

Chloranisole als Verursacher von schimmelähnlichem Geruch in älteren Fertighäusern

**Markus Binder, Herbert Obenland,
Wigbert Maraun**

Chloranisole sind Verbindungen, die bisher hauptsächlich als Verursacher des Korktons in Wein einer breiteren Öffentlichkeit bekannt wurden. Werden sie in die Luft freigesetzt, machen sie sich durch einen schimmelig-muffigen Geruch bemerkbar. Dieser spezifische Geruch hat dazu beigetragen, dass Chloranisole seit kurzem auch mit dem teilweise intensiven Eigengeruch von Fertighäusern älterer Bauart in Verbindung gebracht werden, der ebenfalls als schimmelig-muffig charakterisiert werden kann. Der typische "Fertighausgeruch" ist manchmal so penetrant, dass er an der Kleidung von Bewohnern oder Besuchern auch noch längere Zeit nach Verlassen des Gebäudes wahrnehmbar ist. Ein solch unangenehmer Geruch kann als Belastung empfunden werden und Unwohlsein auslösen, auch wenn eine toxikologisch basierte Gesundheitsgefährdung nicht gegeben ist. Durch die Ähnlichkeit dieses Geruchs zum typischen Schimmelpilzgeruch kann dazu eine Unsicherheit entstehen, ob nicht ein Schimmelpilzbefall des Gebäudes vorliegt. Durch Raumlufthanalysen lassen sich in erster Annäherung Fragen zu Identität und Intensität der Riechstoffe klären.

Zur sachgerechten Bewertung von Analyseergebnissen müssen Daten zum Vorkommen von Chloranisolen in der Raumlufte vorliegen. In dieser Studie wurden deshalb Raumlufteproben auf ihren Chloranisol-Gehalt hin analysiert und statistisch ausgewertet. Weiterhin wurde untersucht, ob in Fertighäusern Raumluftegehalte festgestellt werden können, die gegenüber Häusern anderer Bauart auffällig sind.

Strukturformel und Nomenklatur

Chloranisole bestehen aus einem Benzolring, an den eine Methoxy-Gruppe (-O-CH₃) gebunden ist, und ein bis fünf Chloratomen, die die Wasserstoffatome des Benzolrings ersetzen. Abbildung 1 zeigt beispielhaft das 2,4,6-Trichloranisole (TCA). Wichtige Chloranisole und ihre Abkürzungen sind im rechten Kasten aufgeführt.

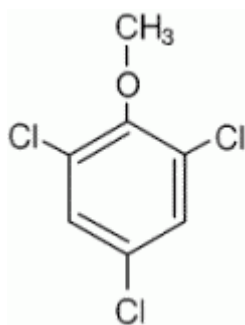


Abbildung 1. 2,4,6-Trichloranisole

Wichtige Chloranisole und ihre Abkürzungen

2,4,6-Trichloranisole	TCA
2,3,6-Trichloranisole	2,3,6-TCA
2,3,4-Trichloranisole	2,3,4-TCA
2,3,4,6-Tetrachloranisole	TeCA
2,3,4,5,6-Pentachloranisole	PCA

Stoffeigenschaften

In Reinsubstanz sind Chloranisole bei Raumtemperatur fest, der Schmelzpunkt von TCA liegt bei 60°C, der Siedepunkt bei 240°C (Merck 1996). Chloranisole sind zum Teil sehr geruchsintensive Verbindungen, die zunächst als Hauptverursacher des Korktons in Wein identifiziert wurden. In der Literatur konnten nur Daten zu Geruchsschwellen in Flüssigkeiten, aber keine für die Gasphase gefunden werden. Die Wahrnehmungsschwelle für Chloranisole ist stark vom Individuum abhängig (Amorim 2000) und kann durch Training etwa bis um den Faktor 100 gesenkt werden (Fischer und Fischer 1997). In Tabelle 1 sind einige Angaben zu Geruchsschwellen zusammengefasst.

Tabelle 1. Geruchsschwellen und Geruchsqualität von Chloranisolen in Flüssigkeit.

