

Online-Forum Innenraumschadstoffe und Gerüche fachgerecht bewerten und sanieren, Teil 3: Zunehmende Geruchsbelastungen in Gebäuden

Dr. rer. nat. Andrea Burdack-
Freitag



Agenda

Grundlagen der
Geruchswahrnehmung

Geruch = Schadstoff?

Sensorische
Messmethoden und
Normen

Vor-Ort-Begehung und
Praxisbeispiele



The background of the slide is a close-up photograph of several stacked cork rings. The rings are made of natural cork, showing a light tan color with a distinct, concentric ring pattern. They are arranged in a slightly overlapping manner, creating a textured, circular pattern across the entire slide.

Grundlagen der Geruchswahrnehmung

Wie riechen wir?

- Olfaktorisches System: Riechzellen in der Nase detektieren Duftstoffe
- Hohe Sensitivität gegenüber flüchtigen organischen Verbindungen (VOC)
- Geruchswahrnehmung beeinflusst durch Geruchsintensität, Geruchsstoffzusammensetzung, aber auch Kontext (z.B. visuelle Eindrücke)
- Subjektive Variabilität durch Gewöhnung, Erfahrung, Erwartung, Prägung

Schlüssel-Schloss-Prinzip

Aufbau der Nase

- Drei Schleimhaut-Ebenen: Riechepithel, Riech- und Stützzellen, Basalzellen; Basalzellen erneuern Riech- und Stützzellen alle 4 Wochen.

Riechrezeptoren

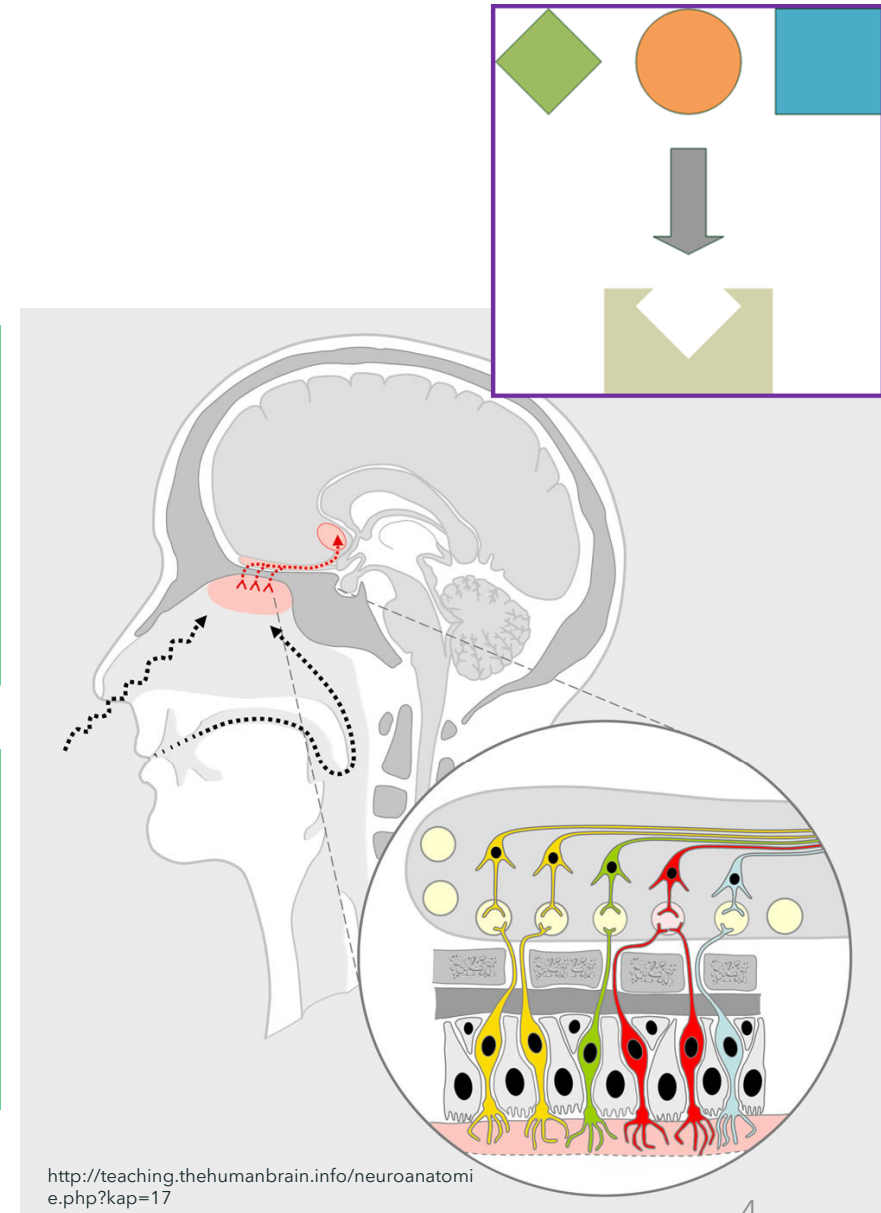
- Ca. 350 Riechrezeptoren; jeder Rezeptor erkennt spezifische chemische Strukturen in Duftmolekülen.

Funktion der Riechzellen

- Cilien absorbieren Duftstoffe und leiten Informationen an das Gehirn weiter; Aktivierung von Rezeptoren auf Cilien führt zu biochemischer Signalkaskade und Veränderung des Zellpotentials.

Signalübertragung

- Rezeptoraktivierung erhöht die intrazelluläre Calciumkonzentration; Generierung von Aktionspotentialen, die an das Gehirn gesendet werden.



Was ist ein Geruchsstoff?

**Riechstoff - Duftstoff - Aromastoff - Flavour - Odorierungsmittel -
Odorant - Geruchsaktive Verbindung(en)**

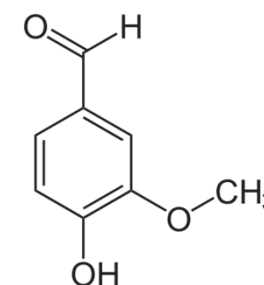
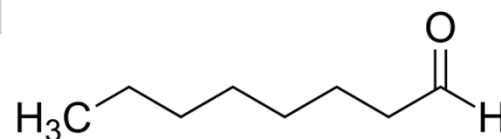
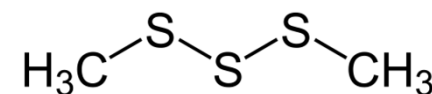
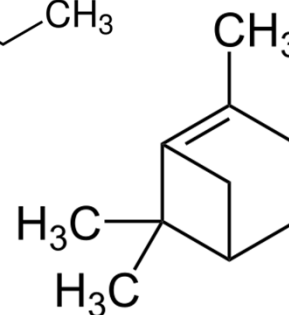
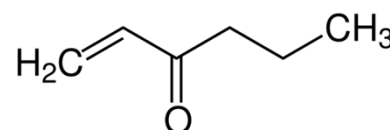
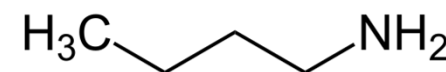
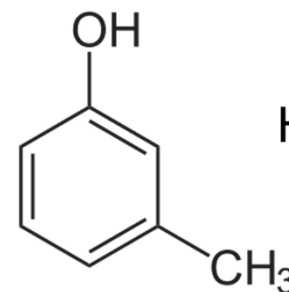
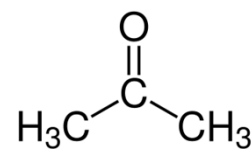
Materialgerüche,
Lebensmittel und
natürliche
Duftmischung, z.B.
essential oils,
Kräuterauszug

Substanzmischung,
z.B. Aromazusätze in
Kosmetika, Süßwaren,
Raumbeduftern

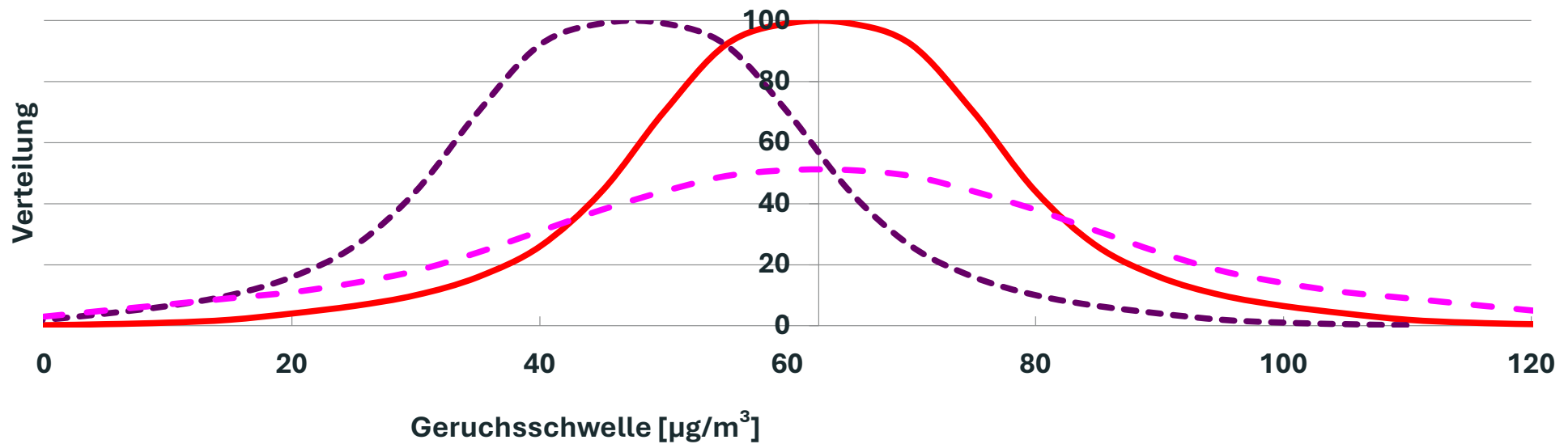
Einzelne Geruchsstoffe
(organische,
anorganische) z.B.
Limonen, Aceton,
Schwefelwasserstoff, Ozon

Authentische Referenzgeruchsstoffe

Geruchsqualität	Substanz
Lösungsmittelartig	Aceton
Phenolisch	m-Kresol
Fischig	Butylamin
Plastikartig	1-Hexen-3-on
Latschenkieferartig	α -Pinen
Knoblauchartig	Dimethyltrisulfid
Fettig	(E,E)-2,4-Decadienal
Zitrusartig	Octanal
Vanilleartig	4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyd (Vanillin)



Geruchsschwellen



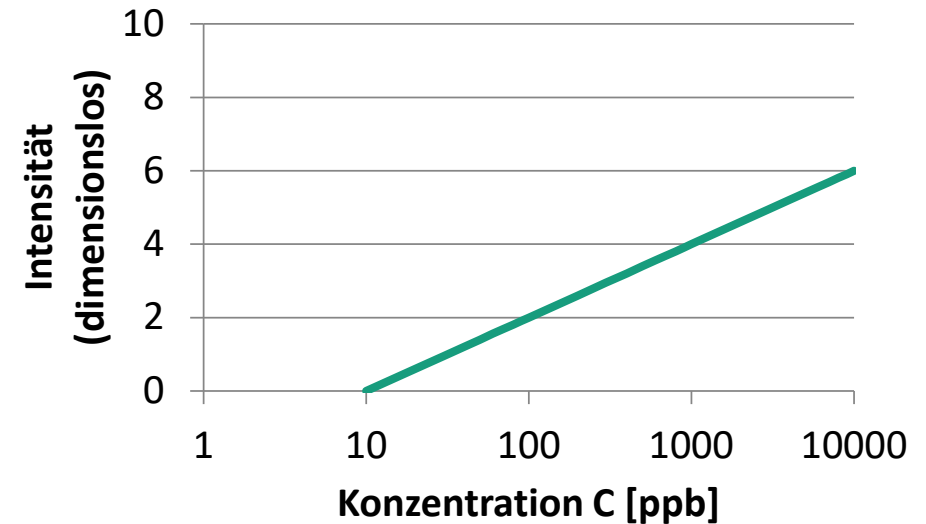
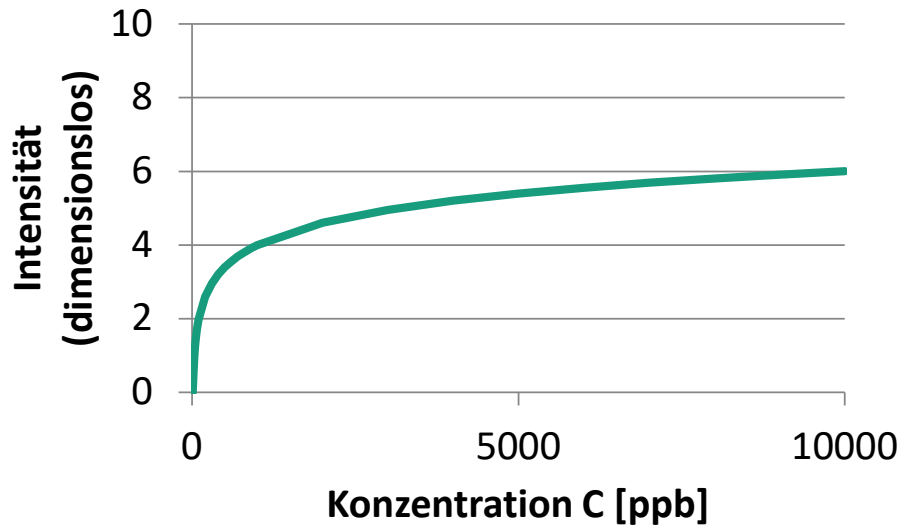
Schwelle: 50 % der Testpersonen Geruchswahrnehmung; 50 % keine Wahrnehmung

- Wahrnehmungsschwelle: geruchlicher Unterschied zu „neutral“
- Erkennungsschwelle: deutlich beschreibbarer Geruch

Geruchsschwellen in Luft

Innenraum-relevanter Geruchsstoff	Geruchsqualität	Pot. Quellen	Geruchsschwellen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Acetaldehyd	beißend, stechend	Bodenbeläge, Mineralwolle	2 - 3
Beta-Pinen	Latschenkiefer-artig	Holzwerkstoffe, Wald	180
Dimethyltrisulfid	schweflig, verbrannt	Gips, Kaminöfen	0,06 - 1,2
Essigsäure	sauer	Mörtel, Putze, Wandfarben	1 - 2
Limonen	zitrusartig	Pflanzen, Reiniger, Parfüm	200
Methanthiol	fäkalisch	Gülle, Sanitär, Kanalisation	0,1 - 0,5
Trimethylamin	fischig	PU, Schaumstoffe, Dichtmassen	0,08
Geosmin	Schimmelig, erdig	Kellerräume	0,01 - 0,1

Intensität



Gesetz von Weber und Fechner

- kein linearer Zusammenhang zwischen Geruchskonzentration und wahrgenommener Intensität
- wahrgenommene Intensität ist proportional zum Logarithmus der Stärke des dargebotenen Reizes (gilt auch für Lichtreize und Geräusche)

$$I = k_w \log \frac{C}{C_0}$$

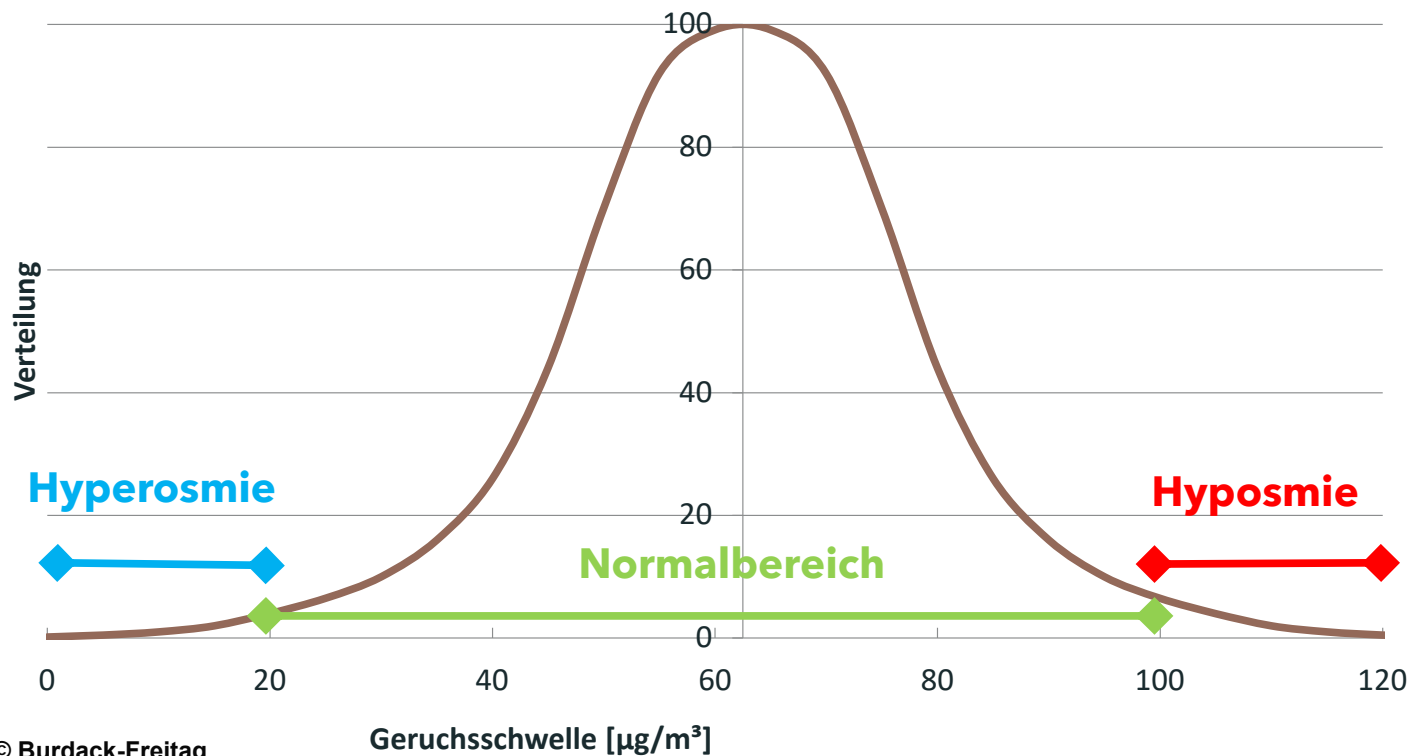
I = wahrgenommene Intensität

k_w = substanzabhängiger Weber-Fechner-Koeffizient der physiologischen Wahrnehmung (übliche Werte für Geruchsstoffe 1,9 – 2,7)

C_0 = Geruchsstoffkonzentration an der Geruchsschwelle

C = Geruchsstoffkonzentration

Anosmien



© Burdack-Freitag

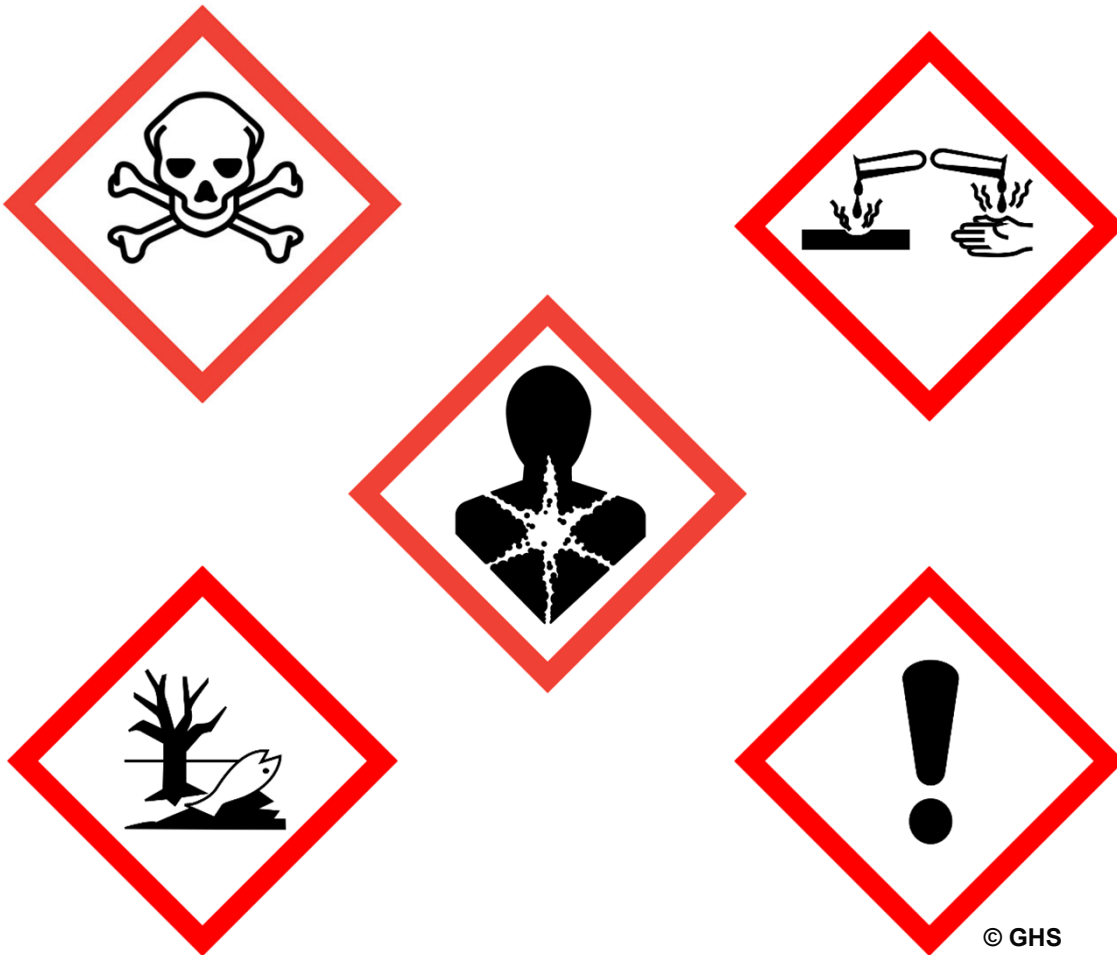
Anosmie: der vollständige Verlust der Geruchswahrnehmung

Hyposmie: eine verringerte Geruchswahrnehmung

Hyperosmie: eine Überempfindlichkeit gegenüber Geruchsreizen

➤ Jeder Mensch hat vereinzelte Sensitivitäten und Riechausfälle

Geruch = Schadstoff?



© GHS

Schadstoff (DIN EN ISO 16000-32:2014)

- Stoff, der entweder selbst oder im Zusammenwirken mit anderen Stoffen oder durch seine Abbauprodukte oder Emissionen **Mensch oder Umwelt schädigen oder beeinträchtigen** kann
- oder zu einer **Wertminderung bzw. Nutzungseinschränkung von Bauwerken** führen kann.

Geruchs = Schadstoff?

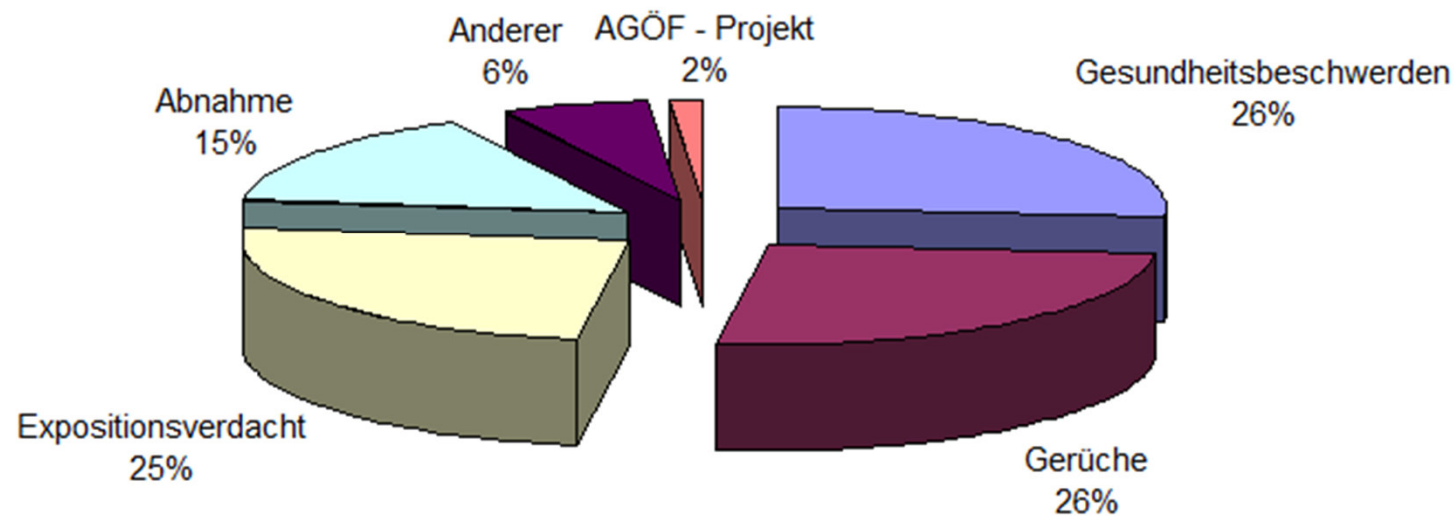
- Stellungnahme des Umweltbundesamtes (UBA)
- „Auch wenn eine erhebliche gesundheitliche Belästigungen **im toxikologischen Sinne keine gesundheitliche Gefährdung** darstellt, ist eine **erhebliche Belästigung zumindest im baurechtlichen Sinne** als eine regulatorisch relevante Eigenschaft anzusehen.“
- Geruchsbelästigung findet aktuell Eingang in die Landesbauordnungen



© Umweltbundesamt

Geruch = Schadstoff?

Anlässe für Innenraumuntersuchungen, Untersuchungen der AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V., Forschungsvorhaben 2006-2012, Anzahl der Befragten 6624)



Fehlgeruch

- Extrem unangenehmer Geruch.
- Geruch, der angenehm oder unerwartet sein kann, jedoch an Ort/Material, welcher/welches üblicherweise anders riecht.

Schwierigkeiten bei der Schadensfallanalyse

Individuelle Wahrnehmung: sensitive versus robuste Personen.

Messgeräte: häufig mit üblichen physikalischen, chemischen Messmethoden nicht detektierbar (Nachweisgrenzen).

Bisher wenig rechtliche Konsequenzen.

Häufig keine unmittelbare gesundheitliche Gefährdung, aber unzumutbare Geruchsbelastungen

Geruch ist messbar

Sensorisch:

- ISO 16000-28 Geruchsprüfung mit **Geruchspanel**
- Olfaktometrie (Riechen unter kontrollierten Bedingungen)

Analytisch:

- Gaschromatographie (GC) mit Massenspektrometrie (MS)
- GC/MS-Olfaktometrie (Sniffing): Kombination von Stoffidentifikation und sensorischer Analyse
- Unterschied zum klassischen GC-MS: Sniffing erlaubt die direkte sensorische Wahrnehmung von Peaks

Relevante Normen

DIN ISO 16000-28 Innenraumluchtverunreinigungen - Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfkammer

DIN ISO 16000-30 Innenraumluchtverunreinigungen - Sensorische Prüfung der Innenraumlucht

VDI 4302-1 Geruchsprüfung von Innenraumlucht und Innenraummaterialien

VDI 4302-3 Geruchsprüfung von Innenraumlucht und Emissionen aus Innenraummaterialien - Erhebung der Zufriedenheit mit der Raumluchtqualität in Wohnungen und Büroräumen mittels Fragebogen

DIN EN ISO 16000-32 Innenraumluchtverunreinigungen - Untersuchung von Gebäuden auf Schadstoffe

The diagram illustrates the classification of sensory panels based on whether they are trained (geschult) or untrained (ungeschult). It is organized into a grid where the top row defines the categories, and subsequent rows provide specific examples of panel types and their applications.

Panels			
geschult		ungeschult	
Geruchsintensität	Geruchsqualitäten	naives Panel	
Vergleichsmaßstäbe / Skalen	authentische Geruchsstoffe	Hedonik	Akzeptanz



VDI 4302-3: Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien

Erhebung der Zufriedenheit mit der Raumluftqualität in Wohnungen und Büroräumen mittels Fragebogen:

- Einschränkung, nicht für Gebäude mit vulnerablen Gruppen
- Geeignet für normale Nutzer, nicht trainierte Personen

➤ **ungeschultes Panel**

K5. Sie sehen hier eine Liste von Faktoren, die *in einem Wohnraum* störend sein können. Fühlten Sie sich schon einmal während der letzten drei Monate durch einen der folgenden Faktoren *in diesem Raum*: _____ (bitte eintragen, z.B. Wohnzimmer) gestört? (Bitte beantworten Sie jede Frage, auch wenn Sie sich nicht gestört fühlten.)

	nein, nie	ja, manchmal	ja, oft (jede Woche)
K5.1 Zugluft	☐	☐	☐
K5.2 Zu hohe Zimmertemperatur	☐	☐	☐
K5.3 Schwankende Zimmertemperatur	☐	☐	☐
K5.4 Zu niedrigere Zimmertemperatur	☐	☐	☐
K5.5 Stickige, „schlechte“ Luft	☐	☐	☐
K5.6 Trockene Luft	☐	☐	☐
K5.7 Unangenehmer Geruch	☐	☐	☐
K5.8 Statische Aufladung (bekomme einen elektrischen Schlag)	☐	☐	☐
K5.9 Beleuchtung (z.B. zu dunkel, blendet oder reflektiert)	☐	☐	☐
K5.10 Lärm	☐	☐	☐
K5.11 Staub und Schmutz	☐	☐	☐
K5.12 Sonstiges: _____	☐	☐	☐

Ausschnitt Musterfragebogen Wohnraum aus VDI 4302-3

DIN ISO 16000-30: Innenraumluftverunreinigungen

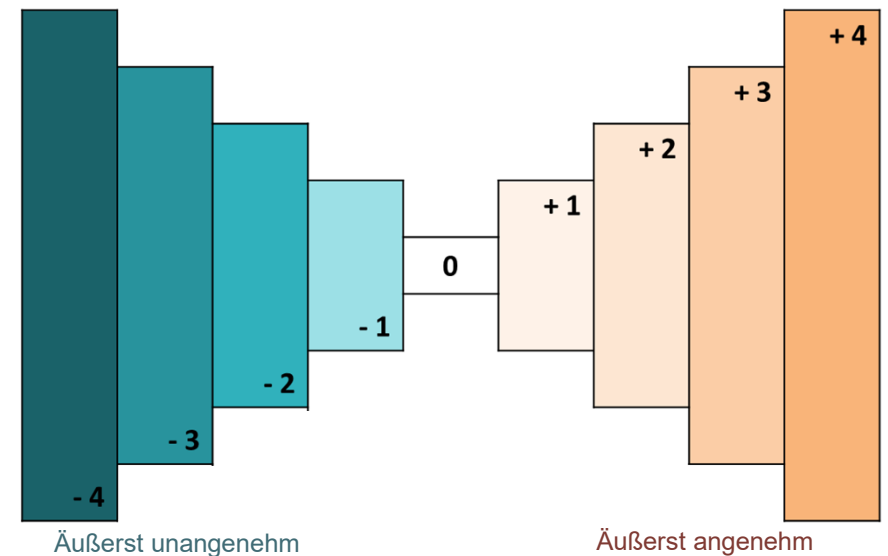
Sensorische Prüfung der Innenraumluft

Bewertung der Innenraum-Gerüche anhand von Skalen:

- Direkt Bewertung der Innenraumluft vor Ort oder Luftprobennahme in Beutel für Laborprüfung
- **geschultes oder ungeschultes Panel** abhängig von Fragestellung und statistischer Relevanz

DIN ISO 16000-30: Skalen

SmlLe - Smell Intensity Level																	
®Fraunhofer SmlLe Skala																	
	kaum wahrnehmbar		sehr schwach		schwach		deutlich		stark		sehr stark		extrem stark				
pi-Wert	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
c Aceton [mg/m³]	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340



VDI 4302-1: Geruchsprüfung von Innenraumlufth und Innenraummaterialien

Unmittelbare sensorische Prüfung von Innenräumen und -materialien:

- bezüglich der Akzeptanz, der Geruchsintensität, der Hedonik und der Geruchsqualität
- Konkretisierung der ISO 16000-30 für Räume
- Integration des Begriffs „Unzufriedenheit“ (PD-Wert Percentage Dissatisfied)
- **Strenge Panelanforderungen, sowohl geschult als auch nicht geschult möglich**

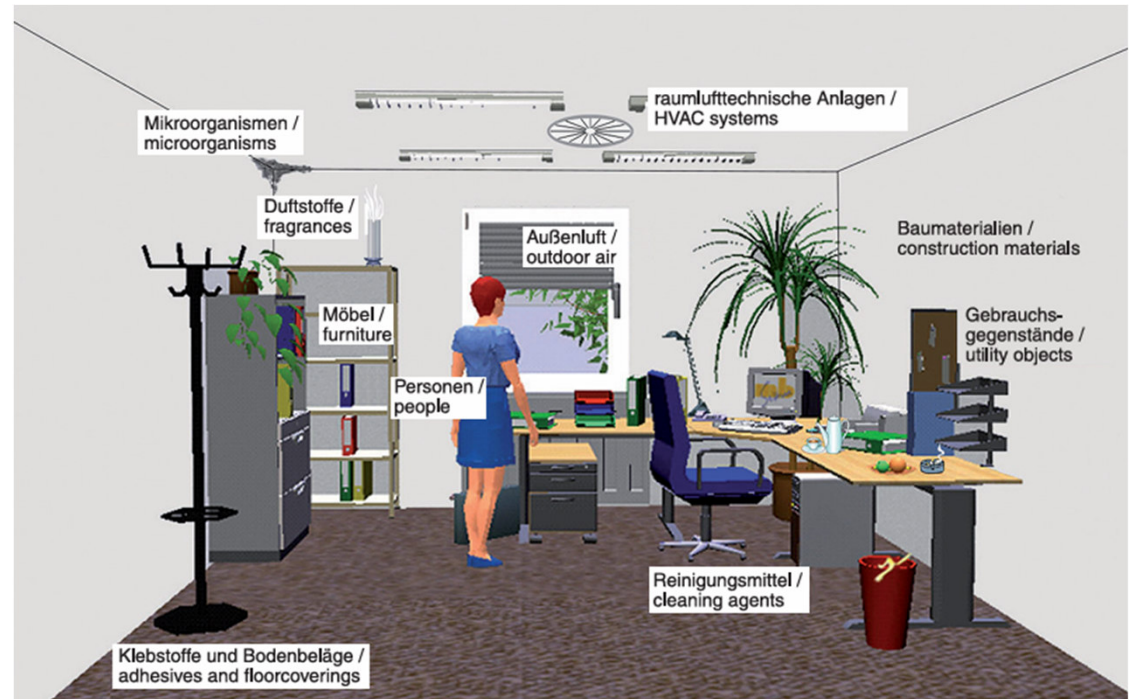
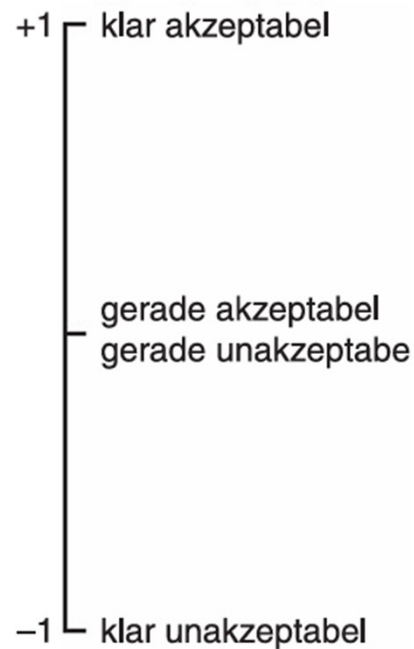


Bild aus VDI 4302-1

$$PD = \frac{\text{Anzahl unzufriedener Personen}}{\text{Anzahl aller befragten Personen}} * 100 \%$$

VDI 4302-1: Skalen

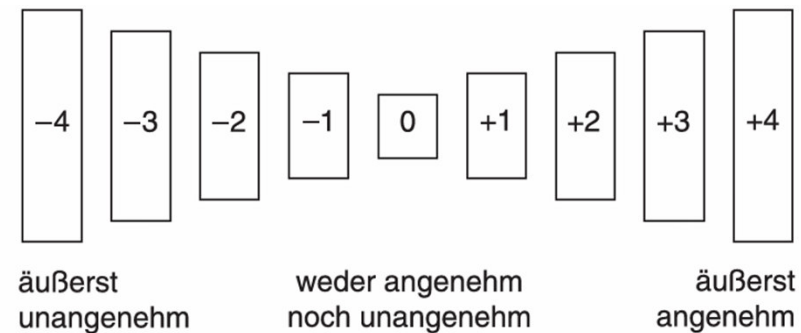
Akzeptanz



Kategorienskala

Geruch	Intensitätsstufe
extrem stark	6
sehr stark	5
stark	4
deutlich	3
schwach	2
sehr schwach	1
nicht wahrnehmbar	0

Hedonische Geruchswirkung



Identifizierung von Geruchsstoffen

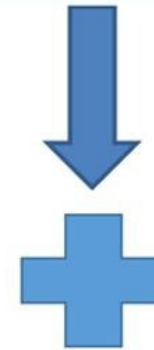
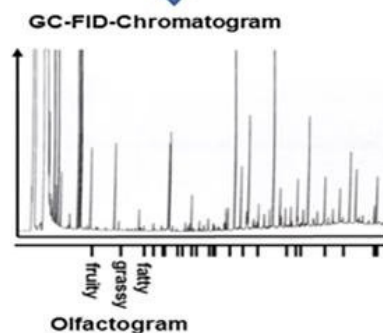
Geruchsaufklärung im Labor:

- Probenahme der Innenraumluft oder von Materialien mittels spezieller Probenahmepumpen und Adsorbermaterialien
- Identifizierung von Geruchsstoff und Konzentration
- Korrelation der Geruchsbeschreibung mit authentischen Geruchsstoffen
- **speziell trainierte Geruchsspezialisten (Flavour Chemists)**

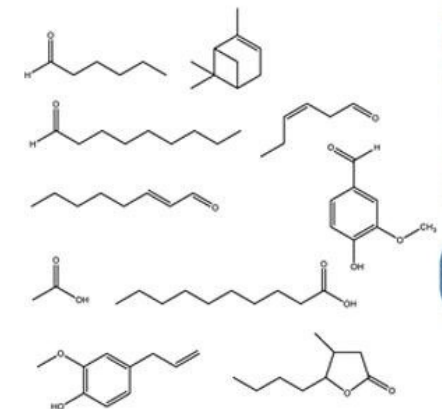
Chemo-sensory characterization of aroma active compounds of native oak wood in relation to their geographical origins
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996921006761>



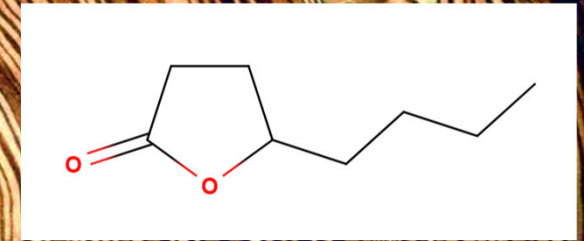
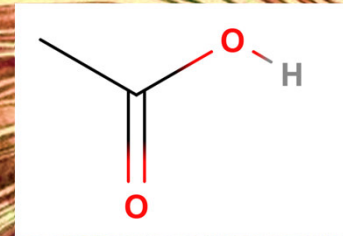
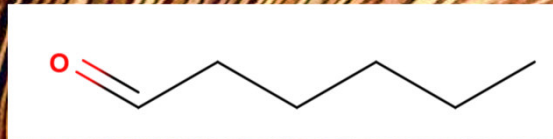
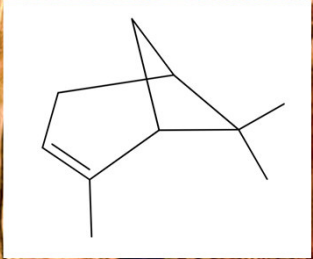
2D-GC-MS/O



GC-FID/Olfactometry



Typische Holzgeruchsstoffe

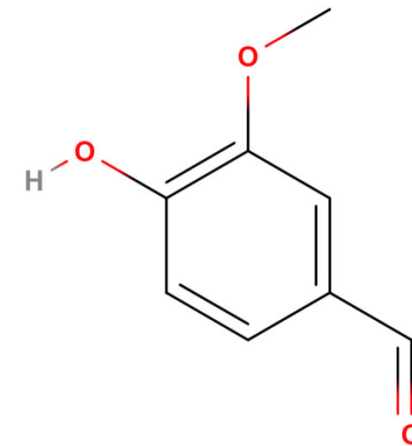


Natürliche Holz-Inhaltsstoffe

- Terpene (α -Pinen, β -Pinen, Limonen) – harzig, balsamisch
- Aldehyde (Hexanal, Nonanal) – grün, grasig, fettig
- Carbonsäuren (Essig-, Ameisensäure) – sauer, beißend
- Lactone (γ -Nonalacton, δ -Octalacton) – süß, kokosartig
- Vanillin als Abbauprodukt ligninhaltiger Holzbestandteile

Verarbeitung und Zusatzstoffe (Kleber, Lacke, Dichtstoffe)

- Pyrazine und Pyrroline
- Lösungsmittel, Alkohole
- kurzkettige Aldehyde



© Burdack-Freitag

Vor-Ort Begehung

Ziele (Fokus der Begehung)

- Schadstoff/ Schadstoffgruppe/ unbekanntes Schadstoffspektrum
- Bauwerksteil/ gesamtes Bauwerk/ mehrere Bauwerkseinheiten/ Außen- und Innenbereiche

Motive (Gegenstand der Begehung)

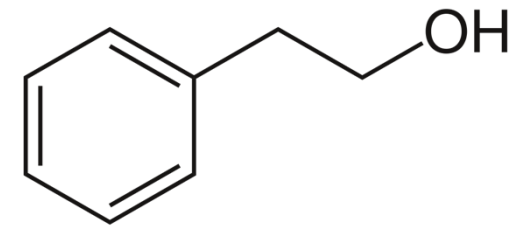
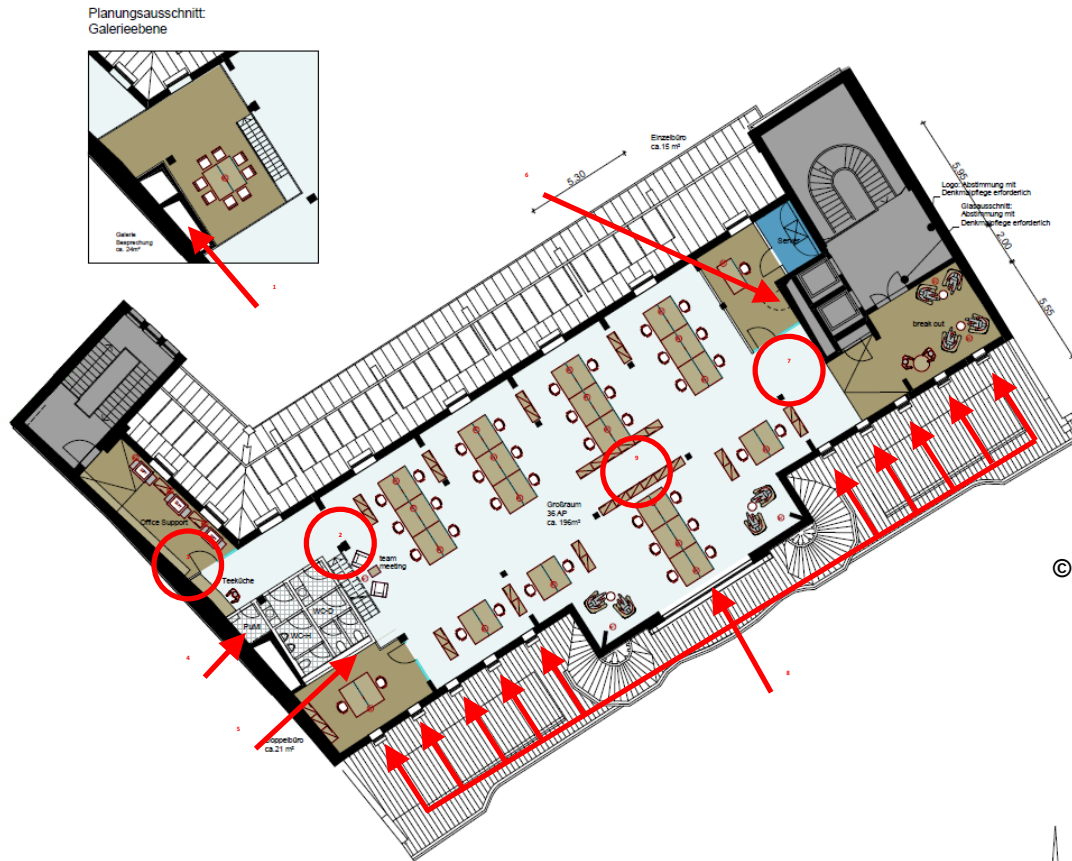
- Bestandsaufnahme, Beschwerden, Ankaufs- bzw. Verkaufsprüfung, Vorbereitung für Sanierung, Umbau oder Abbruch, Grundlage für Gebäudemanagement und Instandhaltung

RECHTSSICHERHEIT durch gute Planung und Organisation:

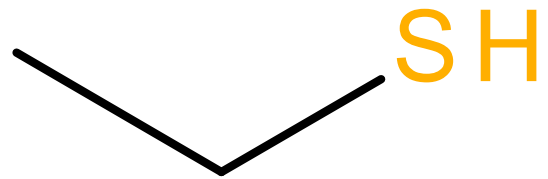
- Nachvollziehbarkeit
- Dokumentations-, Vorbereitungs- und Nachbereitungsaufwand
- Dauer
- Kostenkalkulation
- Berichtswesen



Rosengeruch in einer Kanzlei



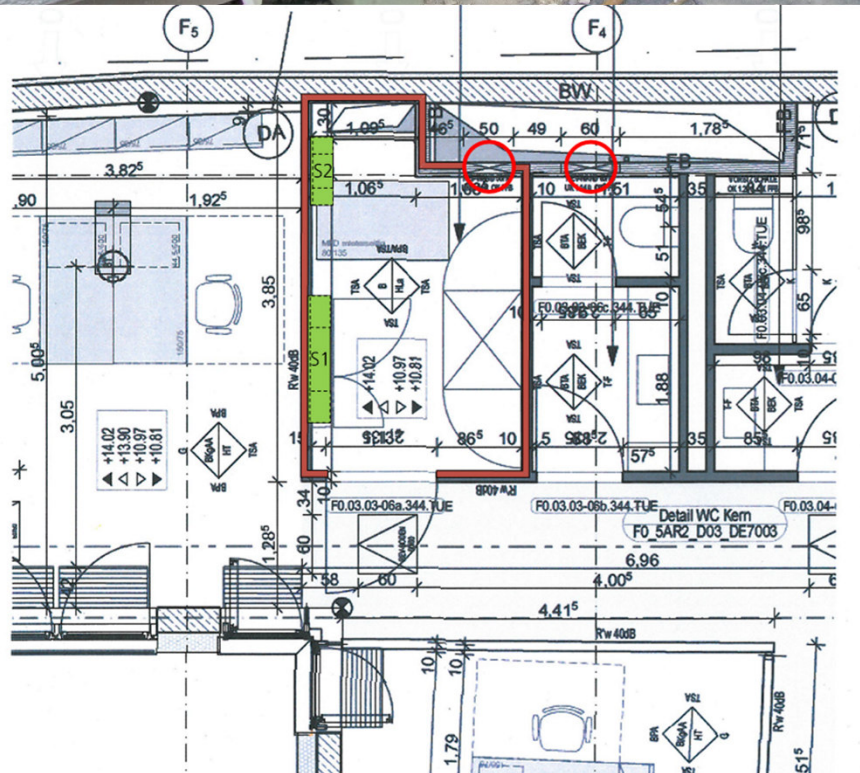
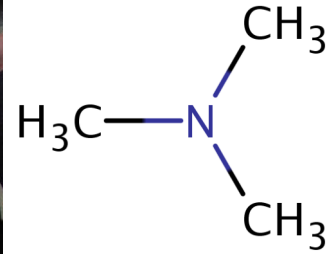
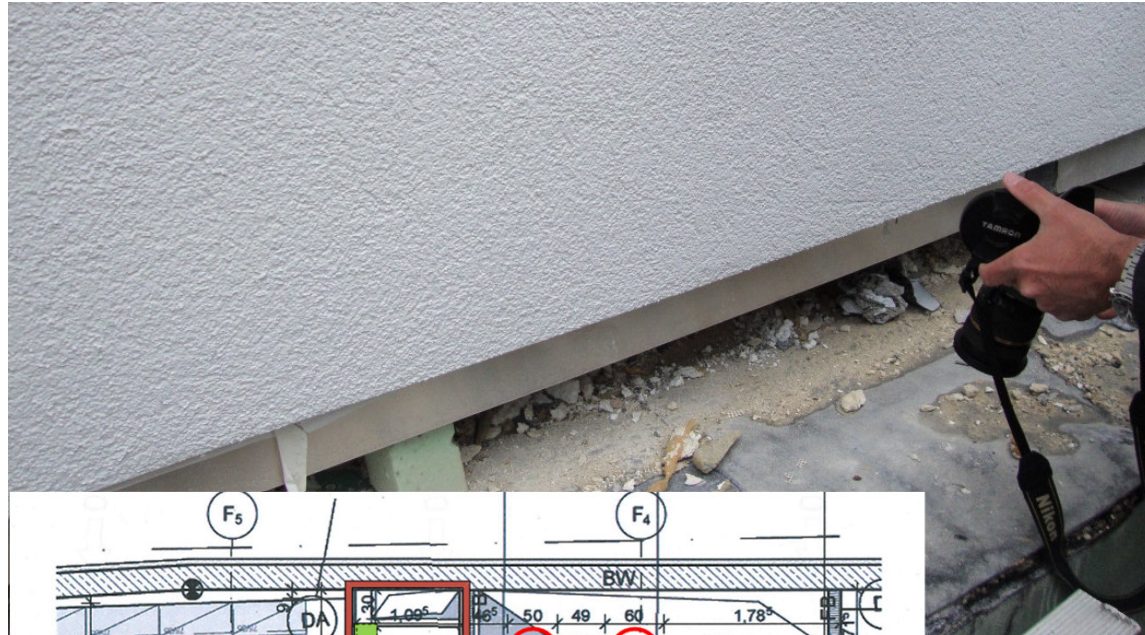
© Burdack-Freitag

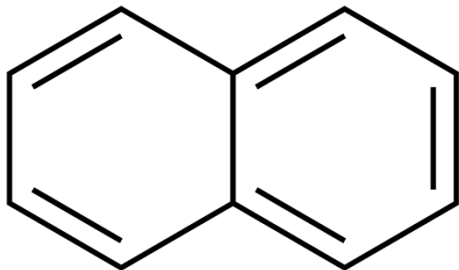
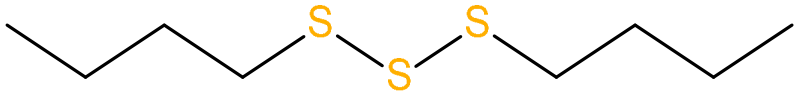
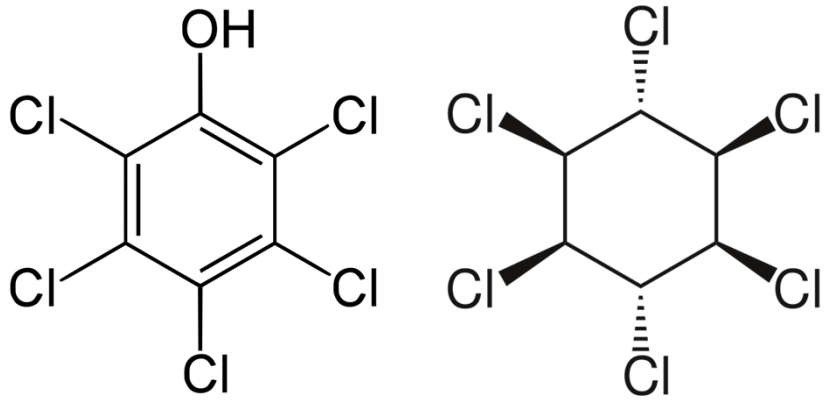


Fäkalgeruch in Büroebene

Fischgeruch in einem Wohnraum

© Burdack-Freitag





© Burdack-Freitag



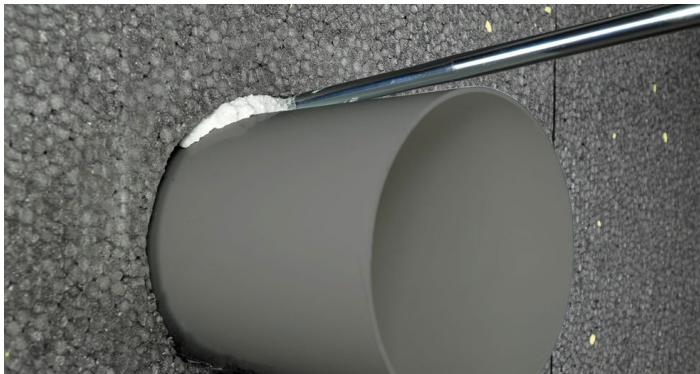
© Burdack-Freitag

Teergeruch und Schadstoffe in historischer Gastwirtschaft



© Burdack-Freitag

Sanierungsmaßnahmen



Dr. rer. nat. Andrea Burdack-Freitag
Sachverständige für
Innenraumschadstoffe und Gerüche
ö.b.u.v. Sachverständige (IHK
Regensburg) für Geruchsbelastungen in
Innenräumen

andrea.burdack-freitag@posteo.de
+49 170-4342527



© Burdack-Freitag