

Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft – Butan-1-ol

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, 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: 1. März 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

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	16
4.4 Ableitung der NOAEC	17
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 Butan-1-ol (n-Butanol, 1-Butanol) wurde seitens der EU-LCI-Arbeitsgruppe 2022 ein LCI-Wert von 11 mg/m³ veröffentlicht (Niedrigste Interessierende Konzentrationen NIK-Wert, engl. LCI, franz. CLI).

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, wurde dieses nun durchgeführt.

Im Rahmen des verkürzten Verfahrens ist 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 Butan-1-ol Empfehlungen aus, die sich am Stand der Technik orientieren.

2 Chemisch-physikalische Eigenschaften

Tabelle 1 Eigenschaften von Butan-1-ol

Systematischer Name	Butan-1-ol
Synonyme	n-Butanol, 1-Butanol
CAS-Nummer	71-36-3
CLP-Index-Nr.	603-004-00-6
Harmonisierte Einstufung gemäß CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 i.d.g.F	Flam. Liq. 3, H226; Acute Tox 4*, H302; Skin Irrit 2, H315; Eye Dam 1, H318; STOT SE 3, H335; STOT SE 3, H336
Summenformel	C ₄ H ₁₀ O
Strukturformel	
Molmasse	74,12 g/mol
Schmelzpunkt	-90 °C
Siedetemperatur	119 °C (1.013 hPa)
Dichte	0,81 g/cm ³ (293,15 K, 1.013 hPa)
Dampfdruck	10 hPa (bei 293,15 K)
Wasserlöslichkeit	66 g/L (bei 273 K)
Umrechnungsfaktoren (bei 293,15 K, 1013,25 hPa):	1 ppm = 3,05 mg/m ³ 1 mg/m ³ = 0,33 ppm

3 Messstrategie, Analytik und Prüfbericht

3.1 Messstrategie, Probenahme

Messungen der Konzentration an Butan-1-ol (n-Butanol, 1-Butanol) 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 5.1 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 Butan-1-ol als dem Referenzverfahren gleichwertig anzusehen.

Informationen über den zeitlichen Verlauf oder die Ermittlung von örtlichen Konzentrationsunterschieden (Hinweise auf Quellen) können bei hohen Konzentrationen an Butan-1-ol 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

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

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 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, 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 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. 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 Butan-1-ol 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 Butan-1-ol 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 Butan-1-ol 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 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.

Für Butan-1-ol gibt es in Humandaten Hinweise auf eine irritative Wirkung (Augenirritation) und vereinzelt systemische Effekte (Kopfschmerz) bei höheren Konzentrationen. In Tierversuchen wurde nach wiederholter Gabe neben irritativen Effekten auch Neurotoxizität und Entwicklungtoxizität (bei hohen Konzentrationen) berichtet. Die Qualität und der Informationsgehalt der Studien erlaubt aber keine robuste Ableitung eines Richtwertes. Die LCI-Ableitung basiert daher auf einem Read-across⁴ zu 2-Methylpropan-1-ol (CAS No 78-83-1). Dieser Stoff hat eine hohe strukturelle Ähnlichkeit zu Butan-1-ol, ähnliche physikalisch-chemische Eigenschaften, ein ähnliches toxikologisches Profil und wurde bereits in der Vergangenheit für Read-across herangezogen.

2-Methylpropan-1-ol zeigt in einer subchronischen Studie (6 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche, 13 Wochen) bei hohen Dosen leichte Effekte auf Blutparameter (Branch, 1996). Basierend darauf wurde eine NOAEC (no adverse effect concentration) von 1.000 ppm und in weiterer Folge im Jahr 2016 ein LCI-Wert von 11 mg/m³ abgeleitet (Umrechnungsfaktor: 1 ppm = 3.05 mg/m³).

