

# Advies over de mogelijke impact van het uitstrooien van crematieas in natuurgebied

Adviesnummer:	<b><u>INBO.A.3510</u></b>
Datum advisering:	<b>9 januari 2017</b>
Auteur(s):	<b>Bruno De Vos</b>
Contact:	<b>Lieve Vriens (<a href="mailto:lieve.vriens@inbo.be">lieve.vriens@inbo.be</a>)</b>
Kenmerk aanvraag:	<b>ANB-INBO-BEL-2016-41</b>
Geadresseerden:	<b>Agentschap voor Natuur en Bos T.a.v. Karine Abeels Koning Albert II-laan 20 bus 22 1000 Brussel  <a href="mailto:karine.abeels@lne.vlaanderen.be">karine.abeels@lne.vlaanderen.be</a></b>
Cc:	<b>Agentschap voor Natuur en Bos Joris Janssens (<a href="mailto:joris.janssens@lne.vlaanderen.be">joris.janssens@lne.vlaanderen.be</a>)</b>

## Aanleiding

---

Op vraag van Natuurinvest/Inverde wordt een studie uitgevoerd die de mogelijkheden onderzoekt voor het inrichten van natuurbegraafplaatsen.

## Vraag

---

1. Wat is de mogelijke impact van het uitstrooien of in een urne begraven van crematieas in natuurgebieden of bossen, op vegetaties, bodem of strooisellaag?
2. Is er op korte of lange termijn impact te verwachten op specifieke soorten(groepen)?

## Toelichting

---

### 1 Situering

Een blijkbaar stijgende vraag naar begraven worden in 'de natuur' noopt de overheid tot een aangepaste regelgeving, zowel in Nederland (Molenaar et al., 2009), Engeland (Niziolomski et al., 2016) maar ook in Vlaanderen (ten bewijze deze adviesvraag). In Vlaanderen werden mensen traditioneel begraven op kerkhoven overeenkomstig de Christelijke traditie, maar sinds enkele decennia is verassing (crematie) een toenemend fenomeen waarbij (een deel van) de as bewaard wordt in een urne en/of uitgestrooid wordt op een zogenaamde strooiweide of asverspreidingsweide. De Belgische crematiebeweging in een sociaal-historisch perspectief werd beschreven door Velle (1992). Cijfers en trends zijn te vinden op de website [www.crematie.be](http://www.crematie.be) van het Verenigd Netwerk van Openbare Crematoria vzw (VNOC). Van de jaarlijks ca. 105000 overlijdens in België worden momenteel ca. 63000 personen gecremeerd (~60%) en dit zal wellicht stijgen tot ca. 80% (mond. med. Kris Coenegrachts, directeur IGS crematorium Westlede). In 2015 waren er in Vlaamse crematoria 47450 crematies wat overeenkomt met ~142 ton crematieas (ongeveer 14 vrachtwagens).

Relatief nieuw is de trend om de as van de overledene te verspreiden in de natuur (op zee, in park/bos of graslanden). In Engeland wordt momenteel 75% van de overledenen gecremeerd en kan de crematieas verspreid worden tijdens een vlucht, zee- of riviervaart of op het land (voorbeelden op <http://www.scattering-ashes.co.uk/>).

Tot voor kort was het uitstrooien van crematieas in openbaar domein verboden, zoals onder andere bepaald door de [Omzendbrief BA-2006/03](#) betreffende de toepassing van het decreet van 16 januari 2004 op de begraafplaatsen en de lijkbezorging en de uitvoeringsbesluiten. De materie van begraafplaatsen, lijkbezorging en crematoria is sedert 1 januari 2002 een gewestelijke aangelegenheid.

Op 15 juni 2016 dienden zes Vlaams Parlementsleden van de drie meerderheidspartijen een voorstel in om de wet aan te passen en openbare domeinen onder bepaalde voorwaarden open te stellen voor natuurbegravenissen. Op 19 oktober 2016 werd dit voorstel unaniem goedgekeurd in het Vlaams Parlement en wordt het mogelijk om crematieas uit te strooien of in biologisch afbreekbare urnen te begraven in afgebakende gebieden buiten de gemeentelijke begraafplaatsen (zoals natuurgebieden, bossen of duinen) (Draulans 2016).

In dit advies wordt beschikbare informatie samengebracht om het eventuele effect van deze crematieas op de bodem, strooisellaag en vegetatie van bos- en natuurgebieden (Vraag 1) wetenschappelijk te duiden en de eventuele effecten op termijn voor specifieke soorten op te lijsten (Vraag 2), uiteraard op basis van de huidige stand der kennis.

De wetenschappelijke informatie omtrent effecten van crematieas op bodem, strooisellagen en vegetatie is bijzonder beperkt en gefragmenteerd. Er is meer literatuur beschikbaar omtrent (het degradatieproces van) lijken (zowel kadavers van mensen als dieren) in het kader van forensisch onderzoek, dan over crematieas (termen 'cremated remains' or 'cremains' in literatuur).

Met betrekking tot de concrete vraagstelling is echter heel wat informatie gebundeld in het Alterra-Rapport 1789 (Molenaar et al. 2009), getiteld: "*Terug naar de Natuur, mogelijke effecten en juridische aspecten t.a.v. natuurbegraven, asverstrooien en urnbijzetting in natuurgebieden*", dat hoofdzakelijk gebaseerd is op Nederlandse publicaties, praktijkervaring inzake [bestaande natuurbegraafplaatsen](#) (Haas & de Vries, 2013) en Nederlandse wetgeving.

De adviesvrager doet er goed aan dit rapport grondig door te nemen en vele bevindingen en richtlijnen over te dragen naar de Vlaamse situatie, voor zover relevant.

Er zijn natuurlijk wel verschillen tussen de Nederlandse en Belgische/Vlaamse situatie, zowel qua bodem-, bos- en natuurtypes als inzake wetgeving en normenstelsels. In dit advies wordt uitsluitend Vlaamse regelgeving gehanteerd (bv. VLAREBO voor bodem).

Samen met mijnheer Kris Coenegrachts (directeur crematorium IGS Westlede, OVI) werd nagegaan welke informatie en data beschikbaar en wetenschappelijk relevant zijn voor Vlaanderen, en welke informatie/data nog nodig zijn voor een wetenschappelijk onderbouwd antwoord op de gestelde vragen. Het moet duidelijk zijn dat er nog heel wat hiaten zijn in onze kennis en dat verder onderzoek nodig is om de voorwaarden voor eco(toxico)logisch verantwoorde inrichting van natuurbegraafplaatsen duidelijk en concreet te beschrijven en via reglementen wettelijk te verankeren. Een aantal wetenschappelijke onderzoeksvragen wordt in dit advies opgelijst.

Dit advies is dus vooral een aanvulling op het Nederlandse rapport met gegevens gerelateerd aan Vlaamse bos- en natuurgebieden en met relevante regionale kennis en wetgeving/normenstelsels voor het beantwoorden van de twee vragen.

## 2 Focus

We beschouwen in dit advies enkel het uitstrooien van crematieas op het land en beschouwen enerzijds (1) bos- en parkgebieden en (2) open natuurgebieden (extensieve graslanden en heidegebieden) anderzijds. We bekijken in dit advies dus geen aquatische of semi-terrestrische ecosystemen (rivieren, vijvers, moerassen) en hun aanverwante aquatische organismen omdat verbindingen uit crematieassen vermoedelijk anders reageren in aquatische dan in terrestrische milieus. Uiteraard is ook het verspreidings- en dus 'verdunnings'-patroon verschillend.

We bekijken de twee wijzen van verspreiding zoals die in de regel worden toegepast: (1) uitstrooiing en (2) begraven in een urne.

We gaan uit van een gemiddelde samenstelling van crematieas zoals opgegeven in de beschikbare literatuur. De samenstelling van crematieas blijkt echter sterk te verschillen naarmate de ovencondities (vooral temperatuurprogramma en nabewerking van de 'cremains') en de samenstelling van de met het lijk gecremeerde materialen (kist, kleding, edm). Het crematorium Westlede in Lochristi wordt wat condities en materialen betreft beschouwd als representatief voor de [12 Vlaamse crematoria](#).

## 3 Samenstelling van crematieas en urne

### 3.1. Menselijk lichaam

Het menselijk lichaam bevat meer dan 30 chemische elementen, maar slechts 4 elementen vertegenwoordigen samen ca. 96% van onze lichaamsmassa (Tabel 1). Deze basiselementen zijn zuurstof (O), koolstof (C), waterstof (H) en stikstof (N). Het menselijk lichaam bestaat immers voor een groot deel uit water (H<sub>2</sub>O, 50-65% in volwassenen), al onze organen zijn 'organisch' met dus C als voornaamste bouwelement, en dankzij O<sub>2</sub> in onze longen en bloed kunnen metabolische processen in onze cellen doorgaan en wordt koolzuurgas (CO<sub>2</sub>) samen met stikstof afgegeven (uitgeademd). Vermits deze 4 elementen essentieel zijn in alle biotische processen en veelvuldig voorkomen in de biosfeer vormt 96% van de menselijke 'biomassa' derhalve geen verontreinigingsprobleem. De overige 3.9 % wordt gevormd door 9 biogene elementen: P (fosfor), Ca (calcium), K (kalium), S (zwavel), Na (natrium), Cl (chloor), Mg (magnesium), I (jodium) en Fe (ijzer) (Tortora & Grabowski, 2000). Ca is een bestanddeel van botten en tanden; P maakt deel uit van de fosfaatruuggengraat in DNA en van de fosfolipiden in de celmembraan. Daarnaast komen ook enkele metalen voor, zoals Na, K, Mg en Fe (onder meer in hemoglobine).

Slechts 0.1% (of 1000 ppm = 1000 µg g<sup>-1</sup> = 1000 mg kg<sup>-1</sup>) van de totale lichaamsmassa bevat sporenelementen, waarvan de 13 voornaamste: Al (aluminium), B (boor), Cr (chrom), Co (Kobalt), Cu (koper), F (fluor), Mn (mangaan), Mb (molybdeen), Se (selenium), Si (silicium), Sb (antimoon), V (vanadium) en Zn (zink). Bepaalde metalen, zoals Cu, Co (in cobalamine), Zn en Mb maken als cofactor deel uit van bepaalde enzymen. Verder komen er ook sporen voor van zeldzame elementen.

Het menselijk lichaam kan in feite 17 van de 18 essentiële elementen leveren nodig voor de groei van planten (Hillel 2008). Nikkel (Ni) is doorgaans het minst aanwezige lichaamselement dat nuttig is voor planten.

**Tabel 1. Chemische elementsamenstelling van het menselijk lichaam**

Element	Naam	Eenheid	Niziolomski et al. 2006	Molenaar et al. 2009*	Aandeel in totale lichaamsmassa
O	Zuurstof	%	65	65	~96%
C	Koolstof	%	18.5	18	
H	Waterstof	%	9.5	10	
N	Stikstof	%	3.2	2.3	
P	Fosfor	%	1.0	0.7	~3.9%
K	Kalium	%	0.4	0.15	
Ca	Calcium	%	1.5	1.4	
Mg	Magnesium	%	0.1	0.05	
S	Zwavel	%	0.3	0.25	
Na	Natrium	mg kg <sup>-1</sup>	1000	1000	
Cl	Chloor	mg kg <sup>-1</sup>	2000	1000	
I	Jodium	mg kg <sup>-1</sup>	<1000	<30	
Fe	IJzer	mg kg <sup>-1</sup>	<1000	50	
F	Fluor	mg kg <sup>-1</sup>		200	
Si	Silicium	mg kg <sup>-1</sup>		<500	
Al	Aluminium	mg kg <sup>-1</sup>		1.4	
Zn	Zink	mg kg <sup>-1</sup>		33	
Ti	Titaan	mg kg <sup>-1</sup>		<500	
Ba	Barium	mg kg <sup>-1</sup>		0.23	
Sb	Antimoon	mg kg <sup>-1</sup>		1.3	
Cr	Chroom	mg kg <sup>-1</sup>		<0.1	
Ni	Nikkel	mg kg <sup>-1</sup>		<0.1	
Cu	Koper	mg kg <sup>-1</sup>		0.4	
Mn	Mangaan	mg kg <sup>-1</sup>		0.17	
Pb	Lood	mg kg <sup>-1</sup>		1.1	
As	Arseen	mg kg <sup>-1</sup>		0.2	
Sn	Tin	mg kg <sup>-1</sup>		0.43	
V	Vanadium	mg kg <sup>-1</sup>		0.3	

Be	Beryllium	mg kg <sup>-1</sup>		<0.05	
Cd	Cadmium	mg kg <sup>-1</sup>		0.43	
Co	Kobalt	mg kg <sup>-1</sup>		<0.04	
Hg	Kwik	mg kg <sup>-1</sup>		20**	
Mo	Molybdeen	mg kg <sup>-1</sup>		<0.05	

*\*Synthese uit Molenaar et al. (2009) met data samengebracht uit Ellis (1990), Schroeder (1965), Siegenthaler (1976), Documenta Geigy (1975), Smit (1996), et al.*

*\*\* Gemiddeld gehalte voor een geheel lichaam door amalgaamvulling in de tanden. Naast tanden komt Hg niet in andere lichaamsdelen voor.*

### 3.2. Crematieas

Bij verbranding van overledenen vormt het lichaam zelf slechts een deel van de gevormde as. Een ander deel is afkomstig van de kist, kleding en/of lijkwade.

Gecremeerde menselijke overblijfselen bestaan uit resten van verpulverde beenderen die ongeveer 3 kg uitmaken bij een volwassen lichaam. Deze massa verschilt voor mannen en vrouwen. Bartelink et al. (2015) rapporteren voor inwoners uit California (US) een gemiddelde overgebleven massa van  $3233.2 \pm 581$  g (gem  $\pm$  SD) voor mannen en  $2238.3 \pm 482$  g voor vrouwen. Tijdens het crematie-proces worden de organische fracties verbrand en worden lichaamsvreemde voorwerpen (metalen zoals implantaten, sieraden, e.d.) maar ook bepaalde (metalen) resten van de doodskist verwijderd, waarna vooral een hoge concentratie aan calciumfosfaat overblijft. Dit is gekend als een zeer stabiele fosforverbinding (Strand et al., 2008).

Door de hoge pH ( $\sim 12$ ) en het Na-gehalte van crematieas, is deze zeer persistent in het natuurlijk milieu en heeft het de neiging om op te hopen, waardoor onder meer in de UK vrije uitstrooiing in de natuur meer en meer aan banden wordt gelegd (Niziolomski et al., 2006).

Bovendien verschilt vermalen crematieas naargelang het verbrandingsprocedé in de crematie-ovens, zoals tussen koude-start en warme-start ovens (Tabel 2). Het belangrijkste verschil is dat bij het koude-startproces het grootste gedeelte van de zware metalen wordt teruggevonden in de as ( $> 90\%$ ), terwijl dat bij het warme-startproces veel minder is (35 tot 65%). Het aandeel zware metalen in rookgas is bij beide processtypes minder dan 1.5%. De resterende hoeveelheid zware metalen is gebonden aan de vlieg-as (Smit 1996). In Vlaanderen zijn momenteel geen koude-start ovens actief, dus de samenstelling van crematieas uit dit proces is hier verder niet relevant (mond. med. Kris Coenegrachts).

De laatste 10 jaar is er aanzienlijke vooruitgang geboekt in het milieuvriendelijker maken van doodskisten. Metalen ornamenten en handvaten en tropische houtsoorten zijn veel minder in gebruik dan voorheen en ook aan de samenstelling van de lakken (vernissen) en de vezelplaten wordt momenteel gesleuteld (mond. med. Kris Coenegrachts). Ook de lijkhoezen uit PVC kunnen vervangen worden door andere kunststoffen, teneinde vooral de milieubelastende stoffen in de gasvormige uitstoot te beperken.

Tabel 2 synthetiseert de beschikbare gegevens over de gemiddelde samenstelling van crematieas, uitgedrukt als element én omgerekend naar de belangrijkste oxides. Helaas beschikken we niet over analysegegevens van 'Vlaamse' crematieas. De data die op (commerciële) internet-websites circuleren verwijzen doorgaans naar data van O'Neill. Dezelfde waarden werden gerapporteerd in de studie van Niziolomski et al. (2016). Een tweede bron van informatie is Smit (1996), overgenomen in het rapport van Molenaar et al (2009). Over het oorspronkelijke rapport van Smit (1996), waarnaar heel vaak wordt verwezen bij gebrek aan andere analysegegevens, konden we niet beschikken. In een recent

advies (25 maart 2016) van de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit aan de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport omtrent het gebruik van crematieas bij tatoeages wordt gesteld dat er sinds Smit (1996) geen recentere Nederlandse gegevens over crematieas beschikbaar zijn (NVWA-BuRO 2016). Volgens Smit (1996) zijn zowel ranges aan elementen aangegeven voor crematieas van koude-start en warme start ovens. Voor een aantal zware metalen in crematieassen werd informatie gevonden in Brooks et al. (2006).

De gegevens van de drie bronnen werden uitgedrukt in dezelfde eenheid en vullen elkaar aan; sommige elementen werden alleen gerapporteerd bij de eerste bron maar niet bij de tweede of derde en omgekeerd.

Opmerkelijk is dat voor sommige elementen de waarden volgens de eerste twee bronnen in een vergelijkbare range liggen (voor P, Al, Zn, Ba, Cr, Sn en Hg) maar voor andere elementen bij Niziolomski et al. (2016) een stuk lager (K, Cu, Mn en V) of een stuk hoger (S, Cl, Sb, Pb). Dit kan te maken hebben met de meetprecisie van de aangewende methodes en analytische instrumenten, maar ook met de ovencondities en nabehandeling van de gecremeerde overblijfselen.

