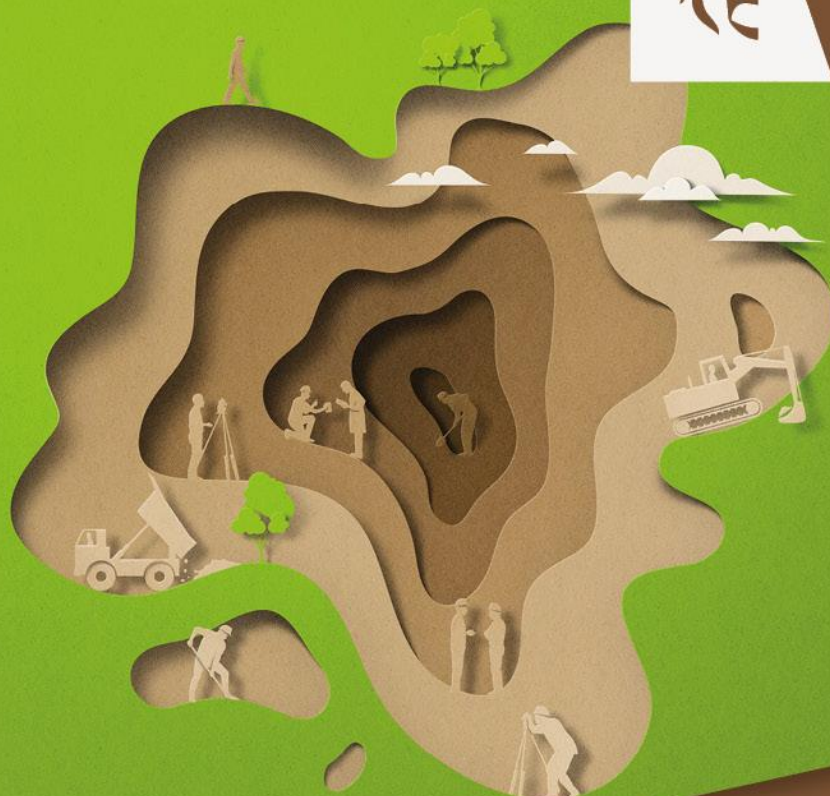




Vlaanderen
is materiaalbewust



TOETSINGSWAARDEN VOOR BDE-99 IN BODEM EN GRONDWATER

AANVULLING BIJ BASISINFORMATIE VOOR RISIO-EVALUATIES

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM

OVAM.VLAANDEREN.BE

Aanvulling bij basisinformatie voor risico-
evaluaties
publicatiedatum / 24.04.2026

DOCUMENTBESCHRIJVING

- | | |
|---|---|
| 1 <i>Titel van publicatie:</i>
Toetsingswaarden voor BDE-99 in bodem en grondwater | 2 <i>Verantwoordelijke Uitgever:</i>
OVAM |
| 3 <i>Wettelijk Depot nummer:</i> n.v.t | 4 <i>Trefwoorden:</i>
Bodemverontreiniging, risico-evaluatie, bodemonderzoek, gebromeerde vlamvertragers, BDE-99 |
| 5 <i>Samenvatting:</i>
In dit document zijn de toetsingswaarden voor BDE-99 in bodem en grondwater opgenomen. De fysico-chemische en toxicologische gegevens werden samengevat. Deze gegevens worden bij voorkeur gebruikt bij het uitvoeren van locatiespecifieke risico-evaluatie van bodemverontreiniging, en in kader van grondverzet. | |
| 6 <i>Aantal bladzijden:</i> 13 | 7 <i>Aantal tabellen en figuren:</i> 2 tabellen en 0 figuren |
| 8 <i>Datum publicatie:</i> 24 april 2026
Voor de meest recente versie van dit document kunt u terecht op de OVAM website: ovam.vlaanderen.be | 9 <i>Prijs*:</i> n.v.t. |
| 10 <i>Begeleidingsgroep en/of auteur:</i> Wouter Gebbink, Mirja van Holderbeke, Kaat Touchant, Yentl Pareja Rodriguez, Anthony Purece, Eef De Clercq, Ingeborg Joris (VITO) <i>Griet Van Gestel, Laetitia Six, Dirk Dedecker (OVAM)</i> | 11 <i>Contactpersonen:</i> Laetitia Six, Griet Van Gestel |
| 12 <i>Andere titels over dit onderwerp:</i>
Toetsingswaarden voor BDE-209 in bodem en grondwater | |

