



# Grondwatertoets Reigersbos

**Auteur(s)**  
Henk van den Berg

**Opdrachtgever**  
Maya Soerjoesing

**Contactpersoon**  
Henk van den Berg  
henk.van.den.berg@amsterdam.nl  
Ingenieursbureau

**Kenmerk**  
2023-1000504

| Opsteller         | Goedgekeurd en<br>vrijgegeven | Paraaf | Datum      |
|-------------------|-------------------------------|--------|------------|
| Henk van den Berg | Jeroen de Jong                |        | 31-01-2024 |

# Inhoud

|          |                                          |           |
|----------|------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                         | <b>4</b>  |
| 1.1      | Aanleiding                               | 4         |
| 1.2      | Projectgebied                            | 5         |
| 1.3      | Grondwaterbeleid en achtergrond          | 7         |
| 1.4      | Doel en aanpak                           | 9         |
| 1.5      | Toepasbaarheid grondwatermodel           | 10        |
| 1.6      | Leeswijzer                               | 10        |
| <b>2</b> | <b>Gebiedsbeschrijving</b>               | <b>11</b> |
| 2.1      | Historische informatie                   | 11        |
| 2.2      | Maaiveldhoogte                           | 12        |
| 2.3      | Bodemopbouw                              | 13        |
| 2.4      | Grondwaterstanden                        | 16        |
| 2.5      | Oppervlaktewater                         | 19        |
| 2.6      | Drainage                                 | 20        |
| <b>3</b> | <b>Grondwatermodel</b>                   | <b>21</b> |
| 3.1      | Algemeen                                 | 21        |
| 3.2      | Opzet modellering                        | 21        |
| 3.3      | Opbouw grondwatermodel                   | 22        |
| 3.4      | Gevoeligheid grondwatermodel             | 23        |
| 3.5      | Modelvalidatie                           | 25        |
| <b>4</b> | <b>Resultaten</b>                        | <b>33</b> |
| 4.1      | Huidige ontwatering                      | 33        |
| 4.2      | Ontwatering met klimaateffect 2085WH     | 34        |
| 4.3      | Mogelijkheden voor Rainproof maatregelen | 35        |
| 4.4      | Maatgevende GHG en ontwateringsdiepte    | 36        |
| 4.5      | Geadviseerde maaiveldhoogten             | 38        |
| <b>5</b> | <b>Conclusie en advies</b>               | <b>44</b> |

### **Bijlage(n)**

Bijlage 1 - Boorprofielen en Doorlatendheidsmetingen

Bijlage 2 - Waternetboringen

Bijlage 3 - Isohypsenkaart watervoerendpakket AGV

Bijlage 4 - Rekensheet grondwateraanvulling

Bijlage 5 - Gevoeligheidsanalyse grondwatermodel

Bijlage 6 - Tijdreeksvergelijking grondwatermodel

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Het centrum van Reigersbos is 40 jaar oud. De openbare ruimte, de bebouwing en de ruimtelijke opzet zijn verouderd en voldoen niet (altijd en overal) meer aan de eisen van een hedendaagse wijk. Reigersbos is door de gemeente benoemd tot Ontwikkelbuurt, is onderdeel van Masterplan Zuidoost en een zoeklocatie woningbouw in Koers 2025.

Gemeente Amsterdam vernieuwt daarom het centrum van Reigersbos en de directe omgeving ervan. De gemeente gaat de omgeving rondom het winkelcentrum en metrostation een flinke opknappbeurt geven. Zo wordt het gebied aantrekkelijker en wordt de leefsituatie van de bewoners beter, bijvoorbeeld als het gaat om wonen en werken. Daarnaast worden extra woningen gerealiseerd.

De eerste verbeteringen in de ruimtelijke indeling lopen al. Er is bijvoorbeeld al meer groen aangeplant. De komende jaren gaat de vernieuwing op diverse fronten verder:

- Er worden ongeveer 700 nieuwe woningen gebouwd.
- Het centrumgebied wordt opgeknapt en het krijgt extra sport- en speelplekken, horeca, werkfuncties en eventueel een extra supermarkt;
- Bij de metrohalte komt een nieuw plein en krijgen de bushaltes een betere plek;
- Twee andere pleinen in de wijk worden verbeterd;
- De scheiding tussen autoverkeer en langzaam verkeer blijft gehandhaafd;
- De Reigersbosdreef blijft op dezelfde hoogte als nu;
- In de nieuwbouw bij het winkelcentrum komen parkeervoorzieningen voor toekomstige bewoners en bezoekers;
- Er worden twee extra buurtparkjes aangelegd;
- Het is de planning dat de eerste bouwwerkzaamheden in 2024 beginnen.