Brooks et al. (2006) deden een methodologische studie voor het bepalen van sporenelementen in crematieassen in het kader van forensische expertise. Ze bepaalden ook de standaarddeviatie (SD) op de concentraties van deze elementen op basis van 54 stalen. De gemiddelden uit deze studie kunnen beschouwd worden als het meest nauwkeurig bepaald, maar daarom niet noodzakelijk de waarden die bij ons in Vlaanderen worden aangetroffen. Merk op dat de standaarddeviatie doorgaans groter is dan het gemiddelde, wat wijst op een grote variatie tussen de crematieas stalen. Daarmee rijst dan ook de vraag op hoeveel observaties de andere bronnen zijn gebaseerd.

***Tabel 2. Synthesetabel samenstelling crematieas volgens verschillende bronnen. In cursief zijn de dominante verbindingen van het element met de omgerekende concentraties ook aangegeven.***

Element	Naam	Eenheid	Niziolomski et al. 2016 en O'Neill, Illinois	Smit (1996) Molenaar et al. (2009)		Brooks et al. (2006)
				Koude- start oven	Warme- start oven	Gem. (SD)
N	Stikstof	%	-	0.059 - 0.175	0.049 - 0.099	-
P	Fosfor	%	15.3	15.5 - 16.5	15.9 - 16.2	-
	<i>PO<sub>4</sub></i> <i>Fosfaten</i>	%	<i>47</i>	<i>47.5 - 50.6</i>	<i>48.8 - 49.7</i>	
K	Kalium	%	3.69	9.13 - 11.6	-	-
	<i>K<sub>2</sub>O</i> <i>Kaliumoxide</i>	%	<i>4.44</i>	<i>11 - 14</i>		
Ca	Calcium	%	25	-	-	-
Mg	Magnesium	%	0.418	-	-	-
Na	Natrium	%	1.12	-	-	-
S	Zwavel	%	3.67	0.39	0.0357-0.0433	-
	<i>SO<sub>4</sub></i> <i>Sulfaten</i>	%	<i>11</i>	<i>1.17</i>	<i>0.107-0.130</i>	
Cl	Chloriden	%	1.00	0.155 - 0.335	0.0448-0.0582	-
Si	Silicium	%	0.42	-	-	-
	<i>SiO<sub>2</sub></i> <i>Silica</i>	%	<i>0.9</i>			

Al	Aluminium	%	0.252	0.41 - 1.2	0.089 - 0.300	-
$Al_2O_3$	<i>Alu-oxide</i>	%	<i>0.720</i>	<i>1.17 - 3.43</i>	<i>0.254 - 0.858</i>	
Fe	Ijzer	%	0.041	-	-	-
$Fe_2O_3$	<i>IJzeroxide</i>	%	<i>0.118</i>			
Zn	Zink	mg kg <sup>-1</sup>	342	375 - 1135	46 - 250	-
Cd	Cadmium	mg kg <sup>-1</sup>	-	0.3 - 2.3	0.12	4.2 (7.0)
Ti	Titaan	mg kg <sup>-1</sup>	156	-	-	-
$TiO_2$	<i>Titaniumoxide</i>	mg kg <sup>-1</sup>	<i>260</i>			
Ba	Barium	mg kg <sup>-1</sup>	66	290 - 445	31 - 147	-
Sb	Antimoon	mg kg <sup>-1</sup>	35	5	0.87 - 1.9	-
Cr	Chroom	mg kg <sup>-1</sup>	18	65 - 185	15 - 28	18.2 (31.7)
Ni	Nikkel	mg kg <sup>-1</sup>	-	23.5 - 97	29 - 170	10.9 (16.0)
Cu	Koper	mg kg <sup>-1</sup>	17	52 - 360	187 - 780	92.2 (187.2)
Mn	Mangaan	mg kg <sup>-1</sup>	13	410 - 560	220 - 580	69.5 (195.1)
Pb	Lood	mg kg <sup>-1</sup>	8	3	1.04 - 5.8	43 (99.7)
As	Arseen	mg kg <sup>-1</sup>	-	3 - 3.5	0.72 - 0.84	-
Sn	Tin	mg kg <sup>-1</sup>	5	13 - 99	3.6 - 28	17.4 (7.6)
Co	Kobalt	mg kg <sup>-1</sup>	-	2 - 5.5	1.5 - 2.8	4.0 (9.9)
Se	Seleen	mg kg <sup>-1</sup>	-	5	0.1	-
Mo	Molybdeen	mg kg <sup>-1</sup>	-	3	1.1 - 1.9	-
V	Vanadium	mg kg <sup>-1</sup>	2	37.5 - 460	8.4 - 13.6	5.1 (5.3)
B	Boor	mg kg <sup>-1</sup>	-	-	-	138.2 (179.9)
Be	Beryllium	mg kg <sup>-1</sup>	<1	-	-	-
Hg	Kwik	mg kg <sup>-1</sup>	<0.1	0.05 - 0.21	0.25	-
Li	Lithium	mg kg <sup>-1</sup>	-	-	-	9.8 (11.6)
Te	Tellurium	mg kg <sup>-1</sup>	-	5	0.20	-
Ag	Zilver	mg kg <sup>-1</sup>	-	-	-	8.5 (9.8)
Au	Goud	mg kg <sup>-1</sup>	-	5 - 170	0.15 - 48	-



De resultaten in tabel 2 geven de elementconcentraties. In het lichaam zijn deze elementen aanwezig in organische en anorganische verbindingen. Na crematie bij temperaturen hoger dan 800°C worden deze meestal omgezet naar hun oxiden. Bartelink et al. (2015) analyseerden het XRD spectrum van crematieassen en vonden een dominante aanwezigheid van apatiet:  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$ , de belangrijkste minerale component van beenderen die weinig verandert bij verhitting. Nadien volgde het mineraal calciet (vorm van  $\text{CaCO}_3$ ) en diverse vormen van aluminosilicaten en magnesium/titanium/ijzeroxiden ( $\text{Mg}_2\text{TiO}_4$ ,  $\text{Mg}_2\text{FeO}_4$  en  $\text{TiFe}_2\text{O}_4$ ). Deze studie toonde tevens aan dat de crematieassen vaak aangerijkt zijn met componenten van cement/beton, zoals glasvezel fragmenten, wat een bijkomende verontreiniging is, maar het is onduidelijk of dit ook het geval is voor Vlaamse crematieassen.

Onder andere door het hoge Ca-gehalte vertoont crematieassen een hoge pH, niet zelden tussen 10-12, en reageert het dus alkalisch (Horn, 2016).

Afhankelijk van het proces van vermalen en de maaswijdte van de zeving is de partikelgrootte van crematieassen uit Duitse crematoria als volgt (Horn, 2016): ca. 88 % is zandfractie ( $>63 \mu\text{m}$ ) en dus ca. 12% is klei- en leemfractie. Een dominante fractie is 63-200 $\mu\text{m}$  wat overeenkomt met een fijnzandige textuur. De partikelgrootte is van belang bij de verwerking en chemische reacties van crematieassen in de bodem (bv. hydrolyse en carbonatie).

We beschikken (nog) niet over partikelgrootte-distributies van crematieassen uit Vlaamse crematoria, maar volgens eigen visuele waarneming in het crematorium Westlede (Bezoek 2/12/2016) is dit vergelijkbaar.

Crematieassen bestaat dus vooral uit minerale bestanddelen en zware metalen. In geringe mate zijn er mogelijk organische polluenten in aanwezig. NVWA-BuRO (2016) vermeldt beperkte gegevens over concentraties aan dioxines, furanen en dioxineachtige polychloorbifenylen (PCBs) en dat het aannemelijk is dat er ook polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs) en hexachloorbenzeen (HCB) in de as kan zitten, maar dat voldoende analysegegevens hierover ontbreken. Vooraleer het uitstrooien van crematieassen in openbare domeinen toe te staan, is het nodig dat er wetenschappelijke analyses uitgevoerd worden op deze organische polluenten en hun gemiddelde concentraties in crematieassen. Volgens Pakpahan et al. (2009) wordt de groep van polycyclische aromatische koolwaterstoffen bij temperaturen boven de 800°C en in oxydatieve atmosfeer (zoals in de huidige crematie-ovens) grotendeels gedegradeerd, zodat de concentraties in crematieassen wellicht bijzonder laag zijn. Abdel-Shafy et al. (2016) geeft aan dat pyrogene PAKs gevormd kunnen worden tussen de 350-1200°C, maar steeds bij onvolledige verbrandingsprocessen. We nemen aan dat het verbrandingsproces in de verbrandingsovens wel een volledige verbranding is.

Partikels van edele metalen (titanium, goud, aluminium, ...) worden in moderne crematoria systematisch verwijderd uit de assen en gerecupereerd door gespecialiseerde firma's.

In de literatuur wordt gewag gemaakt van gebruik van crematoriums als bodemadditief en fosfaatmeststof. Zo kan in de VS crematieassen worden gemengd met organisch materiaal of producten die de fosfaten meer oplosbaar maken (bv. EDTA<sup>1</sup>), zodat deze mengmassa als meststof kan gebruikt worden. Op dit procédé is een US patent genomen (Strand et al., 2008).

In de niet-internationaal gepubliceerde literatuur worden volgende nadelen van crematieassen aangehaald:

- Het hoge zoutgehalte van de assen is toxisch voor vele plantensoorten in terrestrische milieus. Het in tabel 2 vermelde natriumgehalte in crematieassen is een factor 200 tot 2000 hoger dan wat vele soorten tolereren;

---

<sup>1</sup> Ethyleendiaminetetra-acetaat (EDTA) is een stof die in staat is kalksteen op te lossen en kan metalen complexeren.

- De plant-nutritieve elementen worden door het crematieproces omgezet in verbindingen die niet of beperkt opneembaar zijn door het wortelstelsel;
- De pH van crematieas is zo hoog en het Na-gehalte zo aanzienlijk dat het bijzonder moeilijk is om deze niveaus te corrigeren met toevoeging van bodem of potgrond tot normale concentraties.

De (mogelijke) negatieve effecten van crematieas zijn steeds gerelateerd aan de actuele en potentiële biobeschikbare concentraties (niet de 'totale' samenstelling). Zolang de totale samenstelling en biobeschikbare fracties niet voldoende zijn gekend is het bijzonder moeilijk om normen te hanteren en de effectieve ecotoxicologische effecten van crematieassen te voorspellen.

### 3.3. Urne

Urnen om crematieas in te stockeren bestaan in alle mogelijk materialen, vormen en maten. Er bestaan zelfs speciale (web)winkels met een groot assortiment (bv. <http://www.urnwinkel.nl/urnen-assieraden/urnen.html>). Urnen bestaan in bijna alle gevallen uit metalen en kunststoffen, maar ook uitvoeringen in natuurlijke materialen zoals hout, steen en (kristal)glas zijn beschikbaar.

Voor gebruik in natuurgebieden zijn vooral biodegradeerbare urnen aangewezen. Het materiaal van de urnen kan tegenwoordig worden samengesteld in functie van de gewenste degradatiesnelheid (mond. med. Kris Coenegrachts). De eco-urnen bestaan voornamelijk uit biologisch afbreekbare materialen zoals mais-zetmeel of andere organische materialen en volgen het cradle-to-cradle principe.

Theoretisch zou dus in functie van de milieueffecten van crematieas de samenstelling van de urne bepaald kunnen worden, variërend van onmiddellijke degradatie en blootstelling aan de bodem (bv. karton, hout) over langzame blootstelling (staal) tot minimale blootstelling (crematieas gevangen in (onbreekbaar) glas).

Zelfs in biodegradeerbare urnen wordt verwacht dat de crematieas, eenmaal ingegraven in de bodem, de vorm aanneemt van de urne en in die vorm lange tijd blijft bestaan. Volgens de waarnemingen in het crematorium Westlede zou crematieas samenkitten vergelijkbaar als een aan de lucht en vocht blootgestelde zak cement (mogelijk zelfs met vergelijkbare chemische processen). Dit zou betekenen dat ingegraven eco-urnen toch lange tijd hun vorm zouden behouden, tenzij deze vorm door biotische processen (wortels, schimmels, bodemorganismen) of hydrologische processen (bewegingen watertafel) toch wordt (af)gebroken. Empirisch onderzoek in situ dringt zich op.

## 4 Relevante normenstelsels

### 4.1. Bodemkwaliteit volgens VLAREBO

Op 14/12/2007 werd het Vlaams Reglement rond bodemsanering en bodembescherming (VLAREBO) het laatst herzien (OVAM 2009). Hierin werden normen opgesteld voor verontreinigende stoffen waaraan de bodemkwaliteit moet voldoen binnen een bepaald bestemmingstype. Relevant voor deze vraagstelling zijn de streef- en richtwaarden en saneringsnormen voor bos en natuur (Bestemmingstype I), die gelijkgesteld zijn aan deze voor landbouw (Bestemmingstype II). In theorie zouden ook park- en recreatiegebieden (Bestemmingstype IV) in ogenschouw moeten genomen worden voor natuurbegraafplaatsen.

Het is bijzonder opmerkelijk dat VLAREBO geen bestemmingstype voorziet voor begraafplaatsen (kerkhoven), terwijl omzeggens elk ander bodemgebruik in een specifiek bestemmingsgebied wordt gerangschikt. Het is dus essentieel dat de OVAM een voorstel doet onder welk bestemmingstype (natuur)begraafplaatsen vallen zodat daar geen onduidelijkheid over bestaat.

Vermits de normen strenger zijn in bos-/natuurgebied (type I) dan in parkgebied (type IV) worden verder beide types behandeld.

Het VLAREBO onderscheidt drie belangrijke normenstelsels:

- 1) Streefwaarden: dit zijn de concentraties van verontreinigende stoffen of organismen op of in de bodem die gemeten worden in niet-verontreinigde bodems met vergelijkbare kenmerken.
- 2) Richtwaarden: dit zijn de concentraties van verontreinigende stoffen of organismen op of in de bodem die laag genoeg zijn opdat de bodem al zijn functies zonder beperking kan vervullen.
- 3) Bodemsaneringsnormen (BSN): bij overschrijding van deze concentraties is er een ernstige bedreiging van verontreiniging voor het leven in en op de bodem en kan de bodem bepaalde functies beperkt of niet meer vervullen.

Afhankelijk van het bestemmingstype worden de streef- en richtwaarden en bodemsaneringsnormen voor sommige zware metalen gecorrigeerd op basis van de pH-KCl en/of de gehalten aan klei en organisch materiaal (OM) van de bodemmonsters. Dit heeft te maken met de biobeschikbaarheid van de metalen bij bepaalde zuurtegraden en bodemsamenstelling.

Dus in functie van de textuur (kleigehalte), het organisch gehalte en de pH zal de ontvangende bos-, park- of natuurbodem aangepaste waarden en normen vertonen dan deze berekend voor een standaardbodem bestaande uit 10% klei, 2% organisch materiaal en pH 5 (Tabel 3).

**Tabel 3. Streefwaarden (SW), richtwaarden (RW) en bodemsaneringsnormen voor type I (BSNI) en type IV (BSNIV) voor een standaardbodem volgens VLAREBO in  $mg\ kg^{-1}$  DS.**

Metaal	Streefwaarde	Richtwaarde	BSNI	BSNIV
As	16.0	35.0	58.0	267.0
Cd	0.7	1.2	2.0	9.5
CrIII	62.0	91	130.0	560.0
Cu	20.0	72.0	120.0	500.0
Hg	0.1	1.7	2.9	4.8
Pb	31.0	120.0	200.0	735.0
Ni	16.0	56.0	93.0	530.0
Zn	77.0	200.0	333.0	1000.0

Merk op hoe groot de verschillen zijn tussen bos en natuur (BSNI) en parkgebied (BSNIV) wat betekent dat de bodemnormen voor parkgebieden meer met metalen gecontamineerde crematieas zal toelaten dan voor bos- en natuurgebieden, voor eenzelfde bodemtype (klei, OM en pH). De toegelaten aanrijking wordt berekend op basis van het verschil tussen de Richtwaarde en de norm voor respectievelijk BSNI en BSNIV (bos/natuur en park).

Noteer ook dat enkel een norm voor driewaardig Cr (CrIII) is opgesteld. Indien echter het potentieel toxische CrVI aanwezig is, wat mogelijk het geval is bij verstrooiing van crematieas (Horn 2016), dient volgens VLAREBO een aparte risicoanalyse te worden uitgevoerd (OVAM 2009).

Naast zware metalen voorziet het VLAREBO ook in een normering voor organische polluenten, zijnde monocyclische aromatische koolwaterstoffen, gechlorideerde koolwaterstoffen, PAKs, cyanides, pesticiden en dergelijke. Vermits er momenteel geen analytische data beschikbaar zijn van de concentratie aan deze verbindingen in crematieas kan voorlopig enkel een evaluatie worden uitgevoerd van toegestane dosissen van crematieas op basis van de zware metalen. Volgens het EEA/EMEP Guidebook 2012 zou bij crematie van een menselijk lichaam 0.41 mg PCBs worden vrijgesteld (vooral via gasvormige uitstoot) terwijl de richtwaarde (bodemconcentratie) van PCBs in VLAREBO 0.033 mg kg<sup>-1</sup> droge bodem is.

Het is dus uitermate belangrijk dat crematieas ook voldoende onderzocht wordt op deze organische polluenten teneinde mogelijke bodemcontaminatie met deze stoffen tegen te gaan.

#### **4.2. Strooiselkwaliteit (INBO)**

Voor de strooisellagen in het Vlaamse gewest werd in het verleden een normenstelsel uitgewerkt (De Vos 1997; Dumortier et al., 2003) op basis van de methodologie van Tyler (1992). Hierbij worden achtergrondwaarden, maximaal toelaatbare concentraties en kritische niveaus gedefinieerd op basis van regio-specifieke achtergrondwaarden ('natuurlijke' gehalten + ubiquitaire<sup>2</sup> verontreiniging) en kritische concentraties voor chemische bodemprocessen en bodemorganismen. De grenswaarde voor de concentraties voor de zes metalen worden schematisch toegelicht in figuur 1, zoals weergegeven in De Vos (2006).

