

# **Richtlinie zur Bewertung der Innenraumlufth – Naphthalin**

Wien, 2024

## **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, Mag. Dr. MSc Christina Hartmann, Assoz. Prof. Dipl.-Ing.  
Dr. Hans-Peter Hutter, Priv.-Doz. Dr. Hanns Moshhammer, Mag. Dr. M-Tox Maria Uhl, 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 Konsumentenbroschüre, 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 – CO<sub>2</sub> 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](https://corona-rechner.at)
- Lüftungsrechner CO2-SIM, verfügbar unter [raumluft.org](https://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](https://bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/innenraum.html)

## Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Präambel</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Chemisch-physikalische Eigenschaften</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Messstrategie, Analytik und Prüfbericht</b> .....	<b>9</b>
3.1 Messstrategie, Probenahme .....	9
3.2 Analytik .....	11
3.3 Prüfbericht .....	12
<b>4 Ableitung des wirkungsbezogenen Innenraumrichtwerts</b> .....	<b>13</b>
4.1 Ableitung der Europäischen LCI-Arbeitsgruppe .....	13
4.2 Ableitung des deutschen Ausschusses für Innenraumrichtwerte .....	15
4.3 Ergebnis der Literaturrecherche .....	16
4.4 Ableitung der NOAEC .....	21
4.5 Ableitung des Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwertes .....	22
<b>5 Richtwert und Beurteilung eines Messwertes</b> .....	<b>23</b>
5.1 Festlegung Wirkungsbezogener Innenraumrichtwert und Erläuterungen .....	23
5.2 Abdeckung gesetzlicher Vorgaben .....	24
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>25</b>

# 1 Präambel

Dieser Innenraumrichtwert basiert auf den Grundlagen der Ableitung gesundheits-basierter Richtwerte für chronische Exposition der europäischen LCI-Arbeitsgruppe (2015) sowie der Ableitung des deutschen Ausschusses für Innenraumrichtwerte (2013). Beide veröffentlichten einen Richtwert von gerundet von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die WHO (2010) empfiehlt einen Guideline-Wert für Innenraumluft von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

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.

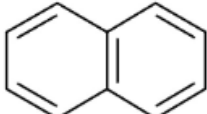
Das verkürzte Verfahren besteht darin zu prüfen,

- 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 Naphthalin folgende allgemeingültige Empfehlungen aus, die sich am Stand der Technik orientieren.

# 2 Chemisch-physikalische Eigenschaften

Tabelle 1 Eigenschaften von Naphthalin

<b>Systematischer Name</b>	Naphthalin
<b>Synonyme</b>	-
<b>CAS-Nummer</b>	91-20-3
<b>CLP-Index-Nr.</b>	601-052-00-2
<b>Harmonisierte Einstufung gemäß CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 i.d.g.F</b>	Acute Tox 4*, H302; Carc. 2, H351; Aquatic Acute 1, H400; Aquatic Chronic 1, H410
<b>Summenformel</b>	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>
<b>Strukturformel</b>	
<b>Molmasse</b>	128,18 g/mol
<b>Schmelzpunkt</b>	80,3 °C
<b>Siedetemperatur</b>	218 °C (1.013 hPa)
<b>Dichte</b>	1,14 g/cm <sup>3</sup> (293,15 K, 1.013 hPa)
<b>Dampfdruck</b>	7,2 Pa (bei 293,15 K)
<b>Wasserlöslichkeit</b>	31,7 mg/L (bei 298,15 K)
<b>Umrechnungsfaktoren (bei 293,15 K, 1.013,25 hPa):</b>	1 ppm = 5,331 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,188 ppm



# 3 Messstrategie, Analytik und Prüfbericht

## 3.1 Messstrategie, Probenahme

Messungen der Konzentration an Naphthalin 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 5<sup>1</sup>. Erfolgen die Messungen mit dem Ziel der Überprüfung der Einhaltung des in Kapitel 4.4 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 16000-6<sup>2</sup> und entsprechender GC/MS-Analytik.

Informationen über den zeitlichen Verlauf oder die Ermittlung von örtlichen Konzentrationsunterschieden (Hinweise auf Quellen) können bei hohen Konzentrationen an Naphthalin 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 Referenzverfahrens möglich, wobei sichergestellt sein muss, dass das Verhältnis der Konzentrationen der einzelnen VOC zueinander zeitlich konstant ist.

---

<sup>1</sup> ÖNORM EN ISO 16000-5 (2007): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC).

<sup>2</sup> 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

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 3,6 - 5,4 m/s, entspricht „Schwache Brise“ – Blätter und dünne Zweige bewegen sich) nicht überschreiten.
- In Räumen mit raumlufttechnischen 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 Naphthalin 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 Naphthalin 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 verwiesen.