Verbindung	Konzentration (ng/L)	Geruchsqualität und -intensität	Literatur
TCA	0,006		Illy (2003)
Trichloranisole: (TCA; 2,3,6-TCA; 2,3,4-TCA)	0,1 - 2	schimmelig, muffig <i>ultra-intensiv</i>	Benanou (2003)
TeCA	Das 100-fache von TCA	Muffig <i>intensiv</i>	Fischer und Fischer (1997)
PCA	Das 100.000-fache von TCA	Muffig <i>mäßig intensiv</i>	Fischer und Fischer (1997)

Vorkommen und Innenraum-Quellen

Seit 20 Jahren ist TCA als bedeutender Verursacher des Korkgeschmacks in Weinen bekannt. In 70-80% aller Fälle von mit Korkton behaftetem Wein wurden Konzentrationen über der Geruchsschwelle gefunden (Amorim 2000). Chloranisole können auch in der Raumluft von Innenräumen nachgewiesen werden. Im Innenraum oder in Bauprodukten werden diese Stoffe nicht direkt eingesetzt. Sie können aber aus Verbindungen wie Phenolen, Chlorphenolen oder Chlorbenzolen in Verbindung mit mikrobieller Aktivität entstehen. Schimmelpilze der Gattung *Penicillium* und *Trichoderma* oder Bakterien sind daran oft maßgeblich beteiligt. Ein möglicher Reaktionsmechanismus ist dabei die Biomethylierung von Trichlorphenol. Der Abbau von Pentachlorphenol (PCP) durch eine *Pseudomonas*-Bakterienart wurde durch Watanabe (1973, nach Fiedler et al. 1996) beschrieben. Auch *Trichoderma*-Stämme sind bekannt, PCP abzubauen – insbesondere *Trichoderma virgatum* fördert die Methylierung von PCP zu Pentachloranisol. Andere Pilzarten können auch niedriger chlorierte Chlorphenole zu Chloranisolen methylieren (Fiedler et al. 1996).

Material und Methoden

Dem Schrifttum konnten bislang keine Geruchsschwellen für Chloranisole in der Gasphase entnommen werden. Deshalb wurden zunächst experimentell für die geruchsintensivsten Verbindungen TCA und TeCA die Geruchsschwellen in einer ersten Annäherung bestimmt. Dazu wurden einige Chloranisol-Kristalle auf eine Porzellanschale im Laborraum ausgelegt, bis im ganzen Raum ein deutlich schimmelig-muffiger Geruch wahrnehmbar war. Nach Entfernen der Quelle wurde die Raumluft beprobt, und die Beprobung wurde an den Folgetagen wiederholt. Als Geruchsschwelle wurde der Zeitpunkt

definiert, an dem vom Laborpersonal-Kollektiv (mindestens 2 Personen) ein Geruch gerade eben noch wahrgenommen wurde.

Zur Bestimmung der Verteilung der Chloranisole in der Raumluft wurde ein Gesamtkollektiv von $n = 44$ Raumluftproben auf Chloranisole untersucht. Die Raumluftproben stammen aus Privathaushalten und wurden dem laufenden Laboreingang entnommen. Die Zielstoffe wurden auf Polyurethanschaum (PUF) adsorbiert, mit Aceton desorbiert, aufkonzentriert, mittels SPE-Technik aufgereinigt, 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. Aufgrund der zu erwartenden geringen Raumluftkonzentrationen muss die Bestimmungsgrenze des analytischen Verfahrens sehr niedrig sein, um eine zuverlässige Detektion im Bereich der Geruchsschwellen zu gewährleisten. Mit dem von uns angewandten Verfahren wird eine Bestimmungsgrenze von $0,1 \text{ ng/m}^3$ realisiert.

Ergebnisse

Geruchsschwellen von TCA und TeCA

Die Bestimmung der Geruchsschwelle von TCA und TeCA in der Raumluft resultierte in einer Raumluft-Konzentration von etwa 2 ng/m^3 für TCA und etwa 100 ng/m^3 für TeCA. Der Endpunkt "Geruch gerade eben noch wahrnehmbar" wurde erst drei Tage nach Ausbringung der Quelle erreicht.

