

Richtlinie zur Bewertung der Innenraumlufth – Dodecamethylcyclohexasiloxan D6

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Projektleitung: DI Peter Tappler, Dr. Ilse Mauritz

Autoren (in alphabetischer Reihenfolge):

Dipl.-Ing. Bernhard Damberger, Assoz. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hans-Peter Hutter, Priv.-Doz. Dr.
Hanns Moshhammer, Dr. Peter Wallner

Mitglieder des Arbeitskreises Innenraumluft im BMK

Wien, 2024. Stand: 23. September 2024

Vorwort

Der Arbeitskreis Innenraumluft im BMK erstellt und veröffentlicht unterschiedliche Typen von Dokumenten: Die einzelnen Teile der „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“ werden zum Teil unter Mitwirkung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften erstellt und definieren Richt- und Referenzkonzentrationen für häufig auftretende Schadstoffe in Innenräumen.

Beim „Wegweiser für eine gesunde Raumluft“ handelt es sich um eine Konsumentenbrochure, in der in leicht verständlicher Form Empfehlungen zum Thema „Innenraumluft“ gegeben werden. Zu einzelnen Themen werden Positionspapiere veröffentlicht, die gegebenenfalls durch Leitfäden ergänzt werden, in denen in umfangreicherer Form Informationen bereitgestellt werden.

Die Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft, aber auch Leitfäden und Positionspapiere legen prinzipielle Vorgangsweisen für Expertinnen und Experten fest und schneiden offene Fachfragen an. Sie spiegeln die Fachmeinung der im Arbeitskreis vertretenen Fachleute (Umwelthygiene, Messtechnik, Verwaltung usw.) zu einem aktuellen Problemkreis im Themenbereich „Innenraumluft“ wider. Sie haben keinen normativen Charakter und können gegebenenfalls nach einer Evaluierung auch erneut bearbeitet werden.

Zum Zeitpunkt der Drucklegung sind durch den Arbeitskreis Innenraumluft im BMK folgende Dokumente erschienen.

Richtlinienteile der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft:

- Übernahme deutscher Richtwerte
- Allgemeiner Teil
- VOC-Allgemein
- Styrol
- VOC-Summenparameter
- Toluol
- Kohlenstoffdioxid – CO₂ als Lüftungsparameter
- Formaldehyd
- Alpha-Pinen
- Ethylbenzol
- Phenol
- Butan-1-ol
- Octamethylcyclotetrasiloxan D4
- Decamethylcyclopentasiloxan D5
- Dodecamethylcyclohexasiloxan D6
- Naphtalin
- 5-Chloro-2-methyl-2H-isothiazol-3-on (CIT), 2-Methyl-2H-isothiazol-3-on (MIT)
- Xylole

Leitfäden und Konsumentenbroschüren:

- Leitfaden Gerüche in Innenräumen
- Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden („Schimmelleitfaden“)
- Leitfaden zur technischen Bauteiltrocknung
- Wegweiser für eine gesunde Raumluft

Positionspapiere:

- Positionspapier zu Luftströmungen in Gebäuden
- Positionspapier zu Schimmel in Innenräumen
- Positionspapier zu Lüftungserfordernissen in Gebäuden
- Positionspapier zu Formaldehyd in Saunaanlagen
- Positionspapier zu technischer Bauteiltrocknung
- Positionspapier zu Verbrennungsprozessen und Feuerstellen in Innenräumen

- Positionspapier zur Sanierung von Schimmelbefall nach Wasserschäden in Krankenanstalten
- Positionspapier zu Lüftungsunterstützenden Maßnahmen zur Infektionsprophylaxe – Einsatz von Luftreinigern und Einbringung von Wirkstoffen in die Innenraumluft
- Positionspapier zur Bewertung von Innenräumen in Hinblick auf das Infektionsrisiko durch SARS-CoV-2
- Positionspapier zur Beurteilung der maschinellen Kühlung von Innenräumen in Hinblick auf SARS-CoV-2
- Positionspapier zu Auswirkungen energiesparender Maßnahmen auf die Innenraumluft
- Positionspapier zu Lüftungserfordernissen in Bildungseinrichtungen

Online Rechner:

- Corona-Rechner VIR-SIM: Tool zur Berechnung des Infektionsrisikos durch SARS-CoV-2 über Aerosolpartikel in Innenräumen: corona-rechner.at
- Lüftungsrechner CO2-SIM, verfügbar unter raumluft.org

Die Publikationen sind – wenn nicht anders angegeben – auf der Website des BMK zum Download verfügbar: bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/innenraum.html

