

# **GERÜCHE IN INNENRÄUMEN – STOFFWECHSELPRODUKTE VON SCHIMMELPILZEN AM BEISPIEL DES BARACKENGERUCHS**

**Dipl. Ing. Martina Clemens-Ströwer**  
**Öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige für Schimmelpilze, Gerüche u.a. Innenraumschadstoffe**  
**Berwicker Str. 28**  
**59514 Welper**

- 1. Riechen und Geruchswahrnehmung**
- 2. Gerüche durch Schimmelpilze**
- 3. weitere Geruchsursachen für den „Barackengeruch“**
- 4. Sanierungsmöglichkeiten**

## Abstract:

# Gerüche in Innenräumen – Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen am Beispiel des Barackengeruchs

Die Bedeutung von Innenraumschadstoffen und Schimmelpilzen auf die Gesundheit des Menschen wird seit vielen Jahren intensiv diskutiert. Der Bedeutung von Gerüchen wird allerdings erst seit kurzem bei der Bewertung von Innenräumen und der Beurteilung von Baustoffen gewürdigt. So wurde in 2012 eine neue VDI 4302 Blatt 2 als Entwurf für die Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien veröffentlicht.

Gerüche, die uns umgeben, spielen eine wesentliche Rolle für unser Wohlbefinden. Die Geruchswahrnehmung ist individuell unterschiedlich; so haben Frauen im Durchschnitt ein intensiveres Geruchsempfinden als Männer, junge Menschen riechen besser als alte Menschen und Nichtraucher können besser riechen als Raucher. Ob Gerüche als angenehm oder unangenehm empfunden werden, ist oftmals mit individuellen Erfahrungen gekoppelt. Die Geruchswahrnehmung kann trainiert werden, und es gibt Tests für das individuelle Geruchsempfinden.

Schimmelpilze in Innenräumen können zu muffig-modrigen Gerüchen führen. In Verbindung mit Leichtbauweisen kann es durch Undichtigkeiten in der Winddichtigkeitsebene zur Bildung von Tauwasser kommen und infolge zum Wachstum von Schimmelpilzen. Schimmelpilze sondern charakteristische flüchtige organische Verbindungen (MVOC) ab. Liegt kein muffig-modriger Geruch in diesen Bauweisen vor, bedeutet dies nicht zwangsläufig, dass kein Schimmelpilzwachstum vorhanden ist.

Bei dem sogenannten Barackengeruch können auch andere Geruchsursachen hinzukommen; hier sind vor allem die Chloranisole zu nennen, die sich aus den ursprünglich eingebrachten Chlorphenolen (Holzschutzmittel wie Pentachlorphenol (PCP) und Tetrachlorphenol) unter der Mitwirkung von Schimmelpilzen und Bakterien bilden.

Beste Aussichten auf einen Sanierungserfolg bestehen in der Entfernung der Materialien, in denen sich die Gerüche entwickelt haben, als auch der Materialien, die den Geruch aufgenommen haben. Absperrmaßnahmen oder gar „Neutralisierung“ von Gerüchen haben in der Regel wenig bis gar keine Aussicht auf Erfolg.

# 1. Riechen und Geruchswahrnehmung

Die Wahrnehmung von Gerüchen findet in der Nase und im Gehirn statt. In den beiden Nasenhöhlen, in die die Duftstoffe mittels der Atemluft über die Nasenlöcher gelangen, befindet sich im oberen Teil die Riechschleimhaut mit mehreren Millionen Riechsinneszellen. Am unteren Ende der Riechzellen befinden sich viele dünne Riechhäarchen (Zilien), die von Schleim umhüllt sind.