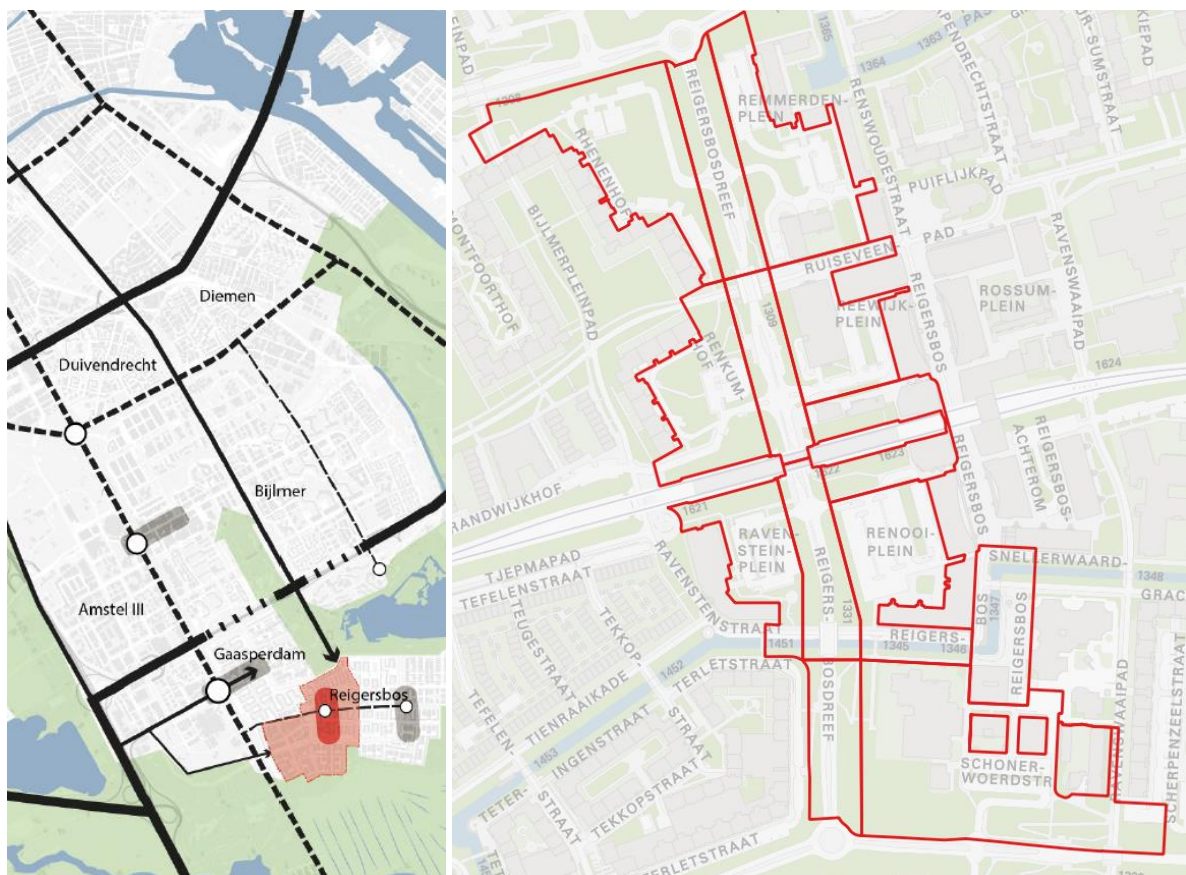
Voor de herontwikkeling is het onder andere noodzakelijk dat de grondwatersituatie en (gewenste) ontwateringsdiepte (diepte van de grondwaterstand beneden het maaiveld opnieuw worden beschouwd en zo goed mogelijk worden meegenomen in het plan. Dat wordt in deze rapportage gedaan.



## 1.2 Projectgebied

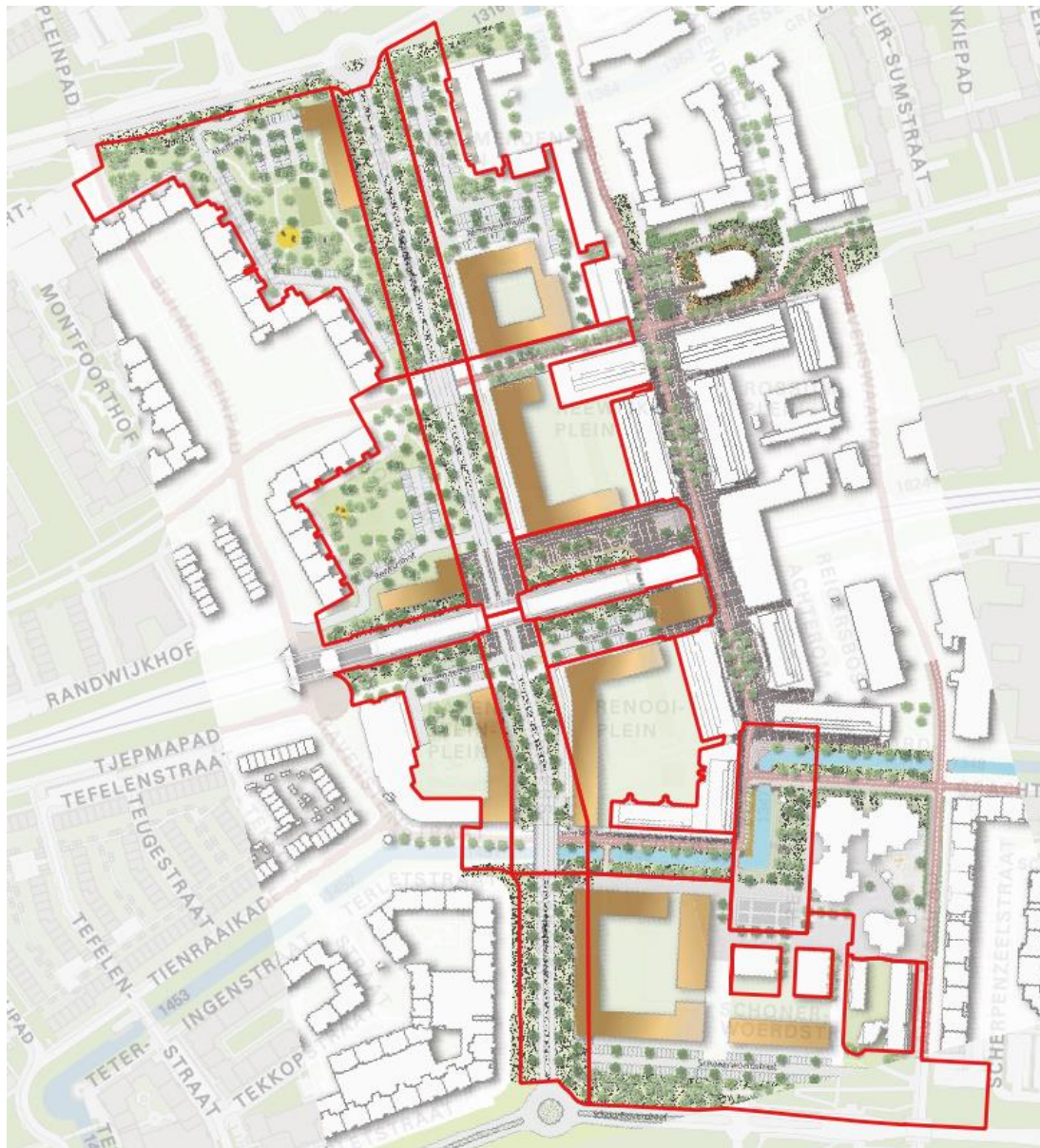
Het projectgebied ligt in het centrum van Reigersbos. Aan de noordzijde wordt het projectgebied begrensd door de Meerkerkdreef en aan de zuidzijde door de Schoonhovendreef. Centraal door het plangebied loopt de Reigersbosdreef van noord naar zuid. Halverwege kruist de metrolijn de Reigersbosdreef en hier is ook het metrostation gelegen.