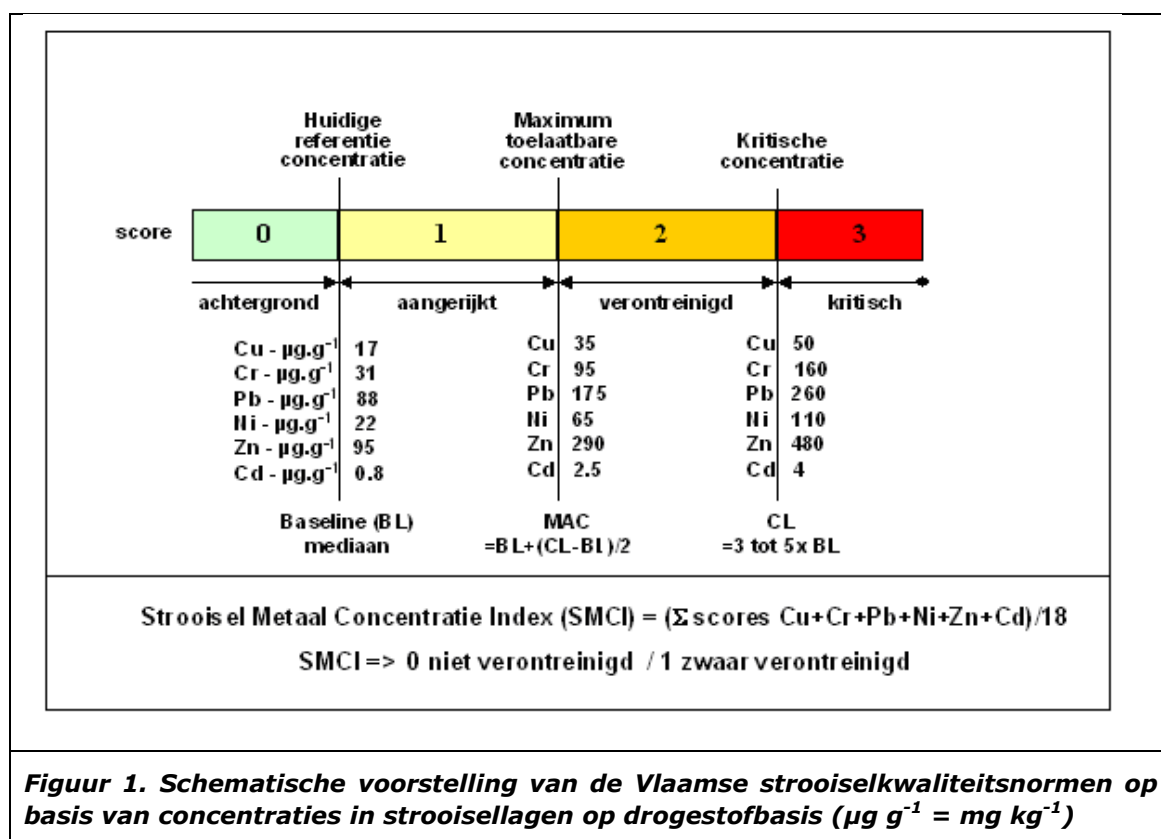
Indien de concentratie onder de referentiewaarde (base line) valt voor een bepaald metaal, wordt een score 0 toegekend (concentratie behoort tot normale achtergrondwaarden). Boven de kritische waarde wordt een score 3 toegekend. Voor sommige bodemprocessen en voor de leefbaarheid van bepaalde organismen (> LOEC<sup>3</sup>) betekent dit een bedreiging.

Een maximaal toegelaten concentratie (MAC) situeert zich exact tussen de referentiewaarde en de kritische concentratie. Onder de MAC maar boven de referentiewaarde (score 1) spreken we van 'aangerijkt'. Effecten van die aanrijking zijn weinig waarschijnlijk, zelfs voor gevoelige organismen. Boven de MAC daarentegen (score 2) maar onder de kritische waarde kunnen processen en levensgemeenschappen nadelige effecten ondervinden. Hier zitten we al in de gevarezone voor metaalverspreiding via accumulerende organismen en kunnen we spreken van de klasse 'verontreinigd'.

---

<sup>22</sup> *omnipresent*

<sup>3</sup> *laagste concentratie van een stof waarbij een waarneembaar effect kan optreden bij een specifiek organisme*



Een additieve totaalscore herschaald tussen 0 en 1 leidt tot een index voor metaalaanrijking (SMCI). Hierbij worden geen aparte gewichten meer toegekend aan specifieke metalen voor de mate van (eco)toxiciteit omdat dit reeds vervat zit in de kritische concentratie.

Omdat niet alleen de concentratie maar vooral de stocks (metal-loads, pools) aangeven hoeveel metalen effectief aanwezig zijn in een strooisellaag en mogelijk beschikbaar zijn voor organismen of uitloegbaar zijn naar de onderliggende bodem of grondwater werd op basis van vele waarnemingen in Vlaamse bossen ook een evaluatietabel opgemaakt voor de stocks (Tabel 4). In feite zijn hier de strooiselgewichten (bulkdensiteiten) mee in rekening gebracht.

**Tabel 4. Evaluatietabel voor de stock (pool) aan zware metalen in strooisellagen in het Vlaams gewest. De maximaal toelaatbare stocks zijn aangeven in rood**

		Cu	Cr	Pb	Ni	Zn	Cd
EVALUATIE	Score	mg m <sup>-2</sup>	mg m <sup>-2</sup>	mg m <sup>-2</sup>	mg m <sup>-2</sup>	mg m <sup>-2</sup>	mg m <sup>-2</sup>
<b>Achtergrond</b>	<b>0</b>	≤92	≤145	≤438	≤109	≤447	≤3.6
<b>Aangerijkt</b>	<b>1</b>	92-≤180	145-≤440	438-≤870	109-≤330	447-≤1340	3.6-≤12
<b>Verontreinigd</b>	<b>2</b>	180-≤275	440-≤725	870-≤1300	330-≤550	1340-≤2225	12-≤20
<b>Kritisch</b>	<b>3</b>	>275	>725	>1300	>550	>2225	>20

Analoog aan de SMCI wordt op basis van de aangegeven scores een Strooisel Metaal Pool Index (SMPI) berekend.

De MAC waarden (ondergrens score 2) kunnen gehanteerd worden als maximaal toelaatbare hoeveelheden van een metaal per oppervlakte-eenheid voor aanrijking van strooisellagen.

Door de eventuele inbreng van producten (bekalkingsproducten, zuiveringsslib, crematieas) of door depositie zou de aanwezige metalenstock de MAC waarde niet mogen overschrijden. Dus, in het kader van dit advies, zal de toegediende hoeveelheid crematieas door verstrooiing op de strooisellaag, de MAC waarde niet mogen overschrijden.

Als men de reeds aanwezige hoeveelheden aan zware metalen niet kent, kan een mediaanwaarde voor een strooisellaag in een Vlaams bos worden gebruikt (zie De Vos 1997), en het verschil met de MAC waarde geeft dan de maximaal toelaatbare aanrijking door crematieas (Tabel 5).

**Tabel 5. Maximaal toelaatbare dosis**

	Cu	Cr	Pb	Ni	Zn	Cd
	mg m <sup>-2</sup>	mg m <sup>-2</sup>	mg m <sup>-2</sup>	mg m <sup>-2</sup>	mg m <sup>-2</sup>	mg m <sup>-2</sup>
<b>Maximaal toelaatbare stock</b>	180	440	870	330	1340	12
<b>Reeds aanwezige stock*</b>	102	100	423	92	434	3.2
<b>Max. toelaatbare dosis</b>	72	340	447	238	906	8.8

\* mediaanwaarde voor strooisellagen in Vlaamse bossen (De Vos, 1997)

In bos- en parkgebieden kan deze normering gebruikt worden om na te gaan wat de maximale dosis aan crematieas is die per ha aan een gemiddeld Vlaams bos/park kan toegediend worden via asverstrooiing enerzijds of via opname door de wortels (uit ontsloten urnen) en teruggegeven aan de bodem door verhoogde bladconcentraties aan zware metalen anderzijds. Een voorbeeld van deze berekening wordt gegeven in paragraaf 5.3. Tevens geeft dit voorbeeld aan welke van de 6 zware metalen het meest kritisch zijn voor gebruik van crematieas in bos- en parkgebieden en dus in aanmerking komen voor ecotoxicologische monitoring.

### 4.3. Mestdecreet

Vermits crematieas vanuit een wetenschappelijk standpunt als fosfaatmeststof (en bekalkingsproduct) kan worden beschouwd, dient nagegaan welke dosissen volgens de wet maximaal zouden mogen worden aangebracht in (extensieve) graslanden.

Overeenkomstig het mestactieplan (MAP5) worden de bemestingsnormen afgestemd op plantbeschikbare fosfor (P) in de bodem. Omdat vele landbouwgronden veel te hoge P-gehalten hebben, wordt verdere stapsgewijze fosfaatuitmijning vooropgesteld in MAP5. In fosfaatverzaaid gebied is de strengste norm voor fosfaatbemesting van kracht: maximaal 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar.

Volgens de VLM ([Toelichting 2](#)) zijn volgende normen van kracht in de bestemmingen 'natuurgebieden', 'natuurontwikkelingsgebieden', 'natuurreservaten' en 'bosgebieden' van de gewestplannen waar een bemestingsverbod geldt. Dat betekent dat elke vorm van bemesting verboden is, met uitzondering van bemesting door rechtstreekse uitscheiding door begrazing waarbij twee grootvee-eenheden per hectare op jaarbasis (2 GVE/ha per jaar) zijn toegelaten. Dit komt overeen met 170 kg N ha<sup>-1</sup>, jaar en 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. Deze hoeveelheden mogen uitsluitend door begrazing afgezet worden (dus niet door aanrijking met crematieas).

Logischerwijs moeten natuurbegraafplaatsen in Vlaanderen ook voldoen aan deze normen, waarbij resp. 40 en 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> de maximale hoeveelheid is.

Volgens Molenaar et al. (2009) is in Nederland voor natuurgebieden de maximaal toegelaten hoeveelheid P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 10 kg ha jaar<sup>-1</sup>, wat een stuk strenger is dan in Vlaanderen.

#### 4.4. VLAREMA

Het [VLAREMA](#)<sup>4</sup> of materialendecreet geeft aan welke producten in Vlaanderen kunnen aangewend worden voor bepaalde toepassingen. Op basis van de samenstelling van crematieas dient nagegaan te worden welke beperkingen er zijn voor dit product.

Crematieas wordt door VLAREMA niet als dusdanig gecatalogeerd als afvalstof, doch er is in de Bijlage 2.1. Lijst van afvalstoffen wel een rubriek voor 'afval van Crematoria' voorzien, met als (voorlopig) enige subrubriek: de resten van de gasreiniging (bv. filterstof, vliegias).

10 14	afval van crematoria
10 14 01*	afval van gasreiniging dat kwik bevat

Bij asverstrooiing zijn mogelijk de criteria relevant uit Onderafdeling 2.3.1. Criteria voor grondstoffen, bestemd voor gebruik als meststof of bodemverbeterend middel.

BIJLAGE 2.3.1.C van het VLAREMA bepaalt de voorwaarden voor producten 'Vliegias en Bodemas' afkomstig van verbrandingsprocessen en waarvoor een grondstofverklaring verplicht is. Het betreft de maximaal toelaatbare dosering aan verontreinigde stoffen en deze is weergegeven in Tabel 6.

**Tabel 6. VLAREMA BIJLAGE 2.3.1.C: Voorwaarden voor gebruik als meststof of bodemverbeterend middel, maximaal toelaatbare dosering aan verontreinigende metalen**

PARAMETERS	DOSERING (g ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )
Arseen (As)	300
Cadmium (Cd)	12
Chroom (Cr)	500
Koper (Cu)	750
Kwik (Hg)	10
Lood (Pb)	600
Nikkel (Ni)	100
Zink (Zn)	1800

#### 4.5. HabNorm

Momenteel worden door het INBO in het kader van de Habitatrichtlijninstandhoudingsdoelstellingen en in verband daarmee nog verdere duurzame ontwikkelingsmogelijkheden van N-emitterende activiteiten (PAS/DPB-opdracht), de bodemcondities onderzocht, die nodig zijn voor de duurzame instandhouding van Natura 2000 habitats (HabNorm project). In de toekomst zullen voor de voornaamste habitattypes de grenswaarden voor (plantbeschikbare) fosfor, pH, EC, etc. worden gedefinieerd en zal aangegeven kunnen worden welke maximale dosissen aan crematieas deze habitats kunnen tolereren zonder hun duurzame instandhouding te hypothekeren. Een voorbeeld wordt gegeven voor types 6230, 6410 en 6510 graslanden in paragraaf 6. Ook voor de heide zullen deze gegevens in de nabije toekomst beschikbaar zijn.

Momenteel zijn de milieucondities (bereiken) voor de meeste Natura2000 habitats terug te vinden in Ecopedia (rubriek 'milieu'), bv. voor [4010 \(Vochtige en natte heide\)](#).

<sup>4</sup> VLAREMA, 17 december 2012. Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van het Vlaams reglement betreffende het duurzame beheer van materiaalcringen en afvalstoffen. Zie [EMIS](#)

Gobin et al. (2005) berekenden de kritische lasten voor zware metalen voor diverse habitattypes in graslanden, heides en bossen. Het betreft kritische lasten voor ecotoxicologische effecten van Cd en Pb op bodemmicro-organismen, planten en invertebraten en voor gezondheidseffecten (metalen Cd, Pb en Hg).

Een synthese van de kritische lasten voor graslanden, heides en bossen voor deze drie zware metalen is opgenomen in Tabel 7.

**Tabel 7. Statistische beschrijving van de kritische last ( $g\ ha^{-1}\ jr^{-1}$ ) voor Cd, Pb en Hg voor de verschillende grasland-, heide- en bostypes (naar Gobin et al. (2005))**

Natuurtype	Ecotox effecten		Gezondheidseffecten		
	Cd	Pb	Cd	Pb	Hg
	$g\ ha^{-1}\ jr^{-1}$	$g\ ha^{-1}\ jr^{-1}$	$g\ ha^{-1}\ jr^{-1}$	$g\ ha^{-1}\ jr^{-1}$	$g\ ha^{-1}\ jr^{-1}$
<b>Kalkgrasland</b>	3.40	27.3	5.25	33.11	1.51
<b>Neutraal-zuur grasland</b>	3.89	33.1	5.26	40.95	1.39
<b>Zuur grasland</b>	3.18	22.6	5.03	32.38	1.44
<b>Cultuurgrasland</b>	5.04	42.7	5.73	50.29	1.43
<b>Cultuurgrasland met waardevolle elementen</b>	4.33	42.9	5.82	50.61	1.46
<b>Natte heide</b>	1.30	4.08	1.66	5.54	0.55
<b>Droge heide</b>	3.62	31.07	2.69	8.97	0.90
<b>Heischraal grasland</b>	1.05	1.26	2.18	7.28	0.73
<b>Bostype</b>					
<b>Beuk</b>	5.01	26.98	5.63	23.27	1.80
<b>Eik/Am. eik</b>	9.62	36.34	11.13	33.11	2.85
<b>Populier</b>	5.48	20.70	8.36	35.48	2.48
<b>Ander loofhout &amp; mengingen</b>	7.24	29.69	9.39	34.80	2.80
<b>Lork</b>	5.05	18.61	6.41	22.32	1.99
<b>Gewone den</b>	8.07	38.84	9.57	37.09	3.00
<b>Zwarte den</b>	7.74	28.75	9.32	31.11	2.66
<b>Fijnspar</b>	5.53	19.39	6.74	25.66	1.60
<b>Douglas</b>	4.91	34.25	7.05	42.31	1.83
<b>Ander naaldhout &amp; mengingen</b>	6.50	26.07	7.69	28.31	2.02



## 5 Kwantitatieve risicoanalyse op basis van concentraties en dosissen per ecosysteemcompartiment

### 5.1. Bodem

#### 5.1.1. Concentraties in crematieas versus natuurbodem

Om de mogelijke effecten op de bodem na te gaan is het belangrijk de grootteorde van de gemiddelde concentraties in crematieas te vergelijken met deze van een gemiddelde natuurbodem (Tabel 8). Door de hoge verbrandingstemperaturen waarbij alle organische stoffen verbranden en in de atmosfeer geëmitteerd worden, heeft crematieas een relatief laag stikstofgehalte, slechts een kwart van de concentratie in een gemiddelde natuurbodem. Het totaal fosforgehalte daarentegen is bijzonder hoog, ca. 400 maal de gemiddelde waarde in Vlaamse natuurbodems. Veel zal afhangen van de biobeschikbaarheid en uitloogbaarheid van de fosfaten uit de assen. Ook kalium- en calciumgehalten zijn resp. een factor 20 en 150 hoger dan wat we gemiddeld in (kalkarme) natuurbodems aantreffen. Het magnesiumgehalte is daarentegen slechts een factor 3 hoger. Dus een eutrofiërend effect zal vooral via inbreng van P en K worden teweeggebracht, en een bekalkend effect vooral door Ca. Het zeer hoge Ca-gehalte zorgt vooral voor de hoge pH van crematieas (vaak rond de 12). De meeste natuurbodems hebben een pH-H<sub>2</sub>O van 3.5-6 wat betekent dat crematieas zeer sterk ontzurend (bekalkend) zal werken.

Een verziltend effect wordt teweeggebracht door hogere natrium- en chloridegehalten. Chloriden worden doorgaans in de bodemoplossing en in het grondwater gemeten en niet zozeer op drogestofbasis. Om de opgeloste ionen ingebracht door de crematieas te meten is het best de elektrische geleidbaarheid (EC in µS/cm) te meten van de bodem (zie 5.1.3.).

Het zwavelgehalte in de crematieas vertoont in de literatuur uiteenlopende waarden en daarom is een meer nauwkeurige totale S-bepaling nodig van Vlaamse crematieas. Zwavel houdende verbindingen en vooral sulfaten zijn potentieel belangrijke verzurende stoffen indien ze niet afgebufferd worden door o.a. carbonaten. We vermoeden dat een aanzienlijk deel van de zwavel via de rookgassen het crematorium verlaat, maar dat er toch nog een deel in de asse overblijft.

