



Aan Kees Borst, Ronald Rense en Laura Tack (RWS Water, Verkeer en Leefomgeving)
Onderwerp Grondwatermonitoring Bonaire; advies over meetnetontwerp en locatiespecificaties
Door Jos von Asmuth, Job Winterdijk
E-mail Jos.von.Asmuth@3hydro.nl
Datum 22 februari 2023
Kenmerk 22104AAV1.0
Bijlage -

Samenvatting

Deze memo maakt onderdeel uit van een breder traject met als doelstelling het ontwerpen, inrichten en in gebruik nemen van grondwatermeetnetten op de drie BES-eilanden (Bonaire, Sint Eustatius en Saba). Een rapport met een uitgebreider advies, analyse, onderbouwing en inventarisatie van de reeds beschikbare kennis en gegevens is in voorbereiding (Von Asmuth en Winterdijk, 2023), maar kon op deze termijn en in dit kader niet afgerond worden. Het specifieke doel van deze memo is het geven van een concreet maar globaal ontwerp van het nog in te richten grondwatermeetnet op Bonaire. We geven hieronder een samenvatting van de inhoud van deze memo:

1. Achtergrond, probleemstelling en afbakening
2. Beschikbare kennis, gegevens en meetlocaties
3. Meetnetopzet en ontwerpprincipes
4. Conclusies en adviezen

Literatuur

Bijlage A: Specificaties meetnetontwerp (globaal)

Bijlage B: Kostenraming (globaal)

Bijlage C: Eigenschappen, inrichting en onderhoud meetlocaties (onvolledig)

De genoemde punten worden hieronder in meer detail uitgewerkt.

Achtergrond, probleemstelling en afbakening

De vraag om grondwatermeetnetten in te richten op de drie BES-eilanden komt voort uit het natuur en milieubeleidsplan van Caribisch Nederland voor de periode 2020-2030 (NMBP-CN, 2020). Het NMBP-CN beschrijft vier strategische doelen. De beoogde grondwatermonitoring is daarbij gerelateerd aan strategisch doel I, zijnde:

‘De trend van koraalrifdegradatie keren om gezonde, veerkrachtige en weerbare koraalriffen te creëren die een waarborg vormen voor het welzijn in Caribisch Nederland.’

Van Bonaire is bekend dat eutrofiering een bedreiging vormt voor de koraalriffen in de kustwateren rond het eiland. De eutrofiering wordt o.a. veroorzaakt door de instroom van nutriëntrijk grondwater van land naar zee. De verrijking van het grondwater op het eiland is afkomstig van diverse bronnen: lekkende septic tanks, onvoldoende behandeld afvalwater en ontlasting van loslopend vee. Door de hoge verdunning en opnamecapaciteit van het zeewater voor deze nutriënten is het echter lastig en kostbaar om trends van indicatoren voor eutrofiering vast te stellen via monitoring van de zeewaterkwaliteit. De voorkeur wordt daarom gegeven aan het meten van de nutriëntinput zoals die in zee plaatsvindt bij de bron, c.q. het eiland. De belangrijkste vectoren zijn daarbij naar verwachting het af- en uitspoelend sediment, oppervlakte- en grondwater.

Het specifieke doel van deze memo is het geven van een concreet maar globaal ontwerp van het nog in te richten grondwatermeetnet op Bonaire, inclusief specificaties van de beoogde meetlocaties en peilbuizen. Het opstellen van een monitoringplan met richtlijnen voor de monitoring, meetmethoden, meetfrequentie, meetinstrumenten, analysetechnieken en dergelijke valt buiten de scope, net als het meten en monitoren van de afstroming van nutriënten, sedimenten en (regen)water die plaats vindt over het landoppervlak en niet via de ondergrond.

Beschikbare kennis, gegevens en meetlocaties

Het verkrijgen van goed overzicht en inzicht in de beschikbare kennis en gegevens van de BES-eilanden is niet direct eenvoudig en snel te realiseren. Een verzameling van natuur- en biodiversiteitsinformatie is weliswaar beschikbaar op internet, in de vorm van de zogeheten Dutch Caribbean Biodiversity Database (DCBD, zie www.dcbd.nl). De DCBD bevat ongetwijfeld een schat aan informatie met deels ook onderliggende, ruwe datasets, maar de informatie is niet gestructureerd ontsloten en niet zozeer gericht op water, bodem, ondergrond en/of milieu. Een centrale verzameling van (geo)hydrologische gegevens en modellen van de ondergrond, zoals de databases DINO, REGIS, Geotop en Basisregistratie Ondergrond die van Nederland beschikbaar zijn, is niet voorhanden voor de BES-eilanden. Van Bonaire zijn wel verschillende verkennende onderzoeken bekend, waarbij op tijdelijke basis ook metingen aan het grondwater zijn verricht. We vatten hieronder de beschikbare onderzoeken, kennis en gegevens op hoofdlijnen samen.

In de periode vóór 2000 zijn verschillende malen gegevens verzameld van de bodem en het (grond)water op Bonaire. De verschillende onderzoeken waren in de regel echter gericht op het krijgen van meer inzicht in het (grond)watersysteem en verbetering van land- en/of watergebruik. Onderzoek van vóór 2000 naar vervuiling, eutrofiering of andere milieukundige aspecten is bij de auteurs van deze memo niet bekend. In de periode ná 2000 is een verkennend watersysteemonderzoek gedaan door Borst en De Haas (2005), en is verschillende malen onderzoek gedaan naar vervuiling en/of eutrofiering van bodem en grondwater (Broekgaarden e.a., 2011; Anoniem, 2013; Spiertz, 2013; Arboleda en Peachey, 2016). Via dit onderzoek is de aanwezigheid van verschillende vervuilingbronnen bevestigd of aan het licht gekomen. De verzamelde gegevens

zijn echter laag frequent en min of meer op ad hoc basis ingewonnen, waardoor van een permanent, coherent, voldoende frequent bemonsterd en afdoende beheerd meetnet tot nu toe onvoldoende sprake is. De peilbuizen of meetlocaties die door Broekgaarden e.a. (2011) geplaatst zijn, zijn zover bekend daarna niet meer gebruikt. Een deel van de meetlocaties die vervolgens door Spiertz (2013) zijn ingericht, bleek bij de meetronde in 2016 niet meer vindbaar en/of bruikbaar (Arboleda en Peachey, 2016). Voor zover bij de auteurs bekend zijn op moment van schrijven alle eerder geplaatste peilbuizen niet meer vindbaar en/of bruikbaar (maar er is door hen echter niet gericht naar gezocht).

