
Beispiel I: Chloranisole, MVOC und Phenole als Geruchsquellen im Fertighaus

Jörg Thumulla, Doris Schünemann

Anlass/Untersuchungsaufgabe

Im Rahmen eines Gerichtsgutachtens waren die Ursachen eines schimmelig-muffigen Geruches eines in den Sommermonaten verkauften Fertighauses zu klären. Aus juristischen Gründen war dabei wichtig, ob die Ursache mit einem verschwiegenen Wasserschaden also einem verdeckten Mangel in Zusammenhang steht.

Kenntnislage

Für muffige Gerüche in älteren Fertighäusern werden bisher folgende Substanzen bzw. Substanzgruppen diskutiert:

- MVOC (Mikrobiologisch erzeugte Kohlenwasserstoffe) aus einem mikrobiellen Befall im Außenwandaufbau, verursacht durch den Ausfall von Kondenswasser aufgrund der unzureichenden Luftdichtigkeit dieser Bauten.
- Chloranisole, die im Laufe der Zeit wahrscheinlich mikrobiell bedingt aus chlorhaltigen Holzschutzmitteln, insbesondere PCP im Zusammenhang mit Kondensationsfeuchte entstehen.¹

Typische Problemstellen für die Bildung von Chloranisolen und Schimmelpilzen in älteren Fertighäusern sind dabei die Außenwände, weil in beiden Fällen der Eintrag von Feuchtigkeit in die Bausubstanz eine notwendige Voraussetzung ist. Diese Fertighäuser weisen in der Regel erhebliche Schwachstellen in der Luftdichtigkeit der Außenhülle auf, weil zur Bauzeit die Problematik der Tauwasserbildung in kälteren Außenbauteilen noch nicht ausreichend bekannt war. Durch Undichtigkeiten (Steckdosen, Estrichfugen, Rollladendurchführungen etc.) dringt aufgrund des Winddruckes auf der dem Wind zugewandten Seite durch die Nutzung (Kochen, Waschen) mit Feuchtigkeit angereicherte warme Luft in die Dämmstoffe der Außenwände der windabgewandten Seite ein. Aufgrund des in der kalten Jahreszeit in der Außenwand bestehenden Temperaturgefälles steigt mit der Abkühlung der Luft deren relative Luftfeuchte, bis die Wasseraktivität an den betroffenen Materialien ausreichend hoch ist, so dass Schimmelpilzwachstum oder die Bildung von Chloranisolen möglich ist. Eine Taupunktunterschreitung, bei der flüssiges Wasser im Wandaufbau ausfällt, ist dabei für diese Prozesse nicht zwangsläufig notwendig. Es reicht eine Wasseraktivität, die einer Ausgleichsfeuchte der angrenzenden Luft von etwa 80-90% rel. Luftfeuchte entspricht.

Weitere muffig riechende Problemsubstanzen in älteren Fertighäusern oder Pavillonbauten sind:

- Chlornaphthaline als muffig riechende Holzschutzmittel, die seit Beginn des 20. Jahrhunderts als Imprägnierungs- und Holzschutzmittel eingesetzt und bis in die 80er Jahre hinein angewendet wurden²,
- Phenole als geruchsintensive Komponente des Spanplattenharzes,
- Naphthaline und weitere (substituierte) flüchtige PAK als geruchsintensive Bestandteile von Teerprodukten.

¹ M. Binder, H. Obenland und W. Maraun: Chloranisole als Verursacher von schimmelähnlichem Geruch in älteren Fertighäusern in Umwelt, Gebäude & Gesundheit, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe-Eldagsen 2004.