Binnen het projectgebied zijn er gemengde functies van wonen, werken en winkelen aanwezig. Er is veel groen rondom de Reigersbosdreef aanwezig, met name in de noordzijde van het plangebied. Rondom het metrostation is het plangebied het sterkst verhard. Het project betreft een herinrichting van de bestaande situatie.



Figuur 1-1 Ligging Reigersbos in de stad en (GREX)begrenzing projectgebied (rode contour)

In Figuur 1-2 is een schetsontwerp voor de toekomstige situatie weergegeven. Te zien is dat een groot deel van de bestaande bebouwing wordt gesloopt en vervangen door nieuwe bebouwing. In totaal worden er 9 bouwblokken gerealiseerd verspreid door het plangebied. Tussen de bouwblokken is er veel ruimte voor groen, echter neemt het totale oppervlak aan onverhard oppervlak (groen) iets af. De toename aan verhard oppervlak wordt veroorzaakt door de extra bouwblokken, hier staat tegenover dat een deel van de (parkeer)pleinen verdwijnen. De (hoogte)ligging van de dreven wordt niet aangepast.



Figuur 1-2 Schetsontwerp Reigersbos (Investeringsnota Centrum Reigersbos, 26-01-2022)

In deze rapportage worden de voor grondwater relevante gebiedskenmerken, (model)resultaten en conclusies besproken per deelgebied binnen het totale plangebied. In Figuur 1-3 is de ligging en benaming van deze deelgebieden weergegeven.



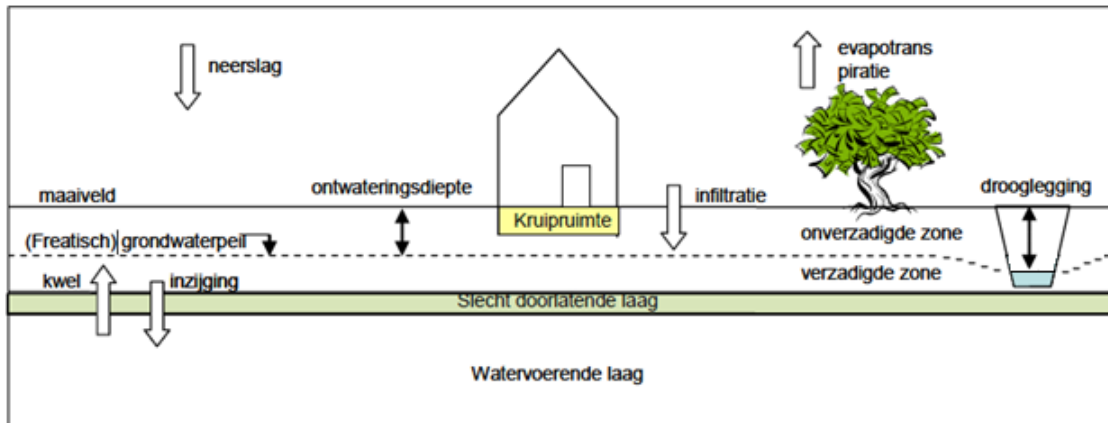


Figuur 1-3 Benaming deelgebieden binnen het projectgebied

### 1.3 Grondwaterbeleid en achtergrond

De gemeente heeft een wettelijke zorgplicht voor het treffen van maatregelen om structureel nadelige gevolgen van de grondwaterstand voor de aan de grond gegeven bestemming zoveel mogelijk te voorkomen of te beperken. Vanuit deze grondwaterzorgplicht volgt dat nieuwe ontwikkelingen in het plangebied, zoals nieuwe bebouwing of een ondergrondse parkeergarage, geen structurele nadelige grondwatereffecten mogen veroorzaken op de openbare ruimte, bestaande constructies, objecten, gebouwen en groen in de omgeving. Binnen Amsterdam voert

Waternet de grondwaterzorgtaak uit in opdracht van de gemeente. Vanuit die rol stimuleert Waternet grondwaterneutraal bouwen.



Figuur 1-4 Hydrologische begrippen in beeld

Om grondwateroverlast te voorkomen hanteert de gemeente een ontwateringsnorm. Deze is opgenomen in het Omgevingsprogramma Riolerings 2022-2027 (OPR) van de gemeente Amsterdam. Deze vereist voor nieuwe gebieden en transformatiegebieden een ontwateringsdiepte van 90 cm onder maaiveld. Dit is gunstig voor alle functies binnen het plangebied (bebouwing, wegen, groen en infiltratiemogelijkheden voor hemelwater). De ontwateringsdiepte treedt op bij de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG).

Echter, voor projecten die zich bij de vaststelling van het OPR in een vergevorderd stadium van uitvoering bevinden, dit is voorbij fase 2 Plaberum (vaststelling projectnota), geldt de 90 cm ontwateringsnorm niet als harde eis. Voor deze projecten geldt bij kruipruimtelooz bouwen de 50 cm ontwateringsnorm uit het Gemeentelijk Rioleringsplan 2016-2021 (GRP), de voorganger van het OPR, als ondergrens. Daarbij is er een ambitie/inspanningsverplichting voor de ontwateringsnorm van 90 cm. Voor project Reigersbos is dit het geval: De investeringsnota Reigersbos (Plaberum fase 3) is vastgesteld op 26-01-2022 en het OPR is pas daarna vastgesteld op 15-02-2022.

Vanuit het GRP 2016-2021 geldt er voor kruipruimtelooz bouwen een ontwatering van 50 cm. Voor bouwen met kruipruimtes geldt 90 cm ontwatering ten opzichte van het vloerpeil. In deze rapportage wordt uitgegaan van kruipruimtelooz bouwen.

Om een robuust en klimaatbestendig ontwerp te creëren dient de ontwatering ook te voldoen voor de toekomstige klimaatscenario's. Vanwege een toename aan neerslag is de verwachting dat de (hoogste) grondwaterstanden in de toekomst toe zullen nemen. Dit betekent dat, om te voldoen aan toekomstige gestegen grondwaterstanden, het effect van klimaatverandering ook dient meegenomen te worden in het planontwerp.

