

**Ermittlung und Bewertung der
VOC-Emissionen aus Fugendichtstoffen
nach der E DIN EN 15651-1
und E DIN EN 15651-2**

T 3276

T 3276

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2012

ISBN 978-3-8167-8722-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Abschlussbericht:
Ermittlung und Bewertung der VOC-Emissionen aus Fu-
genschichtstoffen nach der E DIN EN 15651-1 und E DIN
EN 15651-2

Erstellt im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt)
Geschäftszeichen P 52-5-20.68-1381/11

durch Dr. Heidrun Hofmann
Bremer Umweltinstitut GmbH
Fahrenheitstr. 1
28539 Bremen

März 2012

Inhalt

1	Aufgabenstellung	3
2	Vorgehensweise	4
2.1	Einleitung	4
2.2	Kenntnisstand	4
2.3	Projektdurchführung	5
3	Material und Methoden	6
3.1	Verwendete Fugendichtmassen	6
3.2	Thermoextraktionsuntersuchungen	7
3.2.1	Probenvorbereitung	7
3.2.2	Analytik	7
3.3	Prüfkammeruntersuchungen.....	7
3.3.1	Probenvorbereitung	7
3.3.2	Analytik	7
3.3.3	Kammerbedingungen.....	8
4	Ergebnisse.....	9
4.1	Thermoextraktionsuntersuchungen / Headspace	9
4.2	Prüfkammeruntersuchungen.....	10
5	Diskussion	15
6	Schlussfolgerungen.....	16
7	Zusammenfassung	17
8	Verzeichnisse	18
8.1	Abkürzungen.....	18
8.2	Literatur	18
8.3	Tabellen	20
8.4	Abbildungen.....	20
9	Anhang	21
9.1	Angaben zu den untersuchten Fugendichtstoffen	21
9.2	Ergebnisse der Untersuchungen mittels dynamischer Headspace	24
9.3	Informationen zu den Dichtmassen mit hohen Alkoholsummen im SVOC.....	33
9.4	Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer	35
9.5	Liste der Standardsubstanzen mit den Nachweisgrenzen für Materialproben / Headspace und Luftproben / Thermodesorption.....	53

1 Aufgabenstellung

Im Zusammenhang mit der Umsetzung der Anforderungen des Gesundheitsschutzes an Bauprodukte stellt sich auch die Frage nach dem Emissionsverhalten von Fugendichtstoffen, bei Verwendung in Innenräumen.

Da bisher nur wenige Informationen über das Emissionspotenzial von Fugendichtmassen vorlagen, wurde zunächst eine Literaturstudie erstellt, die darauf abzielte den Stand bisheriger Untersuchungen zu erfassen und auszuwerten (siehe hierzu „Literaturstudie zu VOC-Emissionen aus Fugendichtmassen nach E DIN 15651-1 und E DIN 15651-2“, erstellt im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Förderungsnummer ZP 52-5-20.67-1362/10, Hofmann 2011).

Die im Rahmen dieser Studie ausgewerteten Untersuchungen zeigten, dass neben den spezifischen Emissionen aufgrund der Art der Vernetzung weitere Emissionen durch den Einsatz von Lösungsmitteln und Lösungsvermittlern sowie Verunreinigungen auftraten. Für einige Produkte wurden sogar extrem hohe Emissionspotenziale ermittelt.

Die bisher verfügbaren Ergebnisse wiesen jedoch folgende Mankos auf:

- Sie erfassten nur einen geringen Teil der am Markt befindlichen Systeme.
- Die Untersuchungen wurden aufgrund spezifischer Fragestellungen veranlasst.
- Es wurden überwiegend Verfahren eingesetzt, die nicht den aktuellen Vorgaben entsprechen, so dass die Übertragbarkeit der Ergebnisse nicht gewährleistet ist.

Um die Ergebnisse der Literaturstudie zu vertiefen sollten daher weitere Untersuchungen durchgeführt werden, die auch systembezogene Angaben zum Emissionsverhalten der Fugendichtstoffe ermöglichen sollten.

Ziel dieses Vorhabens war es daher, das Emissionsverhalten ausgewählter Fugendichtmassen mittels Thermoextraktion und Prüfkammer zu untersuchen. Hierbei wurden einerseits bekannte, kritische Emissionen der Silikon- und Acryldichtstoffe einer erneuten Prüfung unterzogen. Andererseits sollten Emissionsdaten für aktuell gängige Systeme wie Dichtstoffe auf der Basis von Polyurethan (PU) oder silanmodifizierten Polymeren (SMP) gewonnen werden, um Kenntnislücken zu schließen.

Die Prüfkammeruntersuchungen wurden nach den aktuellen Prüf- und Bewertungsvorgaben gemäß AgBB/DIBt durchgeführt.

2 Vorgehensweise

2.1 Einleitung

Fugendichtmassen sind technisch anspruchsvolle Produkte mit vielfältigen Anwendungsbereichen in Innenräumen. Der Markt bietet eine große Produktvielfalt in Bezug auf die angebotenen Systeme und Rezepturen. Die Kosten für den Einsatz von Fugendichtstoffen im Innenausbau sind vergleichsweise niedrig. Ein Problembewusstsein in Bezug auf das Emissionspotenzial von Fugendichtstoffen ist eher selten vorhanden, obwohl aus der Praxis bereits Schadensfälle mit gravierenden Folgen bekannt geworden sind und Untersuchungen das hohe Emissionspotenzial von Fugendichtmassen belegen.

Mit dem seit 2009 eingeführten Blauen Engel für emissionsarme Dichtstoffe für den Innenraum (RAL UZ 123) wurden bisher 17 (Stand 3/2012) Produkte ausgezeichnet. Bei Abschluss der Literaturstudie lag die Zahl der ausgezeichneten Produkte noch bei 9 Produkten (Stand 11/2010).

Es ist anzunehmen, dass mit der zunehmenden Dichtigkeit von Gebäuden und dem steigenden Problembewusstsein hinsichtlich gesundheitlich kritischer Emissionen von Bauprodukten auch ein differenzierterer Umgang mit Fugendichtstoffen notwendig sein wird.

2.2 Kenntnisstand

Es handelt sich bei den elastischen Fugendichtstoffen um eine in ihrer Chemie sehr heterogene Produktgruppe. Es besteht wenig Transparenz hinsichtlich des Emissionsverhaltens von Fugendichtmassen und konkrete Ergebnisse zu Emissionsprüfungen sind nur vereinzelt zugänglich. Die verfügbaren Daten sind zum Teil „veraltet“, d.h. sie beruhen auf älteren Bewertungsgrundlagen. Darüber hinaus sind nicht alle Systeme ausreichend erfasst worden. Die Prüfmethoden sind nicht einheitlich, nicht vergleichbar und die Prüfbedingungen der Emissionsprüfungen entsprechen überwiegend nicht den aktuell gültigen Vorgaben (Vorgehen und Bewertung).

Auf der Grundlage der bisherigen Ergebnisse ist daher keine sichere, systematische Zuordnung in weniger oder mehr emittierende Produktgruppen möglich. Es gibt Tendenzen und Zuordnungen hinsichtlich in Frage kommender Stoffe und Stoffgruppen aufgrund der Rezepturen, aber hohe bzw. gesundheitlich relevante Emissionen scheinen bei fast allen der bisher häufiger untersuchten Systeme möglich zu sein. Innerhalb der anhand ihrer Polymerchemie differenzierten und häufiger untersuchten Systeme (Silikone und Acrylate) sind die emissionsrelevanten chemischen Unterschiede so groß, dass keine Systeme mit geringen bzw. gesundheitlich unbedenklichen Emissionen abgegrenzt und aus einer weiteren Prüfung ausgenommen werden können. Bei Dichtstoffen auf SMP-Basis, für die bisher keine Ergebnisse zur Verfügung standen, könnte es sich um einen emissionsärmeren Dichtstoff-Typ handeln.

Mit dem Blauen Engel für emissionsarme Dichtstoffe für den Innenraum (RAL UZ 123) können

- Fugendichtstoffe aus Silikon auf Wasser-, Acetatbasis und neutralvernetzende Silikone
- Fugendichtstoffe auf Acrylatbasis und
- Fugendichtstoffe auf Basis von silanmodifizierten Polymeren (SMP) gekennzeichnet werden.

Oximvernetzende Systeme werden von der Umweltzeichenvergabe ausgeschlossen. In Bezug auf die Frage nach einer möglichen bauaufsichtlichen Inbezugnahme elastischer Fugendichtmassen aus Gründen des Gesundheitsschutzes mit einer damit verbundenen Emissionsprüfung besteht weiterer Prüfbedarf, um bestehende Kenntnislücken zu schließen und bereits vorliegende Hinweise auf kritische Emissionen mit aktuell gültigen Verfahren zu validieren.

2.3 Projektdurchführung

Die Prüfungen sollten sich auf gängige, innenraumrelevante Systeme beschränken. Auf der Grundlage der Literaturstudie sowie neuen Ergebnissen zu Schadensfällen durch Fugendichtmassen in Innenräumen erfolgte eine Vorauswahl der zu prüfenden Produkte. Zudem wurde berücksichtigt, dass möglichst alle als innenraumrelevant bewerteten Systeme vertreten sein sollten.

Es wurden handelsübliche Kartuschen bzw. Beutel der Dichtmassen in Baumärkten, im Fachhandel sowie über Internetbestellungen beschafft. Insgesamt wurden 20 Dichtmassen mittels Thermoextraktion untersucht. Ausgewählt für die Thermoextraktion wurden drei Acrylatdichtstoffe, zwei Polyurethandichtstoffe, 11 Silikondichtstoffe – davon drei acetatvernetzende Systeme, vier oximvernetzende Systeme, ein wässriges System und drei alkoxyvernetzende Systeme – sowie vier Dichtstoffe auf der Basis silanmodifizierter Polymere (SMP).

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Thermoextraktion erfolgte eine Auswahl von neun Produkten für die weiteren Kammerprüfungen bei der ebenfalls die Systemzugehörigkeit der Produkte berücksichtigt wurde. Hierzu erfolgte eine erste Präsentation der Ergebnisse gegenüber der Betreuergruppe am 31.08.2011 in Berlin. Hierbei wurde auf die unterschiedlichen Prüfbedingungen in den verschiedenen Prüfvorschriften hingewiesen. Nach der DIN EN ISO 16000-11 werden Dichtstoffe als flüssiges Produkt definiert. Bei flüssigen Produkten werden die Nutzeranforderungen erst nach einer Übergangsphase z.B. der Aushärtung oder Trocknung erfüllt während feste Produkte die Nutzeranforderungen sofort erfüllen. Weiterhin sieht die DIN die Herstellung eines Prüfstücks in einem inerten Trägermaterial mit 3 mm Tiefe und 10 mm Breite vor. Die Länge richtet sich nach der Prüfkammergröße. Die DIN EN ISO 16000-9 sieht für Dichtungen eine flächenspezifische Belüftung in einem Modellraum in Höhe von $44 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ vor.

Für flüssige Produkte sieht das DIBt in seinen "Grundsätzen zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen" eine Vorkonditionierung von 72 Stunden in einer Prüfkammer unter Kammerbedingungen vor sofern keine speziellen Anforderungen formuliert werden. Nach Beendigung der Vorkonditionierung wird das Prüfstück in die eigentliche Emissionsprüfkammer überführt. Dieser Zeitpunkt wird als Startpunkt der Emissionsprüfung (t_0) angesehen.

Es wurde festgelegt, die weiteren Kammerprüfungen mit einer einheitlichen Vorkonditionierung von 72 Stunden und einer flächenspezifischen Belüftungsrate (Q) von $44 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ durchzuführen. Die Schichtdicke von 3 mm Tiefe bei 10 mm Breite wurde als zu gering bewertet, da in Praxis sehr viel höhere Schichtdicken vorliegen können. Es wurde daher vereinbart, die weiteren Prüfungen mit einer Schichtdicke von 6 mm bei einer Breite von 10 mm durchzuführen.

Nach Abschluss und Auswertung der Kammerprüfungen erfolgte eine weitere Präsentation der Ergebnisse vor der Betreuergruppe am 15.02.2012 in Berlin.

3 Material und Methoden

3.1 Verwendete Fugendichtmassen

In der nachfolgenden Tabelle sind die geprüften Produkte mit ihrer Zuordnung zu den jeweiligen Systemen aufgeführt. Die Zuordnung wurde den Herstellerangaben entnommen. Weitere Herstellerangaben aus den technischen Merkblättern der Produkte können der Tabelle 5 im Anhang entnommen werden.

Tabelle 1: Systemzuordnung der mittels Thermoextraktion und Kammerprüfung untersuchten Proben

Proben- Nummer	Systemzuord- nung	Thermoextraktion	Kammerprüfung
H4870-1	PU	x	x (3 mm und 6 mm Schichtdicke)
H4870-2	H (PU-Hybrid)	x	x
H4870-3	O-S	x	x
H4870-4	O-S	x	x
H4870-5	O-S	x	
H4870-6	M-S	x	x
H4870-7	A	x	
H4870-8	W-S	x	
H4870-9	H	x	
H4870-10	M-S	x	
H4870-11	H	x	x
H4870-12	A-S	x	x
H4870-13	A-S	x	x
H4870-14	O-S	x	
H4870-15	A	x	
H4870-16	A	x	x
H4870-17	PU	x	
H4870-18	M-S	x	
H4870-19	A-S	x	
H4870-20	H	x	

PU: Polyurethandichtstoff

A-S: Silikondichtstoff, acetatvernetzend

M-S: Silikondichtstoff, alkoxyvernetzend

H: SMP Dichtstoff

A: Acrylatdichtstoff

O-S: Silikondichtstoff, oximvernetzend

W: Silikondichtstoff, wässriges System

Für die Kammerprüfungen wurden neun Produkte ausgewählt, davon ein Acrylatdichtstoff, ein Polyurethandichtstoff, fünf Silikondichtstoffe – davon zwei acetatvernetzende Systeme, zwei oximvernetzende Systeme und ein alkoxyvernetzendes System – ein Dichtstoff auf der Basis silanmodifizierter Polymere (SMP) und ein Polyurethanhybriddichtstoff

3.2 Thermoextraktionsuntersuchungen

3.2.1 Probenvorbereitung

Vorbereitung der Prüfmuster: dünner Auftrag auf Glasplatte, 24 h trocknen lassen (Konsistenz gummiartig, nicht mehr klebrig)

3.2.2 Analytik

1. Überführung der Probe in leere Thermodesorptionsröhrchen
2. Thermische Desorption der Röhrchen bei 70 °C
3. Identifizierung und Quantifizierung kapillargaschromatographisch mittels GC-MS

3.3 Prüfkammeruntersuchungen

3.3.1 Probenvorbereitung

1. Herstellung eines Prüfstücks in einem inerten Trägermaterial mit 6 mm Tiefe und 10 mm Breite
2. Vorkonditionierung von 72 Stunden in einer Prüfkammer unter Kammerbedingungen
3. Überführung des Prüfstück in die eigentliche Emissionsprüfkammer, entspricht Startpunkt der Emissionsprüfung (t_0).

Darüber hinaus wurde die Probe H4870-1 in zwei Varianten geprüft: mit 3 mm Schichtdicke und 24 Stunden Vorkonditionierung (Variante A) sowie mit 6 mm Schichtdicke und 72 h Vorkonditionierung (Variante B). Alle weiteren Proben wurden mit 6 mm Schichtdicke und 72 h Vorkonditionierung geprüft.

3.3.2 Analytik

Die Emissionsprüfung erfolgte beziehungsweise auf das AgBB-Prüf- und Bewertungsschema und die DIBt-Grundsätze für die gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten als Kammerprüfung nach DIN EN ISO 16000-9.

Die Entnahme der Kammerluftproben erfolgte in der Regel nach drei und 28 Tagen Emissionsprüfdauer.

Bei der Kammerprüfung der Probe H4870-1 in der Variante A mit 3 mm Schichtdicke und 24 Stunden Vorkonditionierung erfolgten die Kammerluftprobenahmen nach 4, 5, 7, 10, 17 und 28 Tagen Verweilzeit des Prüfstücks in der Kammer, um das Abklingen der Hauptkomponente zu überwachen.

Die Probenahme und Analytik der flüchtigen organischen Verbindungen wurde nach DIN EN ISO 16000-6 ausgeführt. Die Dauer der Probenahme lag bei ca. 10 min, der Volumenstrom betrug 0,2 l/min.

Die Probenahme und Analytik der Aldehyde und Ketone wurde nach DIN EN ISO 16000-3 ausgeführt. Die Dauer der Probenahme lag bei ca. 60 min, der Volumenstrom betrug 1,5 l/min.

Die Parameter Geruch, Methanolemission sowie Prüfungen mit Untergrundvorbereitung (Primer) blieben bei der Prüfung und Bewertung der Fugendichtmassen unberücksichtigt.

3.3.3 Kammerbedingungen

In der Tabelle 2 sind die Prüfkammerparameter für die Kammerprüfungen angegeben. Bis auf eine Prüfung erfolgten die Kammerprüfungen in den Prüfkammern mit einem Kammerluftvolumen von 0,02 m³. Die Kammerprüfung des Prüfmusters H4870-13 erfolgt in einer 0,25 m³ Kammer.

Die Abbildung 1 zeigt exemplarisch das Prüfstück H4870-1 (mit 6 mm Schichtdicke) in der 0,02 m³ Prüfkammer.

Tabelle 2: Prüfkammerparameter

Kammergröße	0,02 m³	0,25 m³
Probenoberfläche	0,001 m ²	0,005 m ²
Kammerluftvolumen	0,02 m ³	0,25 m ³
Temperatur	23,0 °C	23,0 °C
rel. Luftfeuchte	50 %	50 %
Produktbeladung	0,05 m ² /m ³	0,02 m ² /m ³
Luftwechselrate	2,2 h ⁻¹	0,88 h ⁻¹
Flächenspez. Luftwechselrate:	44 m ³ /m ² /h	44 m ³ /m ² /h



Abbildung 1: Prüfstück H4870-1 in der 0,02 m³ Prüfkammer

4 Ergebnisse

4.1 Thermoextraktionsuntersuchungen / Headspace

Die Tabelle 6 im Anhang zeigt die Konzentrationen der oberhalb der Nachweisgrenze mittels Thermoextraktion / Headspace ermittelten flüchtigen organischen Verbindungen.