Inhalt

Vorwort	3
1 Präambel	7
2 Chemisch-physikalische Eigenschaften	8
3 Messstrategie, Analytik und Prüfbericht	9
3.1 Messstrategie, Probenahme	9
3.2 Analytik	11
3.3 Prüfbericht	12
4 Ableitung des wirkungsbezogenen Innenraumrichtwerts	13
4.1 Ableitung der Europäischen LCI-Arbeitsgruppe	13
4.2 Ableitung des deutschen Ausschusses für Innenraumrichtwerte	16
4.3 Ergebnis der Literaturrecherche	17
4.4 Ableitung der NOAEC	18
4.5 Ableitung des Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwertes	18
5 Richtwert und Beurteilung eines Messwertes	19
5.1 Festlegung Wirkungsbezogener Innenraumrichtwert und Erläuterungen	19
5.2 Abdeckung gesetzlicher Vorgaben	20
Literaturverzeichnis	21

1 Präambel

Für Dodecamethylcyclhexasiloxan (D6) wurde seitens der EU-LCI-Arbeitsgruppe 2022 ein LCI-Wert (Niedrigste Interessierende Konzentrationen NIK, engl. LCI, franz. CLI) von 10 mg/m³ beschlossen.

Entsprechend dem Beschluss des Arbeitskreises Innenraumluft im BMK, im Falle des Vorliegens einer rezenten Ableitung durch den deutschen Ausschuss für Innenraumrichtwerte oder andere fachkompetente Gremien ein verkürztes Verfahren der Ableitung durchzuführen, liegt nunmehr diese Ableitung vor.

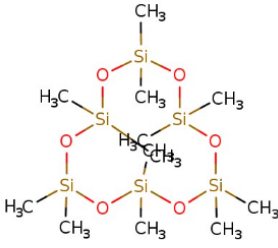
Das verkürzte Verfahren besteht darin zu prüfen,

- ob es relevante neue Erkenntnisse seit der Ableitung durch den deutschen Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) oder die EU-LCI-Arbeitsgruppe gibt, wobei diese Prüfung auf Basis einer systematischen Literaturrecherche für den Zeitraum von ein bis zwei Jahren vor Veröffentlichung des deutschen/EU-Richtwerts bis zum aktuellen Zeitpunkt der Behandlung im Arbeitskreis Innenraumluft durchgeführt wird;
- ob im Lichte der in dieser Recherche ermittelten Daten die Basis der Ableitung durch die deutsche bzw. EU-Arbeitsgruppe aufrechterhalten werden kann;
- welche analytischen Methoden dem Stand der Technik entsprechen;
- und in welchem Ausmaß eine Änderung des deutschen/EU-Richtwerts wegen des unterschiedlichen Ableitungsschemas vorgenommen werden muss.

Der Arbeitskreis Innenraumluft im BMK spricht daher in Bezug auf die Substanz Dodecamethylcyclhexasiloxan folgende allgemeingültige Empfehlungen aus, die sich am Stand der Technik orientieren.

2 Chemisch-physikalische Eigenschaften

Tabelle 1 Eigenschaften von Dodecamethylcyclohexasiloxan

Systematischer Name	Dodecamethylcyclohexasiloxan
Synonyme	Siloxan D6
CAS-Nummer	540-97-6
CLP-Index-Nr.	-
Harmonisierte Einstufung gemäß CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 i.d.g.F	-
Summenformel	$C_{12}H_{36}O_6Si_6$
Strukturformel	
Molmasse	444,92 g/mol
Schmelzpunkt	-3 °C
Siedetemperatur	245 °C (1.013 hPa)
Dichte	0,98 g/cm ³ (298,15 K, 1.013 hPa)
Dampfdruck	4,7 Pa (bei 298,15 K)
Wasserlöslichkeit	5,1 µg/L (bei 296,15 K)
Umrechnungsfaktoren (bei 296,15 K, 1013,25 hPa):	$1 \text{ ppm} = 18,31 \text{ mg/m}^3$ $1 \text{ mg/m}^3 = 0,0546 \text{ ppm}$

3 Messstrategie, Analytik und Prüfbericht

3.1 Messstrategie, Probenahme

Messungen der Konzentration an Dodecamethylcyclhexasiloxan in der Innenraumluft erfolgen im Allgemeinen mittels Kurzzeitprobenahme (z.B. 30 Minuten). Die Messplanung und Probenahmestrategie gestaltet sich in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 16000-5¹. Erfolgen die Messungen mit dem Ziel der Überprüfung der Einhaltung des in Kapitel 4.5 abgeleiteten Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwertes (WIR), so hat die Probenahmedauer dem Beurteilungszeitraum des WIR (30 Minuten) zu entsprechen. Abweichungen davon sind nur in begründeten Ausnahmefällen zulässig.