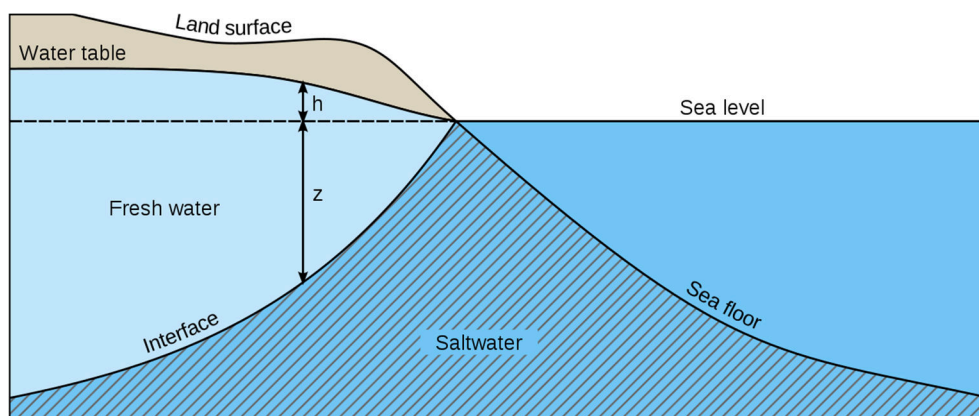
Terwijl de aandacht en locatiekeuze in 2011 specifiek gericht was op de verschillende van bodemvervuiling verdachte locaties op Bonaire, zijn de 32 peilbuislocaties die door Spiertz (2013) zijn ingericht overwegend dicht bij de kust en hoogwaterlijn van Bonaire gekozen (*Figuur 1*). Alhoewel de keuze voor het inrichten van meetlocaties dicht bij de kust begrijpelijk is vanuit de gedachte dat de 'instroom van vervuilende stoffen en nutriëntrijk grondwater in zee' gemonitord dient te worden, beperkt die keuze tegelijkertijd ook de bruikbaarheid van de verzamelde gegevens, en wel om de volgende redenen:



Figuur 1: Ligging van de peilbuislocaties zoals die eerder overwegend langs de kust van Bonaire zijn geplaatst door Spiertz (2013).