² Pluschke: Luftschadstoffe in Innenräumen – Ein Lehrbuch, Springer 1996

Vorgehensweise

Zur Klärung von Ursache und Quelle wurden vergleichende Luftproben aus Innen- und Außenwänden, der Dämmung unterhalb des Bodens (z.T. Estrich mit Styropor, z.T. Spanplatten mit Holzweichfaserplatten) sowie der Raumluft genommen. Hierzu wurden die entsprechenden Bauteilhohlräume angebohrt und Luftproben direkt aus diesen Hohlräumen gezogen. Als Probenahmemedium wurde Tenax TA mit anschließender Thermodesorption eingesetzt, da sich von diesem Medium alle zu untersuchenden Substanzen nachweisen lassen. Weil zudem nur sehr geringe Probenahmeholumina erforderlich sind, wird bei der Probenahmen aus den Hohlräumen eine relevante Verdünnung mit Frischluft durch die Probenahme vermieden. Um gemäß der VDI-Richtlinie 4300 definierte Ausgangsvoraussetzungen zu schaffen, wurden alle Räume fünf Minuten stoßgelüftet. Hiernach wurden alle Fenster auf Kippfunktion gestellt und mittels Blower-Door-Gebläse eine weitere definierte Lüftung (5-facher Luftwechsel) durchgeführt, um auch die Bauteilhohlräume definiert zu lüften. Die Probenahme begann sechs Stunden nach der Lüftung. Erfahrungsgemäß hat sich nach dieser Zeit die Ausgleichskonzentration schon weitgehend eingestellt.

Ergebnisse

Geruchsverursachende Substanzen

Nimmt man mangels anderer Datengrundlagen an, dass sich die beurteilten Einzelgerüche in Bezug auf die menschliche Wahrnehmung additiv verhalten, kann man anhand der Geruchswerte (Quotienten aus gemessener Raumluftkonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] und der Geruchsschwelle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]) den Anteil der unterschiedlichen Substanzen am Geruch abschätzen. Ab einem Geruchsschwellenwert von 1 ist überhaupt von einem wahrnehmbaren Geruch auszugehen.

Tabelle 1: Raumlufkonzentrationen geruchsrelevanter Verbindungen und Geruchsschwellen

	Raumluf Flur-Küche	Raumluf Flur- Kinderzimmer	Geruchsschwelle	Geruchswert*
	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	
Naphthalin	0,23	0,252	7-79 ³	0,03
Phenol	9	9	427 ⁴	0,02
2,4,6-Trichloranisol	0,04	0,03	0,002⁵	17,50
Tetrachloranisole	0,95	0,86	0,1⁵	8,085
Pentachloranisol	0,16	0,16	200 ⁵	0,005
Styrol	0,5	0,5	160 ⁴	0,004
Chlornaphthaline	0,09	0,09	Einige µg/m ³ ⁶	0,02
Furfural	1,1	1,0	250 ⁴	0,004
Σ Indikator-MVOC	2,46	2,23	2 (Korrelation mit Schimmelpilzgeruch) ⁷	1,17
Phenol	9	9	427 ⁴	0,024
o-Kresol	0,06	0,07	2,8 ⁴	0,024
m/p-Kresol	0,16	0,15	1,3 bzw. 2,9 ⁴	0,12

fett: dargestellt Überschreitung der Geruchsschwelle

* Berücksichtigt wurden: durchschnittliche Raumlufkonzentration, niedrigste zitierte Geruchsschwelle, für die Angabe einige µg/m³ wurden 5 µg/m³ eingesetzt

Die Gegenüberstellung der Raumlufkonzentrationen mit den Geruchsschwellen zeigt, dass die Chloranisole mit einem Geruchswert von 25 im wesentlichen zur Geruchsbildung beitragen. Chloranisole verfügen über eine um mehrere Größenordnungen geringere Geruchsschwelle als die nachgewiesenen, von Schimmelpilzen ausgehenden mikrobiologisch verursachten MVOC, die deshalb in deutlich geringerem Ausmaß zu dem Geruch beitragen. Dies kommt in einem um den Faktor 20 niedrigeren Geruchswert von 1,2 zum Ausdruck und korrespondiert mit der unauffälligen Sporenkonzentration in der Raumluf als Ergebnis der ebenfalls durchgeführten mikrobiologischen Untersuchung auf kultivierbare und nicht kultivierbare Sporen, die ebenfalls nicht für eine intensive Beteiligung der Schimmelpilze spricht.

Die Raumlufkonzentrationen der übrigen für den Geruch in Betracht gezogenen Substanzgruppen liegen unter den in der Literatur angegebenen Geruchsschwellen, obwohl auch für die Gruppe der Phenole und Naphthaline sowie dem ungesättigten Aldehyd Furfural eindeutige Quellen in den Innenwänden ausgemacht werden konnten (s.u.).