Untersuchung des Gesamtkollektivs

Für die in der Raumluft erfassten Chloranisole wurden Häufigkeitsverteilungen und weitere statistische Kenngrößen bestimmt. Bei der Analyse wurden TCA, TeCA und PCA gefunden, alle anderen Chloranisole waren oberhalb einer Bestimmungsgrenze von $0,1 \text{ ng/m}^3$ nicht nachweisbar. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Konzentrationen kleiner/gleich der Bestimmungsgrenze (BG) wurden mit der Hälfte der BG in die Statistik einbezogen. In Diagramm 1 sind die Größenklassen-Verteilungen der Verbindungen dargestellt.

Tabelle 2. Vorkommen von in der Raumluft nachweisbaren Chloranisolen. Gesamtkollektiv.

Bezeichnung	<i>n</i>	A	Spannweite	MW	Median	90.-Perz.
2,4,6-Trichloranisol	41	13 (32%)	0,05 - 25	1,4	0,05	3,2
2,3,4,6-Tetrachloranisol	41	36 (88%)	0,05 - 740	50	6,8	130
Pentachloranisol	44	44 (100%)	0,5 - 75	19	15	35

Konzentrationen in ng/m^3 . A - Anzahl der Proben, in der die Verbindung oberhalb der Bestimmungsgrenze von $0,1 \text{ ng/m}^3$ nachgewiesen werden konnte (Anteil am Kollektiv in Prozent); *n* - Anzahl der untersuchten Proben; MW - Mittelwert; 90.-Perz. - 90. Perzentil.

Größenklassenverteilung Chloranisole

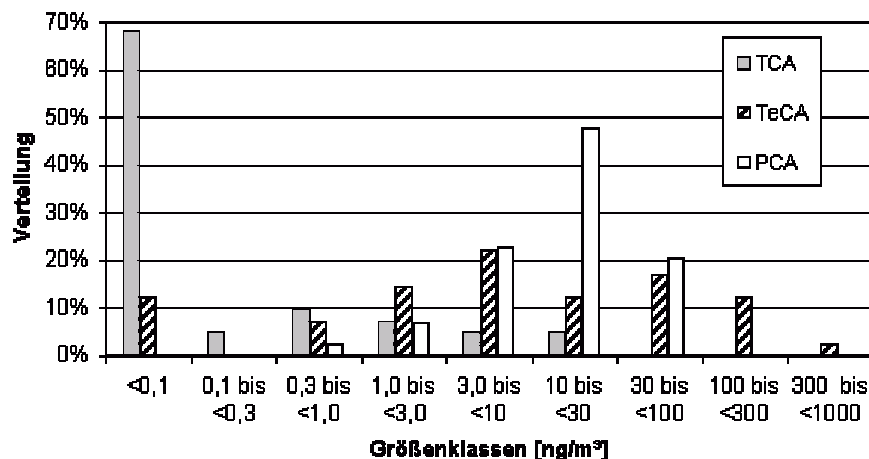


Diagramm 1. Größenklassenverteilung der Chloranisol-Konzentrationen in der Raumluft. Gesamtkollektiv. $n = 41$ (TCA, TeCA), $n = 44$ (PCA).

Untersuchung der Teilkollektive "Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser" und "Fertighäuser"

Chloranisole können mit verantwortlich für den muffigen Geruch in Fertighäusern sein. Um zu untersuchen, ob dieser Haustyp in Bezug auf Chloranisole auffällig ist, wurden die sieben in dem Gesamtkollektiv enthaltenen Fertighäuser gesondert betrachtet. Dazu wurde das Gesamtkollektiv in zwei Teilkollektive "Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser" und "Fertighäuser" aufgeteilt und beide Kollektive erneut statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 3 und 4 sowie den Diagrammen 2 bis 7 wiedergegeben.

Tabelle 3. Vorkommen von Chloranisolen in der Raumluft, Teilkollektiv "Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser".