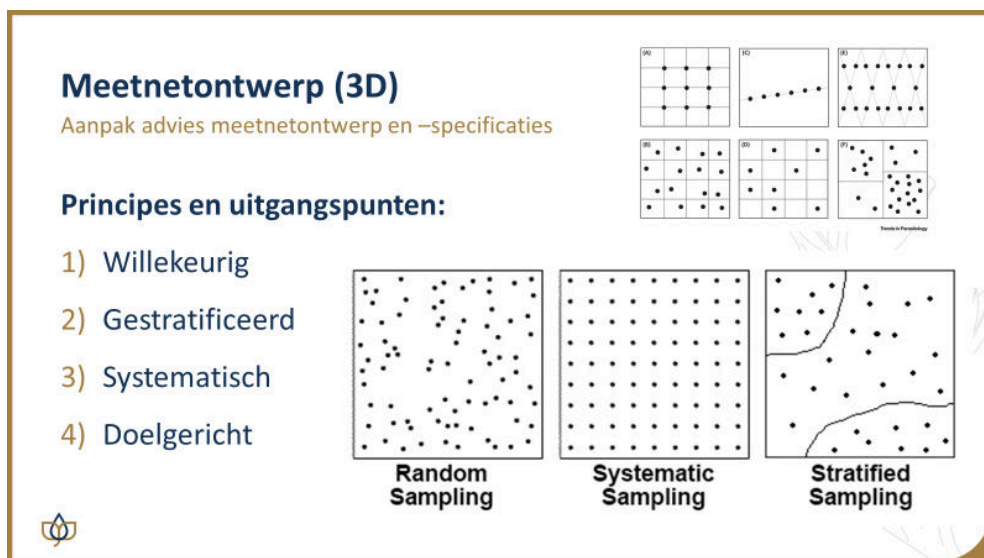


- De interpretatie van (waterkwaliteits)gegevens is moeilijk als er niet meer inzicht is in de werking van het onderliggende grondwatersysteem en de invloeden en geohydrologische processen die zich daar afspelen. Dit wordt als zodanig door verschillende auteurs ook onderkend en gerapporteerd. Het feit dat van de BES-eilanden weinig coherente gegevens over bodem, ondergrond en water beschikbaar zijn (zover bekend bij de auteurs), beperkt zoals het is de mogelijkheden daartoe in sterke mate. Vanuit het grondwatersysteem gedacht fungeert de zee en zeewaterspiegel daarbij in geohydrologische termen als rand of randvoorwaarde. Meetlocaties die te dicht bij de rand of kust zijn geplaatst monitoren daarbij niet zozeer het gedrag van het grondwatersysteem zelf, als wel dat van de randvoorwaarde of zeespiegel. Mede omdat de meetfrequentie daarnaast zeer beperkt was, geven de eerder geplaatste peilbuizen en boringen maar beperkt informatie over de geohydrologische en geochemische situatie en processen en opbouw van het eigenlijke grondwatersysteem.
- Bij monitoring en modellering van grondwater in kustzones dient in het algemeen rekening gehouden te worden met zogeheten intrusie van zeewater in de ondergrond, en de vorming en dynamiek van een zoetwaterlens daarbij (zie *Figuur 2*). Zeewaterintrusie beïnvloedt niet alleen de kwaliteit en samenstelling van het grondwater, maar ook de stroming en stijghoogte (zie o.a. (Badon-Ghyben, 1889; Herzberg, 1901; Verruijt, 1968; Post en Von Asmuth, 2013)). Mede vanwege de onzekerheden in de waterbalansen op Bonaire, en de eigenschappen en aanwezigheid van gesteente in de ondergrond, is de algehele situatie nabij de kust onzeker en naar verwachting dynamisch. Ook daarom zijn waterkwaliteitsgegevens op individuele, op zichzelf staande meetlocaties moeilijk te interpreteren.



Figuur 2: Schematische dwarsdoorsnede door een grondwatersysteem dat grenst aan de zee, met zoetwaterbel en intrusie van zeewater volgens het principe van Badon-Ghyben Herzberg (bron: https://en.wikipedia.org/wiki/Saltwater_intrusion)

Meetnetopzet en ontwerpprincipes



Figuur 3: Algemene principes en uitgangspunten met betrekking tot meetnet- en steekproefontwerp, zoals te vinden in de literatuur (bron: voortgangsoverleg grondwatermonitoring BES-eilanden d.d. 18-5-2022)

Zoals in de paragraaf vorige beschreven is van de drie BES-eilanden geen centrale verzameling van geohydrologische en geochemische gegevens en modellen van de ondergrond beschikbaar of bekend, noch lijkt er tot nu toe sprake geweest te zijn van een permanent, coherent, voldoende frequent bemonsterd en afdoende beheerd meetnet. Het nog in te richten grondwatermeetnet op Bonaire dient om die reden niet alleen zo goed mogelijk te voorzien in de doelstelling van het monitoren van ‘de instroom van vervuilende stoffen en nutriëntrijk grondwater in zee’ als bedreiging voor de koraalriffen. Het dient daarnaast ook zo goed mogelijk te voorzien in de lacunes en uitdagingen die de beperkte beschikbaarheid en onzekerheden in de hydrologische kennis, inzichten en gegevens van Bonaire als geheel met zich meebrengen. We gaan om die reden uit van de volgende opzet en ontwerpprincipes:

- **Meetnet- en steekproefontwerp: transecten** – Bij het doen van onderzoek en verzamelen van gegevens gelden in het algemeen de regels van de steekproeftheorie. Het gebruik daarvan is nodig om op verantwoorde wijze kwantitatieve uitspraken te kunnen doen over iets als de ‘totale instroom van vervuilende stoffen in zee’, op basis van een beperkt aantal metingen in tijd en ruimte waarvan hier uiteraard sprake is. Van de opties die daar in het algemeen voor bestaan (Figuur 3), kiezen we hier de voorkeur aan het gebruik van transecten als relatief efficiënte en systematische wijze van het nemen van een in beginsel ruimtelijk gestratificeerde steekproef. De ruimtelijke samenhang in het meetnet die op een dergelijke manier aangebracht wordt voegt letterlijk en figuurlijk een dimensie toe aan de monitoringresultaten en de gebruiksmogelijkheden daarvan (dit was als zodanig ook al één van de stellingen in (Von Asmuth, 2012)).

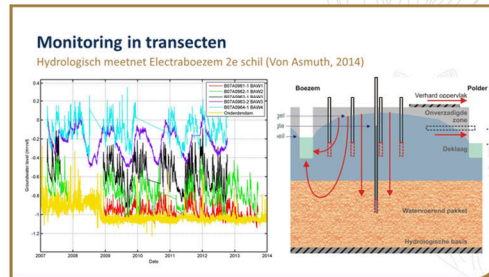


Transect parallel aan hydrologische gradiënt

Hydrologisch meetnet Electraboezem 2e schil (Von Asmuth, 2014)

Opbrengsten:

- Dwarsdoorsnede systeem
- Inzicht gradiënt zelf
- Processen, verblijftijden
- Interpretatie door vergelijking
- Betere 'trefkans' effect



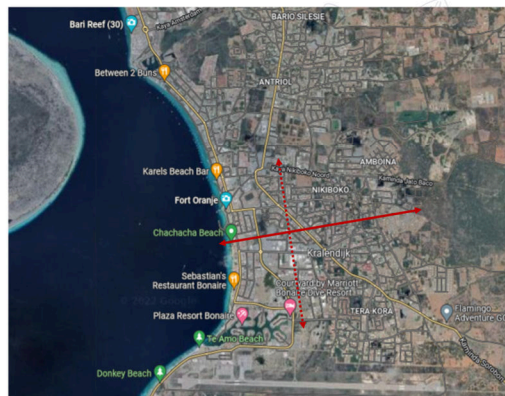
Figuur 4: 'Globale opbrengsten' van transecten die parallel lopen met de hydrologische gradiënt (bron: voortgangsoverleg grondwatermonitoring BES-eilanden, Von Asmuth en Leunk (2014))

Transect dwars op hydrologische gradiënt

Hydrologisch meetnet Electraboezem 2e schil (Von Asmuth, 2014)