**Tabel 8. Vergelijking tussen gemiddelde en min-max range inzake chemische samenstelling van crematieas versus semi-totale<sup>5</sup> bodemconcentraties (opperbodem) in Vlaamse natuurgebieden. NA duidt op ontbrekende waarde(n).**

Element	Eenheid	Crematieas*		Natuurbodem		As vs. bodem	
		Gem.	min-max	Gem.	min-max	Conc. factor	verhouding
N	%	0.074	0.049-0.099	0.286	0.049-0.772	~0.25	<
P	%	16.1	15.9-16.2	0.0394	0.0062-0.879	~400	>>>
K	%	3.69	NA	0.1822	0.0263-0.5191	~20	>>
Ca	%	25	NA	0.1671	0.0139-0.6908	~150	>>>

<sup>5</sup> Semi-totale concentraties worden bepaald met een sterk zuur (aqua-regia extractie) dat echter niet de silicaten in oplossing brengt. In een totaal-analyse worden ook de silicaten opgelost (o.a. met HF).

Mg	%	0.418	NA	0.122	0.0115-0.3905	~3	>
Na	%	1.12	NA	0.0213	0.0067-0.0490	~50	>>
S	%	1.86	0.04-3.67	0.0495	0.0080-0.1267	~40	>>
Cl	%	0.7	0.4-1.00	<0.0005		~1400	>>>>
Si	%	0.42	NA	28.8	0.52-47	~0.01	<<
Al	%	0.195	0.09-0.300	0.999	0.1408-2.516	~0.2	<
Fe	%	0.041	-	1.35	0.0964-3.653	~0.03	<<
Zn	ppm	194	46-342	39.6	6.03-103	~5	>
Cd	ppm	2.16	0.12-4.2	0.87	0.12-3.11	~2.5	>
Ti	ppm	156	-	5000	3000-10000	~0.03	<<
Ba	ppm	89	31-147	500	10-5000	~0.18	<
Sb	ppm	18	0.87-35	0.3	0.2-0.5	~60	>>
Cr	ppm	22	15-28	29.4	4.66-64.6	0.75	≈
Ni	ppm	90	10.9-170	12.5	<316	~7.2	>
Cu	ppm	398	17-780	11.3	2.02-29.8	~35	>>
Mn	ppm	296	13-580	480	10-2000	~0.61	≈
Pb	ppm	22	1.0-43	57.3	6.17-158.7	~0.38	<
As	ppm	0.78	0.72-0.84	0.5	0.3-3	~1.56	>
Sn	ppm	15.8	3.6-28	2.5	0.5-5	~6.3	>
Co	ppm	2.75	1.5-4.0	6	2-12	~0.5	<
Se	ppm	0.1	-	0.16	0.11-0.60	~0.62	≈
Mo	ppm	1.5	1.1-1.9	1.5	1.0-2.3	1	≈
V	ppm	7.8	2-13.6	68	28-111	~0.11	<
B	ppm	138	-	50	1-270	2.76	>
Be	ppm	<1	-	<1	0.1-5	1	≈
Hg	ppm	0.12	<0.1-0.25	0.03	0.02-0.2	~4	>
Li	ppm	9.8	-	22	11-40	~0.44	≈
Te	ppm	0.20	-	<0.1	<0.1	2	>
Ag	ppm	8.5	-	0.2	0.03-0.4	~42	>>
Au	ppm	0.2	0.15-48	0.002	0.001-0.005	~100	>>

(\*) gemiddelde op basis van data voor warme-start oven

(\*\*) data gecompileerd op basis van INBO databanken en literatuur (o.a. Ross et al. 1994, Kabata-Pendias et al. 2007 en Barber 1995)

Silicium, aluminium en ijzer zijn hoofdbestanddelen van het moedermateriaal waaruit bodems worden gevormd en hun concentraties in crematieas zijn beduidend lager dan in bodems, waardoor ze geen onmiddellijk probleem vormen. Dit geldt ook voor titanium en barium.

De zware metalen zink (Zn), cadmium (Cd), antimoon (Sb), nikkel (Ni), koper (Cu), arseen (As), tin (Sn), kwik (Hg) en tellurium (Te) zijn in min of meerdere mate in hogere concentraties aanwezig in crematieas dan in (niet verontreinigde) natuurbodems. Ze kunnen dus (eco)toxische effecten teweegbrengen en hun concentraties dienen afgetoetst te worden aan de vigerende normen. Ook de edele metalen zilver (Ag) en goud (Au) komen in hogere concentraties voor, maar zullen gezien hun waarde zoveel als technisch of financieel haalbaar uit de crematieas worden gehaald.

De metalen Cr, Mn, Pb, Co, Se, Mo, Be en Li komen gemiddeld in vergelijkbare of lagere concentraties voor in natuurbodems. Ook barium (Ba) en vanadium (V), die zelden worden geanalyseerd, komen wellicht in lagere concentraties voor in crematieas dan in de bodem.

De concentratie van het element boor (B) is in crematieas dan weer hoger dan de bodem, maar ligt wel binnen een normale range.

Conclusie van deze vergelijking is dat vooral de milieueffecten van verhoogde concentraties aan P, Ca, K en S op vegetatie en fauna en de mogelijke toxicologische effecten van enerzijds natriumzouten, chlorides en sulfaten en anderzijds de micro-elementen/zware metalen: Zn, Cd, Sb, Ni, Cu, As, Sn, Hg en Te beschouwd moeten worden.

Slechts een deel van de zware metalen zijn genormeerd voor bodems en strooisellagen. Van de andere metalen zijn de ecotoxicologische effecten op het milieu weinig of niet bekend.

### 5.1.2. Nutriënten

Wanneer we de Vlaamse MAP5-normen ontwikkeld voor landbouwgebied hanteren voor maximale fosfor toediening van 40-60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha en per jaar in bos- en natuurgebieden zouden theoretisch **30-45 verstrooiingen per ha en per jaar** mogen gebeuren, volgens de berekeningswijze van Molenaar et al. (2009).

Deze 30-45 verstrooiingen per jaar betekenen aan 3 kg crematieas per verstrooiing en een totaal P-gehalte van 16.1% (Tabel 8) een gift van 483 g fosfor per verstrooiingseenheid (VE), of 14.5-21.7 kg totaal P per jaar en per ha. Uit een studie van de chemische samenstelling in bladval van diverse boomsoorten (De Vos et al., 2006) werd een P-gehalte gemeten in de bladval tussen de 372 - 1626 µg.g<sup>-1</sup> en een jaarlijks bladvalgewicht van ca. 2.28 ton droge stof per ha. De natuurlijke jaarlijkse P-bemesting via bladval is dus 0.848 - 3.7 kg P per ha en per jaar, ongeveer 6-17 keer minder dan de ingebrachte hoeveelheid via crematieas. De fosfor in bladmateriaal is zeker meer en sneller plantbeschikbaar (recycleerbaar) dan deze in crematieas.

Daarenboven kan bij verstrooiing in bossen de as uiteraard niet overal worden verspreid (wegens bomen, stronken, struiken, grachten, paden, edm) en dus zich vooral op 'geschikte locaties' zal concentreren. In extremis is dit ook het geval bij het ingraven van een urne, waar de volledige verstrooiing zich op één locatie bevindt.

Wat betreft het bekalkingseffect vertegenwoordigt 30-45 verstrooiingen per ha een dosis van 22.5-33.75 kg Ca per ha, of omgerekend naar CaCO<sub>3</sub>: 56.2-84.3 kg per ha. Dit is een marginale bekalking als men weet dat in bossen 3 ton CaCO<sub>3</sub> per ha (=1602 VE) een 'standaard bekalkingsdosis' is en 1 ton CaCO<sub>3</sub> per ha (=534 VE) gebruikt wordt als periodische onderhoudsbekalking om bodemverzuring tegen te gaan. Via de bladval komt

15.8-65.3 kg Ca per ha en per jaar door natuurlijke bemesting op de bosbodem terecht, wat vergelijkbaar is met de toegevoegde hoeveelheid via as-verstrooiing.

Als we als norm de gemiddelde jaarlijkse natuurlijke aanrijking van een bosbodem via de bladval nemen, dan stemmen op basis van de crematieas concentraties volgende aantallen verstrooiingseenheden (VE, 3 kg pp, per ha  $\text{jr}^{-1}$ ) daarmee overeen:

Stikstof: 8730-23313

Fosfor: **1.8-7.7**

Kalium: 40-318

Calcium: **21-87**

Magnesium: 127 – 655

Zwavel: 70 – 271

Het is duidelijk dat P naar eutrofiëring het meest beperkende element is met maar 2 tot 8 verstrooiingen per ha, gevolgd door Ca. Het effect van N is zoals verwacht verwaarloosbaar.

Het crematorium Westlede in Lochristi heeft een interessante tijdsreeks van bodemanalyses (1996-2012) van haar strooiweiden. De oudste strooiweiden zijn in gebruik sinds 1989 en één ervan ontvangt jaarlijks meer dan 1000 VE. Deze situatie kan beschouwd worden als een 'worst-case' referentie voor graslandbodems.

Reeds in 1996 was de pH-H<sub>2</sub>O van de strooiweiden zeer hoog (pH-H<sub>2</sub>O = 8.1-8.2, pH-KCl ~7.6), vermoedelijk grotendeels te wijten aan de samenstelling van de opgehoogde grond (voormalig baggerterrein) en mogelijk ook door depositie uit de rookgassen in de periode 1989-1996. Immers, ook in de percelen naast de strooiweiden is de pH > 7. De pH-KCl steeg in de monitoringsperiode grofweg van 7.6 tot ~8.6.

Het totale N-gehalte in de strooiweiden bleef over de gehele monitoringsperiode (1996-2012) laag tot zeer laag, zelfs met bijbemesting om de strooiweide goed groen te houden.

Het P-gehalte in de bovengrond (0-25 cm) werd daarentegen steeds als hoog tot extreem hoog beoordeeld, een factor 25 tot 109 keer de benodigde hoeveelheid voor grasland op dit bodemtype, terwijl het N-gehalte een factor 5 te laag was.

In 2001 werd de P-concentratie (gemeten in ammoniumacetaat) van de bovenste 25 cm vergeleken met deze op een diepte van 25-50 cm. De extraheerbare P in de bovenlaag was 5.6 maal hoger dan in de diepere bodemlaag op één strooiweide en 14.5 keer hoger op een andere. Dit toont duidelijk het aanrijkingseffect van P aan de oppervlakte door verstrooiing van de crematieas.

Opmerkelijk is de hoge variatie in het P-gehalte in de opperbodem (0-25 cm) over de jaren heen, en dat er geen duidelijke trend waar te nemen valt. Dit kan te wijten zijn aan een grote spatiale variabiliteit van P over het strooiveld (lokale hotspots, preferentiële plaatsen van astoediening). Om een goed idee te hebben van de evolutie wordt best steeds op dezelfde plaatsen bemonsterd en dienen er wellicht ook meer stalen genomen te worden (nu ca. 5 stalen) om een 'stabiel' gemiddelde te bekomen.

Het kaliumgehalte in de bodem werd beoordeeld als voldoende tot optimaal, hoge waarden waren tot 2.5 keer de optimumwaarde.

Het calciumgehalte werd beoordeeld als 'te hoog'. De gemiddelde concentratie was 24 keer het benodigde Ca-gehalte en de waargenomen maximale waarden tot 42 keer het benodigde gehalte. Magnesium werd dan weer in een normale range aangetroffen. Ook het Fe-gehalte in de bodem werd als normaal aanzien.

Voor sulfaten zijn de normale streefwaarden  $< 100 \text{ mg kg}^{-1}$  droge bodem. Op de strooiweiden was het sulfaatgehalte steeds lager dan deze bovengrens.

Samenvattend geven de bodemconcentraties aan nutriënten in deze strooivelden aan dat overmatig crematieas uitstrooien vooral een sterke input geeft aan P en Ca, dat de bodemconcentraties aan K, Mg en Fe op peil blijven en er maar een beperkte hoeveelheid N aangeleverd wordt.

### 5.1.3. Zouten

Zowel chloride, kalium en natrium zijn vrij mobiel in de bodem en dus uitspoelingsgevoelig. Bij overmatige toediening van deze elementen kan er een aanrijking van het oppervlakte- en grondwater optreden. De grens voor de basiskwaliteit van het oppervlaktewater en voor oppervlaktewater bestemd voor drinkwaterproductie is  $1000 \mu\text{S/cm}$  (Immissiebesluit van de Vlaamse Executieve van 21/10/1987, gewijzigd bij Besluit van de Vlaamse Regering van 01/06/1995 en 19/01/2001).

Om specifieke natuurdoeltypes te beschermen ligt in Nederland de maximale chloridegift op 30 tot  $360 \text{ kg Cl}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  (van Well et al., 2002). Per verstrooiingseenheid wordt ongeveer 21 g Cl toegediend aan de bodem, waardoor theoretisch 1428 – 17142 VE per ha mogen gebeuren vooraleer chloriden ernstige schade aan deze natuurdoeltypes of het grondwater zouden kunnen aanrichten.

De elektrische conductiviteit is een goede indicator voor de hoeveelheid aan opgeloste ionen/zouten in de bodemoplossing. Meestal wordt die gemeten in een 1:5 v/v waterig extract ( $\text{EC}_{1:5}$ ) en uitgedrukt in  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

Op de strooiweiden in Lochristi werd de  $\text{EC}_{1:5}$  gemeten en deze varieerde over de jaren heen tussen de  $42\text{-}160 \mu\text{S cm}^{-1}$ . In het nabijgelegen bos dat als lokale referentie kan dienen is de  $\text{EC}_{1:5}$  range  $60\text{-}85 \mu\text{S cm}^{-1}$  en is de minimum EC dus iets verhoogd ten opzichte van de strooiweiden. In de topsoil (0-25 cm) van de strooiweide is de EC ongeveer 1,5 maal hoger dan in de diepere bodemlaag, dus een lichte zoutaanrijking is waarneembaar. In Vlaamse bosbodems varieert de EC tussen  $20\text{-}230 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

Zolang de  $\text{EC} < 400 \mu\text{S cm}^{-1}$  worden er geen effecten van zouten op de vegetatie verwacht.

Uitgedrukt op drogestofbasis zijn bodemstreefwaarden voor Na  $< 50 \text{ mg kg}^{-1}$  en Cl  $< 100 \text{ mg kg}^{-1}$ . Op de intensieve strooiweiden worden steeds lagere Cl-gehaltenes gemeten, maar wel systematisch hogere Na-gehaltenes, die gemiddeld 4 tot 6 maal de streefwaarde zijn. Het hogere Na-gehalte vinden we niet terug in het bosgebied en is dus wel degelijk gelinkt aan het gebruik van crematieas. Mogelijke effecten van deze verhoogde Na-gehaltenes op het bodemleven en op de bodemstructuur dienen nagegaan te worden.

### 5.1.4. Zware metalen

Wanneer we de VLAREMA normen hanteren voor toepassing van crematieas als bodemverbeterend middel (ongeacht het bestemmingstype van de ontvangende bodem) dan zijn volgende maximale verstrooiingseenheden per ha en per jaar toegelaten (Tabel 9).

Merk op dat nikkel het meest beperkende element is met max. 370 VE per jaar, gevolgd door koper en cadmium. Deze berekening, net als alle vorige, staat of valt met de juistheid van de aangenomen concentraties in crematieas. Opmerkelijk is dat dit cijfer van 370 verstrooiingen per hectare per jaar overeenkomt met het maximum aantal verstrooiingen per strooiveld, zonder extra maatregelen, dat door het Nederlandse Ministerie van VROM werd toegestaan op basis van andere overwegingen (Molenaar et al. 2009).

**Tabel 9. Berekende maximaal toegelaten verstrooiingseenheden (VE) per ha en per jaar op basis van VLAREMA dosering voor vliegias en bodemas (cf. paragraaf 4.4)**

Parameters	VLAREMA Dosering	Concentratie in crematieas	Dosis per VE	aantal verstrooiingen
	g ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg	VE ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup>
Arseen (As)	300	0.78	2.34	128205
Cadmium (Cd)	12	2.16	6.48	1852
Chroom (Cr)	500	22	66	7576
Koper (Cu)	750	398	1194	628
Kwik (Hg)	10	0.12	0.36	27778
Lood (Pb)	600	22	66	9091
Nikkel (Ni)	100	90	270	<b>370</b>
Zink (Zn)	1800	194	582	3093

Wanneer we voor bos- en natuurgebieden (bestemmingstype I) en parkgebieden (type IV) VLAREBO hanteren geldt de berekening opgenomen in Tabellen 10 & 11. De VLAREBO richt- en streefwaarden en bodemsaneringsnormen zijn berekend met de gemiddelde pH en organisch gehalte in de opperbodem van Vlaamse bossen en met een variant voor zandbodems (textuur Z, Tabel 10) en leembodems (textuur A, Tabel 11) (data uit ForSite databank).