³ M. Devos et. al. : Standardized Human Olfactory Thresholds, IRL Press at Oxford University-Press 1990

⁴ B. Jensen, P. Wolkoff.: Odor thresholds, mucoux menbrane irritation threshold and physico-chemicals parameters of volatile organic compounds, Datenbankversion 2.0, Dänemark 1996

⁵ M. Binder, H. Obenland und W. Maraun: Chloranisole als Verursacher von schimmelähnlichem Geruch in älteren Fertighäusern in Umwelt, Gebäude & Gesundheit, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe-Eldagsen 2004.

⁶ Pluschke: Luftschadstoffe in Innenräumen – Ein Lehrbuch, Springer 1996

⁷ Laußmann, D.; Eis, D.; Schleibinger, H.: Vergleich mykologischer und chemisch-analytischer Labormethoden zum Nachweis von Schimmelpilzbefällen in Innenräumen. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 47 (11) 1078 – 1094 (2004)

Quellen

Die Identifizierung der Quellen wird ermöglicht durch einen Vergleich der Ausgleichskonzentrationen in den verschiedenen in Frage kommenden Bauteilen. Im Folgenden sind dies insbesondere

- Außenwände
- Innenwände
- Dämmschichten unter Estrichen oder Bodenverlegeplatten

Tabelle 2: Übersicht über die Messergebnisse

	Luft aus Bodenaufbau				Luft aus Innenwand						Luft aus Außenwand			Raumluft			Bestimmungsgrenze
	Wohnzimmer	Flur	Küche	Schlafzimmer	Wohnz./ /Schlafz.	Bad/ Kinderzimmer	Bad unter Duschwanne	Küche/ WC	Küche/ Flur	Küche	Schlafzimmer	Kinderz.	Eingangflur	Flur Schlaftrakt	Durchschnitt		
	[µg/m ³]				[µg/m ³]						[µg/m ³]			[µg/m ³]			
Chloranisole																	
2,4,6-Trichloranisol	2,12	0,06	0,08	0,13	0,02	0,07	0,03	0,01	0,11	0,01	0,003	0,01	0,04	0,03	0,04	0,002	
2,3,4,6-Tetrachloranisol	22,60	1,58	1,06	9,17	0,26	1,07	2,12	0,15	2,32	0,28	0,07	0,13	0,95	0,86	0,91	0,002	
2,3,4,5-Tetrachloranisol	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,002	
2,3,4,5,6-Pentachloranisol	6,71	0,57	0,18	4,46	0,05	0,99	1,28	0,12	0,47	0,15	0,02	0,07	0,16	0,16	0,16	0,002	
Chloranisole	31,43	2,20	1,32	13,76	0,33	2,13	3,43	0,28	2,90	0,43	0,09	0,20	1,15	1,05	1,10		
Aromatische Verbindungen																	
Styrol	0,3	40,1	88,2	0,2	8,5	3,8	5,3	1,4	5,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5	0,100	
1,2,3,4-Tetrahydronaphthalin	0,16	0,06	0,14	0,02	10,60	7,03	0,08	3,30	3,21	0,25	0,07	0,22	0,05	0,05	0,05	0,010	
Naphthalin	2,70	0,09	0,15	0,22	10,50	7,04	0,20	4,31	4,85	1,04	0,29	0,66	0,23	0,25	0,24	0,010	
2-Methylnaphthalin	2,80	0,03	0,06	0,12	2,75	1,83	0,09	1,32	2,70	0,43	0,07	0,24	0,13	0,12	0,12	0,010	
1-Methylnaphthalin	2,11	0,04	0,07	0,09	2,25	1,77	0,07	1,17	2,29	0,26	0,05	0,14	0,09	0,09	0,09	0,010	
2-Chlornaphthalin	0,12	n.b.	n.b.	n.b.	0,07	0,04	n.b.	0,03	0,19	0,02	n.b.	0,02	n.b.	n.b.	n.b.	0,010	
1-Chlornaphthalin	1,64	0,02	0,01	0,09	1,29	0,84	0,06	0,66	2,36	0,24	0,03	0,15	0,06	0,06	0,06	0,010	
1,4-Dichlornaphthalin	0,45	n.b.	n.b.	0,07	0,11	0,04	0,04	0,07	0,88	0,06	n.b.	0,06	0,03	0,03	0,03	0,010	
untersuchter Aromaten	10,24	40,38	88,60	0,8	36,0	22,4	5,8	12,3	22,0	2,5	1,0	1,7	1,1	1,2	1,1		