U hebt het recht deze brochure te downloaden, te printen en digitaal te verspreiden. U hebt niet het recht deze aan te passen of voor commerciële doeleinden te gebruiken.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website: ovam.vlaanderen.be

* Prijswijzigingen voorbehouden.

INHOUD

1	Toetsingswaarden voor BDE-99.....	5
1.1	Toetsingswaarden/bodemsaneringsnormen voor het vaste deel	5
1.2	Toetsingswaarde/bodemsaneringsnorm voor grondwater	5
2	Streefwaarden, richtwaarden, waarde vrij gebruik, waarde bouwkundig bodemgebruik	6
2.1	Streefwaarden	6
2.2	Richtwaarde – waarde vrij gebruik	6
2.3	Waarde bouwkundig bodemgebruik	6
3	Technische fiche.....	7
4	Referenties	11

1 TOETSINGSWAARDEN VOOR BDE-99

VITO heeft in opdracht van OVAM een voorstel voor bodemnormen voor 2,2',4,4',5-pentabroomdifenylether (BDE-99) uitgewerkt. De onderbouwing en afleiding van de waarden in beschreven in 'Proposal for soil remediation for 2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether (BDE-99), (Gebbink et al., 2025). De gevolgde methodiek voor het afleiden van de bodemsaneringsnormen is beschreven in 'basisinformatie voor risico-evaluaties: werkwijze voor het opstellen van bodemsaneringsnormen en toetsingswaarden, richtwaarden en streefwaarden' (OVAM, 2016) en in 'Afleiding en onderbouwing gemeenschappelijk normenkader voor grondstoffen en uitgegraven bodem in Vlaanderen' (OVAM, 2015).

1.1 TOETSINGSWAARDEN/BODEMSANERINGSNORMEN VOOR HET VASTE DEEL

De voorgestelde bodemsaneringsnormen voor het vaste deel staan vermeld in Tabel 1. De waarden werden afgerond op twee beduidende cijfers.

De berekeningen van de humaan toxicologische onderbouwde bodemsaneringsnormen werden uitgevoerd met een aangepaste versie van S-Risk 1.3.3 waarin de BCF factoren uitgedrukt worden op basis van droge stofgehalten in de bodem en niet in het poriewater. De voorgestelde bodemsaneringsnormen zijn gebaseerd op de toxicologische referentiewaarden vermeld in de US-EPA (2008) (niet-carcinogeen, effect met drempel). Voor de ecotoxicologische toetsingswaarden werd eenmalig de $PNEC_{\text{bodem}}$ uit het EU-RAR (ECB, 2000) en het REACH dossier geselecteerd.

Tabel 1: De voorgestelde bodemsaneringsnormen voor het vaste deel (mg/kg ds) voor BDE-99

Bestemmingstypes	I/II	III	IV	V
Voorstel humaan tox	0,0040	0,038	51	420
Voorstel ecotox	0,38	0,38	0,38	*
Beleidsmatige bijstelling (POP-verordening)				580
Detectielimiet	0,00055	0,00055	0,00055	0,00055
Voorstel bodemsaneringsnorm (mg/kg ds)	0,0040	0,038	0,38	420

* Onvoldoende data om een ecotoxicologische referentiewaarde te bepalen voor bestemmingstype V

1.2 TOETSINGSWAARDE/BODEMSANERINGSNORM VOOR GRONDWATER

De voorgestelde toetsingswaarde/ bodemsaneringsnorm voor grondwater bedraagt **0.6 µg/L** en is gebaseerd op een humaan toxicologische analyse (US EPA, 2008).

