

Opbouw kennisbasis voor grondwater- en ondergrondbeheer in Paramaribo



Opbouw kennisbasis voor grondwater- en ondergrondbeheer in Paramaribo

Auteur(s)

Roel Melman

Oclaya Verwey

Daan Rooze

Opbouw kennisbasis voor grondwater- en ondergrondbeheer in Paramaribo

Opdrachtgever	-
Contactpersoon	-
Referenties	-
Trefwoorden	-

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	08-04-2025
Projectnummer	11209222-005
Document ID	11209222-005-ZWS-0001
Pagina's	54
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Roel Melman Deltares	
	Oclaya Verwey Anton de Kom Universiteit van Suriname	
	Daan Rooze Deltares	

Samenvatting

Paramaribo, gelegen in de laaggelegen kustvlakte van Suriname, is de grootste stad van het land en huisvest bijna de helft van de bevolking. De stad zal naar verwachting groeien van 257.000 inwoners in 2016 tot ruim 507.000 in 2056. Deze groei vereist een aanzienlijke uitbreiding van het huizenbestand, waarbij rekening moet worden gehouden met het water- en ondergrondsysteem om problemen zoals schade aan infrastructuur en wateroverlast te voorkomen. Met name de wateroverlast is nu ook al een groot probleem in Paramaribo.

Een kennisbasis over bodem en grondwater kan bijdragen aan geïnformeerde besluitvorming omtrent wateroverlast, schadepreventie en klimaatadaptatie. Deze kennisbasis kan worden opgebouwd door integratie met andere bouw- en infrastructurele projecten en moet centraal en openbaar toegankelijk worden gemaakt.

Voor dit rapport is een start gemaakt met het verzamelen van bestaande informatie over de ondiepe bodem en het grondwatersysteem van Paramaribo. Daarnaast zijn er ook een aantal nieuwe metingen uitgevoerd. Hiermee vormt dit rapport een eerste aanzet tot de opbouw van de kennisbasis. Belangrijke vervolgstappen zijn:

- Uitbreiding van het meetnetwerk met betrokkenheid van marktpartijen.
- Organisatie van een centraal platform voor databeheer.
- Betrekken van studenten bij dataverzameling en interpretatie van meetdata.

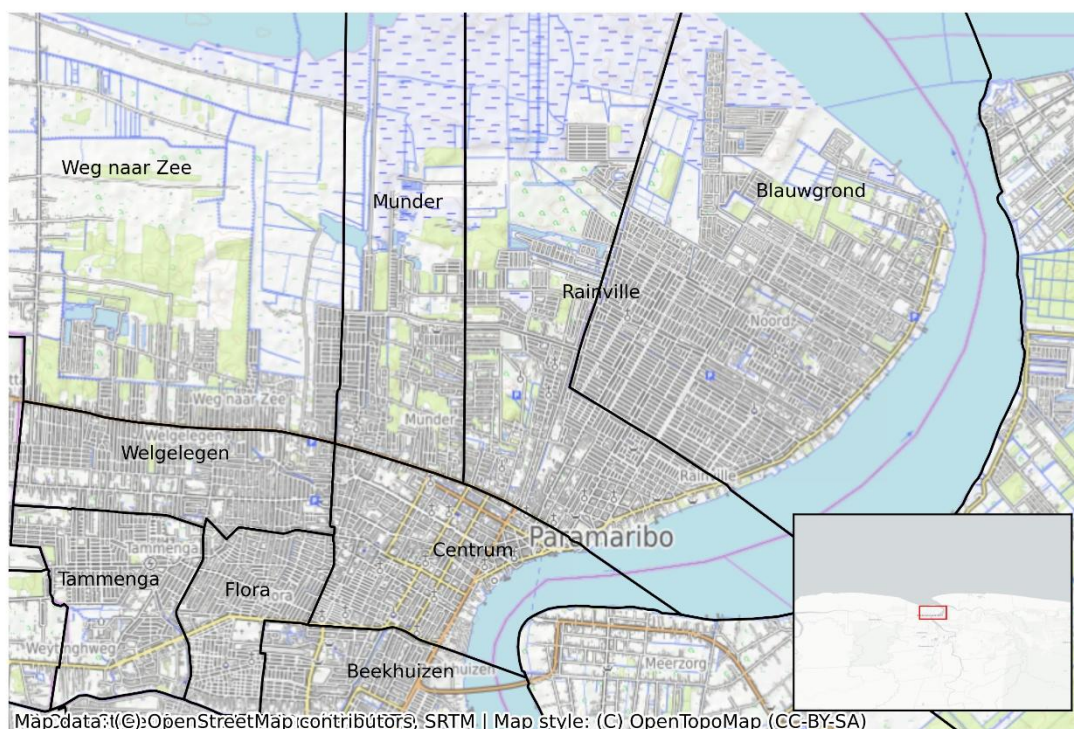
Inhoud

	Samenvatting	4
1	Aanleiding	7
2	Theorie grondwater	9
2.1	Het afgesloten grondwatersysteem	9
2.2	Freatisch grondwatersysteem	9
2.2.1	Neerslag en verdamping	10
2.2.2	Uitwisseling met oppervlaktewater	11
2.2.3	Ondergrondse infrastructuur	12
2.2.4	Uitwisseling met middendiepe aquifers	12
3	Bronmateriaal en methoden	13
3.1	Bestaande bronnen	13
3.1.1	Geologische en bodemkarteringen	13
3.1.2	Maaiveldhoogtekaart	13
3.1.3	Neerslag	13
3.1.4	Surinamerivierpeil	13
3.2	Nieuw verkregen meetdata	14
3.2.1	Geologische boringen	14
3.2.2	Freatische grondwaterstandsmetingen	15
3.3	Gebruik grondwaterstandsmetingen	16
3.3.1	Metten van de grondwaterstand	16
3.3.2	Barometrische compensatie diver-data	16
3.3.3	Analyse grondwaterstandsmetingen	17
4	Eerste verkenning ondiepe bodem en grondwater in Paramaribo	19
4.1	Bodem en ondiepe geologie	19
4.1.1	Geologische en bodemkarteringen	19
4.1.2	Geologisch transect	20
4.1.3	Hoogtekaart en bodemdaling	22
4.2	Freatische grondwaterdynamiek	23
5	Vervolgstappen	26
5.1	Noodzaak kennisbasis grondwater en bodem	26
5.2	Gebruik van ondergronddata in stedelijk waterbeheer	28
5.3	Onderzoekscasussen	29
6	Literatuur	33
A	Boorstaten	35
A.1	Boorstaat geologische boring	35
A.2	Boorstaat geologische boring inclusief peilbuis	36

B	Locaties grondwatermeetpunten	37
B.1	Overzichtstabel	37
B.2	Peilbuis Anton de Kom Universiteit (Gebouw 7)	38
B.3	Peilbuis Van Roosmalestraat	39
B.4	Peilbuis Jakob Reintjesstraat	40
B.5	Peilbuis Ministerie van Openbare (BFZ) - Professor W.J. Kernkampweg	41
B.6	Peilbuis Ministerie van Openbare Werken (BFZ) -Johannes Mungrastraat	42
B.7	Peilbuis Piet Ezenchielsstraat	43
C	Metingen	44
C.1	Grondwaterstanden	44
C.2	Boringen	47
D	Uitkomsten brainstorm	51
E	Doorlatendheid en eenvoudige putproeven	52

1 Aanleiding

Paramaribo ligt in de laaggelegen jonge kustvlakte van Suriname aan de westoever van de Surinamerivier (Figuur 1.1). Paramaribo is veruit de grootste stad van Suriname en huisvest bijna de helft van de totale bevolking van het land (ABS, 2023). Volgens projecties zal het aantal inwoners van Paramaribo toenemen van 257.000 in 2016 tot ruim 507.000 inwoners in 2056 (ABS et al., 2014). Dit betekent dat ook het huizenbestand flink mee zal moeten groeien. Hierbij is het van belang om bij de inrichting en uitbreiding van de stad voldoende rekening te houden met het water- en ondergrondsysteem van de stad. Dit vormt immers een belangrijke randvoorwaarde voor het bouwen en wonen in de stad en wanneer hier onvoldoende rekening mee wordt gehouden, kunnen problemen ontstaan zoals wateroverlast en schade aan gebouwen en infrastructuur.



Figuur 1.1: Overzichtskartaal van Paramaribo en verschillende ressorten.

Paramaribo ligt op een systeem van oude strandwallen en mariene kleien die in de afgelopen 7000 jaar zijn gevormd (Groen, 2002). De zandige strandwallen zijn steviger en liggen wat hoger in het landschap, waardoor ze relatief goede uitgangspunten vormen voor bebouwing. De kleiige mariene afzettingen zijn daarentegen slap en slecht gedraineerd, waardoor ze minder geschikt zijn voor bebouwing. Juist in deze laaggelegen, slappe kleibodems speelt de bodem een directe en indirecte rol in waargenomen problematiek.

In deze laaggelegen gebieden bevinden zich natuurlijke krekens die het (regen)water afvoeren. In de afgelopen decennia is de hoeveelheid verhard oppervlak in Paramaribo echter sterk toegenomen, waardoor minder water in de bodem kan infiltreren en de belasting op het oppervlaktewatersysteem groter is geworden. Daarnaast zijn delen van de krekens overdekt, waardoor de afvoercapaciteit is afgenomen (Aluvihare & Postma, 2008). Mede als gevolg hiervan is Paramaribo tegenwoordig een van de meest kwetsbare steden ter wereld voor overstromingen als gevolg van zware regenval (Wereldbank, 2024). Bovendien ontbreekt

gescheiden infrastructuur voor de afvoer en verwerking van grijswater, waardoor het water op straat sterk vervuild kan zijn en een mogelijk gezondheidsrisico voor de bevolking vormt (van der Meulen et al., 2024).

Een ander probleem, wat minder breed gerapporteerd is, maar uit diverse kranten- en overheidspublicaties wel naar voren komt is de schade aan gebouwen en infrastructuur als gevolg van bodembeweging en bodemdaling (e.g. Dagblad Suriname (2013), Dagblad Suriname (2021), Eduard (2022) & Ministerie van Openbare Werken (2023)). Dit lijkt voornamelijk een rol te spelen bij huizen die worden gebouwd in Noord-Paramaribo, wat het jongste deel van de kustvlakte vormt. De satelliet-studie in opdracht van de Wereldbank (EO4SD Disaster Risk Reduction, 2020) toont aan dat dit gebied langzaam daalt (0.5 tot 1.0 cm/jr). Dit is mogelijk gerelateerd aan de relatief recent gestarte ontwikkeling en ontwatering van het gebied. Daarnaast is juist dit gebied kwetsbaar voor zeespiegelstijging. Volgens de recent gepubliceerde KNMI-klimaatsscenario's voor Suriname (Koole et al., 2024) wordt verwacht dat de zeespiegel aan de kust van Suriname tegen 2100 met waarschijnlijk 45 tot 78 cm zal stijgen, afhankelijk van het emissiescenario. Dit zal een enorme uitdaging vormen voor dit gebied, dat al laaggelegen is, te maken heeft met bodemdaling en grotendeels een onbeschermde kustlijn heeft.

Hoewel deze problemen op korte termijn niet tot grote schade zullen leiden, kunnen ze door niet op tijd in te grijpen op den duur wel hoge kosten of problemen veroorzaken. Een goede kennisbasis over het ondiepe bodem- en grondwatersysteem in Paramaribo kan bij dragen aan geïnformeerde keuzes om bijvoorbeeld wateroverlast aan te pakken en schade aan bebouwing te voorkomen. Door juist de een kennisbasis op te bouwen wanneer de urgentie voor ingrijpen nog niet al te hoog is, kunnen nu de juiste maatregelen worden genomen of ingepland (e.g. op de juiste manier bouwen), waardoor in de toekomst aanzienlijke kosten kunnen worden bespaard.

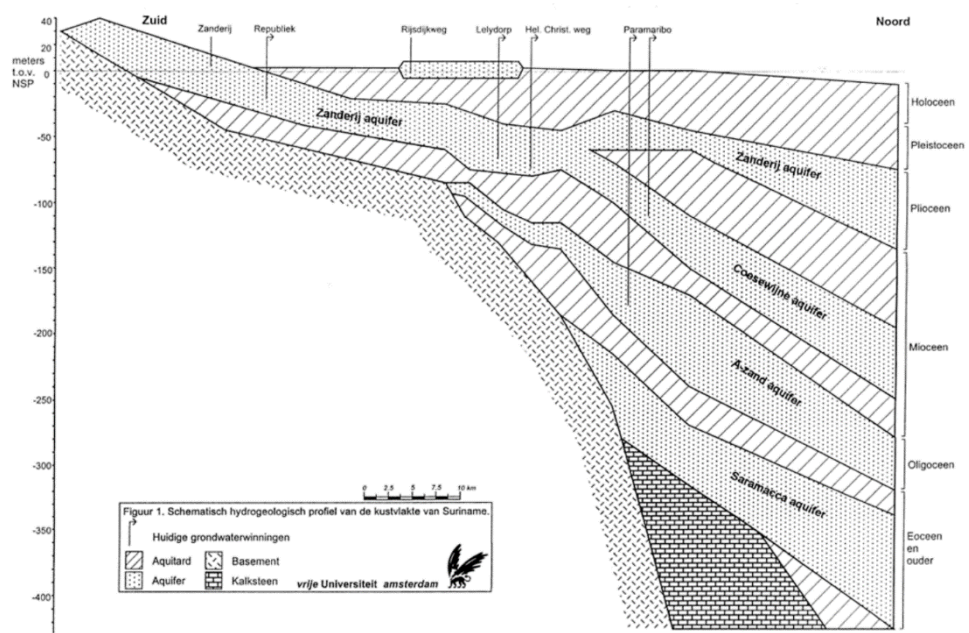
De Anton de Kom Universiteit en Deltares werken binnen het Samenwerkingsprogramma Water, Bodem en Klimaat tussen Suriname en Nederland samen aan een aantal onderwerpen, waaronder het opbouwen van deze kennisbasis. Dit rapport biedt een overzicht van bestaande bronnen en meetmethoden die kunnen worden ingezet om de kennisbasis over het ondiepe bodem- en grondwatersysteem verder uit te bouwen (Hoofdstuk 2 en 3). Op basis van uitgevoerde metingen binnen dit project en bestaande literatuur wordt daarnaast een samenvatting gegeven van het huidige systeembegrip (Hoofdstuk 4). Tot slot worden enkele concrete onderzoekscasussen voorgesteld die kunnen bijdragen aan verdere verdieping van dit onderwerp (Hoofdstuk 5). Dit document is in eerste instantie bedoeld voor studenten en medewerkers van de Anton de Kom Universiteit van Suriname.

2 Theorie grondwater

Paramaribo ligt in de kustvlakte van Suriname aan de westoever van de Surinamerivier, bovenop een omvangrijk pakket van sediment dat de basis vormt voor het huidige grondwatersysteem. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen een diep grondwatersysteem met gesloten watervoerende pakketten en een ondiep freatisch grondwatersysteem in het topsysteem.

2.1 Het afgesloten grondwatersysteem

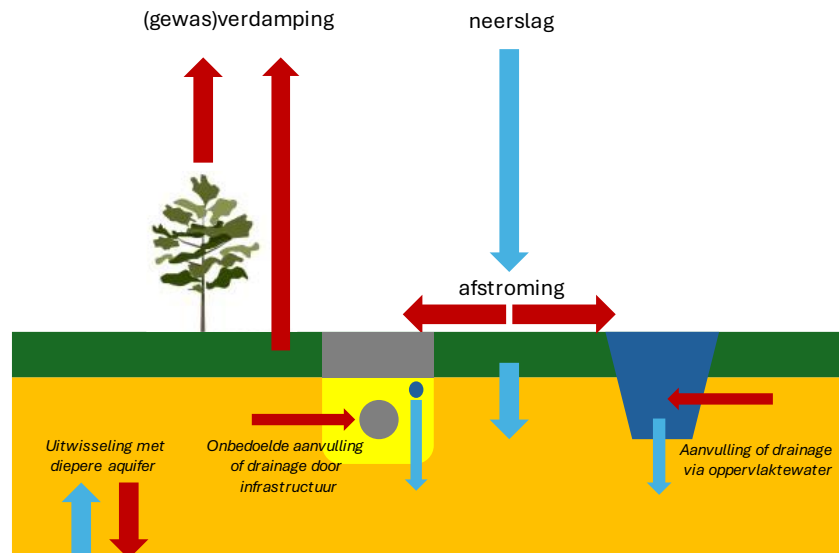
Het diepe afgesloten grondwatersysteem wordt gevormd door het *Coastal Aquifer System* (Figuur 2.1) en is redelijk goed in kaart gebracht, aangezien het de voornaamste bron van drinkwater vormt (>90%). Deze diepe watervoerende lagen liggen onder dikke, afsluitende kleilagen, waardoor zich een aanzienlijke druk kan opbouwen— in tegenstelling tot het freatische grondwater. Aangezien grondwateronttrekkingen uit de *A-zand aquifer* een belangrijke bron van drinkwater vormen, heeft de Surinaamse Waterleiding Maatschappij (SWM) een uitgebreide studie uitgevoerd naar de hydrologische condities (RTI International, 2016). Uit dit onderzoek blijkt dat er ter hoogte van Paramaribo weinig interactie is met het ondiepe grondwatersysteem, en daarom wordt dit diepe grondwatersysteem verder niet besproken.



Figuur 2.1: Schematisch geohydrologisch profiel van de kustvlakte van Suriname (Groen, 2002).

2.2 Freatisch grondwatersysteem

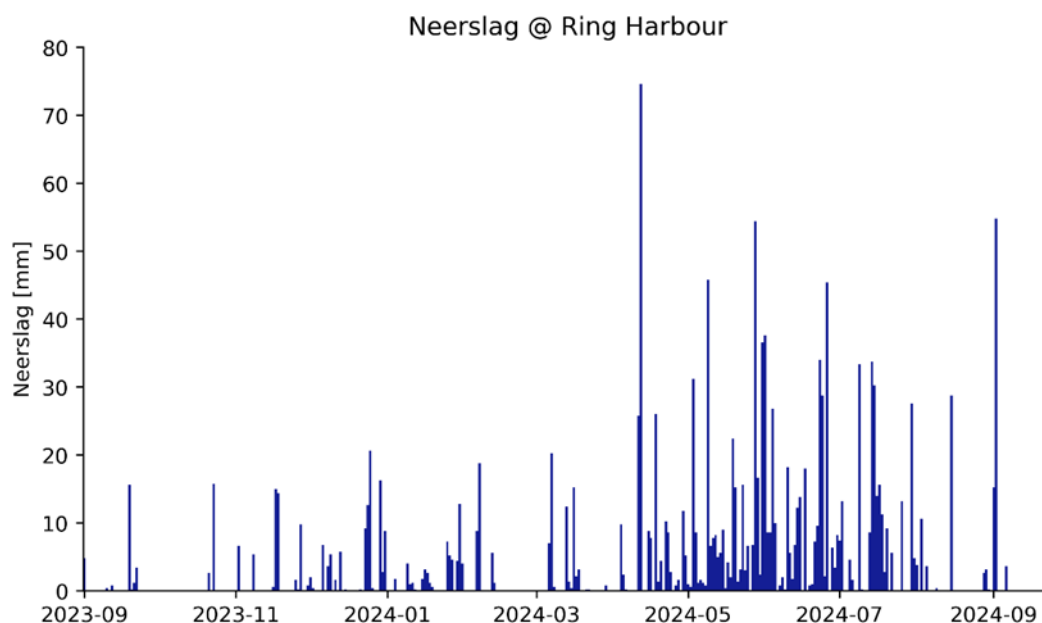
De freatische grondwaterstand is het grondwatervlak dat zich in een watervoerende laag bevindt en direct in contact staat met de atmosfeer. De freatische grondwaterstand kan vrij meebewegen afhankelijk van factoren zoals neerslag, verdamping, en menselijke activiteiten zoals wateronttrekking en staat niet onder druk (zoals wel het geval is bij diepere afgedekte lagen). Figuur 2.2 geeft een overzicht van mogelijk factoren die mogelijk in Paramaribo de grondwaterstand kunnen beïnvloeden.



