pentadecansäure (C15)	0	0,1	-	0,05	-	-
Hexadecansäure (C16)	3 (75%)	0,1	0,05 - 0,80	0,37	0,32	-
Heptadecansäure (C17)	0	0,1	-	0,05	-	-
Octadecansäure (C18)	0	0,1	-	0,05	-	-
Ölsäure (C18)	3 (75%)	0,1	0,05 - 0,28	0,16	0,16	-
Linol/Linolensäure (C18)	2 (75%)	0,1	0,05 - 0,17	0,10	0,09	-
Summe C6-C12	-	2,0	3,28 - 8,08	8,0	6,11	26
Summe C10-Linol/Linolen-S.	-	2,0	0,55 - 2,39	0,93	0,60	2,3

A - Anzahl der Proben, in der die Verbindung oberhalb der BG nachgewiesen werden konnte (Anteil am Gesamtkollektiv in Prozent); Probenanzahl n für C6, C7, C9, C10 = 10, alle anderen n = 4; BG - Bestimmungsgrenze; MW - Mittelwert; 90.-Perz. - 90. Perzentil.

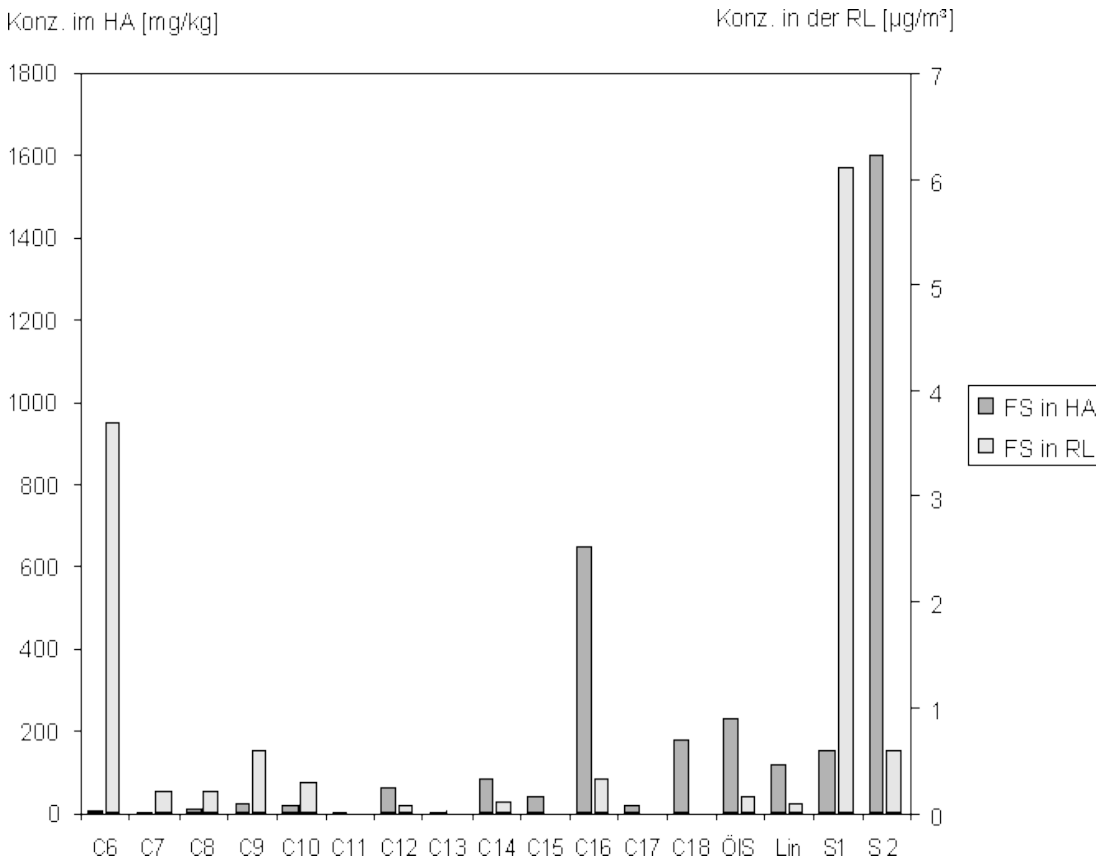


**Abbildung 3.** Verteilung der Konzentrationen an Fettsäuren in der Raumluft. Untere / obere Linie = 10. / 90. Perzentil, Box = 25. bis 75. Perzentil, Linie in Box = 50. Perzentil. Cn - Anzahl der C-Atome der entsprechenden Fettsäure (vgl. Tabelle 1); ÖIS - Ölsäure; Lin - Linol/Linolensäure; S1 - Summe C6-C12; S2 - Summe C10 - Linol/Linolenensäure.