Referenzverfahren für die Probenahme ist die Sammlung der Substanz mittels Tenax mit anschließender Thermodesorption nach DIN ISO 16000-6² und entsprechender GC/MS-Analytik. Die Sammlung der Substanz mittels eines geeigneten Sorbens auf Aktivkohle-Basis nach ÖNORM M 5700-2³ mit anschließender Lösungsmitteldesorption und GC/MS-Analytik (Äquivalenzverfahren) ist in Bezug auf die Detektion von Dodecamethylcyclhexasiloxan als dem Referenzverfahren gleichwertig anzusehen.

Informationen über den zeitlichen Verlauf oder die Ermittlung von örtlichen Konzentrationsunterschieden (Hinweise auf Quellen) können bei hohen Konzentrationen an Dodecamethylcyclhexasiloxan über Messungen mit anderen Methoden, z.B. einem direkt anzeigenden Detektor auf Basis der Photoionisation (PID) gewonnen werden. Die Anwendung derartiger Methoden ist nur nach vorheriger Kenntnis des Spektrums an VOC unter Identifizierung und Quantifizierung der Einzelsubstanzen mittels des

¹ ÖNORM EN ISO 16000-5 (2007): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC) (ISO 16000-5:2007). 2007 06 01

² DIN ISO 16000-6 (2022): Bestimmung organischer Verbindungen (VVOC, VOC, SVOC) in Innenraum- und Prüfkammerluft durch aktive Probenahme auf Adsorptionsröhrchen, thermischer Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID (ISO 16000-6:2021). 2022 03

³ ÖNORM M 5700-2 (2002): Messen von Innenraumluft-Verunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen - Teil 2: Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Aktivkohle – Lösemittelextraktion. 2002 08 01

Referenzverfahrens möglich, wobei sichergestellt sein muss, dass das Verhältnis der Konzentrationen der einzelnen VOC zueinander zeitlich konstant ist.

Eine maßgebliche Beeinflussung des Messergebnisses bei Kurzzeitprobenahmen ist unter Umständen durch die aktuell herrschenden Außenklimaparameter gegeben, die je nach Außentemperatur und Windgeschwindigkeit zu stark unterschiedlichem Luftwechsel führen können.

Neben den in „Allgemeiner Teil“ sowie im Teil „VOC-Allgemeiner Teil“ der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft behandelten Fragen in Bezug auf die Messstrategie sind noch folgende Punkte zu beachten:

- Vor der Probenahme sollte der Raum über Fenster gelüftet werden. Anschließend darf der Raum über einen Zeitraum von in der Regel mindestens 8 Stunden nicht gelüftet werden, anschließend kann die Probenahme erfolgen. Außentüren und Fenster müssen in der Vorbereitungszeit und während der Probenahme geschlossen bleiben, Fenster- und Türfugen sollten jedoch nicht abgeklebt werden. Die Raumtemperatur sollte sich im üblichen Bereich (20 bis 23°C) bewegen. Innentüren sind in der Regel ebenfalls geschlossen zu halten, begründete Ausnahmen davon sind jedoch möglich. Türen können kurz geöffnet werden, um z.B. den Raum zu betreten oder ihn zu verlassen, sie sind jedoch unmittelbar darauf wieder zu schließen.
- Sollte in den Räumen ein definiertes Lüftungsregime für die Fensterlüftung gelten (bspw. in Büroräumen oder Schul- und Unterrichtsräumen), kann der Zeitraum, in dem keine Lüftung über Fenster stattfindet, verkürzt werden (bspw. auf eine oder wenige Stunden). Hierbei ist festzustellen, ob eine regelmäßige Lüftung nach diesen Zeiträumen real tatsächlich stattfindet bzw. ob Lüftungsanweisungen existieren, die auch in der Praxis befolgt werden. Die Probenahme erfolgt nach dem Zeitraum, in dem üblicherweise keine Lüftung über Fenster stattfindet.
- Die Windgeschwindigkeit im Außenbereich sollte die Windstärke 3 nach Beaufort (Bereich 3,4 - 5,4 m/s, entspricht „Schwache Brise“ – Blätter und dünne Zweige bewegen sich) nicht überschreiten.
- In Räumen mit raumluftechnischen Anlagen ist die Anlage unter dem für den Nutzer ungünstigsten, jedoch realistischen Betriebszustand zu betreiben (niedriger Luftwechsel). Ist dies nicht bekannt, ist die niedrigste für den Normalbetrieb vorgesehene Lüftungsstufe zu wählen.