2 STREEFWAARDEN, RICHTWAARDEN, WAARDE VRIJ GEBRUIK, WAARDE BOUWKUNDIG BODEMGEBRUIK

2.1 STREEFWAARDEN

De streefwaarde voor niet van nature voorkomende stoffen wordt gelijkgesteld aan de aantoonbaarheidsgrens, dit zowel voor bodem als voor grondwater.

De streefwaarde voor het vaste deel bedraagt **0,00055 mg/kg ds** (aantoonbaarheidsgrens), en voor grondwater **0,01 µg/L** (aantoonbaarheidsgrens).

2.2 RICHTWAARDE – WAARDE VRIJ GEBRUIK

De voorgestelde richtwaarde voor bodem bedraagt **0,0032 mg/ kg ds**, en komt overeen met 80% van de voorgestelde bodemsaneringsnorm type II.

2.3 WAARDE BOUWKUNDIG BODEMGEBRUIK

De voorgestelde waarde voor bouwkundig bodemgebruik/in een vormvast product is **0,54 mg/kg ds** en is gebaseerd op de hoogste berekende risico-gebaseerde waarde.

3 TECHNISCHE FICHE

Tabel 2: Stofdata voor BDE-99

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Naam		2,2',4,4',5-Pentabroomdifenylether; 2,2',4,4',5-PentaBDE; BDE-99	
CAS nummer		60348-60-9	
EG nummer			
Type			
Dissociërend		Neen	
Zuurconstante (pKa)		/	BDE-99 wordt niet verwacht te dissociëren onder normale omgevingsomstandigheden (AICIS, (2020))
Molmassa	g/mol	564,7	
Oplosbaarheid	mg/l	5,4.10 ⁻³ (5,4 µg/l) bij 25 °C	Gemiddelde uit vier experimentele waarden (Tittlemier et al., (2002); Kuramochi et al., (2007); Stenzel and Markley, (1997))
Dampdruk	Pa	4,3.10 ⁻⁵ bij 25 °C	Gemiddelde uit vier experimentele waarden (Tittlemier et al., (2002); Kuramochi et al., (2007); Wong et al., (2001); EC, (2002))
Henry-coëfficiënt	Pa m ³ /mol	1,07 bij 25°C	Geometrisch gemiddelde uit vier experimentele en berekende waarden
Log Kow	g/g	7,36	Gemiddelde uit twee experimentele waarden
Kow		2.29 x 10 ⁷	
logKoc	dm ³ /kg	6,4	Gemiddelde uit vier experimentele waarden
Koc		2.51 x 10 ⁶	
Log Koa	g/g	10,52 bij 19.85°C	Berekend met S-Risk op basis van log Kow en de Henry constante.
BCF	(mg/kg ds)/(mg/m ³)	BCF factoren, zie extra tabel	
Dpe	m ² /d	1.10 ⁻⁷	Default waarde (Lijzen et al., (2018))
Dpvc	m ² /d	1.10 ⁻¹⁰	Berekend in S-risk. Default waarde Dpe/1000 (Cornelis et al., (2017))
Diffusiecoëfficiënt lucht (Da)	m ² /d	0,308	Cornelis et al., (2022)
Diffusiecoëfficiënt water (Dw)	m ² /d	3,17.10 ⁻⁵	Cornelis et al., (2022)
Kp	[cm/h]	0,0373	Demwin
Fraction absorbed water (FA)	-	1	ATSDR, (2017)