Die Analyse der Proben wird im Labor unter Anwendung eines gaschromatographischen Analysenverfahrens vorgenommen. Referenzverfahren für die Probenahme ist die Sammlung der Substanz mittels Sammlung auf Tenax mit anschließender Thermodesorption und entsprechender GC-Analytik nach DIN ISO 16000-6<sup>3</sup>.

Grundlagen der gaschromatographischen Bestimmung organischer Verbindungen finden sich in ÖNORM M 5700-1<sup>4</sup>. Die DIN ISO 16000-6 beschreibt die Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen in Verbindung mit thermischer Desorption und Kapillar-Gaschromatographie.

---

<sup>3</sup> DIN ISO 16000-6 (2012): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID.

<sup>4</sup> ÖNORM M 5700-1 (2002): Messen von Innenraumluft-Verunreinigungen - Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen - Teil 1: Grundlagen

Die Bestimmungsgrenze des gesamten Verfahrens darf den Wert von  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nicht überschreiten.

Die Anforderungen an ein allfällig zu wählendes Äquivalenzverfahren in Bezug auf Naphthalin sind folgende:

- Die Bestimmungsgrenze des gesamten Verfahrens darf den Wert von  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nicht überschreiten.
- 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 (LCI 2015).

Im Fall von Naphthalin wurde die Studie von Dodd et al. (2012) zur Ableitung eines LCI-Wertes herangezogen. Subchronische Exposition (90 Tage / 6 Stunden / 5 Tage pro Woche) von Fischer F344 Ratten gegenüber 1 ppm führte zu Hyperplasie in respiratorischen Epithelien. Die NOAEC, jene Konzentration bei welcher keine Effekte gefunden werden konnten, wurde mit 0,1 ppm (0,5 mg/m<sup>3</sup>) festgelegt. Basierend auf einem PBPK model (Campbell et al. 2014) wurde eine HEC<sup>5</sup> von 0,12 ppm abgeleitet.

Folgende Bewertungsfaktoren wurden für Naphthalin angewendet:

- Extrapolation subchronisch → chronisch, Faktor: 2
- Interspezies-Faktor (Toxikodynamik): 2,5
- Intraspezies-Faktor: 10

Der Gesamtextrapolationsfaktor beträgt damit 50. Daraus ergibt sich bei linearer Umrechnung eine Konzentration von 0,0024 ppm (12,6 µg/m<sup>3</sup>) und gerundet 10 µg/m<sup>3</sup>.

---

<sup>5</sup> Human Equivalent Concentration

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

Naphthalin-Inhalationsexpositionsdaten für Menschen und Tiere lassen darauf schließen, dass vor allem das olfaktorische und respiratorische Epithel der Nasenhöhle als kritisches Zielorgan angesehen werden kann. Schon bei den niedrigsten getesteten Konzentrationen wurden entzündliche Läsionen sowie Hyperplasie und Aplasie (lokale Zytotoxizität) beobachtet. Diese entzündlichen Reizwirkungen auf die Geruchs- und Atemwege treten schon bei niedrigeren Naphthalinkonzentrationen auf als die hämolytischer Anämie, die bekannteste schädliche Auswirkung auf den Menschen.

Der kritische Effekt ist die in Ratten beobachtete chronische Entzündung der respiratorischen Epithelien. Dies belegt eine subchronische Inhalationsstudie (Dodd et al. 2012), in der die Auswirkungen auf das nasale Epithel in F344 Ratten untersucht wurde. Die Exposition erfolgte 90 Tage (Exposition: 6 Stunden pro Tag und 5 Tage/Woche) mit 0 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm und 30 ppm Naphthalin. Die Histopathologie der Nasenhöhle wurde in jeweils 10 Ratten pro Geschlecht und Dosierung untersucht, wobei zusätzlich 10 Ratten pro Geschlecht 4 Wochen nach Expositionsende nochmals untersucht wurden um eine mögliche Reversibilität abzuklären. Die NOAEC<sup>6</sup> wurde aufgrund der Hyperplasie des Übergangs-/Riechepithels, die ab einer Konzentration von 1 ppm beobachtet wurde, mit 0,1 ppm festgesetzt und für die Ableitung verwendet.

Ein von Campbell et al. (2014) entwickeltes physiologiebasiertes pharmakokinetisches (PBPK) Modell für Naphthalin in der Ratte und im Menschen wurde zur Ableitung einer Human-Equivalent-Konzentration (HEC, human equivalent concentration) herangezogen. Dadurch finden die diskontinuierlichen Expositionszeiten in der Tierstudie und Unterschiede zwischen den Spezies (toxikokinetische Unterschiede) ihre Berücksichtigung. Für die oben beschriebene NOAEC von 0,1 ppm (6h/d, 5d/w) wurde eine HEC von 0,12 ppm (bei kontinuierlicher Exposition) abgeleitet. Eine zeitliche Anpassung im Ableitungsschema ist daher nicht mehr notwendig.