Bezeichnung	n	A	Spannweite	MW	Median	90.-Perz.
2,4,6-Trichloranisol	34	7 (21%)	0,05 - 1,7	0,15	0,05	0,30
2,3,4,6-Tetrachloranisol	34	29 (85%)	0,05 - 190	23	4,1	91
Pentachloranisol	37	37 (100%)	1,6 - 69	17	14	34

Konzentrationen in ng/m^3 . A - Anzahl der Proben, in der die Verbindung oberhalb der Bestimmungsgrenze von $0,1 \text{ ng/m}^3$ nachgewiesen werden konnte (Anteil am Kollektiv in Prozent); n - Anzahl der untersuchten Proben; MW - Mittelwert; 90.-Perz. - 90. Perzentil.

Tabelle 4. Vorkommen von Chloranisolen in der Raumluft, Teilkollektiv "Fertighaus".

Bezeichnung	n	A	Spannweite	MW	Median	90.-Perz.
2,4,6-Trichloranisol	7	6 (86%)	0,05 - 25	7,3	3,4	n.b.
2,3,4,6-Tetrachloranisol	7	7 (100%)	8,8 - 740	180	70	n.b.
Pentachloranisol	7	7 (100%)	0,5 - 75	29	26	n.b.

Konzentrationen in ng/m^3 . A - Anzahl der Proben, in der die Verbindung oberhalb der Bestimmungsgrenze von $0,1 \text{ ng/m}^3$ nachgewiesen werden konnte (Anteil am Kollektiv in Prozent); n - Anzahl der untersuchten Proben; MW - Mittelwert; 90.-Perz. - 90. Perzentil. n.b. - nicht bestimmt wegen zu geringen Kollektiv-Umfangs

2,4,6-TCA - Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser

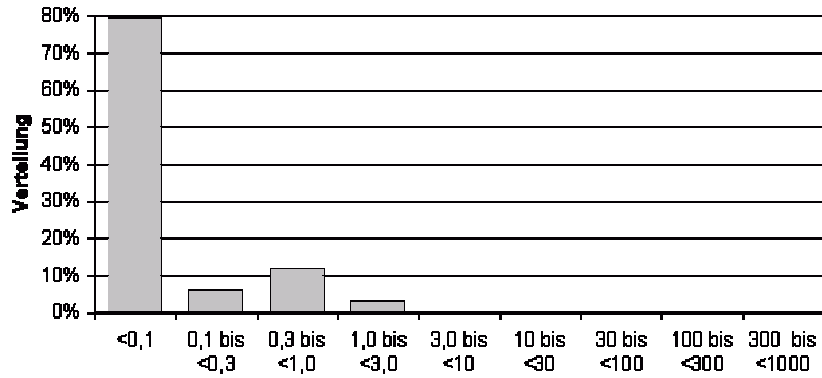


Diagramm 2. Größenklassenverteilung der Konzentrationen an TCA in der Raumluft, $n = 34$.

2,4,6-TCA - Kollektiv Fertighäuser

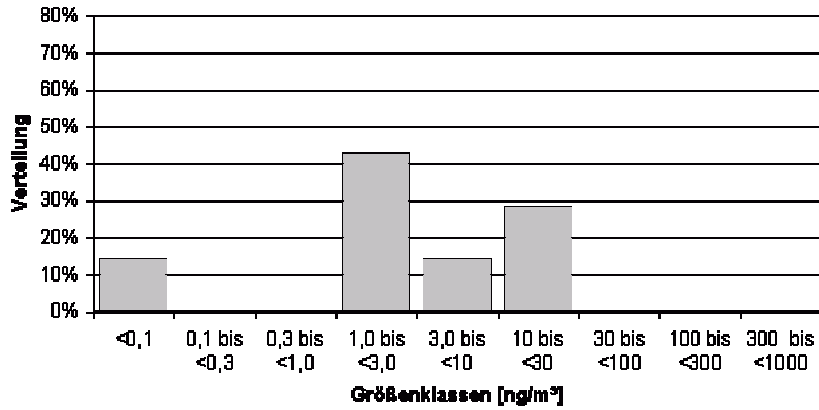


Diagramm 3. Größenklassenverteilung der Konzentrationen an TCA in der Raumluft, $n = 7$.