Figuur 2.2: Schematische weergave van de belangrijkste factoren die freatisch grondwaterdynamiek in Paramaribo bepalen.

2.2.1 Neerslag en verdamping

De uitwisseling van water met de atmosfeer gebeurt via neerslag en verdamping. Dit is zeker in slecht doorlatende kleibodems vaak het dominante proces in de grondwaterdynamiek. De neerslagsom bedraagt gemiddeld 2152 mm jaar (Koole et al., 2024) in Paramaribo in het huidige klimaat, waarbij er onderscheid gemaakt kan worden tussen vier seizoenen: de kleine regentijd van begin december tot eind januari; de kleine droge tijd van begin februari tot eind april; de grote regentijd van eind april tot half augustus en; de grote droge tijd van half augustus tot begin december. Niet alle neerslag die valt infiltreert ook in de bodem. Dit hangt af van de infiltratiecapaciteit en verzadigingsgraad van de bodem. Dit betekent dat een de reactie van de grondwaterstand op een gelijke hoeveel neerslag, anders kan zijn in het droge



Figuur 2.3: Neerslag in [mm/d] gemeten door Meteoriedienst van het Ministerie van Openbare Werken in Noord-Paramaribo (Ring Harbour).

of natte seizoenen. Het deel van de neerslag dat niet infiltreert zal via oppervlakte-afstroming worden afgevoerd.

Figuur 2.3 toont de neerslag die is gevallen binnen de meetperiode van deze studie. De kleine regentijd tussen december en januari verliep droger dan normaal. Tijdens de grote regentijd tussen april en augustus viel er wel een aanzienlijke hoeveelheid neerslag, met een aantal events met een dagelijkse neerslagsom van boven de 50 mm.

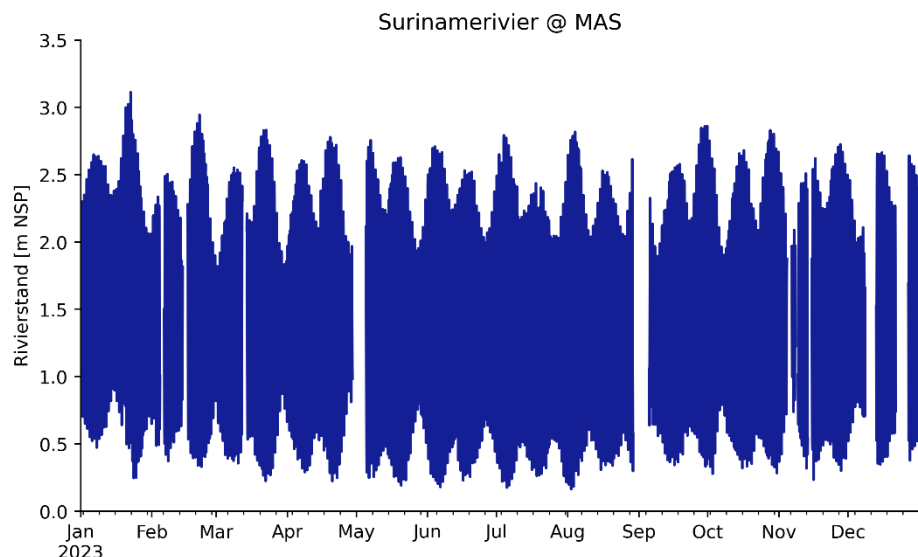
(Gewas)verdamping is complexer om te meten en hangt af van veel factoren, zoals de luchttemperatuur, luchtvochtigheid, begroeiing en beschikbaarheid van water. Schattingen uit de periode 1931-1960 komen uit op een jaarlijkse verdamping van ongeveer 1700 mm (SWRIS, n.d.). Daarnaast geven Lenselink en Van der Weert (1973) aan dat de openwater verdamping relatief constant is door het jaar heen.

2.2.2 Uitwisseling met oppervlaktewater

De aanwezigheid van natuurlijk oppervlaktewater kan ook invloed op de grondwaterstand hebben. Bij een hoog oppervlaktewaterpeil kan water in de bodem infiltreren en bij een relatief laag peil zal grondwater worden gedraineerd. De laterale doorwerking van het effect van een oppervlaktewater op de grondwaterstand hangt af van de weerstand van de rivier, meer- of kanaalbodem, de grootte van het oppervlakte water en de doorlatendheid van de bodem. In Paramaribo kunnen een aantal belangrijke oppervlaktewatersystemen worden onderscheiden:

- De Surinamerivier: Dit is de grote getijderivier aan de oostzijde van Paramaribo, die sterk wordt beïnvloed door het getij van de Atlantische Oceaan. Het waterpeil van de rivier wordt gemeten door de Maritieme Autoriteit Suriname (MAS). Figuur 2.4 toont het gemeten waterpeil in 2023 en laat duidelijk de invloed van het getij en de springtij-doodtijcyclus zien.

De directe invloed van het rivierpeil op de freatische grondwaterstand is waarschijnlijk beperkt, omdat de bodem over het algemeen relatief slecht doorlatend is. Het is echter mogelijk dat de rivier via een dieper gelegen zandpakket lateraal effect heeft op grondwaterstanden in een groter deel van de kustvlakte. Zo'n zandpakket kan bijvoorbeeld zijn gevormd door oude rivierafzettingen of oude



Figuur 2.4: Rivierpeil Surinamerivier in 2023 gemeten door de Maritieme Autoriteit Suriname (MAS) ter hoogte van hun kantoor aan de Cornelis Jongbawstraat.

strandwallen (zandritsen). Aangezien het grootste deel van Paramaribo in de eroderende binnenbocht van de rivier ligt, is de aanwezigheid van dergelijke zandpakketten hier minder waarschijnlijk. Verder naar het noorden zou dit echter wel een rol kunnen spelen. Op dit moment is onduidelijk of dit soort (dieper gelegen) rivierafzettingen al zijn gekarteerd.

De Surinamerivier heeft een diepgang van ongeveer 5,5 meter bij laagwater en wordt kunstmatig op diepte gehouden (Suriname Nieuws Centrale, 2023).

- Drainagekanalen: In een grootdeel van de Paramaribo ligt een netwerk van primaire, secundaire en tertiaire drainage kanalen om overtollig (regen)water af te voeren (Figuur 2.5). Een grootdeel van de secundaire kanalen hebben een kustmatig peil dat wordt gereguleerd door een pompstation aan de rivierzijde. Dit soort kanalen kunnen lokaal een drainerend of infiltrerend effect hebben.



Figuur 2.5: Overzicht van primaire en secundaire drainagekanalen en pompstations in Paramaribo. Lokaal kunnen deze kanalen overdekt zijn (Deltares et al., 2024).

2.2.3 Ondergrondse infrastructuur

Infrastructuur zoals het regenwaterriool, waterleidingen en septic tanks kan invloed hebben op de grondwaterstand indien er deze infrastructuur lek is. Of dit een grote rol speelt in Paramaribo is onbekend.

2.2.4 Uitwisseling met middendiepe aquifers

Indien een goed doorlatend watervoerend pakket een hogere grondwaterdruk heeft, bijvoorbeeld omdat het in verbinding staat met oppervlaktewater met een relatief hoog peil, zoals de Surinamerivier of de oceaan, kan er sprake zijn van opwaartse kwelstroming, wat ook een vorm van grondwateraanvulling is. Dit proces kan ook omgekeerd plaatsvinden. Of dit een belangrijke rol speelt in Paramaribo, is op dit moment niet bekend.

3 Bronmateriaal en methoden

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van reeds beschikbare bronmateriaal en methoden om de kennis over de ondiepe bodem en freatisch grondwater verder uit te breiden.

3.1 Bestaande bronnen

3.1.1 Geologische en bodemkarteringen

Er zijn diverse karteringen op verschillende momenten in de geschiedenis gedaan van de bodem en geologie in Suriname en Paramaribo. De resolutie en kwaliteit van de kaarten verschilt. Een aantal relevante kaarten zijn:

- Bodemkaart: Op basis van bodembeschrijvingen en luchtfoto's is in 1977 een bodemclassificatiesysteem en een bodemkaart voor het Noord Suriname gepubliceerd door de Dienst bodemkartering (CBL). Deze kaart is later verfijnd en gedigitaliseerd. De kaart geeft informatie over de textuur en aard van de bodem in het ondiepe bereik (tot 1.5 m-mv). [Link naar kaart in ArcGIS-viewer](#).
- Geologische kaart: In het verleden zijn er verschillende geologische kaarten voor Suriname of deelgebieden uitgebracht door het Centraal Bureau Luchtkartering (CBL) en de Geologisch Mijnbouwkundig Dienst (GMD). De meest recente kaart komt uit 2008 en is door Centrum voor Landbouwkundig Onderzoek in Suriname (CELOS) gepubliceerd. Het is onduidelijk waar deze kaart precies op gebaseerd is. [Link naar kaart op website SWRIS](#).
- Kartering van zandritsen: Geijskes (1952) voerde een gedetailleerde studie uit naar de omvang en oorsprong van de zandritsen in de kustzone van Suriname. Een voordeel van deze studie is dat Paramaribo destijds nog een veel kleinere stad was, waardoor de studie waardevolle informatie bevat over gebieden die nu onderdeel zijn van het dichtbevolkte centrum van Paramaribo

3.1.2 Maaiveldhoogtekaart

Voor het Saramacca Canal System Rehabilitation Project (Deltares et al, 2023) is een hoge resolutie (0.25x0.25m) LIDAR gebaseerde maaiveldhoogtekaart geproduceerd (van der Cruyssen et al., 2023). De kaart toont de hoogte van de kale ondergrond, zonder de aanwezigheid van bomen, gebouwen, auto's en wegen. De hoogteligging van het maaiveld geeft veel indirecte informatie over de ondergrond: de zandritsen liggen duidelijk hoger in het landschap. Ook is zichtbaar waar afgravingen voor zandwinning hebben plaatsgevonden.

3.1.3 Neerslag

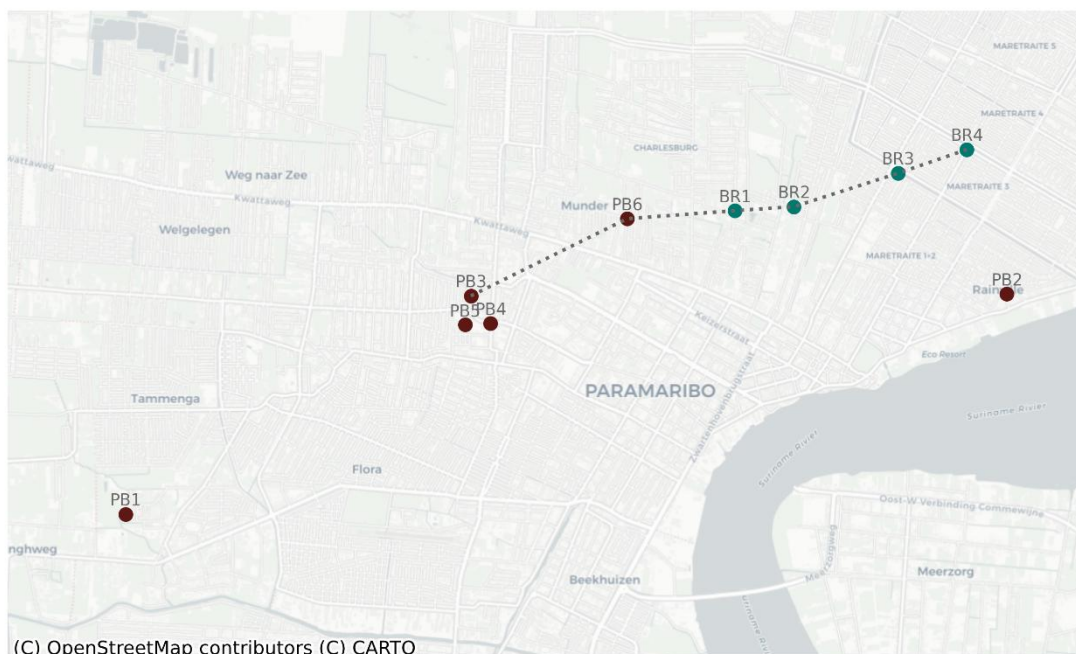
Neerslag wordt op dag basis op verschillende locaties rondom Paramaribo gemeten door de Meteorologische Dienst van het Ministerie van Openbare Werken. Deze meetreeksen kunnen op verzoek worden gedeeld.

3.1.4 Surinamerivierpeil

Het waterpeil van de Surinamerivier wordt nabij Paramaribo met een hoge frequentie automatisch gemeten door de Marine Autoriteit Suriname. Deze meetdata kan op verzoek worden gedeeld.

3.2 Nieuw verkregen meetdata

In Oktober 2023 en Maart 2024 zijn op een aantal representatieve locaties in Paramaribo peilbuizen geplaatst (Figuur 3.1). Daarnaast is begonnen aan het opbouwen van een



Figuur 3.1: Locaties peilbuizen freatische grondwaterstand (in rood) en geologische boringen (in blauw). De stippellijn geeft de locatie van een zuidwest-noordoost geologisch profiel weer, gebaseerd op de boringen.

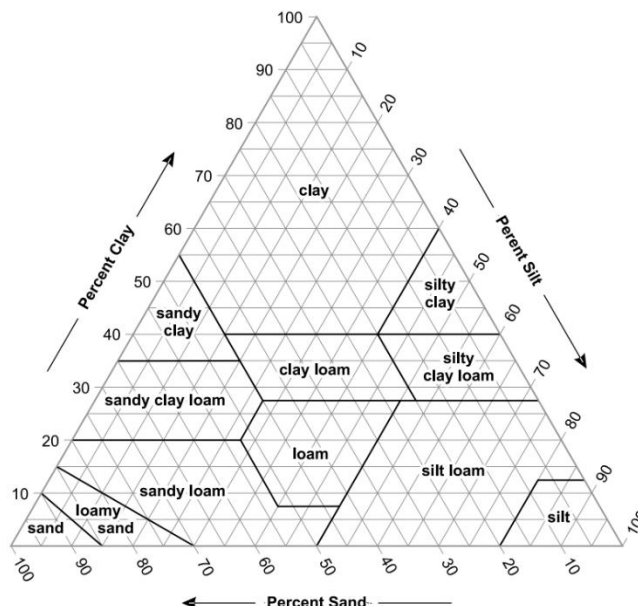
geologisch transect op basis van geologische boringen tussen verschillende zandrits-systemen om de omvang en diepte ligging van de zandritsen beter in beeld te krijgen.

3.2.1 Geologische boringen

De geologische boringen zijn uitgevoerd op vooraf bepaald representatieve locaties langs een Zuidoost – Noordwest traject (Figuur 3.1). Dit traject loopt van de relatief hoge gelegen zandritsen in het oude centrum van de stad, tot het nu lager gelegen kleigebied in Noord-Paramaribo. De boringen zijn uitgevoerd met een Edelmanboor en in het veld geïnterpreteerd. De beschrijving van grondsoorten zijn gedaan op basis van de USDA textuurindeling (Figuur 3.2) (USDA Soil Science Division Staff, 2017) en zijn genoteerd op boorstaten (appendix A.1).

Daarnaast is indien mogelijk informatie over het fluctueren van de grondwaterstand genoteerd op basis van roestverschijnselen in opgeboorde bodemmateriaal. Vaak zijn er drie type roestzones te onderscheiden:

1. Vanaf maaiveld een zone zonder roestvlekken. Deze ligt boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en is permanent geoxideerd.
2. Een zone met roestvlekken. Dit is de zone tussen de GHG en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Deze zone is afwisselend gereduceerd en geoxideerd.
3. En hieronder weer een zone zonder roestvlekken, omdat deze zich altijd in het grondwater bevindt en er geen lucht bij kan komen om roest te vormen. Dit is de GLG. Deze zone is bij zand en klei vaak bleek grijs, maar kan ook lichtbruin of anders gekleurd zijn.



Figuur 3.2: USDA textuurdriehoek met 12 grondsoorten op basis van percentage klei, silt en zand (USDA Soil Science Division Staff, 2017). [Link](#) naar beschrijving van deze grondsoorten in USDA Soil Survey Manual.

3.2.2 Freatische grondwaterstandsmetingen

De relatief ondiepe grondwatermeetpunten zijn met de hand geïnstalleerd. Alle locaties bevinden zich op privaat terrein, zodat de veiligheid van de meetpunten is gewaarborgd. Voor het plaatsen van de peilbuizen zijn de volgende stappen gevolgd (Figuur 3.3):

1. Met een edelmanboor is een boorgat gemaakt met een diameter van circa 7 cm. Bij het bepalen van de diepte van het boorgat is rekening gehouden met het in het veld vastgestelde gemiddelde laagste grondwaterniveau, gebaseerd op hydromorfe bodemkenmerken (afwezigheid van roestvlekken). De peilbuis moet zo diep worden geplaatst dat de onderkant zich ruim onder de laagste grondwaterstand bevindt. Dit betekent dat de diepte van de putten varieert voor de verschillende locaties. De lithologie en diepte van lithologische overgangen is gedocumenteerd tijdens de installatie (Appendix A).
2. De peilbuis zelf bestaat uit een PVC-buis, waar met een zaag insneden zijn gemaakt om een doorlatend filter te creëren. Het filter heeft telkens een lengte van ongeveer 100 cm. Om de instroom van fijn sediment te voorkomen wordt om de PVC-buis een filterkous aangebracht.
3. Na het plaatsen van de PVC-buis in het boorgat is de ruimte tussen de boorgatwand en de buis opgevuld met de oorspronkelijke grond. Aan de bovenkant werd het gebied rondom de PVC-buis opgevuld klei (indien aanwezig) om directe infiltratie langs de buis te voorkomen.
4. De peilbuizen steken boven het maaiveld uit er is geen bescherming aangebracht. Dit zou in de toekomst eventueel nog een mogelijkheid zijn om het punt degelijker te maken.
5. Een diver (TD-diver, van Essen) is bevestigd aan een staalkabel op een diepte zodanig dat de diver zich permanent onder het grondwaterniveau bevindt. De diver meet elk uur de totale druk (water- en luchtdruk gecombineerd).

Volgens deze werkwijze zijn in totaal 6 peilbuizen geplaatst met automatische logger die ieder uur de grondwaterstand opnemen. Tabel 6 en Appendix B.1 tonen de locaties van de

meetpunten. PB1, PB2 en PB3 zijn in kleibodems geplaatst en PB4, PB5 en PB6 zijn in zandritsen geplaatst.