- Die Benutzer des Raumes müssen darauf hingewiesen werden, dass in einem Zeitraum von etwa einer Woche vor der Messung bis zur Messung keine lösungsmittelhaltigen Produkte (z.B. Oberflächenbeschichtungen, Klebstoffe) verwendet werden dürfen (außer es soll der Einfluss dieser Produkte erfasst werden).
- Je nach den lokalen Bedingungen können zusätzlich Messungen der Außenluft, Messungen in anliegenden Arbeitsräumen (z.B. den Betriebsräumen eines Betriebes, in dem Dodecamethylcyclhexasiloxan als Arbeitsstoff verwendet wird) oder an anderen relevanten Messorten durchgeführt werden.
- Die Auswahl der Räume richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen und der Raumnutzung. Es sollen Räume untersucht werden, die dem langdauernden Aufenthalt von Personen dienen (z.B. Wohnräume, Schlafräume, Büros, Schulräume, Gruppenräume von Kindergärten).
- Zur Beurteilung einer möglichen Immissionsbelastung durch Betriebe, in denen die Substanz Dodecamethylcyclhexasiloxan als Arbeitsstoff eingesetzt wird, ist wenn möglich auch in den Betriebsräumlichkeiten zu messen. Es ist zu gewährleisten, dass sich die Anlagen in normalem Betrieb befinden.

3.2 Analytik

Es wird auf die Ausführungen im Kapitel Analytik in „Allgemeiner Teil“ sowie im Teil „VOC-Allgemeiner Teil“ der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft verwiesen.

Die Analyse der Proben wird im Labor unter Anwendung einer entsprechenden GC/MS-Analytik vorgenommen. Referenzverfahren ist die Thermodesorption nach ISO 16000-6 (siehe auch Kapitel 3.1). Die Vorgangsweise nach ÖNORM M 5700-2 mit Lösungsmittel-Desorption und GC/MS-Analytik (Äquivalenzverfahren) ist als dem Referenzverfahren gleichwertig anzusehen. Weiters ist das Verfahren mit anderen Detektoren (z.B. FID) unter Verwendung mehrerer Säulen dem Referenzverfahren gleichwertig, wenn es eine eindeutige Identifizierung erlaubt. Die Bestimmungsgrenze des gesamten Verfahrens darf den Wert von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten.

Die Anforderungen an ein Äquivalenzverfahren in Bezug auf Dodecamethylcyclohexasiloxan sind folgende:

- Die Bestimmungsgrenze des gesamten Verfahrens darf den Wert von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten. Das Verfahren muss die interessierende Substanz spezifisch anzeigen und darf keine analytisch relevanten Querempfindlichkeiten aufweisen.
- Die relative Standardunsicherheit (Standardunsicherheit oder kombinierte Standardunsicherheit dividiert durch den Mittelwert der Messwerte) darf den Wert von 0,1 nicht überschreiten.

3.3 Prüfbericht

Der Prüfbericht hat die in „Allgemeiner Teil“ sowie im Teil „VOC-Allgemeiner Teil“ der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft behandelten Punkte zu enthalten.

4 Ableitung des wirkungsbezogenen Innenraumrichtwerts

4.1 Ableitung der Europäischen LCI-Arbeitsgruppe

Das Ableitungsprinzip der Europäischen Arbeitsgruppe ist im ECA-Report Nr. 29 dargelegt (JRC 2013). Vereinfacht dargestellt, werden europäische, nationale und internationale Bewertungen gegenübergestellt und zusätzlich relevante aktuelle Literatur geprüft. Basierend darauf wird die relevanteste Studie hinsichtlich gesundheitlicher Effekte nach chronischer inhalativer Exposition ermittelt. Durch Anwendung der Bewertungsfaktoren gemäß REACH-Leitfaden R8 (ECHA 2012) wird eine „sichere Konzentration“ abgeleitet. In einem LCI-Fact-Sheet wird die Ableitung dokumentiert und begründet.