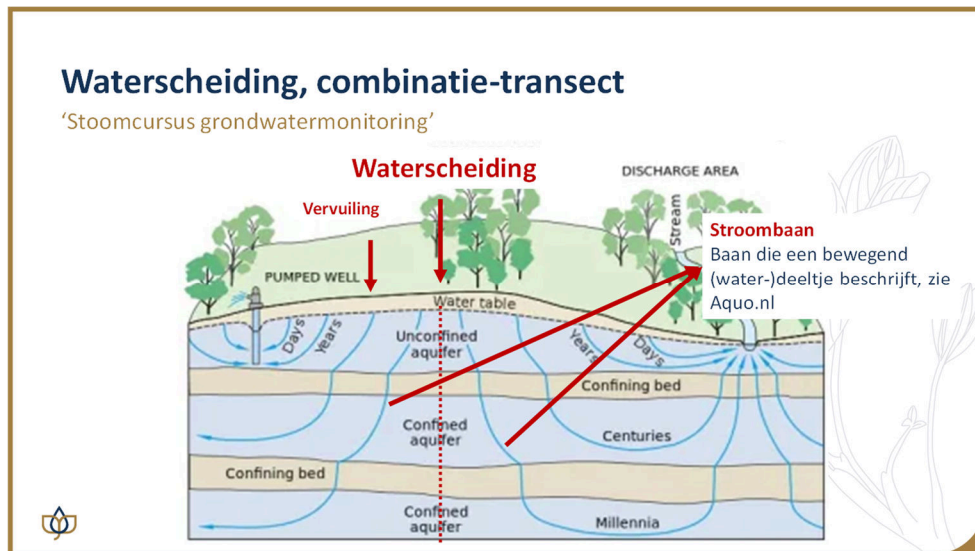
Opbrengsten:

- Inzicht variatie (systeem, effect)
- Representativiteit transect
- Betere 'trefkans' bronnen
- Mindere 'trefkans' effect
- Mindere interpretatie



Figuur 5: 'Globale opbrengsten' van transecten die dwars staan op de hydrologische gradiënt (bron: voortgangsoverleg grondwatermonitoring BES-eilanden)

- Transect-oriëntatie: **parallel en dwars op gradiënt** – We kiezen hier voor een basistransect dat haaks staat op de kustlijn, dat daarmee parallel loopt aan de geohydrologische en hoogtegradiënt. De grondwaterstroming en bijbehorende transportprocessen vinden daardoor in de regel ook parallel aan deze transecten plaats, wat de trefkans op vervuiling en effecten van maatregelen verhoogt en de interpretatie vereenvoudigt. Deze basistransecten combineren we vervolgens met dwarstransecten die juist weer parallel op de kustlijn staan, en zorgen voor meer inzicht in en mogelijkheden om de



Figuur 6: Vervuiling uit individuele bronnen stroomt in de regel langs een zogeheten stroombaan af. De grondwaterkwaliteit is dus ruimtelijk heterogeen, verschillende monitoringsdoelen kunnen daarmee gecombineerd worden in één transect (bron: voortgangsoverleg grondwatermonitoring BES-eilanden).

ruimtelijke variatie te schatten of kwantificeren (Figuur 4, Figuur 5)

- **Transectdoel en ligging: gestratificeerd, primair en secundair** – Voor de ligging van transecten geldt dat deze in beginsel gestratificeerd worden naar de hoofdvormen van landgebruik op Bonaire. Bij de verschillende landgebruiksvormen gaat het op hoofdlijnen om 1) min of meer natuurlijk gebied, 2) bebouwd gebied en 3) ruderaal, agrarisch gebied. Deze landgebruiksvormen zijn zelf uiteraard niet diffuus en regelmatig verspreid, maar min of meer geclusterd aanwezig op het eiland. Belangrijk is verder het maken van onderscheid tussen het zogeheten primaire en de secundaire meetnetten, waarbij het doel van de eerste in het algemeen de basis- en systeemmonitoring is, terwijl de secundaire meetnetten gericht zijn op individuele doelen, invloeden en/of bronnen. Het primaire meetnet ligt daarbij zoveel mogelijk in min of meer onverstoord en natuurlijk gebied, terwijl bij secundaire meetnetten doorgaans bekende of mogelijke specifieke invloeden spelen. Vervuiling uit individuele bronnen stroomt bovendien langs zogeheten stroombanen af, waarbij deze in de regel slechts beperkt zijdelings disperseert (Figuur 6). Om die reden kan de grondwaterkwaliteit aan de ene kant ruimtelijk heterogeen zijn, maar aan de andere kant kunnen verschillende monitoringsdoelen om diezelfde reden ook gecombineerd worden in één transect.
- **Meetlocatiekeuze: gelijke afstand** – Omdat de hydrologische gradiënt min of meer regelmatig en parallel verloopt aan het transect (de grondwaterstand vertoont van nature

een ‘opbolling’ vanuit het midden naar de rand van een systeem), kiezen we de meetlocaties in principe ook regelmatig verspreid en op gelijke afstand van elkaar.

N.B.: Vervuiling uit individuele vervuilings- en eutrofiëringsbronnen volgt zoals gezegd in het algemeen niet de stijghoogte-gradiënt, maar individuele stroombanen (*Figuur 6*). De voor het koraal relevante vervuiling stamt naar verwachting uit min of meer diffuse en/of een groot aantal individuele bronnen (landbouw, huishoudens, etc). Een alternatieve aanpak voor het kiezen van de meetlocaties is om de afstand daartussen af te laten nemen met de afstand tot de kust of rand van het grondwatersysteem. Vanuit kwantiteitsoogpunt kan dit voordelen bieden omdat het verhang van de stijghoogte en de stroming aan de randen groter zijn. Vanuit kwaliteitsoogpunt dient dit afgewogen te worden tegen de ruimtelijke spreiding en meetfrequentie.