⁴ Read-across = Analogiekonzept (basierend auf den Daten einer ähnlichen Substanz werden Rückschlüsse auf die Zielsubstanz gezogen)

Folgende Bewertungsfaktoren wurden angewendet:

- Aufgrund diskontinuierlicher Exposition (6h, 5d/w) ist eine zeitliche Anpassung notwendig. Faktor: 5,6
- Extrapolation subchronisch-chronisch, Faktor: 2
- Interspezies-Faktor: 2,5
- Intraspezies-Faktor: 10

Der Gesamtextrapolationsfaktor beträgt damit 280. Daraus ergibt sich für die Substanz 2-Methylpropan-1-ol ein LCI-Wert von $10.893 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.570 ppb) und gerundet $11.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bei identem Molekulargewicht lässt sich für Butan-1-ol via Read-across ein LCI-Wert von $11.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ableiten.

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

Für Butan-1-ol wurden von einigen Institutionen Risikowerte abgeleitet. Der MAK-Wert von 100 ppm der DFG (2003) basiert auf den verfügbaren Humandaten zu Butan-1-ol. Der Deutsche Ausschuss für Innenraumrichtwerte leitete 2014, basierend auf einer Tierstudie mit oraler Exposition, einen RW I von $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und einen RW II von $2.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab (siehe Kap 4.2). Weitere Werte: AgBB (NIK $3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$), OSHA (PEL 100 ppm), NIOSH (REL 50 ppm), ACGIH (TLV 20 ppm).

Butan-1-ol hat eine Geruchsschwelle von $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (23 °C) (Nagata, 2003), wird gut über den Darm und die Lunge aufgenommen und schnell im Organismus verteilt. Die Metabolisierung erfolgt primär durch Oxidation via Alkohol- and Aldehyddehydrogenase; der Großteil wird in Form von CO_2 abgeatmet (OECD, 2001; REACH Registrierung, o.D.).

Verfügbare ältere Humanstudien zu Butan-1-ol dokumentieren hauptsächlich augen-reizende Effekte (Tabershaw, 1944; Cogan, 1945; Sterner, 1949; Nelson, 1943). Tabershaw (1944) folgerte, dass bei Konzentrationen über 50 ppm von irritativen Effekten ausgegangen werden kann, während systemische Effekte bei Konzentrationen unter 100 ppm beim Menschen nicht zu erwarten sind. Basierend darauf kann eine NOEC von 50 ppm angenommen werden. Der von Velazquez (1969) berichtete Hörverlust hingegen kann nicht eindeutig auf Butan-1-ol zurückgeführt werden. Mögliche Co-Expositionen, schlechte Dokumentation und geringe Gruppengrößen sprechen gegen eine Verwendung der Humandaten für eine Ableitung.

In Tierversuchen zeigt Butan-1-ol reizende Wirkung und eine geringe akute Toxizität, aber keine sensibilisierende Wirkung, Genotoxizität oder Kanzerogenität. Effekte auf die Fertilität sind nicht beschrieben, es gibt aber Hinweise auf eine Entwicklungstoxizität (kleinere Föten, verzögerte Verknöcherung), diese konnten jedoch erst bei sehr hohen Konzentrationen beobachtet werden (REACH Registrierung, o.D.; SEV, 2018). Eine mögliche Entwicklungs-Neurotoxizität kann basierend auf divergierenden Resultationen in den vorhandenen Studien (Ema, 2005; Sitarek, 1994) nicht final bewertet werden.

Chronische orale Exposition gegenüber Butan-1-ol führt bei Ratten zu typischen alkoholassoziierten Effekten wie Ataxie und Hypoaktivität direkt nach der Administration, die demnach als akute Effekte zu werten sind. Die chronische Toxizität nach inhalativer Exposition wurde in zwei Studien untersucht. Jajte (2003) dokumentierte, dass bei Exposition gegenüber 320 mg/m^3 (5h/d, 5d/w, 3 Monate) in Ratten keine Effekte auftreten. Korsak (1994) berichtet nach Exposition von Ratten gegenüber $0,154$ oder 308 mg/m^3 Butan-1-ol (6h/d, 5d/w, 3 Monate) von Neurotoxizität, da die Tiere der höchsten Dosisgruppe in einem Test zur Überprüfung der neuromuskulären Funktionalität (Rotarod-Test) eine signifikant schlechtere Performance zeigten. Diese Studie kann aber aufgrund von Defiziten in der Methodik nicht als Ausgangspunkt für eine Ableitung herangezogen werden.