Zur Abdeckung der Speziesunterschiede (Toxikodynamik) die bei der Ableitung einer HEC nicht abgedeckt werden, wurde durch die EU-LCI Arbeitsgruppe ein Faktor von 2,5 angewendet. Für die intraspezifischen Unterschiede wurde der Faktor 10 angewendet.

---

<sup>6</sup> NOAEC: No Observable Adverse Effect Concentration

Aufgrund der subchronischen Expositionsdauer in der Studie von Dodd et al. (2012) wurde ein zusätzlicher Faktor von 2 vergeben.

Die EU-LCI Arbeitsgruppe kam zu dem Schluss, dass Naphthalin als nicht-geotoxisches Karzinogen in den Atemwegen von Nagern bewertet werden kann; chronische Entzündungen werden als Krebsauslöser vermutet. Es wird daher angenommen, dass der Richtwert für chronische Belastung auch potenzielle maligne Effekte in den Atemwegen verhindert. Laut ANSES, US EPA und OEHHA hingegen kann ein genotoxisches Potenzial von Naphthalin nicht vollkommen ausgeschlossen werden.

Das detaillierte EU-LCI-Fact-Sheet kann auf der Homepage der Europäischen Kommission (DG GROW) eingesehen werden<sup>7</sup>.

## 4.2 Ableitung des deutschen Ausschusses für Innenraumrichtwerte

Gemäß AIR (2013) stellen zytotoxische entzündliche Veränderungen im nasalen Epithel der Ratte den kritischen Endpunkt dar. Weiters wurde angenommen, dass ein primärer genotoxischer Mechanismus, sofern überhaupt vorhanden, keine wesentliche Rolle spielt.

Ausgangspunkt für die Ableitung des Richtwertes I gemäß Basisschema ist die subchronische Studie von Dodd et al. (2012), von der eine NOAEC von 5 mg Naphthalin/m<sup>3</sup> (1 ppm) abgeleitet wurde. Bei dieser Konzentration zeigten sich minimale Hyperplasien am nasalen respiratorischen Epithel, die als „niedrigste beobachtete Wirkung ohne beobachtete nachteilige Wirkung“ eingestuft wurde. Die Berücksichtigung der geringeren Empfindlichkeit von F344-Ratten im Vergleich zu den SD-Ratten mit einem Faktor von 2 führte zu einer NAEC<sub>subchron</sub> von  $5 \text{ mg/m}^3 / 2 = 2,5 \text{ mg/m}^3$ . Weitere angewendete Faktoren sind:

- Subchronisch → chronisch Faktor: 2
- Zeitliche Anpassung (6h/d, 5d/w), Faktor: 5,6
- Interspezies-Faktor: 1
- Intraspezies-Faktor: 10
- Kinderfaktor: 2

---

<sup>7</sup> [ec.europa.eu/growth/sectors/construction/eu-lci/values\\_en](http://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/eu-lci/values_en)

Basierend auf einem Gesamtfaktor von 224 legte die Ad-hoc-Arbeitsgruppe als Richtwert I 0,01 mg Naphthalin/m<sup>3</sup> fest. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe empfiehlt, den für Naphthalin abgeleiteten Richtwert vorläufig auch als Summenwert für die Gesamtgruppe der bi- und trizyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe zu verwenden.

### 4.3 Ergebnis der Literaturrecherche

Die europäische Arbeitsgruppe und der deutsche Ausschuss für Innenraumrichtwerte berücksichtigten die wissenschaftliche Literatur bis 2013/2014. Die hier durchgeführte Literaturrecherche umfasst den Zeitraum von 01/2014 bis 04/2024 und wurde in PubMed mit dem Schlagwort „naphthalene inhalation“ durchgeführt. Die Recherche ergab 48 Artikel, wovon nach Überprüfung der Abstracts insgesamt 29 Artikel ausgeschlossen wurden. Die verbleibenden 19 Artikel wurden vollständig überprüft und ihr Inhalt zusammengefasst:

Kapraun et al. (2020) evaluierten das PBPK-Modell von Campbell (2014) unter Verwendung von Humandaten. Das PBPK-Modell wurde dafür um dermale Exposition erweitert. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass mit diesem Modell gute Aussagen zur internen Naphthalindosis gemacht werden können.

Bailey et al. (2020) präsentieren eine Auswertung von ToxCast Daten. Von insgesamt 710 in vitro Assays für Naphthalin waren nur 18 aktiv. Diese betrafen humane Leberzellen (oxidativer Stress, chronische Entzündung), aber nicht humane Bronchialepithelzellen. Die Autoren sehen durch ihre Arbeit einen nicht-mutagenen MOA (Mode of Action) mit Schwellenwert für die Kanzerogenität von Naphthalin bestätigt.

