



*Depositie-onderzoek
afvalverbrandingsinstallatie te Lagun,
Bonaire*

Pieter van der Torn
Definitief v.1.0, 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.....	7
3.4 Laboratorium en analyses	11
3.5 Selectie van stoffen	12
3.6 Beoordelingskader.....	13
4. Resultaten	16
4.1 Inleiding	16
4.2 Laboratoriumanalyses	16
4.3 Kwaliteitscontrole	18
5. Discussie	19
5.1 Inleiding	19
5.2 Laboratoriumuitslagen macroparameters.....	19
5.3 Laboratoriumuitslagen risicovolle stoffen	21
5.4 Kwaliteit.....	22
6. Conclusies en aanbevelingen	25
7. Literatuur	27
7.1 Geraadpleegde literatuur.....	27
7.2 Aanvullende referenties	28

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 de vuilverbrander, of formeel: de afvalverbrandingsinstallatie (AVI) te *Lagun*. Er is een apart rapport voor het crematorium.

Het *Openbaar Lichaam Bonaire* (verder: OLB) heeft een taakgroep ingesteld, vanwege zorgen over de vuilverbranding die voorjaar 2023 is gestopt^a. 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* (PG) 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.

^a De vuilverbrander is in maart 2023 stilgelegd. In juli 2023 heeft er nog een kortdurende test plaatsgevonden met vuilverbranding gedurende 3 dagen.

2. Vraagstelling

2.1 Vraagstelling

De taakgroep heeft drie vragen, in enge zin en in breder milieukader:

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

Ad a. *Selibon* doet verbrandingstests en verricht uitworpmetingen om na te gaan in hoeverre een heropstart verantwoord mogelijk is. Deze metingen vallen buiten het bestek van het onderhavige onderzoek.

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 er nog vlieggas aantoonbaar is in het bodemstof in het (bekende) depositiegebied van de vuilverbrander.

Er is gekozen voor historisch depositie-onderzoek in bodemstof (Box 1). Bodemstof is bemonsterd en geanalyseerd op een breed scala van toxische stoffen³. Analyses van kippeneieren waren voorzien, maar er bleken onvoldoende vindbare eieren in de directe leefomgeving te zijn.

Het onderzoek is vergelijkenderwijs opgezet, met referentiemonsters in stedelijke en natuurlijke omgeving.

Er is een monsternameprotocol opgezet, om de monsters onderling vergelijkbaar te maken. Het protocol omvat een stofzuiger (kruimeldief), een meetraam en een manier van zuigen.

Het onderzoek heeft plaatsgevonden vlak vóór de verbrandingstests (ad a.) van februari 2024. Dit was de laatste mogelijkheid om nog conclusies te kunnen trekken over de historische bijdragen. Na de uitworptests zou geen goed onderscheid meer mogelijk zijn tussen actuele en historische deposities.

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

Het is historisch onderzoek, want de vuilverbrander lag op het moment van onderzoek al bijna een jaar stil. Historisch onderzoek heeft alleen zin voor persistente en/of bio-accumulatieve stoffen, die lang in het milieu aanwezig kunnen blijven en in organismen in de voedselketen kunnen ophopen. De geselecteerde stoffen zijn dat en kunnen lange tijd na het staken van de uitworp nog risicovol blijven voor omwonenden. Publieke gezondheid wil weten in hoeverre dergelijke risico's hier spelen.

Depositie-onderzoek gaat (in dit verband) over de luchtverontreiniging van een bron die tot een jaar geleden in de omgeving op het bodemoppervlak is neergedaald. Van gladde oppervlakken is na een jaar alles allang verdwenen, en na de regentijd zit de eventuele verontreiniging ook niet of nauwelijks meer op de vegetatie. Als er verontreiniging is achtergebleven, dan zit die naar verwachting in het bodemstof, of is die opgenomen in de voedselketen.

2.2 Reikwijdte

Alleen de vuilverbrander

Het gaat hier over de vuilverbrander en niet over de vuilstort, de opslag van asbest of de branden van mei 2024. Andere *issues*, zoals geur, geluid en externe veiligheid blijven buiten beschouwing, evenals horizonvervuiling, besmettingsrisico's, ongedierte, insecten en zwerfvuil. Daarbij passen deels ook andere beoordeling- en beleidskaders: ruimtelijk en hygiënisch.

Alleen historisch

De vuilverbrander is al tijden buiten gebruik (maart 2023). Mogelijk is alle depositie intussen weggespoeld in het regenseizoen (okt 2023 – jan 2024). Maar als er nog risicovolle stoffen van vliegias in het milieu aanwezig zijn, dan bevinden deze zich in het bodemstof en zijn mogelijk nog te identificeren. Het kan ook zijn dat risicovolle stoffen zijn opgenomen in de voedselketen en daar zijn te identificeren.

Alleen bodemstof

Het gaat in dit onderzoek over bodemstof en niet over zwevend fijn stof, zoals in het onderzoek van Nolet en van der Veen (WuR 2009). Er is allang geen zwevend stof van de vuilverbrander meer in de lucht. Het fijn stof in de lucht te Lagun is afkomstig van andere bronnen zoals met name het verkeer. Ook valt opwaaiend bodemstof te verwachten (verstuiwing/resuspensie), met name van de fijne fractie. Gezien de gemiddelde windsnelheid op Bonaire van 7m/sec en de lokale omgeving met weinig begroeiing kunnen de regentijd en verstuiwing hebben gezorgd voor de verdere verspreiding van eventueel vliegias naar verderop en lagergelegen gebieden.

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	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 (zie Technisch rapport).

Er is een database (KNMI uurgegevens eind 2016 – begin 2024) geanalyseerd op neerslag en wind. Resultaten zijn een meerjaren (2018 – 2023) windroos (gestileerd, zie verder Figuur 1) en een overzicht van hoosbuien en zwaar weer in de afgelopen jaren (zie onder).

Uit het literatuuronderzoek (Bijlagen 1 -3) komt naar voren dat het meeste regenwater verdampt (85%), maar er ook regelmatig wateroverlast optreedt (WuR09). Gemiddeld (2017 – 2023) zijn er 1 - 2 hoosbuien (>25mm/u) en 1 -2 dagen zware regenval (>50mm/d) per jaar. Naar verwachting zijn vooral dergelijke gebeurtenissen instrumenteel voor de mobiliteit van bodemstof (zie tevoren: Vraagstelling, opwaaiend stof). 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).

3.3 Meetstrategie

Een beschrijving volgt van de monstername van bodemstof (a) en het verkrijgen van kippeneieren (b).

a. Bodemstof

Monsternameprotocol

Bij gebrek aan een standaard voor monstername van bodemstof is een protocol opgesteld (zie Technisch rapport, bijlage 4). Het instrumentarium bestaat uit een stofzuiger (kruimeldief) en een meetraam (1m²), en is aangevuld met een vaste manier van zuigen, in stand recht onder de stofzuigermond, zonder te vegen of bewegen (stabiele houding). Er is voor elk verzamelmonster apart een kruimeldief aangeschaft om kruisbesmetting tussen monsters te voorkomen. Het meetraam is verdeeld in negen denkbeeldige delen. Per denkbeeldig deel is een geschikte locatie gezocht en is de stofzuigermond op een geschikte locatie op het bodemoppervlak geplaatst om gedurende 5 seconden te zuigen (zie Technisch rapport, bijlage 4).