Die Gesamtemissionen aller untersuchten Fugendichtstoffe waren hoch. Es bestanden jedoch große Unterschiede sowohl zwischen den Produkten als auch innerhalb der Systeme. Die Gesamtemissionen (TVOC-Werte) lagen zwischen 28 mg/kg und 4.090 mg/kg. Die niedrigste Gesamtemission erzielte eine Fugendichtmasse auf der Basis eines MS-Polymers. Die höchste Gesamtemission erreichte eine oximvernetzende Silikondichtmasse.

Die drei geprüften **Acryldichtmassen** wiesen TVOC-Werte in Höhe von 470 mg/kg, 720 mg/kg und 1.600 mg/kg auf. Hohe Emissionen wurden für Alkane, Olefine, Glykolverbindungen und weitere Alkohole erreicht. Aromaten, Terpene und halogenierte Kohlenwasserstoffe wurden nicht nachgewiesen. Bei den nachgewiesenen Glykolverbindungen handelte es sich um Ethylenglykol und 1,2-Propylenglykol. In der als glykolfrei ausgewiesenen Acryldichtmasse (Probe H4870–7) wurde 1,2-Propylenglykol mit 370 mg/kg nachgewiesen.

Acetatvernetzende Silikondichtmassen erreichten Gesamtemissionen in Höhe von 220 mg/kg, 2.960 mg/kg und 3.160 mg/kg. Die Freisetzung von Essigsäure war vergleichsweise niedrig. Sie lag zwischen 1,1 mg/kg und 44,3 mg/kg. Hohe Emissionen wurden für Alkane, Olefine und vor allem weitere Alkohole (Vorschlag der Bibliotheksrecherche, nicht durch Standardsubstanz verifiziert) festgestellt. Die Freisetzung von Siloxanen war niedrig. Von den ermittelten Siloxanen erreichte D5 (Decamethylcyclopentasiloxan) die höchste Konzentration. Auffällige Einzelstoffe wurden nicht ermittelt. Der TVOC der wässrigen Silikondichtmasse lag bei 150 mg/kg. Die höchste Einzelstoffkonzentration erreichte Essigsäure mit 61,2 mg/kg. Weiterhin nachgewiesen wurden in dieser Dichtmasse Isoalkane und Olefine sowie die Einzelverbindungen Dibutylether und 1,2-Propylenglykol.

Die Gesamtemissionen der **alkoxyvernetzenden Silikondichtstoffe** waren innerhalb dieses Systems vergleichsweise ähnlich. Sie lagen bei 210 mg/kg, 260 mg/kg und 350 mg/kg. Es wurden überwiegend Alkane, Olefine und Siloxane ermittelt. Auffällige Einzelstoffe kamen nicht vor.

Alle untersuchten **oximvernetzenden Silikondichtstoffe** erreichten hohe TVOC-Werte. Die Gesamtemissionen lagen bei 1.900 mg/kg, 1.980 mg/kg, 3.140 mg/kg und 4.090 mg/kg. Die Konzentrationen der Oxime waren sehr unterschiedlich. 2-Butanonoxim wurde mit 1,4 mg/kg bis 950 mg/kg nachgewiesen. Methylisobutylketoxim erreichte bei der Probe H4870–14 1.100 mg/kg (Quantifizierung über Toluol). Die entsprechenden Ketone 2-Butanon und MIBK wurden in relativ niedrigen Konzentrationen vorgefunden. Hohe Emissionen erreichten dagegen Alkane (im Bereich der SVOC) sowie Olefine und Siloxane.

Die beiden **PU-Systeme** erreichten TVOC-Werte von 890 mg/kg und 2.170 mg/kg. Auffällig waren hier der Nachweis von Benzaldehyd mit 373 mg/kg und N-Methylbenzamid mit 640 mg/kg. Außerdem wurden weitere Aromaten, Alkane und Olefine in hohen Konzentrationen freigesetzt.

Auch für die Dichtmassen auf Basis **silanmodifizierter Polymere (SMP)** bzw. so genannter Hybridpolymere wurden unterschiedlich hohe TVOC-Werte ermittelt. Zwei Produkte fielen durch vergleichsweise niedrige Emissionen auf. Die TVOC-Werte dieser Produkte lagen bei 28 mg/kg und 40 mg/kg. Dagegen lagen die Gesamtemissionen zweier weiterer Produkte bei 530 mg/kg und 2.320 mg/kg, wobei letzteres nicht eindeutig in diese Systemgruppe fiel, da es sich nach Herstellerangaben um ein PU-Hybridpolymer handelte. Die Emissionen wurden auch hier von Alkanen, Alkoholen und Olefinen bestimmt. Als Einzelstoffe konnten BHT, DMP

und Essigsäure mit 127,2 mg/kg, der höchsten Emission von allen untersuchten Produkten festgestellt werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es sich bei den untersuchten Fugendichtstoffen überwiegend um sehr emissionsstarke Produkte handelte. Neben Emissionen gesundheitlich relevanter Einzelstoffe wie z.B. Benzaldehyd und 2-Butanonoxim traten in hohem Maße Emissionen von Substanzen auf, die außerhalb des substanzspezifisch identifizierten und quantifizierten Stoffumfangs lagen. Hierbei handelte es sich z. B. um weitere Isoalkane, Olefine, Alkohole und Siloxane. Diese Substanzen wurden nicht durch die entsprechende Standardsubstanz verifiziert, sondern mittels Bibliotheksrecherche und Plausibilitätsprüfung zugeordnet. Die Abbildungen im Anhang zeigen exemplarisch für Probe H4870–12 das Auftreten der höheren verzigten Alkohole im hinteren Teil des Chromatogramms.

Als kritisch für die Einhaltung der AgBB-Anforderungen wurden ein hoher TVOC-Wert, hohe Konzentrationen von Einzelstoffen mit niedrigen NIK-Werten und auffällige SVOC-Konzentrationen eingeschätzt.

4.2 Prüfkammeruntersuchungen

Für die anschließenden Prüfkammeruntersuchungen wurden Produkte mit kritischen Emissionen sowie Produkte der eher weniger häufig untersuchten Systeme ausgewählt.

Folgende Produkte wurden in der Prüfkammer getestet:

H4870-16 (Acrylatdichtstoff), H4870-1 (Polyurethandichtstoff), H4870-12 und H4870-13 (acetatvernetzende Silikondichtstoffe), H4870-3 und H4870-4 (oximvernetzende Silikondichtstoffe), H4870-6 (alkoxyvernetzender Silikondichtstoff), H4870-2 und H4870-11 (Hybrid- bzw. MS-Polymer).

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Emissionsprüfung der PU-Dichtmasse H4870–1 (Var. A) in der Prüfkammer. Die Entnahme der Luftproben erfolgte nach 4, 5, 7, 10, 17 und 28 Tagen Kammerprüfdauer.

Die Hauptemission des Produktes stellte die Verbindung Benzaldehyd dar. Der NIK-Wert für Benzaldehyd liegt bei 90 µg/m³. Die Ad-hoc Arbeitsgruppe „Innenraumrichtwerte“ der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden hat 2010 Richtwerte für die Innenraumluft für Benzaldehyd abgeleitet. Der Richtwert I beträgt 20 µg/m³, der Richtwert II 200 µg/m³. In einer Schule lagen drei Monate nach der Anwendung dieses Produktes zur Abdichtung der Fensterfugen (Übergang Rahmen / Wand) die Benzaldehydkonzentrationen in der Raumluft noch oberhalb des Richtwertes II. Die noch klebrige, intensiv nach Marzipan riechende Dichtmasse wurde daraufhin vollständig ausgebaut.

Tabelle 3: Konzentrationen ausgewählter Stoffgruppen und Verbindungen in der Kammerluft zu verschiedenen Zeitpunkten, Probe H4870–1 Variante A (3 mm Schichtdicke, 24 Stunden Vorkonditionierung)

Parameter	H4870-1.1 nach 4 Tagen [µg/m ³]	H4870-1.5 nach 5 Tagen [µg/m ³]	H4870-1.9 nach 7 Tagen [µg/m ³]	H4870-1.13 nach 10 Tagen [µg/m ³]	H4870-1.17 nach 17 Tagen [µg/m ³]	H4870-1.21 nach 28 Tagen [µg/m ³]
Alkane	122	96	57	19	4	n.n.
Weitere Alkane <C9	90	79	49	24	3	n.n.
Weitere Alkane ab C9	670	660	350	203	43	4
Weitere Olefine	146	103	64	27	5	3
Aromaten	253	204	147	62	10	2
Xylole	63	47	28	11	n.n.	n.n.
Weitere Aromaten	75	76	79	41	3	n.n.
Terpene	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Weitere Terpene und Terpenoide	44	25	38	12	n.n.	n.n.
HKWS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Ketone				n.n.	n.n.	n.n.
Ester	n.n.	n.n.	n.n.	13	n.n.	15
Glykolderivate	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Aldehyde				7	2	
Benzaldehyd	1690	1.176	830	476	244	81
Weitere Aldehyde	14	12	-	-	-	-
Alkansäuren	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.
Alkohole	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
Weitere Alkohole	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
D3	n.n.	n.n.	8	8	n.n.	1
D4	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.
D5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Weitere Siloxane	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
TVOC über Toluol	3111	2459	1591	847	287	81

Die Probe H4870–1, Var. A, zeigte in der Kammerprüfung eine hohe Anfangsemission für Benzaldehyd sowie Alkane, Aromaten und Olefine. Das Produkt erreichte innerhalb der untersuchten Systeme den höchsten R-Wert nach 3 Tagen. Nach 28 Tagen lag die Kammerluftkonzentration für Benzaldehyd noch bei 81 µg/m³ (R-Wert 0,9).

Die Probe H4870–1, Var. B (6 mm Schichtdicke, 72 Stunden Vorkonditionierung) erreichte nach drei und 28 Tagen Prüfdauer vergleichbare Kammerluftkonzentrationen. Ein relevanter Einfluss auf das Abklingen der Emissionen durch die höhere Schichtdicke war nicht zu erkennen. In beiden Prüfungen wurden die Anforderungen an die Emissionen von VOC und SVOC nach dem Prüf- und Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) vollständig erfüllt.

Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Kammerluftkonzentrationen für die Parameter TVOC und Benzaldehyd zu unterschiedlichen Probenahmezeitpunkten.

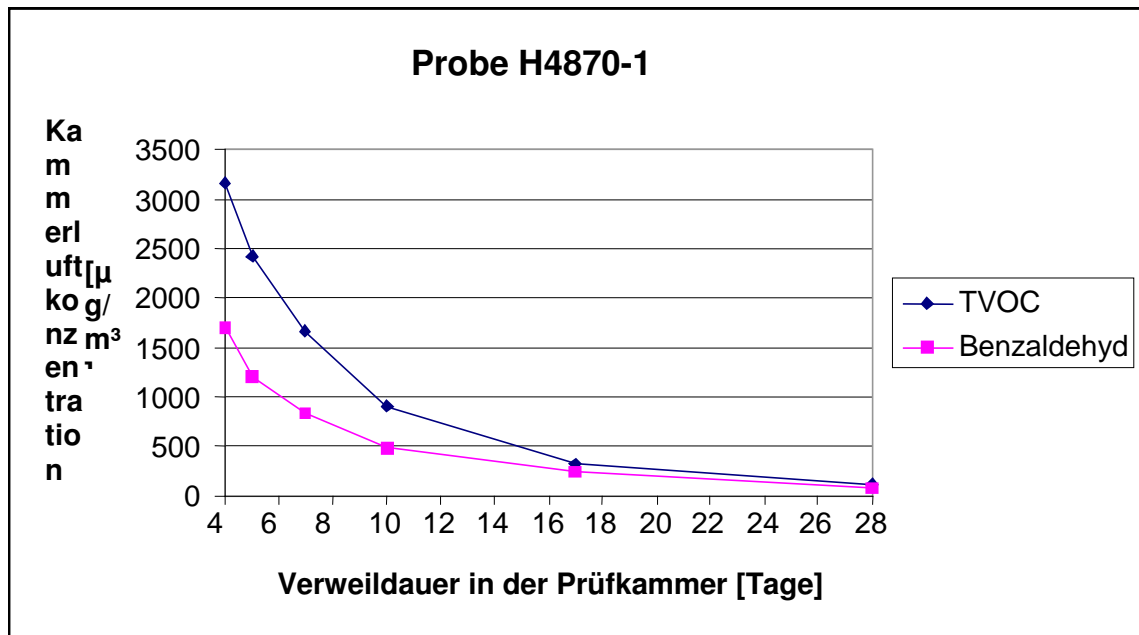


Abbildung 2: Verlauf der TVOC- und Benzaldehydkonzentrationen in der Prüfkammer, Probe H4870–1, Variante A (3 mm Schichtdicke, 24 Stunden Vorkonditionierung)

Bei allen weiteren Kammerprüfungen lagen die Schichtdicken der Prüfmuster einheitlich bei 6 mm. Die Vorkonditionierung betrug 72 Stunden.

Im Anhang (Tabellen 7 bis 15) sind Ergebnisse der Emissionsprüfungen in der Prüfkammer für die in den Kammerluftproben nachgewiesenen Verbindungen (Positivlisten) aufgeführt. Die vollständige Liste der untersuchten Substanzen wird in Tabelle 16 im Anhang angegeben.

Für die oximvernetzenden Systeme war ein schnelles Abklingen der 2-Butanonoximkonzentration in der Kammerluft festzustellen. Das Produkt mit sehr hohen Emissionswerten bei der Thermoextraktion / Headspace erreichte sehr niedrige Konzentrationen in der Prüfkammer (den niedrigsten TVOC-Wert nach 28 Tagen). Dagegen überschritt das Produkt mit der niedrigeren 2-Butanonoximemission bei der Thermoextraktion / Headspace aufgrund des höheren Anteils schwerer flüchtiger Verbindungen die AgBB-Anforderungen.

Niedrige Emissionen in der Prüfkammer erzielten die Acryldichtmasse und die alkoxyvernetzende Silikondichtmasse sowie die Dichtmasse auf SMP-Basis. Dagegen überschritt das PU-Hybridssystem aufgrund der SVOC-Konzentration nach 28 Tagen die AgBB-Anforderungen. Hier wirbt der Hersteller damit, dass das Produkt sich besonders für Schulen, Wohnräume und Kindergärten eignet.

Sehr hohe Emissionen wurden für die beiden acetatvernetzenden Silikondichtstoffe in der Prüfkammer ermittelt. Beide Produkte überschritten nach 28 Tagen die zulässige SVOC-Summe. Das Produkt H4870–13 – ein Acetatvernetzendes Silikon – erzielte bei der Kammerprüfung die höchsten TVOC-Werte nach drei und 28 Tagen, den höchsten SVOC-Wert nach 28 Tagen und den höchsten R-Wert nach 28 Tagen.

Bezugnehmend auf die Auswertung mittels ADAM-Maske werden für die untersuchte Systeme die in der nachfolgenden Tabelle 4 aufgeführten Bewertungsgrößen (Anforderungen nach 3 und nach 28 Tagen) ermittelt. Es wurde die NIK-Liste vom Mai 2010 zu Grunde gelegt.

Tabelle 4: Ergebnisse der Emissionsprüfungen in der Prüfkammer, Bewertungsgrößen: AgBB-Anforderungen nach 3 und nach 28 Tagen

	Schicht- dicke	System	Nach 3 Tagen		Nach 28 Tagen				AgBB- Anforderungen	
			TVOC	Summe Kan- zerogene	TVOC	Summe SVOC	R- Wert	Summe VOC ohne NIK		Summe Kan- zerogene
AgBB-Anfor- derungen			≤ 10 mg/m ³	≤ 0,01 mg/m ³	≤ 1,0 mg/m ³	≤ 0,1 mg/m ³	≤ 1	≤ 0,1 mg/m ³	≤ 0,001 mg/m ³	
H4870-1 Var. A	3 mm	PU	3,166	0	0,081	0	0,900	0	0	erfüllt
H4870-1 Var. B	6 mm	PU	2,900	0	0,127	0	0,922	0	0	erfüllt
H4870-3	6 mm	O-S	0,503	0	0,020	0	0,001	0,013	0	erfüllt
H4870-4	6 mm	O-S	3,760	0	0,236	0,208	0,644	0,035	0	nicht erfüllt
H4870-6	6 mm	M-S	0,226	0	0,102	0,066	0,052	0,039	0	erfüllt
H4870-12	6 mm	A-S	1,908	0	0,969	0,742	0,322	0,083	0	nicht erfüllt
H4870-13	6 mm	A-S	3,834	0	2,390	1,159	1,260	0,056	0	nicht erfüllt
H4870-16	6 mm	A	0,531	0	0,092	0	0,285	0	0	erfüllt
H4870-2	6 mm	H (PU- Hyb.)	2,347	0	0,771	0,200	0,701	0,009	0	nicht erfüllt
H4870-11	6 mm	H	0,516	0	0,136	0	0,167	0,006	0	erfüllt

PU: Polyurethandichtstoff

A-S: Silikondichtstoff, acetatvernetzend

M-S: Silikondichtstoff, alkoxyvernetzend

H: SMP Dichtstoff

A: Acrylatdichtstoff

O-S: Silikondichtstoff, oximvernetzend

W: Silikondichtstoff, wässriges System

Vier der neun geprüften Produkte erfüllten auf der Basis der durchgeführten Emissionsuntersuchungen mittels Prüfkammer die Anforderungen an die Emissionen von VOC und SVOC nach dem Prüf- und Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) nicht. Alle vier Produkte überschritten nach 28 Tagen den zulässigen SVOC-Wert, ein Produkt überschritt darüber hinaus auch den zulässigen TVOC-Wert nach 28 Tagen.

Formaldehyd wurde in der Prüfkammerluft nach drei Tagen und 28 Tagen nicht oberhalb der Nachweisgrenze von $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nachgewiesen.

Die im Rahmen der Prüfkammeruntersuchungen festgestellten Überschreitungen der AgBB-Anforderungen waren nicht auf erhöhte Konzentrationen von Einzelstoffen (mit niedrigen NIK-Werten) zurückzuführen, sondern auf die lang anhaltenden Emissionen schwerer flüchtiger Verbindungen ($\text{SVOC} > C_{16} - C_{22}$) bzw. insgesamt hohen Emission innerhalb des TVOC (C_6 bis C_{16}).