Sucker et al. (2021) untersuchten 39 gesunde männliche Arbeiter mit moderater oder hoher Naphthalin-Exposition. Die Konzentrationen betrug bis zu 11,6 mg/m<sup>3</sup>, mit kurzzeitigen Peaks von bis zu 145,8 mg/m<sup>3</sup>. Akut sensorisch irritative Effekte in Augen und dem oberen Atemtrakt wurden bei direktem Arbeiten mit der Substanz berichtet, die nach Verlassen des Arbeitsplatzes abklagen. Endoskopische Untersuchungen zeigten milde entzündliche Effekte (Rötung, Schwellung, abnorme Mucus-Produktion) der nasalen Mucosa.



Shahrokny et al. (2023) untersuchten 182 Atemproben von 142 Kindern (51 mit Asthma, 55 mit Keuchen, 36 Kontrollen). Gesundheitlich beeinträchtigte Kinder wiesen im Besonderen höhere Naphthalin-Werte in ihren Proben auf. Eine Cluster-Analyse identifizierte aber auch andere Stoffe mit einem positiven Zusammenhang wie etwa Benzol, Toluol, Ethylbenzol oder Xylol.

Geeignete Urin-Metaboliten für das Monitoring einer Naphthalin-Exposition untersuchten Klotz et al. (2018) an 9 exponierten Arbeitern. 1,2-Dihydroxynaphthalin erwies sich als besonders aussagekräftig, aber auch der in geringeren Mengen gebildete Metabolit 1-Naphthylmercapturic acid. Weitere Untersuchungen zur besseren Charakterisierung sind jedoch notwendig.

In der von Carratt et al. (2019) durchgeführten Tierstudie wurden Jungmäuse (7 Tage oder 3 Wochen alt) und adulte C57BL/6 Mäuse 4 h gegenüber 5 oder 10 ppm Naphthalin exponiert. Naphthalin verursachte Zytotoxizität im Lungenepithel (Clara-Zellen) aller Expositionsgruppen, wobei juvenile weibliche Tiere am stärksten betroffen waren. Die Naphthalin-Konzentration im Plasma war am höchsten in juvenilen und adulten Tieren (10–15 pg/μL Plasma) und nur halb so groß in neugeborenen Mäusen (4.6–5.4 pg/μL Plasma).

Die Forschungsgruppe um Kovalchuk et al. (2020) untersuchte den Einfluss von Cytochrome P450 Enzymen auf die Bioaktivierung von Naphthalin. Es konnte gezeigt werden, dass microsomale CYP Enzyme im Epithel des Atemtrakts eine wesentliche Rolle bei der Toxizität von Naphthalin spielt.

Baxter et al. (2014) untersuchte die berufsbedingte Exposition mit verschiedenen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) bei Angestellten der Feuerwehr mittels der Bestimmung der PAKs in der Luft während Überprüfungsmaßnahmen in zwei Feuerwehrestellen sowie einem Universitätsgebäude (Kontrolle). Außerdem erfolgte die Sammlung von Wischproben an Gesicht und Hals der Angestellten während einer Hausbrandsimulation. Von den insgesamt 17 analysierten PAK-Verbindungen waren nur Naphthalin und Acenaphthylen nachweisbar. Naphthalin konnte bei 7 von 8 Überprüfungen sowie bei 2 von 3 Proben der Feuerwehrestelle gefunden werden. In Gesicht- und Halsbereich der Angestellten wurde eine größere Anzahl von PAK gefunden. Generell waren die nachgewiesenen Naphthalinkonzentrationen gering.

Cichocki et al. (2014) untersuchte die Geschlechterunterschiede bei männlichen und weiblichen F344-Ratten nach nasaler Exposition gegenüber 1 ppm, 3 ppm, 10 ppm und 30 ppm Naphthalin, da Naphthalinexposition in männlichen Ratten zu Atemwegsadenomen und in weiblichen Ratten zu Neuroblastomen führt. Nach Isolierung von Mukosa (olfaktorische Mukosa und Mukosa der Atemwege bzw. des Übergangsgewebes) wurde diese auf bestimmte Marker für oxidativen/elektrophilen Stress und/oder Toxizität überprüft. Bei allen Dosen kam es zu einer signifikanten Reduktion von GSH nach Exposition für 4 und 6 Stunden. In der olfaktorischen Mukosa wurde Glutamylcysteinyligase (catalytic subunit) (Gclc), NADPH Quinoneoxidase 1 (Nqo1), und Hemeoxygenase 1 (Hmox1) in größerem Ausmaß in Männchen im Vergleich zu den Weibchen exprimiert.

