



*Depositie-onderzoek verbrandingsoven
crematorium te Kralendijk;
Bonaire, Februari – Maart 2024*

Pieter van der Torn
Definitief 10 juni 2024

Inhoud

1. Inleiding	3
2. Vraagstelling	4
2.1 Vraagstelling	4
2.2 Reikwijdte	5
3. Methoden.....	6
3.1 Inleiding	6
3.2 Literatuuronderzoek	6
3.3 Meetstrategie.....	6
3.4 Laboratoriumanalyses	11
3.5 Selectie van stoffen	11
3.6 Beoordelingskader.....	12
4. Resultaten	15
4.1 Locatiebezoek	15
4.2 Laboratoriumanalyses	17
4.3 Kwaliteitscontrole	17
5. Discussie	19
5.1 Regels voor crematoria	19
5.2 Laboratoriumuitslagen macroparameters.....	19
5.3 Laboratoriumuitslagen risicovolle stoffen	22
5.4 Kwaliteit.....	24
6. Conclusies en aanbevelingen	27
7. Literatuur.....	28
7.1 Geraadpleegde literatuur.....	28
7.2 Aanvullende referenties.....	29

1. Inleiding

Bonaire beschikt over twee verbrandingsovens. Dat zijn ovens die niet dienen voor de opwekking van energie, maar voor de verbranding van resten, hetzij stoffelijke resten van mens en dier, dan wel rest- en ander afval. Beide typen verbrandingsovens zijn aanwezig op Bonaire, namelijk een crematorium genaamd *Consuelo* (privaat) en een vuilverbrander voor medisch afval bij *Selibon*, de afvalverwerker van het eiland (overheids-nv). In dit rapport wordt ingegaan op de bevindingen voor het crematorium. Er is een apart rapport voor de vuilverbrander (formeel AVI: AfvalVerbrandingsInstallatie).

Het *Openbaar Lichaam Bonaire* (verder: OLB) heeft een taakgroep ingesteld, vanwege zorgen over de vuilverbranding die voorjaar 2023 is gestopt. De verbrandingsoven van het crematorium is meegenomen voor de volledigheid, om beide verbrandingsovens van Bonaire te kunnen beoordelen.

De verantwoordelijkheidsverdeling in de taakgroep is als volgt:

- De *Kabinetschef* zit voor;
- *Ruimtelijke ordening* is verantwoordelijk voor de vergunningverlening en contractrelatie met de vergunninghouder (*Selibon*) en de opdrachten die daarmee samenhangen;
- *Publieke gezondheid* adviseert over gezondheidsrisico's, en heeft Risk control ingeschakeld voor de medisch milieukundige vakkennis (geen deelnemer).

De taakgroep wil inzicht hebben in de mogelijke gezondheidsrisico's van vuilverbranders voor omwonenden. En in het verlengde daarvan wil men meer in het algemeen inzicht in de milieusituatie op het eiland. Vermeldenswaard daarbij is dat milieu een intersectoraal thema is¹.

Hierna volgen: Vraagstelling en reikwijdte (Hfd 2), methoden (Hfd 3), resultaten (Hfd 4), discussie (Hfd 5), conclusies en aanbevelingen (Hfd 6) en literatuur (Hfd 7).

De rapporten van de twee onderzoeken zijn zoveel mogelijk gelijk gehouden. Met name lijken de inleiding, methoden en discussie veel op elkaar, maar met andere voorbeelden en soms andere nuances. De literatuur is gesplitst in een algemene leeslijst (tussen haakjes en afgekort in de tekst, b.v. WuR09) en specifieke referenties (genummerd).

Details en achtergronden zijn te vinden in een *Technisch rapport met bijlagen* voor beide verbrandingsovens tezamen.

2. Vraagstelling

Vraagstelling en reikwijdte komen aan de orde

2.1 Vraagstelling

De taakgroep heeft drie vragen:

- a. Wat komt er uit de schoorsteen;
- b. Wat blijft daarvan achter in het milieu;
- c. Wat betekent dat voor de mens

in enge zin en in breder milieukader.

Ad a. *Consuelo* heeft een milieuvergunning. In hoeverre daar uitstootseisen in staan is onbekend. Bij navraag blijken er geen uitstootmetingen beschikbaar te zijn.

Ad b. De Kabinetschef heeft een voorstel aanvaard van *Risk Control* naar wat er in het milieu is achtergebleven². Publieke Gezondheid faciliteert het onderzoek en draagt zo nodig bij aan de praktische uitvoering.

De vraagstelling is in hoeverre vlieg-as van het crematorium benedenwinds neerdaalt in het bodemstof en bijdraagt aan de gezondheidsrisico's voor omwonenden.

Er is gekozen voor depositie-onderzoek in bodemstof (Box 1). Er zijn monsters bodemstof genomen en geanalyseerd op een breed scala van toxische stoffen³.

Het onderzoek is vergelijkenderwijs opgezet, met een referentiemonster in de stedelijke omgeving van het crematorium. Er is een monsternameprotocol opgezet met een stofzuiger (kruimeldief), een meetraam en een zuigprotocol, om de monsters onderling vergelijkbaar te maken.

Ad c. Bodemstof is getoetst aan de bodemnormen c.q. de Nederlandse interventiewaarden bodemkwaliteit. De waarde van deze normen voor de humane risico's en de toepasbaarheid op Bonaire worden besproken.

Box 1: *Toelichting onderzoeksvraag*

Bij een crematie ontstaat bodem-as (crematie-as) en vlieg-as^a. Vlieg-as is de as die vrijkomt via de schoorsteen naar de buitenlucht. Vlieg-as daalt deels neer in de omgeving en wordt onderdeel van het bodemstof. Gekozen is voor onderzoek naar vlieg-as in bodemstof, het min of meer losse stof op het grondoppervlak. Bodemstof past namelijk goed bij de contactmogelijkheden en blootstellingsrisico's voor de mens. En de risicovolle stoffen in vlieg-as van crematoria zijn bekend, waaronder persistente stoffen zoals dioxinen/furanen. Persistente stoffen kunnen lang in het milieu aanwezig blijven^b. Of er verontreinigingen van vlieg-as in bodemstof kunnen worden aangetroffen is afhankelijk van de hoeveelheden en de verblijftijden in het milieu. Er waren ook analyses van kippeneieren gewenst, om de eventuele opname in de voedselketen te kunnen beoordelen^c. In de stedelijke omgeving van het crematorium zijn echter geen kippen aangetroffen, noch te verwachten.

^a Er is geen filter aanwezig, dus er is geen sprake van filterkoek.

^b Het crematorium is actief sinds 2014 (zie verder: Resultaten).

^c Naast persistentie kan ook bioaccumulatie een punt van zorg zijn. Dioxinen/furanen zijn zowel persistent als bioaccumulatie en kunnen zich ophopen in organismen in de voedselketen.

2.2 Reikwijdte

Alleen het crematorium

Dit onderzoek heeft betrekking op het crematorium. Andere potentiële bronnen, zoals het verkeer en het (nabijgelegen) ziekenhuis zijn opgevat als *confounders* (verstorende variabelen). Er is een referentiemonster met druk verkeer genomen, om de verkeersbelasting te kunnen 'aftrekken'. En er is (abusievelijk, zie verder) een monster bodemstof rondom het ziekenhuis genomen, dat veeleer representatief is voor oppervlakte verontreinigingen vanuit het ziekenhuis dan voor de schoorsteen van het crematorium.

Alleen bodemstof

Het gaat in dit onderzoek over depositie van vliegias in bodemstof en niet over zwevend fijn stof. De blootstellingsrisico's van fijn stof zijn vrij algemeen bekend, maar andere bronnen zoals het verkeer dragen daar naar verwachting veel meer aan bij dan het crematorium. Ook valt opwaaien van bodemstof te verwachten (verstuiving/resuspensie), met name van de fijne fractie in het bodemstof.

Actueel en historisch

Bodemstof geeft een totaalbeeld van de historische plus actuele depositie van het crematorium. Bodemstof is op zich minder geschikt om actuele depositie te bepalen. Indien er nader onderscheid is gewenst van de historische versus de actuele depositie, dan zijn andere methoden aangewezen. Actuele depositie vang je liever af voordat het op de bodem is neergedaald, bij voorkeur in de schoorsteen (uitworpmeting) of anders in een knikkerbak of op depositieplaten vlak boven de grond.

Op weg naar een milieumonitor

Er is geen monitoring van het milieu op Bonaire, niet van bodem, water, lucht, en evenmin van zone-gevoelige zaken zoals geluid, geur of externe veiligheid. De milieuportefeuille is niet eenduidig belegd en er is geen expertise beschikbaar op vaste basis van facetten zoals in dit onderzoek, milieu en gezondheid. De opdracht in bredere zin regardeert de condities voor milieubeheer.

3. Methoden

3.1 Inleiding

Vooraf is een projectplan op- en op hoofdlijnen vastgesteld (zie tevoren: Vraagstelling: agendapost). De meetstrategie, laboratorium- en stoffenselectie (plus macroparameters), en beoordelingskader zijn daarin vastgelegd. Meer praktisch bestaat het onderzoek uit literatuuronderzoek, data-analyse, veldwerk, laboratoriumanalyses en risico-evaluatie (voor details zie Technisch rapport en bijlagen):

Sectie	Onderwerp	Technisch rapport	Toelichting
3.2	Literatuuronderzoek en data-analyse ^d	Hfd 2 en Bijlagen 1 – 3	Dit wordt alleen kort aangehaald;
3.3	Meetstrategie	Hfd 3 en Bijlagen 4,5 en 7	Het monsternameprotocol, de keuzen voor en uitvoering van de monstername en het overige veldwerk komen aan de orde;
3.4 en 3.5	Laboratorium en selectie van stoffen	Hfd 3	Het proces en de keuzen worden beschreven;
3.6	Beoordelingskader	Hfd 4 en Bijlage 6	Onderwerpen zijn: blootstellingsroutes, normen, bodemtypering en risico-evaluatie.

Er is regelmatig afgestemd met de OLB-taakgroep, die het onderzoek begeleidt (zie tevoren: Inleiding).

3.2 Literatuuronderzoek

Er is een literatuurstudie verricht/ Er zijn zoveel mogelijk meetwaarden van bodem, water en lucht verzameld ter vergelijking met de resultaten van dit onderzoek (zie Technisch rapport).

Ook is een database (KNMI uurgegevens eind 2016 – begin 2024) geanalyseerd voor wat betreft neerslag en wind. Er is een (gestileerde) windroos afgeleid (zie verder Figuur 1) en de frequentie van hoosbuien en zwaar weer is bepaald.