Tierversuche, in denen chronisch inhalative Exposition gegenüber Siloxanen untersucht wurde, zeigen Effekte im oberen Atemtrakt (Becherzell-Proliferation) und der Lunge (vermehrte alveolare Makrophagen, Anzeichen chronischer Entzündung). Basierend auf dem derzeitigen Wissensstand kann angenommen werden, dass die dokumentierten Effekte nicht eine Toxizität der Siloxane selbst abbilden, sondern eine Reaktion auf die Exposition gegenüber Aerosolen im Allgemeinen sind, die bei der Versuchsdurchführung generiert wurden (Pauluhn 2021). Diese Studien können daher für eine Ableitung nicht herangezogen werden. Da keine anderen geeigneten chronischen Studien identifiziert werden konnten, basiert die Ableitung für die zyklischen semi-volatilen Methylsiloxane der europäischen Arbeitsgruppe am Sättigungsdampfdruck (V_{sat}), also jener Konzentration, ab der die Entstehung von Aerosolen, und somit das Auftreten von adversen Aerosol-Effekten im Allgemeinen, möglich ist. Für D6 wurde aber, abweichend zu D4 und D5, vorgeschlagen, einen Ausgangswert (NOAEC, limit value) von 100 mg/m^3 für die Ableitung zu verwenden, da D6 aufgrund seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften die Pufferkapazität des Lungensurfactant nicht vollständig ausschöpfen kann (Pauluhn 2021).

V_{sat} (limit value) = NOAEC = 100 mg/m^3

Folgende Bewertungsfaktoren wurden für D6 angewendet:

- Zeitanpassung auf eine kontinuierliche wöchentliche Expositionsdauer: Faktor: 1 (physikalisch-chemischer Effekt)
- Interspezies Faktor: 1 (Ratten sind aufgrund ihrer Anatomie als empfindlicher anzusehen, Metabolismus ist nicht relevant)
- Intraspezies-Faktor: 1
- Datenqualität: Faktor 10 (Unsicherheiten durch Anwendung eines abweichenden Ableitungs-Konzeptes)

Der Gesamtextrapolationsfaktor beträgt somit 10. Daraus ergibt sich bei linearer Umrechnung eine Konzentration von $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (546 ppb).

Die folgende Begründung für die Ableitung stellt einen Auszug aus dem LCI-Fact-Sheet dar.

Der deutsche Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) leitete 2011 für zyklische Dimethylsiloxane D3-D6 einen Summe-Vorsorgerichtwert (RW I) von $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab; der RW II liegt bei $4 \text{ mg}/\text{m}^3$. Die NIK-Werte (2003)⁴ des deutschen Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) liegen für D4, D5, D6 und D7 bei $1.200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $1.200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, teilweise basierend auf read-across. Das dänische Umweltministerium (Danish EPA 2014) legt einen c-Wert (quality criterion for ambient air) von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für die Summe der Siloxane D3-D6 und Hexamethyldisiloxan fest.

Für die Abschätzung der Aufnahme von D6 in den Körper sind nur wenige Daten verfügbar. Für die orale Route wird eine Absorptionsrate von 12% berichtet. Rund 83% davon werden ausgeschieden, 11% abgeatmet und nur 0,04% konnten in diversen Geweben (Leber, Fett, Knochenmark) detektiert werden (Anonymous 2004).

Zu Effekten nach chronischer Exposition im Menschen ist nichts bekannt. Effekte, die im Tierversuch auftraten sind (irreversible) Entzündungen/Hyperplasien im nasalen Gewebe, Lipidose und Hypertrophy der Schilddrüse.

⁴ [AgBB-Bewertungsschema 2018 final Korrigendum \(umweltbundesamt.de\)](#)

In einer Tierstudie mit inhalativer Exposition (Anonymous 2013) wurden männliche und weibliche Ratten Konzentrationen von 0 ppm (Kontrolle), 1, 10 und 30 ppm über einen Zeitraum von 13 Wochen (6 h/Tag, 7 Tage/Woche) ausgesetzt. In diesem Zeitraum konnte laut Studienautor keine Veränderungen der Körpergewichte, der Organgewichte, der Hämatologie oder der äußeren Pathologie der Organe beobachtet werden. D6 mediierte mikroskopische Veränderungen wurden in der Leber (periportale Vakuolisierung), in der Lunge (vermehrt alveolare Makrophagen) und im nasalen Gewebe (Entzündungen und Hyperplasie) exponierter Ratten beobachtet. Während die Effekte in Leber und Lunge, welche reversiblen Charakter hatten, nur in weiblichen Ratten bei Dosierungen von 10 oder 30 ppm auftraten waren Effekte im nasalen Gewebe in beiden Geschlechtern zu beobachten. Bei Konzentrationen von 10 ppm und darüber wurden subakute Entzündungen (Infiltration mit neutrophilen und mononukleären Zellen) und Hyperplasie der Epithelien und Schleimhäute beobachtet. In der Hochdosisgruppe (30 ppm) waren diese Schäden auch noch nach einer Erholungsphase von 28 Tagen sichtbar.