Jede Riechzelle trägt zahlreiche Geruchsrezeptoren. Diese Rezeptoren bestehen aus Proteinen und können je nach Art bestimmte Moleküle an sich binden. Riechzellen wachsen nach und regenerieren sich alle 4-6 Wochen. Beim Menschen gibt es etwa 350 verschiedene Geruchsrezeptoren und damit auch 350 verschiedene Riechzelltypen. Da Düfte aus vielen verschiedenen Duftkomponenten bestehen (z.B. Rosenduft besteht aus ca. 500 verschiedenen Duftbestandteilen), müssen demnach viele Riechzellen, die unterschiedliche Duftrezeptoren tragen, zusammenarbeiten. Dies funktioniert ähnlich dem Alphabet, dass zwar nur aus 26 Buchstaben besteht, mit dem aber sehr viele Worte und beliebig viele Sätze gebildet werden können. Direkt über der Riechregion der Nasenhöhle liegt das Siebbein, eine Knochenplatte, die die Nase vom Gehirn trennt. Durch die Löcher im Siebbein ziehen die Riechnervenfasern in den Riechkolben (Bulbus olfactorius), der direkt oberhalb der Nasenwurzel liegt. Von dort werden Signale weiter ans Riechzentrum im Gehirn weitergeleitet. Kein anderer Sinn ist so direkt mit dem Gehirn verbunden wie der Riechsinn.

Der Mensch hat im Vergleich zum Hunde wenige verschiedene Riechzelltypen, daher ist der Geruchssinn des Menschen sehr beschränkt. Er kann ca. 10000 verschiedene Duftnoten unterscheiden. Ein Hund beispielsweise hat wesentlich mehr verschiedene Riechzelltypen und auch eine größere Riechschleimhaut. Hunde verfügen je nach Rasse über 125 - 220 Millionen Riechzellen, der Mensch hingegen nur über ca. 20 Millionen. Je nach Länge der Hundeschnauze erreicht diese Riechschleimhaut eine Größe von 85 bis 200 cm<sup>2</sup>, während es beim Menschen nur ca. 5 cm<sup>2</sup> sind. Das Tier mit dem besten Geruchssinn ist der Bär.

Zusätzlich ist beim Riechvorgang der Trigeminusnerv beteiligt, der zur Wahrnehmung der Komponenten kühl, frisch, stechend, brennend, warm und prickelnd führt. Menschen mit einer Anosmie (Fehlende Empfindlichkeit gegen Geruchsreize) können mit Hilfe des Trigeminusnerves extreme Gerüche, die ein Brennen oder Stechen verursachen, noch wahrnehmen.

Wie gut und wie schlecht ein Mensch riechen kann ist individuell unterschiedlich. Wissenschaftliche Untersuchungen kommen zu folgenden Verallgemeinerungen: So ist das Riechvermögen abhängig vom Geschlecht; Frauen riechen besser als Männer. Das Riechvermögen lässt mit dem Alter ab ca. 50-60 Jahren nach. Ab 70 Jahren kann jeder 3. Mensch nicht mehr riechen. Das Riechvermögen wird durch Rauchen sehr stark beeinträchtigt, und bleibt auch noch viele Jahre nach dem Rauchen auf einem deutlichen niedrigeren Niveau als bei Nichtrauchern. Die Bewertung von Düften ist bis auf wenige Ausnahmedüfte nicht gene

tisch festgelegt, sondern anerzogen oder durch den Kulturkreis und persönliche Erfahrungen geprägt. Riechen ist erlernbar und kann trainiert werden.

Geruchsstoffe sind chemische Verbindungen, die flüchtig sind, um in die Nase zu gelangen. Sie müssen sowohl leicht wasserlöslich sein, um das wässrige Milieu der Nasenschleimhaut zu durchdringen und zusätzlich ausreichend fettlöslich, um in die Membranen der Riechzellen einzudringen. Sehr viele Geruchsstoffe sind organische Verbindungen, z.B. aliphatische, halogenierte oder aromatische Kohlenwasserstoffe sowie sauerstoff-, schwefel- und stickstoffhaltige Verbindungen. Gerüche setzen sich fast immer aus einer Vielzahl von Einzelkomponenten zusammen, die quantitativ und qualitativ häufig nicht eindeutig chemisch-analytisch identifizierbar sind. Außerdem können sich einzelne Komponenten überlagern oder gegenseitig beeinflussen, so dass die Geruchswirkung aufgehoben oder verstärkt wird. Da die Freisetzung von Geruchsstoffen stark von dem Dampfdruck abhängt, haben auch Temperaturen einen entscheidenden Einfluss auf die Freisetzung. Bei niedrigen Temperaturen um null Grad sind Gerüche deutlich schwächer wahrnehmbar als bei Temperaturen über 20°C. Auch die Luftfeuchtigkeit spielt eine Rolle bei Gerüchen. So werden Schimmelpilzgerüche oftmals erst bei entsprechend hohe Luftfeuchtigkeiten wahrgenommen, während sie in trockenem Milieu nicht zur Geruchsentwicklung führen,