Uit het literatuuronderzoek (Bijlagen 1 -3) komt naar voren dat er regelmatig wateroverlast optreedt, zoals tijdens de 1 - 2 hoosbuien (>25mm/u) en de 1 -2 dagen zware regenval (>50mm/d) per jaar^e. Het zou maar zo kunnen dat bodemstof door de forse erosie en het slechte waterbeheer gedurende het jaar verwaait en bij slecht weer wegspoelt naar lagergelegen gebieden en het kustwater. Dat betekent dat:

- Onderzoek naar bodemstof bij voorkeur plaatsvindt vóór de regentijd (natte versus droge depositie);
- Eén regenseizoen kan volstaan om risicovolle stoffen uit de bodem naar elders te spoelen (korte plaatsgebonden verblijftijd);
- De samenstelling van bodemstof mogelijk meer wordt bepaald door wind en water dan door de onderliggende bodem (beperkte representativiteit onderliggend bodemtype). En dit geldt vooral voor straatstof.

^d Beperkt en niet begroot.

^e Volgens Nolet et al (WuR09) verdamppt het meeste regenwater (85%) en spoelt er meer water weg (run-off:10%) dan dat er in het grondwater doordringt (5%). Regenwater dat verdamppt is niet of nauwelijks van invloed op de risicovolle stoffen in bodemstof. Bodemstof spoelt vooral weg bij hevige regens.

3.3 Meetstrategie

Monsternameprotocol

Bij gebrek aan een standaard voor monstername van bodemstof is een protocol opgesteld met een instrumentarium van een stofzuiger (kruimeldief) en een meetraam (1m²), plus een vaste manier van zuigen zonder te vegen of bewegen (stabiele houding). Het meetraam is verdeeld in negen denkbeeldige delen. Per denkbeeldig deel is een geschikte locatie gezocht en is de stofzuigermond op een geschikte locatie horizontaal op het bodemoppervlak geplaatst om gedurende 5 seconden te zuigen (zie Technisch rapport, bijlage 4).

Er is voor elk verzamelmonster apart een kruimeldief aangeschaft om kruisbesmetting tussen monsters te voorkomen.

Verzamel- en deelmonsters

Er is gewerkt met verzamel- en deelmonsters.

De insteek is geweest om in eerste aanleg alleen de verzamelmonsters te analyseren en deelmonsters alleen zo nodig op geleide van de uitkomsten ook apart te analyseren. Dat laatste bleek niet nodig voor dit onderzoek (voor het andere onderzoek wel).

De insteek was om één verzamelmonster te maken voor het crematorium en één voor de verkeersreferentie, en vier deelmonsters per verzamelmonsters te verkrijgen. In de praktijk zijn 3 deelmonsters genomen voor (2 verzamelmonsters van) het crematorium en twee deelmonsters voor (het verzamelmonster van) de verkeersreferentie. De verkeersreferentie wordt als voorbeeld gebruikt:

- *Deelmonster*: Er zijn 2 verkeerslocaties geselecteerd. Per locatie is één deelmonster genomen (meer bleek niet haalbaar). Elk deelmonster heeft een eigen monsterpotje. De potjes zijn zo goed mogelijk gevuld met monstermateriaal, gecodeerd en verstuurd, en worden (nog een half jaar na het onderzoek) bewaard in het laboratorium.
- *Verzamelmonster*: De 2 deelmonsters zijn gebruikt om een verzamelmonster voor de verkeersreferentie samen te stellen voor laboratoriumanalyse. De deelmonsters zijn gemengd, en de helft van de benodigde hoeveelheid voor het verzamelmonster is gebruikt van elk deelmonster.

De keuze voor een combinatie van deel- en verzamelmonsters heeft vooral praktische redenen, namelijk: kosten besparen en flexibiliteit inbouwen zonder veel tijdverlies.

Daarnaast biedt het een vorm van kwaliteitscontrole:

- *Kosten*: Laboratoriumbepalingen van met name dioxinen/furanen zijn kostbaar. Het aantal bepalingen is om die reden zo beperkt mogelijk gehouden;
- *Flexibiliteit en tijd*: Het aantal geanalyseerde verzamelmonsters is het absolute minimum, maar op geleide van de bevindingen kunnen nadien ook deelmonsters elk apart worden geanalyseerd. Echter, elke keer dat er een nieuw monster nodig is, levert dit al gauw 3 weken vertraging op, plus kosten voor reis en monstername, verzending, inkleding en registratie. Indien er al deelmonsters beschikbaar zijn bij het laboratorium, dan kan dit de eventuele vertraging met ongeveer de helft bekorten;
- *Kwaliteitscontrole*: Er zijn geen duplo-bepalingen uitgevoerd (vanwege kosten). In plaats daarvan zijn de deelmonsters gebruikt als kwaliteitscontrole. De uitkomsten van de verzamelmonsters moeten immers passen bij die van de samenstellende deelmonsters. De getalswaarden van een verzamelmonster moeten (globaal in het midden) tussen de waarden van de deelmonsters liggen, en zeker niet daarbuiten.

Representativiteit monsters

Om de deelmonsters zo representatief mogelijk te maken voor een onderzoek-locatie, is steeds bodemstof van diverse plekken (m²) genomen, verdeeld over de locatie. Daartegenover staat het risico van zwakke signalen door zeer beperkte of zeer lokale verontreinigingen. De laboratoriumanalyses kunnen door het mengen mogelijk onder de detectielimiet komen. Dit risico geldt zowel voor het verkrijgen van een deelmonster van meerdere plekken (m²) op een onderzoek-locatie, als voor het samenvoegen van deelmonsters tot een verzamelmonster. Overigens was de hoofdreden om veel plekken te bemonsteren voor een deelmonster praktisch van aard. Het laboratorium heeft namelijk 350g bodemstof nodig voor een deelmonster, en dat krijg je niet zomaar bij elkaar gezogen, althans niet op gestandaardiseerde wijze. In de praktijk is steeds het monsterpotje van het laboratorium zo goed mogelijk gevuld om een deelmonster te verkrijgen. De monsters geven een algemeen - gemiddeld - beeld van een gebied variërend van globaal 100 – 1.000 m².

Vergelijkingsbasis

De schaal van het onderzoek is (zeer) beperkt. Er zijn drie verzamelmonsters genomen, twee benedenwinds van het crematorium met iets andere windrichting (W en ZW) en een referentiemonster voor verkeersemissies in de stedelijke omgeving van het crematorium^f. *Kralendijk centrum* en *Kaya Korona* zijn geselecteerd als drukke verkeerspunten, en de deelmonsters zijn samengevoegd tot een verzamelmonster.

De uitslagen van dit onderzoek kunnen verder worden vergeleken met die van het andere onderzoek voor de vuilverbrander, en met het daarvoor genomen referentiemonster (natuur, diabaasbodem, Boven-Bolivia en Washington National Park).

Tijd en weer

Het veldwerk vond plaats van 8 – 10 februari en 11 maart. Het crematorium is tweemaal bezocht. Er is een interview afgenomen, gevolgd door een rondleiding plus demonstratie (8 februari). De volgende dag is een crematie bijgewoond (9 februari). De verzamelmonsters zijn genomen op:

- 8 februari, *monster Zuidwest*: 1 monsterpotje is gevuld met vooral straatstof tussen het crematorium en het ziekenhuis;
- 9 februari, *referentiemonster verkeer*: 1 monsterpotje is gevuld met straatstof te Kralendijk centrum en 1 potje is gevuld met stof van parkeerplaatsen langs de Kaya Korona;
- 11 maart, *monster West*: 2 potjes zijn gevuld in de *mondi* achter het crematorium.

De monsters zijn genomen aan het eind van en na het regenseizoen, met redelijk tot mooi weer. Op 9 februari in de middag waren er dreigende wolken (deelmonster *Kaya Korona*). Het weer heeft de resultaten naar verwachting niet beïnvloed. Het percentage droge stof van het verkeersmonsters is zeker niet lager dan dat van de andere monsters (zie verder, Tabel 3). En, meer subjectief, het zuigvermogen van de kruimeldief is qua opbrengst (*yield*) en zuigdiepte niet zichtbaar beïnvloed^g.

^f Het is gebruikelijk om onderscheid te maken naar bodemtype (diabaas, kalksteen of sediment). De grond in Kralendijk is alluviaal sediment op een kalksteen-ondergrond. Bodemstof in stedelijk gebied is vooral straatstof. De invloed van het bodemtype is daar naar verwachting beperkt. Er is geen referentiemonster van alluviaal sediment in een natuurgebied genomen. Veeleer is beïnvloeding van verkeersemissies te verwachten. Er is een stedelijk referentiemonster genomen.

^g In de tropen droogt de toplaag snel weer na een buitje, en de relatieve vochtigheid is vrijwel altijd hoog, gemiddeld 76%.

De voornaamste bron van variabiliteit is naar verwachting de zuigdiepte. Deze is sterk afhankelijk van de ondergrond, van straatstof tot los zand, en alles daartussenin. De zuigdiepte is niet goed te bepalen, maar de afgeleide wel, namelijk het aantal vierkante meter dat nodig is voor een vol monsterpotje. Het benodigd aantal vierkante meter voor een min of meer vol potje varieerde hier van 3 – 21 m² (voor details, zie Technisch rapport, bijlage 4).

Depositiegebied

Er zijn geen meet- of modelgegevens beschikbaar over de uitstoot van het crematorium. Het depositiegebied van de vliegias van het crematorium is onbekend, en de monsterlocaties zijn een *educated guess*. Er zijn twee monsters genomen, in Westelijke en Zuidwestelijke richting (figuur 1, volgende bladzijde).

Westelijk monster

De heersende windrichting komt uit het Oosten, dus het Westelijke monster is representatief voor het benedenwinds gebied van het crematorium. De pluim slaat naar verwachting neer op korte afstand van de schoorsteen, maar helemaal zeker is dit niet^h. Het monster is genomen op 75 – 125m afstand van de schoorsteen, achter de bebouwing in de *mondi*, in een rooi met ernaast een ezelpad. De grondstructuur is daar vrij los. Er zijn twee deelmonsters genomen. Daarbij volstond het om 3 m² respectievelijk 5m² te bemonsteren om de potjes te vullen.

Een extra deelmonster verderop in Westelijke richting is niet mogelijk, want daar ligt een waterreservoir en zijn bosschages. Er is woonbebouwing (Bungalowpark *Makambaplein*) op minder dan 300m afstand, maar die ligt ten Noorden van de pluim. Bovendien is de bodem daar niet geschikt voor monsternamen.