Bij grootschalige herstructurering van een gebied hanteert de gemeente een voorkeursvolgorde voor grondwatermaatregelen bij ruimtelijke ontwikkelingen<sup>1</sup>:

- Integraal ophogen;
- Aanleg van open water;
- Grondverbetering, om een betere ontwatering te realiseren;
- Aanpassing van bouwwijze of gebruik.
- Drainage (minst wenselijk)

De aanleg van open water, verplaatsen van watergangen of het dempen dient in overleg met de waterbeheerder (Waternet, als uitvoerende organisatie van waterschap Amstel, Gooi en Vecht) te gebeuren<sup>2</sup>. De eventuele aanleg van drainage dient in overleg met Waternet te gebeuren als beheerder van de drainage in openbare ruimte onder de grondwaterzorgplicht.

#### *Paraplubestemmingsplan grondwaterneutrale kelders*

In oktober 2021 is het paraplubestemmingsplan Grondwaterneutrale kelders vastgesteld<sup>3</sup>. In de Bijlmer Zuid geldt een verbod op kelders. Er bestaat de mogelijkheid van een buitenplanse afwijkingsbevoegdheid; hierbij geldt dat de kelder nog steeds grondwaterneutraal moet worden aangelegd, en dat het vooral bij kleine kelders (kleiner dan 300 m<sup>2</sup> en diepte tot 4 m onder maaiveld) mogelijk is dat dit in de praktijk niet uitvoerbaar is. Voor Reigersbos geldt dat het verbod op kelderbouw is ingesteld vanwege de dunne deklaag en het risico op opbarsten.

## **1.4 Doel en aanpak**

Het doel van deze notitie is om een algeheel beter inzicht te krijgen in de grondwatersituatie en de (hoogste) grondwaterstanden in het plangebied, zowel voor de huidige als de toekomstige situatie. Hiermee wordt een advies gegeven aan het herontwikkelingsproject voor de toekomstige maaiveldhoogte van het plangebied. Voor de toekomstige situatie wordt gebruik gemaakt van het 2085WH klimaatscenario van het KNMI. Hiervoor wordt een grondwatermodel (in GMS-Modflow) opgesteld van het plangebied. Hierin worden verschillende scenario's, die effect hebben op de grondwaterstand, doorgerekend.

Omdat er een verplichting geldt om 50 cm ontwatering te halen, en er een inspanningsverplichting is om de 90 cm ontwatering te halen, wordt in deze rapportage voor beide ontwateringsnormen advies gegeven voor de benodigde maaiveldhoogten.

<sup>1</sup> Omgevingsplan Rioleringsplan 2022-2027 (OPR, 15-02-2022)

<sup>2</sup> Waterschap Amstel, Gooi en Vecht, Keur 2019 - Besluit Vrijstellingen en nadere regels, en Beleidsregels Keurvergunningen

<sup>3</sup> Paraplubestemmingsplan Grondwaterneutrale kelders, gemeente Amsterdam, mei 2021

## 1.5 Toepasbaarheid grondwatermodel

Het grondwatermodel is specifiek gericht op het simuleren van het freatische grondwatersysteem. Benadrukt wordt dat het om een modelstudie gaat die de werkelijk zo goed als mogelijk nabootst op basis van beschikbare gegevens, en dat (lokale) afwijkingen tussen de modelsimulatie en de werkelijke toekomstige situatie kunnen optreden. Het grondwatermodel is gevalideerd aan grondwaterstandsmetingen binnen en buiten het plangebied. In paragraaf 3.5 wordt hier verder op ingegaan.

Het (gevalideerde) grondwatermodel Reigersbos kan worden ingezet bij het toetsen van stedenbouwkundige plannen of bij het opstellen van watertoetsen bij bestemmingsplannen. Met dit model worden de effecten van de ontwikkelingen op het grondwatersysteem berekend binnen de gebiedsontwikkeling. Hieronder vallen geohydrologische effecten van verandering aan verharding en klimaatverandering, om deze vervolgens te toetsen aan de gemeentelijke beleidsregels. Aan de hand van de resultaten wordt advies gegeven over mitigerende maatregelen en worden eisen, zoals bouwpeilen, worden meegegeven aan ontwikkelaars van kavels. Het model is niet opgezet om (effecten van) ontwikkelingen buiten het plangebied te berekenen.

## 1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de huidige situatie en bodemopbouw beschreven. In hoofdstuk 3 komen de opzet en prestaties van het grondwatermodel aan bod, en in hoofdstuk 4 worden de resultaten van de grondwaterberekeningen getoond, geanalyseerd en toegelicht. De notitie besluit met een advies voor de maaiveldhoogte in de eindsituatie in hoofdstuk 5.

## 2 Gebiedsbeschrijving

### 2.1 Historische informatie

Het plangebied is begin jaren 80 van de 20<sup>e</sup> eeuw opgehoogd (Figuur 2-1). Vroegere watergangen in het gebied zijn allemaal gedempt. Het gebied was gelegen in de voormalige Oostbijlmer polder. Het plangebied is in zijn geheel gelijktijdig ontwikkeld en sindsdien hebben er geen grote herontwikkelingen plaatsgevonden. Dit betekent dat naar alle waarschijnlijkheid de ophooglaag relatief homogeen en zandig van samenstelling is.