2,3,4,6-TeCA Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser

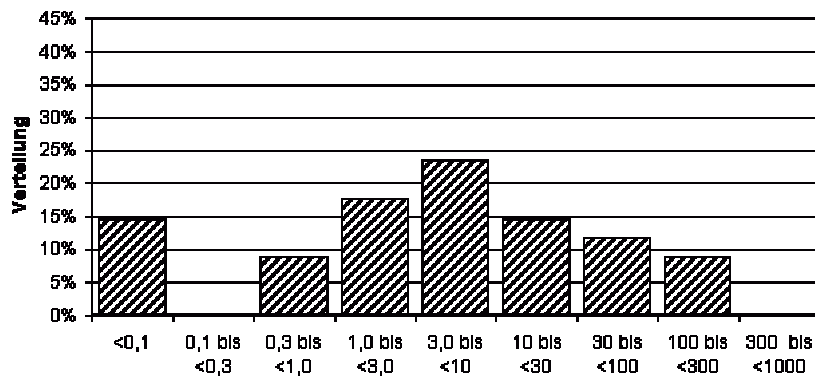


Diagramm 4. Größenklassenverteilung der Konzentrationen an TeCA in der Raumluft, $n = 34$.

2,3,4,6-TeCA Kollektiv Fertighäuser

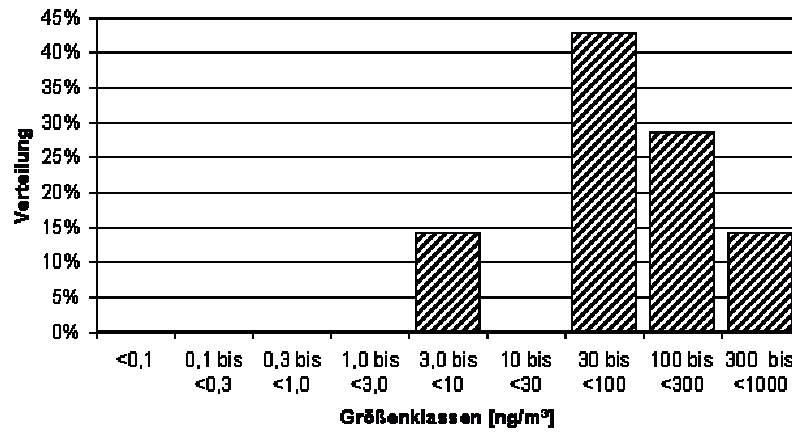


Diagramm 5. Größenklassenverteilung der Konzentrationen an TeCA in der Raumluft, $n = 7$.

PCA - Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser

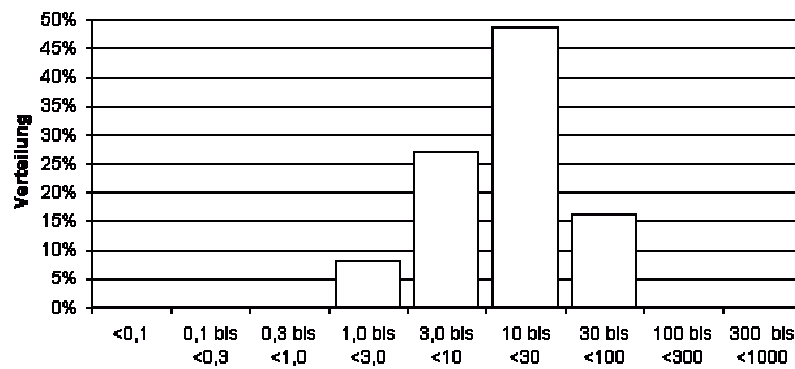


Diagramm 6. Größenklassenverteilung der Konzentrationen an PCA in der Raumluft, $n = 37$.