Eine Studie von Cakmak et al. (2014) untersuchte Zusammenhänge zwischen VOC-Konzentrationen in Innenraumlufte von Wohnräumen und der Lungenfunktion innerhalb der Kanadischen Bevölkerung. Es wurden 87 VOCs gemessen, davon waren 47 detektierbar und bei 10 Substanzen, darunter Naphthalin, trat ein Zusammenhang mit verringerter Lungenfunktion auf. Die Naphthalinkonzentration betrug im geometrischen Mittel  $0,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bei Männern konnten nicht signifikante Korrelationen mit FEV1 (1-second forced expiratory volume), FVC (forced vital capacity) und FEV1/FVC (FEV1/FVC ratio) identifiziert werden, während diese bei Frauen signifikant waren. Bei den Studienteilnehmern im Alter von < 17 Jahren war der Zusammenhang zwischen Naphthalinkonzentrationen und Lungenfunktionsabnahmen nicht signifikant, bei Teilnehmern im Alter von 18-38 Jahren waren diese jedoch signifikant. Keine signifikant negativen Korrelationen waren in den Altersgruppen 39-64 Jahren und > 64 nachzuweisen.

Clewell et al. (2014) untersuchten männliche und weibliche Fischer-F344 Ratten, die mit Naphthalindämpfen in unterschiedlichen Konzentrationen (0 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm und 30 ppm) für 6 Stunden pro Tag, 5 Tage pro Woche über einen Zeitraum von 90 Tagen exponiert wurden. Nach der Exposition erfolgten die Entnahme von respiratorischem und olfaktorischem Epithel sowie die Isolierung von RNA und eine Genexpression-Microarray-Analyse. Basierend auf den Untersuchungsergebnissen konnten eine Benchmark Dose (BMD) und eine BMDL (BMD, 95 % Untergrenze) abgeleitet werden. Im olfaktorischen Epithel der weiblichen Ratten (Anmerkung: höchste Inzidenz von Neuroblastomen im olfaktorischen Epithel im NTP-Bioassay) lag die niedrigste Konzentration, bei welcher ein Signalweg signifikant beeinflusst war – charakterisiert als Median BMD oder sein 95 %-BMDL – bei 6,0 bzw. 3,7 ppm, sowie die niedrigsten

olfaktorischen BMD-Werte für Signalwege der Gluthathionhomöostase, Entzündung und Proliferation bei 16,1 ppm, 11,1 ppm und 8,4 ppm. Im respiratorischen Epithel der männlichen Ratten (Anmerkung: höchste Inzidenz von Adenoma im respiratorischen Epithel im NTP-Bioassay) lagen die niedrigsten Signalwegs-BMD und -BMDL bei 0,4 ppm und 0,3 ppm, sowie die niedrigsten respiratorischen BMD-Werte für Signalwege der Gluthathionhomöostase, Entzündung und Proliferation bei 0,5 ppm, 0,7 ppm und 0,9 ppm. Zusätzlich erfolgte die Durchführung einer PBPK-Modellierung zur Berechnung der Dosen im Zielgewebe, die relevant für den Mode of Action (MoA) sind. Der niedrigste transkriptionale BMDL, der laut zugrundeliegendem PBPK-Modell adäquat zur humanen kontinuierlichen Naphthalinexposition ist, lag bei durchschnittlich 0,3 ppm. Die Autoren folgerten, dass adverse Effekte unterhalb dieser Konzentration als unwahrscheinlich gelten.

Kedderis et al. (2014) charakterisierten die Dosis-Wirkungsbeziehungen von Naphthalin-induzierter GSH-Depletionen, Effekte auf zelluläres ATP und Zytotoxizität in Lungenzellen und Nasalepithelzellen sowie in Zellen von Nicht-Zielorganen (Leber) in vitro unter Verwendung von Zellen von F344-Ratten, B6C3F1-Mäusen und Menschen. In humanen nasal-respiratorischen Epithelzellen zeigte sich eine höhere Zytotoxizität als in jener der untersuchten Ratten und Mäuse. Naphthalinexpositionen über 500 µM (Mikromol) zeigten eine Verminderung von zellulärem GSH und ATM in Ratten-, Mäuse- und Humanzellen. Die Variabilität der humanen Lungenzellen war konsistent mit der bekannten Variabilität der CYP-Aktivitäten im humanen Lungengewebe.

Shin et al. (2014) verknüpfte Expositionsdaten (Produktionsvolumina und Aufnahmepfade) von hochtonnagigen Chemikalien (darunter Naphthalin) mit Human Biomonitoring-Daten. Die Studie ist für die vorliegende Ableitung jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Dimitroulopoulou et al. (2015) führten eine Studie zu den reizenden und respiratorischen Gesundheitseffekten mit Innenraumlufschadstoffen durch, die während der Verwendung von Haushaltprodukten emittiert werden. Dazu erfolgte die Durchführung eines „micro-environmental modelling“ bestimmter Schadstoffe nach der Verwendung einzelner bzw. mehrerer Haushaltprodukte. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigten, dass Emissionen von Naphthalin aus Haushaltprodukten nicht signifikant zu den Hintergrundbelastungen in Innenräumen in der EU beitragen. Expositionsrechnungen für insgesamt acht Populationsgruppen zeigten außerdem, dass Pensionisten aus Nordeuropa die höchst exponierte Gruppe gegenüber Naphthalin sind.