Pauluhn (2021) postulierte, dass für zyklische semi-volatile Methylsiloxane davon ausgegangen werden kann, dass die im Tierversuch beobachteten Effekte im Atemtrakt durch das Auftreten von Aerosolen im Allgemeinen erklärt werden können und keine irritativen Effekte der Substanz darstellen. Vermehrtes Auftreten von Becherzellen in den Nasengängen werden als übliche adaptive Reaktion auf haptische oder physikalisch-chemische Stimuli (wie z.B. Aerosol) in der Ratte gesehen. Aerosoldeposition löst vermehrte Schleimproduktion und -ablagerung aus. Der erwartete Wirkmechanismus von D6-Aerosolen in der Lunge ist eine funktionelle Störung des Lungen-Surfactants und eine damit einhergehende Störung der Lungenphysiologie, die durch erhöhtes Lungengewicht in Ratten ersichtlich wird. Die Lunge besitzt kompensatorische Mechanismen solchen Effekten entgegenzuwirken. Eine erhöhte Anzahl an Makrophagen in der Lunge ist daher als adaptive Prozess zu sehen um die alveolare Stabilität und Funktion der Lunge zu erhalten. Gemäß Pauluhn (2021) sind die beobachteten lokalen Effekte im Atemtrakt von Ratten vollständig durch phasen-spezifische, physikalisch-chemische Aerosol-Effekte und nicht durch eine etwaige reizende Wirkung durch D6 selbst zu erklären.

Der Sättigungsdampfdruck (V_{sat}), also jener Konzentration ab der die Entstehung von Aerosolen, und somit das Auftreten von adversen Aerosol-Effekten im Allgemeinen, möglich ist, wird daher als Ausgangspunkt für die Ableitung vorgeschlagen. Für D6 wird in der Literatur aber, abweichend zu D4 und D5, vorgeschlagen einen Ausgangswert (NOAEC) von 100 mg/m^3 für die Ableitung zu verwenden, da D6 aufgrund seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften die Pufferkapazität des Lungensurfactant nicht vollständig

ausschöpfen kann (Pauluhn 2021). Ein „limit value“ von 100 mg/m³ wurde daher als NOAEC und somit Ausgangspunkt für eine Ableitung herangezogen.

$$V_{\text{sat}} (\text{limit value}) = \text{NOAEC} = 100 \text{ mg/m}^3$$

Da es sich hierbei um physikalisch-chemische Aerosol-Effekte handelt wurden nicht die üblichen Bewertungsfaktoren angewendet. Generell ist davon auszugehen, dass aufgrund der unterschiedlichen Anatomie des Atemtrakts die Ratte wesentlich empfindlicher als der Mensch ist. Es sind daher keine weiteren Unsicherheitsfaktoren notwendig. Aufgrund der möglichen Unsicherheiten dieses abweichenden methodischen Ansatzes wurde ein zusätzlicher Faktor von 10 veranschlagt.

Der Gesamtextrapulationsfaktor beträgt somit 10. Daraus ergibt sich bei linearer Umrechnung eine Konzentration von 10.000 µg/m³ (546 ppb).

Das detaillierte EU-LCI-Fact-Sheet kann auf der Homepage der Europäischen Kommission (DG GROW) eingesehen werden⁵.

4.2 Ableitung des deutschen Ausschusses für Innenraumrichtwerte

Der deutsche Ausschuss für Innenraumrichtwerte leitete 2011 für zyklische Dimethylsiloxane D3-D6 einen Summe-Vorsorgerichtwert ab (AIR 2011).

Ausgangspunkt für die Ableitung war eine subchronische Studie mit D5 an Ratten. Dabei trat ab einer Expositionskonzentration von 600 mg/m³ (6 h/Tag, 5 Tage/Woche) eine erhöhte Inzidenz entzündungsbedingter Gewebeschäden mittleren Grades in den Nasenhöhlen auf. Zur Extrapolation auf eine kontinuierliche Exposition verwendete die Ad-hoc-Arbeitsgruppe einen Faktor von 5,6 (= 6/24*5/7). Für den Interspeziesfaktor wurde ein Wert von 2,5 festgesetzt, für die interindividuelle Variabilität der inhalativen Irritation ein Standardfaktor von 5. Zur Abbildung der Unkenntnis der Altersabhängigkeit der Reizwirkung wurde ein Unsicherheitsfaktor von 2 eingesetzt. Bei Anwendung dieser

⁵ ec.europa.eu/growth/sectors/construction/eu-lci/values_en

Faktoren ergeben sich ein Gefahrenrichtwert (Richtwert II) von (gerundet) 4 mg D5/m³ und ein Vorsorgerichtwert (Richtwert I) von 0,4 mg D5/m³.