ABS dermaal bodem/stof	-	0,1	EPA, (2004)
RBA bodem/stof	-	0,81	Huwe et al., (2008)
BTF rundsvlees	d/kg	$1,3 \cdot 10^{-2}$	Takaki et al., (2015)
BTF schapenvlees	d/kg		Berekend in S-Risk
BTF lever	d/kg	$1,2 \cdot 10^{-2}$	Kierkegaard et al., (2009)
BTF nier	d/kg		Berekend in S-Risk
BTF melk	d/kg	$9 \cdot 10^{-3}$	Kierkegaard et al., (2009); Takaki et al., (2015)
BTF bodem – ei	d/kg	/	
BTF voeder – ei	d/kg	/	
Carcinogeniteit		Geen beschikbare data	
Systemische effecten drempel			
TDI oraal	mg/kg.d	$1 \cdot 10^{-4}$	US EPA (2008)
TCL inhalatoir	mg/m ³	3,5-4	US EPA (2008)
TDI dermaal	mg/kg.d	$8,5 \cdot 10^{-5}$	US EPA (2008)
Uitmiddeling - leeftijden			
Systemische effecten zonder drempel			
Hellingsfactor oraal	(mg/kg.d) ⁻¹	Geen beschikbare data	
Eenheidsrisico inhalatoir	(mg/m ³) ⁻¹	Geen beschikbare data	
Hellingsfactor dermaal	(mg/kg.d) ⁻¹	Geen beschikbare data	
Limiet in lucht	mg/m ³	$3,5 \cdot 10^{-4}$	Toxicologische referentiewaarde
Limiet in drinkwater	mg/m ³	0,6	Bodemsaneringsnorm voor grondwater, afgeleid van de orale TDI (US EPA, 2009)
Gewasnorm	mg/kg vg	/	
Vleesnorm			
Rundsvlees	mg/kg vg	/	
Schapenvlees	mg/kg vg	/	
Lever	mg/kg vg	/	
Nier	mg/kg vg	/	
Melk	mg/kg vg	/	
Boter	mg/kg vg	/	
Ei	mg/kg vg	/	
Achtergrond voeding alle leeftijdscategorieën met inbegrip van kinderen	mg/kg dag	$1,25 \cdot 10^{-7}$ (1 - < 3 jr)	Gebaseerd op concentraties uit Poma et al., (2018), en voedselconsumptiedata uit S-Risk.
	mg/kg dag	$9,92 \cdot 10^{-8}$ (3 – < 6 jr)	
	mg/kg dag	$6,65 \cdot 10^{-8}$ (6 - < 10 jr)	

	mg/kg dag	$4.04 \cdot 10^{-8}$ (10 - < 15 jr)	
	mg/kg dag	$2,98 \cdot 10^{-8}$ (15 - < 21 jr)	
	mg/kg dag	$2,86 \cdot 10^{-8}$ (21 - < 31 jr)	
	mg/kg dag	$2,66 \cdot 10^{-8}$ (31 - < 41 jr)	
	mg/kg dag	$2,66 \cdot 10^{-8}$ (41 - < 51 jr)	
	mg/kg dag	$2.63 \cdot 10^{-8}$ (51 - < 61 jr)	
	mg/kg dag	$2.75 \cdot 10^{-8}$ (≥ 61 jr)	
Achtergrond aardappel	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond wortelgewassen	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond bolgroenten	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond vruchtgroenten	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond kool	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond bladgroenten	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond peulvruchten	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond rundsvlees	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond orgaanvlees	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond melk	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond boter	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond eieren	mg/kg vg	$2,5 \cdot 10^{-6}$	Poma et al., (2018)
Achtergrond buitenlucht	mg/m ³	$1,34 \cdot 10^{-10}$	Degrendele et al., (2018)
Achtergrond binnenlucht	mg/m ³	$6,1 \cdot 10^{-9}$	Wemken et al., (2019)
Achtergrond drinkwater	mg/m ³	$2 \cdot 10^{-4}$	Brueller et al., (2018)