Alkohole																
1-Pentanol	n.b.	n.b.	0,5	n.b.	13,5	4,2	0,5	2,2	4,8	0,3	n.b.	0,6	0,8	0,5	0,7	0,100
Benzylalkohol	n.b.	0,4	0,8	n.b.	n.b.	0,2	0,7	0,5	n.b.	0,1	n.b.	n.b.	1,5	1,6	1,5	0,100
2-Ethyl-1-Hexanol	0,4	3,7	7,8	0,3	2,1	7,1	1,4	3,5	2,0	1,1	0,3	0,7	3,5	3,2	3,3	0,100
Aldehyde																
Furfural	0,3	0,1	0,4	37,2	25,5	22,5	0,7	14,2	15,1	4,7	0,4	0,7	1,1	1,0	1,1	0,100
MVOC																
2-Methylfuran	0,26	0,91	1,18	0,13	0,51	0,46	0,20	0,21	0,41	0,07	0,26	0,09	0,18	0,15	0,16	0,020
Dimethylsulfid	0,49	0,27	0,79	0,43	2,13	0,60	0,21	0,40	0,77	0,09	n.b.	n.b.	1,10	0,95	1,02	0,050
1-Octen-3-ol	n.b.	n.b.	0,15	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
3-Octanon	0,19	n.b.	0,16	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
3-Methyl-1-butanol	n.b.	0,06	0,21	n.b.	0,08	n.b.	0,05	n.b.	0,78	n.b.	n.b.	n.b.	0,77	0,69	0,73	0,050
2-Pentanol	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
2-Hexanon	0,27	0,43	0,81	0,10	0,97	0,72	0,17	0,61	0,61	0,06	n.b.	0,17	0,16	0,16	0,16	0,050
2-Heptanon	0,40	0,29	0,77	n.b.	5,24	4,26	0,24	1,68	2,01	0,23	0,08	0,45	0,26	0,28	0,27	0,050
□ Indikator-MVOC	1,62	1,97	4,06	0,65	8,93	6,04	0,87	2,90	4,58	0,45	0,34	0,71	2,46	2,23	2,35	0,37
3-Methylfuran	0,06	0,27	0,26	0,04	0,11	0,10	0,05	0,05	0,09	0,02	0,07	0,04	0,06	0,05	0,06	0,020
2-Methyl-2-butanol	n.b.	0,54	0,49	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
3-Methyl-2-butanol	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
2-Methyl-1-butanol	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
Dimethyldisulfid	n.b.	n.b.	0,05	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,05	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
Dimethylsulfoxid	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
3-Octanol	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
2-n-Pentylfuran	1,03	2,57	3,79	0,24	4,65	3,12	0,18	0,91	1,31	0,18	0,03	0,16	0,30	0,31	0,31	0,020
trans-2-Octen-1-ol	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
Isopropylmethoxy-pyr- azin	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
1-Decanol	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,050
□ MVOC	2,71	5,34	8,65	0,94	13,69	9,26	1,10	3,86	6,03	0,65	0,44	0,91	2,83	2,60	2,71	0,000
Phenole und Kresole																
Phenol	3,6	22	1,5	0,8	0,4	1.720	8	1.230	782	308	31	157	9	9	9	0,05
o-Kresol	0,02	0,05	0,04	n.b.	3,56	7,22	0,05	6,77	2,70	0,97	0,11	0,50	0,06	0,07	0,06	0,020
m/p-Kresol	0,05	0,04	0,21	0,02	3,98	8,26	0,07	5,09	1,70	1,66	0,38	0,63	0,16	0,15	0,15	0,020
□ Phenole und Kresole	8	31	16	2	33	1.753	10	1.249	797	312	32	160	14	13	13,4	

n.b.: nicht bestimmbar (kleiner Bestimmungsgrenze)