Da im Speziellen für D3 und D6 keine bewertbaren Daten vorlagen, schlug die Ad-hoc-Arbeitsgruppe vor, die für D5 abgeleiteten Richtwerte auf die gesamte Summe der Siloxane D3 bis D6 zu beziehen, zumal der Richtwert für D5 den Endpunkt Reproduktionstoxizität von D4 einschließt:

- Summenrichtwert II = 4 mg Siloxane D3–D6/m³ (4.000 µg/m³)
- Summenrichtwert I = 0,4 mg Siloxane D3–D6/m³ (400 µg/m³)

4.3 Ergebnis der Literaturrecherche

Die Ableitung der europäischen LCI-Arbeitsgruppe berücksichtigt die wissenschaftliche Literatur bis einschließlich 2021. Die hier durchgeführte Literaturrecherche umfasst den Zeitraum von 01/2022 bis 04/2024 und wurde in PubMed mit dem Schlagwort „dodecamethylcyclohexasiloxan“ durchgeführt. Die Recherche ergab einen relevanten Artikel, dessen Inhalt vollständig geprüft wurde.

In einem Review von Clewell et al. (2024) wurde die dermale Absorption von zyklischen und linearen Siloxanen betrachtet. Verfügbare in vivo Studien zeigen eine geringe Absorption ($\leq 1\%$) von zyklischen Siloxanen über die Haut. Die höhere Lipophilie von D6 im Vergleich zu D4 und D5 reduziert zudem das Eindringen in tiefere Hautschichten. Verdunstung auf der Hautoberfläche und damit inhalative Exposition werden bei Verwendung in Körperpflegeprodukten als primärer Expositionspfad angesehen.

Die beschriebene Studie konnte nicht unmittelbar für die gegenständliche Ableitung herangezogen werden.

4.4 Ableitung der NOAEC

Basierend auf den Erkenntnissen von Pauluhn (2021) zu den aerosolbedingten-Effekten im Tierversuch wird ein „limit value“ von D6 als NOAEC für die Ableitung herangezogen. Die NOAEC von 100 mg/m^3 wird unter Berücksichtigung eines zusätzlichen Unsicherheitsfaktors wie im Schema des österreichischen Arbeitskreises vorgesehen, angepasst.

4.5 Ableitung des Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwertes

Der Ausgangspunkt des österreichischen Ableitungsschemas ist die NOAEC oder eine Schätzung dieses Wertes ausgehend von der besten verfügbaren Evidenz. Die vom österreichischen Arbeitskreis für Innenraumluft verwendeten Bewertungsfaktoren werden daher wie folgt angewendet:

- Umrechnung auf Dauereexposition: subchronisch → chronisch: 1 (nicht relevant)
- Interspezies-Faktor (Variationen zwischen den Spezies, lokaler Effekt): 1 (Ratte ist empfindlicher als der Mensch, Metabolismus nicht relevant)
- Intraspezies-Faktor (Variationen innerhalb der Spezies): 1
- Zeitanpassung auf eine kontinuierliche wöchentliche Expositionsdauer: 1 (nicht relevant)
- Datenqualität: Faktor 10 (Unsicherheiten durch Anwendung eines abweichenden Ableitungs-Konzeptes)

Der Gesamtextrapolationsfaktor beträgt damit 10, die NOAEC 100 mg/m^3 . Daraus ergibt sich bei linearer Umrechnung ein Wirkungsbezogener Innenraumrichtwert (WIR) von $10.000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (546 ppb).

Es erfolgt keine Berücksichtigung der Geruchsschwelle, da die Substanz geruchlos ist.

5 Richtwert und Beurteilung eines Messwertes

5.1 Festlegung Wirkungsbezogener Innenraumrichtwert und Erläuterungen

Auf Basis der in Kapitel 4.5 dargelegten Ableitung wird der Wirkungsbezogene Innenraumrichtwert (WIR) auf ein Halbstundenmittel von 10.000 µg Dodecamethylcyclohexasiloxan/m³ festgelegt.

Tabelle 2: Wirkungsbezogener Innenraumrichtwert (WIR) und wesentlicher Endpunkt

Stoffname	Beurteilungszeitraum	Richtwert (WIR)	Wesentliche Endpunkte
Dodecamethylcyclohexasiloxan	Halbstunden-Mittelwert	10.000 µg/m ³	Auftreten von Aerosolen, Störung der Lungenhomöostase

Zur Beurteilung der Situation in einem Innenraum sind Halbstunden-Mittelwerte unter den ungünstigsten noch realistischen Bedingungen heranzuziehen. Wenn der Richtwert überschritten wird, sind Maßnahmen einzuleiten, die nach dem heutigen Stand der Technik geeignet sind, eine Reduktion der Raumlufkonzentration von Dodecamethylcyclohexasiloxan herbeizuführen. Es können Maßnahmen in den betroffenen Innenräumen selbst oder in der Umgebung des betroffenen Raumes notwendig werden.

