

# **Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft – Richtlinieneteil Ethylbenzol**

## **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

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

Projektleitung: Mag. Dr. M-Tox Maria Uhl, DI Peter Tappler

Autorinnen und Autoren (in alphabetischer Reihenfolge):

Assoz. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hans-Peter Hutter

Dr. Ilse Mauritz

Doz. Dr. Hanns Moshhammer

Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi

Dr. Peter Wallner

Mitglieder des Arbeitskreises Innenraumluft im BMK

Weitere Expertinnen und Experten:

Mag. Dr. MSc Christina Hartmann, DI Felix Twrdik

Wien, 2020. Stand: 22. April 2020

### **Copyright und Haftung:**

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autoren ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autoren dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Werden Personenbezeichnungen aufgrund der besseren Lesbarkeit lediglich in der männlichen oder weiblichen Form verwendet, so schließt dies das jeweils andere Geschlecht mit ein.

## Vorwort

Die einzelnen Teile der „Richtwerte zur Bewertung der Innenraumluft“ wurden unter Mitwirkung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften erstellt und definieren Richt- und Referenzkonzentrationen für häufig auftretende Schadstoffe in Innenräumen. Sie legen prinzipielle Vorgangsweisen für Experten fest. Die Teile der Richtlinie werden von Fachleuten aus der Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien, aus Fachabteilungen der Bundesländer, der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA), aus Fachfirmen für Messtechnik sowie privaten Forschungseinrichtungen erstellt und spiegeln die Fachmeinung der im Arbeitskreis vertretenen Expertinnen und Experten wider.

Positionspapiere des Arbeitskreises Innenraumluft im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie werden zu aktuellen Themen im Bereich Innenraumklimatologie ausgearbeitet und stellen das jeweilige Thema in kurzer, leicht aktualisierbarer Form dar. Sie haben keinen normativen Charakter und können nach einer Evaluierung auch neu bearbeitet werden. Erweitert werden die Positionspapiere durch Leitfäden, in denen in umfangreicherer Form Informationen bereitgestellt werden.

Beim „Wegweiser für eine gesunde Raumluft“ handelt es sich um eine Konsumentenbroschüre, in der in leicht verständlicher Form Empfehlungen zum Thema gegeben werden.

Zum Zeitpunkt der Drucklegung sind erschienen:

- Diverse Teile der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft
- Leitfäden (Gerüche in Innenräumen, Schimmel in Innenräumen, technische Bauteiltrocknung)
- Positionspapiere (Luftströmungen in Gebäuden, Schimmel in Innenräumen, Lüftungserfordernisse in Gebäuden, Formaldehyd in Saunaanlagen, technische Bauteiltrocknung, Verbrennungsprozesse und Feuerstellen in Innenräumen, Sanierung von Schimmelbefall nach Wasserschäden in Krankenanstalten)
- Wegweiser für eine gesunde Raumluft

Alle Publikationen sind auf der Website des BMK zum Download verfügbar.

## Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Präambel</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Chemisch physikalische Eigenschaften</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Allgemeine Messstrategie, Analytik und Untersuchungsbericht</b> .....	<b>7</b>
3.1 Messstrategie, Probenahme .....	7
3.2 Analytik .....	9
3.3 Prüfbericht .....	10
<b>4 Ableitung des wirkungsbezogenen Innenraumrichtwerts</b> .....	<b>11</b>
4.1 Ableitung der deutschen Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte .....	11
4.2 Ergebnis der Literaturrecherche .....	12
4.3 Ableitung des NOAEL .....	16
4.4 Ableitung des Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwerts anhand des österr. Ableitungsschemas .....	18
<b>5 Richtwert und Beurteilung eines Messwertes</b> .....	<b>20</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>21</b>

# 1 Präambel

Für Ethylbenzol wurde seitens der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (derzeit AIR) der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden in Deutschland ein Innenraumrichtwert veröffentlicht (Ad-hoc-Arbeitsgruppe 2012). Entsprechend dem Beschluss des Arbeitskreises Innenraumluft im BMK, im Falle des Vorliegens einer rezenten Ableitung durch die deutsche Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte oder anderer fachkompetenter 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 die deutsche Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte gibt, wobei diese Prüfung auf Basis einer systematischen Literaturrecherche für den Zeitraum von ein bis zwei Jahren vor Veröffentlichung des deutschen 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 Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte aufrechterhalten werden kann;
- welche analytischen Methoden dem Stand der Technik entsprechen;
- und in welchem Ausmaß eine Änderung des deutschen Richtwerts wegen des unterschiedlichen Ableitungsschemas vorgenommen werden muss.