5 Diskussion

Die durchgeführten Untersuchungen erfassten nur eine kleine Auswahl der verschiedenen Fugendichtstoffe, wobei versucht wurde, einen möglichst breiten Querschnitt der angebotenen Systeme zu betrachten, so dass bei der Vielzahl der innenraumrelevanten Systeme nur ein oder zwei Kammerprüfungen pro System durchgeführt werden konnten.

Die Untersuchungsergebnisse der Thermoextraktion mittels Headspace zeigten zum größten Teil sehr hohe Emissionspotenziale der geprüften Fugendichtmassen für Einzelstoffe und Stoffgruppen. Im Vergleich dazu ergab die Prüfkammeruntersuchung trotz kritischer Emissionen gesundheitlich relevanter Einzelstoffe in der Thermoextraktion zumeist ein niedrigeres Prüfergebnis. Die Headspace-Untersuchung mit einem früheren Trocknungsstadium des Fugendichtstoffs und der höheren Extraktionstemperatur weist daher eher auf das generelle Emissionspotenzial des Dichtstoffs hin, welches auch in einer „ungünstigen Anwendungssituation“ im Innenraum entsprechende Belastungen verursachen kann. In der Prüfkammer ist dagegen unter günstigen Aushärtungsbedingungen eine Trocknung der Systeme mit einem relativ schnellen Abklingen der Emissionen zu erwarten. Kritisch für die Einhaltung der AgBB-Anforderungen wirken sich hier insbesondere länger anhaltende Emissionen der schwerer flüchtigen SVOC aus, die in vier Fällen zu einer Überschreitung des Kriteriums „Summe SVOC nach 28 Tagen“ $\leq 0,1 \text{ mg/m}^3$ führten.

Ein Vergleich der Schichtdicken 3 mm und 6 mm mit jeweils 10 mm Fugenbreite ergab für das geprüfte Produkt keine nennenswerten Unterschiede im Bezug auf das Emissionsverhalten. Da in der Praxis sehr viel höhere Schwankungen in den Dicke- und Breiterehältnissen auftreten können und auch mit niedrigeren Temperaturen und geringeren Luftwechselraten während der Trocknung zu rechnen ist, kann die Trocknung deutlich verzögert ablaufen und im ungünstigsten Fall unvollständig bleiben.

Der Auftrag einer Schichtdicke von 3 mm für die Emissionsprüfung wurde als zu gering bewertet. Vor dem Hintergrund der in der Praxis sehr viel höheren Schichtdicken der Produkte sollte mindestens eine Schichtdicke von 6 mm bei 10 mm Fugenbreite vorgesehen werden. Gemäß den technischen Angaben sind die Trocknungszeiten der untersuchten Produkte ähnlich. Sie liegen in der Regel bei ca. 1 mm bis 3 mm innerhalb von 24 Stunden (bei 20 °C bis 23 °C Raumlufttemperatur und 50 % bis 60 % relativer Luftfeuchte), so dass nach der Vorkonditionierung von 72 Stunden eine weitgehende Aushärtung der Dichtmassen angenommen werden kann.

Da das Einbringen von Fugendichtmassen in den Innenraum (Wartung, Erneuerung bei Austausch von Fenstern) während der Gebäudenutzung stattfindet, ist in der Praxis oftmals eine unmittelbare Nutzung der Räume nach der Anwendung der Fugendichtmasse gegeben. Die DIN EN ISO 16000-9 empfiehlt für die Prüfung von Dichtmassen eine flächenspezifische Belüftungsrate (Q) von $44 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Auch der Blaue Engel sieht für Fugendichtstoffe eine flächenspezifische Belüftungsrate (Q) von $44 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ vor. Diesem Ansatz wurde auch in der vorliegenden Studie gefolgt.

Andere Prüf- und Bewertungssysteme sehen deutlich höhere flächenspezifische Belüftungsrate für die Kammerprüfung von Fugendichtmassen vor. Bei einer Umrechnung der vorliegenden Prüfkammerergebnisse auf ein Q von $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ reduzieren sich die Prüfkammerkonzentrationen soweit, dass zwei der neun geprüften Produkte die AgBB-Anforderungen nicht erfüllen würden.

Aufgrund der hohen Variabilität der Anwendung von Fugendichtmassen in Innenräumen sollte das Prüfzenario in der Prüfkammer einen realistischen „worst case“ abbilden.

6 Schlussfolgerungen

Die Produktgruppe „Fugendichtstoffe“ ist sehr heterogen. Es werden sehr unterschiedliche Systeme angeboten mit teilweise hohen Emissionen, die in Bezug auf die Verwendung in Innenräumen kritisch zu bewerten sind.

Anhand von Herstellerangaben und Systemzuordnungen sind nur bedingt Einschätzungen des Emissionsverhaltens möglich. Zum Teil sind die Herstellerangaben sogar falsch oder irreführend.

Zwischen den Systemen sind Einstufungen in eher weniger stark oder möglicherweise stark emittierende Produkte möglich. So waren in der vorliegenden Untersuchung die Emissionen der SMP-Dichtstoffe und der Alkoxy-Silikondichtmassen eher niedrig. Eine Überschreitung der AgBB-Anforderungen ist jedoch auch bei diesen Produktgruppen möglich. Außerdem ist hierbei zu berücksichtigen, dass zum Beispiel Methanol als mögliches Abspaltprodukt, im Rahmen dieser Untersuchungen nicht erfasst wurde, wie es aber z.B. für die Vergabe des Blauen Engels gefordert wird.

Auch aufgrund der geringen Stichprobenzahl ist eine sichere Aussage für die Bewertung eines Dichtstoffsystems als nicht innenraumluftrelevant nicht möglich. Wie auch frühere Untersuchungen bereits gezeigt haben, waren auch innerhalb der Systeme mit eher hohen Emissionen Produkte mit niedrigen Emissionen vertreten und umgekehrt.

Als freiwilliges Instrument für die Bewertung des Emissionsverhaltens steht das Umweltzeichen RAL UZ 123 zur Verfügung.

Headspace Untersuchungen sind nur bedingt dazu geeignet das Emissionsverhalten eines Produktes in der Prüfkammer zu beurteilen.

Dagegen spiegeln die Ergebnisse der Headspace-Untersuchungen teilweise recht gut das Emissionsrisiko wider, dass je nach Anwendungssituation im Innenraum entstehen kann.

Das für Fugendichtmassen vorgesehene Prüfscenario in der Prüfkammer sollte, wie dies bei anderen Produktgruppen ebenfalls angestrebt wird, den „worst case“ abbilden.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden ausgewählte Fugendichtmassen auf ihr Emissionsverhalten hin mittels Thermoextraktion und Prüfkammer untersucht. Die Auswahl der Fugendichtmassen erfolgte unter Bezugnahme auf die in den Entwurfsfassungen der DIN EN 15651-1 und DIN EN 15651-2 genannten Systeme, um möglichst alle innenraumrelevanten Produktgruppen zu erfassen. Berücksichtigt wurden folgende Systeme: Polyurethandichtstoffe, Silikondichtstoffe, silanmodifizierte Polymere und Acrylatdichtstoffe.

Für die Auswahl der Produkte wurden die Ergebnisse der „Literaturstudie zu VOC-Emissionen aus Fugendichtmassen nach E DIN 15651-1 und E DIN 15651-2“ zugrunde gelegt (Hofmann 2011).

Von 20 für die Thermoextraktion ausgewählten Produkten wurden 9 Produkte mittels Prüfkammer untersucht. Die Prüfkammeruntersuchungen erfolgten gemäß DIN EN ISO 16000-9. Für die Durchführung und Auswertung wurden die "DIBt-Grundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen" (Stand Oktober 2010) und die AgBB-Anforderungen (Stand Mai 2010) zugrunde gelegt.

Die Untersuchungen der Fugendichtmassen ergaben sehr heterogene Ergebnisse. Mittels Thermoextraktion wurden innerhalb der verschiedenen Systeme unterschiedlich emissionsstarke Produkte identifiziert. Neben Emissionen gesundheitlich relevanter Einzelstoffe wie Benzaldehyd und 2-Butanonoxim traten in hohem Maße Emissionen von Substanzen auf, die außerhalb des substanzspezifisch identifizierten und quantifizierten Stoffumfangs lagen. Hierbei handelte es sich um Isoalkane, Olefine, Alkohole und Siloxane. Die untersuchten Produkte erreichten mittels Thermoextraktion Gesamtemissionen (TVOC-Werte) zwischen 28 mg/kg und 4.090 mg/kg. Die niedrigste Gesamtemission erzielte eine Fugendichtmasse auf der Basis eines MS-Polymers. Die höchste Gesamtemission mittels Thermoextraktion erreichte eine oximvernetzende Silikondichtmasse.

Vier der neun geprüften Produkte erfüllten auf der Basis der durchgeführten Emissionsuntersuchungen mittels Prüfkammer die Anforderungen an die Emissionen von VOC und SVOC nach dem Prüf- und Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) nicht. Alle vier Produkte überschritten nach 28 Tagen den zulässigen SVOC-Wert, ein Produkt überschritt darüber hinaus auch den zulässigen TVOC-Wert nach 28 Tagen. Produkte, mit Überschreitung der AgBB-Anforderungen fanden sich bei den Oxim- und Acetat-vernetzenden Silikonen sowie den PU-Hybridssystemen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mittels Thermoextraktion Erkenntnisse zum Emissionspotenzial von Fugendichtmassen gewonnen werden können. Die mittels Prüfkammeruntersuchung gewonnen Ergebnisse können allerdings - vermutlich je nach Trocknungsverhalten der Produkte - deutlich von den Ergebnissen der Thermoextraktion abweichen. Abweichungen wurden auch zwischen den Ergebnissen der Prüfkammeruntersuchungen und Praxisfällen festgestellt. Es ist anzunehmen, dass sich die Anwendungsbedingungen wie Breite-Dicken-Verhältnis, Temperatur und Belüftung sehr stark auf das Emissionsverhalten der Produkte auswirken können. So sind z.B. viele Schadensfälle in der Praxis auf Anwendungsfehler, die eine mangelnde Durchtrocknung des Produktes zur Folge haben zurückzuführen.

Es handelt sich bei der Produktgruppe der Fugendichtmassen um eine hinsichtlich ihrer Systeme und Rezepturen sehr heterogene Gruppe mit einer technisch anspruchsvollen Anwendung in Innenräumen. Aufgrund hoher Emissionsraten der Produkte und der Emission spezifischer, innenraumrelevanter Verbindungen werden Innenraumbelastungen prognostiziert und in der Praxis festgestellt.

8 Verzeichnisse

8.1 Abkürzungen

A	Acrylatdichtstoff
AgBB	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten
A-S	Silikondichtstoff, acetatvernetzend
BHT	Butyliertes Hydroxytoluol = 2,6-Ditertiärbutyl-4-methylphenol)
D5	Decamethylcyclopentasiloxan
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DMP	Dimethylphthalat
DNPH	2,4-Dinitrophenylhydrazin
GC-MS	Gaschromatographie mit Massenspektrometrie
H	SMP Dichtstoff
K	Komponentig
MIBK	Methylisobutylketon
M-S	Silikondichtstoff, alkoxyvernetzend
NIK	Niedrigste Interessierende Konzentration
O-S	Silikondichtstoff, oximvernetzend
PU	Polyurethandichtstoff
PU-Hyb.	Polyurethandichtstoff auf Hybridbasis
rLF	relative Luftfeuchtigkeit
SMP	Silyl Modified Polymers = silanmodifizierte Polymere
SVOC	semi volatile organic compounds = Einzelverbindungen im Retentionsbereich > C ₁₆ bis C ₂₂ .
TVOC	total volatile organic compounds = Summe der flüchtigen organischen Verbindungen im Retentionsbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadekan.
VOC	volatile organic compound = flüchtige organische Verbindung
W	Silikondichtstoff, wässriges System (Dispersion)

8.2 Literatur

Ad-hoc Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygienekommission (IRK) des Umweltbundesamtes sowie der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) (2010): Richtwerte für Benzaldehyd in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 53, 636 -640.

AgBB (Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten) (2010): Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aus Bauprodukten (Stand Mai 2010)
http://www.umweltbundesamt.de/produkte/bauprodukte/dokumente/AgBB-Bewertungsschema_2010.pdf

DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) (2008): Grundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen. Stand Oktober 2010
http://www.dibt.de/de/data/Aktuelles_Ref_II_4_6.pdf

DIN EN 15651-1 (2010): Fugendichtstoffe für nicht tragende Anwendungen in Gebäuden und Fußgängerwegen – Teil 1: Fugendichtstoffe für Fassadenelemente

DIN EN 15651-2 (2010): Fugendichtstoffe für nicht tragende Anwendungen in Gebäuden und Fußgängerwegen – Teil 2: Fugendichtstoffe für Verglasungen

DIN EN ISO 16000-11:2006-06: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 11: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Probenahme, Lagerung der Proben und Vorbereitung der Prüfstücke (ISO 16000-11:2006)

DIN EN ISO 16000-9:2008-04: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Emissionsprüfkammer- Verfahren (ISO 16000-9:2006); Deutsche Fassung EN ISO 16000-9:2006

DIN ISO 16000-3:2008-02; Innenraumluftverunreinigungen - Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen; Probenahme mit einer Pumpe (ISO 16000-3:2001)

DIN ISO 16000-6:2004-12: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf TENAX TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID (ISO 16000-6:2004)

E DIN 15651-1 (2007): Fugendichtstoffe im Hochbau -Definitionen, Anforderungen und Bewertung der Konformität. Fugendichtstoffe für Fassaden

E DIN 15651-2 (2007): Fugendichtstoffe im Hochbau -Definitionen, Anforderungen und Bewertung der Konformität. Dichtstoffe für Verglasungen

Hofmann, H. (2011): Literaturstudie zu VOC-Emissionen aus Fugendichtmassen nach E DIN 15651-1 und E DIN 15651-2. erstellt im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Förderungsnummer ZP 52-5-20.67-1362/10

RAL gGmbH (2009): Vergabegrundlage für Umweltzeichen. RAL-UZ 123 Emissionsarme Dichtstoffe für den Innenraum http://www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/produktsuche/produkttyp.php?id=207

Umweltbundesamt Hrsg. (2007): Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an Bauprodukte, Ermittlung und Bewertung der VOC-Emissionen und der geruchlichen Belastungen. UBA Texte 16/07, UFOPLAN-Nr. 202 62 320

Umweltbundesamt Hrsg. (2007): Unbedenkliche Bauprodukte für Umwelt und Gesundheit: Wie viel Prüfaufwand ist notwendig zur Umsetzung der EG-Bauproduktenrichtlinie. UBA Texte 05/07, UFOPLAN-Nr. 202 95 384

8.3 Tabellen

Tabelle 1: Systemzuordnung der mittels Thermoextraktion und Kammerprüfung untersuchten Proben.....	6
Tabelle 2: Prüfkammerparameter.....	8
Tabelle 4: Konzentrationen ausgewählter Stoffgruppen und Verbindungen in der Kammerluft zu verschiedenen Zeitpunkten, Probe H 4870 – 1 Variante A (3 mm Schichtdicke, 24 Stunden Vorkonditionierung)	11
Tabelle 5: Ergebnisse der Emissionsprüfungen in der Prüfkammer, Bewertungsgrößen: AgBB-Anforderungen nach 3 und nach 28 Tagen.....	13
Tabelle 6: Beschreibung und technische Merkmale der geprüften Produkte	21
Tabelle 7: Ergebnisse der Untersuchungen mittels dynamischer Headspace.....	24
Tabelle 8: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H 4870 FM – 1	35
Tabelle 9: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H 4870 FM – 2	37
Tabelle 10: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H 4870 FM – 3	39
Tabelle 11: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H 4870 FM – 4	41
Tabelle 12: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H 4870 FM – 6	43
Tabelle 13: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H 4870 FM – 11.....	45
Tabelle 14: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H 4870 FM – 12.....	47
Tabelle 15: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H 4870 FM – 13.....	49
Tabelle 16: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H 4870 FM – 16.....	51
Tabelle 17: Untersuchungsumfang, VOC-Substanzliste mit Nachweisgrenzen.....	53

8.4 Abbildungen

Abbildung 1: Prüfstück H 4870 FM – 1 in der 0,02 m ³ Prüfkammer.....	8
Abbildung 2: Verlauf der TVOC- und Benzaldehydkonzentrationen in der Prüfkammer, Probe H 4870 – 1, Variante A (3 mm Schichtdicke, 24 Stunden Vorkonditionierung)	12
Abbildung 3: Chromatogramm der Headspace-Probe H 4870 FM-12	34
Abbildung 4: Massenspektrum des „Alkoholbergs“ im hinteren Chromatogrammteil.....	34
Abbildung 5: Prüfstück H 4870 FM – 2 in der 0,02 m ³ Prüfkammer.....	38
Abbildung 6: Prüfstück H 4870 FM – 4 in der 0,02 m ³ Prüfkammer.....	42
Abbildung 7: Prüfstück H 4870 FM – 6 in der 0,02 m ³ Prüfkammer.....	44
Abbildung 8: Prüfstück H 4870 FM – 11 in der 0,02 m ³ Prüfkammer	46
Abbildung 9: Prüfstück H 4870 FM – 12 in der 0,02 m ³ Prüfkammer	48
Abbildung 10: Prüfstück H 4870 FM – 13 in der 0,125 m ³ Prüfkammer	50
Abbildung 11: Prüfstück H 4870 FM – 16 in der 0,02 m ³ Prüfkammer	52

9 Anhang

9.1 Angaben zu den untersuchten Fugendichtstoffen

Tabelle 5: Beschreibung und technische Merkmale der geprüften Produkte

Nummer	Beschreibung	System/Vernetzung	Anwendungsbereiche	Anwendung	Aushärtung	Hinweise
H4870-1	1-komponentiges Polyurethan, feuchtigkeitshärtend	PU	Fugen im Hochbau, die nach DIN 18 540 abgedichtet werden, Anschlussfugen an Fenstern und Türen	Die Fugenbreite sollte zwischen 10 und 40 mm liegen. Ein Breiten/Dicken-Verhältnis von 2:1 ist einzuhalten.	Ca. 2 mm / 24 h bei 23 °C und 50 % rLf	Während der Aushärtung entsteht ein gesundheitlich unbedenklicher, aber intensiver Geruch nach Marzipan. Daher sollten Innenräume nach dem Einbau und vor der Benutzung verstärkt belüftet werden. Für geruchssensible Innenräume wie z.B. Schulen und Kindergärten wird ein geruchsneutrales Produkt des Herstellers empfohlen.
H4870-2	1-komponentiges Silan-terminiertes Polymer auf Basis PU-Hybrid-Technologie, feuchtigkeitshärtend	H	eignet sich besonders für die Abdichtung in Wohnräumen, öffentlichen Gebäuden, Schulen und Kindergärten	Mindestbreite 10 mm. Ein Breiten/Dicken-Verhältnis von 2:1 ist einzuhalten.	Ca. 2 mm / 24 h bei 23 °C und 50 % rLf	
H4870-3	neutral vernetzender RTV-1 Silikon-Dichtstoff (oxim- vernetzend), Fungizid ausgerüstet	O-S	Elastische Verfugungen in Reinräumen, Abdichtung von Lüftungsanlagen	wenn die Schichtstärke >15 mm betragen soll an die Anwendungstechnik wenden	in 24 h bei 23 °C und 50 % rLf 2 mm; in 7 Tagen bei 23 °C und 50 % rLf 7 mm	Während der Verarbeitung und Aushärtung ist für eine gute Belüftung zu sorgen.
H4870-4	neutral vernetzender 1K-Silicon Dichtstoff	O-S	Verglasung, Fugen an Fassadenverkleidungen, Dehnungs- und Anschlussfugen	wenn die Schichtstärke >15 mm betragen soll an die Anwendungstechnik wenden	ca. 2 mm / 24 h bei 23 °C und 50 % rLf	Bei der Aushärtung werden geringe Mengen einer Oximverbindung freigesetzt. Während der Verarbeitung und Aushärtung ist für eine gute Belüftung zu sorgen.
H4870-5	neutral vernetzender 1K-Silicon Dichtstoff	O-S	Fensterverglasung sowie Bau- und Fassadenfugen.			