Verzamel- en deelmonsters

Er is gewerkt met verzamel- en deelmonsters:

- *Deelmonster*: Er wordt een monsterpotje gevuld met monstermateriaal van één onderzoek-locatie. Dit wordt gecodeerd en apart bewaard. Per locatie zijn zoveel mogelijk deelmonsters genomen.
- *Verzamelmonster*: De deelmonsters van één verontreinigingsbron of -type zijn samengevoegd in een verzamelmonster voor laboratoriumanalyse. Slechts een deel van elk deelmonster is gebruikt, opdat er genoeg overblijft voor eventuele nadere analyses van en met de deelmonsters.

De keuze voor een combinatie van deel- en verzamelmonsters heeft vooral praktische redenen, namelijk: kosten besparen, flexibiliteit inbouwen zonder veel tijdverlies, 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, inklaring en registratie. In geval er al deelmonsters beschikbaar zijn bij het laboratorium, kan dit de 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 voor het

bemonsteren van veel locaties 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 als gevolg een algemeen - gemiddeld - beeld van een gebied van globaal 100 – 1.000 m².

Vergelijkingsbasis

Het onderzoek is vergelijkenderwijs opgezet. Er is één verzamelmonster genomen voor de vuilverbrander, en er zijn twee verzamelmonsters genomen in stedelijk respectievelijk landelijk referentiegebied:

- *Verkeer*: Een stedelijke referentie is nodig, omdat er bij de vuilverbrander ook verkeer is (vuilniswagens, bestemmingsverkeer, toerisme/quads). *Kralendijk centrum* en *Kaya Korona* zijn drukke verkeerspunten en zijn geselecteerd als referentielocaties;
- *Natuur*: Een natuurreferentie is belangrijk voor de vergelijking met natuurlijke achtergrondwaarden in grond c.q. de bodem. De vuilverbrander staat in landelijk gebied, op diabaasbodem, dus een referentiemonster voor natuur moet ook op diabaasbodem staan. Er is een monster genomen zo dicht mogelijk bij de vuilverbrander (met hetzelfde bodemtype) op een onverdachte locatie (bovenwinds). De *kunuku*^b ten Noorden van Lagun is geselecteerd, ruim halve kilometer boven de vuilverbrander, nabij de voormalige plantage Bolivia; Het natuurpark van *Bonaire (Washington national park)* is geselecteerd als meest natuurlijk diabaasgebied van het eiland, ver van alles en bovenwinds van woonbebouwing. De Grontmij trof in 2012 geen anomalieën aan in het Washington National park, en het RIVM⁴ bij de Bopec-brand in 2011 evenmin. In het park is een zandweg met weinig verkeer gekozen en is een monster genomen langs een onverhard en weinig betreden wandelpad dwars hierop in Noordelijke richting.

Tijd en weer

Het veldwerk vond plaats van 8 – 10 februari, aan het eind van het regenseizoen, met redelijk tot mooi weer. Er zijn 3 verzamelmonsters genomen:

- 8 februari: vuilverbrander;
- 9 februari: verkeersreferentie;
- 9 & 10 februari: natuurreferentie.

Op 9 februari in de middag waren er dreigende wolken en vroeg in de ochtend van 10 februari was er een buitje. Deze hebben de resultaten naar verwachting niet beïnvloed. Het zuigvermogen van de kruimeldief is althans qua opbrengst (*yield*) en zuigdiepte niet zichtbaar beïnvloed. En het percentage droge stof was in de laboratoriumanalyses eerder hoger dan lager op die twee dagen (zie verder, Tabel 3).

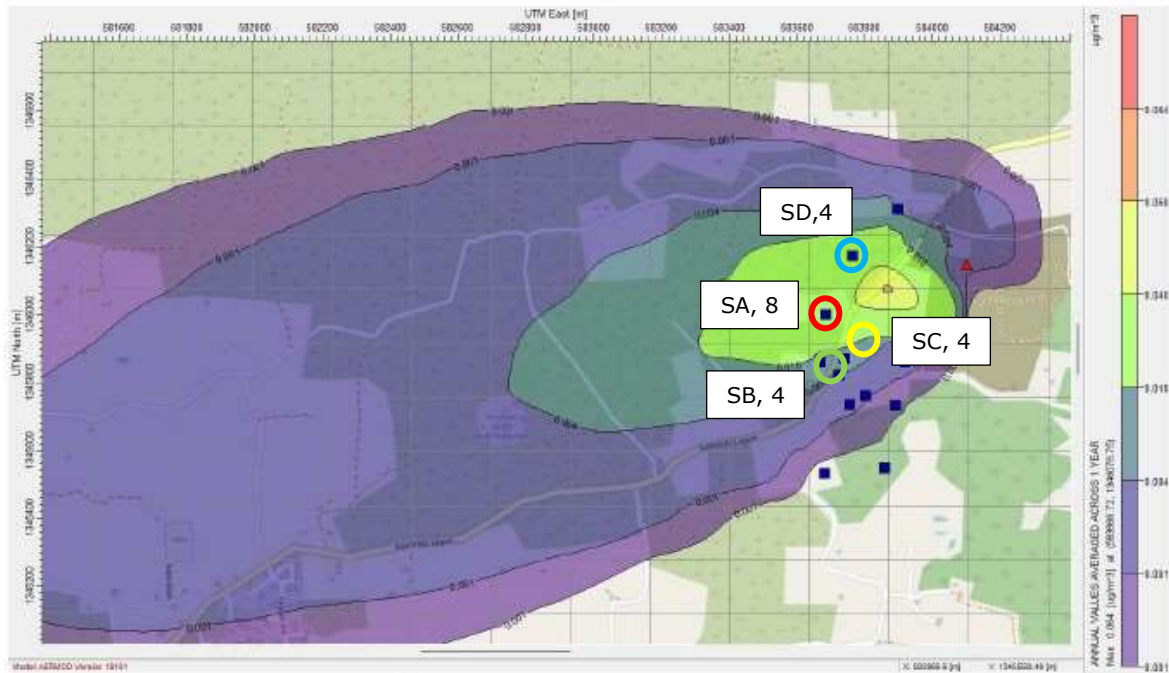
De voornaamste bron van variabiliteit lijkt de zuigdiepte te zijn. Deze is sterk afhankelijk van de ondergrond. Met name verschillen straatstof en los zand van elkaar, met alles daartussenin. De zuigdiepte is niet goed te bepalen maar de afgeleide wel c.q. het aantal vierkante meter dat nodig is voor een vol monsterpotje. Het benodigd aantal vierkante meter voor een min of meer vol potje varieerde in dit onderzoek van 4 – 20 m² (andere onderzoek: 3 – 21 m²).