Da Geruchsreize als Signal für erhöhte Aufmerksamkeit wirken, rufen Gerüche eine physiologische Reaktion hervor. Sie aktivieren den Organismus und rufen z.B. Stressreaktionen hervor, die den Körper auf Kampf oder Flucht vorbereiten, wie Pupillenerweiterungen oder Verengung der peripheren Blutgefäße. In erster Linie können Gerüche jedoch als Belästigungen empfunden werden, also psychologische Wirkungen haben. Generell wirkt ein schwacher, eher angenehmer Geruch viel weniger belästigend als ein starker unangenehmer Geruch. Dabei können persönliche Merkmale wie Lebensalter, Gesundheitszufriedenheit oder Stressverarbeitungsstile die Belästigungsreaktionen erheblich dämpfen oder verstärken. Häufig ruft eine Geruchswahrnehmung toxikologisch nicht begründete Ängste vor einer Schadstoffbelastung hervor. Werden Gerüche als bedrohliche Signale aufgefasst, können sie Sorge, Angst oder Aggression auslösen. Dann kann eine ernst zu nehmende Gesundheitsgefährdung entstehen. Bei den sog. **Toxikopien** entwickeln die Patienten Krankheitsbilder oder pathologische Symptome, die für eine Vergiftung typisch sind, ohne dass der entsprechende Giftstoff vorhanden ist. Die Patienten interpretieren Gerüche als Anzeichen einer drohenden Vergiftung und reagieren darauf. Insofern können Gerüche tatsächlich gesundheitsbeeinträchtigende Wirkung haben ohne toxisch zu sein.

Personen, die Geruchsprüfungen durchführen, müssen über die notwendigen Qualifikationen für sensorische Prüfungen und eine spezielle Schulung verfügen. Die erforderlichen sensorischen Fähigkeiten lassen sich mit Hilfe sensorischer Prüfungen feststellen; dazu werden sogenannte Sniffin` Sticks eingesetzt, die üblicherweise im medizinischen Bereich Verwendung finden. Der Test umfasst 3 Geruchsbereiche:

1. Feststellung des persönliche Geruchsschwellenwerts anhand einer n-Butanol-Verdünnungsreihe (Schwellenwert)
2. Unterscheidung ähnlicher Gerüche (Diskrimination)
3. Identifizierung verschiedener Gerüche (Identifizierung)

Mit den drei Testergebnissen (Schwellenwert, Diskrimination, Identifikation = SDI). wird in der Summe ein SDI- Wert ermittelt. Die Erfüllung der Qualifikationen dient der Standardisierung in Hinblick auf Geruchserkennung und Geruchsempfindlichkeit. Geruchsprüfer müssen mindestens einen SDI-Wert von 30 Punkten erreichen, wobei der Schwellenwerttest mit mindestens 7 Punkten und der Diskriminationstest sowie der Identifikationstest mit mindestens 10 Punkten bestanden werden muss. Damit ist gemäß dem eingesetzten Testverfahren gewährleistet, dass der Prüfling zumindest über ein durchschnittliches Riechvermögen verfügt.

Gerüche werden mittels der Kriterien **Intensität** (Stärke der Geruchsempfindung, die durch einen Geruchsreiz ausgelöst wird), **Hedonik** (Bewertung eines Geruchseindrucks von „äußerst angenehm“ über „neutral“ bis „äußerst unangenehm“), der **Akzeptanz** des Geruches (Maß für die Zufriedenheit der Prüfpersonen mit einem bestimmten Umgebungszustand in einem Innenraum und weiterer Begleitumstände) sowie der **Geruchsqualität** (Beschreibung des Geruchs) beschrieben.