Figuur 7: Oorspronkelijke waterput W007 op Bonaire, met (grond)waterstroming via spleten en holtes vanwege karstverschijnselen (bron: Borst en De Haas (2005))

- **Diepteligging buisfilters: grotendeels onbekend** - Het geven van een betrouwbaar advies over de diepteligging van de te plaatsen peilbuisfilters is helaas niet goed mogelijk, omdat er ook geen goed ruimtelijk beeld is van de te verwachten diepte van de grondwaterspiegel. De (grond)waterstanden zoals die gerapporteerd worden door Borst en De Haas (2005) zijn heterogeen, en geven wat dat betreft onvoldoende houvast. De ondergrond van Bonaire bestaat daarbij naar verwachting grotendeels uit meer of minder verweerd gesteente (diabaas en kalksteen), wat maakt dat de (grond)waterstroming via spleten, holtes en grotten zal verlopen (o.a. vanwege karstverschijnselen, zie ook *Figuur 7*). E.e.a. maakt de (grond)waterstroming en standen sterk heterogeen, niet-lineair en moeilijk

te voorspellen. Grondwatermonitoring en -modellering in dergelijke omstandigheden is notoir gecompliceerd, heeft in het algemeen extra inspanning en aandacht, en kent een eigen aanpak en bijbehorende literatuur (*Figuur 8*). Mede daarom kiezen we hier ook voor het plaatsen van slechts één buis of filter per put of meetlocatie.



Figuur 8: Voorbeelden van literatuur en illustraties met betrekking tot grondwatermonitoring in (verweerd) gesteente (bron: voortgangsoverleg grondwatermonitoring BES-eilanden)

Conclusies en adviezen

Uit de beperkte inventarisatie van de beschikbare kennis, gegevens en meetlocaties van Bonaire die gedaan is, volgt dat er tot nu toe onvoldoende sprake is geweest van een permanent, coherent, voldoende frequent bemonsterd en afdoende beheerd meetnet. Ook een centrale verzameling van geohydrologische en geochemische gegevens en modellen van de ondergrond is niet voorhanden voor de BES-eilanden, zoals die voor de rest van Nederland wel beschikbaar is in de vorm van de databases DINO, REGIS, Geotop en de Basisregistratie Ondergrond.

De beperkingen van de eerdere meetlocaties en gegevens bieden zowel een uitdaging als een kans. Het biedt de gelegenheid om, ongehinderd door reeds aanwezige meetlocaties en opzet, naar eigen inzicht een geheel nieuw grondwatermeetnet in te richten. In deze memo is dan ook relatief veel aandacht besteed aan de achtergronden en principes achter het eigenlijke meetnetontwerp, waarvan de specificaties samen met verdere suggesties en adviezen is opgenomen als bijlage A in de memo.

Een algemeen advies is gerelateerd aan de scope-afbakening van deze memo, zijnde dat het onderwerp daarvan zich beperkt tot grondwater. Te verwachten valt echter dat ook de afstroming van nutriënten, sedimenten en regenwater via het landoppervlak, substantiële invloed heeft op het koraalrif en de ingang zijnde degradatie daarvan. Het ontwerpen en inrichten van een

monitoringssysteem dat deze invloeden volgt en in kaart brengt, verdient dus zeker ook aanbeveling.

Literatuur

- Anoniem** (2013) Interpretatie Grondwaterkwaliteitsmonitoring Bonaire, CN; monitoring en monitoringsvoorstellen nutriëntenmonitoring kustzone; Rapportnummer 082013_2, Progressive Environmental Solutions i.s.m. Wayaká Advies, Bonaire.
- Arboleda, E. en R.B. Peachey** (2016) A study of water quality parameters of a selection of wells in Bonaire, 2016; CIEE Research Station Bonaire, Kralendijk.
- Badon-Ghyben, W.** (1889) Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam; in: *Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs*, vol 27, pag 1888-1889.
- Berends, D., B. Trommelen en V. Sels** (2023) Integrale Visie Afvalwater Bonaire, 2023 - 2030; Report WM-WTI-BI5912-R01 concept/2, HaskoningDHV Nederland B.V., Amersfoort.
- Borst, L. en S.A. De Haas** (2005) Hydrological Research Bonaire; A hydrogeological investigation of Bonaire's watersystem; Acacia Institute, Gouda.
- Bouma, J., M. Maasbommel en I. Schuurman** (2012) Handboek meten van grondwaterstanden in peilbuizen; rapportnr. 2012-50 STOWA, Amersfoort.
- Broekgaarden, K., L. Borst, J.M. Wezenbeek en F.J.L. Vliegthart** (2011) Verkennend bodemonderzoek Bonaire, concept; Projectnummer 303304, Grontmij Nederland B.V., De Bilt.
- Herzberg, A.** (1901) Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder; in: *J. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*, vol 44, pag 815-819.
- NEN** (2015) Bodem - Richtlijn voor de keuze en toepassing van boortechnieken en monsternemingstoestellen voor grond, sediment, slib en grondwater bij milieuonderzoek NPR 5741:2015 nl, Normcommissie 390020 "Milieukwaliteit", Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- (2021) Bodem - Plaatsing van peilbuizen ten behoeve van milieukundig bodemonderzoek; NEN 5766, Normcommissie 390 009 "Bodemkwaliteit", Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NMBP-CN** (2020) Beleidsplan natuur en milieu Caribisch Nederland 2020 tot 2030; plan voor land en water; Ministeries van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Infrastructuur en Waterstaat en Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties, Den Haag.
- Platform Meetnetbeheerders** (2017) Deel 1: Handboek Monitoring Grondwaterkwaliteit KRW provincies en RIVM; Versie: PMB_update2016_06042017, Platform Meetnetbeheerders Bodem- en Grondwaterkwaliteit.
- (2018) Kwaliteitsborging grondwaterstands- en stijghoogtegegevens: Protocol voor datakwaliteitscontrole (QC) (versie 2.0); Rapport PMB2018, Platform meetnetbeheerders grondwaterkwantiteit provincies, Arnhem.
- Post, V.E.A. en J.R. Von Asmuth** (2013) Hydraulic head measurements: New technologies, classic pitfalls; in: *Hydrogeology journal*, vol DOI 10.1007/s10040-013-0969-0, pag.
- SIKB** (2018) Plaatsen van handboringen en peilbuizen, maken van boorbeschrijvingen, nemen van grondmonsters en waterpassen; Protocol 2001, Versie 6.0, Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer (SIKB), Gouda.
- Spiertz, P.** (2013) Eindverslag uitbreiding peilbuizen netwerk Bonaire Management & Independent Consultancy, Zeelandia, Curaçao, N.A.
- Standaardisatieteam** (2017) Basisregistratie Ondergrond (BRO) Catalogus Grondwatermonitoringput, versie 1.0; Programmabureau BRO, Ministerie van I&M, Den Haag.
- Verruijt, A.** (1968) A note on the Ghyben-Herzberg formula; in: *Hydrological Sciences Journal*, vol 13, no 4, pag 43-46.