In einer von Kang et al. (2015) durchgeführten Studie konnte Naphthalin in chinesischen Straßenstaubproben, Fensterstaubproben und Hausstaubproben in Medianwerten von 1672 ng/g, 1632 ng/g und 2856 ng/g nachgewiesen werden. Dabei wurde Naphthalin von allen untersuchten PAHs in den höchsten Konzentrationen nachgewiesen. Zudem führten die Autoren eine Risikobewertung durch, welche zeigte, dass die dermale und orale Aufnahme von Staub bedeutender ist als die inhalative Aufnahme. Das errechnete Krebsrisiko durch PAHs über die Aufnahme von Staub variierte zwischen  $2,73 \times 10^{-8}$  und  $8,04 \times 10^{-6}$  bei Kindern und zwischen  $2 \times 10^{-8}$  und  $5,89 \times 10^{-6}$  bei Erwachsenen und war somit teilweise höher als das generell akzeptierte Krebsrisiko von 1 in  $10^{-6}$ .

Trantallidi et al. (2015) untersuchten irritative (reizende) und respiratorische Effekte im Zusammenhang mit aktueller inhalativer Exposition (30 min) und Langzeitexposition (24 h) mit ausgewählten Innenraumlufschadstoffen, die während der Verwendung von Haushaltsprodukten auftreten können. Außerdem erfolgte die Durchführung einer Risikobewertung, wobei Critical Exposure Limits (CEL) mit Substanzkonzentrationen in der Innenraumluft verglichen wurden. Unter Betrachtung des repräsentativsten Worst-Case-Scenarios wurden die CELs von Naphthalin bei Verwendung eines einzelnen Produkts sowie bei simultaner Verwendung von mehreren Produkten nicht überschritten. Unter normalen Ventilationsbedingungen lag die höchste berechnete 24 h-Exposition für Naphthalin bei 4 % des entsprechenden CEL ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3 = \text{WHO IAQ}$ ).

Bailey et al. (2016) untersuchte die Assoziation zwischen Naphthalinexposition und einem erhöhten Krebsrisiko im Respirationstrakt beim Menschen basierend auf experimentellen Daten aus Studien in Nagetieren (Review). Dabei erfolgte die Evaluierung basierend auf dem sogenannten Hypothesis-Based Weight-of-Evidence (HBWoE) approach. In der Nase der Ratte und Lunge der Maus kommt es zu GSH Depletion, Zytotoxizität, chronischer Entzündung, regenerativer Hyperplasie und Tumorbildung. Die Evaluierung der Relevanz für den Menschen legt nahe, dass aufgrund geringer Metabolisierung im Gewebe des humanen Respirationstrakts mit geringer oder keiner Toxizität und Krebsrisiko bei typischen Umweltexpositionen mit Naphthalin zu rechnen ist. Die verfügbaren Daten zeigen außerdem, dass ein nicht-mutagener Schwellenwert-MoA wahrscheinlicher ist als ein mutagener Niedrigdosis-MoA. Die Margins of Exposure (MOEs) für nicht-neoplastische Läsionen waren alle größer als 30 (kein signifikantes Risiko). Bezogen auf das potentielle Lungenkrebsrisiko beim Menschen aufgrund von Naphthalinexpositionen zeigten die Ergebnisse, dass es auch bei hohen Expositionskonzentrationen nur ein geringes Risiko gibt. Obwohl die Untersuchungen einen nicht-mutagenen MoA stark unterstützen, können die Daten einen bestimmten MoA nicht belegen.

Rodrigues et al. (2014) untersuchten die mögliche Assoziation zwischen inhalativer Exposition gegenüber Düsenantriebstreibstoff und Harnmetaboliten bei Personal der US Air Force. Zwischen der Exposition und den Naphthalinmetaboliten 1-Naphtol, 2-Naphtol und 2-Hydroxyfluoren gab es signifikante Assoziationen. Außerdem konnten Zusammenhänge zwischen der Exposition und einer signifikanten Geninteraktion mit Gluthathion-S-Transferase mu-1 festgestellt werden. Ein Gluthathion-S-Transferase mu-1-Polymorphismus war außerdem assoziiert mit einem unterschiedlichen Naphthalinmetabolismus.

Ma & Harrad (2015) stellten die verfügbare Literatur zum Vorkommen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) in Innenraumlufte, Hausstaub und Lebensmittel zusammen und identifizierten geographische sowie zeitliche Trends der Innenraumkontamination mit PAKs.

Die Geruchsschwelle für Naphthalin liegt bei 0,44 mg/m<sup>3</sup> (Amoore & Hautala 1983).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Exposition gegenüber Naphthalin besonders in der Arbeitswelt aber auch im privaten Bereich Thema ist. Einige Studien lieferten weitere Hinweise auf einen nicht-mutagener Mode of Action (mit Schwellenwert) für die Kanzerogenität von Naphthalin. Keine der neueren Studien kann direkt für die Ableitung eines Richtwertes herangezogen werden.