## 2. Geruchsentwicklung durch Schimmelpilze

Schimmelpilze spielen bei Abbau- und Zersetzungsprozessen von organischem Material (dazu zählen u.a. Holz, Spanplatten, Papier, Pappe, Gipskarton, Tapeten und Tapetenkleister, Kunststoffe, Teppichböden und Leder) eine entscheidende Rolle im natürlichen Kohlenstoffkreislauf. Während dieser Zersetzungs Vorgänge und auch während ihrer Wachstumsphasen können Schimmelpilze eine Vielzahl von flüchtigen organischen Verbindungen bilden. Für diese Verbindungen wurde der Begriff MVOC (microbial volatile organic compounds) geprägt. MVOC sind z.T. geruchlich wahrnehmbar und werden meist mit erdig, muffig-modrig umschrieben. Es kommt nicht selten vor, dass zunächst Geruchsentwicklungen in Innenräumen bemerkt werden, bevor Schimmelpilze auf Baumaterialien erkannt werden. MVOC werden als Indikatoren für einen verdeckten Schimmelpilzbefall betrachtet und können analytisch in der Raumluft nachgewiesen werden. Chemisch gesehen können die MVOC verschiedenen Stoffklassen zugeordnet werden, u.a. zu Alkoholen, Aldehyden, Ketonen, Aromaten, Terpenen, Estern, Ethern und schwefelhaltigen Verbindungen.

Bezüglich der gesundheitlichen Relevanz von MVOC liegen zwar nur wenige Informationen vor, dennoch werden die MVOC als mögliche Ursache unspezifischer Beschwerden wie Kopfschmerzen, Übelkeit, Konzentrationsschwäche als auch als Auslöser von Schleimhautreizungen der oberen Atemwege und der Augen angesehen. Zudem kann eine starke oder lang anhaltende Geruchsbelästigung mit psychosomatischen Störungen einhergehen.

Die MVOC-Substanzen werden zur Bewertung von MVOC-Proben aus Innenräumen in Haupt- und Nebenindikatoren eingeteilt. Diese Zuordnung wird seit einigen Jahren kontrovers diskutiert. Verschiedene Studien legen unterschiedliche Einordnungen in Haupt- und Nebenindikatoren vor.

Keller	Innenraumkommission	Lorenz
Dimethylsulfid	Dimethyldisulfid	Dimethyldisulfid
Dimethyldisulfid	3-Methylfuran	3-Methylfuran
DMSO	1-Okten-3-ol	1-Okten-3-ol
2-Methylfuran	3-Oktanon	
3-Methylfuran		
1-Okten-3-ol		
2-Pentanol		
3-Oktanon		
2-Methylisoborneol		

Tabelle 1: MVOC-Hauptindikatoren aus Simone Schenke, Uni Gießen 2009

Zudem werden in der Fachwelt weitere Entstehungsprozesse für MVOC in Innenräumen diskutiert, so dass eine auffällige Konzentration nicht immer einem mikrobiellen Zersetzungsprozess zuzuordnen ist. So wird 1-Okten-3-ol auch durch Minze, Oregano, Thymian, Lavendel, Melisse und Seefisch, 3-Methylfuran auch durch Zigarettenrauch, Dimethyldisulfid durch Kohlrabi, Zwiebeln, Knoblauch, Kartoffeln und Porree und 3-Oktanon durch Minze, Oregano, Thymian und Lavendel freigesetzt.

MVOC	Geruchsnote
2-Methyl-1-propanol	Süß, weinartig, muffig
Dimethylsulfid	Verfault, faulig
1-Okten-3-ol	Pilzig, herb
Geosmin	Erdig
3-Oktanon	Fruchtig, würzig

Tabelle 2: MVOC und deren Geruchsnoten aus Simone Schenke, Uni Gießen 2009

Durch diverse Tätigkeiten kommt es daher zur Freisetzung von MVOC in die Innenraumluft, auch ohne das Vorliegen eines mikrobiellen Befalls. Keller et al. hat in einer Studie in 2007 gezeigt, bei der in 410 Wohnung MVOC-Messungen in verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt wurden, dass Hintergrundwerte von 440- 530 ng/m<sup>3</sup> üblich sind, ohne dass ein mikrobieller Befall vorliegt. Ein verdeckter Befall mit Schimmelpilzen ist erst oberhalb dieser Konzentrationen ab einer Höhe von ca. 600-800ng/m<sup>3</sup> als wahrscheinlich anzusehen.