Unsere orientierenden Messungen zeigen, dass bis auf Hexansäure die untersuchten Fettsäuren in der Raumluft in nur geringen Konzentrationen von ca. 0,1 bis 1 µg/m<sup>3</sup> nachzuweisen sind (Tabelle 3). Aber auch wenn die Konzentrationen vieler einzelner Fettsäuren gering sind und unterhalb der Geruchsschwelle liegen, so kann ihre Summe dennoch einen Wert erreichen, der geruchlich wahrnehmbar ist. Im Vergleich mit Konzentrationen geruchsaktiver Aldehyde und Ketone liegt die Summe der kurz- bis mittelkettigen Fettsäure-Konzentrationen in einem ähnlichen Bereich.

Hexansäure ist mit einem Median von 3,7 µg/m<sup>3</sup> eine wichtige Ausnahme und stellt in der Summe der kurz- und mittelkettigen Fettsäuren den größten Anteil (60%). Sie besitzt haut- und schleimhautreizendes Potenzial (Baumann und Muth 1997) und ist ab 30 bis 50 µg/m<sup>3</sup> geruchlich wahrnehmbar.

### Vergleich zwischen Hausstaub und Raumluft



**Abbildung 4.** Vergleich der Fettsäure-Konzentrationen im Hausstaub und der Raumluft (Median-Werte). Cn - Anzahl der C-Atome der entsprechenden Fettsäure (vgl. Tabelle 1); ÖIS - Ölsäure; Lin - Linol/Linolensäure; S1 - Summe C6-C12; S2 - Summe C10 - Linol/en-Säure.

Generell gilt für Fettsäuren, dass ihre Flüchtigkeit mit zunehmender Kettenlänge abnimmt. Diese Eigenschaft ist in Abbildung 3 gut zu erkennen: Die höchsten Fettsäurekonzentrationen in der Raumluft liegen im kurzkettigen Bereich, während im Hausstaub die langkettigen Fettsäuren dominieren.

### ARGUK-Orientierungswerte für Fettsäuren in Hausstaub und Raumluft

Für die meisten der von uns untersuchten Verbindungen wurden Konzentrationen in Hausstaub und Raumluft bisher nicht veröffentlicht, Vergleiche sind daher nur eingeschränkt möglich. Die vorgeschlagenen Werte beziehen sich beim Hausstaub auf die 2 mm-Fraktion eines während einer Woche angefallenen Staubes und sollen der vorläufigen Beurteilung einer Belastung des Hausstaubes und der Raumluft mit den bisher unbeachteten Fettsäuren dienen. Die ARGUK-Orientierungswerte (OW) sind statistisch abgeleitet und unter dem Aspekt der Gesundheitsvorsorge zu verstehen. Sie bedeuten keine toxikologisch begründeten Richtwerte. Das Auftreten gesundheitlicher Beschwerden kann mit einer Überschreitung der OW nicht ohne weiteres in Zusammenhang gebracht werden.

**ARGUK-OW 1:** Dieser Orientierungswert entspricht dem statistischen gerundeten 50-Perzentilwert, der aus den Daten dieser Studie ermittelt wurde. Er besagt, dass 50 Prozent der untersuchten Proben diesen Wert nicht überschritten haben. Ein Meßwert in dieser Größenordnung kann als durchschnittlich eingestuft werden.

**ARGUK-OW 2:** Dieser Orientierungswert entspricht dem statistischen gerundeten 90-Perzentilwert, der aus den Daten dieser Studie ermittelt wurde. Er besagt, dass 90 Prozent der untersuchten Proben diesen Wert unterschritten haben und 10 Prozent darüber lagen. Meßwerte über diesem Orientierungswert können als auffällig eingestuft werden. Die Ursache des erhöhten Konzentrationsniveaus sollte festgestellt und möglichst durch geeignete Maßnahmen beseitigt werden.





**Tabelle 4.** ARGUK-Orientierungswerte für Fettsäuren im Hausstaub. Konzentrationen in mg/kg.

<b>Verbindung</b>	<b>ARGUK-Orientierungswert OW 1</b>	<b>ARGUK- Orientierungswert OW 2</b>
Hexansäure (C6)	5	15
Heptansäure (C7)	5	15
Octansäure (C8)	10	30
Nonansäure (C9)	20	60
Decansäure (C10)	20	40
Undecansäure (C11)	2	5
Dodecansäure (C12)	50	250
Tridecansäure (C13)	5	15
Tetradecansäure (C14)	100	250
Pentadecansäure (C15)	40	200
Hexadecansäure (C16)	600	1500
Heptadecansäure (C17)	20	100
Octadecansäure (C18)	200	500
Ölsäure (C18)	200	800
Linol/Linolensäure (C18)	100	350
Summe C6 - C12	150	350
Summe C10 - C18	1600	3500