#### **4.4 Ableitung der NOAEC**

Neuere Publikationen seit den beiden präsentierten Ableitungen unterstützen im Wesentlichen die verwendeten Daten aus der Studie von Dodd et al. (2012). Diese Schlüsselstudie zeigte nach subchronischer Exposition (90 Tage, 5 Tage pro Woche, 6 Stunden pro Tag) von Fischer F344 Ratten als kritischen Effekt (sensitivster Endpunkt) minimale Hyperplasie im respiratorischen Epithel bei einer Konzentration von 1 ppm. Mit Erhöhung der Konzentration (10 und 30 ppm) kam es zu einer Progression der Effekte (Auftreten von milder Hyperplasie).

Für die vorliegende Ableitung wurde die NOAEC bei 0,1 ppm (0,5 mg/m<sup>3</sup>) festgelegt. Basierend auf einem PBPK model (Campbell et al. 2014) kann eine HEC<sup>8</sup> von 0,12 ppm abgeleitet werden.

Dieser POD von 0,12 ppm wird z.B. unterstützt durch die aktuelle Studie von Clewell et al. (2014). Die geringste Konzentration, welche zu einer Veränderung auf molekularbiologischer Ebene führte, entsprach (unter Anwendung eines PBPK Modells) einer Expositionskonzentration von 0,3 ppm.

#### **4.5 Ableitung des Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwertes**

Die vom österreichischen Arbeitskreis für Innenraumluft verwendeten Bewertungsfaktoren werden wie folgt angewendet

- Extrapolation subchronisch → chronisch, Faktor: 2
- Interspezies-Faktor (Variationen zwischen den Spezies), Toxikodynamik-Faktor: 2,5
- Intraspezies-Faktor (Variationen innerhalb der Spezies): 10

Durch die Ableitung einer HEC basierend auf den Ergebnissen eines PBPK-Modells finden die diskontinuierlichen Expositionszeiten in der Tierstudie und Unterschiede zwischen den Spezies (toxikokinetische Unterschiede) ihre Berücksichtigung.

Der Gesamtextrapolationsfaktor beträgt somit 50, der POD 0,12 ppm. Daraus ergibt sich bei linearer Umrechnung ein Wirkungsbezogener Innenraumrichtwert (WIR) von 2,4 ppb (12,8 µg/m<sup>3</sup>, gerundet 10 µg/m<sup>3</sup>).

---

<sup>8</sup> Human Equivalent Concentration

# 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  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  festgelegt.

Tabelle 2: Wirkungsbezogener Innenraumrichtwert (WIR) und wesentlicher Endpunkt

Stoffname	Beurteilungszeitraum	Richtwert (WIR)	Wesentliche Endpunkte
Naphthalin	Halbstunden-Mittelwert	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Veränderung im Nasenepithel auf molekularbiologischer Ebene

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 Raumluftkonzentration von Naphthalin 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 (2013):** Richtwerte für Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 2013, 56: 1448–1459.

[umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/naphthen\\_rw\\_irl-2\\_2013-10.pdf](http://umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/naphthen_rw_irl-2_2013-10.pdf)

**Amoore JE, Hautala E (1983):** Odor as an aid to chemical safety: odor thresholds compared with threshold limit values and volatilities for 214 industrial chemicals in air and water dilution. J Appl Toxicol 3: 272–290.

**Bailey LA, Nascarella MA, Kerper LE, Rhomberg LR (2016):** Hypothesis-based weight-of-evidence evaluation and risk assessment for naphthalene carcinogenesis. Crit Rev Toxicol 46(1): 1-42.

**Bailey LA, Rhomberg LR (2020):** Incorporating ToxCast™ data into naphthalene human health risk assessment. Toxicol In Vitro. 2020 Sep; 67:104913.

**Baxter CS, Hoffman JD, Knipp MJ, Reponen T, Haynes RN (2014):** Exposure of Firefighters to Particulates and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. J Occup Environ Hyg 11(7): D85-D91.

**Cakmak S, Dales RE, Liu L, Kauri LM, Lemieux CL, Hebborn C, Zhu J (2014):** Residential exposure to volatile organic compounds and lung function: Results from a population-based cross-sectional survey. Environ Pollut 194: 145-151.

**Campbell JL, Andersen ME, Clewell HJ (2014):** A hybrid CFD-PBPK model for naphthalene in rat and human with IVIVE for nasal tissue metabolism and cross-species dosimetry. Inhal Toxicol. 2014 May; 26(6):333-44.

**Carratt SA, Kovalchuk N, Ding X, Van Winkle LS (2019):** Metabolism and Lung Toxicity of Inhaled Naphthalene: Effects of Postnatal Age and Sex. Toxicol Sci. 2019 Aug 1; 170(2): 536-548.