^b *Kunuku* staat voor het platteland. De oorspronkelijke betekenis is 'leven' of 'een stukje land om van te leven'. <https://thehiddengreenmovement.com/de-oorsprong-van-het-woord-kunuku/>

Depositiesgebied te Lagun

De vuilverbrander is na het vorige onderzoek (Ecovision 2023) niet meer bezocht. Het depositiegebied^c was al bepaald, kwam overeen met de klachtenplot, en kon als basis dienen voor de selectie van monsternamelocaties (zie verder).

De monsternamelocaties te Lagun zijn uitgezet op de kaart van de eerdere modelstudie (Ecovision 2023), zie Figuur 1.



Figuur 1: Monsternamelocaties benedenwinds van Selibon te Lagun met 4 deelmonsters. De vierkante blauwe blokjes zijn huizen. De monsternamelocaties zijn omcirkeld. SA: rode cirkel, halfverharde bodem; SB: groene cirkel, los zand; SC: gele cirkel, los zand; SD: blauwe cirkel, dam met plas en slemplaag.

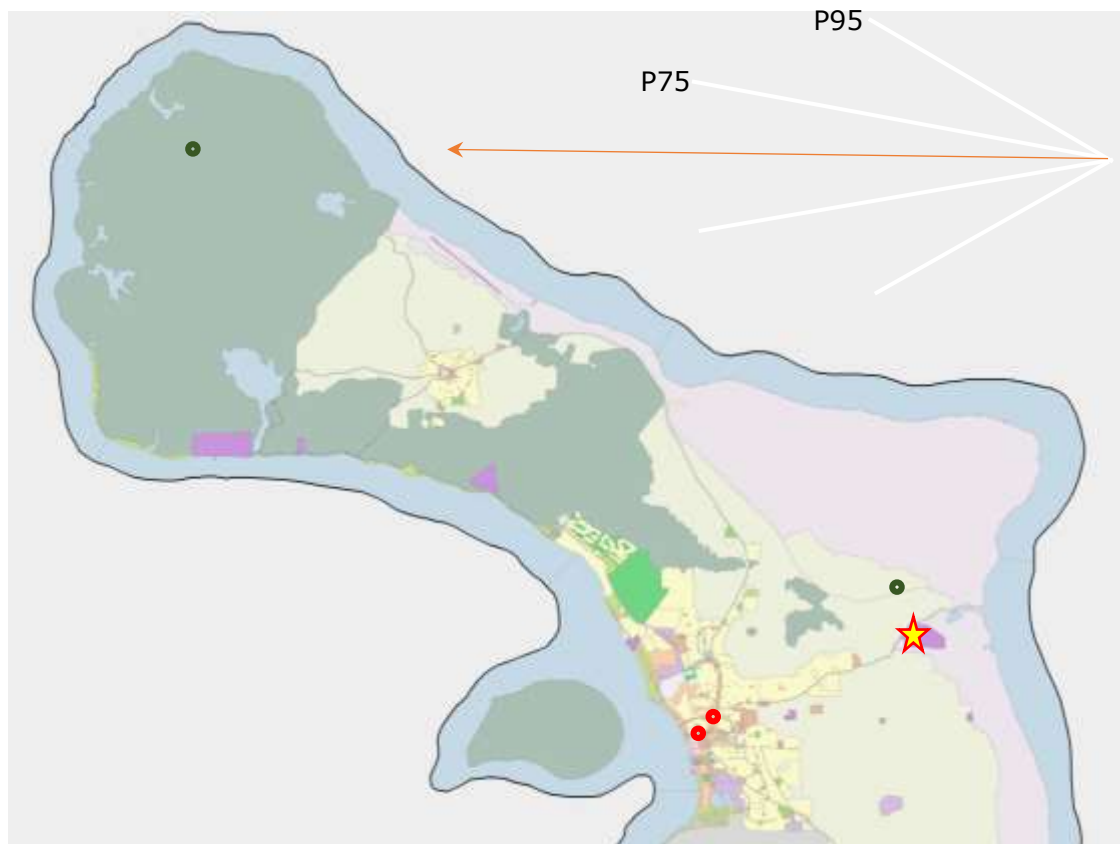
Referentielocaties

De monsternamelocaties van de referentielocaties is ondergaand nader gedetailleerd:

- Kralendijk centrum:** Dit deelmonster bevat vooral veel straatstof, maar deels ook bodemstof van halfverharde parkeerterreinen langs de weg. Het kostte veel moeite om één deelmonster te verzamelen, meer was niet haalbaar in het gegeven tijdsbestek.
- Kaya Korona:** Dit deelmonster bevat bodemstof van halfverharde parkeerterreinen langs de weg (lijzijde) over een lengte van globaal een halve kilometer, vlak bij het centrum. Aanvullende deelmonsters zouden verder uit het centrum met minder verkeersdruk zijn.
- Boven-Bolivia:** Dit deelmonster bevat vrij los bodemstof van een lang verlaten erf in de *kunuku*. Het kostte veel moeite om een geschikte locatie te vinden.
- Washington national park:** Dit deelmonster bevat bodemstof van een weinig betreden wandelpad. Het kostte veel moeite om een geschikte locatie te vinden.

^c De daggemiddelde TSP-contour (totaal zwevend stof) is als uitgangspunt genomen.

De referentielocaties zijn (handmatig) globaal aangegeven op de geologische kaart van Bonaire (Figuur 2, voor details zie Technisch rapport: Bijlage 5).



Figuur 2: Globale locaties van de vuilverbrander (gele ster) en de referenties voor stedelijk gebied (rood: Kralendijk centrum en langs de Kaya Korona) en natuurlijk gebied (groen: Washington National park en Boven-Bolivia). De Oostenwind is aangegeven (oranje pijl) met de 75-en 95-percentielwaarden (wit) van de windrichting.

b. Kippeneieren

De belangrijkste kippenfarm van Bonaire is bezocht om de verontreiniging van kippeneieren benedenwinds van de vuilverbrander te kunnen vergelijken met eieren uit de ‘winkel’. De opzet was om drie soorten kippeneieren te vergelijken:

- i. uit de winkel;
- ii. van een hobbyboer op een onverdachte locatie;
- iii. benedenwinds van de vuilverbrander.

Ad i: Eieren uit de winkel

Eieren in de winkel zijn in hoofdzaak van lokale oorsprong. Er is e4en grote farm te Punta Blanke en een kleinere te Rincon. De eigenaar van de *Punta Blanka* is geïnterviewd en er zijn 30 eieren gekocht, vijftien voor onderzoek en vijftien ter compensatie van de omwonenden van de vuilverbrander te *Lagun*^d. *Punta Blanka* kan en wil Bonaire in beginsel *self-supporting* maken qua gemiddelde consumptie^e. Momenteel is er alleen een

^d De eieren zijn uiteindelijk niet verzonden voor analyse, zie verder.

^e Er zijn uitwisselingsafspraken met de ‘grote broer’ te Curacao voor overschotten.

legbatterij, maar het voornemen is om over te schakelen naar scharrel- of eventueel zelfs vrije uitloop kippen. Het kippenvoer wordt betrokken uit Nederland en voldoet naar zeggen aan de strenge Nederlandse eisen^f.

Ad ii: Eieren van een hobbyboer elders

Anders dan in Nederland is er op Bonaire géén vereniging van hobbyboeren. Er is ook géén gesprekspartner gevonden die de situatie van hobbykippen op Bonaire kon verduidelijken. De zoektocht naar hobbykippen in onverdacht gebied is gestaakt.