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

# 2 Chemisch physikalische Eigenschaften

Systematischer Name: Ethylbenzol

Synonyme: Phenylethan,  $\alpha$ -Methyltoluol

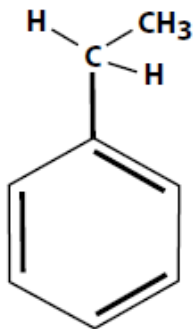
CLP-Index-Nr.: 601-023-00-4

EG-Nummer: 202-849-4

CAS-Nummer: 100-41-4

Summenformel: C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>

Strukturformel:



Molekulargewicht: 106,17 g/mol

Schmelzpunkt: -94,9 °C

Siedepunkt: 136,1 °C bei 1013 hPa

Dichte: 0,867 g/cm<sup>3</sup> bei 20 °C

Dampfdruck: 12,8 hPa bei 25 °C, Relative Gasdichte (Luft = 1): 3,7

Wasserlöslichkeit: 152 mg/ml bei 25 °C, Verteilungskoeffizient  $\lg K_{\text{Octanol/Wasser}}$ : 3,15

Umrechnung (bei 25 °C): 1 mg/m<sup>3</sup> = 0,226 ppm, 1 ppm = 4,34 mg/m<sup>3</sup>

Harmonisierte Einstufung gemäß CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008: Flam. Liq. 2, H225; Asp. Tox. 1, H304: Acute Tox. 4; H332; STOT RE 2, H373 (Hörvermögen)

Weitere Angaben zu Stoffeigenschaften, Anwendungen und Exposition können der Publikation der deutschen Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (2012) zu Ethylbenzol entnommen werden.

# 3 Allgemeine Messstrategie, Analytik und Untersuchungsbericht

## 3.1 Messstrategie, Probenahme

Messungen der Konzentration an Ethylbenzol 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. Die Sammlung der Substanz mittels eines geeigneten Sorbens auf Aktivkohle-Basis nach ÖNORM M 5700-2<sup>3</sup> mit anschließender Lösungsmitteldesorption und GC/MS-Analytik (Äquivalenzverfahren) ist in Bezug auf die Detektion von Ethylbenzol als dem Referenzverfahren gleichwertig anzusehen.

Informationen über den zeitlichen Verlauf oder die Ermittlung von örtlichen Konzentrationsunterschieden (Hinweise auf Quellen) können bei hohen Konzentrationen an Ethylbenzol 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

---

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

<sup>2</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. 2012 11

<sup>3</sup> 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

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 mindestens 8 Stunden nicht gelüftet werden, dann kann die Probenahme erfolgen. Außentüren und Fenster müssen in der Vorbereitungszeit und während der Probenahme verschlossen 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 für den gesamten Messvorgang 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 in der letzten halben Stunde des Zeitraumes, in dem üblicherweise keine Lüftung über Fenster stattfindet.
- Die Windgeschwindigkeit im Außenbereich sollte die Kategorie 3 nach Beaufort (Bereich 3,6 - 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. Lösungsmittel, 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 Ethylbenzol 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 Ethylbenzol 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 DIN 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 Ethylbenzol 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 Querempfindlichkeiten aufweisen.

- Die relative Standardunsicherheit (Standardunsicherheit oder kombinierte Standardunsicherheit mal 100 dividiert durch den Mittelwert der Messwerte) darf 10 % 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 deutschen Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte

Nachstehend Auszüge aus dem Text der deutschen Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (derzeit AIR) zu Ethylbenzol (2012):

*„Gemäß Basisschema sind zur Ableitung der Richtwerte vorrangig Humanstudien zu verwenden. Zur Wirkung von Ethylbenzol auf den Menschen liegen jedoch keine validen Wirkungsuntersuchungen vor, die als Basis der Ableitung herangezogen werden könnten. Die Festsetzung von Richtwerten stützt sich daher auf tierexperimentelle Daten.*

### *Richtwert II*

*Für die Festsetzung eines Richtwertes II ist nach dem Basisschema von der niedrigsten beobachteten adversen Wirkungskonzentration (LOAEC) auszugehen [42]. Angesichts der vorliegenden Datenbasis wird die im subchronischen Tierversuch bei Ratten beobachtete Ototoxizität von Ethylbenzol als kritischer Effekt angesehen [23]. Bei der niedrigsten experimentell untersuchten Konzentration von 870 mg Ethylbenzol/m<sup>3</sup> war noch ein leicht erhöhter Verlust von Haarzellen nachweisbar. Die nächsthöhere Konzentration führte zu einem deutlichen Effekt. Die Konzentration von 870 mg/m<sup>3</sup> kann daher als „minimal LOAEC“ angesehen werden.*

- *Bei der Extrapolation der experimentell ermittelten LOAEC auf eine lebenslange Exposition auf der Grundlage des Basisschemas werden folgende Faktoren verwendet:*
- *Für die Zeitanpassung auf eine kontinuierliche wöchentliche Expositionsdauer 24/6 und 7/6*
- *Extrapolation subchronisch → chronisch, Faktor: 2*
- *Interspezies Toxikodynamik-Faktor: 2,5*
- *Intraspezies-Faktor: 10*
- *Erhöhte Atemrate bei Kindern (bezogen auf das Körpergewicht), Faktor: 2*