### 3. Weitere Geruchsursachen für den „Barackengeruch“

#### Chloranisole

Neben den MVOC kommt es in älteren Fertighäusern oder Pavillons durch Chloranisole zu erheblichen Geruchsbelastungen, die so extrem stark sein können, dass nach einem nur 2-Stündigen Aufenthalt in einem solchen Gebäude sämtliche Kleidungsstücke sowie Haare und Haut den Chloranisolgeruch aufgenommen haben. Die Geruchsschwelle dieser Chloranisole liegt bei nur wenigen  $\text{ng/m}^3$ . Analytisch lassen sich die Chloranisole gut nachweisen. Ein solcher unangenehmer Geruch kann von den Bewohnern als Belastung empfunden werden und löst oftmals eine innere Abwehrhaltung hervor, aus der bei anhaltender Exposition ernst zu nehmende Symptome wie z.B. Kopfschmerzen, Augenreizungen oder Übelkeit erwachsen, auch wenn eine toxikologisch basierte Gesundheitsgefährdung nicht gegeben ist. Durch anhaftende Gerüche in Kleidungsstücken kann es mitunter auch zur sozialen Ausgrenzung der Betroffenen kommen.

Bei Chloranisolen handelt es sich um Metaboliten beim Abbau von Pentachlorphenol (PCP) bzw. Tetrachlorphenol (TCP). Schimmelpilze der Gattungen *Penicillium* und *Trichoderma* oder Bakterien sind maßgeblich beteiligt.

Voraussetzung für eine Geruchsbelastung ist der Transport von PCP und anderen Phenolen (beides sind mittelflüchtige Verbindungen) über die Gasphase in andere Materialien in Verbindung mit dem Vorhandensein von Feuchtigkeit. Die höchsten Konzentrationen an Geruchsstoffen treten demzufolge in den Außenwänden der Holzständerbauten auf, insbesondere in den nach Norden, Nordwesten und Westen ausgerichteten Räumen. In Einzelfällen können jedoch auch überwiegend die Fußböden oder Innenwände betroffen sein, wenn beispielsweise Wasserschäden an Leitungen im Hausinnern vorlagen und zur Durchfeuchtung der Fußbodenkonstruktion führten. Chloranisole bilden sich vor allen in den Materialien, die durch Chlorphenole (also Holzschutzmittel) nur sekundär kontaminiert sind, d.h. in Materialien, in die selbst keine Holzschutzmittel eingebracht wurden. Daher sind von der Geruchsproblematik vornehmlich die Mineralwolle, Spanplatten, Gipskartonplatten und Folien betroffen, nicht aber unbedingt das mit Holzschutzmitteln behandelte Holzständerwerk des Gebäudes. In den Innenraum gelangen die Geruchsstoffe im Wesentlichen über Undichtigkeiten der Gefache zum Innenraum.

#### Chlornaphthaline

Weitere Problemsubstanzen in solchen Leichtbauweisen stellen die Chlornaphthaline dar. Chlornaphthaline waren u.a. Bestandteile des Holzschutzmittels Basileum SP 70. Chlornaphthaline sind als Vorläufer des Pentachlorphenols verwendet worden. Sie wurden fast ausschließlich im gewerblichen Bereich zur Herstellung von Holzwerkstoffen im Leimzuzmischverfahren mit Phenol-Formaldehyd-Harzen als Leim- bzw. Kleberkomponenten ein-

gesetzt, wobei hauptsächlich feuchtebeständige Bauspanplatten hergestellt wurden. Chlornaphthaline können als Gase in die Raumluft ausgasen und führen dort zu Geruchsbelastungen, wobei unter dem Einfluss von Feuchtigkeit erhebliche Mengen an Chlornaphthalinen freigesetzt werden. Die Konzentrationen bei Feuchteschäden liegen etwa 5 - 10-fach höher als in vergleichbaren trockenen, ordnungsgemäß hinterlüfteten Räumen. Erhöhte Raumluftbelastungen können auch dann auftreten, wenn die Chlornaphthalinquellen unter mehrschichtigen Bodenaufbauten liegen und keine offenen Oberflächen aufweisen. Dies lässt sich mit der hohen Flüchtigkeit der Mono- und Dichlornaphthaline erklären.

Eine Chlornaphthalin-Raumluftbelastung führt zu Geruchsbelästigungen mit einem muffig-süßlichen dem Naphthalin vergleichbaren Geruch. Die durch Chlornaphthaline hervorgerufenen Gerüche können zu Sekundärkontaminationen führen, d.h. aus Materialien mit extrem hoher Konzentration gasen Chlornaphthaline aus und absorbieren an anderen Baumaterialien. Chlornaphthaline können zu Schleimhautreizung und Kopfschmerzen führen. Beschrieben werden Reizwirkungen der Augen- und Nasenschleimhäute, Benommenheits- und Taubheitsgefühle.

### **Tiere**

Nicht selten können auch Tiere und deren Hinterlassenschaften zu einer Geruchsentwicklung in Innenräumen führen. Da in Fertighäusern oder Pavillons sehr viele Hohlräume vorhanden sind, haben Tiere gute Möglichkeiten sich dort einzunisten.

## **4. Sanierungsmöglichkeiten**

Zur Entwicklung eines Sanierungskonzeptes von Geruchsproblemen in Fertighäusern oder Pavillons ist es erforderlich, die Ursache der Geruchsentwicklungen zu kennen und die Bauteile zu identifizieren, von denen die Geruchsbildung ausgeht. Erst nach Kenntnis dieser Fragen lässt sich ein Sanierungskonzept erstellen. Im Vordergrund einer nachhaltigen Sanierung sollte das Entfernen der Quellen stehen. Das Einbringen von dampfdiffusionsdichten Sperrschichten mit sd-Werten von über 1500 m kann nur als Kompromiß betrachtet werden, da die Geruchsausbreitung über Hohlräume und Undichtigkeiten in der Gebäudehülle oftmals nicht abschätzbar ist.



**Literatur:**

AGÖF-Leitfaden: Gerüche in Innenräumen – sensorische Bestimmung und Bewertung.  
27.10.2011

Bayrisches Landesamt für Umwelt:: Gerüche und Geruchsbelästigungen,  
[http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw\\_23\\_geruchsbelastigungen.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_23_geruchsbelastigungen.pdf)

Bothmer: Anosmie, Auf der Suche nach dem verlorenen Duft , Gehirn & Geist 5/2005

Hatt, Hanns, Dee, Regine: Das Maiglöckchen-Phänomen – Alles über das Riechen und wie es unser Leben bestimmt. Piper 2008

Prof. Dr. Hanns Hatt: Vortrag im Rahmen des VDB-Seminars „Gerüche“ in 2009 in Fulda

Keller, Senkpiel, Butte: Schimmelpilze und deren Sekundärmetaboliten (MVOC) in Luftproben unbelasteter Wohnungen; in Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 3/2007

KRdL Expertenforum: Gerüche in Innenräumen – diverse Vorträge. 25.11.2010

Schenke 2009: Erfassung und Bewertung von mikrobiellen volatilen Substanzen (MVOC) in Schimmelpilzfreien Innenräumen im Rahmen der Gießener Innenraumallergenstudie – Inauguraldissertation

VDI 4302 Blatt 2 Entwurf: Geruchsprüfungen von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien – Prüfstrategie für Geruchsprüfungen von Innenraumluft . Mai 2012

VDI-Wissensforum: Vortrag von Dr. Lothar Grün zum Thema Gerüche in Innenräumen im Dezember 2011 in Düsseldorf

**Stichworte:** Chloranisole, Chlornaphthaline, Gerüche, Geruchsbewertung, Riechen, MVOC, Hauptindikatoren, Sanierung, Schimmelpilze