- Von Asmuth, J. en J. Winterdijk** (2023) Grondwatermonitoring Bonaire, Sint Eustatius en Saba; advies over meetnetontwerp en locatiespecificaties; Rapport 2022.003 v0.51, Trefoil Hydrology, Utrecht.
- Von Asmuth, J.R.** (2012) Groundwater System Identification, through Time Series Analysis; Ph.D. thesis, Delft University of Technology, Delft.
- Von Asmuth, J.R. en I. Leunk** (2014) Hydrologisch meetnet Electraboezem 2e schil, effecten van boezempeilverlaging en bodemdaling.; Rapportnr KWR KWR 2014.039, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.



Bijlage A: Specificaties meetnetontwerp (globaal)

Het meetnetontwerp (versie V) met globale ligging van de transecten en meetlocaties is weergegeven in *Figuur 9*, maar ook online beschikbaar op Google Maps via de volgende link:

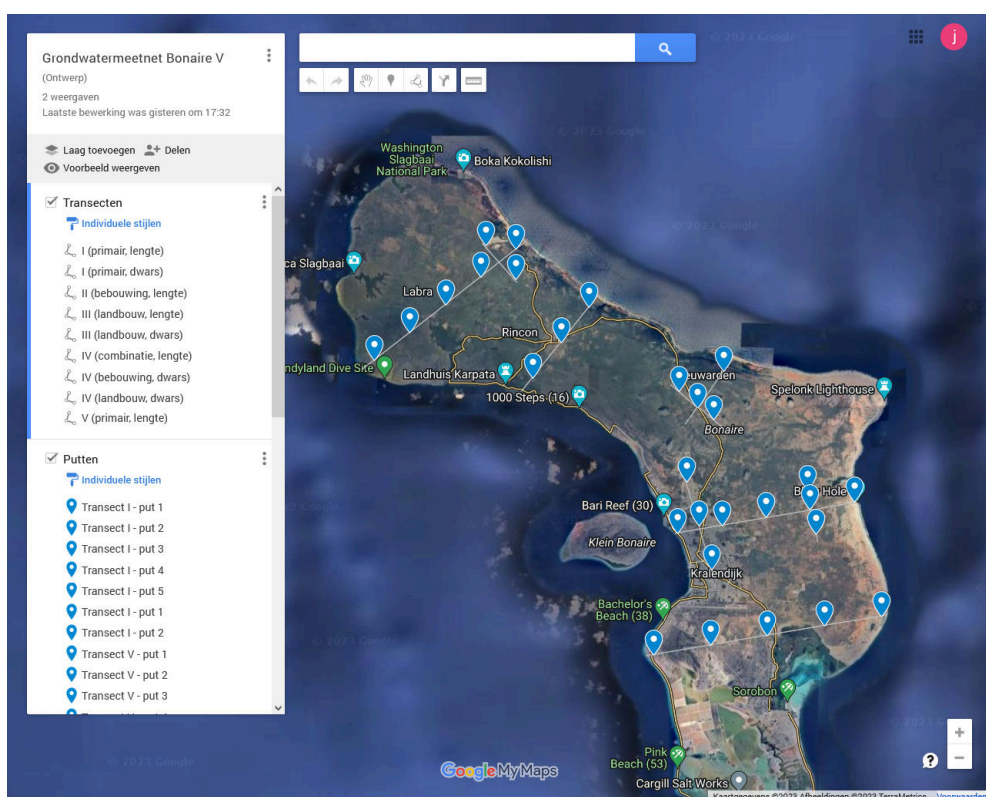
https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1pIlxEjk2quDEmACI4I_SJI2H4086sc&ll=12.176723146532137%2C-68.35223479119982&z=12

Suggesties en adviezen:

Het verkrijgen van goed inzicht en overzicht van de beschikbare gegevens en situatie van de BES-eilanden was niet direct eenvoudig en snel te realiseren. Om die reden is het resultaat in dit kader weliswaar concreet maar slechts globaal uitgewerkt. Aanvullend zijn de volgende suggesties en adviezen te geven:

- Bij de ligging van de transecten en meetlocaties is maar beperkt rekening gehouden met de **hoogteligging**. Uit kosten- en bereikbaarheidsoverwegingen verdient het aanbeveling om de hoogteligging van en rond de transecten beter in beeld te brengen en mee te wegen, om op die manier tot lagere kosten en betere locatiekeuzes en bereikbaarheid te komen.
- Bij de ligging van de transecten en meetlocaties is maar beperkt rekening gehouden met de meetlocaties die aanwezig zijn in het **kustwater** zelf. Het verdient aanbeveling om ook deze in beeld te brengen in Google Maps en mee te wegen, om op die manier tot een betere aansluiting op het kustwatermeetnet en interpretatie van de gevolgen voor de koraalontwikkeling te komen.
- Bij de ligging van de transecten en meetlocaties is maar beperkt rekening gehouden met de **peilbuizen die eerder in 2011, 2013 en 2016 geplaatst zijn**. Het verdient aanbeveling om ook deze in beeld te brengen in Google Maps en mee te wegen, om op die manier tot een betere aansluiting daarop en vergelijking met de eerder verzamelde gegevens te komen.
- Bij de ligging van de transecten en meetlocaties is maar beperkt rekening gehouden met relevante **maatregelen** zoals die bijvoorbeeld op Bonaire genomen zijn of worden. Het in beeld brengen en monitoren van het effect van deze maatregelen is **een doel op zich**. Het verdient aanbeveling om ook deze in beeld te brengen in Google Maps en mee te wegen, om op die manier tot een betere aansluiting daarop en interpretatie van de te verzamelen gegevens te komen. Als concreet voorbeeld noemende we hier de aanbeveling in de nieuwe 'Integrale Visie Afvalwater Bonaire 2023-2030' (Berends e.a., 2023) om te overwegen om transect IV zodanig te verleggen dat ook de vermoede nutriëntenbelasting van het donkey sanctuary wordt meegenomen.

- De alternatieve keuze om de meetlocaties niet op onderling gelijke afstand te plaatsen, maar op **afnemende afstand** naar gelang de afstand tot de kust afneemt, is niet goed bekeken. Het verdient aanbeveling om dat alsnog te doen.
- In dit onderzoek is slechts beperkt gezocht en/of gekeken naar eerdere **gegevens van bodem en ondergrond**. Het verdient aanbeveling om de gegevens die er wel zijn waar nodig in te voeren en/of te converteren, in beeld te brengen in Google Maps en mee te wegen. Het verkrijgen van goede boorbeschrijvingen en/of andere gegevens van bodem en ondergrond van de BES-eilanden is daarbij **een doel op zich**.



Figuur 9: Globaal meetnetontwerp (versie V) met ligging van de transecten en meetlocaties, zoals weergegeven op Google Maps.

Bijlage C: Eigenschappen, inrichting en onderhoud meetlocaties (onvolledig)

Inleiding, suggesties en adviezen

De tekst en inhoud van deze bijlage is een momentopname en onvolledig uitgewerkt, mede omdat e.e.a. buiten de scope van de memo lag. Daarnaast geldt ook voor deze bijlage dat het resultaat slechts globaal is uitgewerkt omdat het verkrijgen van inzicht in de situatie van de BES-eilanden niet direct eenvoudig en snel te realiseren was. Tegelijkertijd is het eigenlijke materiaal van en voor de peilbuizen en beschermkokers op Bonaire al aangeschaft en aanwezig in een container bij het Openbaar Lichaam

Suggesties en adviezen:

Aanvullend zijn de volgende suggesties en adviezen te geven:

- Het volledig uitwerken van de inhoud van deze memo verdient aanbeveling, als onderdeel van een nader op te stellen **monitoringplan** met richtlijnen voor de monitoring, meetmethoden, meetfrequentie, meetinstrumenten en analysetechnieken.
- De gegevens van en die volgen uit het meetnet dienen op een uniforme en gestructureerde manier ingewonnen, gecontroleerd, opgeslagen en beschikbaar gesteld te worden. Gebruik van de inhoudelijke **gegevensstandaarden** van de Basisregistratie Ondergrond (BRO) verdient daarbij aanbeveling, omdat dit op termijn ook nodig zal zijn voor opslag in de BRO zelf. Ook gebruik van de kennis en **protocollen** van het platform meetnetbeheerders van de gezamenlijke provincies (Platform Meetnetbeheerders, 2017, 2018) is een kans en verdient aanbeveling.
- Uit de eerder in 2011, 2013 en 2016 ingerichte meetnetten en verrichtte metingen kan de lering getrokken worden dat het **beheer en onderhoud** van het meetnet afdoende uitgewerkt en belegd dient te worden bij een partij met voldoende affiniteit, capaciteit en kennis daarvoor.

Materiaal en constructie

Buismateriaal

HDPE - Volgens Bouma e.a. (2012) is PVC-materiaal voor kwaliteitsmetingen van macro-ionen en vluchtige chloorkoolwaterstoffen (VOC's) niet geschikt, en kan er beter gebruik gemaakt worden van polyethyleen (PE) of high density polyethyleen (HDPE). Ook de Nederlandse norm 5766 (NEN, 2021) benoemt de matige chemische inertheid en diffusiedichtheid als nadelen van PVC en



voordelen van HDPE daarbij. Als nadeel van HDPE wordt wel genoemd dat het buigbaar is. Teflon is volgens de norm overigens de beste keuze, maar heeft als nadeel dat het duur is. Zie ook het SIKB-protocol, dat verschillende NEN-normen verenigt (SIKB, 2018).

Buisdiameter

Minimaal 50 mm - De buisdiameter moet voldoende zijn om ruimte te bieden voor de installatie van (druk)sensoren. Eventueel is er daarnaast ook ruimte nodig voor waterkwaliteitssensoren, waarvan het gebruik en de bruikbaarheid nog nader bekeken moet worden.

Verbinding buisdelen

Schroefdraad zonder verlijming – De verbinding moet waterdicht zijn, maar gebruik van lijm is met het oog op contaminatie van het grondwater niet toelaatbaar voor kwaliteitsmetingen. Gebruik van een strak sluitende mofverbinding wordt in NEN-norm 5766 ook genoemd als optie.