Da sowohl die Daten zur inhalativen als auch zur oralen Toxizität von Butan-1-ol als ungeeignet für eine robuste Ableitung bewertet wurden, beruht der LCI-Wertes auf einem Read-across zu 2-Methylpropan-1-ol. Der strukturell sehr ähnliche Stoff zeigt in einer subchronischen Studie mit Ratten (6 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche, 13 Wochen) bei einer Dosis von 2.500 ppm keine Effekte auf das zentrale oder periphere Nervensystem, aber leichte Effekte auf Blutparameter weiblicher Ratten (Branch, 1996). Basierend darauf wurde für die systemische Toxizität von 2-Methylpropan-1-ol eine NOAEC von 1.000 ppm abgeleitet. Weiters wurde, um eine mögliche kontinuierliche Exposition der Bevölkerung gegenüber dem Stoff modellieren zu können, die in der Studie beschriebene Exposition (6h/d, 5d/w) mit einem Faktor von 5,6 korrigiert. Die Tierstudie mit einer Dauer von 13 Wochen entspricht einer subchronischen Exposition; ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor von 2 ist daher anzuwenden. Gemäß den Bewertungsfaktoren im REACH-Leitfaden R.8 (ECHA 2012) wurden Interspezies-Unterschiede mit einem Faktor von 2,5 und Intraspezies-Unterschiede (Variationen innerhalb der Spezies) mit einem Faktor von 10 berücksichtigt.

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

4.2 Ableitung des deutschen Ausschusses für Innenraumrichtwerte

Der deutsche Ausschuss für Innenraumrichtwerte diskutierte 2014 die Ableitung eines Innenraumrichtwertes. Gemäß ihrem Ableitungsschema ist der Startpunkt ein BMDL10⁶ von 26,1 mg/kg KG/Tag basierend auf einer Ratten-Studie mit chronischer oraler Exposition, in der Effekte auf die Gehirnmorphologie in den Nachkommen beschrieben wurden (Sitarek, 1994).

Folgende Bewertungsfaktoren werden angewendet:

- Route-to-route Extrapolation: 0,286
- Anpassung Absorption: 0,6
- Interspezies-Faktor: 10
- Intraspezies-Faktor: 10

Der Gesamtextrapolationsfaktor beträgt damit 17,1. Daraus ergibt sich ein Richtwert II von (26,1/17,1 = 1,52 mg/m³) rund 2.000 µg/m³. Der Richtwert I wurde mit 700 µg/m³ festgelegt (AIR 2014).

4.3 Ergebnis der Literaturrecherche

Die Ableitung des AIR stammt aus 2014, die europäische LCI-Arbeitsgruppe hingegen hat die wissenschaftliche Literatur bis einschließlich 2022 berücksichtigt. Eine ausführliche Literaturrecherche kann daher zu diesem Zeitpunkt entfallen.

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

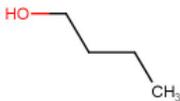
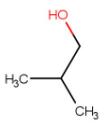
⁶ Benchmark Dose Lower Confidence Limit 10 = unterer Grenzwert des Vertrauensbereichs, Dosis mit einem Risiko von 10% gegenüber einer unbehandelten Kontrolle

4.4 Ableitung der NOAEC

Für eine Bewertung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Butan-1-ol in der Luft liegen keine robusten Humanstudien vor. Tierstudien mit chronischer Exposition gegenüber Butan-1-ol (oral, inhalativ) weisen Defizite in der Methodik, im Dosierungsschema oder in der Dokumentation auf. Eine Evaluierung von Segal (2020), in der im Besonderen auch die Studien von Sitarek (1994) und Ema (2005) und die darin berichtete Entwicklungs-Neurotoxizität adressiert wurden, kam zu dem Schluss, dass aufgrund inkonsistenter Ergebnisse die Relevanz der Entwicklungs-Neurotoxizität nicht final bewertet werden kann. Zusammenfassend werden daher die vorhandenen Daten zum Butan-1-ol als ungeeignet für die Ableitung einer NOAEC⁷ bewertet.