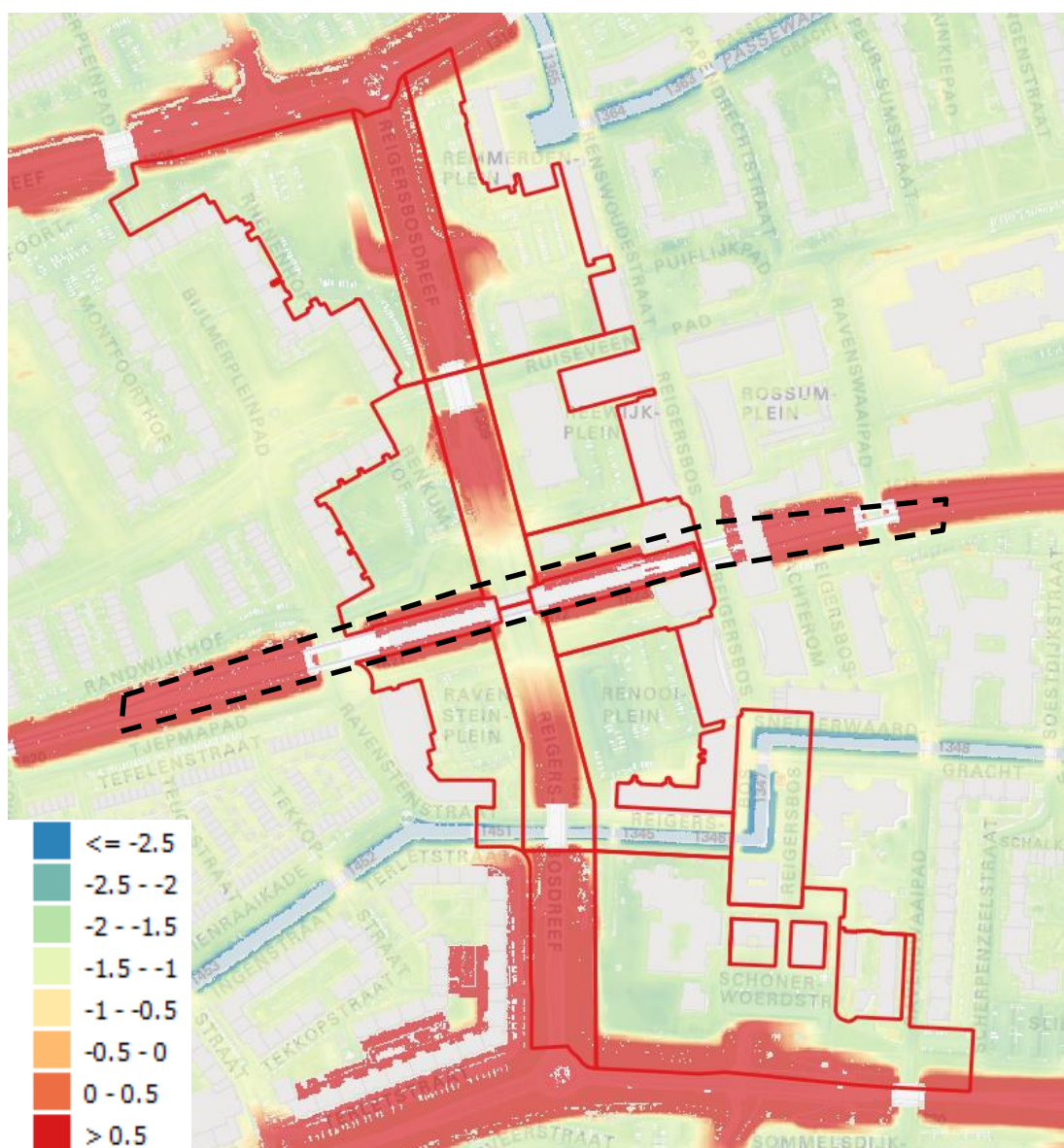


Figuur 2-1 Plangebied in 1981



## 2.2 Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogte in het plangebied ligt circa tussen NAP -1,2 m en -1,6 m. In Figuur 2-2 is een gedeelte van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN3) weergegeven. De Reigersbosdreef heeft een maximale maaiveldhoogte van ca. NAP +2,5 m. De spoordijk voor de metro ligt op ca. NAP +4,0 m.



Figuur 2-2

Actuele maaiveldhoogten in m +NAP. Spoordijk van de metro is aangegeven met zwart



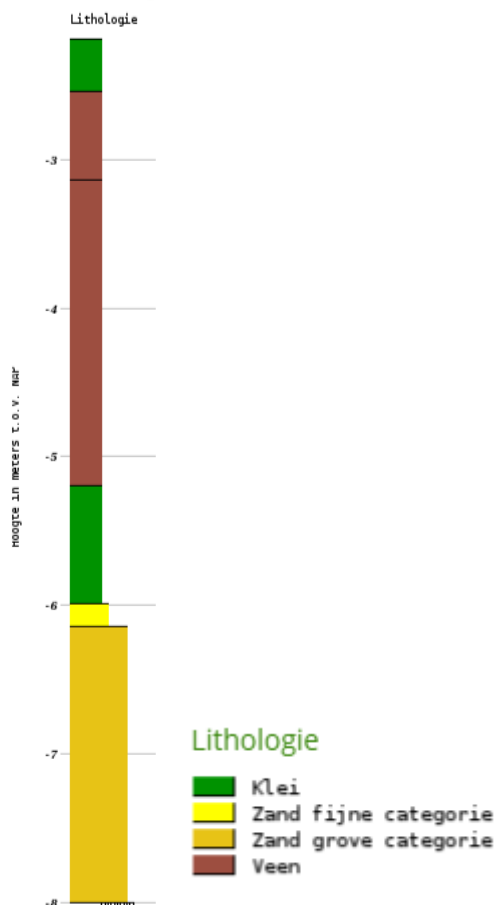
## 2.3 Bodemopbouw

### Ondiepe bodemopbouw

Voor dit project zijn er in mei 2023 drie boringen met peilbuis tot circa NAP -4,0 m geplaatst. De locatie en boorstaten van deze boringen zijn toegevoegd in bijlage 1. De boorstaten geven aan dat het bovenste deel van de bodem bestaat uit fijn zand. Dit is de antropogene ophooglaag, die fungeert als freatisch pakket. Het maaiveld ligt in alle boringen op circa NAP -1,5 m en de onderkant van de freatische laag op NAP -3,5 m. Dit betekent dat er ongeveer 2,0 m ophoogzand aanwezig is

Onder de ophooglaag ligt een slecht doorlatende deklaag. In het Dinoloket (BRO) is er één diepe boring (B25Go400) aanwezig ter hoogte van de kruising tussen de Ravensteinstraat en Ruiseveenpad. Uit de boring blijkt dat de deklaag bestaat uit klei en veen en de onderkant van de deklaag op NAP -6,0 m ligt. Dit betekent dat de deklaag circa 2,5 m dik is.