Nummer	Beschreibung	System/ Vernetzung	Anwendungsbereiche	Anwendung	Aushärtung	Hinweise
H4870-6	Alkoxy-Silicon-Dichtstoff	M-S	Anschluss-, Bewegungs- und Eckfugen Bad, Dusche, WC und Küche	Fugenbreite 5 – 35 mm	2 – 3 mm pro Tag	
H4870-7	Einkomponentige, neutral vernetzende Acryldispersion	A	Anschluss- und Dehnungsfugen im Hochbau, für außen und innen	Minimum: 4 mm, Maximum 25 mm	1 – 2 mm pro Tag	Phthalat- und Glykolfrei
H4870-8	1-K-Polysiloxan (Acetat)	W-S	Abdichtungen in Sanitärräumen, Küchen, Kühlräumen, Containerbau und Luftzirkulationssystemen	Fugenbreite 5 – 30 mm, minimale Tiefe 5 mm, Empfohlene Fugenbreite = 2 x Fugentiefe; (> 6 mm Breite) Fugenbreite = 1 x Fugentiefe (< 6 mm Breite)	ca. 2 mm /24 h	
H4870-9	SMP (Silyl Modified Polymers)	H	Kleb- und Dichtstoff	Fugenbreite maximal 25 mm	ca. 3 mm /24 Stunden bei 23 °C und 50 % rLf	
H4870-10	Silikonkautschuk, neutralvernetzend (Alkoxysystem)	M-S	universell innen und außen einsetzbar	so dass zulässige Gesamtverformung nicht überschritten wird	ca. 2 mm pro Tag	Bei der Verarbeitung verdunsten geringe Mengen Alkohole.
H4870-11	MS-Polymer, Silanmodifizierter Polyether	H	Innen- und Außenbereich, Fugenabdichtung und Verklebung	maximale Fugenbreite 30 mm, bei quadratischen Fugen konstruktive Fugenausbildung entsprechend der Norm DIN 18 540	ca. 2,5 mm pro Tag bei 23 °C und 50 % rLf	
H4870-12	1-komponentiger Dichtstoff auf Silikonkautschukbasis	A-S				
H4870-13		A-S				

Nummer	Beschreibung	System/ Vernetzung	Anwendungsbereiche	Anwendung	Aushärtung	Hinweise
H4870-14	Polydimethylsiloxan mit anorganischen Füllstoffen und Oximosilanvernetzer	0-S				
H4870-15	Acrylat-Dispersion	A	vielfältig einsetzbar		2 mm in 24 Stunden	
H4870-16	wässrige Dispersion auf der Basis von einem Acrylat-Copolymer und mineralischen Füllstoffen	A	Elastoplastische Fugendichtmasse zum Abdichten von Anschlussfugen, für außen und innen	Verbrauch für 1 x 1 cm Fugen angegeben	1 mm pro Tag	
H4870-17	Polyurethan-Silikon-Kombination	PU	Dehnungsbeanspruchte Fugen im Hochbau, Glasversiegelung, Fugen an Fassadenverkleidungen, Anschlussfugen	maximale Fugenbreite 30 mm	ca.1,5 mm / 24 h bei 20 °C und 60 % rLf	
H4870-18	neutralhärtender Einkomponenten-Silikon-Dichtstoff, Alkoxyvernetzend	M-S	Fenster- und Anschlussfugen-Silikon	Mindestfugen für Verglasung (3 x 5 mm bzw. 4 x 5 mm)	nach 1 Tag: 2,5 mm; nach 3 Tagen 4 mm	
H4870-19	Silikonpolymere mit Silanvernetzern	A-S				
H4870-20	MS Polymer	H	Kleb- und Dichtstoff für Maschinen- und Getriebebau		3 mm in 24 Stunden	

9.2 Ergebnisse der Untersuchungen mittels dynamischer Headspace

Tabelle 6: Ergebnisse der Untersuchungen mittels dynamischer Headspace

System	PU		M-S		
	H4870-1 [mg/kg]	H4870-17 [mg/kg]	H4870-6 [mg/kg]	H4870-10 [mg/kg]	H4870-18 [mg/kg]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)					
n-Oktan	0,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
n-Nonan	8,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
n-Dekan	44,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
n-Undekan	17,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
n-Dodekan	0,1	0,5	1,0	0,4	n.n.
n-Tridekan	n.n.	n.n.	0,1	0,1	n.n.
n-Tetradekan	0,1	0,6	4,6	0,7	n.n.
n-Pentadekan	0,1	0,1	5,0	0,1	0,7
n-Hexadekan	n.n.	0,8	19,0	0,6	1,9
n-Heptadekan >#	0,1	1,0	16,8	0,3	2,0
n-Oktadekan >#	n.n.	0,7	23,4	0,7	2,3
n-Nonadekan >#	n.n.	0,7	10,7	1,2	3,8
n-Eicosan >#	n.n.	0,4	7,8	1,3	3,3
n-Heneicosan >#	n.n.	0,3	3,4	0,8	1,4
n-Docosan >#	n.n.	0,3	0,8	0,3	0,5
Cycloalkane					
Methylcyclohexan	0,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
trans-Decalin	8,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Alkene, Olefine					
1-Okten	n.n.	0,1	n.n.	n.n.	n.n.
Aromaten					
Toluol	0,2	3,1	n.n.	n.n.	n.n.
Ethylbenzol	9,5	0,9	n.n.	n.n.	n.n.
m,p-Xylol (1,3/1,4-Dimethylbenzol)	36,2	4,1	n.n.	n.n.	n.n.
o-Xylol (1,2-Dimethylbenzol)	19,9	0,8	n.n.	n.n.	n.n.
Styrol (Vinylbenzol)	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
n-Propylbenzol	8,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
iso-Propylbenzol (Cumol)	4,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
1,2,3-Trimethylbenzol	14,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
1,2,4-Trimethylbenzol	24,1	0,1	n.n.	n.n.	n.n.
1,3,5-Trimethylbenzol	12,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2-Ethyltoluol	9,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
3-Ethyltoluol	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
4-Ethyltoluol	2,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2-Cymol	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
3-Cymol	5,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
4-Cymol	2,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
n-Butylbenzol	12,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
1,2,3,5-Tetramethylbenzol	6,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
1,2,4,5-Tetramethylbenzol	4,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Indan	16,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Naphthalin	0,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Di-Isopropyl-Naphthaline >#	0,1	n.n.	n.n.	0,1	n.n.
Terpene					
a-Pinen	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Halogenierte Kohlenwasserstoffe					
1,2-Dichlorethan	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Ketone					
Aceton #<*	n.n.	22,7	n.n.	n.n.	0,5
MIBK (Methylisobutylketon)	n.n.	0,7	n.n.	n.n.	0,1

System Parameter	PU		M-S		
	H4870-1 [mg/kg]	H4870-17 [mg/kg]	H4870-6 [mg/kg]	H4870-10 [mg/kg]	H4870-18 [mg/kg]
Acetophenon	n.n.	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
Ether					
Dibutylether	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,1
Ester und Lactone					
DMP (Dimethylphthalat)	n.n.	n.n.	n.n.	0,3	n.n.
DEP (Diethylphthalat) >#	n.n.	n.n.	n.n.	0,1	n.n.
DIBP (Diisobutylphthalat) >#	n.n.	n.n.	n.n.	1,2	n.n.
DBP (Dibutylphthalat) >#	n.n.	3,9	n.n.	0,4	2,3
Glykolderivate					
EGMB (Ethylenglykolmono-n-butylether)	n.n.	3,3	n.n.	n.n.	n.n.
Aldehyde					
n-Hexanal	0,2	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
n-Nonanal	n.n.	2,7	n.n.	0,4	n.n.
n-Decanal	n.n.	n.n.	0,3	0,7	n.n.
Benzaldehyd	373,3	0,5	n.n.	n.n.	n.n.
Alkansäuren					
Ethansäure (Essigsäure)	n.n.	3,9	n.n.	3,5	5,3
n-Heptansäure	n.n.	7,4	n.n.	n.n.	n.n.
n-Oktansäure (Caprylsäure)	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Alkohole					
n-Propanol #<	n.n.	n.n.	n.n.	6,3	n.n.
2-Propanol #<	n.n.	13,9	n.n.	n.n.	n.n.
Phenol	n.n.	0,1	n.n.	n.n.	n.n.
BHT (Butyliertes Hydroxytoluol = 2,6-Ditertiärbutyl-4-methylphenol)	4,1	n.n.	n.n.	0,1	n.n.
Sonstige polare Verbindungen					
2-Methylpyrrolidon	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
D4 (Octamethylcyclotetrasiloxan)	n.n.	0,2	0,3	7,3	n.n.
D5 (Decamethylcyclopentasiloxan)	n.n.	1,9	13,5	45,1	2,6
TVOC	ca. 2.170	ca. 890	ca. 350	ca. 210	ca. 260
TVOC über Toluol	ca. 2.310	ca. 870	ca. 450	ca. 230	ca. 250
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC					
2-Methylmorpholin	-	-	0,3	-	-
3,3-Dimethylol-2-butanon	-	2,0	-	-	-
Benzamid	-	-	-	-	0,1
Cyclohexylisothiocyanat	-	0,3	-	-	-
Ethylacetoacetat	-	28,5	-	-	-
Isophorondiisocyanat (Summe)	5,6	-	-	-	-
MIBK-Oxim	-	-	-	-	0,3
N-Methylbenzamid	-	640	-	-	180
NN-Dimethylbenzamid	-	0,1	-	-	-
Phthalid	2,4	-	-	-	-
Σ Dimethylindane	0,1	-	-	-	-
Σ Methylindane	3,8	-	-	-	-
Σ ungesättigte Aldehyde	-	0,1	-	-	-
Σ weitere Acetylverbindungen	-	74	-	-	1,6
Σ weitere Aliphaten <C9	83	-	-	-	0,1
Σ weitere Aliphaten >C9	890	14	77	0,9	5,8
Σ weitere Alkohole	-	14	-	0,1	-
Σ weitere Alkylbenzole C10-C12	200	-	-	-	-
Σ weitere Aromaten	-	0,2	-	-	-
Σ weitere Fettsäurealkylester	-	3,2	-	-	-
Σ weitere gesättigte Ketone	15	1,3	-	-	-
Σ weitere Olefine	250	0,1	120	0,5	0,3
Σ weitere Siloxane	32	61	89	140	54
Σ weitere Terpene &Terpenoide	30	-	12	-	-

System	PU		M-S		
	H4870-1 [mg/kg]	H4870-17 [mg/kg]	H4870-6 [mg/kg]	H4870-10 [mg/kg]	H4870-18 [mg/kg]
Triacetin	-	5,2	-	-	-
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC					
Bis(2-ethylhexyl)adipat	2,8	-	-	-	-
Ethanol	-	6,8	26,3	-	-
Σ Alkohole	-	-	-	-	14
Σ Butanisomere	-	-	-	0,1	-
Σ Fettsäurealkylester	-	0,4	2,4	0,5	0,6
Σ Isoalkane	0,2	2,5	600	3,0	7,7
Σ Olefine	0,2	1,7	960	0,1	1,6
Σ Siloxane	-	19	34	21	23
Σ Terpene &Terpenoide	-	0,4	-	-	-
Σ weitere Dialkylether	-	-	-	2,6	-

System	H			
	H4870-2 [mg/kg]	H4870-9 [mg/kg]	H4870-11 [mg/kg]	H4870-20 [mg/kg]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)				
n-Dekan	n.n.	n.n.	0,1	n.n.
n-Undekan	n.n.	n.n.	0,5	n.n.
n-Dodekan	n.n.	n.n.	1,8	0,2
n-Tridekan	0,3	n.n.	0,7	n.n.
n-Tetradekan	0,4	0,6	1,5	0,3
n-Pentadekan	2,2	0,1	3,2	0,5
n-Hexadekan	2,9	0,5	6,1	1,8
n-Heptadekan >#	n.n.	0,4	7,8	1,5
n-Oktadekan >#	n.n.	0,6	5,9	1,7
n-Nonadekan >#	n.n.	0,9	5,2	3,0
n-Eicosan >#	2,8	0,8	2,1	3,8
n-Heneicosan >#	2,1	1,0	0,4	2,3
n-Docosan >#	0,8	0,2	0,2	0,7
Cycloalkane				
Cyclohexan	0,1	n.n.	0,1	n.n.
Alkene, Olefine				
1-Decen	0,3	n.n.	n.n.	n.n.
Aromaten				
Ethylbenzol	3,9	n.n.	n.n.	n.n.
m,p-Xylol (1,3/1,4-Dimethylbenzol)	14,9	n.n.	n.n.	n.n.
o-Xylol (1,2-Dimethylbenzol)	5,4	n.n.	n.n.	n.n.
Terpene				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Halogenierte Kohlenwasserstoffe				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Ketone				
Aceton #<*	n.n.	7,4	0,3	1,8
2-Butanon (Ethylmethylketon)* ¹	n.n.	0,2	n.n.	n.n.
MIBK (Methylisobutylketon)	n.n.	n.n.	0,3	n.n.
Acetophenon	n.n.	0,1	n.n.	n.n.
Ether				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Ester und Lactone				
Ethylacetat (Essigsäureethylester) #<	n.n.	n.n.	0,4	n.n.
Methylacrylat	0,4	n.n.	n.n.	n.n.
DMP (Dimethylphthalat)	6,2	n.n.	0,4	4,5

System	H			
Parameter	H4870-2 [mg/kg]	H4870-9 [mg/kg]	H4870-11 [mg/kg]	H4870-20 [mg/kg]
Glykolderivate	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Aldehyde	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Alkansäuren				
Ethansäure (Essigsäure)	n.n.	n.n.	127,2	n.n.
Alkohole				
n-Butanol	n.n.	n.n.	0,1	n.n.
Phenol	1,2	1,4	n.n.	n.n.
BHT (Butyliertes Hydroxytoluol = 2,6-Ditertiärbutyl-4-methylphenol)	n.n.	29,0	n.n.	n.n.
Sonstige polare Verbindungen				
2-Butanonoxim	12,2	n.n.	n.n.	n.n.
2-Methylpyrrolidon	0,8	n.n.	n.n.	n.n.
D4 (Octamethylcyclotetrasiloxan)	0,1	n.n.	n.n.	n.n.
D5 (Decamethylcyclopentasiloxan)	0,4	n.n.	0,3	n.n.
TVOC	ca. 2.320	ca. 40	ca. 530	ca. 28
TVOC über Toluol	ca. 2.360	ca. 49	ca. 470	ca. 32
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC				
2-Ethylhexansäureethylester	21	-	-	-
2-Ethylhexansäuremethylester	130	-	-	-
2,2,6,6-Tetramethylpiperidin-4-ol	-	3,0	1,4	-
Methylbenzoat	-	-	0,3	-
MIBK-Oxim	-	-	14	-
N-Methylbenzamid	-	-	-	1,9
Phthalid	5,2	-	-	-
Σ aliphatische Amine	240	-	-	-
Σ Alkyltetrahydrofurane	0,1	-	-	-
Σ Dimethyldioxane	0,7	-	-	-
Σ ungesättigte Ketone	-	0,1	-	-
Σ weitere Aliphaten <C9	18	-	-	-
Σ weitere Aliphaten >C9	560	-	80	-
Σ weitere Alkohole	710	-	210	-
Σ weitere Alkylbenzole C10-C12	0,3	-	-	-
Σ weitere Aromaten	0,2	2,4	-	0,1
Σ weitere Fettsäurealkylester	1,7	1,1	0,4	-
Σ weitere Olefine	590	0,7	12	15
Σ weitere Siloxane	0,5	0,2	72	0,8
Σ weitere Terpene &Terpenoide	4,3	0,5	-	-
Triacetin	-	-	-	2,4
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC				
Ethanol	13	-	-	-
Dimethylsebacat	-	-	-	4,4
Σ Alkohole	-	-	-	3,1
Σ Alkylcycloalkane	160	-	-	-
Σ Fettsäurealkylester	-	2,0	0,2	1,4
Σ Isoalkane	830	3,1	61	22
Σ Olefine	100	0,7	62	2,1
Σ Siloxane	-	0,2	-	5,1
Σ weitere Dialkylether	-	2,5	-	-
Triethylenglykol-bis-2-ethylhexansäureester	11	-	-	-