Im Rahmen eines Read-across werden daher die Daten zu dem Stoff 2-Methylpropan-1-ol herangezogen. Die Stoffe zeigen ähnliche physikalisch-chemische Eigenschaften und toxikologische Effekte, sowie eine hohe strukturelle Ähnlichkeit.

Tabelle 2: Vergleich der Substanzen Butan-1-ol und 2-Methylpropan-1-ol

Stoff	Struktur	Molekulargewicht
Butan-1-ol CAS 71-36-3		74.12
2-Methylpropan-1-ol CAS 78-83-1		74.12

In einer Inhalationsstudie wurden Sprague-Dawley-Ratten Konzentrationen von 0,250, 1.000 oder 2.500 ppm 2-Methylpropan-1-ol über einen Zeitraum von 13 Wochen (6 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche) ausgesetzt (Branch, 1996). Neben Standardparametern wurde im Speziellen auch die Neurotoxizität evaluiert. Bei der höchsten Konzentration wurden keine chronischen Effekte auf das zentrale und periphere Nervensystem beobachtet, weibliche Ratten zeigten aber leichte Effekte auf Blutparameter

⁷ Beim NOAEL handelt es sich um die höchste Konzentration oder Menge eines Stoffs, bei der in einer exponierten Population keine nachweisbare nachteilige - adverse - Wirkung auftritt

(Erythrozytenzahl, Hämatokrit, Hämoglobin), deren biologische Signifikanz aufgrund der geringen Ausprägung aber fraglich ist. In einer weiteren Inhalationsstudie (Li, 1999) konnten in Sprague-Dawley-Ratten nach Exposition gegenüber 0, 250, 1.000 oder 2.500 ppm 2-Methylpropan-1-ol über einen Zeitraum von 3 Monaten (6 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche) keine Effekte nachgewiesen werden.

Aus der Studie von Branch (1996) ergibt sich für die systemische Toxizität eine NOAEC von 1.000 ppm (3.050 mg/m³).

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. Im vorliegenden Fall liefert die Tierstudie von Branch (1996) mit dem Read-across-Stoff 2-Methylpropan-1-ol nach subchronischer inhalativer Exposition eine NOAEC von 1.000 ppm.

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

- Aufgrund diskontinuierlicher Exposition (6h/d, 5d/w) ist eine zeitliche Anpassung notwendig: Faktor: 5,6
- Umrechnung auf Dauereexposition: subchronisch → chronisch, Faktor: 2
- Intraspezies-Faktor (Variationen innerhalb der Spezies): 10
- Interspezies-Faktor (Variation zwischen den Spezies): 10

Der Gesamtextrapolationsfaktor beträgt somit 1.120. Daraus ergibt sich bei linearer Umrechnung ein Ergebnis der Ableitung von 2.723 µg/m³. Aufgrund des identen Molekulargewichts von 74,12 ergibt sich für Butan-1-ol rechnerisch ebenfalls ein Wert von 2.723 µg/m³ (899 ppb).

Butan-1-ol hat einen charakteristischen „weinartigen“ Geruch, die Geruchschwelle für Butan-1-ol liegt bei 38 ppb = 116 µg/m³ (Nagata 2003). Dieser Wert ist deutlich niedriger als das Ergebnis der Ableitung von 2.723 µg/m³, eine geruchliche Wahrnehmung oder Belästigung bei Einhaltung des WIR kann daher nicht ausgeschlossen werden.

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 $2700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgelegt.

Tabelle 3: Wirkungsbezogener Innenraumrichtwert (WIR) und wesentlicher Endpunkt

Stoffname	Beurteilungszeitraum	Richtwert (WIR)	Wesentliche Endpunkte
Butan-1-ol	Halbstunden-Mittelwert	$2700 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Leichte Effekte auf Blutparameter (Read-across von 2-Methylpropan-1-ol)

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 Butan-1-ol 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 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, 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 des WIR laut Kapitel 5.1 als Mindestvorgabe für dauernd von Menschen genutzte Innenräume 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 (2014): Richtwerte für 1-Butanol in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt 57: 733-743.