Figuur 3.3: Stappen voor plaatsen ondiepe freatische grondwater peilbuis.

3.3 Gebruik grondwaterstandsmetingen

3.3.1 Meten van de grondwaterstand

Er zijn twee methoden om grondwaterstanden te meten: eenmalige handmeting en automatische continue metingen.

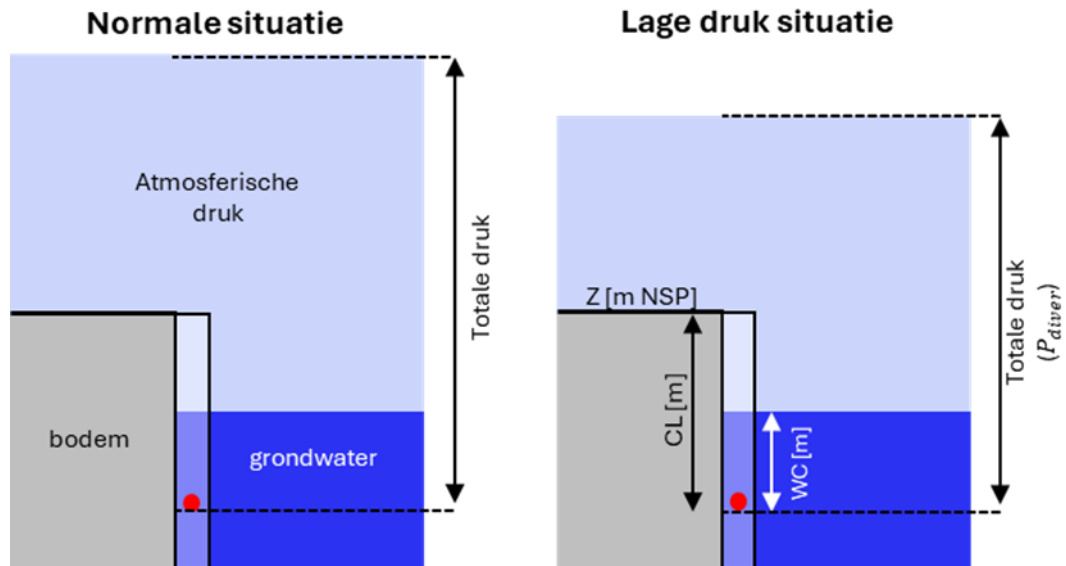
- (Eenmalige) handmeting: Met behulp van een dompelklok (plopper) kan in het veld eenvoudig de diepte van de grondwaterstand t.o.v. bijvoorbeeld de bovenkant van de peilbuis worden bepaald. Deze metingen worden vaak gebruikt om de waarden van geautomatiseerde instrumenten te verifiëren.
- Automatisch continue meting: Continue grondwatermonitoring wordt uitgevoerd met een automatische logger, ook wel bekend als een diver. Dit apparaat neemt op regelmatige intervallen (bijv. elk uur of dagelijks) metingen, waardoor langdurige volgen van grondwaterveranderingen mogelijk is. Voor nauwkeurige metingen worden putten gerefereerd aan de NSP hoogtestandaard, en details zoals kabellengte en putdiepte worden geregistreerd om betrouwbare gegevens te waarborgen.

3.3.2 Barometrische compensatie diver-data

De ruwe meetdata van een diver (methode 2) moeten worden gecorrigeerd voor de atmosferische druk om tot een grondwaterstand te komen. De diver-sensor meet namelijk de totale druk, de som van de waterdruk boven de sensor en de atmosferische druk. Een lage druk situatie kan dus leiden tot een afname van de gemeten druk in door de diver-sensor, terwijl de eigenlijke grondwaterstand niet veranderd (Figuur 3.4). Het is daarom belangrijk om deze stap uit te voeren.

Met onderstaande formule kan de totale druk (P_{diver}) gemeten door de diver worden omgezet in de waterhoogte (wc) boven de diver, hierbij wordt gecorrigeerd voor de dichtheid van water:

$$wc = 9806.65 * \frac{P_{diver} - P_{lucht}}{\rho g}$$



Figuur 3.4: Schematische weergave belang van atmosferische compensatie. De druksensor (diver) meet de totale druk uitgeoefend door de waterkolom (wc) en de luchtdruk (P_{lucht}). Tijdens een lage druk situatie kan de gemeten druk door de diver (P_{diver}) tijdelijk lager zijn, terwijl de grondwaterstand zelf niet veranderd.

In deze formule is:

- P_{lucht} , de lucht druk op maaiveldniveau [cmH₂O];
- ρ , de dichtheid van water (1.000 kg/m³);
- g , is de valversnelling (9.81 m/s²).

De grondwaterstand (h) t.o.v. van een referentiehoogte/NSP kan vervolgens worden verkregen met de volgende formule:

$$h = z - cl + wc$$

In deze formule is:

- h , de grondwaterstand in [m NSP];
- z , de hoogte van de top peilbuis [m NSP];
- cl , de diepte van de diver beneden de top van de peilbuis [m].

3.3.3 Analyse grondwaterstandsmetingen

Na atmosferische compensatie kan de (grond)waterstand-tijdreeks op verschillende manieren worden verwerkt om hypothesen te testen of factoren te vinden die de grondwaterdynamiek kunnen verklaren. Enkele methoden zijn:

- **Tijdreeksstatistieken:** Het bepalen van statistieken zoals het gemiddelde, de minimum- en maximumwaarden en het in kaart brengen ervan om ruimtelijke trends en hun relatie tot nabijgelegen objecten, zoals oppervlaktewaterlichamen, te identificeren.
- **Ruimtelijke interpolatie:** Interpolatie van specifieke puntlocaties kunnen worden gebruikt om een continue kaart van grondwaterstanden te maken. De kwaliteit van zo'n geïnterpoleerde kaart hangt af van verschillende factoren, waaronder de dichtheid van de puntlocaties en het gebruik van andere voorspellende parameters zoals bodemtype en afstand tot oppervlaktewater.
- **Relatie met andere variabelen:** De tijdreeks van de grondwaterstand kan worden vergeleken met andere variabelen, zoals neerslag, rivier- en meerstanden en bodemprofielen, om de interacties en invloeden tussen deze factoren beter te begrijpen.

Door het geringe aantal meetpunten en korte tijdreeksen op dit moment, zullen bovenstaande methoden nog niet veel inzichten opleveren.

4 Eerste verkenning ondiepe bodem en grondwater in Paramaribo

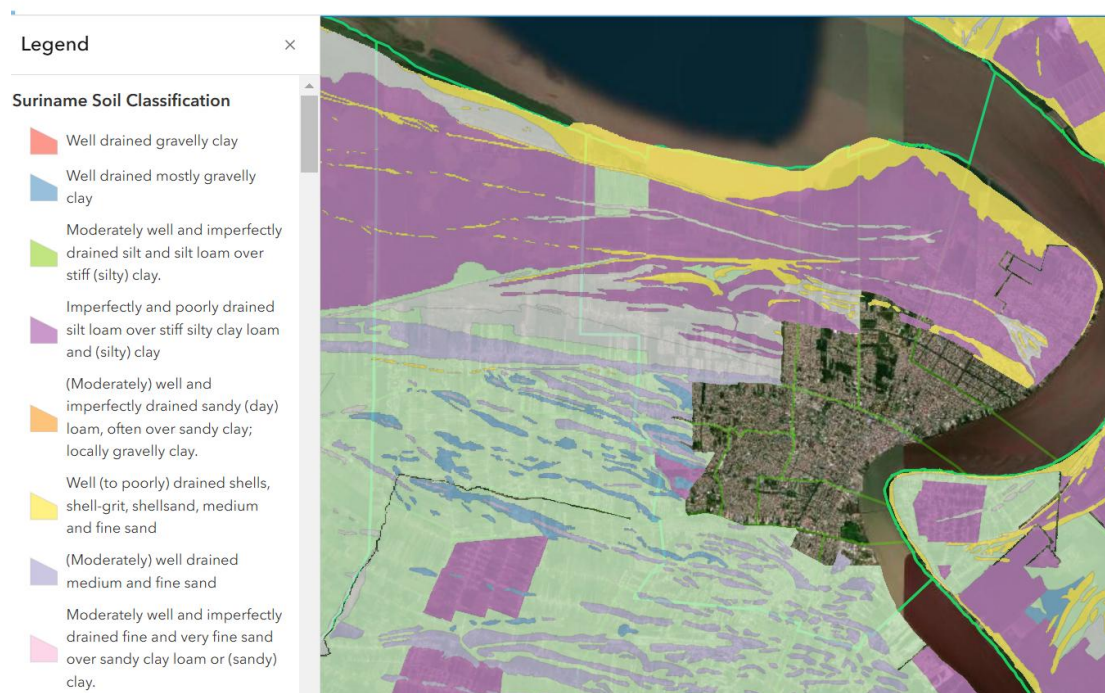
Op basis van de hoofdstuk 3 beschreven metingen, kaartmateriaal en bestaande literatuur wordt hier een korte beschrijving gegeven van de huidige kennis over het ondiepe bodem- en grondwatersysteem van Paramaribo.

4.1 Bodem en ondiepe geologie

4.1.1 Geologische en bodemkarteringen

Uit de diverse bodem- en geologische kartering die in het verleden zijn uitgevoerd komt een relatief homogeen beeld. Paramaribo is gebouwd op de afzettingen van een Holocene kustvlakte, bestaande uit de Wanica-, Moleson- en Comowine-formaties. In het gebied ten Noorden van Paramaribo worden de Moleson- en Comowine-afzettingen gekenmerkt door blauwachtige klei en zand met schelpen, waaronder strandwallen en zandbanken. Meer naar het zuiden domineren Wanica-afzettingen, met strandzanden en stevig blauwgrijze klei die soms gele tot roodachtige verkleuringen vertoont (Figuur 4.1). Het gebied onderdeel is van een jonge kustvlakte, waarin de rivierinvloed de Surinamerivier, lagunes en moerassen een belangrijke rol speelde.

Suriname Soil Map - system of soil classification for Suriname



Figuur 4.1: Uitsneden uit de bodemkaart van Suriname voor de omgeving van Paramaribo (CBL). Een deel van de legenda is weergegeven. De paarse en groene vlakken komen overeen met slecht gedraineerde kleien van verschillende ouderdom. De gele en blauwe vlakken komen overeen met silt tot zandige bodems. [Link naar kaart in ArcGIS-viewer](#).

De voormalige strandwallen en oude zandbanken, ook wel zandritsen genoemd, liggen tegenwoordig relatief hoog (zie 3.1.1). Geijskes (1952) voerde een gedetailleerde studie uit

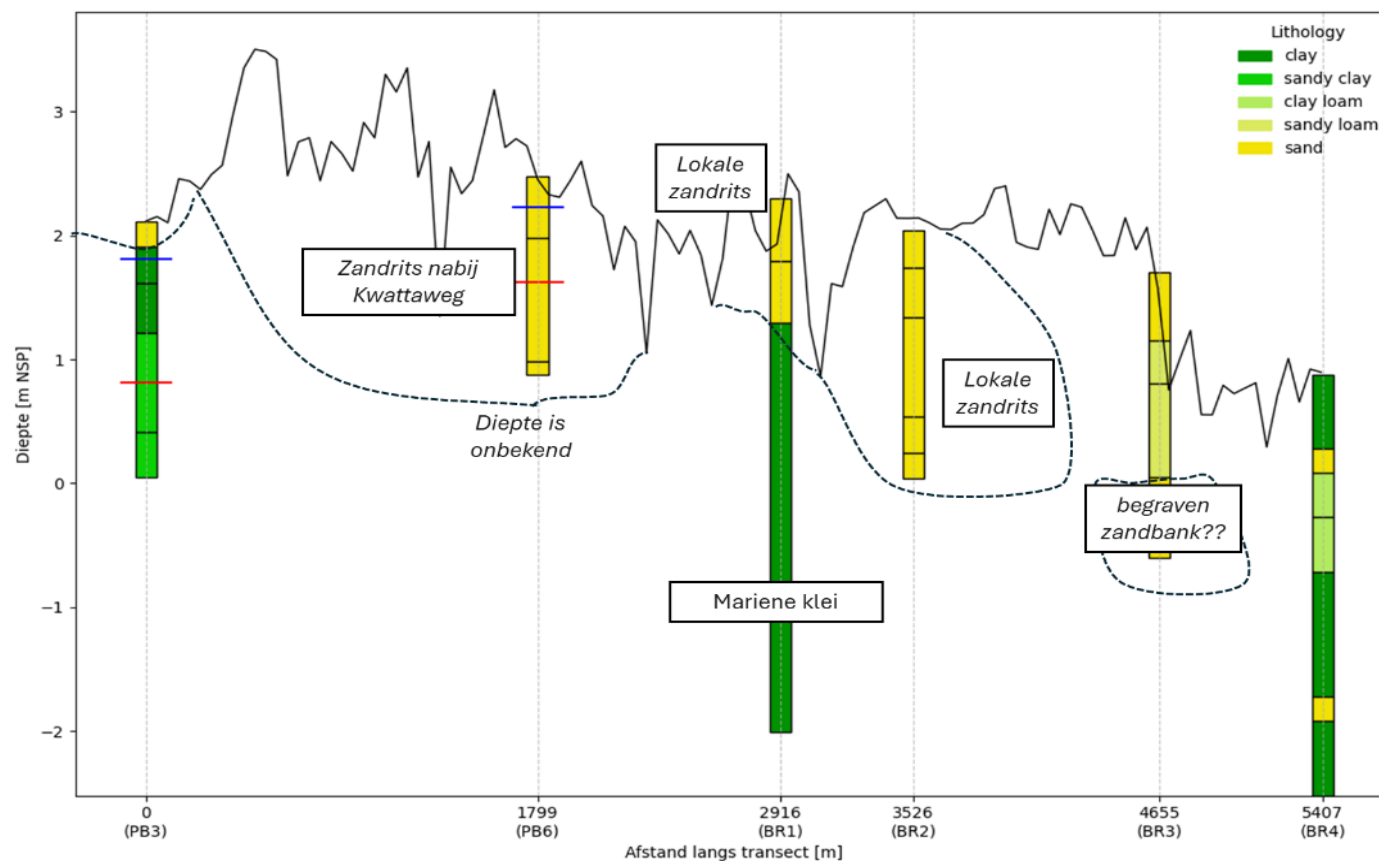
naar de omvang van deze strandwallen. Hieruit blijkt dat deze lateraal omvangrijk kunnen zijn, met in het oude centrum (bij de Cultuurtuin) een maximale breedte van wel 930 meter in noord-zuidrichting en een dikte van 6 tot 7 meter. Naar het noorden en het zuiden toe nemen de afmetingen af, tot systemen van ongeveer 100 meter breed en 4 meter dik. Op sommige locaties zijn strandwallen ondergronds met elkaar verbonden

Het landgebruik in Paramaribo varieert en heeft invloed op de eigenschappen van de bodems. In de verstedelijkte gebieden van Paramaribo, waar de grond vaak is ontwikkeld of ingepolderd, domineren gerijpte kleibodems. In minder ontwikkelde delen van de stad komen kleimoerasbodems voor, terwijl langs de kustlijn mangrovebodems te vinden zijn.

4.1.2 Geologisch transect

In Figuur 4.2 is een begin van een zuidwest-noordoost geologisch profiel over ten minste twee zandritsen weergegeven. De omvang en diepte zijn indien mogelijk aangegeven in dit transect. Meer boringen zijn nodig om dit met meer zekerheid te kunnen doen. De meest zuidelijke zandrits nabij de Kwattaweg is behoorlijk omvangrijk, hoewel deze in het geologische profiel schuin is aangesneden. Lokaal kan deze zandritsen echter gedeeltelijk ontbreken omdat deze voor zandwinning zijn afgegraven. Verder naar het noorden ligt nog een kleinere zandrits. De ritsen lijken horizontaal niet met elkaar verbonden te zijn. Tussen de zandritsen bevinden zich voornamelijk deels gerijpte klei- en leemafzettingen.

De zandritsen kunnen geohydrologisch en geotechnisch gezien, belangrijke eenheden in Paramaribo zijn. Als de zandritsen lateraal grotere systemen vormen (niet geïsoleerd), kunnen ingrepen (onttrekkingen) of overstromingen lateraal ook effect hebben, omdat de horizontale grondwaterstromingscomponent in de meer doorlatende zanden groter is. In kleibodems speelt de verticale grondwaterstromingscomponent een grotere rol. Geotechnisch kunnen de zandritsen als funderingslaag dienen, mits ze voldoende omvangrijk zijn. Een dergelijk geologisch transect geeft meer inzicht in de horizontale en verticale verspreiding van zandritssystemen ten opzichte van kleiige kustvlakteafzettingen en kan in de toekomst uitgebreid worden.

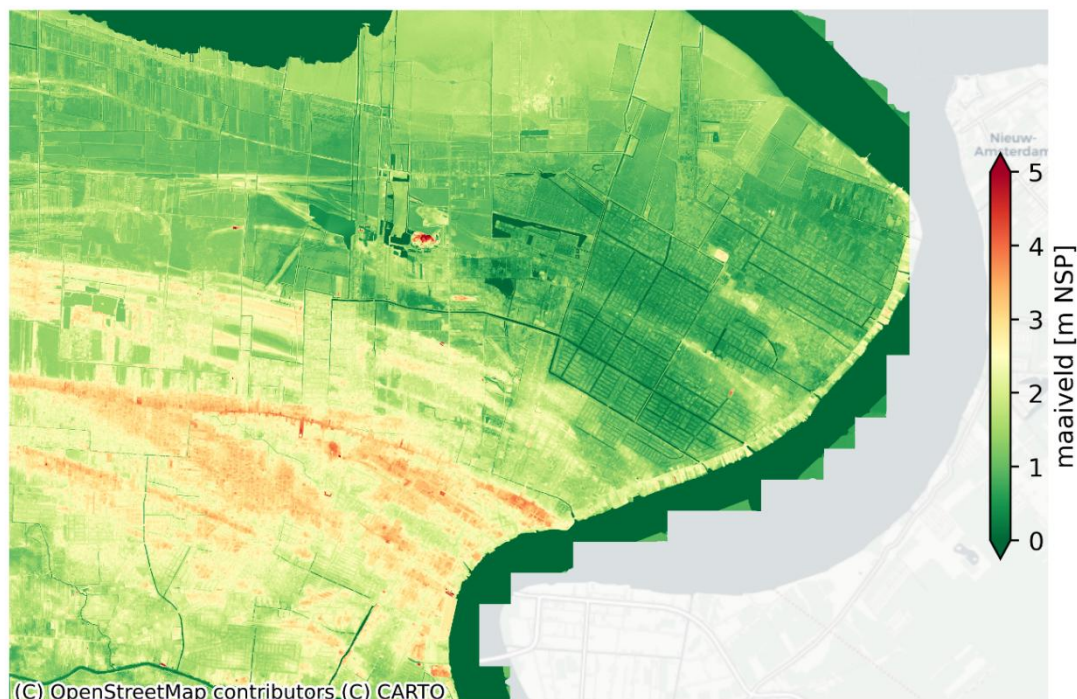


Figuur 4.2: Geologische boringen langs transect geplot t.o.v. m NSP, zie Figuur 3.1 voor locatie. In zwart (doorgetrokken lijn) is de maaiveldhoogte langs het geologisch transect weergegeven. Met de zwarte stippellijnen is een start gemaakt met de geologische interpretatie, waarbij de omvang van de zandritsen is weergegeven. Indien bekend zijn ook de gemiddeld laagste grondwaterstand (in rood) en hoogste grondwaterstand (in blauw) weergegeven. Meer en diepere geologische boringen zijn nodig om omvang van de zandritsen beter in kaart te brengen.