### Boormonsterprofiel



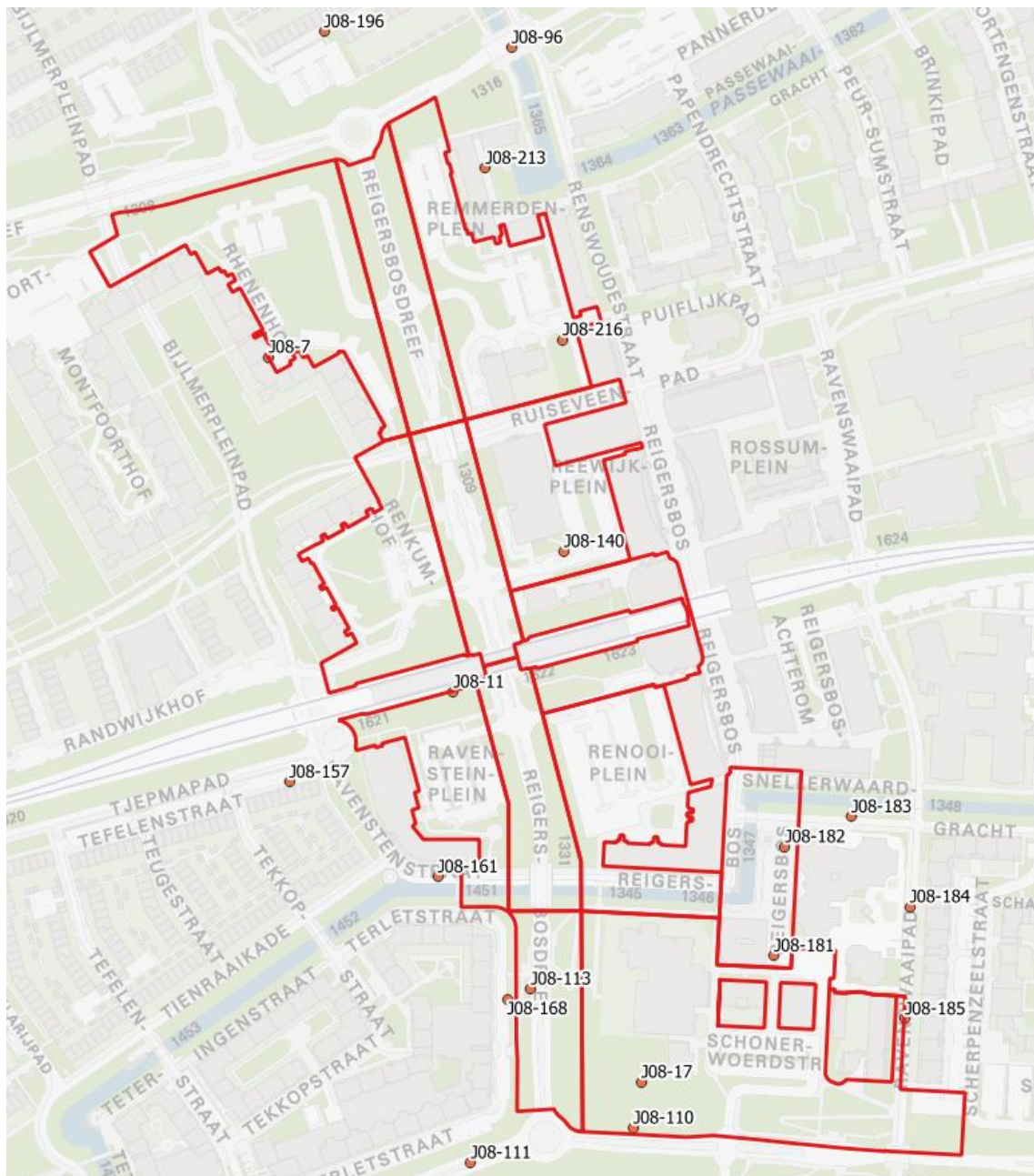
Figuur 2-3

Boorprofiel B25Go400

**Tabel 1 Geohydrologische bodemopbouw**

| Bodemopbouw [m +NAP] |      | Samenstelling | Geohydrologische eenheid               |
|----------------------|------|---------------|----------------------------------------|
| van                  | tot  |               |                                        |
| -1,5 (maaiveld)      | -3,5 | Fijn zand     | Freatisch pakket (Holoceen)            |
| -3,5                 | -6,0 | Veen op klei  | Slechtdoorlatende laag (Holoceen)      |
| -6,0                 | -75  | (grof) zand   | 1ste watervoerend pakket (Pleistoceen) |

Daarnaast zijn de boringen uit het gemeentearchief van Amsterdam geraadpleegd. Er zijn 19 boringen in en rondom het plangebied beschikbaar. Hoewel deze boringen oud zijn (jaren '60) geven deze wel een eenduidig beeld van de deklaagopbouw. In Figuur 2-4 zijn de locaties weergegeven en in bijlage 2 de boorprofielen. De boorprofielen bevestigen het bodemprofiel van boring B25Go400 uit het Dinoloket. Ook geven de boringen aan dat de deklaag grotendeels uit veen bestaat, maar dat de basisveenlaag niet aanwezig is.



Figuur 2-4 Locaties boringen gemeentearchief (zie bijlage 2 voor boorprofielen)

Op basis van bovenstaande informatie wordt de volgende bodemopbouw aangehouden: De bodem bestaat tot een diepte van NAP -3,5 m uit een antropogene (door de mens aangebrachte) zandlaag met een dikte van circa 2 m. Onder de antropogene laag ligt tot circa NAP -6,0 m een slechtdoorlatende laag. Deze laag bestaat uit een veenlaag met enkele kleilagen ertussenin (Holoceen pakket). De basisveenlaag is niet aanwezig. Onder de deklaag is voornamelijk Pleistoceen zand aanwezig.