*Der Gesamtextrapulationsfaktor beträgt damit 467. Daraus ergibt sich bei linearer Umrechnung eine Konzentration von 1,9 mg/m<sup>3</sup>.*

*Als Richtwert II wird eine Konzentration von 2 mg Ethylbenzol/m<sup>3</sup> festgelegt. Nach dem Basisschema wird der Richtwert I um eine Größenordnung niedriger festgesetzt und liegt damit bei 0,2 mg Ethylbenzol/m<sup>3</sup>. Dieser Wert liegt im Bereich der ermittelten Geruchswahrnehmungsschwellen.“*

In der Ableitung zitierte Literatur:

[23]: Gagnaire F et. al (2007): Ototoxicity in rats exposed to ethylbenzene and to two technical xylene vapours for 13 weeks. Arch Toxicol 81: 127-143.

[42]: Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK/AOLG (2012): Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. Bundesgesundheitsblatt 55: 279-290.

## **4.2 Ergebnis der Literaturrecherche**

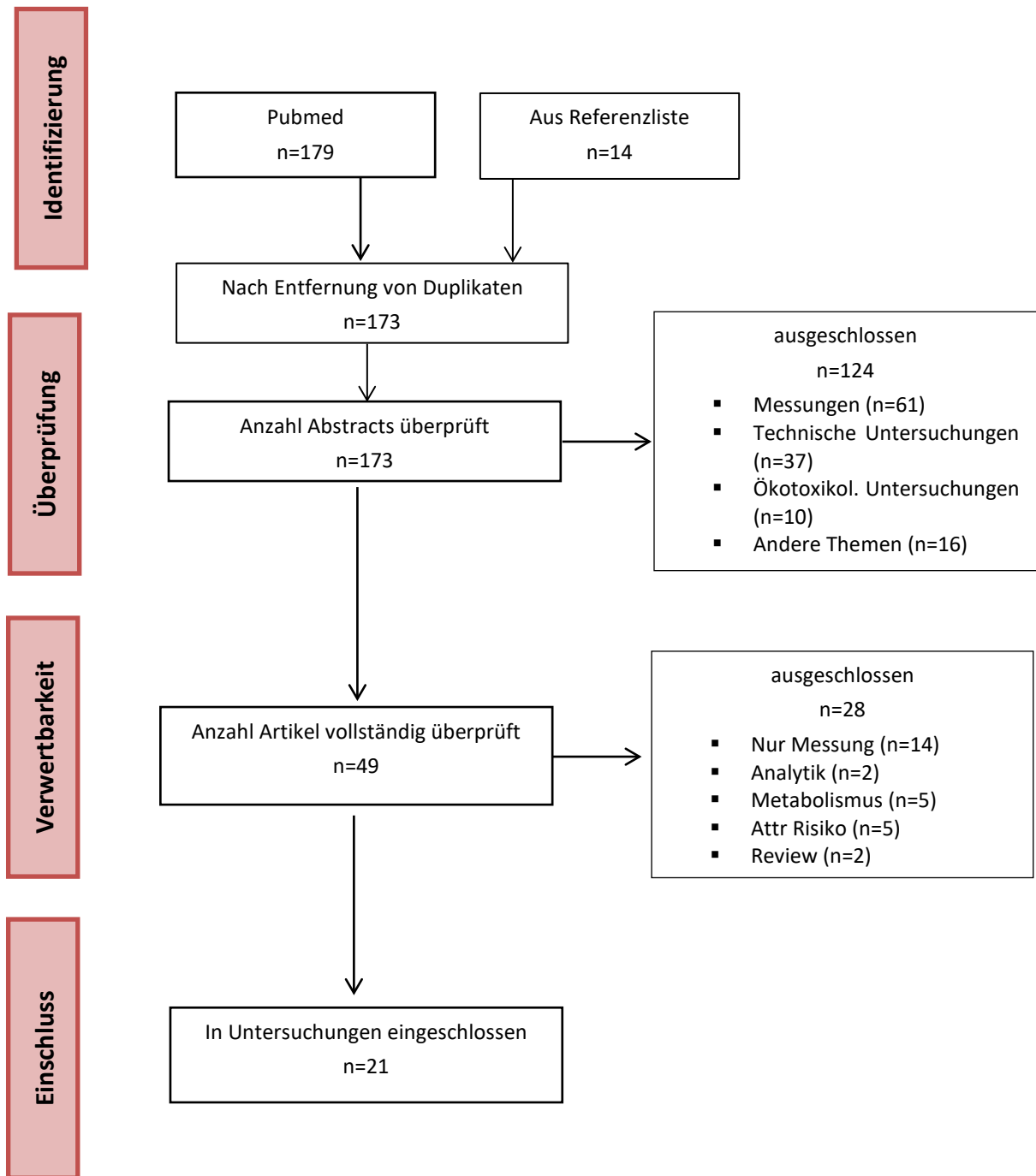
Die deutsche Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (derzeit AIR) hat die wissenschaftliche Literatur bis März 2011 berücksichtigt. Die hier durchgeführte Literaturrecherche umfasste den Zeitraum 2010 bis Ende 2014. Die Literaturrecherche in PubMed und Toxline ergab 179 Artikel. Weitere 14 Artikel wurden in den Referenzlisten der Publikationen gefunden. Nach Entfernen von Duplikaten blieben 173 Artikel zur weiteren Überprüfung (siehe Abbildung 1). Von diesen Publikationen wurden die Abstracts überprüft und 124 als für das Thema nicht relevant ausgeschlossen. Von den verbleibenden 49 Arbeiten wurden nach Überprüfung weitere 28 ausgeschlossen, sodass schließlich 21 Publikationen für die genauere Analyse zur Verfügung standen.