PCA - Kollektiv Fertighäuser

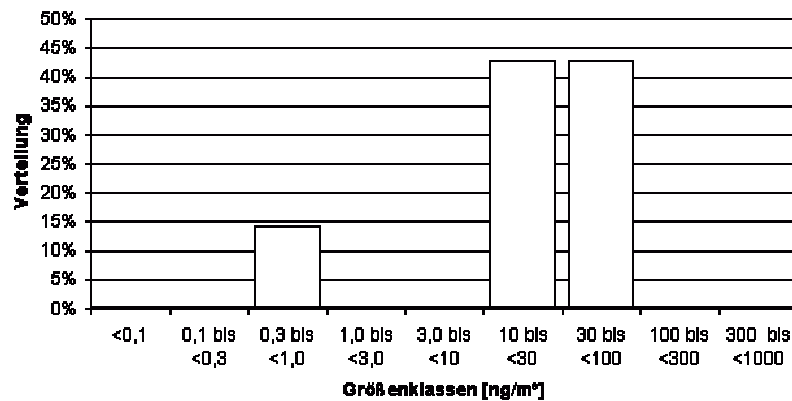


Diagramm 7. Größenklassenverteilung der Konzentrationen an PCA in der Raumluft, $n = 7$.

Diskussion

Bei der Betrachtung des Gesamtkollektivs fällt zunächst auf, dass die untersuchten Chloranisole TCA, TeCA und PCA stark unterschiedliche Konzentrationsniveaus aufweisen. Während die Konzentrationen von TeCA am höchsten waren und diese Verbindung in 88% aller Proben auftrat, konnte TCA in nur 32% aller Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden. PCA wurde in allen Proben gefunden und bewegte sich im Vergleich zu den beiden anderen Verbindungen in einem mittleren Konzentrationsbereich.

Die untersuchten Chloranisole treten in der Innenraumluft oft in einem Gemisch von zwei oder drei Verbindungen auf. Ob das Gemisch nun geruchlich wahrgenommen werden kann oder nicht hängt dabei von den Raumluftkonzentrationen der Einzelstoffe, deren Geruchsschwellen sowie dem Geruchswert (Erklärung siehe Kasten) des Gemisches ab. TCA besitzt nach unserer Bestimmung mit 2 ng/m^3 eine extrem niedrige Geruchsschwelle, die diese Verbindung als ultra-intensiv charakterisiert. Die Geruchsschwelle von TeCA ist nach unseren Ergebnissen mit ca. 100 ng/m^3 etwa 50-fach höher und befindet sich damit in relativ guter Übereinstimmung mit den Angaben von Fischer und Fischer (1997). TeCA wurde aber in unserer Studie wie bereits erwähnt in der höchsten durchschnittlichen Konzentration nachgewiesen, und auch das 90. Perzentil ist um etwa eine Größenordnung größer als die beiden anderen Verbindungen. Damit ist der Quotient aus Geruchsschwelle und angetroffener mittlerer Konzentration ähnlich hoch wie bei TCA. Deshalb tragen wahrscheinlich TCA und TeCA zu ähnlichen Anteilen zu dem üblen Geruchseindruck bei, den Chloranisole hinterlassen. Pentachloranisol kann in diesem Zusammenhang aufgrund seiner im Vergleich zu TCA 100.000-fach höheren Geruchsschwelle bei den ermittelten Konzentrationen vernachlässigt werden (Tabelle 1).

Zur Untersuchung möglicher Auffälligkeiten von Fertighäusern wurde das Gesamtkollektiv in zwei Teilkollektive "Fertighaus" und "Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser" aufgeteilt. Es zeigt sich, dass die Chloranisol-Verteilung in der Raumluft von Fertighäusern sich von Häusern anderer Bauart deutlich unterscheidet und hin zu höheren Werten verschoben ist. Nach Ausschluss der Fertighäuser aus dem Gesamtkollektiv liegen im "Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser" alle statistischen Kenngrößen niedriger, teilweise sogar deutlich. Das Ausmaß des Unterschiedes ist dabei von der Verbindung abhängig.