Tabel 3: BCF factoren

Plant	BCF of BCF model	Bron
Aardappelen		
Aardappelen	7.15	Wang et al. (2016)
Wortel- en knolgroenten		
Wortelen	0.57	Wang et al. (2011)
Schorseneer	0.50	Read-across gemiddelde wortel/radijs
Andere wortelgroenten (vb. radijs)	0.43	Wang et al. (2011)
Bolgroenten		
Bolgroenten (vb. ajuin)	7.1	Wang et al. (2011, 2016)
prei	7.1	Read-across ajuin
Vruchtdragende groenten		
Tomaten	2.5	Navarro et al. (2017)
Komkommer	2.5	Read-across tomaat
Andere vruchtdragende groenten (vb. Paprika)	2.5	Read-across tomaat
Kool		
kool	1.1	Wang et al. (2011)
Bloemkool en broccoli	0.57	Wang et al. (2011)
Spruiten	0.86	Read-across gemiddelde kool/ bloemkool
Bladgroenten		
Sla	0.94	Bizkarguenaga et al. (2016), Wang et al. (2011)
Veldsla	0.78	Read-across gemiddelde sla/ spinazie
Andijvie	0.78	Read-across gemiddelde sla/ spinazie
Spinazie	0.61	Navarro et al. (2017), Wu et al. (2018)
Witloof	0.78	Read-across gemiddelde sla/ spinazie
Selder	0.78	Read-across gemiddelde sla/ spinazie
Peulvruchten		
Bonen	1	Read-across erwten
Erwten	1	Wang et al. (2011)
Grassen		
Gras	9.2	Parolini et al. (2012)
Granen		
Mais	0.0038	Huang et al (2011)

4 REFERENTIES

ATSDR (2017) Toxicological profile for polybrominated diphenyl ethers (PBDEs). In services, U.S.D.o.h.a.h., Service, P.H. (eds). Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Bizkarguenaga, E., Zabaleta, I., Mijangos, L., Iparraguirre, A., Fernandez, L.A., Prieto, A. & Zuloaga, O. (2016) Uptake of perfluorooctanoic acid, perfluorooctane sulfonate and perfluorooctane sulfonamide by carrot and lettuce from compost amended soil. *The Science of the total environment*, 571, 444-451.

Brueller, W., Inreiter, N., Boegl, T., Rubasch, M., Saner, S., Humer, F., Moche, W., Schuhmann, A., Hartl, W., Brezinka, C., Wildt, L. & Allerberger, F. (2018) Occurrence of chemicals with known or suspected endocrine disrupting activity in drinking water, groundwater and surface water, Austria 2017/2018. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 69, 155-173.

Cornelis, C. & Touchant, K. (2016) Basisinformatie voor risico-evaluaties: werkwijze voor het opstellen van bodemsaneringsnormen en toetsingswaarden, richtwaarden en streefwaarden. VITO, Mol.

Cornelis, C., Standaert, A. & Willems, H. (2017) S-Risk Technical guidance document (version March 2017. Study accomplished under the authority of OVAM. <https://s-risk.be/sites/s-risk.be/files/SRisk%20model%20equations.pdf>, pp. 174.

Cornelis, C., Standaert, A. & Willems, H. (2022) S-Risk Technical guidance document (revision). Study accomplished under the authority of OVAM. <https://s-risk.be/documents/technical-guidance-FL.pdf>, pp. 174.

Degrendele, C., Wilson, J., Kukučka, P., Klánová, J. & Lammel, G. (2018) Are atmospheric PBDE levels declining in central Europe? Examination of the seasonal and semi-long-term variations, gas–particle partitioning and implications for long-range atmospheric transport. *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 12877-12890.

ECB (2000) Risk assessment Methyl tertiary-Butyl Ether (MTBE) - draft, Ispra, Italië.

EC-JRC (2002) European Union Risk Assessment Report - Bis(pentabromophenyl)ether. In Bureau, E.C. (ed).

EPA, A. (2004) Risk assessment guidance for superfund. Volume I: human health evaluation manual (Part E, supplemental guidance for dermal risk assessment). EPA/540/R/99.

Huang, H., Zhang, S. & Christie, P. (2011) Plant uptake and dissipation of PBDEs in the soils of electronic waste recycling sites. *Environ Pollut*, 159, 238-243.