**Tabel 10. Simulatie voor maximale dosissen verstrooiingsas over 20 jaar op zandige bosbodems met gemiddeld kleigehalte=3.6%, OM=4.35% en pH-KCl= 3.69 vooraleer de bodemsaneringsnormen bereikt worden in de 0-10 cm bodemlaag voor bestemmingstypes bos/natuur (BSNI) en parkgebied (BSNIV)**

MET	SW	RW	BSNI	BSNIV	BSNI-RW	BSNIV-RW	dosis/VE	BSNI-RW	BSNIV-RW	Bos/Natuur	Park
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	mg	VE ha <sup>-1</sup>	VE ha <sup>-1</sup>	VE ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>	VE ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>
<b>As</b>	10.2	24.8	41.1	267	22.5	334.2	2.34	9612821	142835897	480641	7141795
<b>Cd</b>	0.7	0.8	1.4	9.5	0.8	12.0	6.48	127778	1852778	<b>6389</b>	92639
<b>CrIII</b>	28.8	91	130	560	53.8	647.2	66	815455	9806364	40773	490318
<b>Cu</b>	17.3	62.6	103.5	500	56.4	603.6	1194	47271	505538	<b>2364</b>	25277
<b>Hg</b>	0.1	1.7	2.9	4.8	1.7	4.3	0.36	4600000	11883333	230000	594167
<b>Pb</b>	40.9	120	200	735	110.4	848.7	66	1672727	12859091	83636	642955
<b>Ni</b>	7.8	56	93	530	51.1	654.1	270	189111	2422667	<b>9456</b>	121133
<b>Zn</b>	55.5	161	268.1	1000	147.8	1157.8	582	253948	1989381	12697	99469

**Tabel 11. Simulatie voor maximale dosissen verstrooiingsas over 20 jaar op lemige bosbodems met gemiddeld kleigehalte=19.1%, OM=13.7% en pH-KCl= 3.80 vooraleer de bodemsaneringsnormen bereikt worden in de 0-10 cm bodemlaag voor bestemmingstypes bos/natuur (BSNI) en parkgebied (BSNIV)**

MET	SW	RW	BSNI	BSNIV	BSNI-RW	BSNIV-RW	dosiss/VE	BSNI-RW	BSNIV-RW	Bos/Natuur	Park
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	mg	VE ha <sup>-1</sup>	VE ha <sup>-1</sup>	VE ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>	VE ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>
As	21.3	41.5	68.7	267	30.7	254.8	2.34	13135043	108895299	656752	5444765
Cd	0.7	0.8	1.4	9.5	0.7	9.8	6.48	104630	1517130	<b>5231</b>	75856
CrIII	66.1	91	130	560	44.1	530.0	66	667727	8029848	33386	401492
Cu	31.3	143.7	248.7	500	118.7	402.6	1194	99372	337202	<b>4969</b>	16860
Hg	0.1	1.7	2.9	4.8	1.4	3.5	0.36	3766667	9730556	188333	486528
Pb	74.5	120	200	735	90.4	695.0	66	1369697	10529545	68485	526477
Ni	25.2	56	93	530	41.8	535.6	270	154852	1983778	<b>7743</b>	99189
Zn	109.6	582.6	970.1	1000	437.9	471.7	582	752363	810416	37618	40521

Uit tabellen 10 en 11 blijkt dat op basis van VLAREBO de bodemsaneringsnormen voor zware metalen theoretisch niet zullen overschreden worden op natuurbegraafplaatsen zelfs wanneer uitzonderlijke aantallen verstrooiingen gebeuren, tenzij de bodems voorafgaand al verontreinigd waren met zware metalen (uitgangstoestand hier was concentratie bij richtwaarde-RW). Cu, Cd en Ni zijn op theoretische basis de meest kritische metalen, maar dan nog kunnen duizenden verstrooiingen plaatsvinden over 20 jaar vooraleer de saneringsnorm voor bos/natuurgebied wordt overschreden.

Hierbij moet worden opgemerkt dat in deze theoretische simulatie een egale spreiding van de crematieas over het volledige gebied is aangenomen, wat niet realistisch is. In de praktijk zal in bos/parkgebieden slechts een kwart van de oppervlakte effectief bestrooid (kunnen) worden waardoor maar een vierde van het aantal verstrooiingseenheden kan toegestaan worden per ha bos of park. Maar dan nog spreken we over meer dan 1000 VE per jaar, beduidend meer dan de 370 VE volgens de VLAREMA benadering.

De VLAREBO simulatie geeft bovendien aan dat het theoretisch maximaal aantal VE niet noodzakelijk minder of meer is op zandbodems dan op leembodems. Dit hangt immers niet alleen af van het kleigehalte, maar ook van de pH en het gehalte aan organisch materiaal.

Molenaar et al. (2009) vermelden dat in Nederland op twee traditionele strooivelden waar bijna 2500 verstrooiingen per hectare per jaar plaatsvonden in mengmonsters van de bovenste 2 dm van de bodem een licht verhoogd gehalte aan zink werd gemeten, en in een gedeelte van deze velden sterk verhoogde gehalten aan koper en zink en licht verhoogde gehalten aan chroom, lood en nikkel.

Gegevens van drie strooiweiden waar samen al meer dan 5000 uitstrooiingen werden verricht over 25 jaar doen besluiten dat er geen tot een lichte aanrijking is van de metalen arseen (As), cadmium (Cd) en chroom (Cr) overeenkomstig Vlaamse referentiewaarden (Tabel 12). Ten opzichte van het bosgebied is Cr in de strooiweiden gemiddeld wel met een factor 1.48-3.30 verhoogd.

**Tabel 12. Evaluatietabel voor bodemconcentraties aan zware metalen van strooiweiden en nabijgelegen bosgebied. De gemiddelde, 90<sup>e</sup> percentiel en maximale waarden werden geëvalueerd op basis van VLAREBO en ingedeeld in klassen (kleurcodes). VTR is verhouding van gemiddelde concentraties in strooiweiden A en B t.o.v. de lokale referentie (bosgebied).**

Legende:   achtergrond   aangerijkt   verhoogd   kritisch bos/natuur   kritisch park

	meest intensief			matig gebruikt			minst gebruikt			referentie			VTR.A	VTR.B
	Strooiweide A			Strooiweide B			Strooiweide C			Bosgebied				
	gem	P90	Max	gem	P90	max	gem	P90	max	gem	P90	max		
As													1.06	0.66
Cd													1.00	1.00
Cr													1.48	3.30
Cu													11.87	15.15
Hg													NA	NA
Pb													1.28	1.45
Ni													1.59	1.83
Zn													11.56	19.64

De gemiddelde loodconcentraties in de strooiweiden vertonen normale waarden, maar de maximale concentraties duiden op aangerijkte tot verhoogde concentraties, die echter nooit de kritische grens overschrijden. Ook voor Ni zijn vooral op strooiweiden A en B, maar niet voor de extensief gebruikte strooiweide C, de concentraties licht aangerijkt (factor 1.6 tot 1.8 t.o.v. bos). De sterkste aanrijking en overschrijding van kritische niveaus wordt waargenomen bij Cu en vooral Zn. Ten opzichte van het bosgebied met normale achtergrondwaarden, wordt respectievelijk tussen 11-15 en 12-20 maal meer koper en zink vastgesteld in strooiweiden A en B. Voor Zn en Cu komt dit perfect overeen met de Nederlandse bevindingen op strooivelden, deels ook voor Pb en Ni, maar niet voor Cr.

We kunnen concluderen dat in deze worst-case situatie op zandgronden vooral de metalen Zn en Cu kritische niveaus bereiken maar dat de ecotoxicologisch gevaarlijkste zware metalen Hg, Cd, As en Cr - zelfs bij hoge belasting aan crematieas - aanvaardbare bodemconcentraties vertonen.

## 5.2. Grondwater

Er zijn momenteel bijzonder weinig grondwateranalyses beschikbaar om na te gaan of uitloging mogelijk is van stoffen uit aangebrachte crematieas. Strooiweiden van crematoria die reeds lange tijd in gebruik zijn en hoge dosissen aan crematieas (> 1000 VE per jaar) hebben ontvangen zijn ideale monitoringslocaties en kunnen gelden als 'worst-case' referentie voor natuurbegraafplaatsen.

De enige beschikbare data relevant voor dit advies zijn afkomstig van een grondwaterstaal uit een boorput op 40 m diepte in de nabijheid van een strooiweide. De VLAREM II milieukwaliteitsnormen voor grondwater zijn naast de analyses vermeld.



**Tabel 13. Grondwateranalyse in de nabijheid van een strooiweide (boorput, 40 m diep) – '< DL' betekent beneden detectielimiet.**

Parameter	Eenheid	Grondwaterstaal	Grondwater-kwaliteitsnorm Vlare II	Beoordeling
Zuurtegraad	pH	7.3	$5 \leq \text{pH} \leq 8,5$	OK
Geleidbaarheid	$\mu\text{S cm}^{-1}$	590	1600	OK
Natrium	$\text{mg l}^{-1}$	17.0	150	OK
Chloride	$\text{mg l}^{-1}$	25.5	250	OK
Sulfaat	$\text{mg l}^{-1}$	24.3	250	OK
Nitraten	$\text{mg l}^{-1}$	< DL	50	OK
Nitrieten	$\text{mg l}^{-1}$	< DL	0.1	OK
Bicarbonaat	$\text{mg l}^{-1}$	299		Geen norm
Fosfaten	$\text{mg l}^{-1}$	< DL	1.34	OK
Fluoride	$\text{mg l}^{-1}$	< DL	1.5	OK
Ammonium	$\text{mg l}^{-1}$	< DL	0.5	OK
Kalium	$\text{mg l}^{-1}$	6.0	12	OK
Calcium	$\text{mg l}^{-1}$	101	270	OK
Magnesium	$\text{mg l}^{-1}$	7.0	50	OK
IJzer	$\text{mg l}^{-1}$	2.5	20	OK
Mangaan	$\text{mg l}^{-1}$	0.1	1	OK
Zink	$\text{mg l}^{-1}$	<0.1	500	OK

Uit deze analyse blijkt het (diepe) grondwater voor alle onderzochte parameters te voldoen aan de grondwaterkwaliteitsnormen. Dit bevestigt de vaststelling in Nederlands onderzoek uit 1986 naar de kwaliteit van oppervlakte-, drainerings- en grondwater nabij vijf begraafplaatsen (Molenaar et al. 2009). Er werd toen geconcludeerd dat op en rondom begraafplaatsen de gehalten aan zware metalen, elementen, anionen en specifieke afbraakproducten niet verschillen van die van 'normaal' grond- en oppervlaktewater. De gehalten lagen ruim onder de daarvoor geldende interventiewaarden en ook milieuhygiënische streefwaarden werden meestal niet overschreden.

Op twee traditionele strooivelden in Nederland waar bijna 2500 verstrooiingen per hectare en per jaar plaatsvonden vertoonden de analyseresultaten van het grondwater alleen voor zink een lichte verontreiniging. De gehalten aan overige onderzochte metalen waren lager dan de betreffende detectiegrenzen (Molenaar et al. 2009). Deze gegevens kwamen van strooivelden in de duinen met een goed doorlatende humusarme grond en een diepe grondwaterstand waar een snelle uitspoeling en afvoer van het infiltratiewater kon optreden.

Dit doet vermoeden dat beïnvloeding van het grondwater in natuurbegraafplaatsen minimaal zal zijn, zeker wanneer beperkte aantallen ( $VE < 500 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ) worden aangebracht en de bodems organischer en/of kleirijker zijn.

### 5.3. Strooisellaag

Overeenkomstig de methodiek besproken in paragraaf 4.2 kan voor een gemiddeld bos de toegelaten verstrooiingseenheden (VE) per ha berekend worden op basis van 6 zware metalen (Tabel 14). Noteer dat deze methode de zware metalen As en Hg niet in ogenschouw neemt, maar wel de metalen Zn, Cu en Ni die uit vorige analyses de meest kritische bleken.

Wat betreft het strooisel zijn Cu, Ni en Cd de meest kritische metalen voor het aantal verstrooiingen. Bekijken we dit over een 'vergunning- of gebruiksperiode' van 20 jaar dan kunnen op basis van een kopergehalte van  $398 \text{ mg kg}^{-1}$  in crematieas (zie tabel 8) er **slechts 30 verstrooiingen per jaar en per ha** gebeuren, teneinde de strooisellaag niet te contamineren. Op basis van de bodemnormen voor zandgronden (en met dezelfde concentratie in de as) waren dat er 2364 (Tabel 10) wat aangeeft dat de strooiselnorm veel gevoeliger is dan de bodemnormen voor bestemmingstype I. De norm in strooisellagen houdt rekening met de gevoeligheid van bodemorganismen en biochemische processen, terwijl de VLAREBO normen overwegend gebaseerd zijn op humaan-toxicologische effectstudies.

Een belangrijk gegeven is dat zware metalen in bossen voornamelijk vastgelegd worden in de humuslaag (H-laag in strooisellaag) en Ah horizont van minerale bodem. Sommige metalen zoals Cu en Pb vormen zeer sterke complexen met organisch materiaal, terwijl Cd en Zn mobieler zijn en meer biobeschikbaar. Bovendien kunnen deze metalen naar diepere horizonten migreren en wanneer ze niet vastgelegd worden in diepere organische horizonten, kleilagen, of sesquioxiden kunnen ze uitloggen naar het grondwater.

**Tabel 14. Maximaal jaarlijkse toelaatbare dosis crematieas voor een toedieningsperiode van 20 jaar in een bos- of parkgebied.**

	Eenheid	Cu	Cr	Pb	Ni	Zn	Cd
<b>Maximaal toelaatbare stock</b>	$\text{mg m}^{-2}$	180	440	870	330	1340	12
<b>Reeds aanwezige stock</b>	$\text{mg m}^{-2}$	102	100	423	92	434	3.2
<b>Max. toelaatbare dosis</b>	$\text{mg m}^{-2}$	72	340	447	238	906	8.8
<b>Dosis per VE</b>	mg	1194	66	66	270	582	6.48
<b>Max. aantal VE per ha</b>	$\text{VE ha}^{-1}$	603	51515	67727	8814	15567	13580
<b>Max. aantal VE per ha en jaar over 20 jaar periode</b>	$\text{VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$	<b>30</b>	2576	3386	441	778	679

### 5.4. Vegetatietype

Voor veel kwetsbare vegetatietypes in Vlaanderen zijn de N- en P-bodemgehalten vaak te hoog, te wijten aan overbemesting. Terwijl N-gehalten via hooien of door uitspoeling na verloop van tijd afnemen, wordt P als calciumfosfaat of in organische verbindingen goed vastgehouden in de bodem. Het P-gehalte is dus vaak limiterend voor de vestiging en duurzame instandhouding van Europees beschermde vegetatietypes. Een verkennende studie door Raman et al. (2015) geeft volgende grenswaarden voor totaal P voor specifieke Natura 2000 habitattypes (Tabel 15). De theoretische berekening van de maximale VE is

opgenomen in deze tabel; deze vertrekt uiteraard van de afwezigheid van supplementaire bronnen.

**Tabel 15. Grenswaarden voor totaal P in de bodem voor Europese habitattypes (literatuur review door Raman et al., 2015). Meest beperkende VE is aangeven in vet.**

Habitat type	Omschrijving	Grenswaarden totaal P mg kg <sup>-1</sup>	Uitgangsgelalte* mg kg <sup>-1</sup>	Max. aantal VE vooraleer P overschrijding grenswaarde
2130	Vastgelegde duinen met kruidvegetatie ('grijze duinen')	< 150	75	<b>155</b>
4010	Noord-Atlantische vochtige heide met <i>Erica tetralix</i>	47 - 260	154	319
4030	Droge Europese heide	38 - 160	99	<b>205</b>
5130	<i>Juniperus communis</i> -formaties in heide of kalkgrasland	< 473	237	491
6120	Kalkminnend grasland op dorre zandbodem	92 - 370	231	478
6230	Soortenrijke heischrale graslanden op arme bodems	34 - 190	112	<b>232</b>
6410	Grasland met <i>Molinia</i> op kalkhoudende, venige of lemige kleibodem ( <i>Molinion caeruleae</i> )	100 - 830	465	963
6410_mo	Basenrijke <i>Molinion</i> -graslanden	100 - 280	190	393
6410_ve	Basenarme <i>Molinion</i> -graslanden, inclusief het veldrustype	160 - 570	365	756
6510	Laaggelegen schraal hooiland ( <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i> )	270 - 550	410	849
6510_hu	Glanshaver-verbond ( <i>Arrhenaterion</i> )	270 - 760	515	1066
6510_hua	Ass. van weidekerveltorkruid (verbond van grote vossenstaart ( <i>Alopecurion</i> ))	520 - 830	675	1398
6510_hus	Grote pimpernelgraslanden	300 - 670	485	1004
7140_base	Basenrijk trilveen met ronde zegge (vooral in relatie met alkalische laagveenvegetaties)	320 - 860	590	1222
7140_meso	Oligo- tot mesotroof, basenarm tot matig basenrijk, zuur tot circum-neutraallaagveen	190 - 1300	745	1542
7140_oli	Voedselarm en zuur, overgangsvveen met slijkzegge en veenbloembies (in relatie met hoogveenvegetaties en natte heide)	14 - 590	302	625

\* uitgangsgelalte aan totaal P is hier de helft van grenswaardenbereik

Wanneer aangenomen wordt dat de uitgangssituatie per habitattype een totaal P-gehalte heeft van de helft van het grenswaardenbereik, dan kan theoretisch berekend worden wat het maximale aantal VE is dat zou verstrooid mogen worden vooraleer de maximale

grenswaarde wordt overschreden, waarbij dus het habitatype niet meer duurzaam in stand kan gehouden worden op basis van het bodem P-gehalte.

De berekening van het aantal VE per ha is uitgevoerd voor de 0-10 cm bodemlaag met een gemiddelde bulkdensiteit van  $1 \text{ g cm}^{-3}$  en per VE een totaal P dosis van  $483 \text{ g P}$  uitgespreid over een oppervlakte van  $10 \text{ m}^2$  (Molenaar et al., 2009 en zie ook 5.1.2.), of  $48.3 \text{ g m}^{-2}$ .

In dat geval zal per  $10 \text{ m}^2$  één VE (of  $1000 \text{ VE ha}^{-1}$ ) een aanrijking geven van  $483 \text{ mg/kg}$  in de  $10 \text{ cm}$  toplaag.

Als in het geval van grijze duinen, habitatype=2130 de actuele P-concentratie  $75 \text{ mg kg}^{-1}$  is dan mag die maximaal  $75 \text{ mg kg}^{-1}$  verhogen vooraleer de grenswaarde van  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  wordt overschreden. Per ha is dat dan maximaal  $(1000/483)*75 = 155 \text{ VE}$  (Tabel 15). Is het actuele P-gehalte op die locatie reeds groter dan  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  dan mag uiteraard geen enkele VE meer uitgestrooid worden. Uit onderzoek van Provoost et al. (2011) blijkt dat na tien jaar verschrallingsbeheer in de Oosthoekduinen in De Panne nog steeds totale fosforgehaltes van  $500\text{-}850 \text{ mg.kg}^{-1}$  gemeten worden in grijze duinen. Verstrooiing van crematieas in dergelijke gebieden moet totaal vermeden worden.