Materiaal beschermkoker

RVS met robuuste kunststof kap, of evt. geheel van kunststof - Eerdere peilbuizen op Bonaire zijn verloren gegaan omdat de beschermconstructie niet afdoende was. Eerder is ook staal gebruikt dat snel blijkt te roesten. Het materiaal van de beschermkoker moet daarom RVS zijn (maar dat is kostbaar), of eventueel robuust kunststof, met RVS-hangslot. Of kunststof voldoende robuust en weer- en vandalismebestendig is in de situatie van de BES-eilanden, is niet goed duidelijk. De kap van de beschermkoker moet in ieder geval van robuust kunststof zijn, vanwege het gebruik van telemetrie.

Diameter beschermkoker

Minimaal 200 mm - De diameter van de beschermkoker moet voldoende zijn om ruimte te bieden voor installatie van telemetrie-apparatuur. De verwachting is dat we op verschillende locaties met twee buizen of filters per monitoringput gaan werken. Eventueel is er daarnaast nog ruimte nodig voor waterkwaliteitssensoren, waarvan de bruikbaarheid nog nader bekeken moet worden.

Maaibeschermering

In overleg – In de Nederlandse situatie wordt in grasland doorgaans ook een houten maaibeschermering rond de beschermkoker aangebracht. Of dit ook raadzaam is op de BES-eilanden is onduidelijk.

Data-inhoud en -verwerking

Conform BRO en QC-protocol – Ondanks dat de BES-eilanden (nog) niet onder de wet BRO vallen, kiezen we ervoor om bij de inhoud van de te verzamelen gegevens van de meetlocaties of grondwatermonitoringputten wel uit te gaan van dit van de BRO (Standaardisatieteam, 2017). Voor dataverwerking en kwaliteitscontrole daarbij gaat Rijkswaterstaat uit van het QC-protocol (Platform meetnetbeheerders, 2018), dat aansluit bij de BRO en een optie is daarbinnen.



Installatie

Boren en boorvloeistof

Water zonder bentoniet – Omdat er soms in gesteente geboord zal moeten worden kan het nodig zijn om boorvloeistof te gebruiken. Boorvloeistof bestaat gewoonlijk (in ondiep gesteente) uit water of zeewater waaraan bentoniet is toegevoegd, maar bentoniet is chemisch niet-inert en kan dus de waterkwaliteit ongewenst beïnvloeden.

Keuze filterdiepte(s)

Beoordelen tijdens boren – Er zijn nog weinig gegevens beschikbaar en er is weinig inzicht in de geohydrologische opbouw, doorlatendheid en samenstelling van de ondergrond en de te verwachten stijghoogtes en grondwaterstanden en dynamiek daarvan. Degene die er wel zijn, zouden eigenlijk beter bekeken moeten worden. Om die reden dienen de filterdiepte(s) tijdens het boren ter plekke en in het veld beoordeeld en gekozen te worden. Als vuistregels gaan we er van uit dat er geboord dient te worden tot het moment dat er daadwerkelijk grondwater én doorlatend materiaal dan wel verweerd gesteente aangetroffen wordt. De bovenkant van het (ondiepe) filter dient vervolgens zo mogelijk minimaal een meter onder dat niveau geplaatst te worden, zolang dat tenminste niet betekent dat het filter daarmee al dan niet in ondoorlatend gesteente of materiaal valt. De beoordeling en keuze van de diepte van een tweede, dieper geplaatst filter is zonder vooronderzoek (nog) lastiger. Mogelijk zou er op basis van ‘trial and error’ ruwweg vijf tot 10 meter dieper geboord kunnen worden, waarbij er een tweede filter geplaatst kan worden als het materiaal op die diepte voldoende doorlatend is en zich daartussen voldoende weerstand bevindt.

Omstorting en afdichting boorgat

Filterzand en zwelklei – Slecht waterdoorlatende lagen dienen in het algemeen afgedicht te worden met een minimaal 1 meter dikke laag zwelklei (bentoniet) om verticale grondwaterstroming (kortsluitstroming) langs de peilbuis te voorkomen. De rest van de ruimte tussen boorgatwand en peilbuis dient afgedicht te worden met het oorspronkelijke bodemmateriaal, zo mogelijk in dezelfde laagvolgorde en op dezelfde diepte, en/of filterzand.

In het algemeen is filterzand met een korrelgrootte tussen 1,0 mm en 1,8 mm voor alle grondsoorten toepasbaar (NEN, 2021). De zwelklei dient een zwelvermogen van minimaal 200 % (gemeten volgens Enslin) te hebben voor waterkwaliteitsbepalingen (NEN, 2015).

Bentoniet is echter chemisch niet-inert, en kan dus de waterkwaliteit ongewenst beïnvloeden. Er dient daarom een zandkering te worden aangebracht bovenaan het filter om te voorkomen dat bentoniet naast het filter terechtkomt bij het opvullen van het boorgat.

Aantal buizen per boorgat

Afhankelijk van afdichting - Indien het goed gecontroleerd aanbrengen van zwelklei niet mogelijk is, wordt afgeraden meer dan één peilbuis per boorgat te plaatsen (NEN, 2021). Bij boorgaten met een grotere middellijn is het plaatsen van meer dan één buis in een boorgat en het gebruik van zwelklei meestal wel mogelijk indien de zwelklei langzaam wordt ingebracht en er geen moffen of andere

obstakels zijn waarop de zwelklei kan blijven steken. Bij kleinere boorgaten is het maken van één boorgat per peilbuis zekerder.

Schoonpompen

In veelvoud – Vanwege de versturende en vermengde werking van het boren en het eventuele gebruik van boorvloeistof dient het in het filter aanwezig water direct na plaatsing zorgvuldig en in veelvoud worden weggepompt volgens de NPR-richtlijn (NEN, 2015).

Inmeten

Conform normen en BRO – <Nader uitwerken>

Boorbeschrijving

Conform NEN-norm en BRO – <Nader uitwerken>

Instrumenten en metingen

CTD-Divers

<Nader uitwerken>

Onderhoud

<Nader uitwerken>