System	O-S			
	H4870-3 [mg/kg]	H4870-4 [mg/kg]	H4870-5 [mg/kg]	H4870-14 [mg/kg]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)				
n-Dekan	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
n-Undekan	3,3	0,5	0,1	0,5
n-Dodekan	18,3	23,2	3,2	1,7
n-Tridekan	18,1	23,0	5,0	1,6
2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan	n.n.	n.n.	1,2	n.n.
n-Tetradekan	4,5	8,2	10,8	7,5
n-Pentadekan	0,2	8,1	26,9	4,3
n-Hexadekan	0,4	25,7	33,2	14,3
n-Heptadekan >#	0,6	32,1	28,9	13,8
n-Oktadekan >#	0,7	31,9	18,2	8,8
n-Nonadekan >#	0,4	25,7	4,0	5,8
n-Eicosan >#	0,3	23,9	1,6	4,0
n-Heneicosan >#	0,3	8,9	0,3	1,3
n-Docosan >#	n.n.	2,6	0,1	0,5
Cycloalkane				
trans-Decalin	1,8	n.n.	n.n.	n.n.
Alkene, Olefine				
1-Decen	n.n.	0,1	n.n.	n.n.
4-Phenylcyclohexen	n.n.	n.n.	n.n.	0,1
Aromaten				
Toluol	n.n.	0,2	n.n.	n.n.
m,p-Xylol (1,3/1,4-Dimethylbenzol)	n.n.	0,1	n.n.	n.n.
Terpene				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Halogenierte Kohlenwasserstoffe				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Ketone				
2-Butanon (Ethylmethylketon)	13,1	2,2	n.n.	n.n.
MIBK (Methylisobutylketon)	n.n.	n.n.	n.n.	5,6
Acetophenon	n.n.	n.n.	n.n.	0,5
Ether				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Ester und Lactone				
Methylacrylat	0,1	n.n.	n.n.	n.n.
Glykolderivate				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Aldehyde				
n-Hexanal	n.n.	n.n.	n.n.	0,2
Alkansäuren				
Ethansäure (Essigsäure)	n.n.	n.n.	n.n.	7,1
2-Ethylhexansäure	n.n.	n.n.	n.n.	0,5
Alkohole				
n-Propanol #<	n.n.	n.n.	0,1	n.n.
Sonstige polare Verbindungen				
2-Butanonoxim	950	92	2,9	1,4
D3 (Hexamethylcyclotrisiloxan)	18,2	n.n.	0,6	n.n.
D4 (Octamethylcyclotetrasiloxan)	14,7	1,3	16,6	7,5
D5 (Decamethylcyclopentasiloxan)	26,4	32,4	51,4	34,1
TVOC	ca. 4.090	ca. 3.140	ca. 1.980	ca. 1.900
TVOC über Toluol	ca. 3.730	ca. 3.280	ca. 2.150	ca. 2.000

System	O-S			
Parameter	H4870-3 [mg/kg]	H4870-4 [mg/kg]	H4870-5 [mg/kg]	H4870-14 [mg/kg]
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC				
2-Ethylhexansäureethylester	-	0,8	-	-
2-Ethylhexansäuremethylester	-	4,7	0,2	-
Acetonoxim	0,1	-	-	-
MIBK-Oxim	-	0,1	-	1.100
Σ Alkylmethylimine	-	-	-	5,7
Σ Acrylcarbonsäureamide	-	-	-	0,7
Σ N-Heterocyclus	0,4	-	-	54
Σ weitere Aliphaten >C9	2.700	2.300	900	390
Σ weitere Alkohole	-	-	-	120
Σ weitere Fettsäurealkylester	-	96	-	-
Σ weitere gesättigte Ketone	6,8	0,3	-	-
Σ weitere Olefine	25	330	650	6,8
Σ weitere Siloxane	210	50	260	130
Σ weitere Terpene &Terpenoide	53	63	22	7,2
Triethoxymethylsilan	-	-	-	0,3
Triethylamin	0,1	-	-	-
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC				
Bis(2-ethylhexyl)adipat	-	-	0,1	-
Ethanol	22	19	-	15
Σ aliphatische Amine	0,2	-	-	-
Σ Alkohole	-	-	-	390
Σ Isoalkane	7,0	350	480	340
Σ Olefine	0,8	3.100	2.800	2,0
Σ Siloxane	23	75	28	-

System	A			W-S
	H4870-7 [mg/kg]	H4870-15 [mg/kg]	H4870-16 [mg/kg]	H4870-8 [mg/kg]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)				
n-Undekan	n.n.	n.n.	0,1	n.n.
n-Dodekan	n.n.	0,4	0,1	0,4
n-Tridekan	n.n.	0,8	0,8	0,1
n-Tetradekan	n.n.	2,9	7,6	0,2
n-Pentadekan	1,1	13,9	15,2	0,2
n-Hexadekan	0,9	14,0	22,5	0,4
n-Heptadekan >#	0,4	13,2	15,3	1,4
n-Oktadekan >#	n.n.	6,1	4,5	2,3
n-Nonadekan >#	n.n.	5,5	4,9	3,2
n-Eicosan >#	n.n.	5,1	1,0	1,9
n-Heneicosan >#	n.n.	1,3	0,3	0,7
n-Docosan >#	n.n.	1,6	0,2	0,5
Cycloalkane				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Alkene, Olefine				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Aromaten				
Ethylbenzol	0,1	n.n.	0,1	0,3
n-Propylbenzol	n.n.	n.n.	n.n.	0,2
iso-Propylbenzol (Cumol)	n.n.	n.n.	n.n.	0,2
Terpene				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Halogenierte Kohlenwasserstoffe				
	n.n.	n.n.	n.n.	0,1
Ketone				
Aceton # <*	n.n.	0,1	n.n.	7,4
MIBK (Methylisobutylketon)	n.n.	0,3	0,3	n.n.
Acetophenon	n.n.	n.n.	0,1	1,6
Ether				
Dibutylether	15,5	8,5	10,6	12,6
Ester und Lactone				
n-Butylacetat	1,7	n.n.	0,2	4,0
n-Butylacrylat	2,2	0,4	1,2	0,1
Glykolderivate				
Ethylenglykol	n.n.	0,8	214,1	n.n.
1,2-PG (1,2-Propylenglykol)	370	n.n.	12,5	18,3
DPGMM (Dipropylenglykolmonomethylether)	0,1	n.n.	n.n.	n.n.
1,2-PGMM (1,2-Propylenglykolmonomethyletheracetat)	n.n.	0,1	0,1	n.n.
Aldehyde				
n-Nonanal	n.n.	n.n.	0,3	n.n.
n-Decanal	n.n.	n.n.	0,3	n.n.
Benzaldehyd	0,3	n.n.	0,1	0,8
Alkansäuren				
Ethansäure (Essigsäure)	n.n.	6,9	49,5	61,2
Propansäure (Propionsäure)	n.n.	n.n.	n.n.	0,1
n-Butansäure (Buttersäure)	n.n.	n.n.	n.n.	0,1
Alkohole				
n-Butanol	1,7	n.n.	n.n.	4,0
2-Ethylhexanol	n.n.	n.n.	n.n.	0,7
Phenol	0,1	n.n.	n.n.	0,1

System	A			W-S
Parameter	H4870-7 [mg/kg]	H4870-15 [mg/kg]	H4870-16 [mg/kg]	H4870-8 [mg/kg]
Sonstige polare Verbindungen				
D5 (Decamethylcyclopentasiloxan)	n.n.	0,7	2,5	n.n.
TVOC	ca. 470	ca. 720	ca. 1.600	ca. 150
TVOC über Toluol	ca. 300	ca. 820	ca. 1.700	ca. 76
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC				
Biphenyl	3,8	-	-	-
CIT	-	-	0,2	-
Methylbenzoat	0,6	-	-	-
MIBK-Oxim	-	4,0	4,7	-
MIT	1,3	-	0,6	0,3
Σ Acrylcarbonsäureamide	-	-	0,5	-
Σ weitere Aliphaten >C9	47,1	390	560	1,7
Σ weitere Alkohole	-	100	380	-
Σ weitere Aromaten	0,6	-	-	-
Σ weitere Fettsäurealkylester	1,3	0,6	1,5	8,5
Σ weitere gesättigte Aldehyde	0,1	-	-	-
Σ weitere gesättigte Ketone	0,2	-	-	1,5
Σ weitere Olefine	21,6	180	89	18,6
Σ weitere Siloxane	-	-	17	-
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC				
Ethanol	-	-	26	-
Σ Alkohole	-	760	-	-
Σ Fettsäurealkylester	-	-	2,4	-
Σ Isoalkane	3,0	280	600	12,3
Σ Olefine	24	150	960	16,7
Σ Siloxane	-	-	34	1,0

System	A-S		
	H4870-12 [mg/kg]	H4870-13 [mg/kg]	H4870-19 [mg/kg]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)			
n-Hexan	0,7	0,3	n.n.
n-Heptan	n.n.	n.n.	0,1
n-Dekan	0,2	0,2	n.n.
2,2,4,6,6-Pentamethylheptan	n.n.	0,1	n.n.
n-Undekan	1,3	n.n.	n.n.
n-Dodekan	10,7	4,5	0,6
n-Tridekan	25,2	15,8	0,3
2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan	5,2	3,6	n.n.
n-Tetradekan	44,1	33,6	4,2
n-Pentadekan	32,9	33,6	1,8
n-Hexadekan	66,4	25,4	12,3
n-Heptadekan >#	55,3	30,7	16,2
n-Oktadekan >#	16,5	11,5	8,5
n-Nonadekan >#	10,7	7,9	6,4
n-Eicosan >#	3,9	2,8	6,5
n-Heneicosan >#	0,7	0,6	2,6
n-Docosan >#	0,1	0,2	1,0
Cycloalkane			
Cyclohexan	0,2	0,2	n.n.
Alkene, Olefine			
	n.n.	n.n.	n.n.
Aromaten			
	n.n.	n.n.	n.n.
Terpene			
	n.n.	n.n.	n.n.
Halogenierte Kohlenwasserstoffe			
	n.n.	n.n.	n.n.
Ketone			
Aceton #<*	0,2	n.n.	n.n.
MIBK (Methylisobutylketon)	0,2	0,1	0,1
Ether			
Dibutylether	n.n.	n.n.	0,1
Ester und Lactone			
	n.n.	n.n.	n.n.
Glykolderivate			
	n.n.	n.n.	n.n.
Aldehyde			
n-Hexanal	0,1	n.n.	n.n.
n-Heptanal	0,1	n.n.	n.n.
n-Oktanal	0,1	n.n.	n.n.
n-Nonanal	n.n.	0,5	n.n.
Alkansäuren			
Ethansäure (Essigsäure)	3,9	44,3	1,1
Alkohole			
n-Butanol	0,2	0,2	n.n.
Sonstige polare Verbindungen			
D4 (Octamethylcyclotetrasiloxan)	5,0	12,4	n.n.
D5 (Decamethylcyclopentasiloxan)	43,1	104,6	1,8
TVOC	ca. 3.160	ca. 2.960	ca. 220
TVOC über Toluol	ca. 3.290	ca. 3.500	ca. 280

System Parameter	A-S		
	H4870-12 [mg/kg]	H4870-13 [mg/kg]	H4870-19 [mg/kg]
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC			
MIBK-Oxim	1,2	0,7	2,8
N-Methylbenzamid	-	-	38
Σ Acrylcarbonsäureamide	-	30,6	0,7
Σ Alkylphosphonate	-	0,5	-
Σ Methyldecaline	1,8	0,4	-
Σ weitere Aliphaten <C9	-	-	0,1
Σ weitere Aliphaten >C9	740	1.100	50
Σ weitere Alkohole	210	1.300	38
Σ weitere Aromaten	-	-	18
Σ weitere Fettsäurealkylester	-	-	0,1
Σ weitere Olefine	1.700	90	20
Σ weitere Siloxane	89	83	29
Σ weitere Terpene &Terpenoide	11	39	-
Triacetin	-	-	0,8
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC			
Ethanol	-	-	26
Σ Alkohole	3.700	1.200	-
Σ Fettsäurealkylester	-	-	2,4
Σ Isoalkane	270	2,4	600
Σ Olefine	-	-	960
Σ Siloxane	-	-	34

TVOC = Total Volatile Organic Compounds = Summe der leichtflüchtigen organischen Lösemittel

= diese Substanz ist nicht im TVOC repräsentiert. Sie tritt im Chromatogramm vor Hexan („#<“) oder nach Hexadekan („>#“) auf.

n.n. = nicht nachgewiesen

mg/kg = Milligramm pro Kilogramm

„-“ = nicht identifiziert

Σ = Summe

TVOC-Werte werden nach unterschiedlichen Verfahren bestimmt. Die Berechnung erfolgte hier durch Aufsummieren der auf einer unpolaren GC-Säule zwischen n-Hexan und n-Hexadekan bestimmten Substanzen. Es wurden zusätzlich zu den quantitativ bestimmten Substanzen die restlichen Peaks zwischen n-Hexan und n-Hexadekan vereint und über den Responsefaktor von Toluol quantifiziert.

Zur Bestimmung des **TVOC über Toluol** erfolgte die Quantifizierung über alle Peaks in dem Retentionszeitbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadekan über den Responsefaktor von Toluol.

9.3 Informationen zu den Dichtmassen mit hohen Alkoholsummen im SVOC

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen exemplarisch für die Proben H4870-12 das Auftreten des „Alkoholbergs“ im Chromatogramm mit dem zugehörigen Massenspektrum.

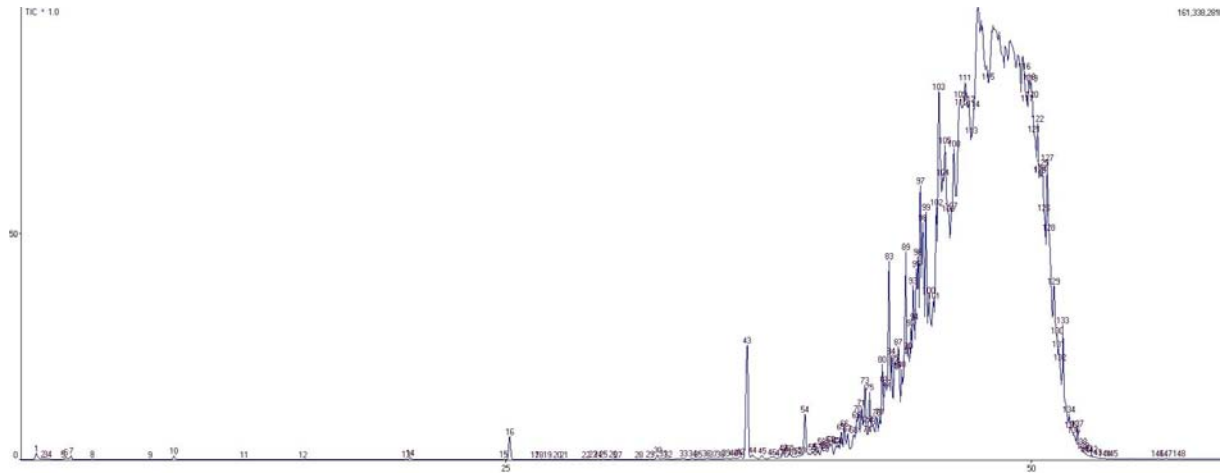


Abbildung 3: Chromatogramm der Headspace-Probe H4870-12

Der „Berg“ im hinteren Teil des Chromatogramms besteht (Aufsitzerpeaks weiterer Substanzen nicht betrachtet) lt. NIST05-Spektrenbibliothek aus höheren, einwertigen Alkoholen.

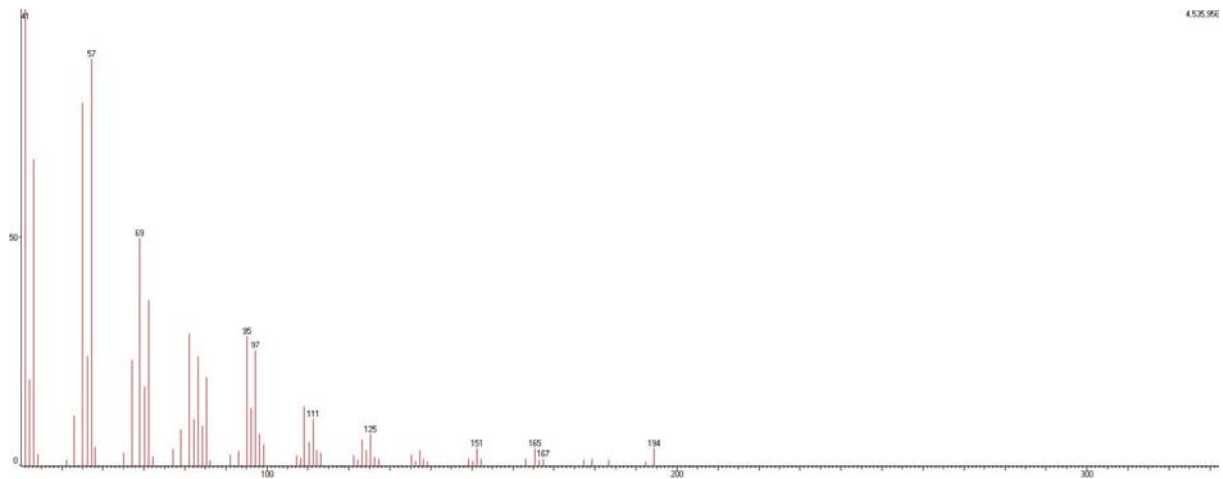


Abbildung 4: Massenspektrum des „Alkoholbergs“ im hinteren Chromatogrammteil

Das Massenspektrum stammt von einer Lücke zwischen zwei Aufsitzerpeaks auf dem „Alkoholberg“ nach Abzug der Basislinie am Ende des Chromatogramms.