4.1.3 Hoogtekaart en bodemdaling

De hoogtekaart in Figuur 4.3 bevestigt het beeld van het strandwallenlandschap op de Holocene-kustvlakte van Paramaribo. Er is een duidelijk verband tussen de hoogte en de geologie. De hogere gebieden vertegenwoordigen de oude zanderige zandritsen (strandwallen) en zijn soms nog heel duidelijk aanwezig. Deze zandritsen vormen structuren die in een oost-westelijke richting lopen, min of meer parallel aan de kust. Op sommige locaties worden de strandwallen onderbroken, omdat deze hier zijn afgegraven voor zandwinning.

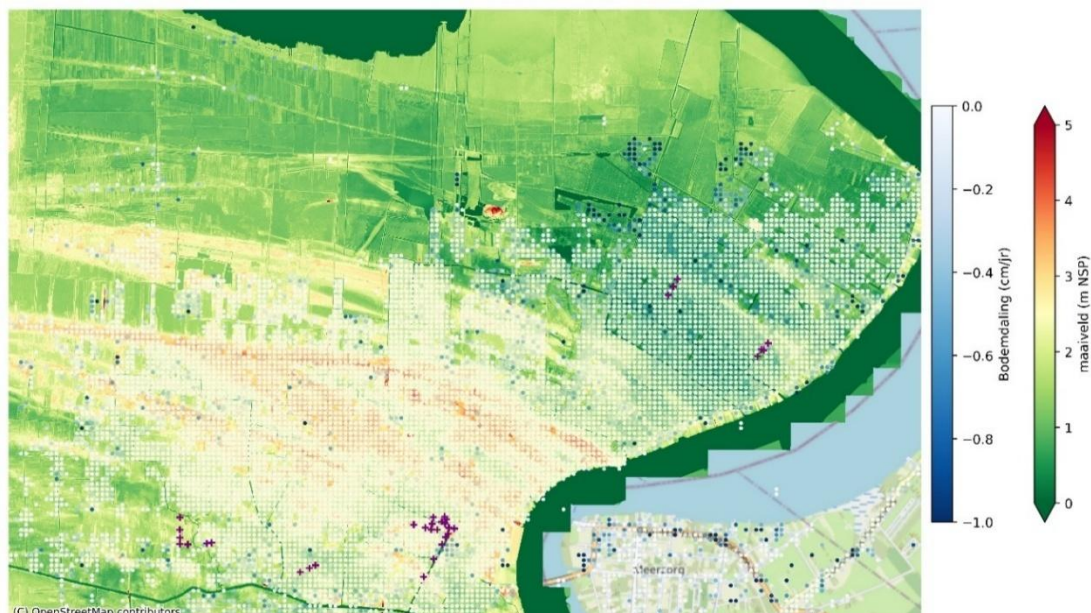
De kleiige gebieden liggen lager en de gemiddelde hoogteligging neemt naar het noorden toe af. In Paramaribo-Noord bevindt zich een soort komgebied, waarvan het laagste punt slecht op ca. 1 m NSP ligt. Dit maakt het gebied mogelijk kwetsbaar voor overstroming en zeespiegelstijging.



Figuur 4.3: Maaiveldhoogtekaart van Groot Paramaribo (van der Cruyssen et al., 2023).

Er zijn zorgen over de effecten van de diepe grondwateronttrekking op bodemdaling. De resultaten van een eerder uitgevoerde InSAR-studie in opdracht van de Wereldbank (EO4SD Disaster Risk Reduction, 2020) is in dat licht nog eens bekeken. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 4.4. Aangezien een lokaal referentiepunt ontbreekt zijn de snelheden gecorrigeerd t.o.v. de mediane verticale snelheid van het gehele gebied. Het effect hiervan op de absolute dalingssnelheden is onduidelijk. In paars zijn de onttrekkingslocaties van de Surinaamse Waterleiding Maatschappij weergegeven. Bodemdalingssnelheden zijn vooral hoog in Noord-Paramaribo. Er lijkt geen sprake te zijn van een sterke correlatie met de onttrekkingslocaties.

Wel lijkt er enige relatie te zijn met de maaiveldhoogte: het gebied in het noorden ligt namelijk nu ook al laag en daalt verder met 0.5 tot 1.0 cm per jaar. De hoogteligging reflecteert hoogstwaarschijnlijk de kleiige en bodemdalingsgevoelige ondergrond van dit gebied. Drainage en bebouwing van dit gebied kan bijdragen aan bodemdaling. Dit uiterst noordelijk gebied is verder ook gevoelig voor kusterosie als gevolg van de voorspelde zeespiegelstijging. Deze bevindingen suggereren dat de gemeten bodemdaling



Figuur 4.4: Bodemdalingssnelheid (cm/jr) in Paramaribo tussen 11-02-2017 en 22-12-2019 (EO4SD Disaster Risk Reduction, 2020) geplot op een maaiveldhoogtekaart (van der Cruyssen et al., 2023). Bodemdalingssnelheden zijn gecorrigeerd t.o.v. mediaan daling voor het gehele gebied aangezien lokaal referentiepunt ontbreekt. In paars zijn de grondwateronttrekkingslocaties van SWM weergegeven.

waarschijnlijk wordt veroorzaakt door ondiepe factoren, maar dit is op basis van deze resultaten niet met zekerheid vast te stellen. Om meer zekerheid te verkrijgen, is aanvullend onderzoek vereist, zoals het gebruik van extensometers en metingen op NSP-punten.

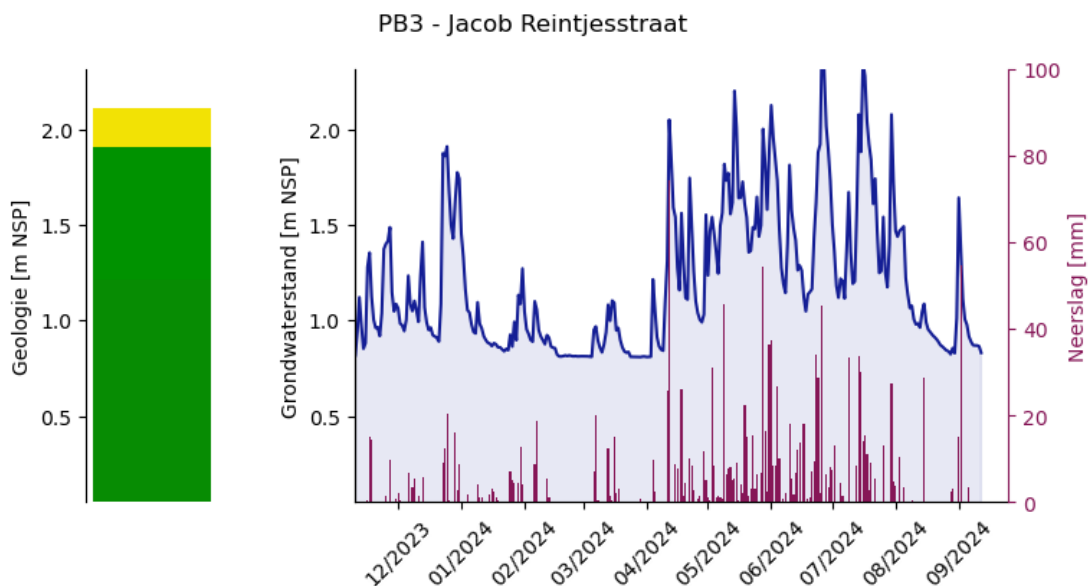
4.2 Freatische grondwaterdynamiek

Sinds oktober 2023 wordt er op drie locaties in kleibodems de freatische grondwaterstand gemeten. Sinds maart 2024 zijn hier op drie locaties meetpunten in zandritsen bijgekomen. De metingen van alle locaties zijn terug te vinden in Appendix C.1.

Vanwege verschillen in bodemmateriaal en hoogteligging zal grondwaterdynamiek per locatie verschillen. De bodemopbouw speelt namelijk een belangrijke rol, omdat dit in grote mate de doorlatendheid van de bodem bepaalt en daarmee bepaalt hoe makkelijk grondwater stroomt en wordt beïnvloed door hydrologische randvoorwaarden (Paragraaf 2.2). Over het algemeen geldt dat hoe groter de korrelgrootte van het sediment is, hoe beter de bodem doorlatend is. In de kustvlakte van Paramaribo kan onderscheid worden gemaakt tussen de jonge zeeklei en de zandritsen. De zeeklei zal over het algemeen slecht doorlatend zijn, terwijl de zandritsen een betere doorlatendheid hebben.

PB3 bevindt zich in mariene klei tussen twee ritssystemen naar het noorden en zuiden, niet ver van de loop van een gekanaliseerde, maar natuurlijke kreek. Er is een duidelijk verschil in de grondwaterdynamiek tijdens het droge en het natte seizoen (Figuur 4.5). In het droge seizoen (begin februari tot eind april) ontstaat er tijdens perioden zonder regen een relatief stabiele drainagebasis, waarbij de grondwaterstand niet verder daalt ongeveer 90 cm NSP. Dit kan mogelijk verband houden met het waterniveau in de nabijgelegen kreek, die zich op ongeveer 25 meter afstand van dit punt bevindt. Als dit verband bestaat, duidt dit op een relatief goede connectie tussen het grondwater en het oppervlaktewater.

Ook in de natte periode (eind april tot half augustus) is er sprake van een relatief snelle stijging en daaropvolgende daling van de grondwaterstand als reactie op individuele



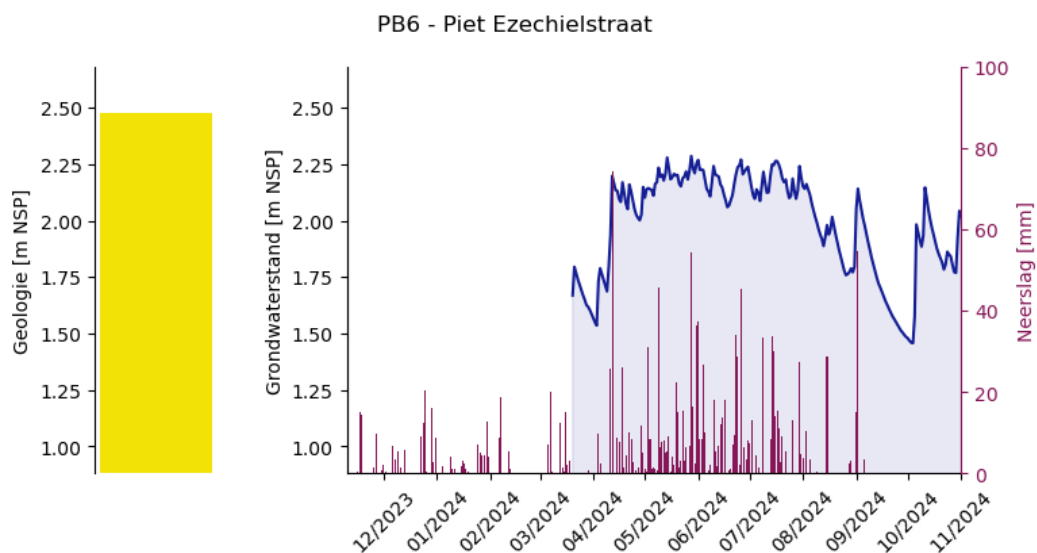
Figuur 4.5: Geologie en gemeten grondwaterstand in peilbuis ter hoogte van de Jacob Reintjesstraat (PB3), zie Figuur 3.1. In rood is de door de Meteorologische Dienst van het Ministerie van Openbare Werken gemeten neerslag in Noord Paramaribo (Ring Harbour) weergegeven.

neerslaggebeurtenissen. De gemiddelde grondwaterstand ligt in deze periode wel hoger en bereikt de drainagebasis niet.

De scherpe pieken in de metingen zijn in lijn met de geringe freatische bergingscapaciteit van kleibodems. Door de relatief kleine poriën in een kleibodem, raken deze moeilijk gevuld met water, waardoor de bodem slechts een beperkte hoeveelheid water kan bergen. Bij een kleine hoeveelheid neerslag of verdamping, zal de grondwaterstand snel stijgen of dalen. Hierdoor is een locatie met een kleigrond bijvoorbeeld minder geschikt voor waterinfiltratie-oplossingen. Aan de andere kant, als er inderdaad sprake is van een relatief goede koppeling met de kreek, kan de bodem worden gebruikt om tijdelijk water te bergen en vertraagd af te voeren naar de kreek. Dit zou de belasting van de kreek tijdens piekbuien kunnen verminderen. Om te bepalen of er daadwerkelijk een goede verbinding tussen de grondwaterstand en de kreek bestaat, zijn aanvullende metingen nodig.

PB6 staat aan de noordflank van de zandrits die ter hoogte van de Kwattaweg ligt. Deze meetreeks is minder lang en beslaat daardoor vooral het natte seizoen (Figuur 4.6). In het natte seizoen is de grondwaterstand constant redelijk hoog en is de reactie op de buien klein. Door deze hoge grondwaterstand in het natte seizoen is de berging van extra water boven de grondwaterstand erg gering en zal er snel wateroverlast optreden. Het feit dat de op deze specifieke locatie de grondwaterstand niet boven het maaiveld uitreedt, kan komen doordat de locatie van de peilbuis net wat hoger is dan de omgeving. Op deze locatie wordt namelijk wel met enige regelmaat (grond)wateroverlast gemeld.

Het feit dat de grondwaterstand hier niet of nauwelijks zakt in de natte periode, tussen individuele neerslaggebeurtenissen (zoals wel bij de kleibodem het geval is), komt mogelijk doordat water vanuit hoger gelegen gedeelte van de zandrits wordt aangevoerd. Een aanvullend meetpunt bovenop de zandrits, ter hoogte van de Kwattaweg, kan hierin meer zicht geven. De meetreeks is sterk verwant aan die van PB5 (Johannes Mungrastraat, zie Appendix C) die ook aan de noordflank van een zandrits ligt. De rol van zandritsen in de gerapporteerde wateroverlast, dient verder te worden uitgezocht.



Figuur 4.6: Geologie en gemeten grondwaterstand in peilbuis ter hoogte van de Piet Ezechiëlstraat (PB6), zie Figuur 3.1. In rood is de door de Meteorologische Dienst van het Ministerie van Openbare Werken gemeten neerslag in Noord Paramaribo (Ring Harbour) weergegeven.

5 Vervolgstappen

Dit rapport en de uitgevoerde metingen vormen een begin en zijn nog niet voldoende om voor grotere gebieden uitspraken te doen over de grondwaterdynamiek en het bodemsysteem. Belangrijke vervolgstappen zijn:

- Uitbreiding van het meetnet, eventueel kunnen stakeholders/marktpartijen hierbij worden betrokken die voor werkzaamheden met bodem en ondergrondinformatie werken, zoals nutsbedrijven of ingenieursbureaus; Hierin kunnen ook andere type metingen worden meegenomen, zoals: maaiveldaling, oppervlaktewaterpeilen, waterkwaliteit, verdamping en neerslag;
- Organiseren van een centraal platform voor het borgen van de data;
- Studenten betrekken bij het verzamelen en interpreteren van de data via regulier onderwijs of onderzoeksprojecten.

Hieronder wordt verder toegelicht wat het belang is van deze kennisbasis en hoe deze gebruikt kan worden.

5.1 Noodzaak kennisbasis grondwater en bodem

Het hebben van een kennisbasis over bodem en grondwater kan bijdragen aan geïnformeerde keuzes om bijvoorbeeld wateroverlast aan te pakken, schade aan bebouwing te voorkomen en beter voorbereidt te zijn op de effecten van klimaatverandering. Om de kennisbasis operationeel in te kunnen zetten dient deze in de komende jaren wel verder uitgebreid te worden. Dit hoeft niet direct een grote investering te zijn, maar kan bijvoorbeeld ook gelijktijdig gebeuren met andere bouw en infrastructurele projecten, waarvoor ondergrond data wordt ingewonnen. Op ten duur kan een kennisbasis dan bijdrage aan de onderstaande onderwerpen:

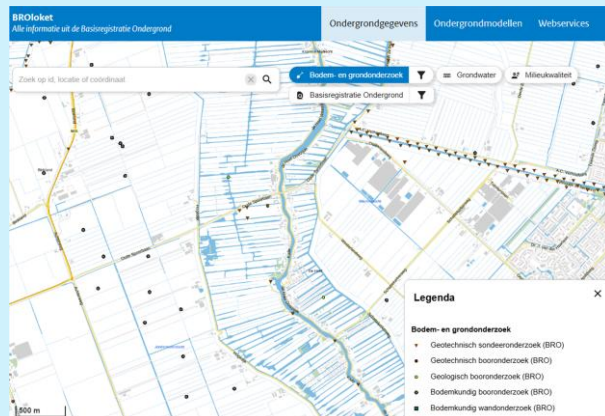
- Rol van ondergrond bij klimaatadaptatie
- Bodemdaling en schade aan infrastructuur
- Aanpakken van grondwateroverlast
- Relatie oppervlaktewaterpeil en grondwaterstand t.b.v. watermanagement.
- Grondwaterverzilting langs de kustlijn.

Idealiter wordt dergelijke bodem- en grondwaterdata centraal ontsloten en openbaar toegankelijk gemaakt, zodat deze informatie kan worden gebruikt door aannemers en ingenieursbureaus, maar ook in stedelijke planning. Als onderdeel van dit project zijn er in Maart 2024 gesprekken gevoerd met MI-GLIS om te kijken of zij de verzameling en het beheer van dit soort data kunnen waarborgen. Hoewel hier nog geen concrete stappen voor zijn genomen, zou een dergelijke rol goed bij het takenpakket van MI-GLIS passen en beschikken zij bovendien al over een digitale infrastructuur waar – na enige aanpassingen – mogelijk ook dit soort data in zou worden kunnen ontsloten. Hiervoor dient wel budget vrijgemaakt te worden.

De Basisregistratie Ondergrond (BRO)

De BRO is een centrale, landelijke database waarin gestandaardiseerde gegevens over de diepe en ondiepe Nederlandse ondergrond worden vastgelegd. Dit zijn gegevens zoals, geologische en geotechnische boringen en grondwaterstanden. Overheidsinstanties zijn verplicht om gegevens over de ondergrond volgens de BRO-standaarden aan te leveren en te gebruiken. Dit draagt uiteindelijk bij aan efficiëntere gebruik van data en lagere kosten bij projecten.

Via [deze link](#) zijn de ondergrondgegevens in te zien.



Grondwatermeetnet Amsterdam

Waternet (gemeente en waterschap Amsterdam) meet op ongeveer 2500 locaties in de openbare omgeving van Amsterdam het grondwaterpeil. De installatie van dit meetnet begon ongeveer 50 jaar geleden om meer inzicht in het effect van lekkende (draineerde) rioolbuizen in te stad te krijgen. Het is belangrijk dat het grondwaterpeil constant wordt gehouden. Als het grondwaterpeil te hoog is, kunnen kelders overstromen en tuinen drassig worden. Als het te laag is, kunnen de houten palen waarop gebouwen zijn gebouwd, gaan rotten en gebouwen verzakken.