Zuidwestelijk monster

Dit monster is niet optimaal gekozen voor het crematorium, en veeleer representatief voor het ziekenhuis op 100 – 300m ten Zuidwesten van het crematorium (FM: *Fundashon Mariadal*). Rond het ziekenhuis is voornamelijk bedrijvigheid (medisch centrum, tandarts, horeca, begraafplaats). Ook is er enige woonbebouwing en zijn er veel parkeerplaatsen. Met name de parkeerplaatsen zijn gebruikt voor monsternamen. Dit monster is genomen door een initiële foute inschatting van de passaat (noordoost in plaats van oost). Achteraf gezien was het beter geweest het tweede monster te beperken tot de noordzijde van het ziekenhuis en verder in Westelijke richting door te zetten (Kaya J.E. Nicolaas, Bonlab en verder).

Kralendijk centrum, deelmonster verkeer

Dit deelmonster bevat vooral straatstof, en bestaat verder uit bodemstof van halfverharde parkeerterreinen langs de weg. Het kostte veel moeite om één deelmonster te verzamelen (één dagdeel). Een extra deelmonster lag niet in de rede.

Kaya Korona, deelmonster

Dit deelmonster bevat bodemstof van halfverharde parkeerterreinen langs de weg (lijzijde) over een lengte van globaal een halve kilometer lengte, vlak bij het centrum. Aanvullende deelmonsters zijn niet genomen, want zouden verder uit het centrum liggen en minder verkeersdruk hebben.

^h De schoorsteen is erg kort: <2m waarvan <1m buiten op het dak. De temperatuur bij vrijkomen is echter hoog, rond de 800 °C, dus het duurt even voordat de rookgassen zijn afgekoeld en vliegias uitzakt naar de grond.



Figuur 1: Plattegrond van ziekenhuis (FM), crematorium en omgeving, met windroos, monsternamen locaties en bemonsterd aantal vierkante meters

- ★ West: deelmonster 125-100m, in de *mondi*;
- ★ West: deelmonster 100-75 m, in de *mondi*;
- ★ Zuidwest: 100-300m afstand, voornamelijk straatstof rondom het ziekenhuis

3.4 Laboratoriumanalyses

SGSⁱ, een gezaghebbend milieulaboratorium is bereid gevonden de analyses te verrichten. Deze heeft (voor beide onderzoeken tezamen) 16 monsterpotjes geleverd, uitgaand van 4 verzamelmonsters met elk 4 deelmonsters. In tabel 1 is aangegeven hoeveel deel- en verzamelmonsters daadwerkelijk zijn genomen en geanalyseerd voor dit onderzoek. Er zijn drie verzamelmonsters genomen en geanalyseerd. Er was onvoldoende aanleiding om naderhand ook deelmonsters te analyseren (zie verder). In het kader van het andere onderzoek zijn wel 2 deelmonsters (natuurreferentie) geanalyseerd. Dit heeft geleid tot heranalyse van een aantal monsters en bepalingen.

Onderwerp	Specificatie deelmonsters		Aantal deel monsters	Analyse verzamel monsters	Analyse deel monsters
	Locatie	Bemonsterd aantal m ²			
Crematorium	Zuidwest :	21m ²	1	1	-
	West 1:	3m ²	2	1	-
	West 2:	5m ²			
Verkeer	VK: Kralendijk centrum:	20m ²	2	1	-
	VC: Kaya Korona:	10m ²			

Tabel 1: Aantal en analyse van deel- en verzamelmonsters

3.5 Selectie van stoffen

De laboratoriumanalyses omvatten zowel (fysische en chemische) macroparameters als (chemische) microverontreinigingen, hier aangeduid als risicovolle stoffen.

Macroparameters

In bodemstof zijn de percentages droge stof (d.s.), organisch stof (TOC/OC: *Total Organic Content*) en lutum (klei) bepaald. Deze zijn bepalend voor de normwaarden. Die normwaarden gelden voor Nederland, met klei, zand en veengronden, en zijn niet geod toepasbaar op Bonaire. Op Bonaire^j bestaat de bodem uit diabaas en kalksteen, met her en der een sedimentlaag door overstromingen uit zee (alluviaal). De Bonairiaanse bodemtypen zijn in beperkte mate meegenomen in dit onderzoek.

<i>Diabaas</i>	Het ijzergehalte is bepaald in het andere onderzoek	Diabaas bevat (naast silica) veel ijzeroxiden ($\geq 15\%$);
<i>Kalksteen</i>	Het kalkgehalte is bepaald	Kalksteen bestaat voornamelijk uit calciumcarbonaat;
<i>Alluviaal sediment</i>	De korrelgrootteverdeling is bepaald, de fracties zand (50 μ m – 2mm), leem (2 – 50 μ m), en klei (< 2 μ m)	Op alluviale gronden valt een hoge fractie zand (globaal $\frac{3}{4}$) te verwachten.

Kralendijk, het crematorium en het deel van Kaya Korona waar de monsters zijn genomen liggen op alluviaal sediment.

ⁱ SGS staat voor Société Générale de Surveillance. Deze naam wordt echter niet meer gebruikt.

^j De hoge centraal gelegen delen van Bonaire bestaan vooral uit diabaas (verweerd vulkanisch gesteente), en de lageregelegen delen aan de kust uit kalksteen (samengeperste koraalrotsen). Ook zijn er enkele alluviale gebieden (afzettingen van zand en slib uit zee), met name rond Lac en te Kralendijk (op kalksteen ondergrond).

Risicovolle stoffen

Uiteindelijk zijn de vergunningsvoorwaarden bepalend voor de eisen waaraan het crematorium moet voldoen. In breder kader zijn het stoffenbeleid en het afvalbeleid van toepassing. Het stoffenbeleid is gebaseerd op de Europese regelgeving, waaronder voor zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) en persistente verontreinigingen (REACH respectievelijk POP-verordening)^k. Er is een (Nederlandse) ZZS-lijst voor vlieggas van vuilverbranders beschikbaar (zie het andere onderzoek), maar niet voor crematoria. Voor crematoria gelden aparte regels^l, maar met een vergelijkbare stoffenlijst. De ZZS-lijst voor AVI-vlieggas (AVI: AfvalVerbrandingsInstallatie, de formele naam voor vuilverbrander) is gebruikt voor dit onderzoek. Dit is gedaan omwille van de eenduidigheid en vergelijkbaarheid van de onderzoeksresultaten. De lijst van vuilverbranders bevat alle stoffen die in vlieggas van crematoria voorkomen⁴, en daarnaast ook enkele andere stoffen (Tabel 2).

Parameter	Stoffenlijst	Toepasbaarheid op crematoria
<i>Chloorhoudende stoffen</i>	Dioxinen en furanen	Dioxinen/furanen zijn een zorgpunt bij crematoria, vanwege de kunststoffen die mede worden verbrand. De oven moet zo heet zijn dat al deze stoffen worden verbrand.
<i>Broomhoudende stoffen</i>	pBDE en HBCD	Dit zijn industriële stoffen (vlamvertragers in meubilair en dergelijke) die niet bij crematoria zijn te verwachten.
<i>Zware metalen</i>	Cd, Pb, Hg, Cr-VI, Be en Ni. Hier is Zink (Zn) in plaats van Beryllium (Be) geanalyseerd ^m .	Kwik (Hg) is een zorgpunt bij crematoria (amalgaam vullingen). Kwik is vluchtig en kan niet worden afgevangen in een filter. Andere metalen komen wel veel voor in de crematie-as, maar weinig in vlieggas.
<i>Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (verder: PAK's)</i>		PAK's zijn een teken van onvolledige verbranding. Een crematorium moet aan diverse eisen voldoen om te zorgen voor een volledige verbranding.

Tabel 2: Stoffenlijst voor laboratoriumanalyse

3.6 Beoordelingskader

Blootstellingsroutes

Contact met bodemstof kan op verschillende manieren tot blootstelling leiden. 'Gebruikelijke' inname routes zijn:

- *Hand-mondgedrag bij kinderspel:* Is – zoals gezegd - onderzocht;
- *Onvoldoende wassen van lokale/eigen teelt:* Eigen teelt is niet aangetroffen;

^k Daarnaast dragen vooral de Kaderrichtlijn water en het OSPAR-verdrag (Trb. 1993, 16: bescherming mariene milieu NO-Atlantische oceaan) bij aan de ZZS-lijst.

^l De ZZS-lijst is wel gekoppeld aan de eisen voor grote stookinstallaties. De crematie oven op Bonaire hoeft hier niet aan te voldoen omdat het op gas wordt gestookt en (veel) minder dan 500u/jr in bedrijf is (Bal art 4.54).

^m Be komt vooral uit elektronica en is niet te verwachten in medisch afval. Zn zit in rubber en is een *marker* van verkeer en vervoer (voertuigbanden).

- *Opname in de voedselketen (plant en dier):* Kippeneieren zijn representatief voor opname van vetoplosbare stoffen in de voedselketen, zoals dioxinen/furanen. Kippen zijn - zoals gezegd - niet te verwachten in stedelijk gebied.

De aandacht is gericht op kleine kinderen met handmondgedrag.

Risico-evaluatie

Een risico-evaluatie is in beginsel een iteratief proces (voor details, zie Technisch rapport plus bijlage 6). De inname van toxische stoffen met bodemstof bij kinderspel is beoordeeld:

1. In eerste instantie vindt toetsing aan bodemnormen plaats, althans voor stoffen die niet van nature in de bodem voorkomen. Er wordt getoetst aan de Nederlandse interventiewaarden bodemkwaliteit. De interventiewaarden zijn op te vatten als beschermingswaarden. Anders gezegd zijn het signaalwaarden voor nader onderzoek, geschikt voor een eerste screening.

De Nederlandse interventiewaarden bodemkwaliteit gelden alleen voor een standaard bodem met 10% organisch stof en 25% lutum (klei). Voor andersoortige bodems kunnen aanpassingen van de normen nodig zijn. Dat geldt echter niet voor de directe blootstelling via bodemingestie. De bodemnormen kunnen in het huidige verband onverkort worden toegepast, zonder schaling of rekenregels (zie Box 2).

Stoffen die wel van nature voorkomen in de bodem worden in de eerste plaats vergeleken met de achtergrondwaarden. Die kunnen verschillen per bodemtype (zie Box 3). Overigens geven achtergrondwaarden weliswaar een praktische ondergrens, maar zij geven geen zekerheid over de veiligheid daarvan.

2. Waar van toepassing vindt toetsing aan gezondheidsnormen plaats, voor kritieke groepen en blootstellingen, maar met algemene uitgangspunten voor de blootstelling. Dat betekent in dit geval dat de inname van gronddeeltjes door kleine kinderen met hand-mondgedrag (*ingestie bodemstof*: 50 - 200 mg/d) wordt beoordeeld;
3. Zo nodig wordt de evaluatie stapje voor stapje toegespitst op de lokale blootstellingssituatie. Dit gebeurt net zo lang tot er voldoende zekerheid is over het realiteitsgehalte van de onderzochte gezondheidsrisico's en de uitspraken daaromtrent.