Beantwortung der Fragestellung

Die Außenwände als typische Quellen der Chlorsanisole in älteren Fertighäusern sind im vorliegenden Fall weder an der Emission von Chloranisolen, noch von Schimmelpilzgerüchen (MVOC) beteiligt, weil die Konzentrationen dieser Geruchsstoffe in den Hohlräumen der Außenwände erheblich unter den Raumluftkonzentrationen liegen. Im vorliegenden Fall sind insbesondere die alten Fußbodenaufbauten aus Spanplatten auf Holzweichfaserplatten im Wohn- und Schlafzimmer und - wenn auch im geringeren Maße - ein Teil der Innenwände für den Chloranisoleintrag verantwortlich. Keinen oder einen wesentlich geringeren Beitrag zeigen die nachträglich auf eine Dämmung aus Polystyrol eingebauten Estriche.

Weitere Emittenten von Chloranisolen und im Gegensatz zu den Fußbodenhohlräumen auch von MVOC sind insbesondere die Innenwände, die in unmittelbarer Nähe des vermuteten Wasserschadens an den neu eingebrachten Estrichen liegen. Da für die Bildung beider Substanzgruppen Feuchtigkeit die Voraussetzung ist und diese im Bereich der Innenwände nur durch einen Feuchtigkeitsschaden hervorgerufen werden kann (Kondensation aus der Raumluft scheidet hier wegen des fehlenden oder zu geringen Temperaturgefälles aus), ist der muffige Geruch eindeutig auf einen Feuchtigkeitsschaden zurückzuführen, der mutmaßlich Auslöser für den Einbau der neuen Estriche war. Die Ergebnisse der mikrobiologischen Raumluftuntersuchungen zeigen dabei, dass die MVOC-Bildung in der Vergangenheit und nicht in der Gegenwart stattgefunden hat, weil gegenwärtig keine mikrobiologische Aktivität in der Raumluft nachzuweisen ist.

Weitere Schlussfolgerungen

- Die Methodik der vergleichenden Luftuntersuchungen aus Raumluft und Bauteilhohlräumen war im vorliegenden Fall geeignet, die Fragestellung nach den Quellen zu beantworten. Durch die kombinierte Messung von MVOC und Chloranisolen konnte zudem der Verdacht eines verschwiegenen Wasserschadens als verdeckten Mangel nachgewiesen werden.
- Das Ergebnis zeigt zudem, dass die von einigen Fertighaussanierern angebotene Geruchsaniehung allein über die Sanierung der Außenwände von außen (Sanierung innerhalb von ca. zwei Wochen, Bewohnbarkeit des Hauses während der Sanierung) ohne gründliche Bestandsaufnahme der Quellen keinen gesicherten Erfolg hat.
- Obwohl die Innenwände relevante Phenolquellen sind, wirkt sich dies nicht relevant auf die Raumluftqualität aus.
- Nachdem sowohl Chloranisole als auch MVOC für ihren Bildungsprozess Feuchtigkeit benötigen, ist es naheliegend, eine Korrelation zwischen den Konzentrationen beider Stoffgruppen zu prüfen. Hierbei stellt sich im vorliegenden Fall heraus, dass die Bildung der Chloranisole bei einem Bestimmtheitsmaß (R^2) für eine lineare Regression von zum Teil deutlich kleiner als 0,1 weder mit der Bildung der MVOC korreliert noch mit der Konzentration der übrigen nachgewiesenen Substanzen. Eine Korrelation ist auch nicht vorhanden, wenn man sich bei der Auswahl der Werte auf bestimmte Bauteile (Innenwände, Fußbodenaufbauten) beschränkt. Relevante Korrelationen findet man nur innerhalb einzelner Substanzgruppen. So besteht mit einem R^2 von 0,93 zwischen der Summe der Indikator-MVOC und der Summe der Gesamt-MVOC eine gute Korrelation. Deutlich schlechtere Korrelationen bestehen bei Streichung des Spitzenwertes mit einem R^2 von 0,60 zwischen Tri- und Tetrachloranisol und einem R^2 von 0,46 zwischen Tri- und Pentachloranisol.

Abb. 1: Korrelation zwischen MVOC und Chloranisolen