Via [deze link](#) zijn de meetlocaties en grondwaterstanden in te zien.

Stedelijk waterplan Charleston (VS)

Charleston (South Carolina – VS) kamt met grote uitdagingen op het gebied van het stedelijke waterbeheer. Het water komt van alle kanten: stormvloed, zeespiegelstijging, intense neerslag en daarmee samenhangende stijgende grondwaterstanden en zoutwaterintrusie. Eerdere inspanningen hebben deze uitdagingen afzonderlijk aangepakt, maar er is behoefte aan een bredere aanpak om de toekomstige basisprincipes van land en water aan te pakken.

De bijdrage van ondiep grondwater aan de waterproblematiek in de stad is nog onduidelijk. Mogelijk bestaat er een sterke koppeling tussen de zee- en rivierpeilen, waardoor bij zeespiegelstijging meer (grond)wateroverlast zal ontstaan. Harde kustverdediging waarover nu wordt gesproken kan in dat geval niet los worden gezien van grondwateraspecten, wat in de huidige planvorming nu wel het geval is. Daarom is een beter begrip van het werkelijke grondwatersysteem en de veranderende omstandigheden als gevolg van zeespiegelstijging en klimaatverandering noodzakelijk. Dit betere begrip begint met de implementatie van een grondwater netwerk, waarmee in 2022 een start is gemaakt. Dit netwerk richt zich op de freatische grondwaterstanden en het identificeren van de sturende factoren hierop.

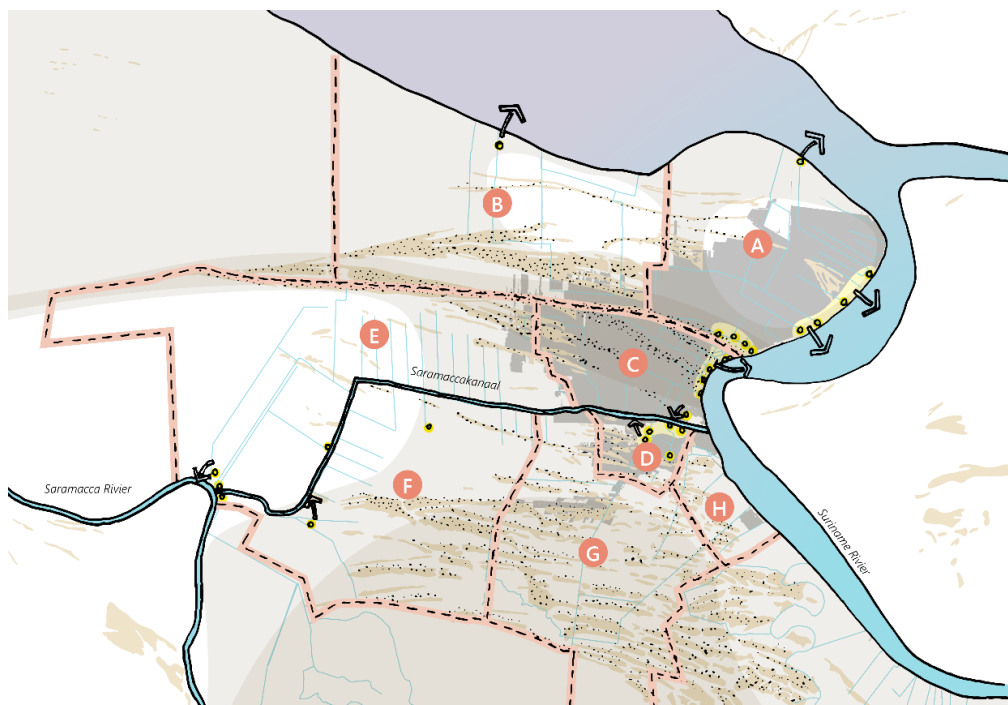
Meer over het Charleston Waterplan is [hier](#) te lezen.

5.2 Gebruik van ondergronddata in stedelijk waterbeheer

Het doel is om daadwerkelijk een stap te zetten naar een water- en bodembeheer dat sturend is. Dit betekent bijvoorbeeld dat verdichting plaatsvindt op stevige gronden, terwijl slappe gronden worden gereserveerd voor andere vormen van landgebruik. Ondergronddata, zoals bodem- en grondwaterinformatie, speelt een cruciale rol bij het bepalen van geschikte ingrepen, met name bij Nature-Based Solutions (NBS). Het uitgangspunt van NBS is het herstel van het natuurlijke systeem. Daarom is een goed begrip van het lokale systeem essentieel voordat investeringen worden gedaan. Ook voor traditionele, grijze infrastructuur is van belang om een goed beeld te hebben van de ondergrond en het grondwater. De benodigde dichtheid van drainagebuizen in een polder, of de stabiliteit van open watergangen hangen af van de gesteldheid van de ondergrond.

Uit de studie van de Man (2024) blijkt dat kennis van het water- en bodemsysteem noodzakelijk is voor de succesvolle implementatie van Urban NBS. Op het terrein van de Anton de Kom Universiteit is een wadi, een lokale retentiefaciliteit, aangelegd en voorzien van meetapparatuur om de werking ervan te analyseren. Het experiment toonde aan dat de wadi continu onder water stond, wat erop wijst dat de grondwaterstand niet ver genoeg daalt om de wadi droog te laten vallen. Op deze locatie zou een ondiepere retentiefaciliteit een betere keuze zijn geweest.

Bodem- en grondwaterinformatie, in combinatie met andere gebiedskenmerken, helpt bij het bepalen van geschikte maatregelen voor het watersysteem. Figuur 5.1 toont een overzicht van mogelijke stedelijke watertypologieën in Suriname, waarbij elk deelgebied een unieke combinatie heeft van kenmerken zoals grondwaterstanden, dominante ondergrond, verstedelijkingsgraad, hellingsgraad en hoogteligging van het landschap.



Figuur 5.1: Aanzet voor stedelijke water-typologieën die vertaald kunnen worden in een voorselectie voor mogelijke ingrepen.

5.3 Onderzoekscasussen

De opzet van het meetnet en gerelateerde onderzoeksactiviteiten zijn ook gepresenteerd aan medewerkers van de Anton de Kom universiteit en Deltares (appendix 6DD). Op basis hiervan zijn een aantal onderzoekscasussen en bijhorende activiteiten uitgewerkt, die als start kunnen dienen voor bijvoorbeeld studenten onderzoeken.

Casus 1: Analyse van grondwaterstanden

Op zes locaties, verspreid over klei- en zandbodems in Paramaribo, wordt momenteel de grondwaterstand gemeten. Een analyse van deze meetpunten kan al waardevolle inzichten opleveren over de geohydrologie van de omliggende gebieden en vormt een startpunt voor verder onderzoek. Mogelijke analyses omvatten:

- Dynamiek in relatie tot de ondergrond: Bij een voldoende lange meetreeks kan de dynamiek van de freatische grondwaterstand worden geanalyseerd aan de hand van verschillende parameters (zie ook, Grondwaterdynamiek (n.d.)), zoals de:
 - LG3: Gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden (met een minimale tussenperiode van 14 dagen);
 - GG: Gemiddelde Grondwaterstand over de gehele meetperiode;
 - HG3: Gemiddelde van de drie hoogste grondwaterstanden (met een tussenperiode van 14 dagen).

Deze statistieken kunnen onderling worden vergeleken om verschillen in grondwaterdynamiek tussen bodemtypes te duiden. Daarnaast kan het effect van seizoensinvloeden, zoals de regen- en droge tijd, worden onderzocht.

- Relatie met externe factoren: De grondwaterstand wordt beïnvloed door verschillende randvoorwaarden. Het is daarom nuttig om de meetreeksen te beschouwen in relatie tot:
 - Neerslag: Vergelijking tussen regenval en grondwaterrespons.
 - Lokale oppervlaktewateren: Invloed van nabijgelegen sloten, vijvers en afwateringssystemen.
 - Grote oppervlaktewateren: Effecten van de Surinamerivier en de oceaan op grondwaterfluctuaties.
- Freatische berging: De freatische berging is de hoeveelheid water die de onverzadigde zone kan opnemen of afgeven bij fluctuaties in de grondwaterstand. Deze parameter bepaalt dus o.a. in hoeverre de bodem een rol speelt bij wateroverlast of droogte. De freatische berging (s_y) kan worden geschat door de verandering in grondwaterstand (Δh) te relateren aan de effectieve infiltratie (I):

$$s_y = \frac{I}{\Delta h}$$

Waarbij:

- I = neerslag – verdamping – overland-flow

Casus 2: Middendiepe geologie

Hoewel de ligging van de belangrijkste zandritsen en diepe watervoerende pakketten (aquifers) voor drinkwaterwinning redelijk goed in kaart zijn gebracht, is er weinig bekend over middendiepe geologie (tot 20-30 meter onder maaiveld). Dit kan echter een belangrijke rol spelen in de regionale hydrologie. Bijvoorbeeld, doordat beter doorlatende zandlagen in verbinding staan met rivieren of de oceaan en zorgen voor een overdruk in deze lagen. Daarnaast kunnen deze lagen mogelijk dienen als stabiele funderingslagen voor infrastructuur en bebouwing. Er kan worden gedacht aan de volgende meetactiviteiten:

- Geologische boringen: uitvoeren van boringen langs een aantal meettraaien in noord-zuid- als west-oost-richting om de verbreiding van geologische zand (en klei) lagen te karteren;
- Stijghoogtemeetpunten: indien significante zandlagen worden aangetroffen, kunnen hier peilbuizen in worden geplaatst. Hiermee kan inzicht worden verkregen in de stijghoogte van het grondwater in deze zandlagen en moet duidelijk worden hoe deze zich verhouden tot freatische grondwaterstand en belangrijk oppervlaktewateren;
- Doorlatendheidsmetingen geologische eenheden: simpele putproeven in peilbuizen (zie appendix E), kunnen worden gebruikt om inzicht te krijgen in de doorlatendheden van zandige eenheden. De doorlatendheid samen met de omvang van een eenheid kan inzicht geven in de relevantie van een bepaalde zandige laag.
- Zoet-zoutmetingen: deze metingen kunnen helpen om het risico op verzilting vanuit de oceaan of rivier via deze zandlagen in kaart te brengen.

Casus 3: Karteren wateroverlast

Paramaribo kampt tijdens het regenseizoen regelmatig met wateroverlast. De locaties waar water op straat treedt zijn over het algemeen bekend en eerder gekarteerd of gemodelleerd. De rol van grondwater bij deze overlast is echter niet altijd duidelijk. Uit dit project bleek bijvoorbeeld dat op de noordflank van de zandrijs langs de Kwattaweg wateroverlast mede wordt veroorzaakt door uittredend grondwater. In zulke gevallen is het afvoeren van regenwater alleen niet voldoende om de overlast te beperken.

Het in kaart brengen van locaties waar grondwater bijdraagt aan wateroverlast, en in welke mate, kan helpen om de omvang van het probleem beter te begrijpen en gerichte maatregelen te ontwikkelen. Dit kan worden gedaan door middel van karteringen met behulp van enquêtes onder bewoners of veldwaarnemingen (tijdens natte periode, maar niet op dag met veel regen). Grondwateroverlast uit zich in de volgende kenmerken:

- Langdurig drassige gronden/bodems ook bij periode zonder veel regenval.
- Natte kelders of kruipruimtes
- Langdurig hoge grondwaterstanden

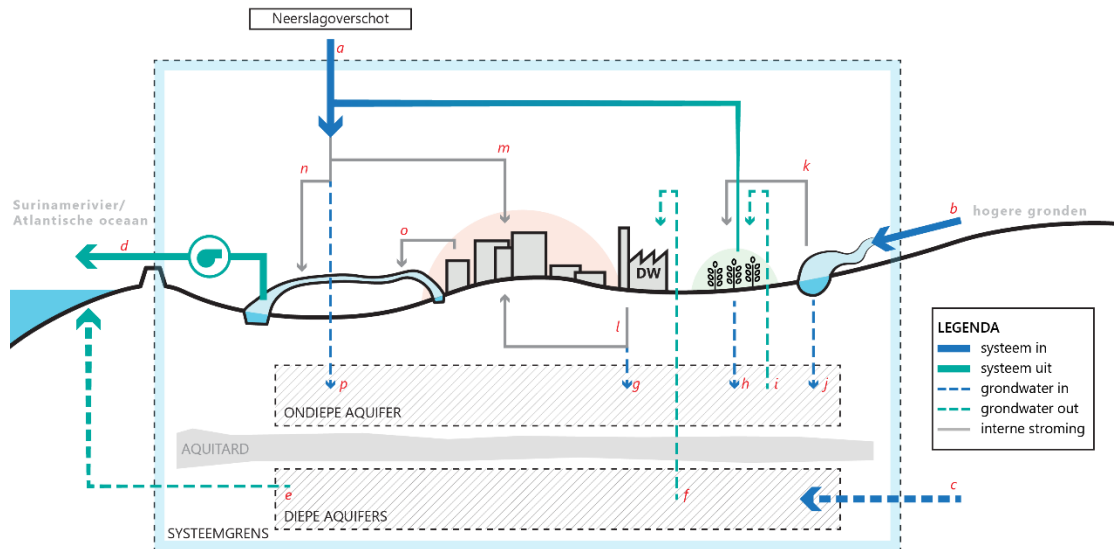
Casus 4: relatie oppervlakte- en grondwater

Bij de aanpak van wateroverlast in Paramaribo wordt ook gekeken naar het doorvoeren van veranderingen in het oppervlaktewatersysteem. Zo kan een verlaging van het peil in drainagekanalen bijdragen aan een grotere waterbergingscapaciteit, terwijl het uitgraven van nieuwe drainagekanalen kan helpen om water sneller af te voeren. Dergelijke ingrepen kunnen echter ook leiden tot (on)gewenste verlagingen van de grondwaterstand, wat bijvoorbeeld kan resulteren in een verhoogde kans op bodemdaling. Het onderzoeken van de interactie tussen oppervlaktewater en grondwater is daarom essentieel om de mogelijke gevolgen van dergelijke maatregelen beter te begrijpen en onderbouwde beslissingen te nemen. De volgende activiteiten kunnen bijdragen aan dit onderzoek:

- Grondwater- en oppervlaktewatermonitoring: Door de grondwaterstand op verschillende afstanden van een oppervlaktewater te volgen, kan een indruk worden verkregen van in welke mate de grondwaterstand wordt gerelateerd aan oppervlaktewaterbeheer. Peilbuis PB3 bevindt zich relatief dicht bij een (natuurlijke) en zou hiervoor als startpunt kunnen dienen.
- Analytische benadering: Een alternatieve aanpak bijvoorbeeld met de formules van Ernst et al. (1970) de drainageweerstand van een waterloop te bepalen. Hiervoor is dan informatie nodig over de geohydrologische eigenschappen van de direct ondergrond en kanaal/kreekbodem.

Casus 5: Waterbalans Groot-Paramaribo

Voor het doorrekenen van overstromingsrisico's zijn hydraulische modellen geschikt. Echter, voor inzicht in droogterisico's en jaar-rond hydrologie is het nodig om een (conceptuele) hydrologische waterbalans op te stellen. Groot-Paramaribo ontvangt water uit neerslag, binnenkomende kreek, en onttrokken grondwater. Afvoer vindt plaats door (gewas)verdamping, lozingen via natuurlijke afstroming of middels gemalen op de Surinamerivier en oceaan en een wisselwerking tussen het diepe grondwater en extern water. Figuur 5.2 toont een doorsnede met daarin de conceptuele waterbalans van Groot-Paramaribo. Daarin is onderscheid gemaakt tussen oppervlaktewater, ondiep grondwater en



Figuur 5.2: Componenten van de waterbalans in Groot-Paramaribo, met het onderscheid tussen het oppervlaktewatersysteem, het ondiepe grondwater en diepe aquifers. Niet alle balanstermen zijn goed in kaart gebracht.

diepe aquifers. De verschillende balanstermen zijn aangegeven met een letter; de richting van de pijl geeft aan wat de 'positieve' stroomrichting is.

Het vaststellen van de waterbalans voor Groot-Paramaribo helpt om beter inzicht te krijgen in de jaarlijkse hydrologische cyclus. Daarbij dient onderscheid gemaakt te worden tussen de 4 hoofd klimaat-perioden: korte regentijd, korte droge tijd, lange regentijd, lange droge tijd. De waterbalans geeft de mogelijkheid om te verkennen hoe klimaatverandering en socio-economische veranderingen invloed hebben op de beschikbaarheid van zoetwater. Er kan verkend worden of de natuurlijke aanvulling van het diepe grondwaterpakket door bovenstroomse infiltratie de onttrekking van grondwater voor de productie van drinkwater aan kan, of dat er een tekort ontstaat. Een afnemende beschikbaarheid van diep grondwater is een bedreiging voor toekomstige zoetwaterbeschikbaarheid (verzilting vanuit de kust), en kan ook diepe bodemdaling tot gevolg hebben.

De conceptuele waterbalans is op dit moment nog niet volledig uitgewerkt en verifieerd. Ter verbetering en aanvulling van de waterbalans kunnen de volgende activiteiten worden geïdentificeerd:

- Infiltratiemetingen (ring-infiltratieproeven) voor verschillende bodemtypes en landgebruik (term p en n): Door gebruik te maken van dubbele ring-infiltratieproeven kan de infiltratiecapaciteit van de bodem worden gemeten. Dit is essentieel om te bepalen hoeveel neerslag effectief kan doordringen (term p) tot het grondwater en welk deel via overland-flow wordt afgevoerd (term n).
- Netto neerslag (term a): De netto neerslag is een product van de gevallen neerslag (meetreeksen zijn bekend) en de actuele verdamping tijdens het tijdvak. De actuele

verdamping (water-gelimiteerde verdamping) kan worden bepaald met hydrologische modellen zoals wflow¹. Een schatting van de potentiële verdamping (energie-gelimiteerde verdamping) kan worden gemeten met bijvoorbeeld openwaterverdampingsmetingen of indirect geschat met Penman-Monteith methode (Monteith, 1965) op basis van lokale klimaatdata.

- Drinkwaterproductie (term f): bij de Surinaamse Water Maatschappij (SWM) kan worden opgevraagd wat de grondwateronttrekkingen zijn voor drinkwaterproductie. Ook kan op basis van inwoneraantallen een inschatting gemaakt worden van de drinkwatervraag. Verliezen in het drinkwaternetwerk zijn wellicht ook bekend bij SWM, of kan geschat worden op basis van het verschil tussen de geproduceerde hoeveelheid drinkwater en de drinkwatervraag op basis van inwoneraantallen.
- Lokale regenwaterhergebruik (term m): Op dit moment wordt er in beperkte mate gebruik gemaakt van regenwaterhergebruik in stedelijk gebied. Buurtonderzoeken maken deze term beter inzichtelijk.

Casus 6: Bodemdaling

De in paragraaf 4.1 gepresenteerde INSAR-studie suggereert dat bodemdaling mogelijk een rol speelt in Paramaribo. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen permanente bodemdaling en niet-permanente bodembeweging. Laatstgenoemde is vaak een seizoensgebonden proces dat samenhangt met de waterhuishouding van de bodem en doorgaans reversibel is.