Branch DK, Kaempfe TA, Thake DC, Li AA (1996): Three Month Neurotoxicity Study of Isobutanol administered by Whole-Body Inhalation to CDC Rats. Lab. Proj. No. EHL 94075, MSL 14525. Monsanto Company for the Oxo-Process Panel, Chemical Manufacturers Association. Cited in: OECD (2004) OECD SIDS Isobutanol (CAS 78-83-1).
hpvchemicals.oecd.org/UI/handler.axd?id=c215e862-45fb-4a03-8643-85155a519c6b

Cogan DG, Mort W, Grant MD. (1945): An unusual type of keratitis associated with exposure to n-butyl alcohol (butanol). Arch Ophthalmol 33: 106-108.

DFG (2003): MAK value documentation n-Butyl alcohol.
onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/3527600418.mb7136e0019

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.
echa.europa.eu/documents/10162/17224/information_requirements_r8_en.pdf/e153243a-03f0-44c5-8808-88af66223258?t=1353935239897

Ema M, Hara H, Matsumoto M, Hirose A, & Kamata E (2005): Evaluation of developmental toxicity of 1-butanol given to rats in drinking water throughout pregnancy. Food and Chemical Toxicology 43: 325–331.

Jajte J, Stetkiewicz J, Wrońska-Nofer T (2003): Oxidative status evaluated in rats exposed to 1-butanol and ethanol. Acta Toxicologica 11: 113-117.
[cybra.lodz.pl/Content/13425/ActaToxicologica_2003-2\(112-117\).pdf](http://cybra.lodz.pl/Content/13425/ActaToxicologica_2003-2(112-117).pdf)

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.

Korsak Z, Wisniewska-Knypl J, Swiercz R (1994): Toxic effects of subchronic combined exposure to n-butyl alcohol and m-xylene in rats. *Int J Occup Med Environ Health* 7: 155-166.

Li AA, Thake DC, Kaempfe TA, Branch DK, O'Donnell P, Speck FL, Tyler TR, Faber WD, Jasti SL, Ouellette R, Banton MI (1999): Neurotoxicity evaluation of rats after subchronic inhalation exposure to isobutanol. *Neurotoxicology* 20: 889-900.

Nagata Y (2003): Measurement of odor threshold by triangle odor bag method. Japanese Ministry of the Environment. [Odor Measurement Review \(env.go.jp\)](#)

Nelson K.W. (1943): Sensory response to certain industrial solvent vapours. *J. Ind. Hyg. and Toxicol.* 25: 282-285.

OECD SIDS (2001): N-butyl alcohol, CAS no 71-36-3.
hpvchemicals.oecd.org/ui/handler.axd?id=71542012-BD67-42B6-B0C0-89EAF4DC13C4

OIB Richtlinie3 (2023): Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz 2023. Österreichisches Institut für Bautechnik. OIB-330.3-011/23.

REACH Registrierung (accessed 06/2021): echa.europa.eu/de/registration-dossier/-/registered-dossier/15322/1/1

Segal D, Bale AS, Phillips LJ, Sasso A, Schlosser PM, Starkey C, Makris SL (2020): Issues in assessing the health risks of n-butanol. *J Appl Toxicol* 40: 72-86.

SEV (2018): Substance evaluation Conclusion for Butan-1-ol (EC No 200-751-6, CAS No 71-36-3). [7309fbf5-a2ff-db76-1b60-5eb933a5bb92 \(europa.eu\)](https://echa.europa.eu/7309fbf5-a2ff-db76-1b60-5eb933a5bb92)

Sitarek K, Berlinska B, Baranski B (1994): Assessment of the effect of n-butanol given to female rats in drinking water on fertility and prenatal development of their offspring (publication), *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 7: 365-370.

Sterner JH, Crouch HC, Brockmyre HF et al. (1949): A ten-year study of butyl alcohol exposure. *Am Ind Hyg Assoc Q* 10: 53-59.

Tabershaw IR; Fahy JP; Skinner JB (1944): Industrial exposure to butanol. J Ind Hyg Toxicol 26: 328-330.

Velazquez J, Escobar R, Almaraz A (1969): Audiologic Impairment Due to n-Butyl Alcohol Exposition. In: Proceedings of the XVI International Congress on Occupational health, pp. 231-234. Excerpta medica Foundation, Tokyo (Sept. 22-27). As cited in OECD SIDS (2001).

**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