**Cichocki JA, Smith GJ, Mendoza R, Buckpitt AR, Van Winkle LS, Morris JB (2014):** Sex Differences in the Acute Nasal Antioxidant/Antielectrophilic Response of the Rat to Inhaled Naphthalene. *Toxicol Sci* 139(1): 234-244.

**Clewell HJ, Efremenko A, Campbell JL, Dodd DE, Thomas RS. (2014):** Transcriptional responses in the rat nasal epithelium following subchronic inhalation of naphthalene vapor. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2014 Jun 27; 280(1): 78-85.

**Dimitroulopoulou C, Trantallidi M, Carrer P, Efthimiou GC, Bartzis JG (2015):** EPHECT II: Exposure assessment to household consumer products. *Sci Total Environ* 536: 980-902.

**Dodd DE, Wong BA, Gross EA, Miller RA. (2012):** Nasal epithelial lesions in F344 rats following a 90-day inhalation exposure to naphthalene. *Inhal Toxicol.* 2012 Jan; 24(1):70-9.

**ECHA (2012):** Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.8: Characterisation of dose [concentration]-response for human health.

**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](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC83683/eca%20report%2029_final.pdf)

**Kang Y, Shao D, Li N, Yang G., Zhang Q, Zeng L, Luo J, Zhong W (2015):** Cancer risk assessment of human exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) via indoor and outdoor dust based on probit model. *Environ Sci Pollut Res* 22: 3451-3456.

**Kapraun DF, Schlosser PM, Nylander-French LA, Kim D, Yost EE, Druwe IL (2020):** A Physiologically Based Pharmacokinetic Model for Naphthalene With Inhalation and Skin Routes of Exposure. *Toxicol Sci.* 2020 Oct 1; 177(2): 377-391.

**Kedderis GL, Shepard KG, Recio L (2014):** Cytotoxicity of naphthalene toward cell from target and non-target organs in vitro. *Chem-Biol Int* 209: 85-95.

**Klotz K, Zobel M, Schäferhenrich A, Hebisch R, Drexler H, Göen T (2018):** Suitability of several naphthalene metabolites for their application in biomonitoring studies. *Toxicol Lett.* 2018 Dec 1; 298:91-98.

**Kovalchuk N, Zhang QY, Van Winkle L, Ding X (2020):** Contribution of Pulmonary CYP-mediated Bioactivation of Naphthalene to Airway Epithelial Injury in the Lung. *Toxicol Sci.* 2020 Oct 1; 177(2): 334-346.

**LCI Arbeitsgruppe (2015):** Agreed LCI values - Naphthalene.  
[ec.europa.eu/docsroom/documents/56194](https://ec.europa.eu/docsroom/documents/56194)

**Ma Y, Harrad S (2015):** Spatiotemporal analysis and human exposure assessment on polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor air, settled house dust, and diet: A review. *Environ Int* 84: 7-16.

**Rodrigues EG, Smith K, Maule AL, Sjodin A, Romanoff L, Kelsey K, Proctor S, McClean MD (2014):** Urinary polycyclic aromatic hydrocarbon (OH-PAH) metabolite concentrations and the effect of GST polymorphisms among US Air Force personell exposed to jet fuel. *J Occup Environ Med* 56(5): 465-471.

**Shahrokny P, Maison N, Riemann L, Ehrmann M, DeLuca D, Schuchardt S, Thiele D, Weckmann M, Dittrich AM, Schaub B, Brinkmann F, Hansen G, Kopp MV, von Mutius E, Rabe KF, Bahmer T, Hohlfeld JM, Grychtol R, Holz O (2023):** Increased breath naphthalene in children with asthma and wheeze of the All Age Asthma Cohort (ALLIANCE). *J Breath Res.* 2023 Oct 12; 18(1).

**Shin HM, McKone TE, Bennett DH (2014):** Attributing population-scale human exposure to various source categories: Merging exposure models and biomonitoring data. *Environ Int* 70: 183-191.

**Sucker K, Zschiesche W, Aziz M, Drews T, Hummel T, Raulf M, Weiss T, Bury D, Breuer D, Werner S, Friedrich C, Bünger J, Pallapies D, Brüning T (2021):** Naphthalene: irritative and inflammatory effects on the airways. *Int Arch Occup Environ Health.* 2021 Jul; 94(5):889-899.

**Trantallidi M, Dimitroulopoulou C, Wolkoff P, Kephelopoulos S, Carrer P (2015):** EPHECT III: Health risk assessment of exposure to household consumer products. *Sci Total Environ* 536: 903-913.

**WHO (2010):** WHO guidelines for indoor air quality. Selected pollutants. 4. Naphthalene (pp 157-200). [ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138705/pdf/Bookshelf\\_NBK138705.pdf](https://ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138705/pdf/Bookshelf_NBK138705.pdf)





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

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 (0) 800 21 53 59

[servicebuero@bmk.gv.at](mailto:servicebuero@bmk.gv.at)

[bmk.gv.at](http://bmk.gv.at)