Zowel bodemdaling als bodembeweging kan leiden tot schade aan infrastructuur. Hoewel grootschalige bodemdaling op dit moment niet duidelijk aanwezig is, is het, gezien de ligging van Paramaribo in een jonge kustvlakte, niet ondenkbaar dat dit proces een rol speelt. Bovendien zijn er ter hoogte van Paramaribo een aantal diepe grondwateronttrekkingen, wat in andere grote steden, zoals Jakarta en Mexico-Stad, tot aanzienlijke bodemdaling heeft geleid.

Om te onderzoeken of bodemdaling of bodembeweging ook in Paramaribo een significante factor is, kunnen de volgende onderzoeksactiviteiten worden uitgevoerd:

- Karteren van schade aan gebouwen: Hoewel enkele (kranten)artikelen melding maken van mogelijke schade door slechte funderingen, is er nog geen systematische kartering hiervan uitgevoerd. Schade aan gebouwen, zoals scheuren in muren of scheefstand, kan door middel van observaties en enquêtes onder bewoners in kaart worden gebracht. Door dit op meerdere locaties te doen, kan inzicht worden verkregen in de verspreiding van schade en mogelijke relaties met bodemtype en/of waterbeheer.
- NSP-hoogtepunten opnieuw inmeten: In Paramaribo zijn nog diverse NSP-punten aanwezig. Indien de oorspronkelijke hoogte bij plaatsing bekend is, kunnen deze opnieuw worden ingemeten om veranderingen te achterhalen. Daarnaast kunnen hoogteverschillen tussen nabijgelegen punten worden bepaald. Grote verschuivingen kunnen een indicatie zijn van bodemdaling of bodembeweging en aanleiding geven tot verder onderzoek.
- Bepalen van de zwelcapaciteit van bodems: Veranderingen in bodemvocht kunnen ervoor zorgen dat kleigronden krimpen of zwellen. Het is relevant om te onderzoeken of binnen het natuurlijke vochtbereik significante volumeveranderingen optreden in de kleibodems van Paramaribo. Dit kan bijvoorbeeld worden getest door een kleimonster nat te maken, vervolgens te laten uitdrogen en de volumeveranderingen te meten.

¹ <https://www.deltares.nl/en/software-and-data/products/wflow-catchment-hydrology>

6 Literatuur

ABS, Conservation International, & United Nations Development Programme. (2014). *Environmental Statistics Paramaribo*.

ABS. (2023). *Statistisch jaarboek 2020/2021/2022 Suriname*. ABS Suriname

Aluvihare, R., & Kok Potsma, I. (2008). *Ruimtelijke ontwikkelingsstrategie woningbouw voor Groot-Paramaribo*. Paramaribo: SN.

Dagblad Suriname. (2013, 11 September). *Koopwoningen Hannaslust niet naar behoren gebouwd*. Verkregen via: <https://www.dbsuriname.com/2013/09/11/koopwoningen-hannaslust-niet-naar-behoren-gebouwd/>

Dagblad Suriname. (2021, 7 Oktober). *Verzakking van Excelstraat leidt deels tot afsluiting voor verkeer*. Verkregen via: <https://www.dbsuriname.com/2021/10/07/verzakking-van-exelstraat-leidt-tot-deels-afsluiting-voor-verkeer/>

Deltares, Royal HaskoningDHV, Kavel10, & Ilaco. (2024). *Saramacca Canal System Rehabilitation Project Lot 2 - Masterplan Waterbeheer*.

Eduard, M. (2022). *5 redenen waarom woonhuizen op Paramaribo-Noord grote verzakkingen tonen*. LinkedIn. Verkregen via: <https://nl.linkedin.com/pulse/5-redenen-waarom-woonhuizen-op-paramaribo-noord-grote-milroy-eduards>

EO4SD Disaster Risk Reduction. (2020). *Paramaribo (Suriname): Terrain Deformation in Urban Areas. City Resilience Program: Terrain Deformation in Urban Areas (WB-CRP-01). Product Sheet*.

Ernst, L. F., de Ridder, N. A., & de Vries, J. J. (1970). *A geohydrologic study of East Gelderland : Netherlands. (Verspreide overdrukken*. Instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding; No. no. 115).

Geijskes, D.C. (1952). *On the structure and origin of the sandy ridges in the coastal zone of Suriname*. Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap, 69, 225-237.

Groen, K. (2002). *The effects of transgressions and regressions on coastal and offshore groundwater*. Vrije Universiteit, Nederland.

Grondwaterdynamiek. (n.d.). WUR. [https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research/faciliteiten-producten/software-en-modellen/grondwaterdynamiek.htm#:~:text=LG3%3A%20gemiddelde%20van%20de%20drie,14e%20en%2028e\)](https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research/faciliteiten-producten/software-en-modellen/grondwaterdynamiek.htm#:~:text=LG3%3A%20gemiddelde%20van%20de%20drie,14e%20en%2028e).).

Koole, E.C., Bloemendaal, N., Brotons, M., Haarsma, R., Keizer, I., Le Bars, D., & De Vries, H. (2024). *KNMI Climate Scenarios for Suriname* (KNMI Scientific Report-WR24-01).

Lenselink, K.J., & Van der Weer, R. (1973). *Estimating free water evaporation in Suriname*. De Surinaamse Landbouw, 21, 70–79.

Van der Meulen, S., de Jong, A., Owen, S., Bleser, J., & Pipa, P. (2024). *Factsheet Gezondheid & Wateroverlast*. Deltares.

De Man, M. (2024). *Nature-based solutions for water management in Paramaribo: Solving urban challenges by utilizing nature* (Master's thesis). Delft University of Technology. Retrieved from <http://resolver.tudelft.nl/uuid:9bce0dfb-1051-4b94-9733-861e207cd10b>

Ministerie van Openbare Werken. (2023). *Het verhelpen van verzakkingen in het gesloten rioolstelsel op diverse locaties in de districten Paramaribo en Wanica met bijbehorende werkzaamheden (074/2023 LB/OW/OGR: 8)*.

Monteith, J. L. (1965). *Evaporation and environment*. In *Symposia of the society for experimental biology* (Vol. 19, pp. 205-234). Cambridge University Press (CUP) Cambridge.

Suriname Nieuws Centrale. (2023, 24 Mei). *Surinamerivier heeft eind september diepgang van 5,5 meter*. Verkregen via: <https://surinamenieuwscentrale.com/surinamerivier-heeft-eind-september-diepgang-van-55-meter>

SWRIS. (n.d.). *data/general*. Verkregen via: <https://www.swris.sr/data/general/>

RTI International. (2016). *Hydrogeological Assessment of the Coastal Aquifers in Suriname-Final Report*.

USDA. Soil Science Division Staff. (2017). *Soil survey manual (No. 18)*. US Department of Agriculture.

Van der Cruyssen, E., Buma, L., Keonjibharie, S., & Wong Loi Sing, R. (2023). *Saramacca Canal System Rehabilitation Project Lot 2. The Preparation of the Update of the Norms/Guidelines for the Drainage Management – Final Task 2 Report LiDAR and Base Map*.

Wereldbank (2024, 17 April). *The World Bank In Suriname*. Verkregen via: <https://www.worldbank.org/en/country/suriname/overview>

A Boorstaten

A.1 Boorstaat geologische boring

Boorbeschrijving	Datum:
Algemene gegevens	
Naam locatie:	
Lengtegraad (WGS84):	
Breedtegraad (WGS84):	
Maaiveldhoogte (m NSP):	
Algemene bevindingen	
GHG (m-mv)	
GLG (m-mv)	
Einde boring (m-mv)	

Diepte-interval (cm)	Grondsoort	Overige kenmerken

A.2 Boorstaat geologische boring inclusief peilbuis

Boorbeschrijving

Datum:

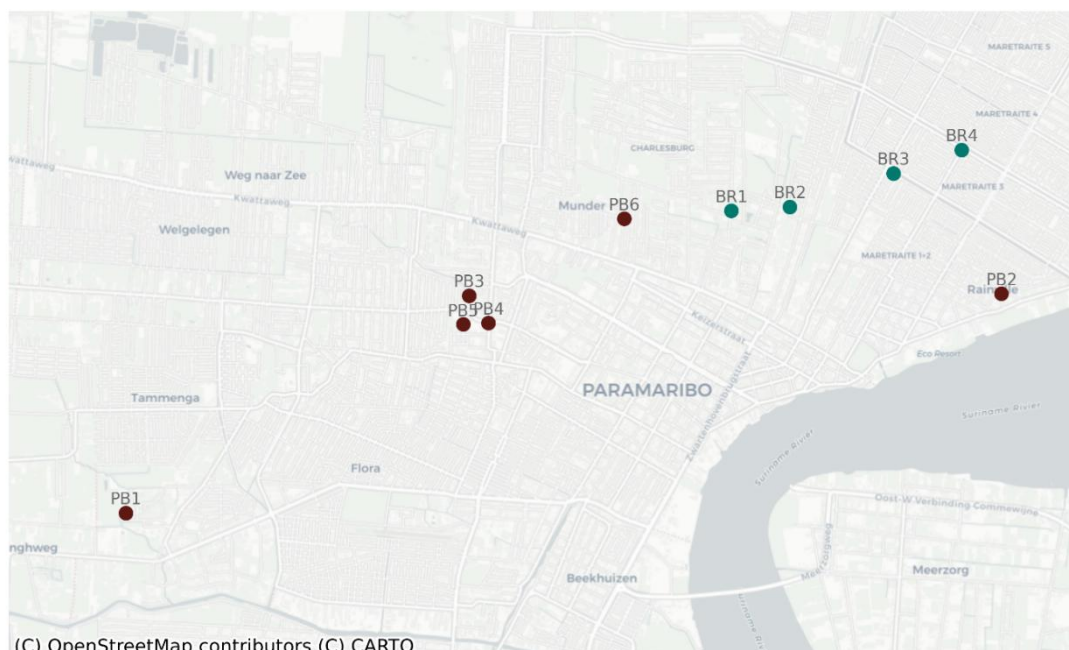
Algemene gegevens	
Naam locatie:	
Lengtegraad (WGS84):	
Breedtegraad (WGS84):	
Maaiveldhoogte (m NSP):	
Algemene bevindingen	
GHG (m-mv)	
GLG (m-mv)	
Einde boring (m-mv)	
Kenmerken peilbuis	
Top peilbuis (m-mv)	
Onderkant peilbuis (m-mv)	
Top filter (m-top peilbuis)	
Onderkant filter (m – top peilbuis)	
Kabellengte (m – top peilbuis)	

Diepte-interval (cm)	Grondsoort	Overige kenmerken

B Locaties grondwatermeetpunten

B.1 Overzichtstabel

PB	Naam	Diver_id	Lat	Lon	Contactgegevens
1	Anton de Kom Universiteit (gebouw 7)	ER234	5.81329936	-55.21907441	Ginny Bijnaar of Oclaya Verweij
2	Van Roosmalenstraat 5 (vooraf informeren)	ER609	5.83372947	-55.13739248	Lucille Lionarons (+31637209949)
3	Jacob Reintjesstraat 18 (vooraf informeren)	ER266	5.83354380	-55.18707260	Chittraa Gangaram-Panday (+5978558572)
4	min ow – Professor W.J. Kernkampweg	ER211	5.83099634	-55.18524962	Ramkovic (+5978797287)
5	min ow – Johannes Mungrastraat	EX788	5.83086499	-55.18760103	Ramkovic (+5978797287)
6	Piet Ezechielsstraat	EX655	5.84069859	-55.17260206	Nishchal Sardjoe (+31651563639)



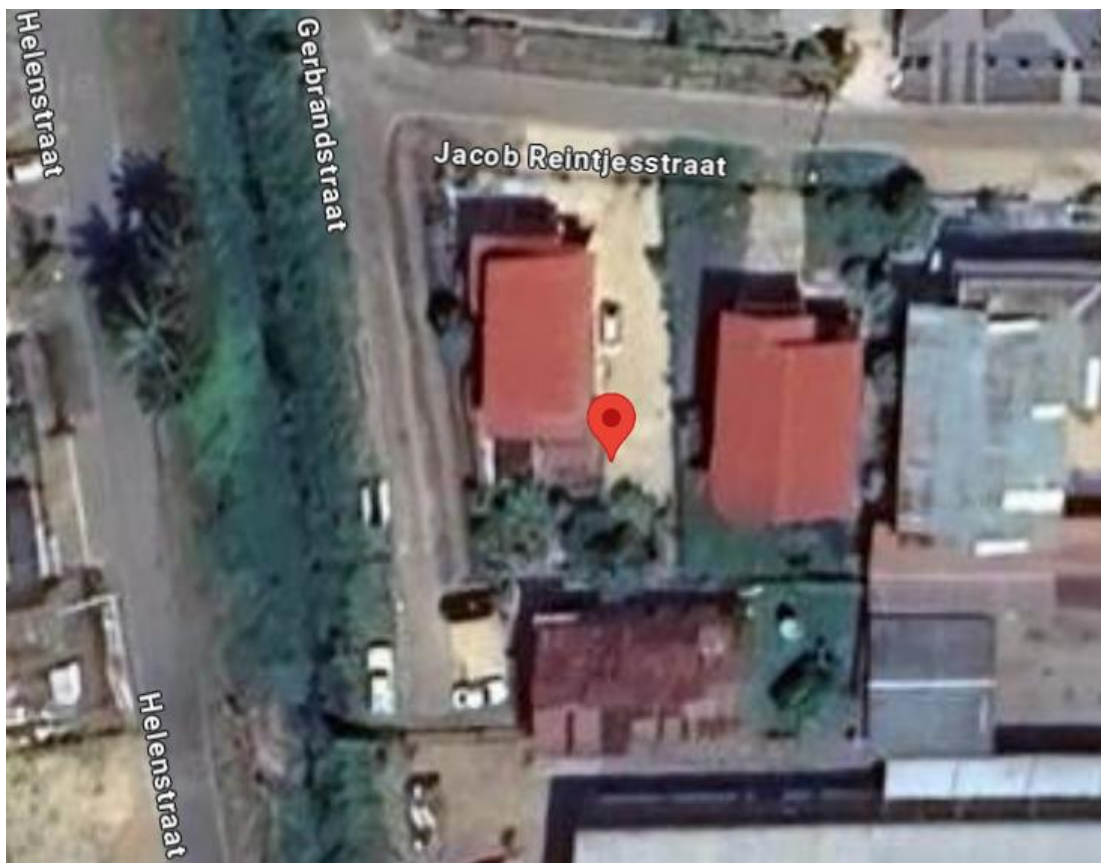
B.2 Peilbuis Anton de Kom Universiteit (Gebouw 7)