Tabel 15 lijst de theoretisch berekende maximale VE op vertrekkende van het aangenomen uitgangshehalte. Merk op dat de meest kritische habitatypes de duinen, droge heide en heischrale graslanden zijn. Er moet opgemerkt worden dat de habitats die kalkarme en zure bodems verkiezen niet zozeer door P, dan wel door het Ca-gehalte en pH van de crematieas zullen bedreigd worden, waardoor het maximaal aantal VE nog sterker verlaagd moet worden. Dit moet dus per habitat apart geëvalueerd worden rekening houdend met de actuele toestand van elk gebied (passende beoordeling).

In Vlaanderen werden kritische lasten gedefinieerd voor de verzurende of eutrofiërende effecten van stikstof- en zwaveldepositie op gras-, heide- en boscosystemen. Gobin et al. (2005) definiëerde kritische lasten voor Cd, Pb en Hg (zie tabel 7) voor een aantal types graslanden, heides en bossen. Op basis van de kritische lasten berekenen we de maximaal toegelaten verstrooiingseenheden per vegetatietype, zonder differentiatie naar bodemtype. Bodemdata werden wel bij de berekening van de kritische lasten betrokken (zie Gobin et al. (2005)).

In tabellen 16 en 17 staan de berekende maximaal toegelaten verstrooiingseenheden (VE) per ha en per jaar zodat de kritische last voor deze metalen niet wordt overschreden en waarbij ecotoxicologische en gezondheidseffecten vermeden kunnen worden.

Ook hier is de berekening uitgevoerd vertrekkende van het feit dat één VE uitgestrooid wordt op  $10 \text{ m}^2$  of  $1000 \text{ VE}$  op een ha. Dit geeft bijvoorbeeld voor cadmium een aanrijking van  $6480 \text{ mg ha}^{-1}$ . De kritische last bedraagt  $3.4 \text{ g ha jr}^{-1}$ . Als we ervan uitgaan dat er in de uitgangssituatie geen Cd aanwezig is, bedraagt het maximum VE per ha en per jaar:  $(1000/6480)*3400=525$ .

Om de kritische last voor ecotoxicologische effecten niet te overschrijden mogen voor Cd in het meest kwetstbare type (heischraal grasland) maximaal  $162 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  gebeuren en maximaal  $778 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  in het minst gevoelige type (cultuurgrasland). Voor Pb is dit respectievelijk slechts  $19 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  in heischraal grasland en  $650 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  in cultuurgrasland.

**Tabel 16. Berekende maximaal toegelaten verstrooiingseenheden (VE) per ha en per jaar op basis van de kritische last voor Cd, Pb en Hg voor enkele grasland- en heidetypes (Tabel 7). De meest beperkende VE per natuurtype staan in vet.**

Natuurtype	Ecotox effecten		Gezondheidseffecten		
	Cd	Pb	Cd	Pb	Hg
Kalkgrasland	525	<b>414</b>	810	502	4194
Neutraal-zuur grasland	600	<b>502</b>	812	620	3861
Zuur grasland	491	<b>342</b>	776	491	4000
Cultuurgrasland	778	<b>647</b>	884	762	3942
Cultuurgrasland met waardevolle elementen	668	<b>650</b>	898	767	4056
Natte heide	201	<b>62</b>	256	84	1528
Droge heide	559	471	415	<b>136</b>	2500
Heischraal grasland	162	<b>19</b>	336	110	2028

Om de kritische last voor gezondheidseffecten niet te overschrijden is dit voor Cd in het meest kwetsbare type (natte heide) maximaal  $256 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  en maximaal  $898 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  in het minst gevoelige type (cultuurgrasland). Voor Pb is dit respectievelijk  $84 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  in natte heide en  $767 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  in cultuurgrasland met waardevolle elementen. Voor Hg is het maximale aantal VE beduidend hoger dan voor Cd en Pb die meer kritisch zijn. In het meest kwetsbare vegetatietype voor Hg (natte heide) zouden theoretisch nog steeds maximaal  $1528 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  mogen ingebracht worden vooraleer de kritische last wordt overschreden.

Op basis van deze waarden voor kritische lasten (Gobin et al. 2005) zijn dus natte heide en heischrale graslanden het meest gevoelig voor input van deze drie zware metalen uit crematieas. Lood is van de drie metalen de sterkst beperkende factor.

Voor bossen (Tabel 17) mogen theoretisch jaarlijks maximaal 773 verstrooiingen in beukenbossen gebeuren vooraleer de kritische last voor ecotoxicologische effecten door Cd op bodemmicro-organismen, planten en invertebraten in de volledig bewortelde bodemlaag zich manifesteren. Douglas, beuk en lork zijn het meest gevoelig, eikenbossen het minst. Voor gezondheidseffecten (bij inname van drinkwater) liggen de VE voor het element Cd systematisch hoger dan voor ecotoxicologische effecten.

Kritische lasten voor Pb zijn ook voor bossen meer beperkend dan voor de zware metalen Cd en Hg. Om ecotoxicologische effecten van Cd, Hg en Pb te mijden mogen maximaal tussen de  $282 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  (lorkenbestanden) en  $588 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  (gewone den) gebeuren en tussen de  $338 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  (lork) en  $641 \text{ VE ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  (douglas) om gezondheidseffecten te vermijden.

**Tabel 17. Berekende maximaal toegelaten verstrooiingseenheden (VE) per ha en per jaar op basis van de kritische last voor Cd, Pb en Hg voor bostypes volgens hoofdboomsoort (Tabel 7). De meest beperkende VE per bostype staan in vet.**

Bostype	Ecotox effecten		Gezondheidseffecten		
	Cd	Pb	Cd	Pb	Hg
Beuk	773	409	869	<b>353</b>	5000
Eik/Am. eik	1485	551	1718	<b>502</b>	7917
Populier	846	<b>314</b>	1290	538	6889
Ander loofhout & mengingen	1117	<b>450</b>	1449	527	7778
Lork	779	<b>282</b>	989	338	5528
Gewone den	1245	588	1477	<b>562</b>	8333
Zwarte den	1194	<b>436</b>	1438	471	7389
Fijnspar	853	<b>294</b>	1040	389	4444
Douglas	758	<b>519</b>	1088	641	5083
Ander naaldhout & mengingen	1003	<b>395</b>	1187	429	5611

Op basis van deze waarden voor kritische lasten (Gobin et al. 2005) zijn loofhoutbossen niet noemenswaardig gevoeliger dan naaldhoutbossen of omgekeerd, maar blijkt er wel een duidelijk verschil naar hoofdboomsoort.

### 5.5. Specifieke soorten(groepen)

Diverse groepen van bodemfauna zijn gevoelig voor verhoogde concentraties aan zware metalen in de bodem en/of strooisellaag. Tabel 18 geeft een overzicht van enkele soorten en de kritische bodemconcentratie waarbij duidelijke reductie optreedt van groei, reproductie of populatiedichtheid of waarbij mortaliteit wordt waargenomen.

Als de concentraties van crematieas in de buurt liggen van het kritisch bodemgehalte (wat het geval is voor Cd, Cr, Cu, Ni en Zn) dan is het waarschijnlijk dat deze organismen de crematieas zoveel mogelijk zullen mijden. Indien ze er toch intensief mee in contact komen via ingegraven urnen, dan zullen wellicht de voormelde effecten optreden.

Wanneer we deze kritische bodemconcentraties confronteren met de waargenomen bodemconcentraties in de strooiweiden (vertrouwelijke data), dan zijn er in die strooiweiden geen effecten te verwachten voor de zware metalen As, Cd, Pb en Ni, maar wel voor de zware metalen Cr, Cu, Hg en Zn. Met uitzondering van Cr, worden de kritische gehalten enkel overschreden op de intensief gebruikte strooiweiden A en B. De grootste overschrijding is er voor Zn waarbij de reproductie van regenwormen en springstaarten ernstig in het gedrang komt.

**Tabel 18. Kritische bodemconcentraties aan zware metalen voor bodemfauna (gecompileerd door Horn et al. 2016 uit Blume et al. 2010)**

Metaal	Crematieas concentratie	Kritisch bodemgehalte	Soortengroep	Soort	Parameter	Remming /reductie
	mg kg <sup>-1</sup> as	mg kg <sup>-1</sup>				
Arseen (As)	0.78	117	Regenworm	Lumbricus terrestris	Mortaliteit	50
		70	Regenworm	Eisenia fetida	Reproductie	30
Cadmium (Cd)	2.16	1.86	Regenworm	Aporrectodea caliginosa	Reproductie	10
		12	Springstaart	Folsomia candida	Reproductie	10
Chroom (Cr)	22	2	Regenworm	Octochaetus pattoni	Reproductie	40
		100	Regenworm	Eisenia fetida	Reproductie	52
Koper (Cu)	398	16.8	Regenworm	Eisenia fetida	Reproductie	10
		69.8	Regenworm	Aporrectodea caliginosa	Groei	10
Kwik (Hg)	0.12	0.5	Regenworm	Octochaetus pattoni	Reproductie	35
		13	Regenworm	Eisenia fetida	Mortaliteit	26
Lood (Pb)	22	3000	Regenworm	Lumbricus rubellus	Mortaliteit	50
		1305	Aaltje (nematode)	Caenorhabditis elegans	Mortaliteit	4
Nikkel (Ni)	90	85	Regenworm	Eisenia fetida	Reproductie	10
		100	Nematoden	Diverse soorten	Populatiedichtheid	18
Zink (Zn)	194	136	Regenworm	Eisenia fetida	Reproductie	50
		185	Springstaart	Folsomia candida	Reproductie	50

## 6 Effecten van crematieas

### 6.1. Effecten op bodem

#### 6.1.1. Eutrofiërend en bemestend effect

Het rechtstreekse effect van stikstof via de inbreng van crematieas is verwaarloosbaar. Het voornaamste effect wordt verwacht van het fosforgehalte. Hoewel de totale fosforconcentratie in crematieas zeer hoog is, is vermoedelijk slechts een heel beperkt deel ervan plantbeschikbaar. Immers, het merendeel bestaat uit de minerale vorm (apatiet) dat slechts 1% of minder vrijkomt in de bodem. De maximale fosforbeschikbaarheid voor planten is bodem-pH afhankelijk (maximaal bij pH 6.2-7.5 én pH>9) terwijl de pH van de crematieas zelf rond de 12 is. Afhankelijk van de pH van de ontvangende bodem, zal P dus al dan niet snel vrijgesteld kunnen worden. Naast pH/kalkgehalte van de ontvangende bodem, speelt ook het organisch gehalte een rol en zelfs het type organische stof. Dit maakt dat het voorspellen van de biobeschikbare P en de termijnen van P-vrijstelling uit crematieas bijzonder moeilijk is. Eenmaal de crematieas met het hoge fosforgehalte via verstrooiing aangebracht, is die aanwezig in het ecosysteem en er niet meer uit te halen. Wanneer de as ingegraven is met urne, is die in zekere mate wel weer uit te graven en aan het ecosysteem te onttrekken, maar dat zal initieel niet de bedoeling zijn.

De meeste Vlaamse bosbodems zijn zuur (pH 3.5 - 5) en het verstrooien van crematieas zal inwerken als een bekalking, waarbij de pH zal verhogen en een ontzurend effect zal optreden. Daarmee geassocieerd zal fosfor zeer langzaam vrijgesteld worden. De organische stof in de bodem zal sneller mineraliseren doordat door de pH-verhoging de micro-organismen (vooral bacteriën) geactiveerd worden. Daardoor zal meer organisch gebonden N vrijgesteld worden en opgenomen door de planten, wat lokaal kan leiden tot een verrijking met nitrofiële soorten (netels, vlier) ten nadele van N-mijdende soorten.

Ook in heidegebieden is de pH overwegend laag en zal oppervlakkige uitstrooiing van crematieas een eutrofiërend effect hebben door versnelde mineralisatie van de organische stof. Daardoor zal de heide plaatselijk versneld vergassen met soorten als bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*) en pijpenstrootje (*Molinia caerulea*). Daarenboven kunnen een aantal typische kruidensoorten, korstmossen en mossen verdwijnen. Deze afname van de floradiversiteit heeft ook een uitwerking op de fauna (o.a. vlindersoorten en (wilde) bijen).

Voor vele types graslanden is een te fosforrijke bodem een probleem. Vooral heischrale graslanden zijn gevoelig. Ook in duinen en heidegebieden wordt gestreefd naar een laag P-gehalte om de habitatspecifieke soortendiversiteit te behouden. Dus in de meeste gevallen wordt het inbrengen van P via crematieas afgeraden. Het bemestend effect van crematieas is het laagst bij zwaardere bodems (hoog klei- en organische stof gehalte). De eraan gerelateerde vegetatie zal er doorgaans makkelijker mee omgaan en uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater zal beperkter zijn dan op (humusarme) zandgronden.

#### 6.1.2. Verzilttingseffect

Crematieas bevat zouten (ionen) in vrij hoge concentraties die een verzilttingseffect kunnen veroorzaken. Wanneer deze zouten in de bodemoplossing komen, zorgen deze voor een verlaging van de bodemwaterpotentiaal. Hierdoor wordt het voor planten moeilijker om water te onttrekken aan de bodem, waardoor er sneller waterstress en verwelking optreedt. Zout- en droogtetolerantie hangen daarom dikwijls nauw samen. De reactie van planten op saliniteit (dus hun zoutgevoeligheid) verschilt van soort tot soort.

Voor het Na-gehalte in de crematieas baart zorgen. In tegenstelling tot kalium, is natrium geen essentieel element voor planten (wel voor dieren). Een te hoog Na-gehalte (bv. door teveel NaCl-zouten) verstoort de Na/K balans in de plantencellen en ook de Ca-opname. Bij veel planten resulteert dit in een beperktere wortelgroei, wat ook weer bij droogte leidt tot droogtestress. Cl daarentegen is wel een essentieel voedingselement voor planten, maar bij



te hoge concentraties (> 200 mg/l in bodemoplossing; > 100 mg/kg in de bodem) leidt dit bij gevoelige gewassen tot toxische reacties met problemen bij kieming en het optreden van wortel- en bladschade.

Aanwending van crematieas verhoogt het zoutgehalte in de bodem waardoor direct na toediening microbiële omzettingprocessen in de bodem tijdelijk worden geremd of een deel van het bodemleven wordt gedood, waardoor minder voedingstoffen via natuurlijke afbraak beschikbaar komen.

Indien crematieas met een urne wordt ingegraven, zijn lokaal hoge concentraties aan zouten in de bodem aanwezig. We vermoeden dat bodemfauna, wortels en schimmels deze fosfor- en zoutbom zoveel mogelijk zullen mijden. Na degradatie van de urne zal de inhoud heel geleidelijk vermengen met de bodemmatrix. Dit zal sneller gaan naarmate er meer bioturbatie is (activiteit van bodemfauna) maar ook door eventuele bewegingen van de (stuw)watertafel. Lokale verzilting van de bodemoplossing kan negatieve effecten hebben op de ontwikkeling van het wortelstelsel van diepwortelende planten (bomen en struiken).

#### 6.1.3. Verontreinigingseffect

Toediening van crematieas kan verontreiniging door anorganische stoffen (hoofdzakelijk zware metalen) en organische stoffen (PAKs, PCBs, dioxines...) veroorzaken. De zware metalen kunnen zeker milieueffecten hebben, over de organische pollutanten in crematieas is er momenteel te weinig bekend zowel naar de samenstelling als naar concentraties. We verwachten dat bij de huidige crematieprocessen (hoge temperatuur, oxidatieve atmosfeer) er enkel sporen van organische pollutanten in crematieas terecht komen, maar dit is niet zeker.

Zware metalen worden niet afgebroken en zijn dus persistent in het milieu, maar kunnen zich wel verspreiden via de biogeochemische en hydrologische kringlopen. Ondertussen zijn er meer en meer kritische niveaus bekend van concentraties aan zware metalen in de ecosysteemcompartimenten bodem, grondwater, vegetatie en organismen, zoals aangegeven in paragraaf 5.

Voor bodem gelden wettelijk de VLAREBO normen die strenger zijn voor bos- en natuurgebieden (bestemmingstype I) dan voor parkgebieden (bestemmingstype IV). Zelfs voor de bos- en natuurgebieden kunnen vrij hoge VE (> 1000 VE ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>) zowel via verstrooiingen als via begraven urnen) ingebracht worden vooraleer de saneringsnormen worden overschreden en toxicologische effecten verwacht worden op mens en milieu. De meest kritische metalen volgens deze benadering zijn Cu, Cd en Ni. Volgens VLAREMA is het inbrengen van crematieas gelimiteerd tot 270 VE ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> op basis van het Ni-gehalte.

Bodems complexeren zware metalen op basis van hun gehalte aan klei- en organisch materiaal. Hoe hoger dit gehalte, hoe meer zware metalen gebonden worden en hoe minder (eco)toxische effecten er zullen optreden. De meeste zware metalen worden ook mobieler hoe lager de bodem-pH en hoe hoger het zoutgehalte is. Dus enerzijds zullen de hoge pH en het hoog Ca-gehalte van crematieas maken dat de zware metalen minder mobiel worden, het verhoogde zoutgehalte kan anderzijds ervoor zorgen dat de metalen iets meer gemobiliseerd worden. De beperkte verhoging van de elektrische geleidbaarheid (EC) in de strooiweiden doet vermoeden dat het pH-effect zal domineren.

Indien crematieas op zure bodems (bosbodems, heidebodems met pH <4.5) wordt aangebracht kan een metaalmobiliserend effect door deze lage pH's teweeggebracht worden, vooral voor de metalen Cd, Cu en Zn die dan meer biobeschikbaar worden. Hoe meer de ontvangende bodem een neutrale pH heeft, hoe minder dit 'shokeffect' zal zijn.

#### 6.1.4. Andere effecten op bodem

Het ontstaan van bodemcompactie door aanleg en onderhoud van het gedenkbos/park en door het bezoek van nabestaanden (betreding) wordt verder beschreven onder paragraaf

6.5. Bodemcompactie is één van de grootste bedreigingen voor het goed functioneren van een bos- of natuurbodem en moet zoveel mogelijk beperkt worden door het maken van vaste paden. Hier speelt echter dezelfde problematiek als in recreatiebossen en speelbossen.