**Tabelle 5.** ARGUK-Orientierungswerte für Fettsäuren in der Raumlufte. Konzentrationen in µg/m<sup>3</sup>.

Verbindung	ARGUK-Orientierungswert OW 1	ARGUK- Orientierungswert OW 2
Hexansäure (C6)	4	20
Heptansäure (C7)	0,2	4
Octansäure (C8)	0,2	
Nonansäure (C9)	0,6	2
Decansäure (C10)	0,3	2
Undecansäure (C11)		
Dodecansäure (C12)	0,1	
Tridecansäure (C13)		
Tetradecansäure (C14)	0,1	
Pentadecansäure (C15)		
Hexadecansäure (C16)	0,3	
Heptadecansäure (C17)		
Octadecansäure (C18)		
Ölsäure (C18)	0,2	
Linol/Linolensäure (C18)	0,1	
Summe C6 - C12	6	24
Summe C10 - C18	0,6	2,4

### Schluß

Fettsäuren sind im Hausstaub ubiquitär. Ihre mittlere Summenbelastung übertrifft bei weitem die mittlere Summenbelastung der ebenfalls im Hausstaub ubiquitär auftretenden Phthalate. Im organischen Hausstaub-Extrakt sind sie die dominierende Fraktion. Im Aceton-Extrakt, in dem ca. 2% der Masse des Hausstaubes (< 63 µm-Fraktion) zu finden sind, stellen sie in einem Mischstaub aus 24 Hausstäuben aus dem laufenden Auftragseingang 27% der Extraktmasse. Das entspricht einer Massenkonzentration im Hausstaub von ca. 5 mg/g (ARGUK 2002b).



Fettsäuren dominieren auch im Schwarzstaub-Niederschlag, der beim Phänomen der "Schwarzen Wohnungen" (auch unter "**Fogging-Effekt**" bekannt) auftritt. Im Hexan/Aceton-Extrakt von Wischproben aus 20 solcher Wohnungen fanden wir im Jahr 2002 einen mittleren Fettsäure-Anteil von ca. 12%. Damit sind Fettsäuren nicht nur maßgeblich am Fogging-Phänomen beteiligt. Aus der genannten Beobachtung ist auch zu schließen, dass Fettsäuren Bestandteil atembare Fein- und Feinststäube sind und in dieser Eigenschaft insbesondere auf die Schleimhäute der Atemwege reizend wirken können (ARGUK 2002b).

Mit ihrem dominierenden Anteil am organischen Hausstaub-Extrakt stellen Fettsäuren ein großes Potenzial für den mikrobiellen und thermischen Abbau zur Verfügung, der nahezu ausschließlich in einer Vielzahl geruchsaktiver und schleimhautreizender Stoffe mündet. Viele dieser Verbindungen können mit den herkömmlichen Methoden der VOC-Bestimmung nicht erfasst werden, unter anderem auch wegen nicht ausreichender Bestimmungsgrenzen.

Aus den genannten Gründen halten wir beim Auftreten der eingangs erwähnten Gesundheitsbeeinträchtigungen die Überprüfung der Fettsäuren-Belastung des Hausstaubs für geboten. In der Raumluft sollten die niederen Fettsäuren Bestandteil jeder VOC-Messung sein, wie VDI 4300 Blatt 6 dies zumindest für Hexansäure schon vorsieht.

## **Literatur**

ARGUK (2002a) Fortlaufende Laborstatistik, unveröffentlicht. ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel

ARGUK (2002b) Der organisch extrahierbare Anteil im Hausstaub. ARGUK - Forschungsprojekt 03-03, ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel.

Baumann W, Muth A (1997) Farben und Lacke. Springer Verlag Berlin, 2130 S.

Falbe J, Regitz M. (Hrsg.) (1995) Römpp Chemie Lexikon, 9., korrigierte und verbesserte Auflage des Römpp Chemie Lexikons auf CD-ROM, Version 1.0

Pedersen EK, Bjørseth O, Syversen T, Mathiesen M (2002) Emissions from heated indoor dust. Environment International 27:579-587

Scholz H, Santl H (1999) Occurrence and assessment of selected volatile organic compounds (VOC) in indoor air. Proceedings of Indoor Air 1999, 1:481-486

Wilkins CK, Wolkoff P, Gyntelberg F, Skov P, Valbjørn O (1993) Characterization of office dust by VOCs and TVOC release - Identification of potential irritant VOCs by partial least square analysis. Indoor Air 3:283-290

Willems A (1990) Textbuch Chemische Substanzen. 1. Auflage, Eigenverlag Dr. Willems GmbH, Saarbrücken, 676 S.