### Doorlatendheid freatisch pakket

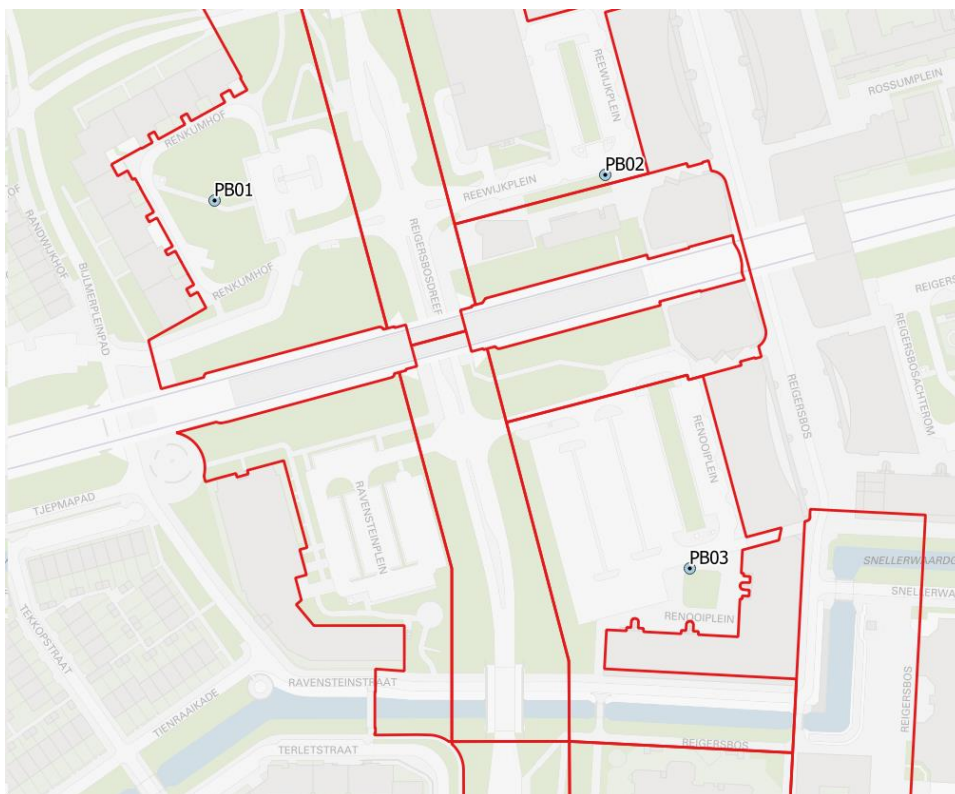
Tijdens het plaatsen van de projectpeilbuizen zijn doorlatendheidsmetingen uitgevoerd met behulp van de Constant Head methode. Zie bijlage 1 voor de resultaten. Hieruit blijkt dat de doorlatendheid tussen de 9,4 en 12,8 m/d ligt.

## 2.4 Grondwaterstanden

### Freatische grondwaterstanden

#### *Projectpeilbuizen*

In juni 2023 zijn er 3 projectpeilbuizen geplaatst. Over de periode juni 2023 tot en met december 2023 is hiervoor de GLG (6,25-percentiel) en de GHG (93,75-percentiel) bepaald. In *Figuur 2-5* is de locatie van deze peilbuizen weergegeven, en in Tabel 2 de afgeleide GHG en GLG. Te zien is dat de grondwaterstand afloopt richting de watergang bij peilbuis 3. Dit komt door de drainerende werking van de watergang.



*Figuur 2-5*      *Locatie projectpeilbuizen*

Tabel 2 Waargenomen GHG en GLG projectpeilbuizen [m +NAP']

| Peilbuis | GHG   | GLG   |
|----------|-------|-------|
| PB01     | -1,99 | -2,45 |
| PB02     | -2,17 | -2,56 |
| PB03     | -2,40 | -2,63 |

#### *Peilbuizen Waternet*

Binnen het meetnetnetwerk van Waternet zijn er meerdere freatische peilbuizen in de omgeving aanwezig. Echter zijn er geen peilbuizen binnen het plangebied aanwezig. Van de meetdata voor de periode vanaf 2010 is de gemiddelde grondwaterstand en de 93,75-percentiel bepaald. Deze percentiel is een benadering van de GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand). De GHG wordt als maatgevende (hoge) grondwaterstand aangehouden om te kunnen toetsen aan de 90 cm ontwateringsdiepte.

In Figuur 2-6 zijn de Waternetpeilbuizen rondom het plangebied weergegeven. Voor elke peilbuis is, voor de periode na 2010, de gemiddelde grondwaterstand en GHG in m +NAP weergegeven, en de ontwatering in m-mv. Te zien is dat de gemiddelde grondwaterstand rond NAP -2,4 m ligt. Rondom de watergang langs de Ravensteinstraat ligt de gemiddelde grondwaterstand lager, dit komt door het drainerende effect van de watergang (polderpeil op NAP -2,7 m). De GHG ligt circa 20 cm boven de gemiddelde grondwaterstand, op NAP -2,2 m. Rondom de watergang ligt de GHG een stuk lager, op NAP -2,6 m. Met uitzondering van het verhang richting de watergang is er niet veel verhang in de freatische grondwaterstand zichtbaar.

De GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand), berekend als de 6,25-percentiel over de periode na 2010, ligt op circa NAP -2,5 m. Dit betekent dat de fluctuatie tussen de GHG en GLG slechts 30 cm is. Dit is beperkt.

In Figuur 2-6 is ook de ontwatering weergegeven. Te zien is dat deze rond de 60-90 cm schommelt. De inschatting is dat de grondwaterstanden direct buiten het plangebied een indicatie geven van de grondwaterstanden binnen het plangebied. In dat geval voldoet de huidige ontwatering op de meeste plekken binnen het plangebied niet aan de 90 cm ontwateringsnorm. Rondom de watergang is de ontwatering 100-120 cm, dit is vanwege de drainerende werking van de watergang.





Figuur 2-6 Freatische peilbuizen Waternet met gemiddelde grondwaterstand en GHG [m + NAP] en ontwatering [m - mv]

### Stijghoogte eerste watervoerend pakket

De isohypsenkaart van het 1<sup>ste</sup> watervoerend pakket (bijlage 3) geeft aan dat de stijghoogte op circa NAP -3,25 m ligt. Hierbij is er een aflopende gradiënt in oostwest richting. Deze gradiënt komt overeen met het peilverschil tussen de Gaasperplas in het oosten (NAP -2,70 m) en het peil in de Ouderkerkerplas in het westen (tussen NAP -3,90 m en NAP -4,30 m). Beide plassen snijden in het watervoerend pakket en beïnvloeden ter plaatse de stijghoogte.