Verstrooiingen van crematieas hebben het voordeel dat de bodem niet vergraven wordt, maar het nadeel dat de as direct inwerkt op de biologisch meest actieve bodemlaag, de interface tussen de pedosfeer en atmosfeer. De meeste bodemorganismen bevinden zich in de bovenste cm van de opperbodem en de strooisellaag en heel wat invertebraten (pissebedden, kevers, slakken) leven op de bodem. De blootstelling aan verstrooide crematieas is dus extra groot, ook al is een belangrijk deel van de crematieas steriel en inert, het zal de bodemfauna en biologische bodemprocessen zonder meer beïnvloeden.

Verspreiding van de crematieas maakt tevens dat neerslag en bodemlucht (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) vrijwel direct na het aanbrengen in contact komen met de crematieas en dat allerlei fysicochemische processen zullen plaatsvinden (hydrolyse, carbonatatie, redoxreacties, etc.) alsook biochemische reacties (reactie met humuszuren, inwerking enzymen, etc.). Dit kan zowel positief (opgaan in biogene kringloop) als negatief (ongecontroleerde processen) benaderd worden.

Het ingraven van een urne verstoort dan wel lokaal de bodem, de blootstelling aan (bodem)organismen en wortels is miniem en de directe reacties met het bodemmilieu wellicht beperkt zolang de urne niet degradeert. De crematieas is wel lokaal in hogere concentraties aanwezig en zeker wanneer de inhoud van de urne in contact komt met grondwater zijn mogelijk negatieve effecten te verwachten. Doordat dit nog te weinig is bestudeerd (Horn, 2016) kunnen hierover moeilijk uitspraken worden gedaan.

Daarom wordt in Nederland vooral het advies gegeven om urnen in te graven op droge zandgronden (Molenaar et al., 2009). Het ingraven van de urne (of doodskest) kan in Nederland enkel in bodems met een diepe grondwatertafel (gemiddelde hoogste grondwaterstand > -1.35 m). Voor Vlaanderen zou dit betekenen dat enkel bodems met grondwatertrappen (drainageklassen) a en b volgens de Belgische bodemkaart, zowel voor zware gronden (textuurklassen L, A, E, U) als lichte gronden (Z, S, P) in aanmerking komen. De bodemkaart kan online geraadpleegd worden op de DOV website ([bodemverkenner](#)) om van een bepaald gebied een indicatie te hebben van de grondwatertrap.

Bodemkundig en eco(toxico)logisch bekeken is de keuze tussen verstrooiingen of urne-begraving een keuze tussen twee benaderingen:

- (1) *IBC benadering: het gebruik, opslaan of storten van mogelijk bodembedreigende stoffen op of in de bodem is gericht op het isoleren, beheersen en controleren ervan.*
- (2) *Verspreidings-benadering: mogelijk bodembedreigende stoffen op of in de bodem worden maximaal verspreid en dus verdund in het milieu en worden deel van de natuurlijke biogeochemische cycli.*

De eerste benadering impliceert het begraven van de urne met de mogelijkheid het vrijstellingsproces te controleren door de materiaalkeuze van de urne, de plaats van begraving, etc. Het moet zelfs mogelijk zijn elke urne te voorzien van een transponder<sup>6</sup> zodat de urne (zelfs na degradatie) gemakkelijk gelokaliseerd kan worden en eventueel opgegraven en verwijderd kan worden indien eventuele risico's te hoog worden geacht.

De tweede benadering pleit voor een (nadien moeilijk te controleren) verspreiding van de crematieas in het milieu en ecosysteem. Het degradatie- en verspreidingsproces wordt helemaal aan 'de natuur' overgelaten. Nadien ingrijpen wordt moeilijker en kostelijker dan in

---

<sup>6</sup> *Instrument of materiaal dat toelaat de locatie en/of afstand te meten met behulp van een meettoestel (bv. detecteerbaar metalen plaatje via metaaldetector)*

de eerste benadering. Bij een keuze voor de tweede benadering is het raadzaam de natuurbegraafplaatsen op een adequate manier milieukundig te monitoren.

## 6.2. Effecten op grondwater

Momenteel kunnen we ons enkel baseren op enkele ervaringen uit de literatuur en één enkele grondwateranalyse in de buurt van een intensieve strooiweide. Hieruit blijkt geen noemenswaardige verhoging van de concentraties aan zouten (Na, Cl) hoewel het Na-gehalte in de opperbodem wel degelijk verhoogd was. Ook was er geen spoor van aanrijking van het zware metaal Zn, wat toch wel in hoge concentraties aanwezig is in de strooiweiden. Andere metalen (Cd, Ni, Cr, ...) werden evenwel niet gemeten.

Toch verdient het aanbeveling via peilbuizen op vaste locaties in natuurbegraafplaatsen zowel de grondwaterdynamiek als grondwaterkwaliteit te monitoren voor een grote set parameters teneinde mogelijke effecten tijdig te kunnen inschatten.

## 6.3. Effecten op de strooisellaag

Vooraf in bossen en parken zal er een effect zijn van crematieas op de strooisellaag. Dit effect zal direct zijn wanneer de crematieas wordt verstrooid en indirect wanneer urnen worden ingegraven. Bij het ontsluiten van urne en de geleidelijke menging van de as in de bodem, zullen de fijnwortels van bomen en struiken wellicht de chemische elementen (P, Ca, K, metalen) uit de as opnemen en via de bladval zullen deze elementen de strooisellaag aanrijken.

Vermits het N-gehalte in de as zeer laag is zal dit de C/N verhouding van de strooisellaag niet noemenswaardig beïnvloeden. Effecten zullen vooral door P, Ca, Na en zware metalen veroorzaakt worden. Door de sterke bekalking (in eerste instantie door vrije CaO in crematieas, fijne fractie) zal de strooisellaag versneld mineraliseren en zullen de eraan gebonden zware metalen in de minerale bodem terechtkomen. De metalen Cu en Pb leggen zich doorgaans goed vast in organische lagen, maar Cd, Zn, Ni en Cr kunnen verder uitloggen of in verhoogde mate biobeschikbaar worden voor (bodem)organismen.

Het hoog Na-gehalte kan ook het microbieel leven in de strooisellaag sterk inhiberen of nadelig inwerken op de organismen in de strooisellaag. Regenwormen en strooiselwormen die een belangrijke rol spelen bij de omzetting van strooisel kunnen nadelen ondervinden van de verhoogde zoutgehaltes. Mogelijk nemen zij ook rechtstreeks partikels van crematieas op.

Bij het verstrooien van crematieas moeten de dosissen zo geregeld worden dat de strooisellaag behouden blijft, teneinde (1) de 'eerste-lijns-opvang' van zware metalen in het boscysteem te kunnen blijven garanderen en (2) geen sterke lokale eutrofiëring te veroorzaken met verzuuring tot gevolg. De mate van instandhouding (dikte, humustype) van de strooisellaag is dus een goede indicator om aan effectbeoordeling te doen.

## 6.4. Effecten op vegetatie

De effecten van verstrooiing op een **bosvegetatie** is wellicht verschillend voor de diverse vegetatielagen in het bos- of park-ecosysteem.

- De boom- en struiklaag zal wellicht weinig nadelige effecten hebben van plaatselijke verstrooiing. Indien de as niet voldoende wordt verdeeld kan lokale 'verbranding' van de fijnwortels optreden door de snelwerkende kalkfracties (bv. CaO) en zoutschade (Na, chloriden) indien het zoutgehalte lokaal te hoog oploopt.
- De kruidachtige vegetatie kan verzuuren door plotse mineralisatie van de strooisellaag waardoor meer N en P minnende soorten de bovenhand krijgen en gevoelige (bos)soorten verdwijnen.
- Vegetatietypes kunnen verschuiven van zuurminnende naar neutrofiële en zelfs kalkminnende types bij langdurig gebruik van crematieas en geleidelijke verhoging van de bodem-pH.

- Een tredvegetatie kan ontstaan door overmatige betreding: bijvoorbeeld paadjes naar de graflocaties. Algemene bodemverdichting kan ervoor zorgen dat zaailingen van gevoelige soorten (bv. beuk) zich niet (meer) kunnen vestigen en natuurlijke verjonging in het gedrang komt.
- Een beperkte opname van zware metalen is mogelijk door specifieke plantensoorten. Uit ervaring weten we dat planten doorgaans weinig of geen zware metalen stockeren in de reproductieve organen (bessen, zaden) waardoor mogelijke doorvergiftiging miniem is naar vogels, zoogdieren en mens.
- Indien de zware metaal-concentraties onder de normen blijven (zie paragraaf 5) zal geen groeibeperking of sterfte optreden bij bomen, struiken of kruidachtige vegetatie.

De effecten van urnebegraving op de bosvegetatie zijn eventueel:

- Beschadiging van het wortelstelsel bij het graven van de grafkuil voor de urne of grafheuvels (meerdere urnen). In Nederland wordt een afstand van 3 m t.o.v. de stam vooropgesteld in bossen en parken met hoogstammige bomen, teneinde de wortels niet te beschadigen (Molenaar et al., 2009). Het is onbekend wat er gebeurt na degradatie van de urne als de crematieas bereikbaar is voor boomwortels. Dit is iets wat best bestudeerd wordt.
- Bij urnebegraving ondervindt de kruidachtige vegetatie wellicht geen enkel negatief effect, tenzij door betreding, grondverplaatsing of het plaatsen van gedenkplaatjes of graftekens. Deze laatste worden best van natuurlijke materialen gemaakt en in een beperkt formaat zodat ze de vegetatieontwikkeling minimaal hinderen.

In **open vegetaties en habitats** (duinen, heide, graslanden) moet onderscheid gemaakt worden in zuurminnende vegetaties en neutrofiële of kalkminnende vegetaties. De eerste groep is vaak geassocieerd met voedselarme milieus en de tweede met meer eutrofe standplaatsen.

De vegetaties van oligotrofe en zuurdere milieus zullen het grootste effect ondervinden van asverstrooiing en dit zal de grootste verschuiving veroorzaken in soortensamenstelling, met duinen, droge (en natte) heide en heischrale graslanden voorop.

Kalkminnende graslanden, kalkgraslanden en graslanden van basenrijke milieus zullen eerder baat hebben bij toediening van crematieas zolang hun grenswaarden voor de P-concentraties (Tabel 15) niet overschreden worden of de Pb-concentratie in de bodem (Tabel 16).

In venige ecosystemen (7140 habitattypes), ongeacht of ze zuur of basenrijk zijn, is door het sterke contact met oppervlakte- en grondwater het effect op crematieas moeilijk in te schatten. Dit is eerder voorwerp van een specifiek advies voor (semi)terrestrische habitats.

## 6.5. Effecten op specifieke soorten(groepen)

### 6.5.1. Fungi

In bossen zijn zwammen en in het bijzonder mycorrhiza zeer belangrijk voor het goed functioneren van de nutriëntenkringloop. Schimmels kunnen gevoelig zijn voor K, Na en Cl-zouten en ook voor fosfaten en sulfaten die mogelijk vrijkomen uit de crematieas. Het is bekend dat een hoge fosforconcentratie een sterk negatief effect heeft op mycorrhizaschimmels. Bovendien accumuleren sommige schimmels zware metalen uit de strooisellaag of de bodem. Dit is onder andere gerelateerd met de diepte waarop de zwamvlok groeit. *Leccinum*-soorten en *Boletus edulis* (eekhorentjesbrood) zouden vrij hoge gehalten aan metalen accumuleren. De Europese grenswaarden voor eetbare paddenstoelen zijn 3 mg kg<sup>-1</sup> voor Pb en 2 mg kg<sup>-1</sup> voor Cd (De Vos et al., 2005). Sterke accumulatie van Hg en As in paddenstoelen werd ook gedocumenteerd. Kalac & Svoboda (2000) vermelden accumulatiefactoren van 50-300 voor Cd en 30-500 voor Hg. Pb zou in mindere mate geaccumuleerd worden, terwijl Cu dan weer sterker accumuleert in bepaalde soorten. De studie van opnamepatronen van metalen in sporocarpes is moeilijk. Fungi zijn er immers

niet altijd, soorten komen niet overal voor en de vruchtlichamen verschijnen vaak niet op hetzelfde moment. Het vruchtlichaam heeft bovendien een kort bestaan (meestal 10-14 dagen).

Accumulatie in paddenstoelen is soortspecifiek, net als bij planten. Er kan vrij veel variatie zijn in opname binnen eenzelfde locatie en klimatologische omstandigheden zouden ook een effect kunnen hebben. Sommige auteurs wijzen op de impact van de 'ouderdom' van het mycelium. Hoe ouder het mycelium, hoe hoger de vastgestelde concentraties in de vruchtlichamen. Dit alles veroorzaakt aanzienlijke variatie in de metaalconcentraties. Niettegenstaande worden paddenstoelen algemeen als goede bio-indicators beschouwd, vooral om metaalverontreinigde van niet verontreinigde gebieden te onderscheiden. Het zou interessant zijn om zware metalen-concentraties te bepalen op de vruchtlichamen in natuurbegraafplaatsen om te zien welk metalen preferentieel worden opgenomen.

Plukken van zwammen in natuurbegraafplaatsen wordt uit voorzorg best verboden.

#### 6.5.2. Bodemfauna

Zowel in graslanden als bossen kan reproductie en overleving van regenwormen bedreigd worden door te hoge metaalgehalten in de bodem (cf. Tabel 18). Op basis van de 'worst-case' situatie van strooiweiden waar zware metalen zich hebben kunnen accumuleren over verschillende decennia bleken vooral de zware metalen Cr, Cu, Hg en Zn het grootste effect te hebben. Vooral Zn zou een effect hebben op de reproductie van de regenwormen en springstaarten. Van echter heel wat bodemorganismen zijn de ecotoxicologische effecten weinig of niet bekend en het is momenteel onmogelijk om de effecten op de soorten en het volledige voedselweb goed in te schatten.

Het is belangrijk om de effecten van crematieas op een aantal functionele sleutelsoorten na te gaan, zoals op anekische regenwormen, die bekend zijn als de 'soil engineers'. In zure bodems kan het bekalkend effect van crematieas mogelijk positief inwerken op bv. *Lumbricus terrestris*, omdat deze bij voorkeur gedijt in bodems met pH > 5.5. Het hoge Zn-gehalte kan dan weer zorgen dat zijn reproductie in het gedrang komt of dat de groei (biomassa) en/of leeftijd van de individuen sterk afneemt. Daardoor zal deze soort ook zijn essentiële functies (bodemverluchting en infiltratie, verdeling organische stof) niet naar behoren kunnen vervullen. Zo zullen mogelijke (gecombineerde) effecten van soort tot soort verschillen.

#### 6.5.3. Zoogdieren en vogels

Wanneer bijvoorbeeld regenwormen gecontamineerd zijn met zware metalen, kunnen deze metalen gemakkelijk via de voedselketen verder verspreid worden (vogels, mollen, muizen, vossen, ...). Er bestaan modellen (bv. Berisp model) om deze ecosysteemcontaminatie in te schatten voor een gebied, op basis van allerlei ecotoxicologische parameters uit de literatuur.

Indien er begrazingsbeheer is in graslanden of heidegebieden is het niet onwaarschijnlijk dat grazers deels partikels van de verstrooide as opnemen bij het grazen. Door de persistentie van crematieas kan dit bij slechte verdeling op hoopjes blijven liggen waardoor het risico op orale opname toeneemt. Gezien de samenstelling van de crematieas zal dit vermoedelijk weinig effect hebben op de grazers zelf.

### 6.5. Antropogene effecten

Een belangrijk aandachtspunt is dat de nabestaanden de behoefte hebben om de plaats van uitstrooiing of graf te bezoeken. Zelfs bij strooiweiden gaan nabestaanden op zoek naar de exacte locatie van de verstrooiing en hebben dan graag een referentiepunt in het terrein (mond. med. Kris Coenegrachts). In bos- en natuurgebieden zijn dat merkwaardige bomen, plaatsen met specifieke terreinkenmerken (heuveltje, oever) of voorzieningen (brug, zitbank). Soms betreft het plaatsen waar de overledene sterk aan gehecht was of die de nabestaanden met de overledene associëren.

Dit veronderstelt een vrije en gemakkelijke toegang tot deze plaats, wat in conflict kan komen met de toegankelijkheidsregeling van het bos- of parkgebied. In veel openbare bossen mogen de boswegen (voor een definitie zie [website ANB](#)) niet verlaten worden wat zou impliceren dat eventuele verstrooiingen en urnenbegraafplaatsten in de directe nabijheid van de boswegen zouden moeten liggen. Indien de volledige bosoppervlakte potentieel wordt benut voor begraafplaatsen of verstrooiing zal menselijke betreding zorgen voor een aanzienlijke bodemcompactie, één van de grootste bodemkundige problemen in de Vlaamse (openbare) bossen en parken en sommige natuurgebieden. Bodemcompactie leidt onder meer tot een verminderde natuurlijke verjonging (De Vos 2005) te wijten aan een slechte lucht-waterhuishouding en vermindering van de bodembiodiversiteit. Op leemgronden wordt tevens de groei van sommige boomsoorten (bv. beuk) negatief beïnvloed door oppervlakkige compactie. Allerhande bospaadjes verstoren uiteraard ook de kruidachtige vegetatie die teruggedrongen wordt tot niet betreden zones. Een specifieke tredvegetatie kan zich wel vestigen op deze paadjes.

Nabestaanden hebben ook de neiging (wens) om herdenkingssymbolen te plaatsen op de graflocaties (mond. med. Kris Coenegrachts). Dit dient echter streng gereguleerd en opgevolgd te worden in bos- en natuurgebieden en zou enkel mogen gebeuren met biodegradeerbare (bv. boomschijf in Draulans 2016) en natuurlijke materialen (bv. gegraveerde kei) en zeker niet met kunststoffen. Vooral plastics zijn zeer persistent in het milieu en hebben negatieve effecten voor de fauna. Bovendien is er een wettelijk verbod op het achterlaten van 'afval' in bossen (artikel 97 Bosdecreet) en in natuureservaten (artikel 35 §2, 8°).