Liegt eine Überschreitung des Richtwertes vor, so wird empfohlen, mehrere hintereinander folgende Messungen in ausreichendem zeitlichen Abstand durchzuführen, um den Verlauf der Konzentration zu bestimmen. Daraus ist abzuschätzen, ob und in welchem Zeitraum die Konzentration unter den Richtwert absinken wird. Sollte sich keine Tendenz zeigen, die eine Unterschreitung des Richtwertes innerhalb absehbarer Zeit erwarten lässt, dann sind (weitere) Sanierungsmaßnahmen einzuleiten, um den Wert unter den Richtwert zu senken. Unabhängig davon sind den Bewohnern Empfehlungen hinsichtlich belastungsmindernder Maßnahmen (z.B. Lüften) mitzuteilen.

5.2 Abdeckung gesetzlicher Vorgaben

Bei Einhaltung der Mindestvorgaben für dauernd von Menschen genutzte Innenräume laut Kapitel 5.1 ist davon auszugehen, dass unter anderem auch folgende gesetzliche Vorgaben (bzw. deren fachliche Grundlagenforderungen) in Hinblick auf Emissionen erfüllt sind:

- Vorgaben laut § 26 Abs. 1, Arbeitsstättenverordnung – AStV (2017) – Auszug:
„Als Arbeitsräume dürfen nur Räume verwendet werden, denen ausreichend frische, von Verunreinigungen möglichst freie Luft zugeführt und aus denen verbrauchte Luft abgeführt wird“.
- Vorgaben laut § 22 Abs. 3, ArbeitnehmerInnenschutzgesetz – AschG (2022):
„In Arbeitsräumen muss unter Berücksichtigung der Arbeitsvorgänge und der körperlichen Belastung der Arbeitnehmer ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein und müssen raumklimatische Verhältnisse herrschen, die dem menschlichen Organismus angemessen sind.“
- Vorgaben der OIB-Richtlinie 3 als Basis der gesetzlichen bautechnischen Regelungen der Länder. Bezugnehmend auf das Innenraumklima schreibt die OIB-Richtlinie 3 vor, dass Aufenthaltsräume so auszuführen sind, dass gefährliche Emissionen aus Baumaterialien und aus dem Untergrund nicht zu Konzentrationen führen dürfen, die die Gesundheit der Benutzer beeinträchtigen.

Literaturverzeichnis

Die nicht im Anhang aufgeführten Regelwerke sind in den Fußnoten bei Erwähnung der jeweiligen Regelwerke aufgeführt.

AIR (2011): Richtwerte für zyklische Dimethylsiloxane in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 2011, 54:388-400.

Anonymous (2004): Disposition of 14C-dodecamethylcyclohexasiloxane (D6) following single, oral administration to Fischer 344 rats. April 28, 2004. REACH Registrierungsdaten, echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/registered-substances

Anonymous (2013): Subchronic Inhalation Toxicity: 90-Day Study. REACH Registrierungsdaten, echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/registered-substances

Clewell H, Greene T, Gentry R.J (2024): Dermal absorption of cyclic and linear siloxanes: a review. Toxicol Environ Health B Crit Rev. Apr 2; 27(3):106-129.

Danish EPA (2014): Siloxanes (D3, D4, D5, D6, HMDS). Evaluation of health hazards and proposal of a health-based quality criterion for ambient air. Environmental Project No 1531, 2014. mst.dk/Udgiv/publications/2014/01/978-87-93026-85-8.pdf

ECHA (2012): Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.8: Characterisation of dose [concentration]-response for human health. ECHA-2010-G-19-EN. [COVER PAGE \(europa.eu\)](https://echa.europa.eu)

JRC (2013): Report No 29. Harmonisation framework for health based evaluation of indoor emissions from construction products in the European Union using the EU-LCI concept. publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC83683/eca%20report%2029_final.pdf

Pauluhn J (2021): Inhalation toxicity of cyclic semi-volatile methylsiloxanes: Disentangling the conundrum of phase-specific adaptations from adverse outcomes. Regulatory Toxicology and Pharmacology Volume 122, 104923. doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.104923.

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 (0) 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at