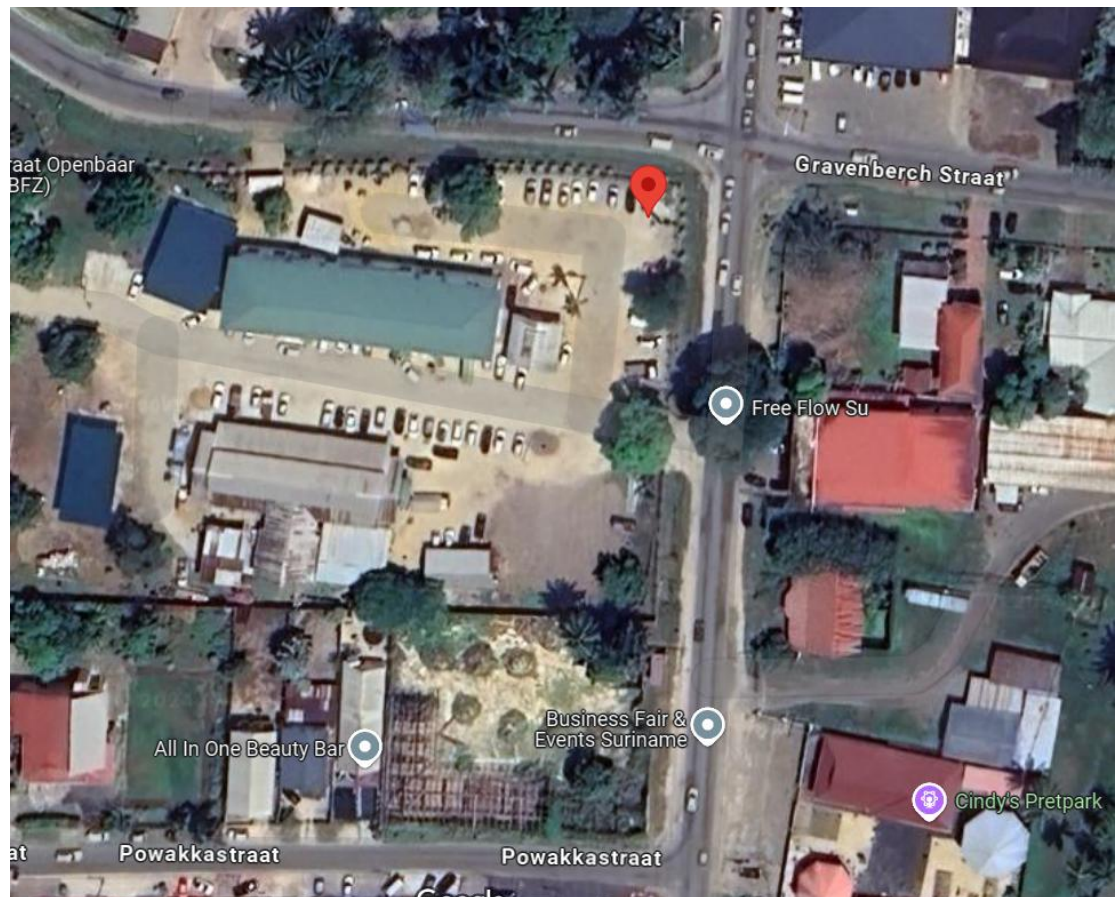


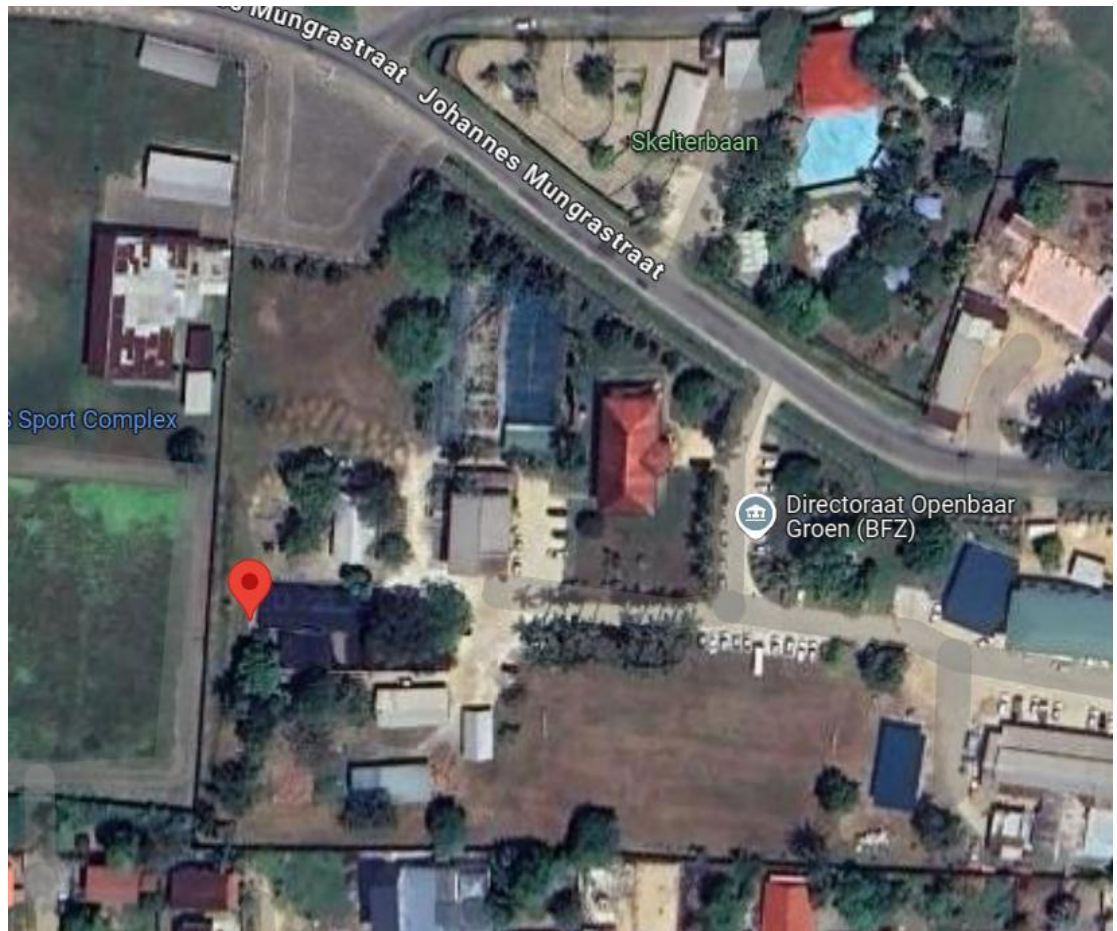
B.3 Peilbuis Van Roosmalestraat



B.4 Peilbuis Jakob Reintjesstraat





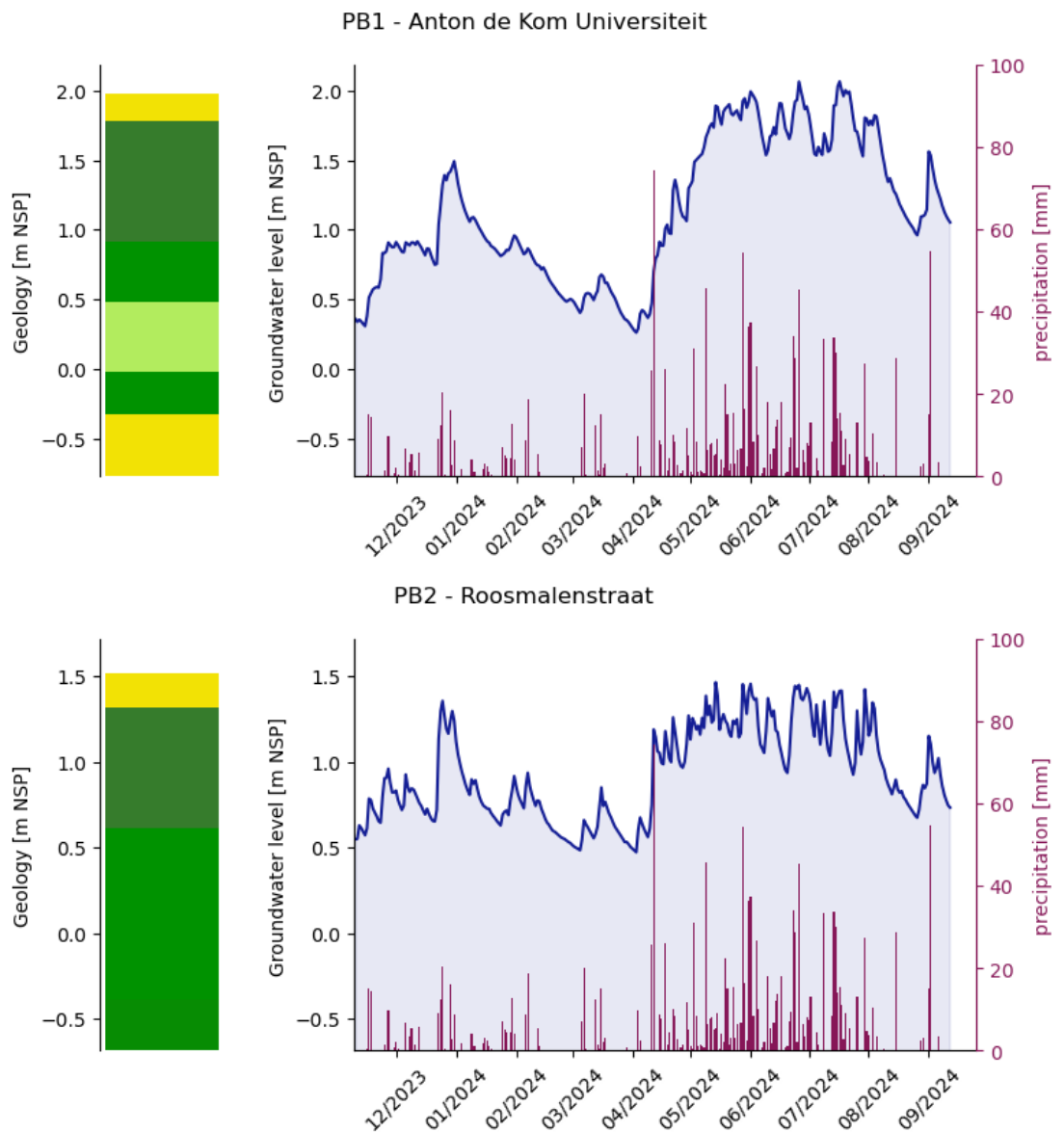


B.7 Peilbuis Piet Ezenchielsstraat

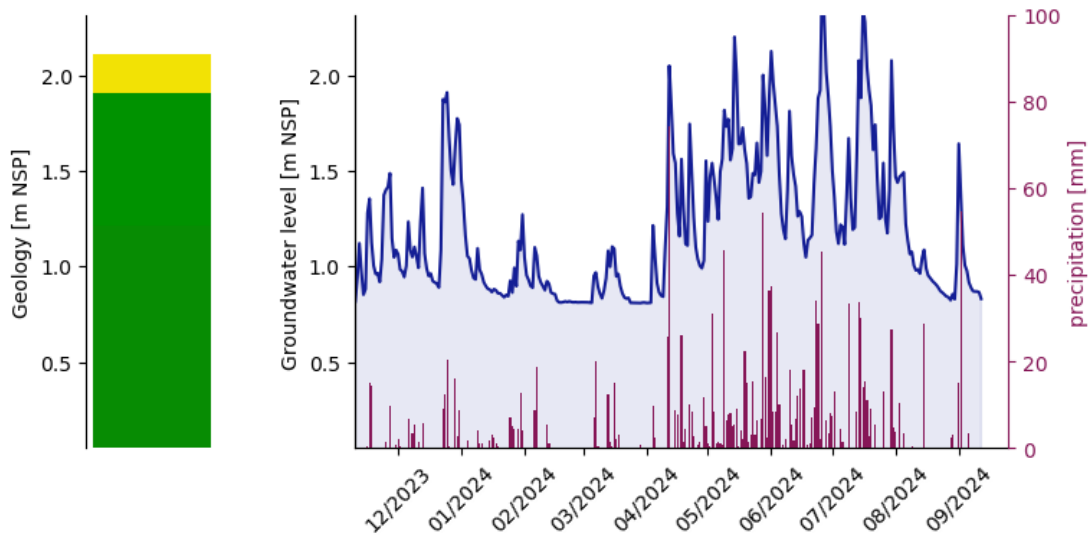


C Metingen

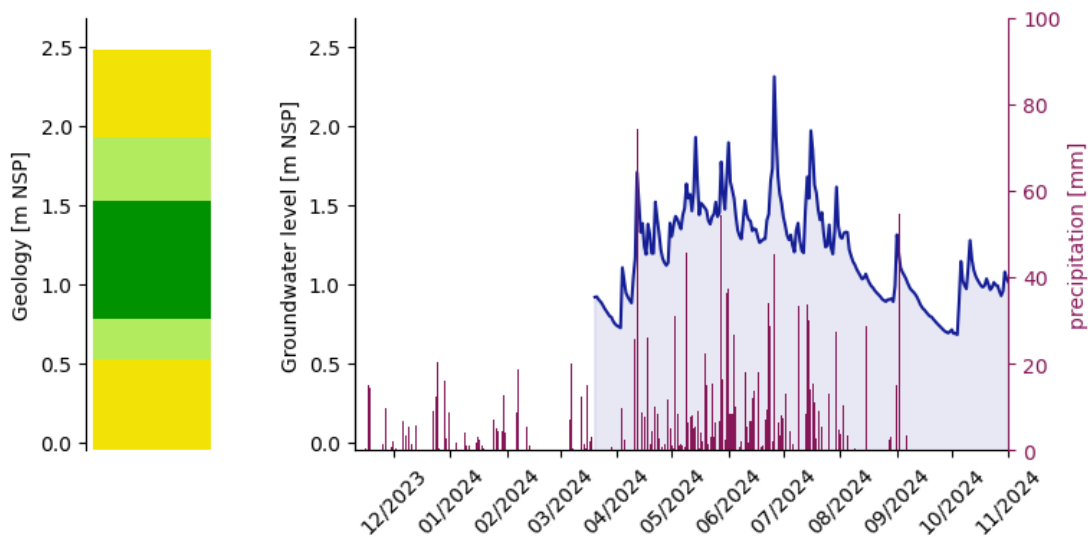
C.1 Grondwaterstanden



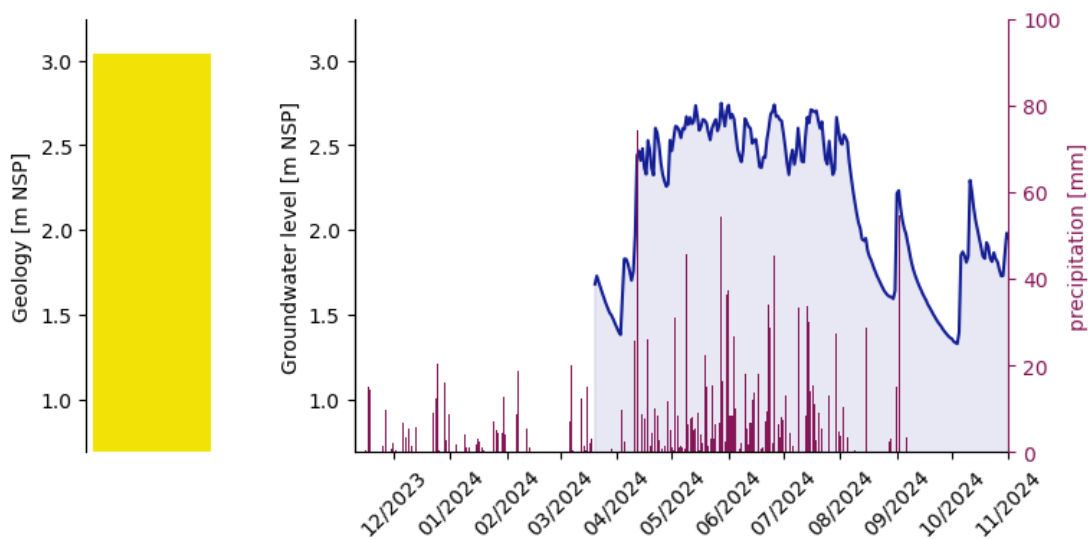
PB3 - Jacob Reintjesstraat



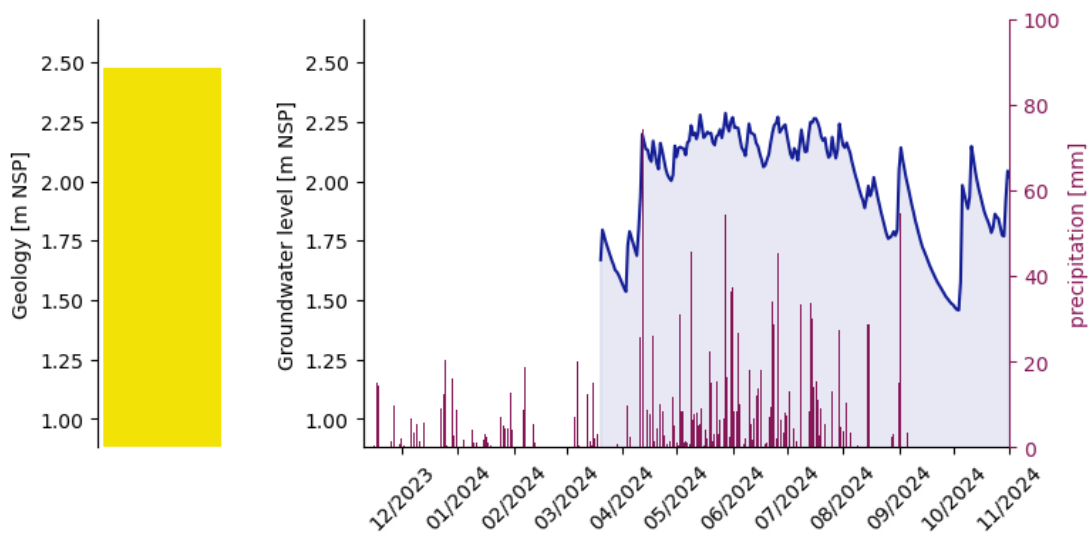
PB4 - Prof. W.J. Kernkampweg



PB5 - Johannes Mungra Straat

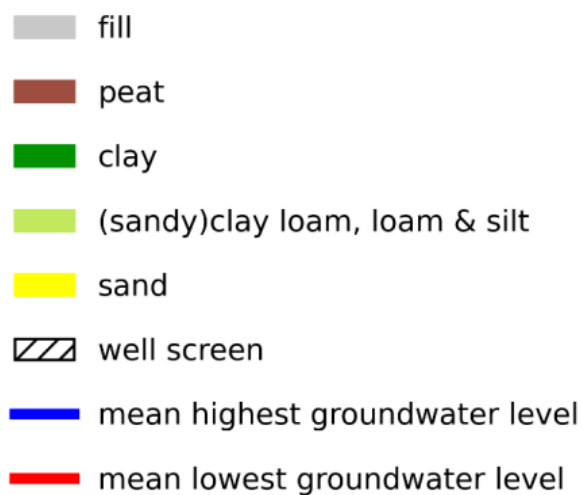


PB6 - Piet Ezechieelstraat

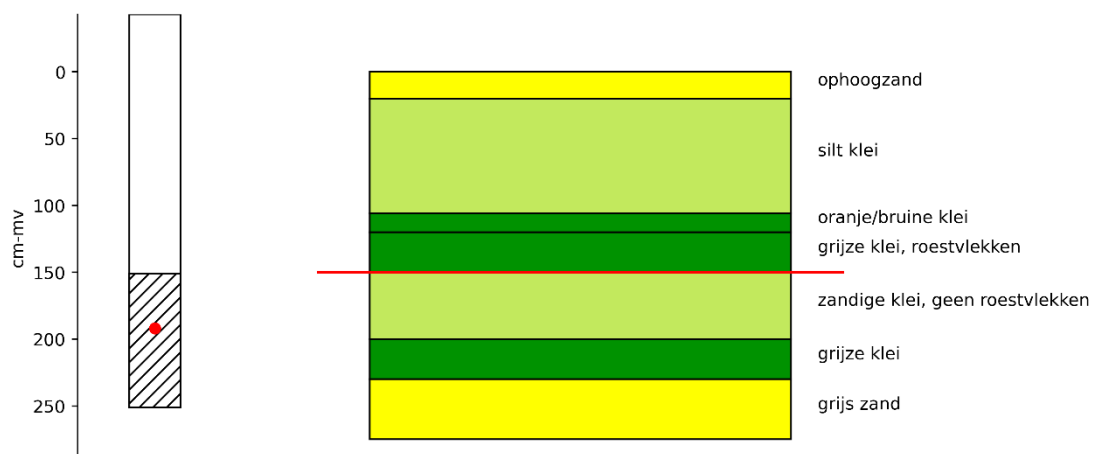


C.2 Boringen

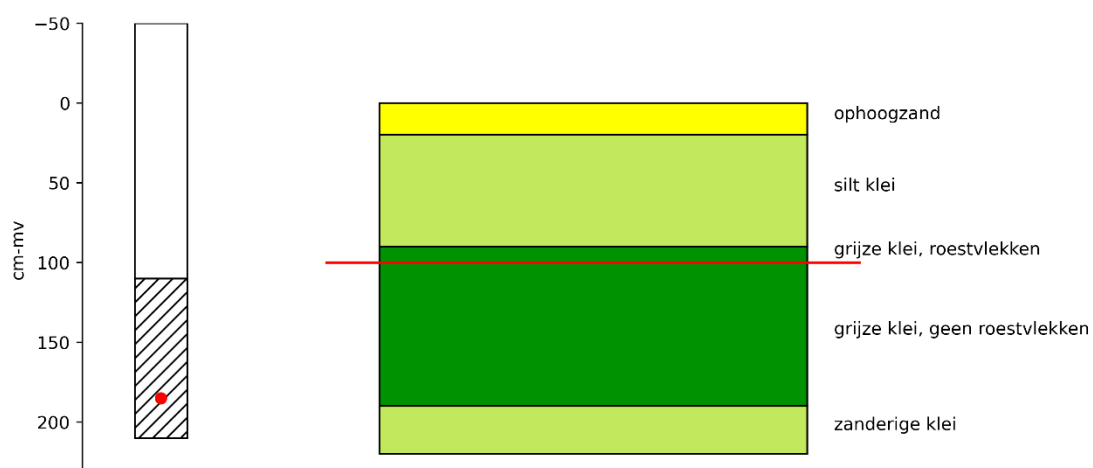
Legend



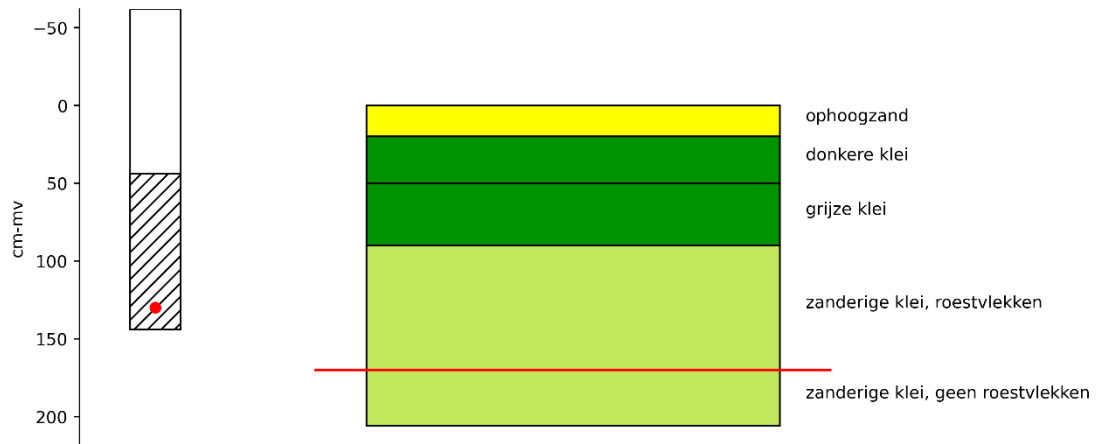
PB1: Anton de Kom Universiteit



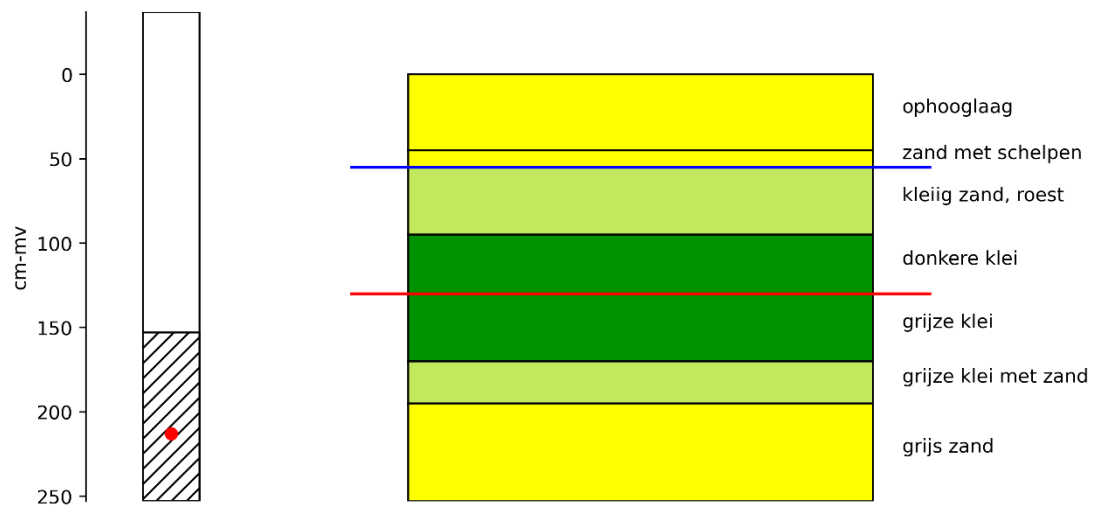
PB2: Roosmalenstraat



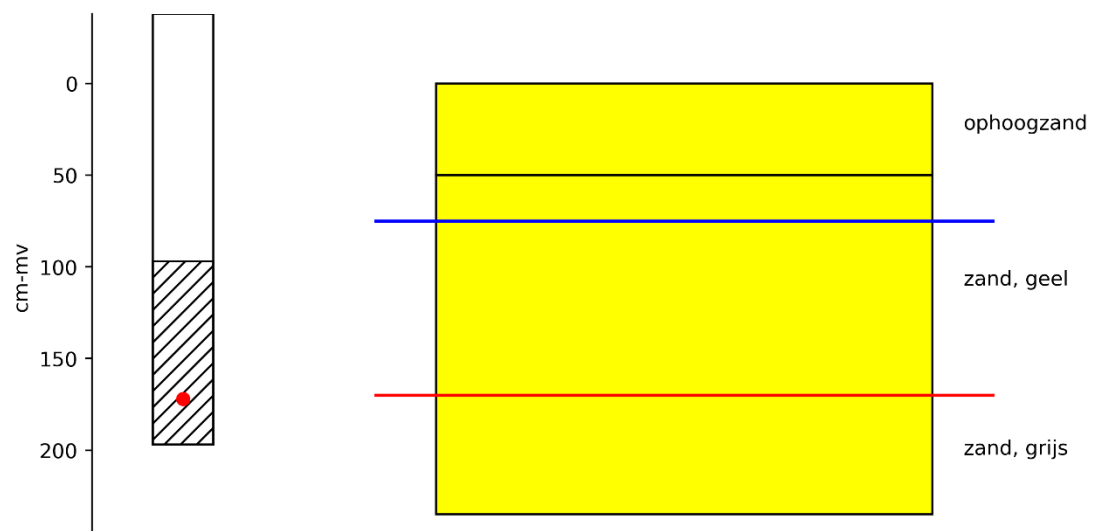
PB3: Jacob Reintjesstraat



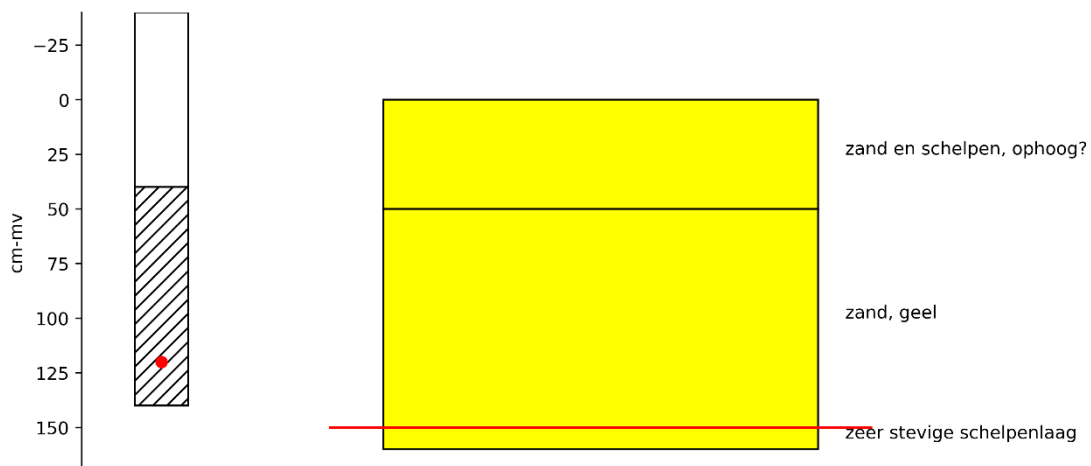
PB4: Prof. W.J. Kernkampweg



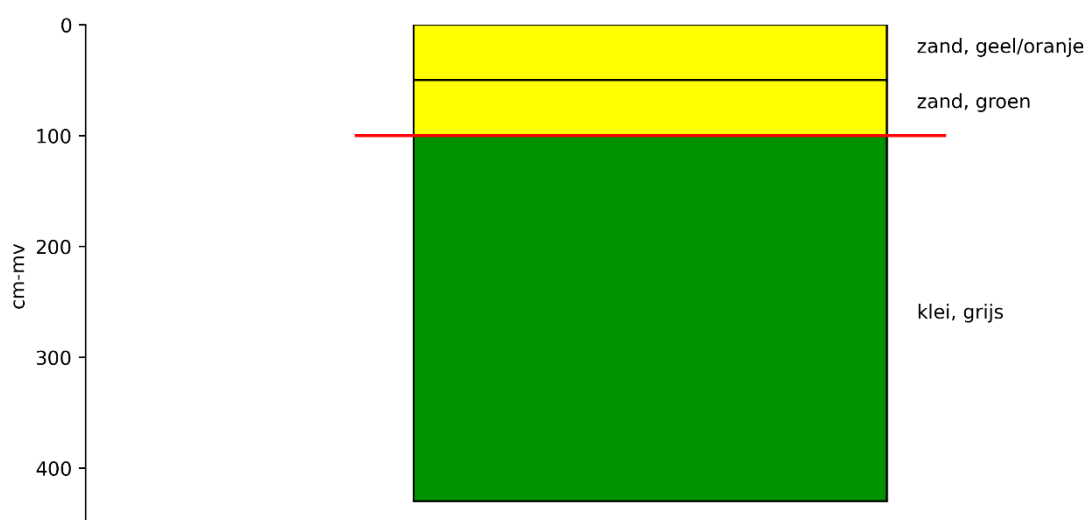
PB5: Johannes Mungra Straat



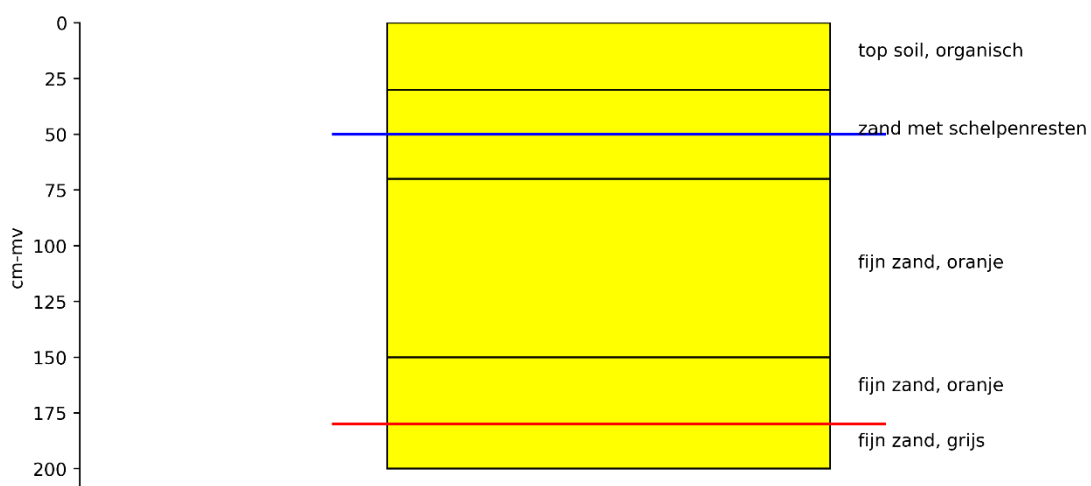
PB6: Piet Ezechiëlstraat



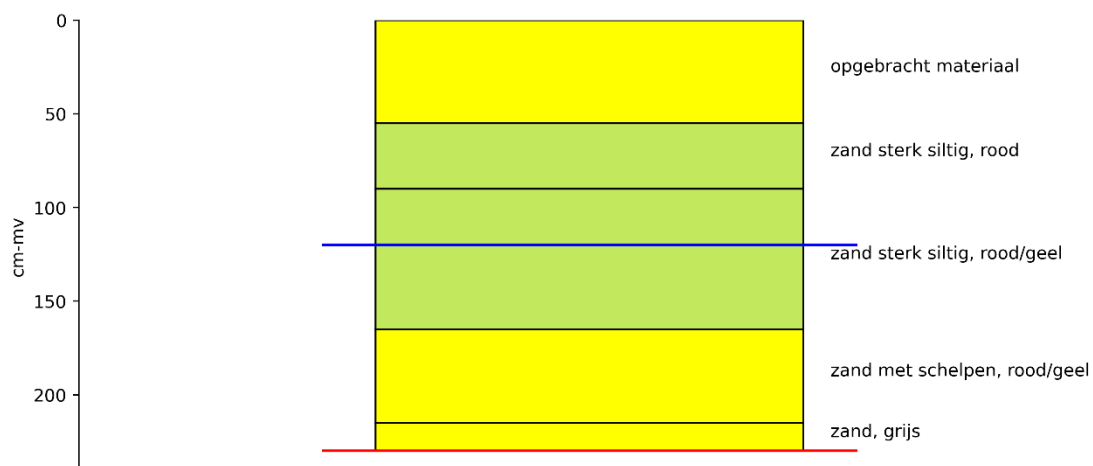
BR1: Mangolaan



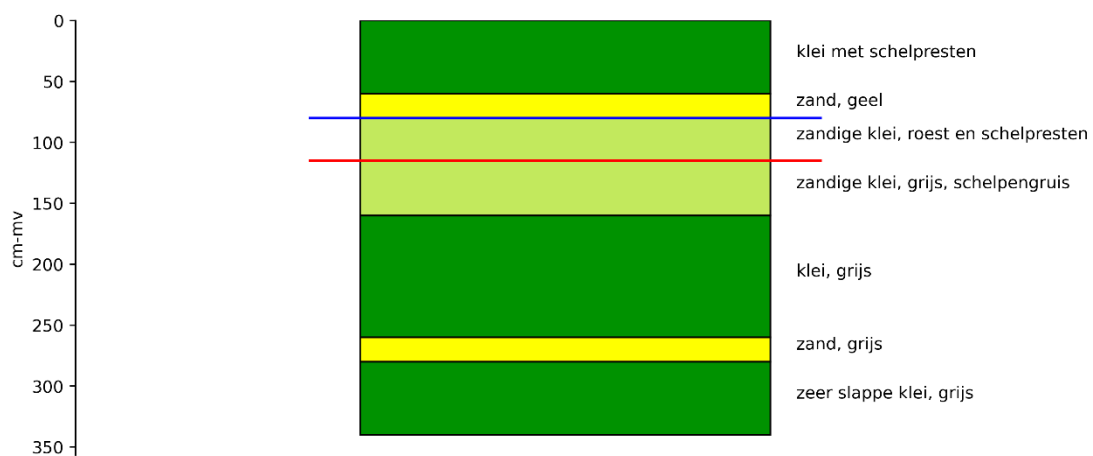
BR2: Schietbaanweg



BR3: Ragobierstraat



BR4: Gompertstraat



D Uitkomsten brainstorm

Voorgelegde vragen:

1. Hoe relevant is deze kennisbasis voor uw vakgebied en welke uitdagingen pakt het aan?

Het nut van het structureel werken aan een kennisbasis en het belang van FAIR data hierbij wordt onderstreept door de aanwezigheid van AdeKUS. Roland King wijst daarnaast op de karteringen die in het verleden door G.E. Kamerling zijn gedaan. Dit zou een mooi startpunt voor deze kennisbasis vormen, maar de karteringen zijn slecht bewaard en niet gedigitaliseerd. De originele data is er niet meer, maar kopieën zijn waarschijnlijk wel bewaard gebleven. Interessant is om te kijken of met AI deze dataset gedigitaliseerd kan worden.

2. Welke onderzoeksvragen kunnen we formuleren rondom deze kennisbasis en hoe kan studentenonderzoek hieraan bijdragen?

Gilles Erkens geeft een toelichting op het studieveldwerk van de universiteit, waarmee zowel studenten worden opgeleid als een groot deel van de geologie van de Nederlandse rijnmaas-delta is gekarteerd. Deze data is verkocht aan Geologische Dienst van Nederland (bij TNO) en nu toegankelijk in bijvoorbeeld <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>.

Roland King wijst op de uitdaging van polderpeilbeheer rondom Paramaribo, waarbij het lastig is om te gaan met de invloed van getijden zo dicht bij het poldersysteem. Is dit iets wat ook binnen deze kennisbasis kan worden geadresseerd?

Verder worden een aantal ideeën voor kennisvragen aangedragen die mogelijk met studentenstudies kunnen worden beantwoord:

- Karteren, classificeren, analyseren (digitale atlas) waar en wanneer bodem en grondwater gerelateerde problemen bestaan.
- Hoe wordt grondwater door oppervlaktewater beïnvloed in (1) kustgebied (2) poldergebied, (3) krekengebied. Interessant om de drie systemen met elkaar te vergelijken. Dit zou bijvoorbeeld door drie studenten kunnen worden gedaan.
- Wat is het effect op zeespiegelstijging op de grondwaterstand in de verschillende gebieden. En wat is het effect van zeespiegelstijging op verzilting grondwater;
- Per deelgebied relatie neerslag, verdamping en overland flow en grondwater recharge onderzoeken;
- Beschrijven stedelijke integrale waterbalans: neerslag/overland flow/verdamping maar ook drinkwatergebruik, drinkwaterverlies, afvalwater productie;
- Is er een interactie tussen ondiep en diep (grondwaterwinningspakket) grondwater?