9.4 Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer

Tabelle 7: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H4870-1

Parameter	H4870-1.1 3mm, 4 Tage [µg/m ³]	H4870-1.21 3mm, 28 Tage [µg/m ³]	H4870-1.25 6mm, 3 Tage [µg/m ³]	H4870-1.28 6mm, 28 Tage [µg/m ³]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)				
Aliphaten C ₆ -C ₈ *	90	n.n.	110	4
n-Nonan	10	n.n.	12	n.n.
n-Dekan	93	n.n.	83	1
n-Undekan	19	n.n.	14	n.n.
Aliphaten C ₉ -C ₁₆ *	660	1	810	38
Cycloalkane				
Cyclopentan # <	n.n.	n.n.	1	1
Methylcyclopentan	n.n.	1	n.n.	n.n.
Cyclohexan	n.n.	1	n.n.	n.n.
1,4-Dimethylcyclohexan	2	n.n.	2	n.n.
trans-Decalin	6	n.n.	5	n.n.
Alkene, Olefine				
1-Decen	7	n.n.	n.n.	n.n.
Aromaten				
Toluol	n.n.	1	14	n.n.
Ethylbenzol	12	n.n.	12	n.n.
m,p-Xylol (1,3/1,4-Dimethylbenzol)	44	n.n.	40	n.n.
o-Xylol (1,2-Dimethylbenzol)	20	n.n.	17	n.n.
n-Propylbenzol	9	n.n.	9	n.n.
iso-Propylbenzol (Cumol)	4	n.n.	5	n.n.
1,2,3-Trimethylbenzol	12	n.n.	10	n.n.
1,2,4-Trimethylbenzol (Pseudocumol)	36	n.n.	34	1
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	11	n.n.	8	n.n.
2-Ethyltoluol	9	n.n.	8	n.n.
3-Ethyltoluol	2	n.n.	7	n.n.
4-Ethyltoluol	13	n.n.	6	n.n.
Diethylbenzol Isomerengemisch	38	n.n.	37	n.n.
3-Cymol (3-Isopropylmethylbenzol)	4	n.n.	3	n.n.
4-Cymol (4-Isopropylmethylbenzol)	2	n.n.	2	n.n.
n-Butylbenzol	13	n.n.	10	n.n.
1,2,3,5-Tetramethylbenzol	5	n.n.	4	n.n.
1,2,4,5-Tetramethylbenzol	3	n.n.	2	n.n.
1,4-Diisopropylbenzol	1	n.n.	n.n.	n.n.
weitere Alkylbenzole*	75	n.n.	110	3
Indan	15	n.n.	13	n.n.
Terpene				
sonstige Terpene*	44	n.n.	12	2
Halogenierte Kohlenwasserstoffe				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Ketone				
Aceton # <*	n.n.	n.n.	1	1
Ether				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Ester und Lactone				
Methylacetat # <	n.n.	2	n.n.	n.n.
Ethylacetat (Essigsäureethylester) # <	n.n.	17	n.n.	n.n.
DIBP (Diisobutylphthalat) > #	n.n.	n.n.	2	n.n.
Glykolderivate				
	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Parameter	H4870-1.1 3mm, 4 Tage [µg/m³]	H4870-1.21 3mm, 28 Tage [µg/m³]	H4870-1.25 6mm, 3 Tage [µg/m³]	H4870-1.28 6mm, 28 Tage [µg/m³]
Aldehyde				
n-Nonanal	n.n.	n.n.	1	n.n.
Benzaldehyd* ¹	1.700	81	1.400	81
Alkansäuren				
Ethansäure (Essigsäure)	5	3	29	8
Propansäure (Propionsäure)	n.n.	n.n.	2	n.n.
n-Hexansäure (Capronsäure)	n.n.	n.n.	2	n.n.
n-Heptansäure	n.n.	n.n.	1	n.n.
n-Oktansäure (Caprylsäure)	n.n.	n.n.	1	n.n.
Alkohole				
Ethanol # < *	2	1	1	2
n-Butanol	1	n.n.	n.n.	n.n.
Sonstige polare Verbindungen				
D3 (Hexamethylcyclotrisiloxan)	n.n.	1	6	n.n.
TVOC nach AgBB-Auswertung	3.111	81	2.900	127
Summe SVOC	0	0	0	0
R-Wert	19,318	0,900	16,062	0,922
Summe ohne NIK	187	0	98	0
Summe Kanzerogene	0	0	0	0
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC				
Σ Methylindane	5	-	-	-
Σ ungesättigte Aldehyde	14	-	16	-
Σ weitere gesättigte Aldehyde	1	-	-	-
Σ weitere Olefine	150	3	68	3
Triacetin	-	-	1	-
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC				
Σ Olefine	-	1	2	-
t-Butylmethylether	-	-	-	1
Trimethylsilanol	-	-	1	-

Tabellenlegende siehe Tabelle 15

Tabelle 8: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H4870-2

Parameter	H4870-2.2 3 Tage [µg/m³]	H4870 FM-2.5 28 Tage [µg/m³]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)		
n-Heptan	1	1
n-Hexadekan	2	2
Aliphaten C ₉ -C ₁₆ *	29	29
n-Heptadekan >#	3	3
n-Oktadekan >#	2	2
n-Nonadekan >#	1	1
Cycloalkane		
Cyclohexan	1	1
Alkene, Olefine		
	n.n.	n.n.
Aromaten		
Ethylbenzol	8	n.n.
m,p-Xylol (1,3/1,4-Dimethylbenzol)	27	n.n.
o-Xylol (1,2-Dimethylbenzol)	9	n.n.
Terpene		
	n.n.	n.n.
Halogenierte Kohlenwasserstoffe		
	n.n.	n.n.
Ketone		
	n.n.	n.n.
Ether		
	n.n.	n.n.
Ester und Lactone		
Ethylacetat (Essigsäureethylester) # <	n.n.	1
TXIB (2,2,4-Trimethylpentan-1,3-dioldiisobutyrat)	1	n.n.
DMP (Dimethylphthalat)	6	9
Glykolderivate		
1,2-PGMM (1,2-Propylenglykolmonomethylether)	1	n.n.
Aldehyde		
n-Nonanal	n.n.	3
n-Decanal	n.n.	13
Alkansäuren		
Ethansäure (Essigsäure)	18	30
Propansäure (Propionsäure)	n.n.	2
Alkohole		
Ethanol # < *	11	n.n.
weitere gesättigte Alkohole C ₄ -C ₁₀ *	1600	690
weitere gesättigte Alkohole C ₁₁ -C ₁₃ *	50	n.n.
Sonstige polare Verbindungen		
	n.n.	n.n.
TVOC nach AgBB-Auswertung	2.347	771
Summe SVOC	167	200
R-Wert	1,559	0,701
Summe ohne NIK	606	9
Summe Kanzerogene	0	0
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC		
2,5-Dimethyl-1,4-dioxan	1	-
2-Ethylhexansäuremethylester	540	-
Σ weitere Fettsäurealkylester	2	-
Σ weitere Olefine	71	11
Σ weitere Siloxane	-	1

Parameter	H4870-2.2 3 Tage [µg/m³]	H4870 FM-2.5 28 Tage [µg/m³]
Σ weitere Terpene &Terpenoide	-	1
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC		
Σ Alkohole	170	140
Σ Alkylcycloalkane	2	-
Σ Isoalkane	17	51
Σ Olefine	8	9
Trimethylsilanol	1	1

Tabellenlegende siehe Tabelle 15



Abbildung 5: Prüfstück H4870-2 in der 0,02 m³ Prüfkammer

Tabelle 9: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H4870-3

Parameter	H4870-3.1 3 Tage [µg/m³]	H4870-3.12 28 Tage [µg/m³]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)		
n-Dodekan	9	n.n.
n-Tridekan	7	n.n.
2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan	1	n.n.
Aliphaten C ₉ -C ₁₆ *	190	n.n.
Cycloalkane		
	n.n.	n.n.
Alkene, Olefine		
	n.n.	n.n.
Aromaten		
Toluol	31	n.n.
Terpene		
sonstige Terpene*	6	n.n.
Halogenierte Kohlenwasserstoffe		
	n.n.	n.n.
Ketone		
2-Butanon (Ethylmethylketon)* ¹	72	7
Ether		
Dibutylether	1	n.n.
Ester und Lactone		
Methylacetat # <	1	n.n.
DEP (Diethylphthalat) > #	3	n.n.
DBP (Dibutylphthalat) > #	1	n.n.
Glykolderivate		
	n.n.	n.n.
Aldehyde		
	n.n.	n.n.
Alkansäuren		
n-Butansäure (Buttersäure)	1	n.n.
n-Pentansäure (Valerieansäure)	5	n.n.
n-Hexansäure (Capronsäure)	5	n.n.
n-Heptansäure	15	n.n.
n-Oktansäure (Caprylsäure)	16	n.n.
Alkohole		
Ethanol # < *	8	1
n-Butanol	n.n.	1
Sonstige polare Verbindungen		
2-Butanonoxim	64	3
D4 (Octamethylcyclotetrasiloxan)	1	n.n.
D5 (Decamethylcyclopentasiloxan)	30	n.n.
TVOC nach AgBB-Auswertung		
	503	20
Summe SVOC		
	0	0
R-Wert		
	3,363	0,001
Summe ohne NIK		
	53	13
Summe Kanzerogene		
	0	0
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC		
Σ Methyldecaline	1	-
Σ weitere Aromaten	2	-
Σ weitere Olefine	21	-
Σ weitere Siloxane	37	12
Triacetin	-	2

Parameter	H4870-3.1 3 Tage [µg/m³]	H4870-3.12 28 Tage [µg/m³]
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC		
Σ Aromaten	40	-
Σ Fettsäurealkylester	1	1
Σ Isoalkane	1	-
Σ Olefine	2	-
Σ Siloxane	1	1

Tabellenlegende siehe Tabelle 15

Tabelle 10: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H4870FM-4

Parameter	H4870-4.1 3 Tage [µg/m³]	H4870-4.5 28 Tage [µg/m³]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)		
n-Heptan	3	n.n.
Aliphaten C ₆ -C ₈ *	1	n.n.
3-Methylhexan	1	n.n.
n-Undekan	2	n.n.
n-Dodekan	39	n.n.
n-Tridekan	21	n.n.
n-Tetradekan	2	n.n.
n-Pentadekan	1	n.n.
n-Hexadekan	3	2
Aliphaten C ₉ -C ₁₆ *	2.800	25
n-Heptadekan >#	5	2
n-Oktadekan >#	3	2
n-Nonadekan >#	n.n.	1
Cycloalkane		
	n.n.	n.n.
Alkene, Olefine		
	n.n.	n.n.
Aromaten		
	n.n.	n.n.
Terpene		
sonstige Terpene*	45	n.n.
Halogenierte Kohlenwasserstoffe		
	n.n.	n.n.
Ketone		
Aceton # <*	2	1
2-Butanon (Ethylmethylketon)* ¹	140	n.n.
Ether		
	n.n.	n.n.
Ester und Lactone		
Texanol (2,2,4-Trimethylpentan-1,3-diol-monoisobutyrat)	n.n.	2
Glykolderivate		
1,2-PGMM (1,2-Propylenglykolmonomethylether)	1	n.n.
Aldehyde		
	n.n.	n.n.
Alkansäuren		
Ethansäure (Essigsäure)	21	170
2-Methylpropansäure (Isobuttersäure)	n.n.	3
Alkohole		
Ethanol # < *	14	2
n-Propanol # <	2	n.n.
n-Butanol	2	n.n.
Sonstige polare Verbindungen		
2-Butanonoxim	250	6
D3 (Hexamethylcyclotrisiloxan)	45	15
D4 (Octamethylcyclotetrasiloxan)	14	n.n.
D5 (Decamethylcyclopentasiloxan)	93	n.n.
TVOC nach AgBB-Auswertung	3.760	236
Summe SVOC	311	208
R-Wert	13,147	0,644
Summe ohne NIK	337	35
Summe Kanzerogene	0	0

Parameter	H4870-4.1 3 Tage [µg/m³]	H4870-4.5 28 Tage [µg/m³]
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC		
MIBK-Oxim	1	-
Σ weitere Fettsäurealkylester	-	3
Σ weitere Olefine	170	-
Σ weitere Siloxane	140	20
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC		
Σ Alkylcycloalkane	83	49
Σ Aromaten	30	-
Σ Fettsäurealkylester	-	1
Σ Isoalkane	170	150
Σ Olefine	54	-
Σ Siloxane	8	5
Trimethylsilanol	1	1

Tabellenlegende siehe Tabelle 15

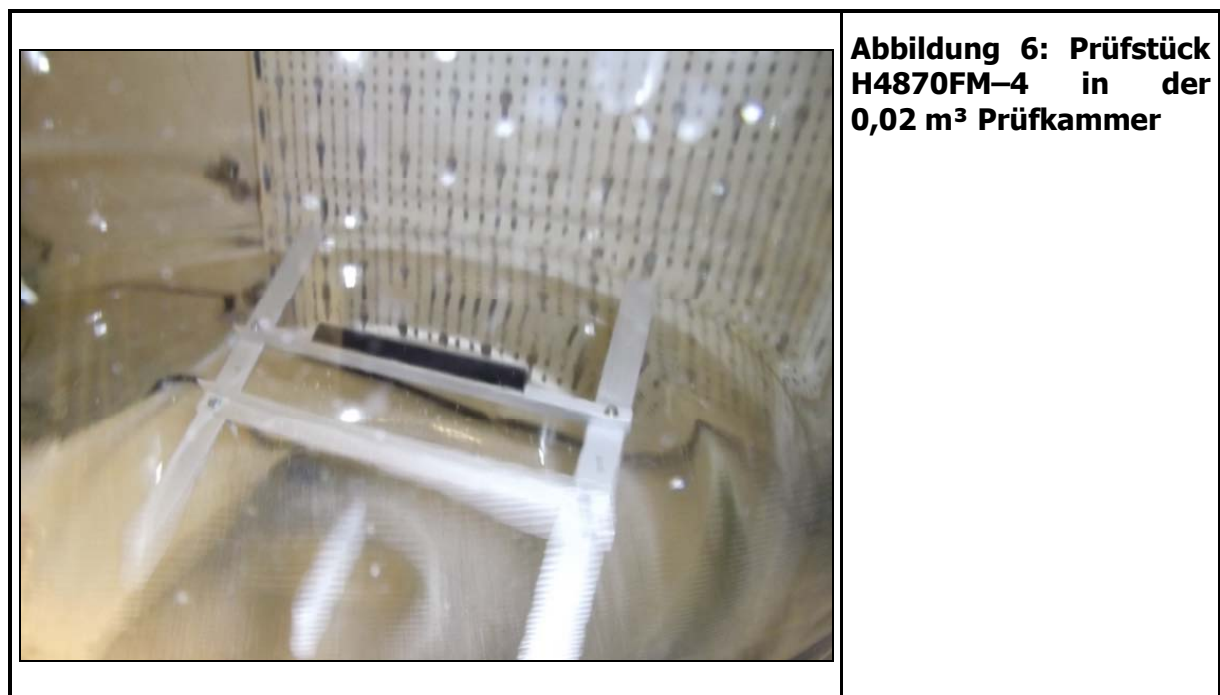


Abbildung 6: Prüfstück H4870FM-4 in der 0,02 m³ Prüfkammer

Tabelle 11: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H4870-6

Parameter	H4870-6.1 3 Tage [µg/m ³]	H4870-6.5 28 Tage [µg/m ³]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)		
n-Heptan	3	n.n.
Aliphaten C ₆ -C ₈ *	1	n.n.
n-Dodekan	2	n.n.
n-Hexadekan	1	2
Aliphaten C ₉ -C ₁₆ *	27	15
n-Heptadekan >#	2	2
n-Oktadekan >#	1	1
Cycloalkane		
Cyclohexan	2	n.n.
Alkene, Olefine		
	n.n.	n.n.
Aromaten		
Toluol	3	n.n.
Terpene		
Longifolen	n.n.	1
sonstige Terpene*	2	3
Halogenierte Kohlenwasserstoffe		
	n.n.	n.n.
Ketone		
Aceton #<*	7	1
Ether		
	n.n.	n.n.
Ester und Lactone		
Methylacetat #<	1	2
Texanol (2,2,4-Trimethylpentan-1,3-diol-monoisobutyrat)	n.n.	8
TXIB (2,2,4-Trimethylpentan-1,3-dioldiisobutyrat)	n.n.	1
DMP (Dimethylphthalat)	1	3
Glykolderivate		
1,2-PGMM (1,2-Propylenglykolmonomethylether)	n.n.	2
Aldehyde		
n-Nonanal	1	n.n.
n-Decanal	1	1
Alkansäuren		
Ethansäure (Essigsäure)	50	n.n.
Propansäure (Propionsäure)	2	n.n.
n-Pentansäure (Valerieansäure)	6	n.n.
n-Hexansäure (Capronsäure)	4	n.n.
2-Ethylhexansäure	1	n.n.
Alkohole		
Ethanol #< *	52	4
2-Propanol #<	7	n.n.
weitere gesättigte Alkohole C ₁₁ -C ₁₃ *	20	40
Sonstige polare Verbindungen		
D3 (Hexamethylcyclotrisiloxan)	9	15
D4 (Octamethylcyclotetrasiloxan)	16	n.n.
D5 (Decamethylcyclopentasiloxan)	60	1
TVOC nach AgBB-Auswertung	226	102
Summe SVOC	54	66
R-Wert	0,190	0,052
Summe ohne NIK	47	39
Summe Kanzerogene	0	0

Parameter	H4870-6.1 3 Tage [µg/m ³]	H4870-6.5 28 Tage [µg/m ³]
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC		
N-Methylmorpholin	3	2
Σ weitere Olefine	9	-
Σ weitere Siloxane	44	24
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC		
Σ Alkohole	58	140
Σ Alkylcycloalkane	6	9
Σ Aromaten	3	-
Σ Fettsäurealkylester	1	2
Σ Isoalkane	41	27
Σ Olefine	24	-
Σ Siloxane	5	6
Trimethylsilanol	3	1