In der folgenden Tabell findet sich eine Zusammenstellung der Hauptergebnisse der betrachteten Studien. Dabei bedeuten: BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol); OR (Odds Ratio); Md (Median); NHL (Non-Hodgkin Lymphom); 8-OHdG (8-Hydroxydesoxyguanosin); FVC (Forcierte Vitalkapazität); FEV1 (Forciertes expiratorisches Volumen in der 1. Sekunde).

Tabelle 1: Zusammenstellung der Hauptergebnisse der betrachteten Studien

Studie	Hauptergebnis
Aguilera et al. (2010)	Verkehrsbedingte Exposition (NO <sub>2</sub> , BTEX) der Mutter mit reduziertem fetalem Wachstum assoziiert.
Gordian et al. (2010)	Häuser mit Garage, Benzol als Marker für Benzinexposition. Zusammenhang mit Asthmasymptomen.
Hulin et al. (2010)	Fall-Kontrollstudie: gegenwärtiges Asthma OR 18,47 (sign.) für >Md (4,1 µg/m <sup>3</sup> ) im Winter.
Kane et al. (2010)	Kein erhöhtes NHL Risiko.
Li et al. (2010)	90 Tage subchronischer Neurotoxizitätstest: NOAEL 500 ppm, Oral 50 mg/kg.
Zhang et al. (2010)	Apoptose erhöht ab 4335 mg/m <sup>3</sup> .
Oiamo et al. (2011)	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> und BTEX mit Arztbesuch assoziiert.
Chang et al. (2011)	Farbsprayer (Schiffsbau) zeigen eine expositionsabhängige Erhöhung von 8-OHdG (oxidative DNA Schädigung) im Vergleich zu Urlaub und Kontrollen.
Lupo et al. (2011)	Spina bifida mit Benzol assoziiert, aber nicht mit Ethylbenzol.
Billionnet et al. (2011)	Signifikanter Zusammenhang zwischen Ethylbenzol und Rhinitis.
Wallner et al. (2012)	Negative Korrelation zwischen FVC und FEV <sub>1</sub> und Ethylbenzol (< 10 µg/m <sup>2</sup> ).
Martins et al. (2012)	Bei giemenden Kindern Ethylbenzol mit FEV <sub>1</sub> negativ assoziiert.
Oiamo et al. (2013)	BTEX korreliert mit respiratorischen Symptomen.
Ramakrishnan et al. (2013)	Kein Zusammenhang zwischen BTEX und Hasenscharte.
Atari et al. (2013)	Korrelation Geruchsbelästigung mit BTEX.
Zhang et al. (2013)	Ethylbenzol erhöht Risiko für neurotoxische Effekte und Hörverlust bei Arbeitern der petrochem. Industrie.
da Rosa et al. (2013)	BTEX Exponierte höhere Kleinkernrate.
Mazzeo et al. (2013)	BTEX Exponierte höhere Kleinkernrate und Comet Tail.
Liu et al. (2014)	BTEX mit Leistung in einem Reaktionszeitexperiment bei den 10 % schlechtesten assoziiert.
Proctor et al. (2014)	Verbales Gedächtnis und Aufmerksamkeit reduziert bei Air Force Personal, das höher JetFuel8 exponiert ist, aber keine kumulativen Effekte (Abstract)
Lemke et al. (2014)	Korrelation der Luftverunreinigung (BTEX) mit Asthmaaufnahmen.

Abbildung 1: Schema der Literaturrecherche und Einschluss von relevanten Publikationen.



Im Unterschied zu den Ergebnissen der Recherche durch die deutsche Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte konnten einige Untersuchungen am Menschen gefunden werden, die aus der Zeit nach Abschluss der Recherche durch die deutsche Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte stammen.

In einer schulbasierten Untersuchung in Frankreich (Hulin et al. 2010) wurden Kinder mit Asthmasymptomen als Fälle ausgewählt und einer Zufallsstichprobe von Kontrollen gegenübergestellt. Verschiedene Luftschadstoffe wurden im Wohnzimmer der Haushalte der gewählten Kinder über eine Woche gemessen. Eine Ethylbenzolexposition über dem Median von  $4,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  war mit einem signifikant erhöhten Risiko für aktuelle Asthmasymptomatik im Winter, aber nicht im Sommer verbunden. Da ein erhöhtes Risiko auch für Toluol und Xylol gefunden wurde, erhebt sich die Frage der Zuordnung des Risikos bei einem Expositionsgemisch gegenüber diesen Lösungsmitteln.