Bei TCA werden die Differenzen am deutlichsten: Im "Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser" liegen weniger als 5% der Messwerte über 1 ng/m^3 , die maximal gemessene Konzentration betrug $1,7 \text{ ng/m}^3$ (Tabelle 3) - TCA ist dort also kaum nachzuweisen (Diagramm 2). Im Kollektiv "Fertighäuser" wurden dagegen fast nur Konzentrationen ab 1 ng/m^3 gemessen (Diagramm 3), der Median liegt bei $3,4 \text{ ng/m}^3$, das Maximum bei 25 ng/m^3 (Tabelle 4). Damit liegt der Median um etwa anderthalb Größenordnungen höher. Die beiden Messwert-Verteilungen überschneiden sich so gut wie nicht.

Bei TeCA verhält es sich ähnlich, die Unterschiede sind jedoch weniger deutlich ausgeprägt: Im "Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser" liegt der Schwerpunkt der Messwert-Verteilung (Median $4,1 \text{ ng/m}^3$) wesentlich niedriger als beim Kollektiv "Fertighäuser" (Median 70 ng/m^3) (Diagramme 4 und 5, Tabellen 3 und 4), und ebenso verhält es sich mit den gemessenen Maximalkonzentrationen (190 bzw. 740 ng/m^3). Beide Verteilungen überschneiden sich jedoch in weiten Bereichen.

Lediglich bei PCA lässt sich kein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Teilkollektiven feststellen (Diagramme 6 und 7, Tabellen 3 und 4).

Einige der hier untersuchten Fertighäuser zeichneten sich durch einen mehr oder weniger deutlichen schimmelig-muffigen Eigengeruch aus. Wahrscheinlich haben in diesen Fällen die Chloranisole einen wichtigen Beitrag zum Gesamtgeruchseindruck geleistet oder waren sogar alleinige Ursache dafür.

In der Beratungspraxis hat sich bei dermaßen geruchsbelasteten Fertighäuser öfters die Frage gestellt, ob eine Sanierung möglich ist. Um den Sinn bzw. Umfang einer solchen Sanierung beurteilen zu können, wäre es hilfreich zu erfahren, welche Bauteile des Gebäudes hauptsächlich verantwortlich für die Abgabe von Chloranisolen sind. Eine Studie, in der diese Frage geklärt werden soll, ist beim ARGUK-Umweltlabor in Vorbereitung.

Geruchswert

Der Geruchswert eines Gemisches verschiedener Substanzen gibt an, ob die Mischung in der Raumluft geruchlich wahrgenommen werden kann. Bei einem Wert größer als 1 kann die Mischung gerochen werden, auch wenn Konzentrationen von Einzelverbindungen unterhalb der jeweiligen Geruchsschwelle liegen sollten. Berechnet wird der Geruchswert durch die Summierung der Quotienten aus vorhandener Raumluftkonzentration c_{RL} und Geruchsschwelle G (c_{RL}/G). Bei dieser Vorgehensweise wird angenommen, dass sich die beurteilten Einzelgerüche in Bezug auf die menschliche Wahrnehmung additiv verhalten. Für chemisch ähnliche Substanzen kann diese Annahme als gesichert gelten.

ARGUK-Orientierungswerte für Chloranisole in der Raumluft

Für die von uns untersuchten Verbindungen wurden Konzentrationen in der Raumluft bisher nicht veröffentlicht, Vergleiche sind daher nur eingeschränkt möglich. 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 Richtwert entspricht dem gerundeten 50-Perzentilwert einer statistischen Untersuchung unseres Labors von Raumluft-Proben. 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 Richtwert entspricht dem gerundeten 90-Perzentilwert einer statistischen Untersuchung unseres Labors von Raumluft-Proben. Er besagt, dass 90 Prozent der untersuchten Proben diesen Wert unterschritten haben bzw. dass nur 10 Prozent darüber lagen. Meßwerte über dem Richtwert können als auffällig eingestuft werden. Die Ursache des erhöhten Konzentrationsniveaus sollte festgestellt und möglichst durch geeignete Maßnahmen beseitigt werden.

Für die in Tabelle 5 aufgeführten ARGUK-Orientierungswerte wurde als Datengrundlage das "Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser" herangezogen, da die Fertighäuser teilweise deutlich aus dem Gesamtkollektiv herausragen. Das "Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser" repräsentiert damit besser die Innenraumsituation eines normalen Haushaltes.

Tabelle 5. ARGUK-Orientierungswerte für Chloranisole in der Raumluft.

Verbindung	ARGUK-Orientierungswert OW 1	ARGUK-Orientierungswert OW 2	Geruchsschwelle	Geruchswert*
TCA	0,05	0,30	2	0,15
TeCA	4,1	91	100	0,91
PCA	14	34	200.000	0,00017

Konzentrationen in (ng/m³). Datenbasis "Gesamtkollektiv ohne Fertighäuser" (n = 34; für Pentachloranisol gilt n = 37). *ARGUK-OW 2 / Geruchsschwelle

Die Betrachtung der ARGUK-OW 2 in Verbindung mit den Geruchsschwellen und den sich daraus ergebenden Geruchswerten zeigt, dass bei Einhaltung des ARGUK-OW 2 eine Geruchsbelastung, die durch Chloranisole verursacht wird, kaum noch ausgeschlossen werden kann. Zwar liegen die einzelnen Geruchswerte der dominierenden Verbindungen TCA und TeCA unter eins. Da TCA und TeCA jedoch oft zusammen auftreten, kann die Summe der Geruchswerte diesen Betrag überschreiten (1,06) - das Gemisch kann also geruchlich wahrgenommen werden. Um in der Praxis den Zusammenhang von Geruchsintensität und Chloranisol-Raumluftkonzentrationen zu erfassen, bedarf es jedoch noch weiter gehender Untersuchungen.

Zusammenfassung

Chloranisole sind geruchlich besonders auffällige Verbindungen, deren Eigengeruch als schimmelig-muffig beschrieben werden kann. Seit einiger Zeit werden diese Verbindungen im Zusammenhang mit dem intensiven Geruch von Fertighäusern diskutiert. In dieser Studie wurde das Vorkommen von Chloranisolen in der Raumluft von Privathaushalten untersucht und festgestellt, dass sich die Ergebnisse aus Fertighäusern von Häusern anderer Bauart deutlich unterscheiden. Die Chloranisol-Konzentrationen aus Fertighäusern waren auffällig erhöht. Einige dieser Häuser wiesen einen teilweise deutlichen schimmelig-muffigen Eigengeruch auf. Wahrscheinlich haben in diesen Fällen die Chloranisole zum Geruchseindruck beigetragen oder waren alleinige Verursacher. Der Geruchseindruck von Chloranisolen wird dabei durch TCA und TeCA bestimmt. Zur Verminderung der Geruchsbelastung betroffener Fertighäuser sollten die hauptsächlichen Geruchsquellen identifiziert werden, um über Sanierungsmöglichkeiten entscheiden zu können.

Literatur

Amorim (2000) A background to TCA its sources, formation and prevention. Amorim Cork Australia Pty Ltd. <http://www.amorimcork.com.au/2000background.htm>, zuletzt besucht 18.09.2003

Benanou D et al. (2003) Applikation Twister. Gerstel Aktuell 30 / März 2003 (ISSN 1618-5900), S. 11

Fiedler H, Hilpert M, Hub M, Hutzinger O (1996) Stoffbericht Pentachlorphenol (PCP). Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung 25/96, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

Fischer C, Fischer U (1997) Analysis of cork taint in wine and cork material at olfactory subthreshold levels by solid phase microextraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(6):1995-1997

Illy E (2003) Von der Bohne zum Espresso. *Spektrum der Wissenschaft*, Mai 2003: 82-87

Merck (1996) *The Merck Index - Twelfth Edition*. Budavari S, O'Neil MJ, Smith A, Heckelmann PE, Kinneary JF (Hrsg.). Merck Research Laboratories, Whitehouse Station, NJ

Watanabe I (1973) Isolation of pentachlorophenol decomposing bacteria from soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 19:109-116