Andere verbodsbepalingen die een rol kunnen spelen in gedenkbossen (of -parken) zijn:

- Verbod op het verstoren van dieren en hun jongen, eieren, nesten of schuilplaatsen in openbare bossen (artikel 20 Bosdecreet), in bosreservaten (artikel 30 Bosdecreet) en in natuureservaten (artikel 35 §2, 5°)
- Verbod op het plukken of verwijderen van vegetatie (bloemen, vruchten, paddenstoelen ...) in bossen (artikel 97 Bosdecreet) en in natuureservaten (artikel 35 §2, 6° decreet natuurbehoud)
- Verbod op het verstoren van de rust in bossen (artikel 97 Bosdecreet) en in natuureservaten (artikel 35 §2, 4°)

Net als van kerkhoven wordt van natuurbegraafplaatsen verwacht dat ze rust en een serene ingetogenheid bieden aan de nabestaanden. Dus is het niet verstoren van de rust een evidentie in die gebieden, maar dit zal wel gecontroleerd moeten worden.

Voldoende aandacht moet besteed worden aan (overmatig) autoverkeer zodat parkings en hun toegangswegen de rust niet bestendig verstoren.

Omgekeerd kan bos-, park- en natuurbeheer ook de stilte verstoren door werkzaamheden met bosmaaiers, boomzagen, bladblazers, plagmachines, edm. Dit noopt tot een aangepast beheerplan voor natuurbegraafplaatsen. Sowieso moet een regeling uitgedacht worden tijdens de schoontijd in functie van de broedperiode van vogels.

## 7 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Om kennislacunes te vullen is volgend onderzoek wenselijk/nodig:

- Onderzoek naar de exacte samenstelling van 'Vlaamse' crematieas (gemiddelde en spreiding) voor alle in tabel 8 opgelijste elementen, alsook de verbindingen (speciatie) waarin deze elementen voorkomen zodat de normberekeningen meer accuraat kunnen gebeuren;
- Monitoring van de effecten op vegetatie, strooisellaag, bodem en bodemdiversiteit in functie van aantal verstrooiingen of aantal ingegraven urnen in bos- en natuurgebieden, inclusief monitoring van de grondwaterkwaliteit;
- Een studie naar de degradatiesnelheid van (biodegradeerbare) urnen in een representatieve (bos)bodem en de afbouw/overgang van de crematieas naar de bodem met inbegrip van biologische factoren (wortels, schimmels, bodemfauna, etc.);
- Effectonderzoek van crematieas op bodemfauna (regenwormen, collembola), microbiële afbraakprocessen (Biolog, Microresp) en concentraties in zwammen en andere soortengroepen. Selectie van specifieke indicatoren (wat ook in een ruimere context van bodemversturende activiteiten absoluut noodzakelijk is);
- Sociaal onderzoek is wenselijk om na te gaan of (reeds aangelegde) geboortebossen in vele Vlaamse gemeenten ook kunnen dienen als gedenkbos/naturbegraafplaats. Vanuit de 'cirkel is rond' idee is dit eventueel een sociaal en ecologisch aanvaardbare piste, maar psychologische en ethische aspecten dienen hiervoor onderzocht te worden;
- Systematische monitoring van bodem, grondwater, vegetatie en bodemorganismen in bestaande strooiweiden teneinde een 'worst-case' referentie te hebben naar potentiële aanrijking van verontreinigende stoffen. De bodem wordt best ook volgens diepteprofiel bemonsterd (10 cm intervallen) om de migratiesnelheid van metalen en zouten in functie van de tijd te bepalen.

## Conclusie

---

### 1. Wat is de mogelijke impact van het uitstrooien of in een urne begraven van crematieas in natuurgebieden of bossen, op vegetaties, bodem of strooisellaag?

De impact is verschillend naargelang de crematieas wordt verstrooid dan wel begraven met een urne. Oppervlakkige verstrooiing heeft een direct effect op de strooisellaag, de bodem, inclusief de organismen die er leven. De vrijstelling van nutriënten, zouten en zware metalen kan bij verspreiding door verstrooiing nadien nog moeilijk beheerst of gecontroleerd worden en men is overgeleverd aan natuurlijke processen. Het vooraf vastleggen van het aantal verstrooiingseenheden (VE) op basis van een normenkader is nodig voor het vermijden van een negatieve impact.

Begraven in een urne heeft een beperkt, hoogstens indirect effect op de strooisellaag, en een direct effect op bodem, vegetatie en bodemfauna. Dit systeem is beter beheersbaar en controleerbaar, zeker als de locatie (plaats en diepte) van de urnen gekend is (GPS locatie, transponder). Wanneer de urne zich niet bevindt in de grondwaterzone wordt verwacht dat de crematieas na biodegradatie van de urne voor lange tijd intact in de bodem zal achterblijven omdat wortels, schimmels en bodemfauna dit medium zullen mijden.

De mogelijke impact is rechtstreeks evenredig met de dosis (aantal VE) aan crematieas per eenheid van oppervlakte en tijd. Het toe te laten aantal VE per jaar en per ha kan berekend worden op basis van diverse Vlaamse normenstelsels. Diegene die wettelijk verankerd zijn (VLAREBO, VLAREMA, MAP5) moeten gevolgd worden, de andere (normen strooiselkwaliteit, kritische lasten, grenswaarden) worden best gerespecteerd omdat ze allen tot doel hebben een negatieve impact op de ecosystemen of menselijke gezondheid te vermijden en de duurzame instandhouding van habitats te vrijwaren. De begravingdichtheid, berekend als het aantal VE per jaar en per ha, is in wezen niet verschillend of het nu gaat om verstrooiing of urnebegraving. Bepalend is de totale dosis die per oppervlakte-eenheid in een (half)natuurlijk ecosysteem wordt aangebracht.

Afhankelijk van de benadering of het normenstelsel zijn specifieke elementen of verbindingen in de crematieas limiterend voor het maximaal aantal toegelaten VE  $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$  (zie paragraaf 5). Dit heeft te maken met het type bodem en/of de bodemsamenstelling (textuur, organisch gehalte, pH), de samenstelling van het strooisel of het vegetatietype. Hiervoor is het essentieel de gemiddelde samenstelling (en spreiding) van Vlaamse crematieas te kennen teneinde correcte risicoberekeningen te kunnen uitvoeren.

Vanuit een voorzichtigheidsprincipe kan gekozen worden om de meest limiterende dosissen (VE) te weerhouden geldig voor een specifiek gebied. In gebieden waar een nulbemesting gangbaar is, zal fosfor de meest beperkende factor zijn en slechts 30-45 VE  $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$  toelaten. In bossen is het zware metaal Cu volgens de strooiselnormen het meest beperkend tot ook 30 VE  $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ . In heischrale graslanden en natte heide limiteren de kritische lasten op basis van Pb in crematieas respectievelijk 19 en 62 VE  $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ . Wanneer deze dosissen overschreden worden zijn duidelijke negatieve effecten te verwachten. Ander berekeningen (zie paragraaf 5) laten 370 VE  $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$  toe (VLAREMA) en de bodemsaneringsnormen (VLAREBO) laten > 1000 VE  $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$  toe bij gebruikperiodes van 20 jaar.

Algemeen is de grootste impact van crematieas in natuurgebieden en bossen te wijten aan het enorm hoge calciumfosfaatgehalte en de geassocieerde hoge pH, de aanwezige zouten (Na, Cl) en zware metalen. Het stikstof-, kalium-, magnesium- en sulfaatgehalte en mogelijke sporen van organische pollutanten (PAKs, PCBs, dioxinen) hebben hoogstwaarschijnlijk een verwaarloosbare impact.

De effecten zijn dan ook eutrofiëring, verzilting en verontreiniging met zware metalen op de ecosysteemcompartimenten bodem, strooisel, grondwater, vegetatie en specifieke soorten(groepen) zoals beschreven in paragraaf 6.



Daarnaast zijn er de antropogene effecten zoals vergravingen, betreding of rustverstoring. Om de impact op de habitats te beperken is een reglementering wat betreft aanleg, onderhoud en bezoekmogelijkheden gewenst.

Reeds lang in gebruik zijnde strooiweiden (27 jaar) met duizenden VE ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> leren ons dat vooral bodemaanrijking met Zn en Cu reëel zijn, een verhoogd Na-gehalte en een bijzonder hoog P- en Ca-gehalte waardoor de bodem een pH-KCl heeft van ~8.2. Al bij al valt deze 'worst-case' situatie nog mee omdat de meest toxische zware metalen (Hg, Cd, Cr, As) ver onder hun ecotoxische kritische niveaus blijven.

## **2. Is er op korte of lange termijn impact te verwachten op specifieke soorten(groepen)?**

Door het hoge P-gehalte wordt negatieve impact verwacht op mycorrhizaschimmels. Vooral in de habitats waar deze een essentiële rol spelen in de nutriëntenhuishouding zal dit een duidelijk effect hebben. Andere zwammen zullen bij hoge dosissen zware metalen accumuleren, ook in hun vruchtlichamen. Dit biedt mogelijkheden om de zware metalen te monitoren, temeer daar de concentraties aan zware metalen zullen evolueren in de tijd. Doorvergiftiging naar andere organismen is mogelijk.

Het hoge calciumgehalte (verhoging bodem-pH) zal een shift veroorzaken in de bodemmicrobiologie waarbij bacteriën zullen begunstigd worden over schimmels. Dit is echter eenzelfde effect dat verkregen wordt door een bekalking.

Natriumzouten kunnen nadelig inwerken op de bodembacteriën die instaan voor mineralisatie- en nitrificatieprocessen in de bodem. Dit is hoofdzakelijk het geval bij verstrooiing van crematieas, niet bij het begraven van urnen.

De zware metalen kunnen negatieve effecten hebben op reproductie van regenwormen, springstaarten en heel wat andere functionele soortengroepen. Bij lage dosissen (VE) zal hun overleving niet worden bedreigd (tenzij uiterst gevoelige soorten) maar kan wel hun biomassa ernstig verminderen, waardoor bepaalde ecosysteemprocessen vertraagd zullen verlopen.

De verspreiding van zware metalen via vruchten (bessen en zaden) is doorgaans beperkt en zal wellicht geen meetbare impact veroorzaken.

Er wordt weinig rechtstreekse impact verwacht op zoogdieren (bv. grazers) die occasioneel met opgehoopte crematieas in contact komen en partikels via het grazen innemen. Wellicht zijn de dosissen aan zware metalen te laag om effecten te ressorteren. P, Ca en zouten vormen geen probleem en crematieas is bacteriologisch steriel.

## Referenties

---

- Abdel-Shafy, H.I. & M.S.M. Mansour. 2016. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum* 25:107-123.
- Barber, S.A. 1995. Soil nutrient bioavailability. A mechanistic Approach. John Wiley & sons. 403p.
- Bartelink, E.J., Sholts, S.B., Milligan, C.F., Van Deest, T.L., Wärmländer, S.K.T.S. 2015. A Case of Contested Cremains Analyzed Through Metric and Chemical Comparison. *Journal of Forensic Sciences* 60:1068-1073.
- Blume, H.P., Scheffer, F., Brümmer, G.W. et al. 2010. *Lehrbuch der Bodenkunde*. Springer. 569 p.
- Brooks, T.R., Bodkin, T.E., Gretchen, M.A. & E. Potts. 2006. Elemental analysis of Human Cremains using ICP-OES to classify legitimate and contaminated cremains. *J. Forensic Sci.* 51:967-973
- De Vos, B. 1997. Chemical element analysis of the forest floor in the macro-invertebrate soil fauna plots. Report from the Institute for Forestry and Game Management. IBW Bb R:98.005. 72p.
- De Vos, B. 2005. Bodemcompactie en de invloed op de natuurlijke verjonging van Beuk in het Zoniënwoud. Januari 2005. IBW.Bb R 2005.004. In opdracht van het Fonds Generale Maatschappij van België voor het Zoniënwoud onder auspiciën van de Koning Boudewijnstichting. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, Geraardsbergen. 79p.
- De Vos, B. 2006. Evaluatie van de concentratie aan zware metalen in bosbodems nabij de UMICORE vestiging te Hoboken, Olen, Balen en Overpelt. Rapport INBO.R2006.01. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Geraardsbergen. 65p.
- De Vos, B., Callebaut, J. & De Bie, E. 2006. Verkennend onderzoek naar de relatie tussen bladvalanalyses en vegetatietypes in geselecteerde bosproefvlakken van het NICHE meetnet. INBO.R2006.32. Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel. 81p.
- Draulans, D. 2016. Nieuwe trend: begraven worden in de natuur. Ook u bent biologisch afbreekbaar. Knack Artikel. 26 Oktober 2016. p84-87.
- Dumortier M, De Bruyn L, Peymen J, Schneiders A, Van Daele T, Weyemberh G, van Straaten D & Kuijken E . 2003. Natuurrapport 2003. Toestand van de natuur in Vlaanderen: cijfers voor het beleid. Mededelingen van het Instituut voor Natuurbehoud nr. 21, Brussel.
- Gobin, A., Van Nevel, L., Vanden Auweele, W., Willems, E., Verlinden, G., Verheyen, K. 2006. Bepaling kritische lasten voor zware metalen, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2005/06, Labo voor Bosbouw (UGent) en Bodemkundige Dienst van België. 112p.
- Haas, de, W. & E.A. de Vries, 2013. Natuurbegraafplaatsen in Nederland; Landelijke inventarisatie 2013. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2470. 30blz.; 1 fig.; 16 tab.; 17 ref.
- Hillel, D. 2008. *Soil in the environment: crucible of terrestrial life*. Amsterdam: Elsevier/Academic Press.
- Horn, R. 2016. Urnenasche und Boden/Grundwasser. PPT presentatie. Fachtagung Urnenasche – Gefahr für Boden und Grundwasser. ZUK Osnabrück. 49 p.

Kabata-Pendias, A. & A.B. Mukherjee. 2007. Trace Elements from Soil to Human. Springer. 519p.

Kalac, P., Svoboda, L. 2000. A review of trace element concentrations in edible mushrooms. Food chemistry 69:273-281.

Molenaar, J.G. de, M.G. Mennen & F.H. Kistenkas, 2009. Terug naar de natuur. Mogelijke effecten en juridische aspecten t.a.v. natuurbegraven, asverstrooien en urnbijzetting in natuurgebieden. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1789. 103 blz.; 6 fig.; 17 tab.; 42 ref.; 3 bijlagen.

Niziolomski, J., Rickson, J., Marquez-Grant, N., Pawlett, M. 2016. Soil science related to the human body after death. School of Energy, Environment and Agrifood, Cranfield University, Cranfield, Bedfordshire MK43 0AL and Cranfield Forensic Institute, Cranfield University, Defence Academy of the United Kingdom, Shrivenham, Swindon SN6 8LA, UK

NVWA-BuRO. 2016. Advies over het gebruik van crematieas in tatoeages. Bureau Risicobeoordeling & onderzoeksprogrammering. Nederlands Voedsel- en Waterautoriteit. Ministerie van Economische Zaken.

O'Neill, G.E. Data from: <http://www.scattering-ashes.co.uk/general/cremation-ashes-chemicalcomposition/>

OVAM. 2009. Bodemdecreet Vlarebo. Vlaams Reglement rond bodemsanering en bodembescherming. Beleidsdocument D/2005/5024/44. 203 p.

Pakpahan, E. N., Isa, M.H., Kutty, S.R.M. and A. Malakahmad. 2009. Effect of temperature on the formation and degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. International conference on Emerging Technologies in Environmental Science and Engineering. October 26-28 2009. Aligarh Muslim University, Allgarg, India. p.569-574.

Provoost S., Feys S., Vercruyssen E., Packet J. & Denys L. 2011. Natuurinrichting Oosthoekduinen – monitoring. Evaluatie van de uitgevoerde werken 7 jaar na de inrichting. Rapport van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek R.2011.55, Brussel, 142 p.

Raman, M., De Keersmaeker, L., Denys, L., Leyssen, A. Provoost, S. Vandevoorde, B., Hens, M. & J. Wouters. Bepaling van het gunstig abiotisch bereik voor Europese habitattypes in Vlaanderen. In prep.

Ross, S.M. 1994. Toxic Metals in Soil-Plant systems. University of Bristol, UK. John Wiley & Sons. 469p.

Smit, E.R. 1996. Massabalans en emissies van in Nederland toegepaste crematorievervalsingsprocessen. TNO-MEP rapport R96/059, Delft.

Strand, R., Shields, F., & Swiader, J. 2008. Cremation ash as phosphorous source for soil additive or fertilizer. [US 20080134575 A1 patent](#).

Tortora, G. J., & Grabowski, S.R. 2000. Principles of Anatomy and Physiology (9th ed.). Wiley Inc., New York.

Tyler, G. 1992. Critical concentrations of heavy metals in the mor horizon of Swedish forests. Swedish Environmental Protection Agency. Report 4078. 38 p.

van Well, E.A.P., Kool, A., Boer, M. & van der Hulst, W.H.M., 2002. Mestbewerking: vormen zouten een risico ?, Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht. 52 p.

Velle, K. 1992. Begraven of cremeren. De crematiekwesie in België. Stichting Mens en Cultuur. 127 p.

## **Websites en online documenten**

### ***Naturbegraafplaatsen in Nederland***

<http://www.wur.nl/nl/project/Naturbegraafplaatsen-in-Nederland.htm>

### ***Cremation, Burial or Nature Reserve Burial: Sustainability***

[hoiceshttp://sunrisingburialground.co.uk/pdfs/Sustainability%20Choices%20Chart.pdf](http://sunrisingburialground.co.uk/pdfs/Sustainability%20Choices%20Chart.pdf)

### ***Bodemvoorschriften voor het in gebruik hebben van een strooiveld***

<http://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/activiteitenbesluit/activiteiten/crematorium/bodemvoorschriften/>