Ad iii: Eieren benedenwinds van de vuilverbrander

Benedenwinds van de vuilverbrander te *Lagun* zijn alleen zwerfkippen en eenden aangetroffen, die wel een min of meer vaste thuisbasis voor water en voer hebben, maar geen vast nachtverblijf. De kippen lopen overal rond in de omgeving^g en leggen hun eieren niet op het erf, maar ergens buiten in de *mondi*. Daar zijn ze lastig te vinden voor de mens, maar wel een mogelijk doelwit voor dieren.

Er is gesproken met bewoners en gevraagd om kippeneieren te verzamelen voor het onderzoek. De voorzitter van de Vereniging van omwonenden van de vuilstort heeft het op zich genomen om 15 eieren te verzamelen. Dat bleek helaas niet mogelijk binnen het tijdsbestek van dit onderzoek.

De risico's van het eten van eieren zijn niet beoordeeld bij gebrek aan eieren van hobbykippen onder de rook van de vuilverbrander. Tegelijk maakt het gebrek aan vindbare eieren duidelijk dat de eventuele risico's praktisch nihil zijn, omdat eieren van zwerfkippen niet op reguliere basis worden gegeten.

3.4 Laboratorium en analyses

SGS^h, een toonaangevend 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 zijn genomen en geanalyseerd. In eerste instantie zijn de drie verzamelmonsters geanalyseerd. Op geleide van de bevindingen zijn naderhand de twee deelmonsters voor de natuur ook elk apart geanalyseerd (zie verder).

<i>Onderwerp</i>	<i>Specificatie deelmonsters</i>		<i>Aantal deel monsters</i>	<i>Analyse verzamel monsters</i>	<i>Analyse deel monsters</i>
	Lettercode locatie	Bemonsterd aantal m²			
Vuil verbrander	SA:	8m ²	4	1	-
	SB:	4m ²			
	SC:	4m ²			
	SD:	4m ²			
Verkeer	VK: Kralendijk centrum:	20m ²	2	1	-
	VC: Kaya Korona:	10m ²			
Natuur	NS: Boven-Bolivia:	5m ²	2	1	2
	W: Washington park:	7m ²			

Tabel 1: *Aantal en analyse van deel- en verzamelmonsters*

^f Eerdere pogingen voor voer uit Zuid- of Midden-Amerika zijn gestaakt vanwege onbetrouwbare aanvoerlijnen.

^g Het gebied van verwilderde kippen kan zich uitstrekken tot een halve hectare.

<https://www.levendehave.nl/dierenwikis/pluimvee/gedrag-van-kippen>

^h SGS staat voor *Société Générale de Surveillance*, deze naam wordt echter niet meer gebruikt.

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 parameters zijn bepalend voor de normwaarden, althans in Nederland met klei, zand en veengronden. Op Bonaireⁱ bestaat de bodem uit diabaas of kalksteen, met her en der een sedimentlaag van overstromingen uit zee (alluviaal). De Bonairiaanse bodemtypen zijn in beperkte mate meegenomen in dit onderzoek, gaandeweg beter:

<i>Diabaas</i>	Het ijzergehalte is bepaald in de twee natuurlijke deelmonsters	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 ($50\mu\text{m} - 2\text{mm}$), leem ($2 - 50\mu\text{m}$), en klei ($< 2\mu\text{m}$)	Op alluviale gronden valt een hoge fractie zand (globaal $\frac{3}{4}$) te verwachten.

Voor het onderzoek van kippeneieren was gevraagd om het vetgehalte te bepalen. Vetoplosbare stoffen, zoals dioxinen, worden namelijk uitgedrukt als het gehalte in eivet.

Risicovolle stoffen

Uiteindelijk zijn de vergunningsvoorwaarden bepalend voor de eisen waaraan de vuilverbrander 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 voor persistente verontreinigingen (REACH-respectievelijk POP-verordening). Het stoffenbeleid werkt mede door op het afvalbeleid, momenteel het Landelijk afval beleidsplan nummer 3 (LAP-3). Er zijn ZZS-lijsten per afvalstroom beschikbaar, waaronder voor vuilverbranders. De 'ZZS-lijst AVI-vliegas' (SGS 2019) is gebruikt als basis voor de stoffeselectie:

- ZZS oftewel 'Zeer Zorgwekkende Stoffen' kunnen ernstige en vaak onomkeerbare effecten hebben op de menselijke gezondheid en het milieu. De overheid wil deze stoffen zoveel mogelijk uit de leefomgeving weren;
- AVI oftewel 'AfvalVerbrandingsInstallatie' is de formele term voor een vuilverbrander.
- 'Vliegas' is as die bij de verbranding van organisch materiaal meegaat met de rookgassen. Vliegas veroorzaakt luchtverontreiniging, en is aan regelgeving onderhevig. De samenstelling van vliegas hangt sterk af van de brandstof en het verbrandingsproces⁵.

De ZZS-lijst van vliegas van vuilverbranders is samengevat en toegelicht in Tabel 2:

ⁱ 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).

- *Chloorhoudende stoffen:* Dioxinen en furanen.
Deze stoffen ontstaan bij onvolledige verbranding van chloorhoudend materiaal. Dit is 'de grote zorg' bij de verbranding van medisch afval te Bonaire.
- *Broomhoudende stoffen:* Polygebromeerde difenylethers (pBDE) en Hexabroomcyclododecaan (HBCD).
Dit zijn vlamvertragers die veel werden gebruikt in huishoudelijke producten respectievelijk in kunststoffen (polystyreen). Deze stoffen worden niet direct verwacht in medisch afval.
- *Zware metalen:* Cd, Pb, Hg, Cr-VI, Be en Ni.
Hier is Zink (Zn) in plaats van Beryllium (Be) geanalyseerd. Beryllium komt vooral uit electronica en is niet te verwachten in medisch afval. Zn zit in rubber en is toegevoegd als *marker* van verkeer en vervoer (voertuigbanden).
- *Polycyclische aromatische koolwaterstoffen* PAK's.
Dit zijn stoffen die ontstaan bij onvolledige verbranding van organisch materiaal (zwarte rook).

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 al genoemd;
- Onvoldoende wassen van lokale/eigen teelt: Eigen teelt is niet aangetroffen;
- Opname in de voedselketen (plant en dier): De representativiteit van kippeneieren voor opname van vetoplosbare stoffen, zoals dioxinen/furanen, in de voedselketen is al benoemd.

De aandacht is gericht op a. kinderen en b. kippen.

Risico-evaluatie

a. Kinderen

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 plaats aan bodemnormen, 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 zijn aanpassingen van de normwaarden nodig (Box 2). Dat geldt echter niet voor de humane risico's van bodemingestie. In dit kader gaat het om bodemingestie en kunnen de bodemnormen onverkort worden toegepast. Er is geen schaling met behulp van allerlei rekenregels nodig.
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 wordt beoordeeld (*ingestie bodemstof*: 50 - 200 mg/d);
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

De risico's van bodemverontreiniging zijn afhankelijk van de gehalten van risicovolle stoffen, maar ook van het grondgebruik⁶ en de samenstelling van de bodem, zoals zuurgraad en organisch stofgehalte bodem. De bodemnormen zijn daarom mede gekoppeld aan de bodemfuncties⁷.

De interventiewaarden bodemkwaliteit zijn getalswaarden waarboven mogelijke risico's bestaan voor mens, plant of dier^{8 9}. Verspreidingsrisico's, gezondheidsrisico's en ecologische risico's zijn allemaal relevant, maar hebben veelal verschillende normwaarden¹⁰. De strengste norm telt. Zolang de norm wordt onderschreden is het weinig relevant waar de norm op is afgestemd. Bij normoverschrijding is het zaak om na te gaan of de norm geldt voor mens, plant of dier. 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 inname (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, uitgaand van een levenslange blootstelling¹¹.

Ad b. Bij de humane risico's is rekening gehouden met alle blootstellingsroutes: huidcontact, ingestie, inhalatie en voedsel¹². Diverse fysisch-chemische eigenschappen van de bodem beïnvloeden de opname via voedsel en inhalatie, zoals de organisch stof- en kleigehalten (OC 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. Het gaat simpelweg om de hoeveelheid inname van gronddeeltjes en de gehalten risicovolle stoffen. Die zijn bepalend voor de toxische belasting! De interventiewaarden voor de standaardbodem kunnen onverkort worden toegepast.

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^j. De Grontmij (2012) heeft achtergrondwaarden voor metalen voorgesteld voor de twee Bonairiaanse hoofdtypen van bodems: diabaas en kalksteen. De Nederlandse indeling met een standaardbodem voldoet niet op Bonaire.

Het Grontmij-voorstel is een eerste voorzet gebaseerd op de bevindingen voor diabaas- en kalksteenbodems, zonder alluviale bodems en zonder literatuuronderzoek. De resultaten van eerder geologisch onderzoek te Curacao met vergelijkbare bodems zijn bijvoorbeeld niet meegenomen (de Vries 2000), terwijl die achtergrondwaarden op onderdelen nogal afwijken (zie Technisch rapport Bijlage 3). Nader onderzoek is nodig voor onderbouwde achtergrondwaarden. Mogelijk is daarbij nadere differentiatie zinvol, want 'diabaas' is een verzamelbegrip 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, aangezien de representativiteit van de bodem voor het opliggend bodemstof onbekend is. 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. Samenvattend zijn de fysische en chemische samenstellingen van bodemstof multifactorieel bepaald en naar verwachting niet eenvoudig te typeren.

b. Kippen

Kippeneieren zijn een goede maatstaf voor de opname van dioxinen/furanen in de voedselketen. Ze pikken hun voedsel van de bodem en krijgen zo veel bodemstof binnen. En als daar vet-oplosbare stoffen zoals dioxinen in zitten, dan slaan ze die op in hun vetweefsel, waar het jaren kan blijven zitten^k. De vet-oplosbare stoffen die ze in de loop van hun leven verzamelen, geven ze geleidelijk weer af aan de eieren, in de ei-vetten^l. De eieren van hobbykippen bevatten veelal meer dioxinen dan de eieren uit de winkel. Dat is begrijpelijk, want scharrelkippen en vooral vrije uitloopkippen pikken hun voer van de bodem, terwijl kippen in een legbatterij hun voer via een lopende band krijgen 'opgediend'. Bovendien valt kippenvoer voor productiedoeleinden onder strenge eisen. Eén en ander maakt een vergelijkend onderzoek van kippeneieren zinvol. De gedachte was om hobby-eieren benedenwinds van de vuilverbrander, hobby-eieren uit onverdacht gebied en eieren uit de winkel te vergelijken. De praktijk wees echter anders uit (zie hierna: Resultaten).

^j 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.

^k Een kip wordt gemiddeld tien jaar, zonder menselijk ingrijpen.

^l Een kip legt eieren vanaf tegen half jaar tot 2 eventueel 3 jaar oud, met een piek rond 1 jaar.

4. Resultaten

4.1 Inleiding

De resultaten van de laboratoriumanalyses (4.2) en kwaliteitscontrole (4.3) worden beschreven. Details staan in het Technisch rapport, bijlagen 5 en 7.

4.2 Laboratoriumanalyses^m

In Tabel 3 (zie volgende bladzijde) zijn de laboratoriumuitslagen vermeld voor de fysische en chemische macroparameters en de risicovolle stoffen.

Fysische macroparameters

Alle drie de verzamelmonsters zijn afkomstig van een diabaasbodem. De percentages zand zijn globaal 80% (79 – 87%), klei globaal 7% (4,5 – 7,8%), en leem globaal 13% (8,8 – 14%). Dit komt overeen met zandgrondⁿ. De 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, en de percentages leem juist flink lager.

De monsters wijken sterk af van de Nederlandse standaardbodem (10% organisch stof en 25% lutum/klei). Het organisch stofgehalte is zeer laag, rond de 1%, een orde van grootte lager dan in een Nederlandse standaardbodem (10%) en tegen de ondergrens van wat in Nederlandse bodems voorkomt (0,5 – 20%)¹³. Het kleigehalte is ook veel lager dan in een standaardbodem, namelijk globaal 7% in plaats van 25%.

Chemische macroparameters

Het kalkgehalte van de monsters is laag (CaCO_3 : <4,2 – 7,3%) en past niet bij kalksteen of een biogene oorsprong van de zandfractie (zie verder: Discussie).

De ijzergehalten van de natuurlijke deelmonsters zijn globaal 5% Fe oftewel 6,5% ijzeroxide (FeO)^o. Dat is te hoog voor kalksteen en te laag voor diabaas.

Risicovolle stoffen

Zorgpunten bij vuilverbranders zijn met name dioxinen/furanen en eventueel zware metalen. Veel waarden blijven beneden de detectielimiet, waaronder het merendeel van de dioxinen/furanen. En de gehalten zware metalen blijven binnen de maxima van de natuurlijke achtergrondwaarden.

^m 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.

ⁿ 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/>

^o <https://nl.webqc.org/molecular-weight-of-FeO.html>

Parameter	Eenheid	Vuil- verbrander	Verkeer	Natuur			Achtergrond waarden			Interventie waarden Nederland	
				Verzamel monster	Bolivia	Washington	Diabaas	Kalksteen	Nederland ^P		
Dioxinen en furanen PCDD/F (WHO-TEQ 2022)	ng/kg	1,54 – 10,5	1,66 – 9,5	1,01 – 7,79	0 – 7,5	0 – 8,8	nvt	nvt	180		
Polybroomdifenylethers (PBDE)	ng/kg	< detectielimiet			Niet bepaald				nvt	nvt	nvt
Hexabroomcyclododecaan (som alfa, beta en gamma-HBCD)	µg/kg	< detectielimiet: 5, dus HBCD-som: 0 - 15									1,5
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen PAK (VROM-10)	mg/kg	<detectielimiet: 0,05, dus VROM-10: 0 – 0,5									
Hg	mg/kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,067	0,035	0,15	36	
Zn	mg/kg	55	66	110	61	230	270	14	140	720	
Cd	mg/kg	0,17	0,17	0,26	0,19	0,31	0,28	0,28	0,60	13	
Ni	mg/kg	64	22	17	21	13	59	7,8	35	100	
Pb	mg/kg	11	6,4	6,4	8,9	5,1	42	9,1	50	530	
Cr-VI	mg/kg	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<i>Cr_{tot}: 84</i>	<i>Cr_{tot}: 32</i>	-	78	
Zand	%	80,0	79,0	81,0	80,0	87,0	?	?	nvt	nvt	
Leem	%	13,0	14,0	12,0	13,0	8,8	?	?			
Klei (lutum)	%	6,9	7,8	6,9	7,1	4,5	?	?			
d.s.	%	96,7	98,5	98,5	98,5	98,3	nvt				
CaCO3	%	<4,2	6,3	5,3	5,5	7,3	laag	hoog	-		
Fe	%	-	-	-	5,1	4,7	hoog	Laag	-		
EOX	mg/kg	-	-	-	<2	<2	nvt				
Organische Stoffen (TOC/OC: Total Organic Content)	%	0,86	1,3	1,1	1,1	1,5	nvt				

Tabel 3: Laboratoriumuitslagen van de monsters voor de vuilverbrander, en de verkeer- en natuurreferenties. Ook zijn de relevante achtergrondwaarden gegeven van zware metalen te Bonaire (Grontmij 2012), en de Nederlandse interventiewaarden voor zover beschikbaar. 'nvt': niet van toepassing; '-': niet bepaald. De achtergrondwaarden voor chroom zijn grijs schuin gedrukt. Er zijn namelijk geen achtergrondwaarden specifiek voor chroom-6 (veelal geschreven als Cr-VI of Cr⁶⁺) maar alleen voor chroom-totaal.

^P De achtergrond- en interventiewaarden gelden voor een standaardbodem (OC:10%, lutum: 25%)

Naast de genoemde dioxinen/furanen zijn alleen metalen boven de detectielimiet aangetroffen, afgezien van kwik en – na heranalyse – chroom-VI^q. De waarden voor zware metalen liggen op het niveau van de achtergrondwaarden die de Grontmij (2012) voorstelt voor Bonaire.

De uitkomsten zijn niet goed te relateren aan diabaas als oorsprong (bodemtype). De uitkomsten liggen tussen de natuurlijke maxima van diabaas en kalksteen (Zn: 55 – 230 versus achtergrond 270 en 14 mg/kg; Ni: 13 – 64 versus achtergrond 59 en 7,8 mg/kg; Pb: 5,1 – 11 versus achtergrond 42 en 9,1 mg/kg), of rond het natuurlijke maximum voor beide bodemtypen (Cd: 0,17 – 0,31 versus achtergrond 0,28 en 0,28 mg/kg).

4.3 Kwaliteitscontrole

Er is gewerkt met deel- en verzamelmonsters. De verzamelmonsters zijn geanalyseerd. Op geleide van de bevindingen zijn nadien de twee deelmonsters van de natuurlijke referentie ook apart geanalyseerd. Dit dient mede ter kwaliteitscontrole. Immers, de resultaten van deelmonsters moeten passen bij die van het verzamelmonster. De waarden van het verzamelmonster moeten globaal halverwege tussen de waarden van de deelmonsters liggen. Dat bleek op onderdelen niet het geval te zijn, en heeft tot heranalyses geleid. De gehalten dioxines/furanen en chroom-VI van het verzamelmonster van de natuurreferentie zijn aangepast.

^q De achtergrondwaarden voor chroom-totaal (diabaas: 84 mg/kg) liggen boven de interventiewaarde voor het chroom-6 (78 mg/kg). Dat was voor het onderzoek al bekend uit de nog hogere achtergrondwaarden voor Curacao, en de reden om specifiek het toxische chroom-6 te laten bepalen.

5. Discussie

5.1 Inleiding

De laboratoriumuitslagen van de (fysische en chemische) macroparameters worden besproken in het bredere verband van milieumonitoring (5.2). Verder komen de microverontreinigingen c.q. de risicovolle stoffen (5.3) en de kwaliteit van het onderzoek (5.4) aan de orde.

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 geschikt voor milieumonitoring, althans voor wat betreft deeltjesvormige milieubelastingen. De huidige onderzoeken bieden daar een eerste aanzet voor, maar zijn onvoldoende basis om keuzen te maken. De waarde van bodemstof voor milieumonitoring moet zich nog bewijzen. 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), doorzettingsmacht 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. Er is alleen nauwelijks verontreiniging aangetroffen in beide onderzoeken. 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 verontreinigingen zich veeleer in de fijne fractie ophopen (zie verder: Kwaliteit). Ten tweede is de ene zandkorrel de andere niet. De aard en oorsprong van zandkorrels varieert en behoeft nadere duiding (zie Box 4, volgende bladzijde). 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. Tot slot is het de vraag in hoeverre de logischerwijs benodigde interdepartementale beoordeling en besluitvorming haalbaar is in de Bonairiaanse bestuurscultuur.

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.

Box 4: Zand

Bodemstof lijkt vooral uit zandkorrels te bestaan. Althans zijn in dit onderzoek hoge percentages zand aangetroffen: namelijk 79 – 87% in dit onderzoek en 74 – 83% in het andere onderzoek. Zand is een verzamelnaam voor deeltjes van 0,05 – 2mm^r. Zanddeeltjes hebben een diverse oorsprong. Het kan worden gevormd door verwerking 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)^s 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, dat vooral via de wind wordt verspreid, zoals vliegast.

Vormen van fysisch onderscheid van zandkorrels zijn ondermeer¹⁴: 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 voortkomen¹⁵. 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 verwerking of erosie verandert die 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 kunnen 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.

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

^r 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.

^s 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/>.

relevant, omdat chemische stoffen van organische aard zich vooral in die fractie bevinden.

Bodemtypering heeft beperkt nut voor bodemstof. Alle drie de geanalyseerde monsters komen van diabaasbodem, maar zijn daar noch fysisch, noch chemisch goed aan te relateren, en lijken veeleer op alluviaal sediment. Dit versterkt 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 horizon of horizont. Een bodemhorizon is een laag parallel aan het bodemoppervlak waarvan de fysieke, chemische en biologische kenmerken verschillen van de lagen boven en eronder¹⁶. Horizonten worden in veel gevallen gedefinieerd door duidelijke fysieke kenmerken zoals kleur en textuur. Bodemhorizonten zijn belangrijk voor bodemonderzoek, om onderscheid te kunnen maken tussen de verschillende lagen met verschillende kenmerken.

Er is geen informatie beschikbaar over bodemstof als bodemhorizont¹⁷. Op het eerste gezicht lijkt het te voldoen aan de criteria van een bodemhorizont, maar bij nadere beschouwing is dat duidelijk niet het geval. De fysieke en chemische eigenschappen en textuur verschillen van de onderliggende bodems, maar daar ligt geen langdurig proces van bodemvorming aan ten grondslag¹⁸. Bovendien 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 blijft het echter zaak om de samenstelling van bodemstof eigenstandig te beoordelen.

Relatie met erosie

Bodemstof ontstaat uit vele bronnen, zoals natuur, landbouw, bouw, verkeer en industrie. De belangrijkste bron van stofoverlast is erosie.

Erosie resulteert in bodemstof en fijn stof, aangedreven door wind en regen met water- en stofoverlast tot gevolg. Bodemstof te Bonaire bevat bijvoorbeeld tot 5% zwevend fijn stof (WuR2009) en in fijn stof zit 5-20% bodemstof, althans in Europa.¹⁹ De verblijftijd van bodemstof op een bepaalde locatie is 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. Ook meer in het algemeen liggen gezondheidsrisico's door erosie in de rede. Anders gezegd is erosie mede een zaak van de publieke gezondheid.

5.3 Laboratoriumuitslagen risicovolle stoffen

De uitslagen zijn geruststellend.

Vuilverbrander

De resultaten voor het verzamelmonster benedenwinds van de vuilverbrander zijn geruststellend. Er zijn niet duidelijke resten van vliegias van de vuilverbrander aangetroffen in bodemstof. De gehalten lood en nikkel zijn verhoogd ten opzichte van de referentiemonsters, maar binnen de marges van de natuurlijke achtergrondwaarden. Als dat inderdaad een verhoging is, dan komt die naar verwachting door de verbranding van

documenten, waarvoor de vuilverbrander ook regelmatig werd gebruikt. Hoe dan ook, nader onderzoek naar zware metalen lijkt weinig opportuun.

Belangrijkste is dat er niet of nauwelijks dioxinen/furanen zijn aangetroffen boven de detectielimieten. Het betreft natuurlijk maar één monster, maar dit is wel samengesteld uit vier deelmonsters, en representatief voor twintig vierkante meters bodemstof verdeeld over vier kavels. Indien er toch meer zekerheid is gewenst over de historische gezondheidsrisico's van vetoplosbare stoffen in de vlieggas van de vuilverbrander, zoals dioxinen, dan is alsnog onderzoek naar kippeneieren nodig.

De voorlopige aanname is dat de neergedaalde vlieggas van weleer inmiddels is weggewaaid en weggespoeld. Anders gezegd volstaat mogelijk één regenseizoen om verontreiniging uit de rulle grond aldaar weg te spoelen. Wat de situatie in de tussentijd is geweest - de acht tot negen maanden zonder noemenswaardige regen - valt niet meer te bepalen.^t

Verkeer

Er zijn geen verontreinigingen van verkeersemisies in bodemstof aangetroffen. Niet alleen blijven de PAK-gehalten beneden de detectielimiet. Het zinkgehalte, representatief voor de slijtage van autobanden, ligt hoger in natuurgebied (Zn: 110 mg/kg) dan in stedelijk gebied (Zn: 66 mg/kg). Dit versterkt de eerdere voorzichtige conclusie van de Grontmij (2012) dat de verkeersemisies geen diffuse PAK-verontreiniging hebben veroorzaakt. 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 inderdaad wordt schoongespoeld, dan komen de verontreinigingen in hoofdzaak in het water langs de kust terecht.^u

Natuur

Het verzamelmonster van de natuurlijke referentie is onverdacht, en de analyse van de deelmonsters bevestigt dit.

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 onderzoek heeft plaatsgevonden vlak voordat de vuilverbrander weer tijdelijk in gebruik werd genomen voor uitworpmetingen. Snel handelen was geboden om geen vermenging te krijgen van eventuele historische met eventuele actuele deposities. De resultaten van de uitworpmetingen zijn voornamelijk niet beschikbaar. En de resultaten van eerdere uitworpmetingen, medio 2023, zijn evenmin beschikbaar gesteld. Er is geen totaalbeeld verkregen. Dit beperkt de mogelijkheden om harde conclusies te trekken over gezondheidsrisico's.

^t Als de oven weer wordt opgestart, dan komt die vraag mogelijk opnieuw aan de orde.

^u Volgens komt slechts 10% van het regenwater terecht in het grondwater en de rest

Keuze voor depositie-onderzoek

Sterke punten:

Er is gekozen voor depositie-onderzoek, omdat het goed past bij de gezondheidsrisico's²⁰. Bodemonderzoek is minder geschikt, 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 contact²¹. En kippeneieren zijn representatief voor de opname van dioxinen in de voedselketen. Het min of meer losse bodemstof komt naar verwachting goed overeen met de grijpgrage handjes van kleine kinderen en het pikgedrag van kippen. Samenvattend is bodemstof naar verwachting representatief voor de laag van direct contact met de bodem tijdens kinderspel en voor het pikgedrag van kippen.

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 bedrijvigheid^{22 23}. In dit project is gekozen bodemstof te bemonsteren 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 (zie tevoren). De Nederlandse interventiewaarden bodemkwaliteit zijn bruikbaar voor een eerste screening, maar de bruikbaarheid en formele status van de normen voor bodemstof is onzeker;

Sterk en zwak tegelijk:

- Bodemstof is vooral geschikt voor historische depositie en niet voor een actuele uitstoot en depositie. Dit past goed bij de situatie van de vuilverbrander die al vanaf voorjaar 2023 stilligt. Het past minder goed bij de situatie van de referentiemonsters en het crematorium (het andere onderzoek) c.q. met historische zowel als actuele depositie. De keuze voor één en dezelfde aanpak is gemaakt omwille van de vergelijkbaarheid van de resultaten. Dat is belangrijk omdat er nog geen gegevens beschikbaar zijn van bodemstof op Bonaire. Tegelijk valt er voor wat betreft de referentiemonsters in dit onderzoek geen onderscheid te maken tussen historische en actuele depositie;
- Los en losgewoeld bodemstof komt goed overeen met de laag waar resuspensie plaatsvindt door regen en wind (meegevoerd en opwaaiend stof). Het valt op te vatten als 'menglaag' van de drie milieucompartmenten, met alle voor- en nadelen van dien (zie tevoren). In het gebied van het referentiemonster voor verkeer overheerst naar verwachting de invloed van de regelmatig optredende wateroverlast. In de meer landelijke gebieden is dit minder duidelijk.

Beperkte omvang onderzoek

Het aantal monsters is minimaal ($n: 3$), en de opsplitsing in deelmonsters is beperkt ($n: 1 \times 4 + 1 \times 2$), wat ook de mogelijkheden tot vervolgonderzoek inperkt. 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 was 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.

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 nauwelijks absorberen in bodemstof. Bovendien bestaan de monsters vooral uit grove zanddeeltjes. Risicovolle stoffen moeten als zich gevolg vooral hechten/adsorberen aan de oppervlakte van de zand- en andere gronddeeltjes. 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 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 qua 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 betekent dit dat het minder geschikt is voor chemisch onderzoek.

Kwaliteit monsternamen en analyses

De hoge fracties zand in de monsters bodemstof passen bij zandgrond. 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 kalksteen of diabaas 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 voor het natuurlijk referentiemonster. Hieruit kwamen discrepanties naar voren die aanleiding gaven tot heranalyses.

6. Conclusies en aanbevelingen

Vuilverbrander

1. De resultaten van het depositie onderzoek zijn geruststellend. Er zijn geen resten van vliegias van de vuilverbrander aangetroffen in het bodemstof benedenwinds van de vuilverbrander.
2. De scope van het huidige onderzoek is beperkt. Het blijft onduidelijk in hoeverre depositie van vliegias heeft plaatsgevonden en in het verleden gezondheidsrisico's heeft veroorzaakt. Het blijft zaak om voldoende kippeneieren te verzamelen en onderzoeken, wil men conclusies kunnen trekken over de verontreinigingshistorie (zie ook punt 6).
3. Op de korte termijn is hetzij export dan wel vuilverbranding op Bonaire nodig. Voor het laatste geval is het advies om dan niet alleen te investeren in technische verbetermaatregelen, maar ook in monitoring-capaciteit door mensen en middelen vrij te maken voor e-noses.^v
4. De situatie rond de vuilverbrander blijft onrustig. Het dringend advies is om de deelmonsters nog een half jaar te laten bewaren door het laboratorium, om snel in te kunnen spelen op eventuele nadere vragen.

Milieumonitor

5. Het ontbreekt Bonaire aan enige vorm van een milieumonitor. Er zijn zelfs geen metingen beschikbaar van de chemische kwaliteit van bodem, water^w of lucht. Een milieumonitor kan helpen om het milieubewustzijn bevorderen en de effectiviteit van beleid te volgen. Voorwaarden zijn wel dat milieu eenduidig wordt belegd in organisatie, beleid en bestuur, en de competenties voor geïnformeerde besluitvorming worden geborgd. Een punt van aandacht daarbij is de publieke verantwoording. Dat geldt temeer daar milieuzaken veel media-aandacht kunnen krijgen.
6. De vraag of bodemstof geschikt is voor milieumonitoring op Bonaire valt nog niet goed te beantwoorden. Het lijkt wel de moeite waard om nader onderzoek te doen naar de samenstelling van bodemstof en de plaatsgebonden verblijftijd in het milieu voor meer definitieve uitspraken.

Breder kader

7. Erosie is een hoofdoorzaak van bodemstof en een zaak van algemeen belang op Bonaire. Publieke gezondheid neemt logischerwijs de rol op om te adviseren over de gezondheidsrisico's van erosie.
8. Er wordt tegenwoordig veel geschreven over PFAS, de '*forever chemicals*'. Maar bijvoorbeeld dioxinen/furanen zijn ook zeer persistent en kunnen tientallen jaren in het milieu blijven. De eventuele dioxinevorming in de vuilverbrander wordt aangepakt. Een andere zorgwekkende bron wordt gevormd door illegale branden.

^v DCMR heeft heel veel ervaring mee en kan adviseren, <https://www.portofrotterdam.com/nl/bouwen-aan-de-haven/veilige-haven/e-noses>

Voor nadere toelichting zie de infographic: <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2021-06/e-nose%20infographic.pdf>

^w Bedoeld wordt grond- en oppervlaktewater. Kustwater en de biologische kwaliteit daarvan is of zijn een ander onderwerp.

De lokale bevolking is van oudsher gewend restafval van tuin, huis en bouw te verbranden in plaats van te storten. Men beseft echter onvoldoende dat daar tegenwoordig allerlei soorten plastics, verfresten, vlamvertragers enzovoorts in kunnen zitten, waaruit zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) kunnen vrijkomen. Een communicatiecampagne zou kunnen helpen om deze risico's te beperken.

9. Het enige monster waar enigermate dioxinen/furanen in zijn aangetroffen was rond het ziekenhuis. Het is niet gezegd dat de medische sector daarvoor verantwoordelijk is. Maar meer in het algemeen is de medische sector en met name het ziekenhuis (FM) wel verantwoordelijkheid voor diens medisch afval. Er is weinig andere keuze dan gevaarlijk medisch afval te verbranden. Maar de hoeveelheid gevaarlijk medisch afval kan worden beperkt met preventiemaatregelen. En als het resterend gevaarlijk medisch afval volgens de regels wordt ontsmet, dan geldt het niet meer als gevaarlijk medisch afval en hoeft het niet te worden verbrand.

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 (NL), 2023.
- Buissonjé 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.
- OvV: Referentiekader. Bijlage C, p. 159 – 166 In: Industrie en omwonenden. Den Haag, April 2023. <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2023D15600>
- Ruimtelijk ontwikkelingsplan: Digitale kaart Bonaire, Rho adviseurs. <https://rho.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6cc4a2397de445e9849b6de08614134d>
- SGS-intron: ZZS in afvalstoffen, update 2019. Eindrapport, A108010/R20190414a in opdracht van RWS (Utrecht), 18 december 2019.
- 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

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: Depositietingen 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 Mooij, M. et al: Compound depositions for the BOPEC-fires on Bonaire. RIVM letter report 609022067/2011.
- ⁵ Onderzoeksraad voor Veiligheid: Industrie en Omwonenden. Voetnoot 356, p. 119. OvV-rapport (Den Haag), april 2023. <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2023D15600>
- ⁶ Otte PF et al: Waarden voor grondingestie voor de verschillende bodemgebruiksvormen. Tabel 5.4, p 63. In: Diffuse loodverontreiniging in de bodem; advies voor een gemeenschappelijk beleidskader. RIVM-rapport 2015-0204, <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0204.pdf>
- ⁷ 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.
- ⁸ 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.
- ⁹ 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/>
- ¹⁰ 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>
- ¹¹ 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>
- ¹² 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>

-
- ¹³ Vlaardingen, P van en G Mol: Achtergrondconcentraties en relatie met bodemtype in de Nederlandse bodem. RIVM Rapport 711701074/2008
- ¹⁴ Geologie van Nederland > Ondergrond > Afzettingen en delfstoffen: Zand. Access : 1 juni 2024. <https://www.geologievannederland.nl/ondergrond/afzettingen-en-delfstoffen/zand>
- ¹⁵ Schoonheydt RA: Moet er nog zand zijn, Karakter; tijdschrift van wetenschap, zonder datum. <https://www.tijdschriftkarakter.be/moet-er-nog-zand-zijn/>
- ¹⁶ Terra index > Bodemonderzoek > Bodem > Bodem horizonten. Access: 22 April 2024. https://wiki.terraindex.com/bin/view/Environmental%20Surveys/Soil/Soil%20horizons/?language=nl_NL
- ¹⁷ Geologie van Nederland > Ondergrond > Bodems > Bodemvorming uitgediept. Access: 22 April 2024. <https://www.geologievannederland.nl/ondergrond/bodems/bodemvorming-uitgediept>
- ¹⁸ Geologie van Nederland > Ondergrond > Bodems: Bodemvorming uitgediept. Access: 1 Juni 2024. <https://www.geologievannederland.nl/ondergrond/bodems/bodemvorming-uitgediept>
- ¹⁹ PBL > Publicaties: Bodemstof als component van fijn stof, 5 november 2010. <https://www.pbl.nl/publicaties/bodemstof-als-component-van-fijn-stof>
- ²⁰ <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-media-soil-and-dust>
- ²¹ 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>
- ²² 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>
- ²³ Zie ook RIVM-toolkit lood in bodem, <https://www.rivm.nl/lood-in-bodem>