Tabellenlegende siehe Tabelle 15

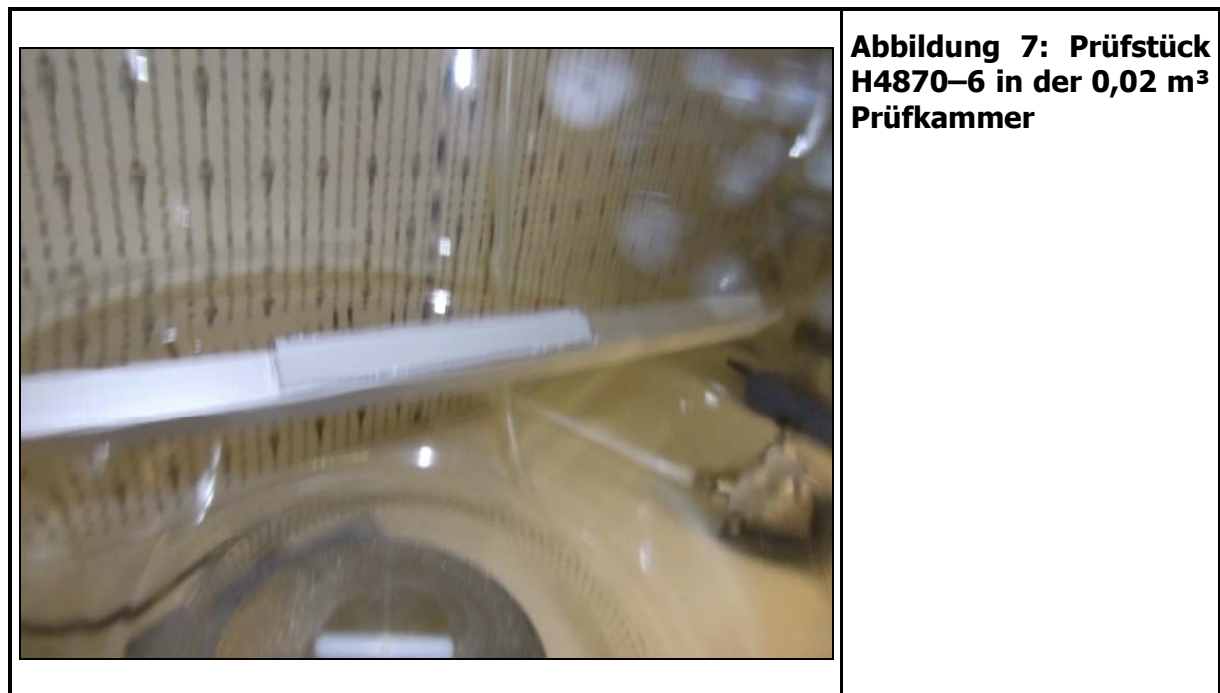


Abbildung 7: Prüfstück H4870-6 in der 0,02 m³ Prüfkammer

Tabelle 12: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H4870–11

Parameter	H4870-11.1 3 Tage [µg/m³]	H4870-11.5 28 Tage [µg/m³]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)		
n-Heptan	5	n.n.
Aliphaten C ₆ -C ₈ *	7	n.n.
iso-Heptan	2	n.n.
3-Methylhexan	2	n.n.
n-Dekan	3	n.n.
n-Undekan	7	n.n.
n-Dodekan	8	n.n.
n-Tridekan	1	n.n.
n-Tetradekan	2	n.n.
Aliphaten C ₉ -C ₁₆ *	260	12
Cycloalkane		
Methylcyclopentan	1	n.n.
Cyclohexan	5	n.n.
Methylcyclohexan	1	n.n.
trans-Decalin	1	n.n.
Alkene, Olefine		
	n.n.	n.n.
Aromaten		
Toluol	6	n.n.
Terpene		
sonstige Terpene*	3	n.n.
Halogenierte Kohlenwasserstoffe		
	n.n.	n.n.
Ketone		
Aceton #<*	2	n.n.
Ether		
	n.n.	n.n.
Ester und Lactone		
Diisobutylsuccinat (Bernsteinsäurediisobutylester)*	2	n.n.
DMP (Dimethylphthalat)	2	n.n.
Glykolderivate		
	n.n.	n.n.
Aldehyde		
n-Decanal	1	n.n.
Alkansäuren		
Ethansäure (Essigsäure)	100	53
Propansäure (Propionsäure)	2	n.n.
n-Hexansäure (Capronsäure)	2	n.n.
n-Heptansäure	2	n.n.
n-Oktansäure (Caprylsäure)	1	n.n.
Alkohole		
2-Propanol #<	4	n.n.
weitere gesättigte Alkohole C ₄ -C ₁₀ *	55	4
weitere gesättigte Alkohole C ₁₁ -C ₁₃ *	63	65
Sonstige polare Verbindungen		
D3 (Hexamethylcyclotrisiloxan)	1	n.n.
TVOC nach AgBB-Auswertung	516	136
Summe SVOC	0	0
R-Wert	0,356	0,167
Summe ohne NIK	0	6
Summe Kanzerogene	0	0

Parameter	H4870-11.1 3 Tage [µg/m ³]	H4870-11.5 28 Tage [µg/m ³]
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC		
Σ Dimethyldioxane	2	-
Σ weitere Olefine	27	-
Σ weitere Siloxane	1	7
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC		
Σ Alkohole	4	-
Σ Alkylcycloalkane	19	20
Σ Fettsäurealkylester	-	3
Σ Isoalkane	-	5
Σ Olefine	3	2
Σ Siloxane	-	2

Tabellenlegende siehe Tabelle 15

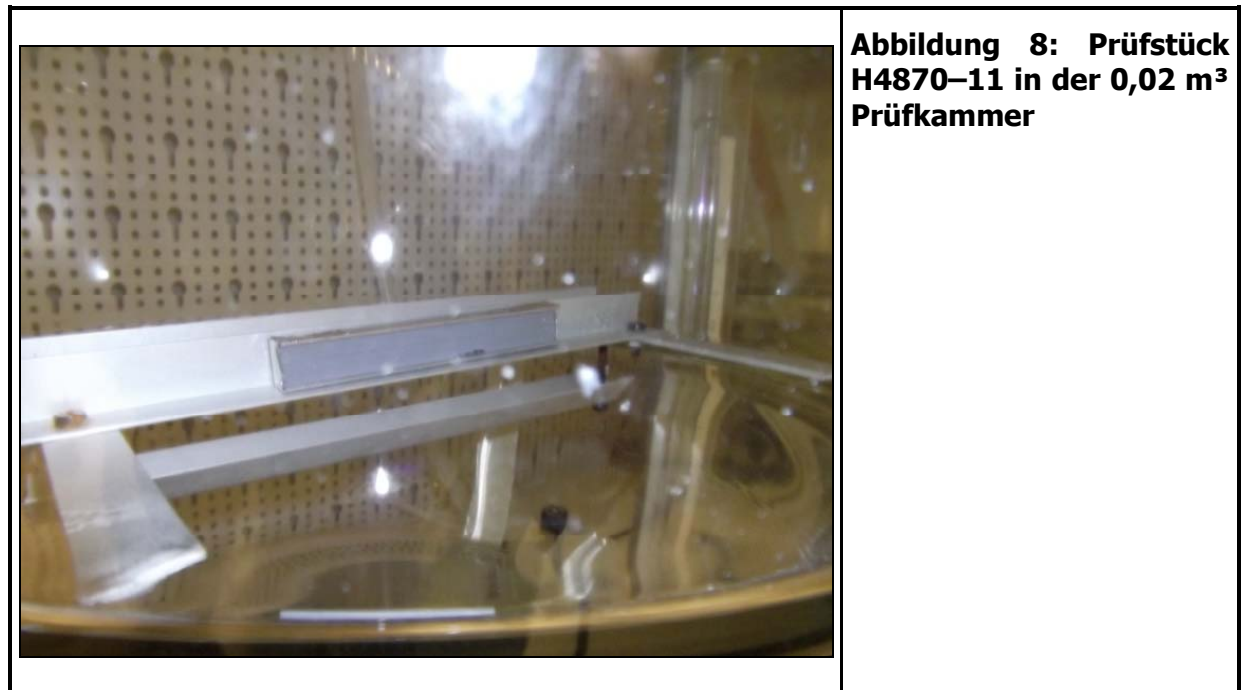


Tabelle 13: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H4870-12

Parameter	H4870-12.2 3 Tage [µg/m³]	H4870-12.5 28 Tage [µg/m³]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)		
n-Hexan	n.n.	2
n-Heptan	2	4
3-Methylhexan	n.n.	2
n-Undekan	1	n.n.
n-Dodekan	5	n.n.
n-Tridekan	8	2
2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan	1	1
n-Tetradekan	26	12
n-Pentadekan	41	29
n-Hexadekan	39	37
Aliphaten C ₉ -C ₁₆ *	1000	590
n-Heptadekan >#	19	19
n-Oktadekan >#	3	3
n-Nonadekan >#	1	n.n.
Cycloalkane		
Methylcyclopentan	n.n.	1
Cyclohexan	n.n.	7
Methylcyclohexan	n.n.	2
Alkene, Olefine		
	n.n.	n.n.
Aromaten		
Di-Isopropyl-Naphthaline >#	n.n.	2
Terpene		
sonstige Terpene*	72	28
Halogenierte Kohlenwasserstoffe		
	n.n.	n.n.
Ketone		
	n.n.	n.n.
Ether		
	n.n.	n.n.
Ester und Lactone		
Methylacetat # <	2	8
Ethylacetat (Essigsäureethylester) # <	n.n.	1
TXIB (2,2,4-Trimethylpentan-1,3-dioldiisobutyrat)	22	3
DMP (Dimethylphthalat)	n.n.	3
DIBP (Diisobutylphthalat) >#	n.n.	1
Glykolderivate		
1,2-PGMM (1,2-Propylenglykolmonomethylether)	n.n.	1
DPGMM (Dipropylenglykolmonomethylether)	1	n.n.
Aldehyde		
n-Hexanal	n.n.	1
n-Oktanal	1	1
n-Nonanal	n.n.	4
n-Decanal	1	4
Alkansäuren		
Ethansäure (Essigsäure)	150	23
n-Hexansäure (Capronsäure)	n.n.	2
Alkohole		
n-Propanol # <	n.n.	1
weitere gesättigte Alkohole C ₁₁ -C ₁₃ *	290	160
Sonstige polare Verbindungen		
D4 (Octamethylcyclotetrasiloxan)	13	n.n.

Parameter	H4870-12.2 3 Tage [µg/m³]	H4870-12.5 28 Tage [µg/m³]
D5 (Decamethylcyclopentasiloxan)	37	1
TVOC nach AgBB-Auswertung	1.908	969
Summe SVOC	959	742
R-Wert	0,884	0,322
Summe ohne NIK	205	83
Summe Kanzerogene	0	0
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC		
Σ Methyldecaline	3	-
Σ weitere Aromaten	18	-
Σ weitere Olefine	160	78
Σ weitere Siloxane	31	10
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC		
Σ Alkohole	300	97
Σ Alkylcycloalkane	-	9
Σ Fettsäurealkylester	-	1
Σ Isoalkane	470	420
Σ Olefine	190	210
Trimethylsilanol	-	2

Tabellenlegende siehe Tabelle 15



Abbildung 9: Prüfstück H4870-12 in der 0,02 m³ Prüfkammer

Tabelle 14: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H4870-13

Parameter	H4870-13.1 3 Tage [µg/m³]	H4870-13.5 28 Tage [µg/m³]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)		
n-Heptan	2	n.n.
Aliphaten C ₆ -C ₈ *	1	n.n.
n-Dodekan	2	n.n.
n-Tridekan	5	1
2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan	2	n.n.
n-Tetradekan	16	9
n-Pentadekan	36	30
n-Hexadekan	44	37
Aliphaten C ₉ -C ₁₆ *	1.500	1.200
n-Heptadekan >#	15	13
n-Oktadekan >#	2	3
Cycloalkane		
Cyclohexan	1	n.n.
Alkene, Olefine		
	n.n.	n.n.
Aromaten		
Toluol	3	n.n.
Di-Isopropyl-Naphthaline >#	n.n.	1
Terpene		
sonstige Terpene*	150	n.n.
Halogenierte Kohlenwasserstoffe		
	n.n.	n.n.
Ketone		
Aceton #<*	4	1
Ether		
	n.n.	n.n.
Ester und Lactone		
Methylacetat #<	n.n.	2
TXIB (2,2,4-Trimethylpentan-1,3-dioldiisobutyrat)	4	n.n.
DMP (Dimethylphthalat)	1	3
Glykolderivate		
1,2-PGMM (1,2-Propylenglykolmonomethylether)	1	1
Aldehyde		
	n.n.	n.n.
Alkansäuren		
Ethansäure (Essigsäure)	780	60
Propansäure (Propionsäure)	4	n.n.
Alkohole		
Ethanol #< *	n.n.	5
2-Propanol #<	18	n.n.
tert.-Butanol	260	28
weitere gesättigte Alkohole C ₁₁ -C ₁₃ *	650	970
Sonstige polare Verbindungen		
D3 (Hexamethylcyclotrisiloxan)	n.n.	13
D4 (Octamethylcyclotetrasiloxan)	53	n.n.
D5 (Decamethylcyclopentasiloxan)	130	3
TVOC nach AgBB-Auswertung	3.834	2.390
Summe SVOC	1.025	1.159
R-Wert	3,068	1,260
Summe ohne NIK	210	56
Summe Kanzerogene	0	0

Parameter	H4870-13.1 3 Tage [µg/m ³]	H4870-13.5 28 Tage [µg/m ³]
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC		
Σ Alkylbenzamide	17	-
Σ weitere Aromaten	23	1
Σ weitere Olefine	73	-
Σ weitere Siloxane	100	43
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC		
Σ Alkohole	350	760
Σ Alkylcycloalkane	250	130
Σ Fettsäurealkylester	-	1
Σ Isoalkane	480	270
Trimethylsilanol	-	1

Tabellenlegende siehe Tabelle 15

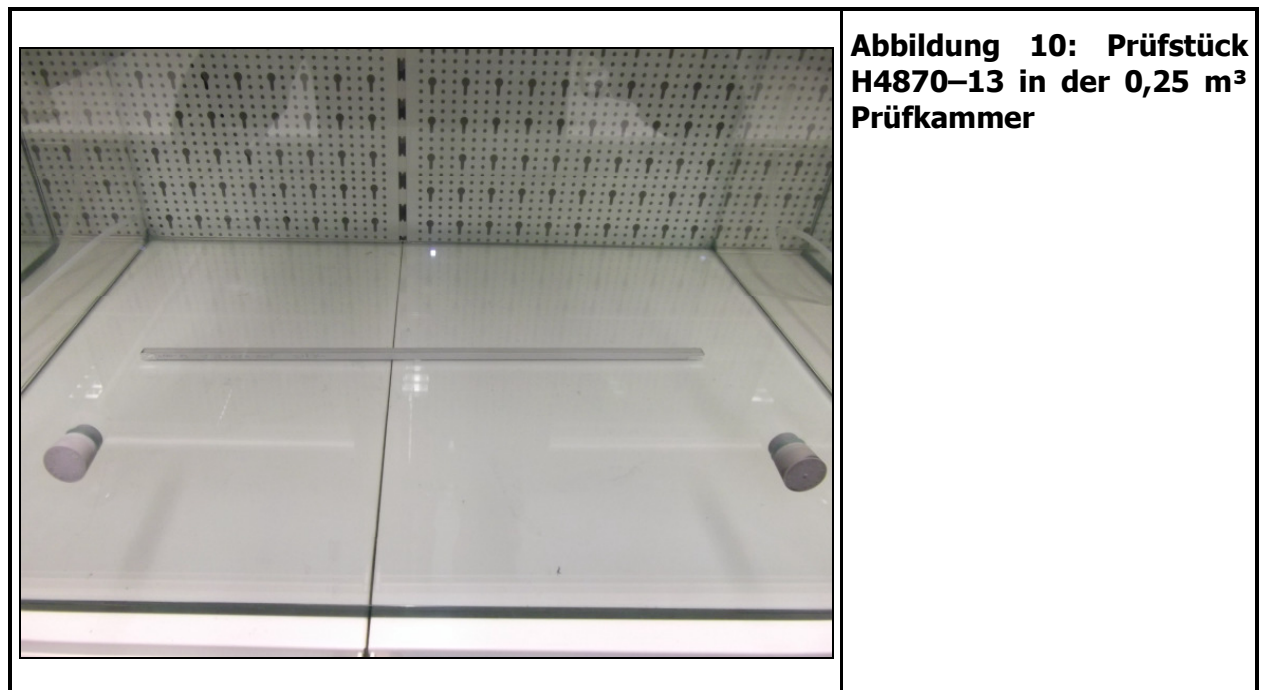


Abbildung 10: Prüfstück H4870-13 in der 0,25 m³ Prüfkammer

Tabelle 15: Ergebnisse der Untersuchungen mittels Emissionsprüfkammer, Probe H4870-16

Parameter	H4870-16.2 3 Tage [µg/m³]	H4870-16.5 28 Tage [µg/m³]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)		
n-Heptan	n.n.	2
Aliphaten C ₆ -C ₈ *	n.n.	5
iso-Heptan	1	n.n.
Cycloalkane		
Cyclohexan	n.n.	2
Alkene, Olefine		
	n.n.	n.n.
Aromaten		
	n.n.	n.n.
Terpene		
	n.n.	n.n.
Halogenierte Kohlenwasserstoffe		
	n.n.	n.n.
Ketone		
Aceton #<*	1	2
Ether		
Dibutylether	20	3
Ester und Lactone		
Ethylacetat (Essigsäureethylester) #<	2	1
n-Butylacrylat	2	n.n.
n-Butylpropionat	1	n.n.
Glykolderivate		
Ethylenglykol	400	60
1,2-PG (1,2-Propylenglykol)	6	1
1,2-PGMM (1,2-Propylenglykolmonomethylether)	1	n.n.
Aldehyde		
n-Pentanal	n.n.	3
n-Nonanal	n.n.	1
n-Decanal	n.n.	1
Alkansäuren		
Ethansäure (Essigsäure)	64	27
Propansäure (Propionsäure)	n.n.	1
n-Hexansäure (Capronsäure)	2	2
Alkohole		
2-Propanol #<	n.n.	3
n-Butanol	9	n.n.
Sonstige polare Verbindungen		
D3 (Hexamethylcyclotrisiloxan)	32	n.n.
TVOC nach AgBB-Auswertung		
	531	92
Summe SVOC		
	0	0
R-Wert		
	1,671	0,285
Summe ohne NIK		
	52	0
Summe Kanzerogene		
	0	0
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) innerhalb des TVOC		
Σ weitere Fettsäurealkylester	1	-
Σ weitere gesättigte Ketone	-	1
Σ weitere Olefine	3	1
Σ weitere Siloxane	2	1
Weitere identifizierte Verbindungen (quantifiziert über Toluol) außerhalb des TVOC		
Trimethylsilanol	1	1

TVOC = Summe aller Einzelstoffe (identifizierte und nicht identifizierte Verbindungen) $\geq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Retentionsbereich $\text{C}_6\text{-C}_{16}$
R-Wert = Summe der Einzelstoffkonzentrationen $\geq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geteilt durch den entsprechenden NIK-Wert
NIK-Wert = Niedrigste Interessierende Konzentration nach AgBB-Bewertungskonzept
SVOC = Einzelstoffe $\geq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Retentionsbereich $\text{C}_{16}\text{-C}_{22}$
= diese Substanz ist nicht im TVOC repräsentiert. Sie tritt im Chromatogramm vor Hexan („#<“) oder nach Hexadekan („>#“) auf.
NG = Nachweisgrenze
 μg = Mikrogramm = 1 millionstel Gramm
n.a. = nicht analysiert
*quantifiziert über den Response von Toluol
*1 Bestimmung mittels HPLC-Verfahren
„-“ = nicht identifiziert
 Σ = Summe

n.n. = nicht nachgewiesen
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ = Mikrogramm pro Kubikmeter



Abbildung 11: Prüfstück H4870-16 in der 0,02 m³ Prüfkammer

9.5 Liste der Standardsubstanzen mit den Nachweisgrenzen für Materialproben / Headspace und Luftproben / Thermodesorption

Tabelle 16: Untersuchungsumfang, VOC-Substanzliste mit Nachweisgrenzen

Parameter	NG Headspace [mg/kg]	NG Luft [µg/m ³]
Alkane, Aliphaten (C6-C22)		
n-Hexan	0,1	1
n-Heptan	0,1	1
2-Methylpentan # <	0,1	1
3-Methylpentan # <	0,1	1
2,2,4-Trimethylpentan (i-Oktan)	0,1	1
Aliphaten C ₆ -C ₈ *	0,1	1
iso-Heptan	0,1	1
3-Methylhexan	0,1	1
2,3-Dimethylpentan	0,1	1
n-Oktan	0,1	1
2-Methylheptan	0,1	1
3-Methylheptan	0,1	1
4-Methylheptan	0,1	1
n-Nonan	0,1	1
n-Dekan	0,1	1
2,2,4,6,6-Pentamethylheptan	0,1	1
n-Undekan	0,1	1
n-Dodekan	0,1	1
n-Tridekan	0,1	1
2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan	0,1	1
n-Tetradekan	0,1	1
n-Pentadekan	0,1	1
n-Hexadekan	0,1	1
Aliphaten C ₉ -C ₁₆ *	0,1	1
n-Heptadekan >#	0,1	1
n-Oktadekan >#	0,1	1
n-Nonadekan >#	0,1	1
n-Eicosan >#	0,1	1
n-Heneicosan >#	0,1	1
n-Docosan >#	0,1	1
Cycloalkane		
Cyclopentan # <	0,1	1
Methylcyclopentan	0,1	1
Cyclohexan	0,1	1
Methylcyclohexan	0,1	1
1,4-Dimethylcyclohexan	0,1	1
trans-Decalin	0,1	1
Alkene, Olefine		
Cyclohexen	0,1	1
4-Vinylcyclohexen	0,1	1
1-Okten	0,1	1
1-Decen	0,1	1
1-Undecen	0,1	1
Isobuten-Trimer	0,1	1
4-Phenylcyclohexen	0,1	1

Parameter	NG Headspace [mg/kg]	NG Luft [µg/m³]
Aromaten		
Benzol	0,1	1
Toluol	0,1	1
Ethynylbenzol (Phenylacetylen)	0,1	1
Ethylbenzol	0,1	1
m,p-Xylol (1,3/1,4-Dimethylbenzol)	0,1	1
o-Xylol (1,2-Dimethylbenzol)	0,1	1
Styrol (Vinylbenzol)	0,1	1
alpha-Methylstyrol (2-Phenylpropen)	0,1	1
1-Propenylbenzol (beta-Methylstyrol)	0,1	1
n-Propylbenzol	0,1	1
iso-Propylbenzol (Cumol)	0,1	1
1,2,3-Trimethylbenzol	0,1	1
1,2,4-Trimethylbenzol (Pseudocumol)	0,1	1
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	0,1	1
2-Ethyltoluol	0,1	1
3-Ethyltoluol	0,1	1
4-Ethyltoluol	0,1	1
Diethylbenzol Isomerengemisch	0,1	1
2-Cymol (2-Isopropylmethylbenzol)	0,1	1
3-Cymol (3-Isopropylmethylbenzol)	0,1	1
4-Cymol (4-Isopropylmethylbenzol)	0,1	1
n-Butylbenzol	0,1	1
1,2,3,5-Tetramethylbenzol	0,1	1
1,2,4,5-Tetramethylbenzol	0,1	1
2-Vinytoluol	0,1	1
3-Vinytoluol	0,1	1
4-Vinytoluol	0,1	1
1,3-Diisopropylbenzol	0,1	1
1,4-Diisopropylbenzol	0,1	1
n-Oktylbenzol (Phenylloktan)	0,1	1
n-Decylbenzol (1-Phenyldekan)	0,1	1
n-Undecylbenzol (1-Phenylundekan)	0,1	1
weitere Alkylbenzole*	0,1	1
Indan	0,1	1
Inden	0,1	1
Naphthalin	0,1	1
Di-Isopropyl-Naphthaline >#	0,1	1
Tetralin	0,1	1
Acenaphthylen	0,1	1
Acenaphthen	0,1	1
Fluoren	0,1	1
Phenanthren	0,1	1
Terpene		
a-Pinen	0,1	1
b-Pinen	0,1	1
Camphen	0,1	1
d ³ -Caren	0,1	1
a-Terpinen	0,1	1
R+-Limonen	0,1	1
beta-Caryophyllen	0,1	1
Isolongifolen	0,1	1

Parameter	NG Headspace [mg/kg]	NG Luft [µg/m³]
Terpene (Fortsetzung)		
alpha-Phellandren	0,1	1
Longipinen	0,1	1
beta-Farnesen	0,1	1
alpha-Bisabolen	0,1	1
Borneol	0,1	1
b-Myrcen	0,1	1
Eucalyptol	0,1	1
b-Linalool	0,1	1
Campher	0,1	1
Menthol	0,1	1
a-Terpineol	0,1	1
4-t-Butylcyclohexylacetat	0,1	1
Verbenon	0,1	1
Longifolen	0,1	1
sonstige Terpene*	0,1	1
Halogenierte Kohlenwasserstoffe		
1,2-Dichlorethan	0,1	1
1,1,1-Trichlorethan	0,1	1
Tetrachlorethen (PER)	0,1	1
Trichlorethylen	0,1	1
1,3-Dichlor-2-propanol	0,1	1
Epichlorhydrin	0,1	1
1,2-Dichlorbenzol	0,1	1
1,3-Dichlorbenzol	0,1	1
1,4-Dichlorbenzol	0,1	1
1,2,3,4-Tetrachlorbenzol	0,1	1
1-Monochlornaphthalin	0,1	1
2-Monochlornaphthalin	0,1	1
1,4-Dichlornaphthalin	0,1	1
1,5-Dichlornaphthalin	0,1	1
Ketone		
Aceton # <*	0,1	1
2-Butanon (Ethylmethylketon)* ¹	0,1	1
But-en-2-on # <	0,1	1
MIBK (Methylisobutylketon)	0,1	1
2-Pentanon	0,1	1
2-Hexanon	0,1	1
2-Heptanon	0,1	1
3-Heptanon	0,1	1
6-Methyl-5-hepten-2-on	0,1	1
Cyclohexanon	0,1	1
Acetophenon	0,1	1
3-Methyl-2-butanon	0,1	1
Cyclopentanon	0,1	1
2-Methylcyclopentanon	0,1	1
2-Methylcyclohexanon	0,1	1
1-Hydroxyaceton	0,1	1
Acetonaldol (Diacetonalkohol)	0,1	1
Benzophenon > #	0,1	1

Parameter	NG Headspace [mg/kg]	NG Luft [µg/m³]
Ether		
Tetrahydrofuran (THF)	0,1	1
2-Methylfuran	0,1	1
2-Pentylfuran	0,1	1
Dibutylether	0,1	1
Dioktylether	0,1	1
Ester und Lactone		
Methylacetat # <	0,1	1
Ethylacetat (Essigsäureethylester) # <	0,1	1
Vinylacetat # <	0,1	1
n-Propylacetat	0,1	1
iso-Propylacetat	0,1	1
n-Butylformiat	0,1	1
iso-Butylacetat	0,1	1
n-Butylacetat	0,1	1
n-Pentylacetat	0,1	1
n-Hexylacetat	0,1	1
Benzylacetat	0,1	1
Methylacrylat	0,1	1
Ethylacrylat	0,1	1
Methylmethacrylat	0,1	1
weitere Methacrylate*	0,1	1
n-Butylacrylat	0,1	1
n-Butylmethacrylat	0,1	1
2-Ethylhexylacetat	0,1	1
2-Ethylhexylacrylat	0,1	1
weitere Acrylate*	0,1	1
Linaloylacetat	0,1	1
Ethyldiethoxyacetat	0,1	1
1,6-Hexandioldiacrylat	0,1	1
n-Butylpropionat	0,1	1
DMS (Dimethylsuccinat, Bernsteinsäuredimethylester)	0,1	1
DMG (Dimethylglutarat, Glutarsäuredimethylester)	0,1	1
DMA (Dimethyladipat, Adipinsäuredimethylester)	0,1	1
Diisobutylsuccinat (Bernsteinsäurediisobutylester)*	0,1	1
Diisobutylglutarat (Glutarsäurediisobutylester)*	0,1	1
Di-n-butylmaleat (Maleinsäuredibutylester)	0,1	1
Dibutylfumarat (Fumarsäuredibutylester)*	0,1	1
Texanol (2,2,4-Trimethylpentan-1,3-diol-monoisobutytrat)	0,1	1
TXIB (2,2,4-Trimethylpentan-1,3-dioldiisobutytrat)	0,1	1
DMP (Dimethylphthalat)	0,1	1
DEP (Diethylphthalat) > #	0,1	1
DIBP (Diisobutylphthalat) > #	0,1	1
DBP (Dibutylphthalat) > #	0,1	1
DIBA (Diisobutyladipat) > # *	0,1	1
Gamma-Butyrolacton	0,1	1
Glykolderivate		
Ethylenglykol	0,1	1
Diethylenglykol	0,1	1
2-Propoxyethanol	0,1	1
1,2-PG (1,2-Propylenglykol)	0,1	1
1,2-PGDM (1,2-Propylenglykoldimethylether)	0,1	1

Parameter	NG Headspace [mg/kg]	NG Luft [µg/m³]
Glykolderivate (Fortsetzung)		
DPGDM (Dipropylenglykoldimethylether)	0,1	1
T3PG (Tripropylenglykol)	0,1	1
EGMM (Ethylenglykolmonomethylether)	0,1	1
EGDM (Ethylenglykoldimethylether)	0,1	1
EGDE (Ethylenglykoldiethylether)	0,1	1
DEGDM (1-Methoxy-2-(2-methoxy-ethoxy)-ethan)	0,1	1
DEGDE	0,1	1
T3EGDM (Triethylenglykol-dimethylether)	0,1	1
T4EGDM	0,1	1
T3PGMM (Tripropylenglykol-mono-methylether)	0,1	1
1,2-PGMM (1,2-Propylenglykolmonomethylether)	0,1	1
EGME (Ethylenglykolmonoethylether)	0,1	1
EGMB (Ethylenglykolmono-n-butylether)	0,1	1
EGMiPr (2-Methylethoxyethanol)	0,1	1
1,2-PGMB (1,2-Propylenglykolmonobutylether)	0,1	1
EGMP (Ethylenglykolmonophenylether)	0,1	1
1,2-PGME	0,1	1
1,2-PGMP (1,2-Propylenglykolmonophenylether)	0,1	1
DEGMM (Diethylenglykolmonomethylether)	0,1	1
DEGME (Diethylenglykolmonoethylether)	0,1	1
DPGMM (Dipropylenglykolmonomethylether)	0,1	1
DEGMB (Diethylenglykolmonobutylether)	0,1	1
DEGDB (Diethylenglykoldibutylether)	0,1	1
DPGMB (Dipropylenglykolmonobutylether)	0,1	1
T3EGMB (Triethylenglykolmonobutylether)	0,1	1
T3PGMB (Tripropylenglykolmonobutylether)	0,1	1
EGMH (Ethylenglykolmonohexylether)	0,1	1
DEGMH (Diethylenglykolmonohexylether)	0,1	1
EGMMA (Ethylenglykolmonomethyletheracetat)	0,1	1
1,2-PGMMMA (1,2-Propylenglykolmonomethyletheracetat)	0,1	1
2,1-PGMM (2-Methoxy-1-Propanol)*	0,1	1
2,1-PGMMMA (2-Methoxy-1-Propyl-acetat)*	0,1	1
PGDA (Propylenglykol-di-acetat)*	0,1	1
DPG (Di-Propylenglykol)*	0,1	1
DPGMMMA (Di-propylenglykol-mono-methylether-acetat)*	0,1	1
DPGMPr (Dipropylenglykol-mono-n-propylether)*	0,1	1
DPGMtB (Dipropylenglykol-mono-t-butylether)*	0,1	1
EGMEA (Ethylenglykolmonoethyletheracetat)	0,1	1
EGMBA (Ethylenglykolmono-n-butyletheracetat)	0,1	1
DEGMBA (Diethylenglykolmonobutyletheracetat)	0,1	1
DEGDA (Diethylenglykoldiacetat)	0,1	1
Ethylencarbonat	0,1	1
n-Butylglycolat (Glykolsäurebutylester)	0,1	1
Aldehyde		
Formaldehyd # < *1	-	6
Acetaldehyd # < *1	-	5
Propanal # < *1	0,1	1
Methacrolein # < *1	0,1	1
n-Butanal # < *1	0,1	1
Iso-Butanal # <	0,1	1
n-Pentanal	0,1	1
3-Methylbutanal	0,1	1

Parameter	NG Headspace [mg/kg]	NG Luft [µg/m³]
Aldehyde (Fortsetzung)		
n-Hexanal	0,1	1
n-Heptanal	0,1	1
2-Ethylhexanal	0,1	1
n-Oktanal	0,1	1
n-Nonanal	0,1	1
n-Decanal	0,1	1
n-Undecanal	0,1	1
n-Dodecanal	0,1	1
Benzaldehyd* ¹	0,1	1
Cuminaldehyd	0,1	1
Glutardialdehyd (Glutaraldehyd)	0,1	1
2(E)-Butenal* ¹	0,1	1
2(E)-Pentenal	0,1	1
2(E)-Hexenal	0,1	1
2(E)-Heptenal	0,1	1
2(E)-Octenal	0,1	1
2(E)-Nonenal	0,1	1
2(E)-Decenal	0,1	1
2(E)-Undecenal	0,1	1
8(Z)-Undecenal	0,1	1
2-Phenylethanal	0,1	1
Furfural	0,1	1
5-Methylfurfural	0,1	1
Alkansäuren		
Ethansäure (Essigsäure)	0,1	1
Propansäure (Propionsäure)	0,1	1
2-Methylpropansäure (Isobuttersäure)	0,1	1
n-Butansäure (Buttersäure)	0,1	1
2,2-Dimethylpropansäure (Pivalinsäure)	0,1	1
n-Pentansäure (Valerieansäure)	0,1	1
n-Hexansäure (Capronsäure)	0,1	1
n-Heptansäure	0,1	1
n-Oktansäure (Caprylsäure)	0,1	1
2-Ethylhexansäure	0,1	1
Alkohole		
Ethanol # < *	0,1	1
n-Propanol # <	0,1	1
2-Propanol # <	0,1	1
iso-Butanol	0,1	1
n-Butanol	0,1	1
n-Pentanol	0,1	1
n-Hexanol	0,1	1
n-Heptanol	0,1	1
2-Ethylhexanol	0,1	1
n-Oktanol	0,1	1
n-Nonanol	0,1	1
n-Decanol	0,1	1
tert.-Butanol	0,1	1
1,4-Butandiol	0,1	1
Cyclohexanol	0,1	1
Hexylenglycol (2-Methyl-2,4-pentandiol)	0,1	1

Parameter	NG Headspace [mg/kg]	NG Luft [µg/m³]
Alkohole (Fortsetzung)		
Phenol	0,1	1
2-Methylphenol	0,1	1
3-Methylphenol	0,1	1
Benzylalkohol	0,1	1
weitere gesättigte Alkohole C ₄ -C ₁₀ *	0,1	1
BHT (Butyliertes Hydroxytoluol = 2,6-Ditertiärbutyl-4-methylphenol)	0,1	1
TMDYD (2,4,7,9-Tetramethyldec-5-yn-4,7-diol)	0,1	1
weitere gesättigte Alkohole C ₁₁ -C ₁₃ *	0,1	1
Sonstige polare Verbindungen		
2-Butanonoxim	0,1	1
2-Methylpyrrolidon	0,1	1
Pyridin	0,1	1
2-Vinylpyridin	0,1	1
Benzothiazol	0,1	1
2-Octylisothiazolinon >#	0,1	1
CIT (5-Chlor-2-methyl-4-isothiazolin-3-on)*	0,1	1
MIT (2-Methyl-4-isothiazolin-3-on)*	0,1	1
Methenamin (Urotropin)	0,1	1
Triethylamin	0,1	1
Caprolactam	0,1	1
Trimethylphosphat	0,1	1
Triethylphosphat	0,1	1
Tri-n-Butylphosphat >#	0,1	1
Propylencarbonat*	0,1	1
Dimethylsulfid	0,1	1
Dimethyldisulfid	0,1	1
1,4-Dioxan	0,1	1
Hexamethyldisiloxan	0,1	1
D3 (Hexamethylcyclotrisiloxan)	0,1	1
D4 (Octamethylcyclotetrasiloxan)	0,1	1
D5 (Decamethylcyclopentasiloxan)	0,1	1

= diese Substanz ist nicht im TVOC repräsentiert. Sie tritt im Chromatogramm vor Hexan („#<“) oder nach Hexadekan („>#“) auf.

NG = Nachweisgrenze

mg = Milligramm

µg = Mikrogramm = 1 millionstel Gramm

- = nicht bestimmbar

mg/kg = Milligramm pro Kilogramm

µg/m³ = Mikrogramm pro Kubikmeter

*quantifiziert über den Response von Toluol

*1 Bestimmung von Luftproben mittels HPLC-Verfahren