Eine weitere Untersuchung aus Frankreich behandelte VOCs in Wohngebäuden (Billionnet et al. 2011). In einer Querschnittsuntersuchung in 490 Gebäuden wurden 20 VOCs, unter anderen auch Ethylbenzol, gemessen und respiratorische Symptome bei den Bewohnern erfasst. Hinsichtlich Rhinitis wurde ein signifikanter Zusammenhang mit Ethylbenzol (über einem Durchschnittswert von  $3,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ermittelt (aber auch mit Trichlorethen und Xylolen).

In neun österreichischen Schulen wurden Innenraumschadstoffe gemessen und die Lungenfunktion der Schulkinder erfasst (Wallner et al. 2012). FVC und FEV1 waren negativ mit der Konzentration von Ethylbenzol (Wertebereich  $0,5$  bis  $10,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), aber auch Xylol assoziiert. Ein ganz ähnlicher Befund wurde in einer Längsschnittuntersuchung an Kindern (Martins et al. 2012) aus Portugal über zwei Jahre ermittelt. Der FEV1-Wert nahm in Abhängigkeit von der Ethylbenzol-Konzentration signifikant ab. Ebenso nahm FEV1 aber auch bei erhöhten Toluol- und Benzol-Werten ab, sodass auch bei diesen Untersuchungen nicht geklärt werden kann, ob und in welchem Ausmaß Ethylbenzol (alleine) für die Effekte auf die Lungenfunktion verantwortlich ist.

Farbsprayer im Schiffsbau zeigten in einer Untersuchung aus Taiwan (Chang et al. 2011), die durchschnittlich gegenüber  $9,8 \text{ mg}/\text{m}^3$  Ethylbenzol (Interquartilrange:  $5,7$ - $17,6 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) exponiert waren, verglichen mit nicht exponierten Kontrollen und verglichen mit Werten nach Urlaub, erhöhte Konzentrationen von 8-Hydroxdesoxyguanosin, einem Marker oxidativen Stresses, im Urin. Ethylbenzol war in einer stufenweisen Analyse der einzige

signifikant assoziierte Faktor, obwohl auch Expositionen gegenüber anderen Lösungsmitteln auftraten.

Untersuchungen von Arbeitern aus der petrochemischen Industrie (Zhang et al. 2013), die gegenüber Lärm und Ethylbenzol mit durchschnittlichen Werten von  $122 \pm 22 \text{ mg/m}^3$  in einem Betrieb und  $135 \pm 32 \text{ mg/m}^3$  in einem anderen exponiert waren, ergab einen Anstieg des Hörverlustrisikos um 2,8 % pro  $1 \text{ mg/m}^3$  Anstieg von Ethylbenzol. An diesen Arbeitsplätzen war die Exposition gegenüber Styrol, Benzol, Toluol und Xylol unter der Nachweisgrenze.

Wechselwirkungen zwischen Ethylbenzol und Lösungsmitteln, Lärm und Medikamenten sind bekannt (Rangasayee & Bantwal 2010).

In einer Übersichtsarbeit haben Sweeney et al. (2015) einen Richtwert für nicht-krebserregende Endpunkte von 0,3 ppm ( $1,3 \text{ mg/m}^3$ ) (inhalativer Pfad) abgeleitet, basierend auf Studien zur Ototoxizität.

Bei den meisten vorliegenden Beobachtungsstudien war es nicht möglich, einen potenziellen Effekt von Ethylbenzol von Effekten anderer Lösungsmittel und VOCs abzugrenzen. Die Untersuchung bei Arbeitern der Petrochemie zeigt klar, dass der Effekt auf das Gehör auch für den Menschen relevant ist. Deshalb können die von der deutschen Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte als Basis der Ableitung herangezogenen Tierversuche auch für die Ableitung nach dem Schema des österreichischen Arbeitskreises Innenraumluft des BMK genutzt werden.

### **4.3 Ableitung des NOAEL**

In zwei Tierversuchen wurde der Zusammenhang der Exposition gegenüber Ethylbenzol mit dem Verlust der äußeren Haarzellen als Maß der ototoxischen Wirkung ermittelt (Cappaert et al. 2000; Gagnaire et al. 2007). Die Untersuchungen unterschieden sich in der Dauer der Exposition: Die Untersuchung von Gagnaire et al. (2007) exponierte Ratten 13 Wochen lang (6 h/Tag, 6 Tage/Woche, 468 Stunden), während Cappaert et al. (2000) die Ratten 8 h/Tag für 5 Tage (40 Stunden) mit Ethylbenzol in der Atemluft belasteten.

Es ergab sich eine klare Dosisabhängigkeit, wobei bei hohen Konzentrationen ab etwa  $2000 \text{ mg/m}^3$  bereits nach 40-stündiger Exposition nahezu alle äußeren Haarzellen zerstört



wurden und demnach auch bei der längeren Exposition kein zusätzlicher Schaden mehr beobachtet werden konnte. Um den NOAEL abzuleiten, wurde eine logistische Regression für die beiden Studien durchgeführt und anhand des 95 % Konfidenzintervalls der Regressionsfunktion die untere Konfidenzgrenze an der Toxizitätsgrenze ermittelt, die auf Basis der oberen 2-Sigma Grenze der nicht exponierten Tiere bestimmt wurde.

Abbildung 2: Beziehung zwischen Ethylbenzol-Konzentration in der Atemluft und dem Verlust äußerer Haarzellen bei Ratten (Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle auf Basis der Logit-transformierten Werte).

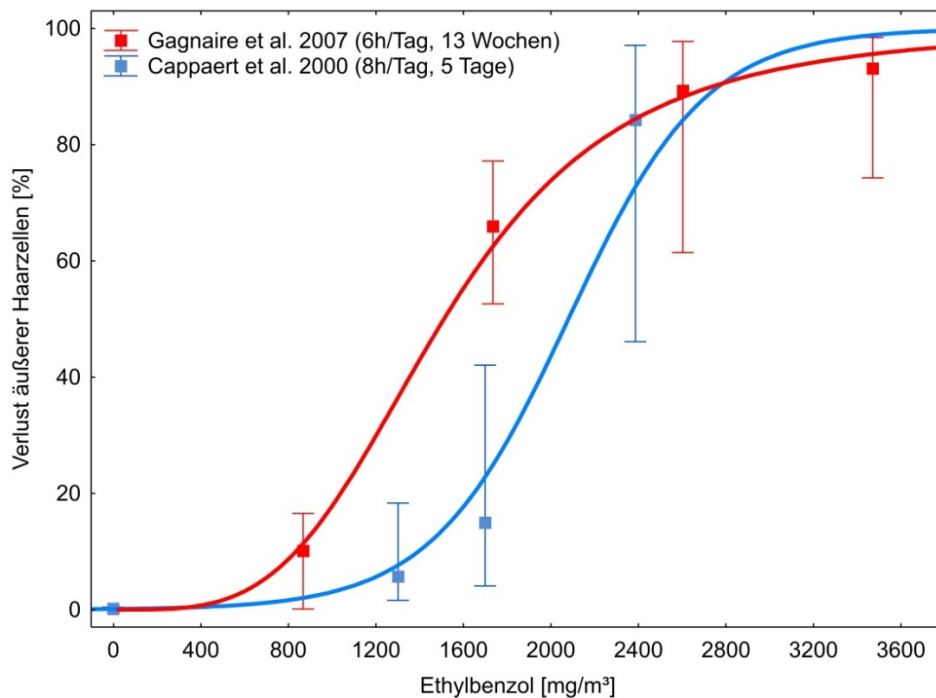
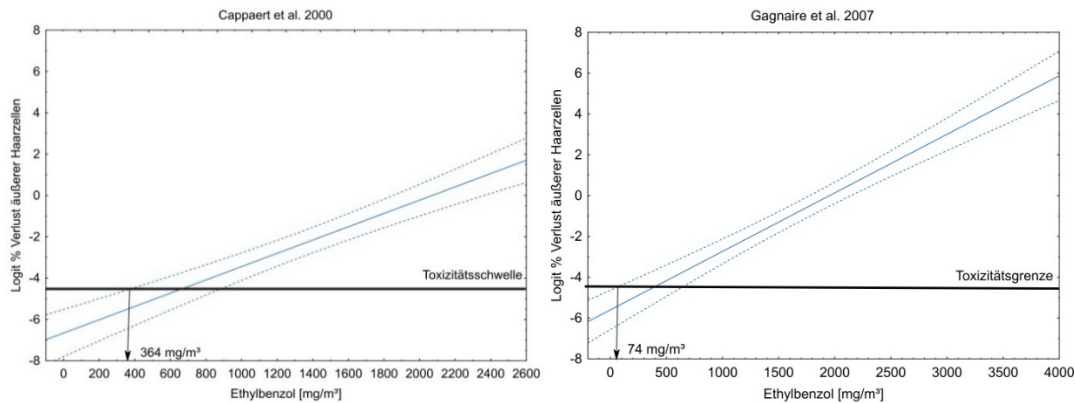


Abbildung 3: Logistische Regression und 95% Konfidenzgrenzen des Zusammenhangs zwischen der Konzentration von Ethylbenzol in der Atemluft und dem Verlust äußerer Haarzellen in den Versuchen von Cappaert et al. (2000) und Gagnaire et al. (2007). Ableitung des NOAEL anhand der Konfidenzgrenze an der Toxizitätsschwelle.



Für die kürzere Exposition wurde ein NOAEL von  $364 \text{ mg/m}^3$  und für die 13-wöchige Exposition ein Wert von  $74 \text{ mg/m}^3$  abgeleitet.

#### 4.4 Ableitung des Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwerts anhand des österr. Ableitungsschemas

Der Ausgangspunkt des österreichischen Ableitungsschemas ist der NOAEL oder eine Schätzung dieses Wertes ausgehend von der besten verfügbaren Evidenz. Im vorliegenden Fall liefert die Ableitung anhand des Benchmark-Dosis Konzeptes einen NOAEL von  $74 \text{ mg/m}^3$  im Tierversuch bei subchronischer Exposition.

Das Verhältnis LOAEL zu NOAEL im Versuch von Gagnaire et al. (2007) beträgt  $870/74 = 11,76$ . Der von der deutschen Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte ermittelte Gesamtextrapulationsfaktor von 467 muss daher gemäß dem österreichischen Schema mit 11,76 multipliziert werden. Das ergibt einen Faktor von 5492.

Daraus errechnet sich ein Richtwert von  $0,158 \text{ mg/m}^3 = 158 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  oder gerundet von  $160 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . Dieser Wert liegt nahe dem RW I der deutschen Ad-hoc-Arbeitsgruppe von  $0,2 \text{ mg/m}^3$ .

Die deutsche Ad-hoc Arbeitsgruppe (jetzt Ausschuß für Innenraumrichtwerte AIR) gab  $0,027 \text{ mg/m}^3$  als Geruchswahrnehmungsschwelle  $\text{ODT}_{50}$  an. Eine Konzentration in der

Höhe der sechsfachen Geruchswahrnehmungsschwelle  $ODT_{50}$  wird als vorläufiger Geruchsleitwert I (vGLW I) bezeichnet. Eine unter bestimmten Nutzungs- und Lüftungsbedingungen vorliegende Konzentration eines Geruchstoffs in der Innenraumluft oberhalb der 6-fachen  $ODT_{50}$  (vGLW I) wird als „geruchlich auffällig“ eingestuft. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe geht davon aus, dass eine Konzentration oberhalb von 6  $ODT_{50}$  in der Innenraumluft geruchlich wahrnehmbar sein kann und möglicherweise als belästigend empfunden wird. Die Konzentration des 48-fachen  $ODT_{50}$  wird als vorläufiger Geruchsleitwert II (vGLW II) bezeichnet. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe geht davon aus, dass eine Konzentration oberhalb von 48  $ODT_{50}$  geruchlich deutlich wahrgenommen und in der Regel als belästigend oder auch erheblich belästigend empfunden wird.

In Tabelle 2 werden die vorläufigen Geruchsleitwerte – abweichend von der Originalliteratur (Ad-hoc Arbeitsgruppe 2014) – in der Einheit  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  angegeben und auf zwei signifikante Stellen gerundet.

Tabelle 2: Geruchswahrnehmungsschwellen und Geruchsleitwerte

Substanz	Geruchswahrnehmungsschwelle $ODT_{50}$	Vorläufiger Geruchsleitwert I (vGLW I)	Vorläufiger Geruchsleitwert II (vGLW II)
	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$
Ethylbenzol	27	160	1.300

# 5 Richtwert und Beurteilung eines Messwertes

Auf Basis der in Kapitel 4.4 dargelegten Ableitung wird der Wirkungsbezogene Innenraumrichtwert (WIR) auf ein Halbstundenmittel von 160 µg Ethylbenzol/m<sup>3</sup> festgelegt.

Tabelle 3: Wirkungsbezogener Innenraumrichtwert (WIR) und wesentlicher Endpunkt

Stoffname	Beurteilungszeitraum	Richtwert (WIR)	Wesentliche Endpunkte
Ethylbenzol	Halbstunden-Mittelwert	160 µg/m <sup>3</sup>	Gehörschädigende Wirkung (Ototoxizität)

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 Ethylbenzol 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.

## Literaturverzeichnis

**Ad-hoc-Arbeitsgruppe** (2012): Richtwerte für Ethylbenzol in der Innenraumluft. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsblatt 55: 1192-1200.

**Ad-hoc Arbeitsgruppe** (2014): Gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft mithilfe von Geruchsleitwerten. Entwurf der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumluftthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden zur öffentlichen Diskussion bis Ende Dezember 2015 Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 47: 148-153

**Aguilera I, Garcia-Esteban R, Iñiguez C et al.** (2010): Prenatal Exposure to Traffic-Related Air Pollution and Ultrasound Measures of Fetal Growth in the INMA Sabadell Cohort. Environ Health Perspect 118: 705-711.

**Atari DO, Luginaah IN, Gorey K, et al.** (2013): Associations between self-reported odour annoyance and volatile organic compounds in “Chemical Valley”, Sarnia, Ontario. Environ Monit Assess 185: 4537-4549.

**Billionnet C, Gay E, Kirchner S, et al.** (2011): Quantitative assessments of indoor air pollution and respiratory health in a population-based sample of French dwellings. Environ Res 111: 425-434.

**Cappaert NL, Klis SF, Baretta AB, et al.** (2000) Ethyl benzene – induced ototoxicity in rats: a dose-dependent mid-frequency hearing loss. J Assoc Res Otolaryngol 1: 292-299.

**Chang F-K, Mao I-F, Chen M-L, Cheng S-F** (2011): Urinary 8-Hydroxydeoxyguanosine as a Biomarker of Oxidative DNA Damage in Workers Exposed to Ethylbenzene. Ann Occup Hyg 55: 519-525.

**da Rosa JCF, Fiegenbaum M, Soledar AL, et al.** (2013): Cytogenetic evaluation and the association with polymorphisms of the CPY1A1 and NR113 genes in individuals exposed to BTEX. Environ Monit Assess 185: 5883-5890.

**Gagnaire F, Langlais C, Grossmann S, Wild P (2007):** Ototoxicity in rats exposed to ethylbenzene and to two technical xylene vapours for 13 weeks. *Arch Toxicol* 81: 127-143.

**Gordian ME, Stewart AW, Morris SS (2010):** Evaporative Gasoline Emissions and Asthma Symptoms. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 7: 3051-3062.

**Hulin M, Caillaud D, Annesi-Maesano I (2010):** Indoor air pollution and childhood asthma: variations between urban and rural areas. *Indoor Air* 20:502-514.

**Kane EV, Newton R (2010):** Occupational exposure to gasoline and the risk of non-Hodgkin lymphoma: A review and meta-analysis of the literature. *Cancer Epidemiology* 34:516-522.

**Lemke LD, Lamerato LE, Xu X, et al. (2014):** Geospatial relationships of air pollution and acute asthma events across the Detroit–Windsor international border: Study design and preliminary results. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 24: 346-357.

**Li AA, Maurissen JPJ, Barnett Jr. JF, et al. (2010):** Oral gavage subchronic neurotoxicity and inhalation subchronic immunotoxicity studies of ethylbenzene in the rat. *NeuroToxicology* 31: 247-258.

**Liu B, Jia C (2015):** Effects of exposure to mixed volatile organic compounds on the neurobehavioral test performance in a cross-sectional study of US adults. *Int J Environ Health Res* 25: 349-363.

**Lupo PJ, Symanski E, Waller DK, et al. (2010):** Maternal Exposure to Ambient Levels of Benzene and Neural Tube Defects among Offspring: Texas, 1999–2004. *Environmental Health Perspectives* 119:397-402.

**Martins PC, Valente J, Papoila AL, et al. (2012):** Airways changes related to air pollution exposure in wheezing children. *European Respiratory Journal* 39: 246-253.

**Mazzeo DEC, Matsumoto ST, Levy CE, et al. (2013):** Application of micronucleus test and comet assay to evaluate BTEX biodegradation. *Chemosphere* 90: 1030-1036.

**Oiamo TH, Luginaah IN** (2013) Extricating Sex and Gender in Air Pollution Research: A Community-Based Study on Cardinal Symptoms of Exposure. *Int J Environ Res Public Health* 10: 3801-3817.

**Oiamo TH, Luginaah IN, Atari DO, Gorey KM** (2011): Air pollution and general practitioner access and utilization: a population based study in Sarnia, "Chemical Valley," Ontario. *Environ Health* 10: 71.

**Proctor S, Heaton K, Smith K, et al.** (2014): The occupational JP8 exposure neuroepidemiology study; evaluation of neuropsychological effects. *Occup Environ Med* 71: A1-A2.

**Ramakrishnan A, Lupo PJ, Agopian AJ, et al.** (2013): Evaluating the effects of maternal exposure to benzene, toluene, ethyl benzene, and xylene on oral clefts among offspring in Texas: 1999-2008. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol* 97: 532-537.

**Rangasayee R, Bantwal AR** (2010): Ototoxicity. In: Kirtane MV, Brackmann D, Borkar DM, de Souza C, editors. *Comprehensive Textbook of Otology*. Mumbai: Bhalani; pp.381-397.

**Sweeney LM, Kester JE, Kirman Ch, et al.** (2015): Risk assessments for chronic exposure of children and prospective parents to ethylbenzene (CAS No. 100-41-4). *Critical Reviews in Toxicology* 45: 662-726.

**Wallner P, Kundi M, Moshammer H, et al.** (2012): Indoor air in schools and lung function of Austrian school children. *J Environ Monit* 14: 1976-1982.

**Zhang M, Wang Y, Wang Q, et al.** (2013): Ethylbenzene-induced hearing loss, neurobehavioral function, and neurotransmitter alterations in petrochemical workers. *J Occup Environ Med* 55: 1001-1006.

**Zhang M, Wang Y, Wang Q, et al.** (2010): Involvement of mitochondria-mediated apoptosis in ethylbenzene-induced renal toxicity in rat. *Toxicol Sci* 115:295–303.

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

Abteilung VII/11, Stubenbastei 5, 1010 Wien

+43 1 711 00-612119

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

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