- Huwe, J.K., Hakk, H., Smith, D.J., Diliberto, J.J., Richardson, V., Stapleton, H.M. & Birnbaum, L.S. (2008) Comparative absorption and bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers following ingestion via dust and oil in male rats. *Environmental science & technology*, 42, 2694-2700.
- Kierkegaard, A., Wit, C.A.d., Asplund, L., McLachlan, M.S., Thomas, G.O., Sweetman, A.J. & Jones, K.C. (2009) A Mass Balance of Tri-Hexabrominated Diphenyl Ethers in Lactating Cows. *Environmental Science & Technology*, 43, 2602-2607.
- Kuramochi, H., Maeda, K. & Kawamoto, K. (2007) Physicochemical properties of selected polybrominated diphenyl ethers and extension of the UNIFAC model to brominated aromatic compounds. *Chemosphere*, 67, 1858-1865.
- Lijzen, J.P.A., Wassenaar, P.N.H., Smit, C.E., Posthuma, C.J.A.M., Brand, E., Swartjes, F., Verbruggen, E.M.J. & Versteegh, J.F.M. (2018) Risicogrenzen PFOA voor grond en grondwater. Uitwerking ten behoeve van generiek en gebiedsspecifiek beleid (herziene versie). RIVM, Bilthoven, Netherlands, pp. 96.
- Navarro, I., de la Torre, A., Sanz, P., Porcel, M.Á., Pro, J., Carbonell, G. & Martínez, M.d.l.Á. (2017) Uptake of perfluoroalkyl substances and halogenated flame retardants by crop plants grown in biosolids-amended soils. *Environmental Research*, 152, 199-206.
- Parolini, M., Guazzoni, N., Binelli, A. & Tremolada, P. (2012) Polybrominated Diphenyl Ether Contamination in Soil, Vegetation, and Cow Milk From a High-Mountain Pasture in the Italian Alps. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 63, 29-44.
- Poma, G., Malysheva, S.V., Goscinny, S., Malarvannan, G., Voorspoels, S., Covaci, A. & Van Loon, J. (2018) Occurrence of selected halogenated flame retardants in Belgian foodstuff. *Chemosphere*, 194, 256-265.
- Stenzel, J.I.M., B.J. (1997) Pentabromodiphenyl oxide: Determination of the water solubility Wildlife International Ltd.
- Takaki, K., Wade, A.J. & Collins, C.D. (2015) Assessment and improvement of biotransfer models to cow's milk and beef used in exposure assessment tools for organic pollutants. *Chemosphere*, 138, 390-397.
- Tittlemier, S.A., Halderson, T., Stern, G.A. & Tomy, G.T. (2002) Vapor pressures, aqueous solubilities, and Henry's law constants of some brominated flame retardants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21, 1804-1810.
- US-EPA (2008) Toxicological review of 2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether (BDE-99). U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC, <http://www.epa.gov/iris>.
- Wang, S., Wang, Y., Luo, C., Li, J., Yin, H. & Zhang, G. (2016) Plant selective uptake of halogenated flame retardants at an e-waste recycling site in southern China. *Environmental Pollution*, 214, 705-712.

Wang, W., Delgado-Moreno, L., Ye, Q. & Gan, J. (2011) Improved Measurements of Partition Coefficients for Polybrominated Diphenyl Ethers. *Environmental Science & Technology*, 45, 1521-1527.

Wemken, N., Drage, D.S., Abdallah, M.A.-E., Harrad, S. & Coggins, M.A. (2019) Concentrations of Brominated Flame Retardants in Indoor Air and Dust from Ireland Reveal Elevated Exposure to Decabromodiphenyl Ethane. *Environmental Science & Technology*, 53, 9826-9836.

Wong, A., Lei, Y.D., Alaei, M. & Wania, F. (2001) Vapor Pressures of the Polybrominated Diphenyl Ethers. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 46, 239-242.

Wu, X., Wang, W. & Zhu, L. (2018) Enhanced organic contaminants accumulation in crops: Mechanisms, interactions with engineered nanomaterials in soil. *Environmental Pollution*, 240, 51-59.