Box 2: Waarop zijn de interventiewaarden bodemkwaliteit afgestemd

Bodemnormen dienen meerdere doelen en zijn gekoppeld aan de bodemfuncties⁵. De interventiewaarden bodemkwaliteit zijn getalswaarden waarboven mogelijke risico's bestaan voor mens, plant of dier^{6 7}. Verspreidingsrisico's, gezondheidsrisico's en ecologische risico's zijn allemaal relevant, maar hebben veelal verschillende normwaarden⁸. De meest kritische functie, dat wil zeggen met de laagste normwaarde, is bepalend voor de interventiewaarde. De strengste norm telt. Meestal zijn dat de ecologische risico's, maar bijvoorbeeld voor dioxinen is de norm afgestemd op de risico's voor de mens. Zolang de norm wordt onderschreden is het weinig relevant waarop de norm is afgestemd. Bij normoverschrijding is het zaak om na te gaan waarop de norm is gebaseerd. Dat gebeurt in twee stappen, namelijk a. wat is de kritische soort (mens, plant of dier) en b. in hoeverre dragen de verschillende blootstellingsroutes bij aan de risico's.

Ad a. In dit verband gaat het alleen over de risico's voor de mens, de humane risico's. Voor de mens zijn twee soorten normen afgeleid, namelijk voor effecten met en zonder drempelwaarde:

- *Drempelwaarde-effecten:* De risico's zijn afgeleid van aanvaarde dagelijkse innamen (*Engels: TDI, oftewel Tolerable Daily Intake*)

- *Effecten zonder drempelwaarde*: De risico's van kankerverwekkende stoffen zijn genormeerd op één extra geval van kanker per 10.000 personen bij levenslange blootstelling⁹.

Ad b. Bij de humane risico's is rekening gehouden met alle blootstellingsroutes: huidcontact, ingestie, inhalatie en voedsel¹⁰. Diverse fysisch-chemische eigenschappen van de bodem beïnvloeden de opname via voedsel en inhalatie, zoals de organisch stof- en kleigehalten (OCⁿ en lutum). Ook spelen stofeigenschappen zoals het gedrag in grondwater (*floater, sinker, dissolver*) en in het milieu en de voedselketen (mobiliteit en bioconcentratiefactor) een rol. De aanpassingen van de interventiewaarden aan niet-standaardbodems hebben tot doel om deze en dergelijke variaties te verdisconteren. Voor de directe blootstelling via ingestie van gronddeeltjes – in dit geval bodemstof – maakt dat echter niet uit. Daarbij hoeft geen rekening te worden gehouden met de afwijkingen van een standaardbodem. De hoeveelheid inname gronddeeltjes en de gehalten risicovolle stoffen zijn bepalend. De interventiewaarden voor de standaardbodem kunnen onverkort worden toegepast^o.

Last but not least geldt dat een gezondheidsnorm niet mag worden opgevuld door bodemverontreiniging alleen. De risicobijdrage van bodemverontreiniging moet in verhouding staan tot die van de andere blootstellingsroutes, en mag sowieso niet hoger zijn dan globaal 50%.

Box 3: Achtergrondwaarden en bodemtypering

Metalen komen van nature voor in de grond^p. De Grontmij (2012) heeft achtergrondwaarden voor metalen gegeven voor Bonaire. De Nederlandse indeling met een standaardbodem voldoet niet op Bonaire. Het Grontmij-voorstel geldt voor diabaas- en kalksteenbodems, niet voor alluviale bodems. Het voorstel is gebaseerd op hun onderzoeksresultaten, maar zonder literatuurstudie. De resultaten van eerder geologisch onderzoek te Curacao zijn bijvoorbeeld niet meegenomen (de Vries 2000), terwijl die achtergrondwaarden op onderdelen nogal afwijken (zie Technisch rapport Bijlage 3). Nader onderzoek is nodig om de chemische samenstelling van natuurlijke bodems afdoende te typeren. Dit geldt temeer daar met name 'diabaas' een verzamelbegrip is met allerlei subtypen, zoals porfyrisch (ijzerrijk) gesteente, tuffs, sills, lavastromen (deels nog primair gesteente), dioriet (combinatie met kalksteen).

Het is onzeker in hoeverre een bodemtypering in dit verband zinvol is. De representativiteit van de bodem voor het opliggend bodemstof is onbekend. Bodemstof staat onder invloed van de drie milieucompartimenten (bodem, water, lucht) en hun interfaces, boven en beneden, contact en menging, mens en natuur, begroeiing en erosie, grondgebruik & grondverzet en natuurgeweld. De fysische en chemische samenstellingen van bodemstof zijn multifactorieel bepaald en naar verwachting niet eenvoudig te typeren (zie verder: Discussie en Conclusies).

ⁿ Organisch stof bestaat vooral uit plantresten (plus dierlijke resten/uitscheiding). Dit is wat anders dan humus c.q. de resten die al (microbiologisch) zijn verteerd. Organisch stof bestaat voor bijna de helft uit koolstof.

^o Nederland heeft klei, zand en veengronden en karakteriseert een standaardbodem aan de hand van het % organisch stof en % lutum. Aanpassing van de normwaarden zijn nodig voor indirecte blootstellingen, zoals via gewaasteelt en de voedselketen (hier: kippen). Voor directe inname/ingestie van gronddeeltjes geldt dat niet en blijft de norm gelijk. In het huidige kader is het dus niet nodig om een standaardbodem te definiëren, maar in breder kader kan dat wel zinvol zijn.

^p De andere stoffen van de stoffenlijst komen niet van nature voor, maar kunnen wel diffuse in de bodem voorkomen. Met dergelijke achtergrondwaarden moet zo nodig ook rekening worden gehouden. Daar zijn voor wat betreft Bonaire echter geen gegevens over beschikbaar.

4. Resultaten

De locatiebezoeken (8 en 9 februari 2024) komen als eerste aan de orde (4.1), en vervolgens de laboratorium resultaten (4.2) en kwaliteitscontrole (4.3).

4.1 Locatiebezoek

Consuelo is sinds 2005 actief als uitvaartcentrum, vanaf 2012 op de huidige locatie. Men verzorgt crematies vanaf 2014¹¹. Er hebben er 312 crematies plaatsgevonden vanaf de opening tot de dag van het locatiebezoek (8 februari 2024). Gemiddeld vindt dus om de week een crematie plaats. Ook worden huisdieren (wekelijks) en ledematen (om de week) verbrand. De kist mag niet mee in de oven. Men krijgt een kartonnen kist. Kleding mag wel aanblijven (liefst licht, en liefst geen schoenen).



Figuur 2: Foto's

a. Zijaanzicht van de oven (tijdens een toelichting van de operationeel manager, Rene Sedney). De naverbrandingskamer is linksachter en de rooksensor zit in de schoorsteen (links en rechts van de schoorsteen, deels verscholen achter een [gele] leiding).

b. Vooraanzicht van de oven, geopend en met de naverbrander aan.

Crematies worden verzorgd door een klein vast team (directeur en operationeel manager). De oven is simpel (geen rooster of kijkglas, weinig randapparatuur) en heeft een naverbrander achter de oven (foto 2a en b). Er zit een rooksensoren (foto 2a) in de schoorsteen (onder het dak, fotometrisch). Als deze aanslaat volgt een automatische stop.

De naverbrander (foto 2a, b) vormt 'het hart' van de installatie, en zorgt ervoor dat er geen verontreinigingen uit de schoorsteen kunnen ontsnappen. Bij een vervolfbezoek op 9 februari tijdens een crematie was er inderdaad geen uitstoot uit de schoorsteen waarneembaar (foto 3a: alleen trillende lucht c.q. warmtegolven).

Het stookproces heeft 3 fasen: Eerst wordt de naverbrander opgestookt tot rond de 1400 °F (760 °C, foto 3b), en vervolgens wordt de oven bijgezet, eerst op laag en vervolgens op hoog vuur. Een crematie duurt 2 – 3 uur. De aansturing is in belangrijke mate handmatig, en wordt afgestemd op de omvang van het stoffelijk overschot. Dit scheelt brandstof maar vraagt wel expertise. Hoog/laag vuur wordt handmatig in- en bijgesteld, evenals de zuurstof toevoer. De naverbrander schakelt automatisch uit en aan tussen 1385 °F en 1415 °F.



Figuur 3:

a. 'Uitstoot' uit de schoorsteen tijdens een crematie. Er zijn alleen luchtrillingen te zien.

b. Deel van het controlepaneel met de temperatuur van de naverbrander. De crematie was ingesteld op 180 minuten en na 25 minuten (nog 155 min te gaan) was de naverbrander op temperatuur, en kon fase 2 worden opgestart.



4.2 Laboratoriumanalyses

De laboratoriumuitslagen zijn gegeven in Tabel 3 voor de fysische en chemische macroparameters (Onder) en de chemische microverontreinigingen c.q. de risicovolle stoffen (boven).

Fysische macroparameters^q

Alle drie de verzamelmonsters zijn afkomstig van alluviale zandgrond. De percentages zand zijn hoog, rond de 80%. De korrelgrootteverdeling - de fracties zand, leem en klei - van de monsters komt overeen met zandgrond^r. Deze waarden wijken af van de typering van Bonairiaanse bodems door Nolet en van der Veen (WuR 2009). De percentages klei en met name zand zijn hier hoger, terwijl de percentages leem juist flink lager zijn dan bij Nolet en van der Veen.

De monsters wijken zeer sterk af van de Nederlandse standaardbodem (10% organisch stof en 25% lutum/klei). Het organisch stofgehalte is zeer laag, rond de 0,5%, een orde van grootte lager dan in een Nederlandse standaardbodem (10%) en op de ondergrens van wat in Nederlandse bodems voorkomt (0,5 – 20%)¹². Het kleigehalte is ook veel lager dan in een standaardbodem, namelijk globaal 8-10% in plaats van 25%.

Chemische macroparameters

Het kalkgehalte van de monsters is laag (CaCO_3 : 4 – 6%) en past niet bij kalksteen of een biogene oorsprong van de zandfractie (zie verder: Discussie).

Risicovolle stoffen

Zorgpunten bij crematoria zijn kwik en dioxinen/furanen. De dioxinen/furanen uitslagen van het Westelijk monster en voor het verkeer liggen beneden de detectielimiet. In het Zuidwestelijk monster zijn wel enigermate dioxinen/furanen aangetroffen. Er zijn geen broomhoudende verbindingen of polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) aangetroffen (boven de detectielimiet) en de metaalgehalten blijven allemaal ver beneden de interventiewaarden. De metaalwaarden liggen op het niveau van de achtergrondwaarden, al is er geen relatie met een bepaald bodemtype waarneembaar. Belangrijkste is dat er geen kwik is aangetroffen boven de detectielimiet.

4.3 Kwaliteitscontrole

Er is gewerkt met deel- en verzamelmonsters. Alleen de verzamelmonsters zijn geanalyseerd. Voor het andere onderzoek zijn wel aanvullend twee deelmonsters elk apart geanalyseerd. Dit is mede een kwaliteitscontrole. De resultaten daarvan kwamen op onderdelen niet goed overeen met die van het deelmonster, hetgeen tot heranalyses van de monsters van beide onderzoeken heeft geleid. De heranalyse heeft niet geleid tot verandering van getalswaarden van dit onderzoek

^q De waarden moeten formeel worden betrokken op de gehalten droge stof (d.s.). Dat is hier achterwege gelaten, omdat de d.s.-gehalten allemaal tegen de 100% liggen. De verschillen zijn verwaarloosbaar.

^r Zandgrond bevat 0 tot 8% lutum. In kleigronden zit meer dan 25% lutum. Lichte kleigronden hebben 25-35% lutum en matig en zware kleigronden meer dan 35% lutum. Zandgronden kunnen verder worden ingedeeld naar hun leemgehalte. Leem is, in tegenstelling tot klei, door de wind afgezet (0-50 μm). Leem-arm zand bevat 0-10% leem en leemgrond meer dan 50% leem.

<https://nutrinorm.nl/bodem/aandachtspunten-op-zand-klei-en-veenbodems/indeling-van-de-grondsoorten/>

Parameter	Eenheid	Crematorium		Verkeer	Achtergrond waarden			Interventie waarden		
		West	Zuidwest		Diabaas	Kalksteen	Nederland			
Dioxinen en furanen PCDD/F (WHO-TEQ 2022)	ng/kg	0,79-9,23	15,3-19,9	1,66-9,5	nvt			180		
Polybroomdifenylethers (PBDE)	ng/kg	allemaal < detectielimiet								n.v.t.
Hexabroomcyclododecaan (som alfa, beta en gamma-HBCD)	µg/kg	allemaal < detectielimiet: 5 dus HBCD-som: 0 - 15								
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen PAK (VROM-10)	mg/kg	allemaal < detectielimiet: 0,05 dus VROM-10: 0 - 0,5			-	-	1,5	40		
Hg	mg/kg	<0,10	< 0,10	<0,10	0,067	0,035	0,15	36		
Zn	mg/kg	55	100	66	270	14	140	720		
Cd	mg/kg	0,14	0,18	0,17	0,28	0,28	0,60	13		
Ni	mg/kg	43	32	22	59	7,8	35	100		
Pb	mg/kg	3,0	4,5	6,4	42	9,1	50	530		
Cr-VI	mg/kg	<2,0	2,6	< 2,0	<i>Cr_{tot}: 84</i>	<i>Cr_{tot}: 32</i>	-	78		
Zand	%	83,0	74,0	79,0	-	-	nvt	n.v.t.		
Leem	%	6,6	15,0	14,0	-	-				
Klei (lutum)	%	9,9	10,0	7,8	-	-				
d.s.	%	97,3	97,6	98,5	nvt	nvt				
CaCO ₃	%	<4,2	<4,2	6,3	laag	hoog			-	
Organische Stoffen (TOC/OC: Total Organic Content)	%	0,49	0,56	1,3	nvt					

Tabel 3: Laboratoriumuitslagen van de twee monsters voor het crematorium en de verkeersreferentie, inclusief achtergrondwaarden van relevante zware metalen in Bonaire (Grontmij 2012) en interventiewaarden (voor standaardbodem). De achtergrondwaarden voor chroom zijn grijs schuin gedrukt. Er zijn namelijk geen achtergrondwaarden specifiek voor chroom-VI (veelal geschreven als Cr-VI of Cr⁶⁺) maar alleen voor chroom-totaal.

5. Discussie

5.1 Regels voor crematoria

Voorop staat dat het aantal crematies dermate laag is dat er geen relevante verontreinigingen in de omgeving zijn te verwachten. Er zijn ook geen klachten van omwonenden. Integendeel, de naaste buurman heeft juist complimenten gegeven. Er zijn wel klachten over de vuilverbrander. Dat was de reden om onderzoek te starten. Het crematorium is alleen voor de volledigheid meegenomen, om beide verbrandingsovens van Bonaire in beeld te krijgen.

Er is geen inzage geweest in de vergunning. De oven heeft enkele beperkingen ten opzichte van de regelgeving⁵, maar het is de vraag hoe erg dat is:

- Het gebrek aan een automatische registratie stoort. Een handmatige registratie is er evenmin. Er is geen logboek beschikbaar. Het stookproces valt als gevolg niet achteraf te controleren;
- De onderhoudstoestand is goed, en men heeft regelmatig contact met de fabrikant. Er is niet gevraagd naar het onderhoudsschema;
- Men stookt op flessengas. Het is onzeker of er sprake is van een Low-NO_x brander, maar de handmatige bijsturing van de verbranding helpt in ieder geval de stookbelasting te beperking;
- Er is geen filter voor afvang van deeltjes. Het ontbreken van een kist en het zeer lage aantal crematies maakt dat ook begrijpelijk;
- Er is geen noodaggregaat. In het begin had men die wel, maar toen die aan vervanging toe was, is er geen nieuwe gekomen. Een noodaggregaat vergt onderhoud en is naar zeggen in de praktijk, ook nadien, nooit nodig geweest.

5.2 Laboratoriumuitslagen macroparameters

Nevendoelstelling van de onderzoeken voor het OLB was om meer inzicht in de milieusituatie te krijgen. Bodemstof is als intercompartimentale matrix in principe zeer geschikt voor milieumonitoring, althans voor wat betreft deeltjesvormige milieubelastingen. De huidige onderzoeken bieden een eerste aanzet, maar zijn onvoldoende basis om keuzen te maken. De waarde van bodemstof voor milieumonitoring moet zich nog bewijzen en wordt hierna besproken. Bovendien zijn stappen nodig om een effectieve monitor te realiseren. Milieu is vooralsnog niet eenduidig belegd. Ruimtelijke ordening, natuur en publieke gezondheid delen de verantwoordelijkheid voor milieu. Dat kan op zich, maar vereist wel afspraken omtrent voorzitterschap (bijvoorbeeld wisselfunctie afhankelijk van het onderwerp), doorzettingmacht en publieke verantwoording. Ook behoeven de milieu-competenties van de drie sectoren aandacht.

Bodemstof is praktisch gezien relatief eenvoudig te bemonsteren door lokale werkkrachten. Laboratoriumanalyses gaan merendeels de mogelijkheden van het lokale laboratorium (Bonlab) te boven, maar kunnen op afstand worden verricht. Het punt is alleen dat er nauwelijks verontreiniging is aangetroffen. Dat maakt het onzeker of bodemstof wel zo'n geschikte matrix is om milieuverontreinigingen aan te tonen. Ten eerste lijkt bodemstof vooral uit grove zandkorrels te bestaan, terwijl chemische

⁵ Er is een crematiewet BES (<https://wetten.overheid.nl/BWBR0028203/2011-10-04>). Deze bevat juridische regels, geen technische. Technische regels staan in het Nederlandse activiteitenbesluit leefomgeving (Bal). De eisen van een crematorium staat in §3.7.4 en de milieubelasting in §4.54, Artikel 4.634 – 4.646. Hieraan is getoetst.

verontreinigingen zich veeleer in of aan fijne gronddeeltjes bevinden (fijn stof, klei en eventueel leem. Zie verder: Kwaliteit). Ten tweede is de ene zandkorrel de andere niet. De aard en oorsprong van zandkorrels behoeft nadere duiding (zie Box 4). Mede in verband daarmee is ook de verblijftijd van bodemstof op een bepaalde locatie een groot vraagteken. *Last but not least* is het intercompartimentale karakter weliswaar mooi als integrale matrix, maar anderzijds ook lastig te interpreteren. Daarbij is het ook de vraag in hoeverre de logischerwijs benodigde interdepartementale beoordeling en besluitvorming haalbaar is in de Bonairiaanse bestuurscultuur.

Box 4: Zand

Bodemstof te Bonaire lijkt vooral te bestaan uit zandkorrels. Althans zijn in dit onderzoek hoge percentages zand aangetroffen: 74 – 83% in dit en 79 – 87% in het andere onderzoek. Zand is een verzamelnaam voor deeltjes van 0,05 – 2mm^t. Zanddeeltjes hebben een diverse oorsprong. Het kan worden gevormd door verwering en erosie van gesteenten, detritisch zand genoemd, maar kan ook biogeen ontstaan, vooral onderwater, uit koraal en schelpen, of van humane bronnen afkomstig zijn. Erosie van gesteenten, zoals (primair) diabaas en (secundair)^u kalksteen, wordt vooral aangedreven door zon en regen, maar staat ook onder invloed van andere factoren zoals het zuurgehalte van gesteenten. Biogeen zand komt vooral uit zee, en wordt gevormd door de stroming, golven en stormen. Biogeen zand is afkomstig van plantaardig en dierlijk materiaal, zoals schelpen, koraal dat wordt gemalen door papegaaivissen, of en skeletresten van zeeorganismen zoals foraminifera. Humane bronnen zoals verkeer veroorzaken vooral fijn stof en wordt vooral via de wind verspreid, zoals vliegias.

Vormen van fysisch onderscheid van zandkorrels zijn onder meer¹³: fijn (bijvoorbeeld eolisch) of grof (bijvoorbeeld alluviaal), hoekig (op land gevormd) of afgerond (onder water of eolisch), glanzend (jong) of mat (oud).

De chemische samenstelling van zand hangt af van het oorspronkelijke materiaal waaruit de zandkorrels voortkomen¹⁴. Detritisch zand is afkomstig van graniet of basalt (diabaas) en heeft een hoog gehalte aan veldspaat, mica en kwarts. Biogeen zand is meestal calciumcarbonaat (CaCO₃). Door verwering of erosie verandert de chemische samenstelling doorheen de tijd. De hardste materialen blijven over. Bij detritisch zand is dat kwarts (silica, SiO₂), het hoofdbestanddeel van zandkorrels. Zand dat alleen uit kwartskorrels bestaat is wit, maar zand van kalksteen of biogene oorsprong kan ook wit zijn of een heel lichte kleur hebben. Kleuren wijzen op de aanwezigheid van sporenelementen. Zo wijzen geel, bruin en rood op de aanwezigheid van ijzer; blauw op kobalt en groen op koper of chroom.

In het huidig onderzoek is de fysische vorm van de zandkorrels niet bepaald, en de chemische samenstelling alleen in beperkte mate. Met name is het kalkgehalte bepaald en in twee monsters ook het ijzergehalte. Het mediane CaCO₃-gehalte is 5,3%, en voor beide onderzoeken tezamen 5,4%. Een biogene oorsprong of kalksteen liggen als gevolg niet in de rede. De ijzergehalten zijn met 5% ook te laag voor diabaas, en alluviaal sediment is op de monsterlocaties van dit onderzoek minder logisch. Al met al valt het zand in bodemstof niet goed te relateren aan een bepaald bodemtype.

^t Er is een NEN-norm voor grondboringen (vanaf 1989 NEN5104, vanaf 2019 NEN14688) daarin was en is de ondergrens van zandkorrels op 0,063mm oftewel 63 µm bepaald. In de praktijk wordt vaak 0,05 mm gebruikt, waaronder door Nolet (WuR 2009) voor fijn stof op Bonaire, en ook door het SGS-laboratorium, dus hier.

^u Primair heeft betrekking op het oorspronkelijk vulkanisch stollingsgesteente, secundair op nadien aan het bodemoppervlak vervormd gesteente (erosie, water, biogeen). Ook is er tertiair (metamorfe) gesteente dat diep onder de grond door temperatuur en druk verandert van vorm en (moleculaire) samenstelling, zie b.v. <https://edelstenen-mineralen.nl/3-vormingsprincipes/>.

Enkele achtergronden worden belicht om nut en noodzaak van bodemstof als milieumonitor in te kaderen.

Bodemtypering

Bodemtypering is van belang als vergelijkingsbasis:

- Natuurlijk voorkomende stoffen worden primair vergeleken met de achtergrondwaarden, die kunnen verschillen tussen verschillende bodemtypen;
- Bodemnormen zijn afgestemd op een standaardbodem. De normwaarden behoeven aanpassing voor niet-standaardbodems (zie tevoren, Box 2 & 3), en bodemtypering is nodig om een standaardbodem af te kunnen leiden.

Bonairiaanse bodems wijken sterk af van Nederlandse bodems. Bonaire heeft vooral diabaas en kalksteen in plaats van klei-, zand en veengronden. Dat vraagt om een ander soort typering. Directe blootstellingsroutes zoals met name inname/ingestie van gronddeeltjes staan los van een standaardbodem. In breder kader kan het echter wel degelijk zinvol zijn om de bodemnormen af te stemmen op de eigen Caribische bodems.

Bonaire heeft diabaas- en kalksteenbodems en alluviaal sediment. Die zijn visueel te herkennen, en zo nodig te identificeren aan de hand van de fractie zand, en de gehalten kalk, silicium en ijzer. Onderscheid tussen diabaas en kalksteenbodems is in ieder geval zinvol om de achtergrondwaarden van natuurlijk voorkomende stoffen zoals metalen te bepalen. Mogelijk geldt dit ook voor alluviaal sediment.

Hoe Bonairiaanse bodems moeten worden gekarakteriseerd ten behoeve van de normering is onduidelijk. Logischerwijs is daarbij onder meer het organisch stofgehalte relevant, omdat chemische stoffen van organische aard zich vooral in die fractie bevinden.

Bodemtypering heeft beperkt nut voor bodemstof. Dit geldt temeer daar het Zuidwestelijk monster volledig en de verkeersreferentie deels bestaan uit straatstof. Er is een consistente afname van het percentage zand van West: 83% > verkeer: 79% > Zuidwest: 74%, alsmede een consistente toename van het percentage leem van West: 7% > verkeer: 14% > Zuidwest: 15%. Dit past bij het beeld dat het Westelijk monster van het crematorium afkomstig is van alluviaal sediment, terwijl het verkeersmonster is gemengd met straatstof en het Kralendijk monster merendeels uit straatstof bestaat. Een tweede aanname daarbij is dat zandkorrels in het stedelijk gebied van Kralendijk vooral door water worden vervoerd en afgezet, terwijl leem vooral windgevoelig is. Hoe dan ook lijkt het er sterk op dat straatstof weinig relatie heeft met het bodemtype. En ook meer in het algemeen is de indruk dat de samenstelling van bodemstof weinig te maken heeft met die van het bodemtype.

Bodemhorizonten

Als bodemstof niet goed past bij het onderliggende bodemtype, dan valt het misschien op te vatten als een eigenstandige bodemhorizon of horizont. Een bodemhorizon is een laag parallel aan het bodemoppervlak waarvan de fysieke, chemische en biologische kenmerken verschillen van de lagen erboven en eronder¹⁵. Horizonten worden in veel gevallen gedefinieerd door duidelijke fysieke kenmerken zoals kleur en textuur.

Er is geen informatie beschikbaar over bodemstof als bodemhorizont¹⁶. Op het eerste gezicht lijkt bodemstof te voldoen aan de criteria van een bodemhorizont, maar bij nadere beschouwing zeker niet. De fysieke en chemische eigenschappen en de textuur zijn weliswaar anders dan van de onderliggende bodems, maar daar ligt geen langdurig proces van bodemvorming aan ten grondslag. Ook vormt bodemstof geen continue laag, één die overal aanwezig is, maar is het veeleer een 'fijnmazig net' met variabele omvang en samenstelling al naar gelang het ruimte- en bodemgebruik. Hoe dan ook, het is en

blijft zaak om de samenstelling van bodemstof eigenstandig te beoordelen, en daarbij rekening te houden met het samenspel der elementen.

Relatie van bodemstof met erosie

Bodemstof ontstaat uit vele bronnen, zoals natuur, landbouw, bouw, verkeer en industrie. De belangrijkste bron van bodemstof op Bonaire is naar verwachting erosie.

Erosie resulteert in bodemstof en fijn stof, aangedreven door wind en regen. Het beïnvloedt de lucht-, water- en bodemkwaliteit. Wateroverlast zowel als stofoverlast spelen een rol. De invloed van wateroverlast is massief, maar blijft tot één of enkele gebeurtenissen in het orkaan- en regenseizoen. De invloed van stofoverlast is minder massief van aard, maar speelt wel vrijwel het hele jaar door. In bodemstof te Bonaire zit tot 5% zwevend fijn stof (WuR2009) en in fijn stof zit 5-20% bodemstof, althans in Europa.¹⁷ De verblijftijd van bodemstof op een bepaalde locatie is als gevolg naar verwachting beperkt. Om hier meer zekerheid over te krijgen lijkt het verstandig om de milieubelasting van bodemstof voor en na de regentijd te vergelijken.

Beleid inzake bodemstof pakt anders uit in bewoond en stedelijk gebied dan in meer landelijk gebied. In woon, werk en recreatiekernen staat gezondheidsbescherming centraal. In landelijk gebied gaat het er vooraleerst om de erosie te stoppen. Erosie, op de schaal van Bonaire, raakt op termijn de hele samenleving. Gezondheidsrisico's door erosie liggen in de rede. Dit maakt erosie een publiek gezondheidsissue.

5.3 Laboratoriumuitslagen risicovolle stoffen

In het Zuidwestelijk monster zijn enige dioxinen/furanen aangetroffen. Die bevinding is niet goed te verklaren. Dit monster valt buiten de heersende windrichting voor het crematorium en is veeleer representatief voor het ziekenhuis. In het ziekenhuis bevindt zich – voor zover bekend - geen stookinstallatie waar dioxine-vorming kan plaatsvinden^v. De aangetroffen waarden (15 – 20 ng/kg) zijn redelijk vergelijkbaar met Nederlandse 'achtergrond' waarden in diffuus belaste gebieden zoals de uiterwaarden langs de Waal¹⁸ (achtergrondwaarden: 5 – 15 ng/kg). Er zijn meerdere oorzaken denkbaar. Het meest logisch lijkt a. illegale branden in de buurt, b. een oude lokale bron, of -minder logisch - c. een bron die met wateroverlast is meegekomen:

- a. De Bonairiaanse bevolking is van oudsher gewend om tuin en ander restafval te verbranden (zie Box 4 volgende bladzijde). Sinds de opkomst van plastics na de tweede wereldoorlog¹⁹ is dat eigenlijk niet zondermeer verantwoord mogelijk. Althans is het risicovol om chloorhoudende plastics mee te verbranden. Dioxinevorming vindt alleen plaats als men chloorhoudende producten verbrandt bij relatief lage temperaturen (250 – 450 °C), zoals bij ongecontroleerde buitenbranden. Bovenwinds van het crematorium en het ziekenhuis is allerlei *mondi* waar dergelijke branden illegaal kunnen hebben plaatsgevonden;
- b. Een lokale oude bron die nadien meer diffuus is verspreid lijkt een logische verklaring. Op het parkeerterrein van het ziekenhuis lag bijvoorbeeld oud afval (bouw, matrassen?) in de buurt van de monsterplekken. Ook stond er een elektriciteitshuisje. Dioxinen/furanen zijn zeer persistent en kunnen tientallen jaren in de bodem blijven zitten. Oude bronnen kunnen ook op termijn een meer diffuse algemene achtergrond veroorzaken, zoals in voornoemde gebieden langs de Waal;
- c. De aangetroffen dioxinen/furanen kunnen zijn meegevoerd met wateroverlast van elders. Bijvoorbeeld in november 2022 (WuR 2023) is het ziekenhuis enkele dagen gesloten geweest omdat de omgeving blank stond. Dan is het echter

^v Er zijn alleen afvoerkanalen op het dak zichtbaar van afzuiging, air conditioning en dergelijke.

vreemd dat er geen dioxinen zijn aangetroffen in de monsters van andere plekken die toen waren ondergelopen, zoals Kralendijk centrum. Desgewenst kunnen de twee deelmonsters van de verkeersreferentie elk apart worden geanalyseerd om dit uit te sluiten. Kralendijk centrum staat namelijk regelmatig onder water, maar Kaya Korona niet^w.

Verder onderzoek is niet goed mogelijk in dit kader^x, of moet met fijngevoeliger instrumentarium plaatsvinden. Echter, het lijkt veeleer zaak om de afvalstromen van het ziekenhuis nader onder de loupe te nemen. Een goede start zou zijn om procesbeschrijvingen van de diverse afvalstromen te maken.

Box 4: Illegale branden

Het illegaal verbranden van tuinafval samen met restafval, waaronder plastics, is zorgwekkend. Hoogenboom et al (2021)²⁰ vonden hoge gehalten dioxinen in vrij rondlopende varkens, geiten, schapen en koeien te Curacao, en weten dit aan de illegale branden. De situatie op Bonaire is naar verluidt niet anders. Illegale branden zijn doorgaans gereguleerd in de Algemene Plaatselijke Verordening (APV). Bonaire beschikt niet over een APV. Wel is er een Algemene Politiekeur uit 1918, waarvan modernisering in discussie is^{21 22}, en waarin illegale branden zouden kunnen worden opgenomen. Een (aanvullend) alternatief is om te werken aan het milieubewustzijn. Deze situatie is enigszins vergelijkbaar met die van allesbranders in Nederland. Voorheen verstookte men daarin alles wat in huis en brandbaar was. Na voorlichtingscampagnes door onder meer GGD'en is dat veranderd. Velen beseffen tegenwoordig de risico's van ongecontroleerde stookpraktijken. Daarnaast hebben Gemeenten de mogelijkheid gekregen om het gebruik van deze kachels te reguleren²³.

Verkeer

De laboratoriumuitslagen voor verkeer zijn vergelijkbaar met die voor het crematorium. Er is geen profiel van verkeersemisies aangetroffen in bodemstof. Met name zouden PAK's (onvolledige verbranding), zink (slijtage banden) en zware metalen meer in het algemeen (benzine en diesel) zijn te verwachten. Echter, PAK's blijven beneden de detectielimiet en zware metalen beneden de (maximale) natuurlijke achtergrondwaarden. De uitslagen voor zink zijn niet aan verkeer te relateren^y. De voorzichtige conclusie in eerder onderzoek (Grontmij 2012) dat de verkeersemisies geen diffuse PAK-verontreiniging hebben veroorzaakt, wordt versterkt door het huidig onderzoek. Metingen van fijn stof en luchtkwaliteit meer in het algemeen ontbreken echter. Harde gegevens zijn er dus niet.

Het feit dat de verkeersemisies niet zichtbaar bijdragen aan de verontreiniging van bodemstof op drukke verkeerspunten is op zich goed nieuws voor een eiland met veel ecotoerisme. Alleen is dat ecotoerisme vooral gericht op het onderwaterleven. En voor het onderwaterleven kan dit minder goed nieuws zijn. Als de grond in de regentijd

^w Bij de wateroverlast in november 2022 zijn daar althans geen meldingen van wateroverlast gerapporteerd (WUR23, p 14, Fig. 5: Geographical overview of the impacts of the heavy rainfall on 8 November 2022, as reported in news and social media.).

^x Er waren 21 verschillende locaties nodig om één monsterpotje gevuld te krijgen met vooral straatstof. Een splitsing in deelmonsters voor nader onderzoek is niet mogelijk. En nieuwe monsters nemen per locatie is evenmin een optie.

^y De gevonden Zinkgehalten (55 – 100 mg/kg) liggen tussen de maximale achtergrondwaarden van diabaas (270 mg/kg) en kalksteen (14 mg/kg). De uitslagen in het andere onderzoek (zie technisch rapport, bijlage 7) bevestigen de hoge natuurlijke achtergrondwaarde van zink (vuilverbrander: 55 mg/kg; natuur Bolivia: 61 mg/kg; natuur Washington: 230 mg/kg).

inderdaad wordt schoongespoeld, dan komen de verkeersemisies van Kralendijk vooral via de rooien in het water langs de kust terecht.

5.4 Kwaliteit

Slechte timing onderzoek

Het onderzoek kon helaas pas ná het regenseizoen plaatsvinden. Het blijft als gevolg onduidelijk of er:

- a. geen relevante verontreiniging heeft plaatsgevonden;
- b. deze wel aanwezig is maar te zeer is verdund om nog aan te kunnen tonen, of
- c. wel aanwezig is geweest maar inmiddels is weggespoeld.

Dit beperkt de mogelijkheden om harde conclusies te trekken over gezondheidsrisico's.

Keuze voor depositie-onderzoek

Sterke punten:

Er is gekozen voor depositie-onderzoek, omdat het goed past bij de gezondheidsrisico's²⁴. Bodemonderzoek is daar minder geschikt voor, want de mens komt doorgaans alleen in contact met het oppervlak, de bovenkant van de bodem. Bodemstof past met name goed bij het 'kritieke grondgebruik'. Kleine kinderen met hand-mond-gedrag zijn de kritieke groep voor direct contact²⁵. Samenvattend valt bodemstof op te vatten als de laag van direct contact tijdens kinderspel.

Zwakke punten:

- Ingestie van bodemdeeltjes is afhankelijk van de gebruiksfunctie van de bodem, en varieert tussen wonen met of zonder tuin, moestuin, speelplaats, natuur en bedrijvigheid²⁶. In dit project is gekozen voor bemonstering van bodemstof met een stofzuiger. De zuigkracht van min of meer los bodemstof komt naar verwachting goed overeen met de kracht van de grijpgrage handjes van kleine kinderen. De zuigdiepte is afhankelijk van de bodemstructuur en varieert van globaal een millimeter (straatstof) tot globaal een centimeter (los zand). Dat past weliswaar bij hand-mondgedrag van kleine kinderen, maar beperkt de mogelijkheden tot standaardisatie van de monsternamen;
- Bodemstof is niet gedefinieerd naar aard, textuur of diepte. En de bemonstering van bodemstof is niet gestandaardiseerd, noch genormeerd. En de beschikbare protocollen zijn niet geschikt voor dit onderzoek. Er moest een eigen protocol worden ontwikkeld. Dit maakt een onderlinge vergelijking van de monsters mogelijk, maar beperkt de mogelijkheden voor vergelijking met andere onderzoeken;
- Er zijn geen milieunormen voor bodemstof. De Nederlandse bodemnormen zijn gebruikt. Alleen zijn Nederlandse bodems niet goed te vergelijken met Bonairiaanse bodems. De Nederlandse interventiewaarden bodemkwaliteit zijn bruikbaar voor een eerste screening, maar de bruikbaarheid en formele status van de normen voor bodemstof blijft onzeker.

Sterk en zwak tegelijk:

- Bodemstof is vooral geschikt voor historische depositie en niet voor een actuele uitstoot en depositie. De keuze voor bodemstof is gemaakt voor het andere onderzoek, naar de vuilverbrander²⁷, en niet zozeer voor het crematorium. Voor het crematorium zou een andere opzet met depositieplaten of knikkerbakken voor actuele

²⁷ Ten eerste ligt de vuilverbrander al ruim een jaar stil en gaat het dus alleen om historische depositie. Ten tweede zijn daar omwonenden met kleine kinderen die bodemstof inslikken met hand-mondgedrag.

depositie meer gepast zijn geweest. Gezien het geringe aantal crematies en de hoge stofgehalten in de lucht zou dit echter weinig kans van slagen hebben gehad. Veeleer zou dan een technische meting van de uitworp zijn aangewezen. Dat is sowieso vereist in de regelgeving, alleen zijn de kosten fors. De meerwaarde van zo'n technische meting is in deze situatie dus nogal onzeker. Enerzijds is er geen zichtbare uitstoot en zijn er geen klachten uit de omgeving. Anderzijds hoeft niet alle luchtverontreiniging zichtbaar te zijn. Hoe dan ook valt er op basis van bodemstof alleen geen onderscheid te maken tussen historische en actuele depositie (crematorium en referentiemonster);

- Los en losgewoeld bodemstof komt ook goed overeen met de laag waar resuspensie plaatsvindt door regen en wind (meegevoerd en opwaaiend stof). Bodemstof ligt op het raakvlak van bodem, water en lucht en ondervindt invloeden van alle drie. Het valt op te vatten als 'menglaag' van de drie milieucompartimenten. Dit maakt het enerzijds geschikt als matrix voor een integrale milieubeoordeling. Anderzijds geeft het alleen de resultante en blijven de oorsprong en samenhang van de diverse milieu-invloeden ongewis.

Beperkte omvang onderzoek

Het aantal geanalyseerde verzamelmonsters is minimaal (n: 3). Het aantal deelmonsters blijft ook zeer beperkt (n: 2x2). Dat beperkt de mogelijkheden tot vervolgonderzoek met de beschikbare monsters. De verwachting vooraf was dat de uitvoering van twee vergelijkbare onderzoeken voor twee verbrandingsovens vergelijkbare monsters zou opleveren. Dat klopt, alleen blijft het aantal monsters te klein voor een goede vergelijkingsbasis.

De noodzaak van 350g stof is de grootste beperkende factor. Voor bodemonderzoek is dat niet veel, maar voor bodemstof is het enorm, als men dat tenminste op gestandaardiseerde wijze wil verkrijgen. Eventueel vervolgonderzoek kan beter met verfijnder apparatuur plaatsvinden, zoals beschikbaar bij het RIVM.

Onzekerheid depositiegebied

Het depositiegebied van vliegias van het crematorium is onbekend. De monsternamelocaties zijn *best guesses*. En het back-up monster voor grotere depositie-afstanden ligt niet goed in de windrichting (Zuidwest in plaats van West). Honderd procent zekerheid is er dus niet dat het crematorium geen relevante hoeveelheid vliegias plus verontreiniging afgeeft. Tegelijk levert dit wel de toevalsbevinding op van een beperkte dioxinen/furanen verontreiniging rond het ziekenhuis die nadere aandacht vraagt, in eerste instantie intern in het ziekenhuis.

Geschiktheid bodemstof voor chemisch onderzoek

De geanalyseerde monsters bevatten nauwelijks organisch materiaal (0,5%, op de ondergrens van Nederlandse bodems), dus organische stoffen zoals dioxinen/furanen kunnen daarin nauwelijks absorberen. Bovendien bestaan de monsters vooral uit grove zanddeeltjes, Risicovolle stoffen kunnen als gevolg niet of nauwelijks absorberen in het bodemstof, maar moeten in hoofdzaak hechten/adsorberen aan de oppervlakte van de zand- en andere deeltjes. De mogelijkheden tot adsorptie zijn recht evenredig met het beschikbaar oppervlak. Meer oppervlak betekent meer plek voor adsorptie. Grote deeltjes zijn relatief volumineus en zwaar, terwijl fijne deeltjes juist relatief licht zijn en veel oppervlak hebben. Meer formeel gezegd neemt de OV-ratio (Oppervlakte-Volume-ratio) af met toenemende diameter. Zand blijft met andere woorden meestal relatief schoon. Eén en ander is gunstig voor de humane risico's, maar ongunstig als matrix om verontreinigingen aan te tonen. Indien bodemstof ook meer in het algemeen vooral uit zand bestaat en weinig organisch stof bevat, dan zou dit het minder geschikt maken voor chemisch onderzoek.

Kwaliteit monsternamen en analyses

De hoge fracties zand in de monsters bodemstof passen bij alluviaal sediment. Maar het kan ook een kwestie zijn van selectiebias. Om monsters te kunnen nemen met een stofzuiger, moet er wel wat te zuigen zijn. Oppervlakten met een losse zandige structuur komen dan als eerste aan bod, terwijl een harde ondergrond van bijvoorbeeld kalksteen niet goed valt te bemonsteren. Voor een beoordeling van de humane risico's is dat niet erg, maar voor een beoordeling van andere milieurisico's kan dit beperkingen met zich meebrengen.

De opzet met deel- en verzamelmonsters is een goed alternatief voor duplo-monsters en biedt mogelijkheden voor kwaliteitscontrole van de laboratoriumanalyses. Dit is gedaan in het andere onderzoek en heeft geleid tot diverse heranalyses van de monsters.

6. Conclusies en aanbevelingen

1. De laboratoriumuitslagen geven geen aanleiding om een relevante risicobijdrage te veronderstellen van crematorium vliegias. Dit is in lijn met de verwachting, al voldoet de installatie niet volledig aan alle regelgeving.
2. Het monster ter hoogte van het ziekenhuis geeft een ongewis beeld met verontreiniging van dioxinen/furanen zonder een duidelijke of eenvoudig te achterhalen bron. Illegale branden bovenwinds of een historische bron in of om het ziekenhuis zijn de meest logische verklaringen. Nader onderzoek naar de historische en actuele afvalstromen van het ziekenhuis ligt in de rede. Voor eventueel nader milieuonderzoek is het aangewezen om het RIVM te betrekken met een meer gevoelig instrumentarium.
3. Het blijft de vraag in hoeverre bodemstof een geschikte matrix is voor milieu-monitoring. Breder onderzoek naar de samenstelling van bodemstof en de plaatsgebonden verblijftijd in het milieu is aangewezen om hier antwoord op te krijgen.
4. Wateroverlast en stofoverlast zijn niet alleen milieuproblemen, maar kunnen ook gezondheidsrisico's veroorzaken, en behoeven inbreng vanuit publieke gezondheid.

7. Literatuur

7.1 Geraadpleegde literatuur

- Bentum, E van en T Pancras (Arcadis): Handreiking PFAS bemonsteren, v1.0. Expertisecentrum PFAS, Vereniging van Milieu Adviesbureaus (VVMA) en de Vereniging Kwaliteitsborging Bodem (VKB), 2020.
- Boer RA de, E. Molenaar, R Dankers, S van Klaveren, B de Rooij, P Verweij: Nature-based solutions for flood resilience on Bonaire; a scoping study. Wageningen (WuR), 2023.
- Buisonjé PH de en JIS Zonneveld: De kustvormen van Curacao, Aruba en Bonaire. *Nieuwe West-Indische Gids / New West Indian Guide*, vol. 40, 1960, pp. 121–44. *JSTOR*, <https://www.jstor.org/stable/41848918>. Accessed: 30 Mar. 2024.
- Ecovision: Verkennend onderzoek luchtverontreiniging afvalverbrandingsinstallatie Lagun; klachten omwonenden en modellering verspreidingsgebied, Emmastad (Curacao) april 2023.
- Grontmij: Verkennend bodemonderzoek Bonaire, Hoofd- en Bijlagenrapport. De Bilt (NL), december 2012.
- Hofstra U: ZZS in afvalstoffen, update 2019. SGS Intron (Spijkenisse, NL), rapport in opdracht van RWS, 2019.
- Nolet C. en M. van der Veen: Stofonderzoek Bonaire 2009. In opdracht van St. Kibra Hacha, WUR (Wageningen, NL), 2009.
- Ruimtelijk ontwikkelingsplan: Digitale kaart Bonaire, Rho adviseurs. <https://rho.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6cc4a2397de445e9849b6de08614134d>
- Strategische Milieubeoordeling Bonaire; behorende bij het ruimtelijk ontwikkelingsplan. RBOI (Rotterdam, NL), 2010.
- Vries, AJ de: The semi-arid environment of Curacao: a geochemical soil survey, *Netherlands Journal of Geosciences* Vol. 79, nr. 4, p. 479 – 494, 2000.
- Waterschap Rijn en IJssel: Integraal waterbeheer op Bonaire, Eindrapport, febr. 2023.
- Westermann JH en JIS Zonneveld: Geological and Land use map of Bonaire. Koninklijk Tropeninstituut (Amsterdam, NL), 1956.

7.2 Aanvullende referenties

- ¹ Openbaar Lichaam Bonaire > Bestuur & Organisatie: Organisatie. Access: 10 Mei 2024. <https://bonairegov.com/organisatie>
- ² Evaluatie risicobijdragen historische stofdeposities AVI-Selibon; projectopzet. P. van der Torn (Bandabou, Curacao), v3 van 21 november 2023.
- ³ Advies PG van 10 Januari 2024 aan het Bestuurscollege: Depositie metingen van zorgwekkende en zeer zorgwekkende stoffen mogelijk aanwezig nabij Selibon ten gevolge van gebruik Selibon Afval Verbranding Instalatie AVI door Risk-control N.V.
- ⁴ Informatiepunt Leefomgeving > Regelgeving > regels voor activiteiten > crematorium: Toepassingsbereik, melding en luchtvoorschriften crematorium (paragraaf 4.54 Bal). Access: 17 april 2024. <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/crematorium/>
- ⁵ Indeling in bodemfuncties en maximale waarden. Hfd 6, p. 51 - 70 in: NOBO: Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling; onderbouwing en beleidsmatige keuzes voor de bodemnormen in 2005, 2006 en 2007.
- ⁶ Informatiepunt Leefomgeving > Regelgeving > Regels voor activiteiten > Milieubelastende activiteiten hoofdstuk 3 Bal > Activiteiten die bedrijfstakken overstijgen: graven in bodem met een kwaliteit onder of gelijk aan de interventiewaarde bodemkwaliteit (§3.2.21 Bal) <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/milieubelastende-activiteiten-hoofdstuk-3-bal/activiteiten/graven-bodem-kwaliteit-gelijk-interventiewaarde/>. Access: 14 April 2024.
- ⁷ Informatiepunt Leefomgeving > Thema's > Bodem > Regelgeving > Hergebruik bouwstoffen, grond of baggerspecie > Kwaliteitseisen voor het toepassen van grond of baggerspecie: Normen en kwaliteitseisen bodem. Access: 22 April 2024. <https://iplo.nl/thema/bodem/regelgeving/hergebruik-bouwstoffen-grond-baggerspecie/kwaliteitseisen-toepassen-grond-baggerspecie/normen-kwaliteitseisen-bodem/>
- ⁸ Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013. Bijlage 2: Saneringscriterium: vaststellen van het risico voor de mens, voor het ecosysteem of van verspreiding. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2013-16675.html>
- ⁹ Besluit van 27 november 2020 tot wijziging van het Besluit activiteiten leefomgeving, het Besluit kwaliteit leefomgeving, het Omgevingsbesluit en enkele andere besluiten met het oog op het beschermen van de bodem, met inbegrip van het grondwater, en het duurzaam en doelmatig gebruik van de bodem (Aanvullingsbesluit bodem Omgevingswet). Bijlage Vb bij de artikelen 3.55 en 5.89J, 2^e lid van dit besluit (MTR) <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2021-98.html>
- ¹⁰ Lijzen, JPAAJ et al (2001): Reliability Score for human exposure and MPR. Appendix 4, p. 129 – 131 in: Technical evaluation of the Intervention Values for Soil/sediment and Groundwater, Human and ecotoxicological risk assessment and derivation of risk limits for soil, aquatic sediment and groundwater, RIVM-rapport 711701023, februari 2001, RIVM, Bilthoven. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701023.pdf>
- ¹¹ <https://www.consuelomemorial.com/over-ons/>
- ¹² Vlaardingen, P van en G Mol: Achtergrondconcentraties en relatie met bodemtype in de Nederlandse bodem. RIVM Rapport 711701074/2008
- ¹³ Geologie van Nederland > Ondergrond > Afzettingen en delfstoffen: Zand. Access : 1 juni 2024. <https://www.geologievannederland.nl/ondergrond/afzettingen-en-delfstoffen/zand>

-
- ¹⁴ Schoonheydt RA: Moet er nog zand zijn, Karakter; tijdschrift van wetenschap, zonder datum. <https://www.tijdschriftkarakter.be/moet-er-nog-zand-zijn/>
- ¹⁵ Terra index > Bodemonderzoek > Bodem > Bodem horizonten. Access: 22 April 2024. https://wiki.terraindex.com/bin/view/Environmental%20Surveys/Soil/Soil%20horizons/?language=nl_NL
- ¹⁶ Geologie van Nederland > Ondergrond > Bodems > Bodemvorming uitgediept. Access: 22 April 2024. <https://www.geologievannederland.nl/ondergrond/bodems/bodemvorming-uitgediept>
- ¹⁷ PBL > Publicaties: Bodemstof als component van fijn stof, 5 november 2010. <https://www.pbl.nl/publicaties/bodemstof-als-component-van-fijn-stof>
- ¹⁸ Noteboom S. et al: Transfer of dioxins and dioxin-like PCBs from grass and soil to meat of wild cattle grazing in floodplains in the Netherlands; RIVM letter report 2021 -0142. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2021-0142.pdf>
- ¹⁹ Homburg E et al: Nieuwe synthetische producten; plastics en wasmiddelen na de Tweede Wereldoorlog. Hfd 6, p. 359 - 367 in: Bruhèze, Lintsen, Rip en Schot (Red). Techniek in Nederland in de Twintigste eeuw, Deel 2. Delfstoffen, energie, chemie (2000). Stichting Historie der Techniek, Walburg pers https://chg.kncv.nl/l/library/download/urn:uuid:b8aa5436-53e2-4141-a590-80f0271b65e8/tin-20-chemie-hfst-6.pdf?format=save_to_disk&ext=.pdf
- ²⁰ Hoogenboom LAP, G ten Dam, SPJ van Leeuwen, H van Egmond, J Nicolina, AJS Dwarkasing: High levels of dioxins and PCBs in meat, fat and livers of free ranging pigs, goats, sheep and cows from the island of Curaçao, Chemosphere, Volume 263, 2021, 128057, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128057>.
- ²¹ Brief van de Minister van J&V. Dossier 29279 Rechtstaat en rechtsorde, Nr.538. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-29279-538.html>
- ²² Raad voor de Rechtshandhaving: De staat van de rechtshandhaving Caribische Nederland 2018. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-900993.pdf>
- ²³ Lucht: Regels voor houtstook vanuit woningen. Access: 29 April 2024. <https://iplo.nl/thema/lucht/regels-houtstook-vanuit-woningen/>
- ²⁴ <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-media-soil-and-dust>
- ²⁵ Moya, J., Phillips, L. A review of soil and dust ingestion studies for children. *J Expo Sci Environ Epidemiol* **24**, 545–554 (2014). <https://doi.org/10.1038/jes.2014.17>
- ²⁶ Waarden voor groningestie voor verschillende bodemgebruiksvormen. Tabel 5.4 p. 63. In: PF Otte et al: Diffuse loodverontreiniging in de bodem; advies voor een gemeenschappelijk beleidskader. RIVM-rapport 2015-0204. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0204.pdf>