- Wie beheert bodem en (grond-)water? Hoe is dat georganiseerd? Kan dat beter?
- Welke gebieden zijn kwetsbaar voor maaiveldafval en krimpschade processen? En hoe kan schade worden voorkomen?
- Goed stedelijk integraal meetnet inrichten. Meer dan grondwater alleen. incl. mv daling, oppervlaktewaterpeilen, waterkwaliteit, verdamping, regen, oppervlaktewaterpeilen.

E Doorlatendheid en eenvoudige putproeven

De doorlatendheid van de ondergrond is de maat voor de doorstroombaarheid van de poreuze ondergrond voor (grond)water. De doorlatendheid wordt bepaald door de samenstelling en de structuur van de ondergrond. Korrelvormige grondsoorten zoals zand en grind hebben een grote porositeit en doorlatendheid voor water. Klei en veen kunnen veel water bevatten en hebben ook een grote porositeit maar een veel kleinere doorlatendheid omdat de poriën veel kleiner zijn en/of het water wordt gebonden. In sommige situaties, afhankelijk van de eigenschappen van de watervoerende laag en het afzettingsmilieu, is er een verschil tussen de horizontale en verticale doorlatendheid. Dit wordt anisotropie genoemd.

Met een peilbuis kan een relatief eenvoudige doorlatendheidsproef worden uitgevoerd. In de peilbuis wordt een volume water toegevoegd of onttrokken, waarna de reactie van de grondwaterstand wordt gemeten. Uit de reactie kan de doorlatendheid worden afgeleid. De proef is eenvoudig en relatief goedkoop. Vanwege de kleine volumeverandering wordt de doorlatendheid slechts bepaald van een klein volume grond rond de peilbuis.

Voor uitvoering wordt een peilbuis geïnstalleerd in een watervoerende laag. De initiële grondwaterstand wordt eerst waargenomen. Daarna wordt de proef uitgevoerd. Ten behoeve van de meting van grondwaterstandverandering tijdens de proef wordt bij voorkeur zelfregistrerende apparatuur toegepast. De meetfrequentie is met koste tussenpozen (seconden tot minuten) afhankelijk van de verwachte doorlatendheid van de laag. Na meting van de nulstand en na plotseling aanbrengen van de waterstandsverandering in de peilbuis wordt de aanpassing van de stand gemonitord. Uit het verloop van de waterstandsverandering in de tijd wordt de doorlatendheid teruggerekend volgens beschikbare formules.

Hvorslev (1951) heeft oplossingen uitgewerkt voor verschillende opstellingen van de peilbuis in relatie tot de locatie van een watervoerende en slechtdoorlatende laag, waarbij ook de anisotropie van de ondergrond in acht wordt genomen. Meestal worden de uitwerkingen volgens methoden F en G aangehouden. Hvorslev F is geldig voor het bepalen van de horizontale doorlatendheid voor een korte peilbuis onder een afdekkende kleilaag en Hvorslev G voor een kort filter in een freatische watervoerende laag.

- Hvorslev F: $k_h = \frac{r_0^2}{H} \cdot \frac{\ln\left(\frac{2 \cdot m \cdot H}{R}\right)}{2} \cdot \frac{\ln\left(\frac{h_0}{h_1}\right)}{t_1 - t_0}$ indien $\frac{mH}{R} > 4$

- Hvorslev G: $k_h = \frac{r_0^2}{H} \cdot \frac{\ln\left(\frac{m \cdot H}{R}\right)}{2} \cdot \frac{\ln\left(\frac{h_0}{h_1}\right)}{t_1 - t_0}$ indien $\frac{mH}{R} > 8$

In deze relaties zijn:

- k_h : de horizontale doorlatendheid (m/d)
- r_0 : straal peilbuis (m)
- H : de verzadigde filterlengte (m)
- m : de transformatie ratio $\sqrt{\frac{k_h}{k_v}}$ (-)
- R : straal boorgat/zandfilter (m)
- h_0 : overhoogte in peilbuis op tijdstip t_0 (m)
- h_1 : overhoogte in peilbuis op tijdstip t_1 (m)

Zie: Hvorslev, M. J. (1951). *Time lag and soil permeability in ground-water observations* (No. 36). Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, US Army.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl