

Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft

Air Quality Control

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)
und Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL



Geruchsbewertung und Geruchsstoffanalytik pastöser Innenputze

Erfahrungsbericht zur DIN ISO 16000-28

A. Burdack-Freitag, C. Scherer, F. Mayer

 **Springer**
VDI Verlag

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP · FRAUNHOFERSTR. 10 · 83626 VALLEY
WWW.IBP.FRAUNHOFER.DE

Geruchsbewertung und Geruchsstoffanalytik pastöser Innenputze

Erfahrungsbericht zur DIN ISO 16000-28

A. Burdack-Freitag, C. Scherer, F. Mayer

Zusammenfassung Die Norm DIN ISO 16000-28 beschreibt ein Verfahren zur Bewertung des Geruchs von Bauprodukten, das sich derzeit in einer mehrjährigen Pilotphase, betreut vom Umweltbundesamt, befindet. In diesem Rahmen wurden acht handelsübliche pastöse Putze auf die geruchsrelevanten Parameter empfundene Intensität (pi, „perceived intensity“) und Hedonik sowie die Geruchsqualitäten untersucht. Zum Einsatz kam ein sensorisch geschultes Panel, das in der Lage war, mithilfe einer objektivierbaren pi-Wert-Skala den Geruch zu klassifizieren. Die Skala basiert auf einer linearen Skala aus Aceton-Vergleichswerten. Am Fraunhofer IBP wurde hierzu ein eigener Aceton-Referenzstandard entwickelt. Parallel zu den sensorischen Panel-Untersuchungen wurden die für den Geruch verantwortlichen geruchsaktiven Verbindungen mithilfe der Gaschromatographie-Olfaktometrie-Massenspektrometrie aufgeklärt.

Sensory testing and odor analysis of pasty plasters – field report to the new standard DIN ISO 16000-28

Abstract Standard ISO 16000-28 describes a procedure for the evaluation of the odor of building products, currently subject to a pilot phase accompanied by the German Umweltbundesamt (UBA, Federal Environment Agency). In this context, eight commercially available plasters with organic binders were evaluated for relevant odorous parameters perceived intensity (pi), hedonic odor tone and odor quality. A trained sensory panel was employed which was able of rating objectively the odor by the pi-scale based on a linear row of acetone-reference concentrations. For that a specific acetone-reference-standard was developed by Fraunhofer IBP. In addition to the sensory evaluations, odor active compounds relevant for the overall-odor of the plasters were identified by means of gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry.

1 Einleitung

Das AgBB-Schema [1], dessen erste Version im Jahr 2004 veröffentlicht wurde, sieht für die Bewertung von Bauprodukten zur Anwendung in Innenräumen neben der Bestimmung und der hygienisch-toxikologischen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Stoffen (VOC, volatile organic compounds) auch eine Bewertung des Produktgeruchs vor. Da für die Geruchsbewertung bis über 2010 hinaus kein standardisiertes und zuverlässiges Verfahren verfügbar war, konnte diese bislang nicht routinemäßig durchgeführt werden. Im Dezember 2012 wurde mit der DIN ISO 16000-28 [2] ein standardisiertes Verfahren zur Bewertung des Geruchs in der Abluft von Emissionsprüfkammern veröffentlicht. In einer mehrjährigen Pilotphase [3; 4] wurde das in der Norm beschriebene Verfahren auf

seine Anwendbarkeit und seine Zuverlässigkeit untersucht. Auf der Basis dieses Verfahrens lassen sich geruchlich relevante Parameter wie die empfundene Intensität, Akzeptanz und Hedonik von Bauprodukten erfassen. Für die Bewertung der Produkte wurde eine objektivierbare Geruchswerte-Skala entwickelt, die die empfundene Intensität (perceived intensity, pi) mit definierten Acetonkonzentrationen in Luft verknüpft. Verschiedene Bauproduktgruppen wurden im Rahmen der Pilotphase sensorisch untersucht, um Anwendungshinweise zu erhalten und Geruchsschwellenwerte u. a. auch für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel festzulegen. In der Pilotphase werden derzeit die Kriterien für die zulässigen pi-Werte diskutiert. Für das AgBB-Schema wird ein Schwellenwert für 9 ± 2 pi (max. 11 pi) empfohlen, für den Blauen Engel ein Wert von 5 ± 2 pi (max. 7 pi). Die Anwendung des Normverfahrens soll objektivierbare Daten zur Verfügung stellen, mit deren Hilfe die Geruchsentwicklung von Bauprodukten und die Auswirkungen auf die Innenraumluftqualität bewertet werden können. Zudem soll das standardisierte Verfahren die Entwicklung geruchlich verbesserter Produkte fördern.

Organische Putze für die Anwendung in Innenräumen nach DIN EN 15824 [5] können sowohl aufgrund der großen Fläche, auf die sie appliziert werden, als auch wegen des im Vergleich zu Wandfarben höheren VOC-Reservoirs, eine potenzielle Quelle für VOC- und Geruchstoffemissionen in Innenräumen darstellen. Deshalb wurden die Putze im Rahmen einer Prüfkammeruntersuchung hinsichtlich ihres Geruchs und der freigesetzten geruchsaktiven Stoffe untersucht. Die Prüfkammerabluft wurde geruchlich bewertet und die emittierten Geruchsstoffe mittels Gaschromatographie gekoppelt mit olfaktometrischer und massenspektrometrischer Detektion identifiziert. Die Anwendung dieser Bestimmungsmethode für die geruchsaktiven flüchtigen organischen Verbindungen mit der menschlichen Nase als zusätzlichem Detektor ist erforderlich, da bei der für Baustoffe üblichen VOC-Messung geruchsaktive Stoffe meist nicht erkannt werden.

2 Materialien und Methoden

2.1 Materialien

Acht handelsübliche Innenputze (Tabelle 1) für die Anwendung durch gewerbliche Verarbeiter wurden auf ihr Geruchsverhalten und ihre Emissionen an geruchsaktiven Verbindungen untersucht. Um das Emissionsverhalten der einzelnen Putze vergleichen zu können, wurden mit einer Ausnahme Putze mit einer Körnung von 2 mm ausgewählt. Ein Putztyp wurde sowohl in 2-mm- als auch in 3-mm-Körnung untersucht. Die Herstellung der Putze erfolgte nach Vorgaben der Hersteller entsprechend den technischen Merkblättern bzw. Verarbeitungshinweisen (Bild 1). Die Putze wurden auf aufgeraute Glasplatten appliziert, auf Kornstärke abgezogen und zum Abbinden in einer Emissionsprüfkammer für 72 Stunden gelagert. Die klima-

Dr. rer. nat. Andrea Burdack-Freitag,
Dr.-Ing. Christian Scherer, Dr. rer. nat. Florian Mayer,
Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Valley.

Tabelle 1. Probenmaterial.

Proben-Nummer	Messzyklus	Material	Körnung in mm	Bemerkung
Putz 1	A	Silikonharzputz 1	2	Identischer Hersteller, identische Rezeptur, unterschiedliche Korngrößen
Putz 2		Silikonharzputz 2	3	
Putz 3	B	Silikatputz 1	2	Scheibenputz
Putz 4		Silikatputz 2	2	Kratzputz
Putz 5	C	Dispersionsputz 1	2	Laut Hersteller emissionsarm, lösungsmittel- und weichmacherfrei
Putz 6		Dispersionsputz 2	2	
Putz 7	D	Silikatputz 3	2	Spezialputz, Reibeputz
Putz 8		Silikon-Silikat-Putz	2	Spezialputz

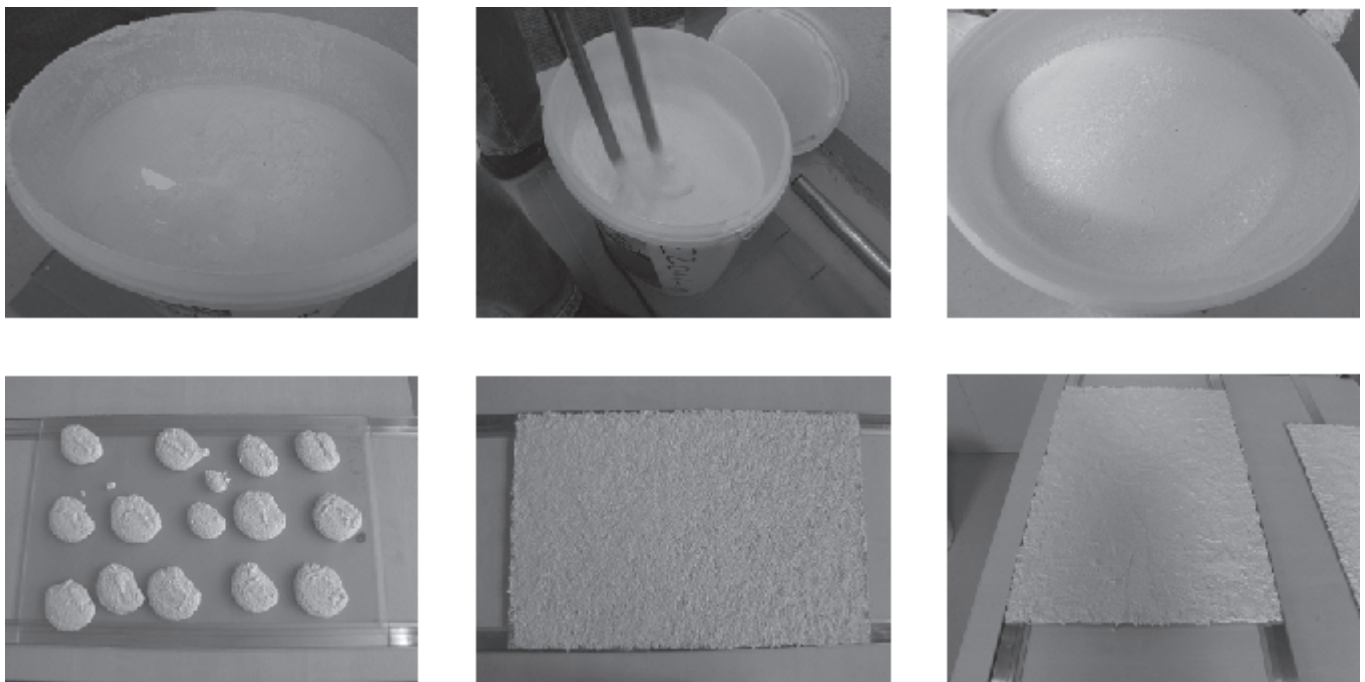


Bild 1. Herstellung der Putzproben.

tischen Bedingungen (Temperatur, relative Feuchte, flächenspezifische Lüftungsrate, Anströmgeschwindigkeit) während der Vorlagerung entsprachen denen bei der nachfolgenden Kammerprüfung.

2.2 Prüfkammeruntersuchung

Die Untersuchung der Putze erfolgte in vier Messzyklen; pro Messzyklus wurden je zwei Putze untersucht. Unmittelbar nach dem Abbinden wurden die Putze in eine frische Emissionsprüfkammer entsprechend DIN ISO 16000-9 [6] eingebracht. In den Emissionsprüfkammern herrschten folgende Randbedingungen:

- Kammervolumen 200 l
- Material: Edelstahl
- Temperatur $23\text{ °C} \pm 1\text{ K}$
- rel. Feuchte $50\text{ \%} \pm 5\text{ \%}$
- flächenspezifische Lüftungsrate $q = 0,48\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$
- Anströmgeschwindigkeit 0,1 bis 0,3 m/s (1 cm über der Probe).

Die Anforderungen der DIN ISO 16000-28 an die Prüfausrüstung wurden eingehalten.

2.3 Probenahme in der Prüfkammerabluft

Die Probenahme der Prüfkammerabluft erfolgte nach den Vorgaben des AgBB-Schemas [1] und der DIN ISO 16000-28 [2]. 28 Tage nach Einbringen der Prüfstücke in die Emissionsprüfkammer wurden Luftproben zur Geruchsbewertung und zur Identifizierung der geruchsaktiven Stoffe entnommen (Bild 2). Für die Analytik von VOC, geruchsaktiven Stoffen, Aldehyden/Ketonen wurden die Luftproben auf Adsorbern gesammelt [7; 8]. Die Luftproben für die sensorische Prüfung wurden in Probenahmebeutel mit 20 l Volumen (Nalophan®) gezogen.

2.4 Sensorische Prüfung

Die sensorische Prüfung wurde mit einem geschulten Panel durchgeführt. Für die Auswahl und Schulung wurden die in der Norm [2] vorgegebenen Kriterien beachtet. Das Probanden-Panel bestand aus Personen beiderlei Geschlechts, die keine Einschränkung der Geruchsempfindung aufwiesen und die auf die Einhaltung des Verhaltenskodex hingewiesen wurden. Die Schulung und Kalibrierung der Testpersonen erfolgte normgerecht mithilfe des Aceton-Referenzmaßstabs.

2.4.1 Aceton-Referenzskala

Die empfundene Intensität wird auf einer linearen Skala mit der Einheit pi bewertet. Die Bezugsgröße stellt eine ebenfalls lineare Aceton-Referenzskala dar. Der Geruchsschwelle von Aceton (20 mg/m^3) wird der Wert 0 pi zugeordnet. Die Zunahme der empfundenen Intensität um 1 pi entspricht einer Erhöhung der Aceton-Konzentration um 20 mg/m^3 . Die pi-Skala umfasst üblicherweise einen Bereich von 0 bis 16 pi, das entspricht einem Konzentrationsbereich von 20 bis 340 mg/m^3 Aceton (Tabelle 2). Die Genauigkeit der Testmethode wird für die empfundene Intensität durch eine Abweichung von ± 2 pi für das 90%-Konfidenzintervall bestimmt. Sind die Abweichungen höher, muss gemäß der Norm die Anzahl der Testpersonen erhöht werden.

2.4.2 Prüfausrüstung

Die Norm stellt hohe hygienische Anforderung an den Prüfraum, die Emissionsprüfkammern, die Probenahmebeutel und das Geruchsbewertungsequipment, bestehend aus Riechtrichter, Auspressgerät und Referenzmaßstab. Gleiches gilt für alle Materialien, die mit der Prüfausrüstung und den Prüfpersonen in Kontakt kommen, wie Luftbefeuchtung, Temperatur- und Feuchtemessgeräte, Volumenstromregler, Reinigungsmittel und Luftversorgung.

Alle Komponenten der Prüfausrüstung müssen emissionsarm, geruchsneutral, nicht adsorptiv und inert sein. Der Einfluss von Fremdluft muss sowohl bei der Probenahme als auch bei der Darbietung der gesammelten Luftprobe vermieden werden. Die sensorische Prüfung fand, entsprechend den Anforderungen der Norm bei einer Temperatur von 20 bis 25°C und einer relativen Feuchte von $50\% \pm 5\%$ r. F. in einem geruchsarmen Raum statt.

2.4.3 Panel

Das Fraunhofer IBP verfügt in Summe über ein sensorisches Panel von ca. 30 Testpersonen. Diese Testpersonen werden regelmäßig auf ihre sensorische Leistungsfähigkeit trainiert. Die Schulung erfolgt in der Regel in mehreren Zyklen. Zunächst wird auf ein normales Geruchsvermögen hin untersucht. Dies bedeutet, dass Personen mit per-

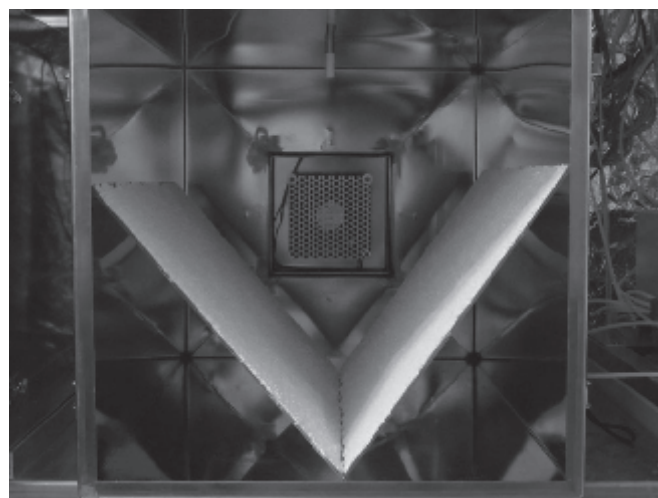


Bild 2. Einbau der Putzproben in die Emissionsprüfkammer.

manenten oder temporären Anosmien (Einschränkungen der Geruchsempfindung) im Vorfeld der Tests ausgeschlossen werden. Hier findet das Sniffin'-Stick®-Verfahren Anwendung [9], das für die Ermittlung der Riechfähigkeit im medizinischen HNO-Sektor entwickelt wurde.

Tabelle 2. Aceton-Referenzskala zur Einstellung der „perceived intensity“.

pi-Wert	c Aceton in mg/m^3	Bewertung ^{a)}
0	20	kaum wahrnehmbar
1	40	
2	60	sehr schwach
3	80	
4	100	schwach
5	120	
6	140	deutlich
7	160	
8	180	stark
9	200	
10	220	sehr stark
11	240	
12	260	extrem stark
13	280	
14	300	
15	320	
16	340	

a) Einschätzung durch das am IBP geschulte, sensorische Panel

Tabelle 3. Ergebnisse der sensorischen Prüfung.

Probe	Anzahl Testpersonen	empfundene Intensität in pi ($\pm d$) ^{a)}	Hedonik ($\pm d$) ^{b)}	häufigste genannte Geruchsqualitäten
Putz 1 (Silikonharzputz)	13	6,3 ($\pm 1,4$)	-1,1 ($\pm 0,6$)	muffig, schweißig
Putz 2 (Silikonharzputz)	13	6,3 ($\pm 1,6$)	-1,2 ($\pm 0,5$)	sauer, plastikartig
Putz 3 (Silikatputz)	16	7,1 ($\pm 1,7$)	-1,2 ($\pm 0,6$)	plastik-, gummiartig
Putz 4 (Silikatputz)	16	4,3 ($\pm 1,1$)	-0,6 ($\pm 0,4$)	fettig, ranzig
Putz 5 (Dispersionsputz)	12	6,5 ($\pm 1,7$)	-0,8 ($\pm 0,4$)	lösungsmittel-, wandfarbenartig
Putz 6 (Dispersionsputz)	12	8,6 ($\pm 1,4$)	-1,8 ($\pm 0,6$)	sauer, stechend
Putz 7 (Silikatputz)	13	1,8 ($\pm 1,0$)	0,1 ($\pm 0,4$)	unauffällig, schwach modrig
Putz 8 (Silikon-Silikat-Putz)	13	3,2 ($\pm 1,0$)	-1,0 ($\pm 0,7$)	deutlich sauer

a) empfundene Intensität $\pm d$ = 90%-Konfidenzintervall, maximale Abweichung um arithmetisches Mittel ± 2 pi.

b) Hedonik $\pm d$ = 90%-Konfidenzintervall, maximale Abweichung ± 1 .



Bild 3. IBP-eigener Aceton-Referenzstandard.



Bild 4. Auspressgerät für Probenahmebeutel (PureSniff XL, Odournet).

Nach Feststellung der Eignung werden die Testpersonen auf die gezielte begriffliche Beschreibung authentischer Geruchsstoffe geschult. Sie sind somit in der Lage, Geruchsqualitäten entlang einer deskriptiven verbalen Attributenliste zu klassifizieren, wie in der Aroma- und Parfümindustrie üblich (z. B. fruchtig, malzig, Lösungsmittelartig; Orientierungshilfen [10; 11]).

In einem weiteren Schritt wird das Panel gemäß der Norm DIN ISO 16000-28 auf die Evaluierung einer unbekannten Probe im Vergleich zu der objektiven und standardisierten Aceton-Referenzskala geschult. Hierzu wurde am IBP ein eigener Aceton-Referenzstandard entwickelt (Bild 3), an dem pi-Wert definierte Acetonkonzentrationen eingestellt werden können.

2.4.4 Durchführung

Da der Volumenstrom der Kammern nicht den geforderten Werten der Norm von 0,6 bis 1 l/s entsprach, wurde nicht direkt an den Kammern bewertet. Vielmehr wurden Gasproben in Probenahmebeutel gezogen. Die Beutel wurden in ein Auspressgerät (Odournet, PureSniff XL, Bild 4) eingebaut. Für jede Testperson wurde ein eigener Beutel gezogen. Die Beutel wurden mit dem geforderten Volumenstrom ausgepresst. Die Testpersonen rochen den ausgepressten Gasstrom.

Die Norm fordert für die eigentliche Untersuchung ein Panel von mindestens acht geschulten Testpersonen. Für die Untersuchung der Putze standen je nach Messzyklus zwischen 12 und 16 geruchlich leistungsfähige Personen zur Verfügung. Vor jeder Untersuchung wurde das Panel noch einmal auf die lineare pi-Wert-Skala am Aceton-Referenzstandard kalibriert.

Nach der Kalibration bewerteten die Testpersonen nacheinander den Gasstrom aus dem Probenahmebeutel am Riechtrichter des Auspressgeräts. Sie hatten während der gesamten Untersuchung einer Probe nicht die Möglichkeit, untereinander zu kommunizieren.

Bewertet wurden die empfundene Intensität, die Hedonik und die Geruchsqualitäten der Putze. Die Akzeptanz war nicht Gegenstand der Untersuchungen. Die hedonische Geruchswirkung wurde in einem separaten Durchgang anhand einer Skala von „-4“ (sehr unangenehm) bis „+4“ (sehr angenehm) bewertet. Die Genauigkeit der Testmethode wird gemäß der Norm für die Hedonik durch eine Abweichung von ± 1 (dimensionslos) für das 90%-Konfidenzintervall bestimmt.

2.5 Geruchsstoffanalyse mittels Gaschromatographie-Olfaktometrie

Die Methode der sensorischen Analyse erfolgte nach wissenschaftlich anerkannten Verfahren der Aroma-

chemie [12]. Die mit den Geruchsstoffen beladenen Adsorber wurden thermisch desorbiert und mittels Gaschromatographie-Olfaktometrie gekoppelt mit einem Massenspektrometer analysiert (7890A GC Systems, 5975C Inert XL MSD, beide Fa. Agilent Technologies). Der von der Kapillarsäule eluierte Gasstrom wurde aufgeteilt und zeitgleich einem massenselektiven Detektor (MSD) sowie einem olfaktorischen Detektor („Sniffing-Port“) zugeführt, an dem eine sensorisch trainierte Person die Qualitäten der Geruchseindrücke beschrieb.

Die gaschromatographische Untersuchung erfolgte auf zwei unterschiedlich polaren Kapillarsäulen: unpolare TG-5ms-Säule und polare TR-FFAP-Säule (beide Fa. Thermo Scientific, 30 m x 0,25 mm ID x 0,25 μ m d_p). Die relativen Retentionsindizes (RI-Wert, Kovats-Index [13]) der einzelnen geruchsaktiven Verbindungen wurden mittels Co-Chromatographie einer n-Alkanreihe von C6 (Hexan) bis C18 (Octadecan) für die unpolare Kapillarsäule und von C6 bis C26 (Hexacosan) für die polare Kapillarsäule sowie linearer Interpolation ermittelt. Die aufgezeichneten Massenspektren wurden mit einer standardisierten MS-Datenbank (NIST 2.0 g, 2012) und der IBP-internen Geruchsstoffdatenbank, die auf der Basis von kommerziell erhältlichen Referenzgeruchsstoffen erstellt wurde, abgeglichen.

Ein Aromastoff galt dann als eindeutig identifiziert, wenn er mit dem Referenzgeruchsstoff in der Geruchsqualität, den Retentionsindizes (soweit erhältlich auf beiden unterschiedlich polaren Kapillarsäulen) und/oder den Massenspektren übereinstimmte.

Die Intensität der einzelnen geruchsaktiven Verbindungen wurde anhand eines vereinfachten Schemas während der eigentlichen sensorischen Analyse abgeschätzt: „0“ keine Wahrnehmung, „1“ schwach wahrgenommener Geruch, „2“ deutlich wahrgenommener Geruch, „3“ stark wahrgenommener Geruch.

Tabelle 4. Ergebnisse der VOC- und Aldehyd-Analysen nach Summenkonzentrationen funktioneller Gruppen.

Konzentration [Summe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Putz 1	Putz 2	Putz 3	Putz 4	Putz 5	Putz 6	Putz 7	Putz 8	Potenziell geruchs- aktiv ^{a)}
Aldehyde/Ketone	19	655	0,7	3	258	7	14	165	✓
(Cyclo)-Alkane/Alkene	20	20	0,2	61	20	9	3	1	–
Alkohole	17	15	2	11	2	–	52	1	–
Amine/Amide	4	0,5	0,6	0,6	0,8	2	–	–	(✓)
Ester	75	19	7	1	–	0,3	2	2	✓
Glykole	1086	538	76	244	194	5	1069	1895	–
Heterocyclen	205	162	0,2	2	406	4	–	21	(✓)
organische Säuren	–	–	0,5	0,2	177	509	–	239	✓
Phenole	2	4	0,6	0,9	–	–	1	–	(✓)
Benzolderivate	–	–	0,7	–	–	–	–	–	–
Phthalate	–	–	–	–	–	–	–	207	–
Silane/Siloxane	361	890	0,8	–	1	–	196	65	–
Terpene	–	–	–	–	–	11	–	–	(✓)

a) abgeschätzt auf der Basis der Geruchsschwellen: ✓ niedrige Geruchsschwellen, in den gegebenen Konzentrationen geruchsaktiv, (✓) niedrige Geruchsschwellen, aber in den gegebenen Konzentrationen nicht geruchsaktiv, – sehr hohe Geruchsschwellen, bzw. nicht geruchsaktiv [14].

3 Ergebnisse

3.1 Empfundene Intensität, Hedonik und Geruchsqualitäten der Putze

Die acht Putzproben wurden auf vier Messzyklen verteilt, d. h. zwei Proben wurden parallel vermessen. Jeder sensorische Prüftag entsprach dem Tag 28 der Emissionsprüfkammeruntersuchung.

Die Putze wurden bei der sensorischen Prüfung „blind“ bewertet, d. h. den Probanden wurde der Geruch aus den Probenahmebeuteln präsentiert, ohne Angabe über die Natur des Materials. Nach dem Riechen der Probe konnten sich die Probanden auf Wunsch einen pi-Vergleichswert am Aceton-Referenzstandard einstellen lassen. Danach gaben sie ihre Bewertungen für die empfundene Intensität an. In einem zweiten Durchgang wurde die hedonische Geruchswirkung bewertet und der Geruchseindruck beschrieben (Tabelle 3). Die jeweils gewählte Anzahl der Testpersonen war ausreichend, da die 90%-Konfidenzintervalle sowohl für die empfundene Intensität als auch für die Hedonik innerhalb der geforderten Genauigkeiten lagen.

Im Messzyklus A wurden zwei Silikonharzputze untersucht, die sich nur in der Körnung unterschieden (2 und 3 mm). Beide Putze wurden mit einer mittleren empfundenen Intensität von 6,3 gleich bewertet, was einer deutlichen Wahrnehmung entsprach. Die Hedonik beider Putze lag mit -1,2 und -1,1 nahezu identisch im unangenehmen Bereich. Sie unterschieden sich jedoch in den Geruchsqualitäten. Putz 1 roch muffig, schweißig. Putz 2 wurde als sauer und kunststoffartig bewertet.

Die beiden Silikatputze des Messzyklus B wurden von zwei verschiedenen Herstellern bezogen. Der Scheibenputz 3 zeigte mit einem Wert von 7,1 pi eine deutlich höhere Intensität als der Kratzputz 4 mit einer sehr schwachen Intensität von 4,3 pi. Dementsprechend lag Putz 3 mit -1,2 im unangenehmen Bereich, während Putz 4 mit einer Hedonik von -0,6 nur leicht unangenehm bewertet wurde. Putz 3 setzte deutliche kunststoff- und gummiartige Gerüche frei. Putz 4 roch schwach fettig, ranzig.

In Messzyklus C wurden zwei Dispersionsputze verschiedener Hersteller untersucht. Die empfundenen Intensitäten

lagen für Putz 5 mit 6,5 pi im deutlich wahrnehmbaren Bereich.

Putz 6 mit 8,6 pi zeigte eine stark wahrnehmbare Intensität. Die hedonische Geruchswirkung von Putz 5 war mit -0,8 schwach unangenehm. Er setzte typische lösungsmittel- und wandfarbenartige Gerüche frei. Putz 6 hingegen roch stechend sauer und wurde mit einer Hedonik von -1,8 als deutlich unangenehm bewertet.

Die beiden Spezialputze des Messzyklus D unterschieden sich sowohl im Material als auch im Hersteller. Putz 7 war ein Silikat-Reibeputz. Putz 8 war ein spezieller Putz auf Silikon-Silikat-Basis. Beide Putze zeigten sehr niedrige empfundene Intensitäten. Putz 8 wies mit 3,2 pi eine schwach wahrnehmbare Intensität auf. Putz 7 zeigte mit 1,8 pi nahezu keine geruchliche Wahrnehmung. Demzufolge war die Hedonik von Putz 7 auch neutral und zeigte unauffällige Geruchsqualitäten. Putz 8 hingegen wurde trotz eines niedrigen mittleren pi-Wertes mit einer hedonischen Wirkung von -1,0 als unangenehm empfunden, da er deutlich saure Gerüche freisetzte.

3.2 Einfluss der VOC auf das geruchliche Potenzial der Putze

Der Fokus der VOC-Analysen lag in diesem Fall nicht auf der gesundheitlichen Bewertung einzelner Substanzen, sondern vielmehr auf dem geruchlichen Potenzial der Stoffgruppen. Die Proben wurden zwar im Einzelnen ausgewertet, die Ergebnisse der Einzelsubstanzen dann zu geruchsrelevanten Stoffgruppen zusammengefasst. Die Summenkonzentrationen der Stoffgruppen sind in Tabelle 4 aufgelistet. Die Konzentrationen wurden gegenüber den in der Literatur beschriebenen Geruchsschwellen ins Verhältnis gesetzt und auf dieser Basis die potenzielle Geruchsaktivität der Substanzen bewertet [14; 15].

Die Gruppe der Aldehyde und Ketone setzte sich überwiegend aus den Substanzen Formaldehyd, Acetaldehyd, Propanal und Aceton zusammen, die alle einen stechenden lösungsmittelartigen Geruch besitzen. Die Geruchsschwellen dieser Substanzen liegen für Acetaldehyd bei $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, für Propanal bei $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, für Formaldehyd bei $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für Aceton bei $20 \text{ mg}/\text{m}^3$. Acetaldehyd und Propanal hatten demzufolge das Potenzial, in den in Tabelle 4

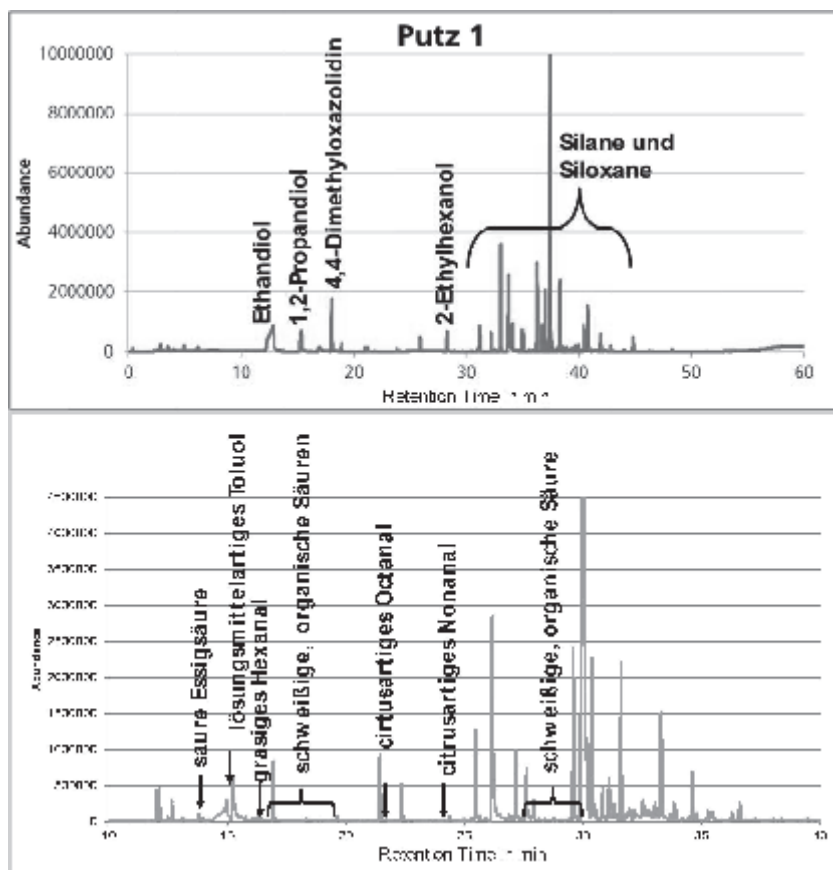


Bild 5. Analysespektren von Putz 1, oben: TIC-Chromatogramm, unten: Sniffing-Chromatogramm.

genannten Konzentrationen geruchsaktiv zu sein, Formaldehyd und Aceton hingegen nicht.

tert.-Butylamin war der wichtigste Vertreter der Stoffgruppe der Amine/Amide. Es besitzt eine hohe Geruchsschwelle von ca. 500 µg/m³. In den gegebenen Konzentrationen war diese Stoffgruppe somit nicht geruchsaktiv.

In der Stoffgruppe der Ester konnte 2-Ethylhexylacetat eindeutig identifiziert werden. Die anderen Ester wurden lediglich als Gruppe längerkettiger Ester spezifiziert, jedoch nicht als Einzelsubstanz. 2-Ethylhexylacetat besitzt eine hohe Geruchsschwelle von 500 µg/m³, war in den gegebenen Konzentrationen also nicht geruchsaktiv. Langkettige Ester, wie es z. B. die fruchtig riechenden Substanzen Ethyldecanoat oder Ethyldodecanoat sind, besitzen hingegen niedrige Geruchsschwellen von 1 bis 2 µg/m³. Somit war die Gruppe der Ester geeignet, potenziell geruchsaktiv zu sein.

Die Gruppe der Heterocyklen bestand überwiegend aus nicht näher identifizierbaren Thiazolin-Verbindungen (stickstoff- und schwefelhaltiger Fünfring), deren Geruchsschwellen von 1 bis 2 000 µg/m³ reichen können. Daher war eine abschließende Bewertung der potenziellen Geruchsaktivität auf der Basis des Verhältnisses der Konzentration zu den Geruchsschwellen nicht möglich.

Bei den organischen Säuren dominierte die Essigsäure. Essigsäure weist eine Geruchsschwelle von 10 bis 20 µg/m³ auf. Die Konzentration der Essigsäure in den Putzen 5, 6 und 8 lag weit über der Geruchsschwelle und konnte somit als potenziell geruchsaktiv eingestuft werden.

In der Gruppe der Phenole wurden vor allem Isomere des Dimethylphenols identifiziert. Die tatsächliche Isomerie war auf diesem Wege nicht bestimmbar. Mögliche Isomere wären 1,2-, 1,3- oder 1,4-Dimethylphenol, sowie die 2-, 3-,

oder 4-Ethylphenole. Diese Phenole weisen Geruchsschwellen zwischen 1 bis 5 µg/m³ auf. Die quantifizierten Konzentrationen lagen ebenfalls in diesem Bereich. Dies bedeutete, dass die Phenole am Rande der Geruchsschwelle lagen.

Terpene wurden nur in Putz 6 identifiziert. Dabei handelte es sich überwiegend um die Substanz Menthol, die eine Geruchsschwelle von ca. 100 µg/m³ besitzt. In den gegebenen Konzentrationen war diese Gruppe nicht geruchsaktiv.

Die einzelnen Substanzen der Stoffgruppen der (cyclischen) Alkane/Alkene, Glykole, Benzole, Phthalate und Silane/Siloxane sind entweder nicht geruchsaktiv oder besitzen sehr hohe Geruchsschwellen (> 10 mg/m³), sodass sie in den gemessenen Konzentrationen nicht zum Geruch beitrugen.

3.3 Identifizierung der geruchsaktiven Verbindungen

Die Analyse der Geruchsstoffe mittels der Methode der Gaschromatographie-Olfaktometrie erlaubte im Gegensatz zur klassischen VOC-Analyse sowohl die apparative Identifizierung von Stoffen mittels Massenspektrometrie, als auch deren geruchliche Qualifizierung. In Bild 5 ist ein Ausschnitt des klassischen VOC-Chromatogramms

(TIC, Total Ion Chromatogram) von Putz 1 im Vergleich zum sensorischen Chromatogramm („Sniffing“-Chromatogramm) dargestellt.

In der klassischen Analyse wurden viele Geruchsstoffe aus zwei wesentlichen Gründen nicht detektiert. Zum einen handelte es sich bei Geruchsstoffen entweder um Spurenkomponenten, die in der Konzentration unterhalb der Detektionsgrenze des Massenspektrometers lagen, deren Geruchsschwellen jedoch so niedrig waren, dass sie von der menschlichen Nase wahrgenommen werden konnten, oder co-eluierende, hoch konzentrierte Substanzen überlagerten die Massenspektren der eigentlichen Geruchsstoffe.

Ein weiterer Grund des Nicht-Detektierens von Geruchsstoffen durch die klassische VOC-Analytik lag im Einsatz der Kapillarsäulen. Üblicherweise werden unpolare Säulen (z. B. 95 % Polydimethylsiloxan + 5 % Polyphenylsiloxan) eingesetzt. Die Chromatographie sehr polarer Verbindungen ist auf einer Säule dieser Polarität jedoch ungenügend. Besonders die langkettigen organischen Säuren, wie Pentansäure oder Hexansäure, wurden nicht erfasst. Um eindeutige Ergebnisse zu erhalten, war der Einsatz von polaren Kapillarsäulen (wie die FFAP-Säule) unabdingbar. In Tabelle 5 sind alle eindeutig identifizierten Geruchsstoffe der acht Putze mit Abschätzung der Intensität aufgelistet.

Die beiden Silikonharzputze 1 und 2 (gleiche Rezeptur, unterschiedliche Körnung) setzten sehr viele organische Säuren mit hoher Intensität frei. In Putz 1 waren dies vor allem Essigsäure und die schweißig riechende Propan-, Pentan- und Octansäure. Putz 2 setzte zudem noch das stechend riechende (E)-2-Butenal und das lösungsmittel- und kunststoffartig riechende 2-Ethylhexanol frei. Dies korrelierte sehr gut mit den wahrgenommenen Geruchsein-

Tabelle 5. Identifizierte Geruchsstoffe der pastösen Putze.

RI-Wert TG5 ^{a)}	RI-Wert FFAP ^{b)}	Geruchsqualität ^{c)}	identifizierte geruchsaktive Verbindung ^{d)}	Geruchsintensität Putz Nr. ^{e)}							
				1	2	3	4	5	6	7	8
500	823	lösungsmittelartig	Aceton	1	1	1	1	2	2	1	1
622	1440	sauer	Essigsäure	3	3	0	3	2	3	2	3
630	927	malzig	3-Methylbutanal	0	2	1	1	0	0	1	0
649	1045	fettig, stechend	(E)-2-Butenal	0	3	0	0	0	0	1	0
692	969	stechend, grün	Pentanal	0	0	0	3	1	0	0	0
728	1530	schweißig, sauer	Propansäure	3	3	0	2	0	2	1	0
769	1030	lackartig	Toluol	1	2	1	1	1	0	1	0
775	1086	plastikartig	1-Hexen-3-on	0	0	3	0	0	0	0	0
801	1079	grasig	Hexanal	1	1	0	2	2	0	0	2
819	1625	schweißig	Buttersäure	2	3	0	0	2	0	0	0
874	1135	lösungsmittelartig	p-Xylol	0	0	3	0	0	0	0	0
900	1230	ranzig	(Z)-4-Heptenal	0	0	0	3	0	0	0	0
906	1200	citrusartig	Heptanal	2	2	1	0	0	1	1	0
911	1729	schweißig	Pentansäure	3	1	0	0	0	2	0	0
962	1320	grün	(E)-2-Heptenal	0	0	0	0	3	0	0	0
1004	1280	citrusartig	Octanal	2	2	0	3	3	3	0	0
1103	1385	citrusartig	Nonanal	2	2	1	1	3	3	1	3
1107	1425	lösungsmittel-, plastikartig	2-Ethylhexanol	0	3	3	0	0	3	0	0
1207	1497	citrusartig, seifig	Decanal	0	0	1	2	0	1	1	0
1004	1839	schweißig, sauer	Hexansäure	2	3	0	1	2	3	2	0
1101	1952	sauer	Heptansäure	2	2	0	2	1	1	0	1
1167	2212	phenolisch, lackartig	4-Ethylphenol	0	0	0	0	0	0	2	0
1188	2059	schweißig, sauer	Octansäure	3	1	0	0	0	0	0	0
1291	2167	schweißig, stechend	Nonansäure	2	2	0	3	0	0	0	0
1382	2269	muffig, schweißig	Decansäure	0	0	0	0	0	1	0	0
1476	2385	muffig, schweißig	Undecansäure	0	0	0	0	0	1	0	0
1574	2500	muffig	Dodecansäure	0	0	0	0	1	1	0	0

a) Retentionsindex auf unpolare TG5-Säule, Berechnung durch Co-Chromatographie einer homologen n-Alkanreihe von C6 (Hexan) bis C18 (Octadecan) und lineare Interpolation.

b) Retentionsindex auf polarer FFAP-Säule, Berechnung durch Co-Chromatographie einer homologen n-Alkanreihe von C6 (Hexan) bis C 26 (Hexacosan) und lineare Interpolation.

c) Geruchsqualitäten wurden am olfaktorischen Detektor durch eine sensorisch trainierte Person bestimmt.

d) Identifikation durch Vergleich mit kommerziell erhältlichen Referenzverbindungen in Übereinstimmung mit Retentionsindizes auf unpolare und polarer Kapillarsäule und/oder Massenspektrum.

e) Intensität wurde am olfaktorischen Detektor bestimmt: „0“ keine Wahrnehmung, „1“ schwach wahrgenommener Geruch, „2“ deutlich wahrgenommener Geruch, „3“ stark wahrgenommener Geruch.

drücken der sensorischen Prüfung. Putz 1 wurde als muffig, schweißig wahrgenommen. Bei Putz 2 wurden neben den sauren Eindrücken auch kunststoffartige Noten genannt. Die beiden Silikatputze 3 und 4 verschiedener Hersteller unterschieden sich sowohl in der sensorischen Prüfung als auch in den identifizierten Geruchsstoffen. Putz 3 wurde als eher unangenehm mit einer mittleren Intensität bewertet. Die Testpersonen beschrieben die Geruchsqualitäten als kunststoff- und gummiartig. Die hierzu identifizierten intensivsten Geruchsstoffe waren die beiden kunststoffartigen Noten 2-Ethylhexanol und 1-Hexen-3-on sowie das lösungsmittelartig riechende p-Xylol. Putz 4 hingegen roch schwächer und setzte fettig ranzige Noten frei. Das Geruchsstoffspektrum der intensivsten Noten setzte sich demzufolge aus dem ranzig riechenden (Z)-4-Heptenal, der Essigsäure, der schweißig riechenden Nonansäure und den beiden zitrusartig bzw. grün riechenden Verbindungen Nonanal und Pentanal zusammen. Die Dispersionsputze 5 und 6 wurden vom Hersteller als emissionsarm und lösungsmittelfrei deklariert. Geruchs-

arm waren diese beiden Putze nicht. Putz 5 zeigte in der sensorischen Prüfung eine deutlich empfundene Intensität und wurde als typisch lösungsmittel- und wandfarbenartig beschrieben. Die identifizierten Geruchsstoffe des Putzes waren daher eher angenehme Noten, wie die beiden zitrusartig riechenden Verbindungen Octanal und Nonanal und das grün riechende (E)-2-Heptenal.

Putz 6 hingegen zeigte die höchste empfundene Intensität aller untersuchten Putze und eine deutlich negative Hedonik. Neben den beiden zitrusartigen Geruchsstoffen Octanal und Nonanal wurden die sauer riechende Essigsäure und die schweißig riechende Hexansäure mit sehr hohen Intensitäten freigesetzt. Daneben wurde auch das lösungsmittel- und kunststoffartig riechende 2-Ethylhexanol mit einer hohen Intensität wahrgenommen.

Die beiden Spezialputze 7 und 8 wurden in der sensorischen Prüfung als geruchsarm beschrieben. Putz 7 zeigte demzufolge auch die niedrigsten Intensitäten aller Putze bei der Geruchsstoffanalyse.

Tabelle 6. Vergleich der Geruchsqualitäten, Geruchsstoffe und VOCs der Putze.

Putz	Geruchsqualitäten der sensorischen Prüfung	wichtigste geruchsaktive Verbindungen	in klassischer VOC-Analyse nachgewiesen
1	muffig, schweißig	Essigsäure Propansäure Pentansäure Octansäure	Nein Nein Nein Nein
2	sauer, plastikartig	Essigsäure (E)-2-Butenal Propansäure Buttersäure 2-Ethyl-1-hexanol Hexansäure	Nein Nein Nein Nein Nein Nein
3	plastik-, gummiartig	1-Hexen-3-on p-Xylol 2-Ethyl-1-hexanol	Nein Ja Nein
4	fettig, ranzig	Essigsäure Pentanal (Z)-4-Heptenal Octanal Nonansäure	Nein Nein Nein Nein Nein
5	lösungsmittel-, wandfarbenartig	(E)-2-Heptenal Octanal Nonanal	Nein Nein Nein
6	sauer, stechend	Essigsäure Octanal Nonanal 2-Ethyl-1-hexanol Hexansäure	Ja Nein Nein Nein Nein
7	unauffällig, schwach modrig	Essigsäure Hexansäure 4-Ethylphenol	Nein Nein Ja
8	deutlich sauer	Essigsäure Nonanal	Ja Nein

Putz 8 wurde trotz niedriger empfundener Intensität mit einer auffallend negativen Hedonik bewertet. Die Testpersonen beschrieben die Geruchsqualitäten als deutlich sauer, stechend und essigähnlich. Die beiden intensivsten Geruchsstoffe waren hier die sehr stark sauer riechende Essigsäure und das stark zitrusartig riechende Nonanal. Obwohl der Putz sonst kaum Geruchsstoffe aufwies, waren diese beiden Geruchsqualitäten so dominant, dass sie den Gesamtgeruch des Putzes deutlich unangenehm erscheinen ließen.

4 Diskussion

4.1 Bewertung der empfundenen Intensität der Putze

Der Silikatputz 3 und der Dispersionsputz 6 zeigten die höchsten empfundenen Intensitäten und wurden somit als die am intensivsten riechenden Putze bewertet. Putz 6 zeigte auch die negativste Hedonik aller Putze und wurde als sehr unangenehm bewertet.

Die am wenigsten intensiv riechenden Putze waren die beiden Spezialputze 7 (Silikatputz) und 8 (Silikon-Silikat-Putz). Putz 7 zeigte eine Intensität von ca. 2 pi und eine neutrale Hedonik. Der Putz konnte somit als unauffällig und geruchsneutral bewertet werden. Putz 8 zeigte zwar eine sehr niedrige Intensität von ca. 3 pi, lag aber in der Hedonik deutlich im unangenehmen Bereich.

Alle untersuchten organisch gebundenen Putze würden die derzeit diskutierten Kriterien für das AgBB-Schema von

9 ± 2 pi (max. 11 pi) einhalten. Gemäß den Vorgaben des Blauen Engels von 5 ± 2 pi (max. 7 pi) würden sechs Putze das Kriterium exakt einhalten (Putze 1, 2, 4 bis 7). Silikatputz 3 wäre durch Abrunden bei 7 pi. Der Dispersionsputz 6 würde das Kriterium des Blauen Engels nicht erfüllen.

4.2 Vergleich VOC- und Geruchsstoff-Analyse

Die einzelnen Substanzen der klassischen VOC-Analyse wurden mit den identifizierten Geruchsstoffen verglichen, um zu erfassen, inwieweit die VOC-Analytik in der Lage war, die tatsächlich geruchsaktiven Verbindungen zu detektieren. **Tabelle 6** gibt einen Überblick über die Geruchsqualitäten der sensorischen Prüfung nach DIN ISO 16000-28 [2], den wichtigsten identifizierten Geruchsstoffe nach den Vorgaben der International Organization of the Flavour Industry (IOFI) [12] und deren Nachweise in der klassischen VOC-Analytik nach DIN ISO 16000-3 und DIN ISO 16000-6 [7; 8].

Bei den Einzelsubstanzen der VOC-Analytik wurden die Aldehyde Acetaldehyd und Propanal sowie die Essigsäure und das 4-Ethylphenol anhand des Verhältnisses aus gemessener Konzentration zur Geruchsschwelle als potenziell geruchlich aktive Substanzen eingeschätzt. In der Geruchsstoffanalyse mittels Gaschromatographie-Olfaktometrie wurden die beiden Aldehyde nicht identifiziert, Essigsäure und 4-Ethylphenol hingegen schon. Alle anderen mittels klassischer VOC-Analyse bestimmten Verbindungen wurden als nicht geruchsaktiv bewertet, da sie ent-

weder von Natur aus nicht rochen, die Geruchsschwellen höher lagen als die gemessenen Konzentrationen oder die Geruchsstoffe bei der vorgegebenen Messmethode der VOC-Analytik nicht erfasst wurden. Vor allem die länger-kettigen organischen Säuren, die ganz entscheidend zur Geruchsentwicklung der Putze beitrugen, wurden hier nicht erfasst.

4.3 Geruchsaktive Verbindungen und deren Einfluss auf den Gesamtgeruch

Die wichtigsten mittels Gaschromatographie-Olfaktometrie identifizierten Geruchsstoffe spiegelten sehr gut den jeweiligen Gesamtgeruch der einzelnen Putze wieder. Der Gesamtgeruch aller Putze wurde hauptsächlich durch organische Säuren bestimmt (z. B. Pentansäure, Hexansäure). Der wichtigste Geruchsstoff war die Essigsäure, die bei allen Putzen bereits in der sensorischen Prüfung durch die geschulten Testpersonen deutlich bis stark wahrgenommen wurde. Da die Geruchsqualitäten der organischen Säuren sauer-schweißige bis muffige Noten aufwiesen, wurden die Putze in der Hedonik tendenziell als eher unangenehm bewertet. Der Silikatputz 7 wurde bestenfalls als neutral bewertet. Deutlich positive Hedonik konnte aufgrund des originären Vorhandenseins von organischen Säuren somit für die Putze von Natur aus nicht erreicht werden.

Die einzelnen Putze emittierten zudem weitere Geruchsstoffe, die ebenfalls im Gesamtgeruch durch die Testpersonen wahrgenommen werden konnten. Die Putze 2 (Sili-

konharzputz), 3 (Silikatputz) und 6 (Dispersionsputz) setzten im Gesamtgeruch kunststoff- und lösungsmittelartige Noten frei. Diese ließen sich bei der olfaktorischen Analyse eindeutig den Geruchsstoffen (E)-2-Butenal, 2-Ethylhexanol, 1-Hexen-3-on und p-Xylol zuordnen. Der Silikatputz 4 wich im Gesamtgeruch deutlich von den anderen Putzen ab. Die Testpersonen bewerteten die wahrgenommenen Geruchsqualitäten als fettig und ranzig. Bei der Geruchsstoffanalyse wurde die ranzig riechende Verbindung (Z)-4-Heptenal als eine der wichtigsten Verbindungen identifiziert.

4.4 Anwendbarkeit der Geruchsbewertungsmethoden

Die sensorische Prüfung der empfundenen Intensität mittels eines geschulten Panels, das in der Lage war, Gerüche objektiv zu bewerten, erwies sich für die sensorische Prüfung der Putze als geeignete Methode zur Bewertung des Geruchs von Bauprodukten. Das Panel bewertete die empfundenen Intensitäten und die Hedonik innerhalb der erforderlichen Genauigkeitsgrenzen und klassifizierte die wesentlichsten Geruchsqualitäten.

Eine anschließend durchgeführte klassische VOC-Analyse ließ keine wesentlichen Rückschlüsse auf die verantwortlichen Geruchsstoffe zu. Erst die Geruchsstoffanalyse mittels Gaschromatographie-Olfaktometrie spiegelte die Wahrnehmung der Testpersonen deutlich wider und klärte die verantwortlichen Geruchsstoffe eindeutig auf.

Literatur

- [1] Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten. Hrsg.: AgBB – Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten. Berlin 2012. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/agbb_bewertungsschema_2012.pdf
- [2] DIN ISO 16000-28: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 28: Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfkammer. Berlin: Beuth 2012.
- [3] Müller, B.; Panaskova, J.; Danielak, M.; Horn, W.; Jann, O.; Müller, D.: Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten – Integration in die Vergabegrundlagen für den Blauen Engel und das Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten. UBA Texte 35/2012. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt 2011.
- [4] Brosig, L.; Horn, W.; Pyza, L.; Jann, O.: Ringversuch zur Einführung der Geruchsmessung nach DIN ISO 16000-28 in die Bewertung von Bauprodukten. UBA Texte 88/2014. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt 2014.
- [5] DIN EN 15824: Festlegungen für Außen- und Innenputze mit organischen Bindemitteln. Berlin: Beuth 2009.
- [6] DIN EN ISO 16000-9: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 9: Bestimmung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen – Emissionsprüfkammer-Verfahren. Berlin: Beuth 2008.
- [7] DIN ISO 16000-6: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID. Berlin: Beuth 2011.
- [8] DIN ISO 16000-3: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern – Probenahme mit einer Pumpe. Berlin: Beuth 2011.
- [9] Wolfensberger, M.; Schnieper, I.: Sniffin' Sticks®: Ein neues Instrument zur Geruchsprüfung im klinischen Alltag. HNO 47 (1999), S. 629-636.
- [10] DIN EN ISO 5492: Sensorische Analyse – Vokabular. Berlin: Beuth 2008.
- [11] Fahlbusch, K.-G.; Hammerschmidt, F.-J.; Panten, J.; Pickenhagen, W.; Schatkowski, D.; Bauer, K.; Garbe, D.; Surburg, H.: Flavors and Fragrances. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH 2003.
- [12] Brevard, H.; Cachet, T.; Chaintreau, A. et al.: Statement on the identification in nature of flavouring substances, made by the Working Group on Methods of Analysis of the International Organization of the Flavour Industry (IOFI). Flavour Frag. J. 21 (2006), S. 185.
- [13] van den Dool, H.; Kratz, P. D.: A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. J. Chromatogr. 11 (1963), S. 463-471.
- [14] van Gemert, L. J.: Compilation of odour threshold values in air, water and other media. Utrecht: Oliemans Punter & Partners BV 2011. www.thresholdcompilation.com/paginas/preview/Odour_Introduction_LR.pdf
- [15] Parker, D. B.; Koziel, J. A.; Cai, L.; Jacobson, L.D.; Akdeniz, N.: Odour and odorous chemical emissions from animal buildings. Part 6. Odor activity value. Trans. Am. Soc. Agricult. Biol. Eng. 55 (2012) Nr. 6, S. 2357-2368.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP**INSTITUTSLEITUNG**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

Institut Stuttgart

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Postfach 800469, 70504 Stuttgart
Telefon +49 711 970-00
info@ibp.fraunhofer.de
www.ibp.fraunhofer.de

Standort Holzkirchen

Fraunhoferstraße 10, 83626 Valley
Postfach 1152, 83601 Holzkirchen
Telefon +49 8024 643-0

Standort Kassel

Gottschalkstraße 28a, 34127 Kassel
Telefon +49 561 804-1870

Standort Nürnberg

c/o Energie Campus Nürnberg
Fürther Straße 250, 90429 Nürnberg

Standort Rosenheim

Fraunhofer-Zentrum Bautechnik
Hochschulstraße 1, 83024 Rosenheim
Telefon +49 8031 805-2683