### Kwel / infiltratie

De wijk Reigersbos ligt hoger dan de omliggende gebieden/wijken. Ook blijkt uit bovenstaande grondwateranalyses dat de freatische grondwaterstand hoger is dan de onderliggende stijghoogte. De GLG van de freatische grondwaterstand ligt rond NAP -2,5. Dit is boven de stijghoogte van NAP -3,25 m en betekent dat er sprake is van een continue inzijging van het freatisch pakket naar het eerste watervoerend pakket. Er infiltreert grondwater door de bodem

naar de diepere ondergrond. Hoe groot deze stroom is, hangt af van de weerstand van de deklaag. In hoofdstuk 3 wordt hier een getal aan gegeven.

## 2.5 Oppervlaktewater

In Figuur 2-7 is het oppervlaktewater binnen en rondom het plangebied weergegeven. Dit betreffen allemaal primaire watergangen. In het zuiden van het plangebied, langs de Ravensteinstraat, loopt een watergang door het plangebied.

Het oppervlaktewaterpeil is NAP -2,70 m (peilvak Zuid Bijlmer en Gein- Gaasperpolder). Hierbinnen valt ook de Gaasperplas. De spoorweg vormt een peilvakscheiding, en aan de westzijde van de spoordijk is het oppervlaktewaterpeil NAP -4,75 m (polder de Nieuwe Bullewijk). Ook de Gaasperdamtunnel / Ag vormt een peilvakscheiding. Ten noorden hiervan is het oppervlaktewaterpeil NAP -4,20 m (Bijlmermeer). Dit betekent dat de omliggende waterpeilen aanzienlijk lager liggen dan het waterpeil in het projectgebied.

Het landelijk gebied ten zuiden van Reigersbos heeft een winterpeil van NAP -2,6 m en een zomerpeil van NAP -2,5 m.

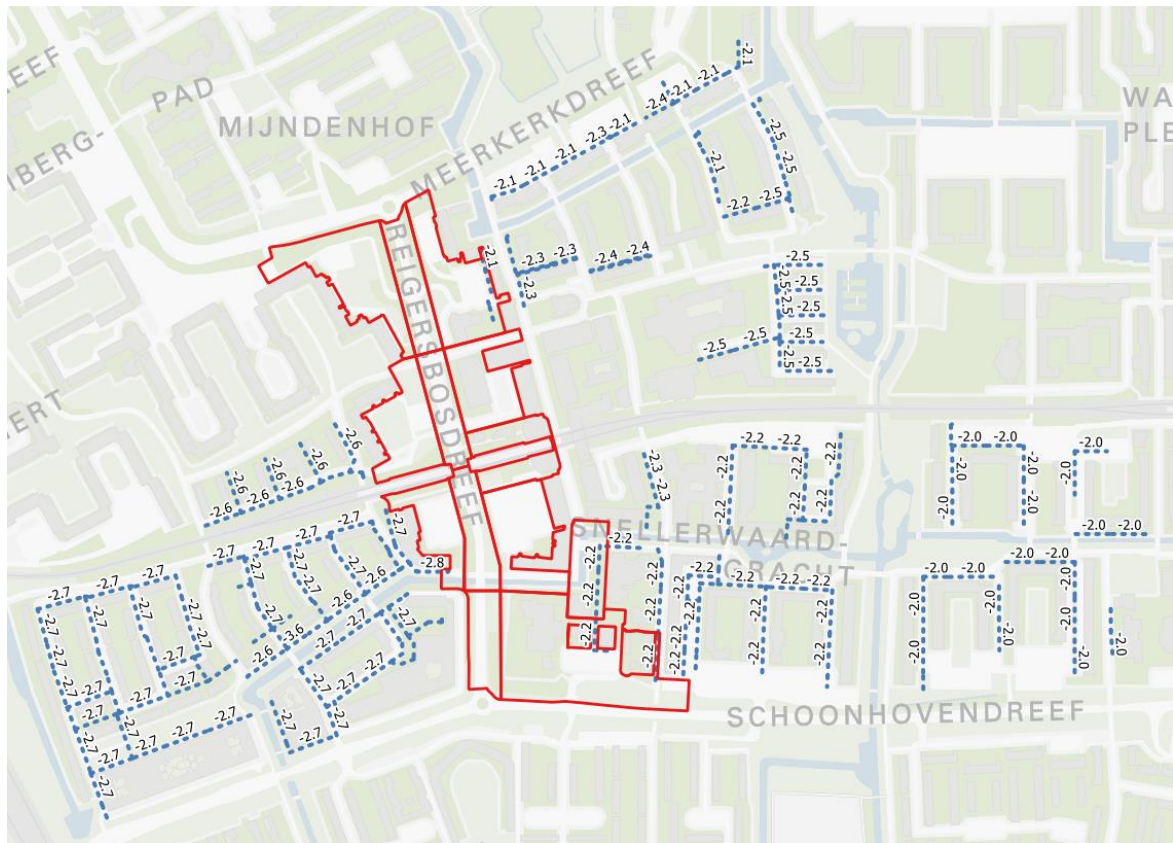


Figuur 2-7

Oppervlaktewater rondom plangebied

## 2.6 Drainage

Rondom het plangebied is op meerdere locaties drainage aanwezig. In Figuur 2-8 is deze drainage weergegeven met de bijbehorende drainagehoogte. Te zien is dat de drainagehoogte afloopt van oost naar west. Aan de oostzijde is de buishoogte NAP -2,0 m en aan de westzijde NAP -2,7 m. Vooral aan de zuidwest- en zuidoostzijde van het plangebied is opvallend veel drainage aanwezig. Aan de westzijde ligt de drainage ook relatief diep. Binnen het plangebied ligt er juist relatief weinig drainage in vergelijking met de omgeving. Dit duidt erop dat er in het verleden waarschijnlijk grondwateroverlast is geweest waarna drainage is aangebracht.



Figuur 2-8 Aanwezige drainage met buishoogte (B.O.B.) [m +NAP] (Riolering Waternet)

## 3 Grondwatermodel

### 3.1 Algemeen

Voor de modellering van de grondwaterstroming is gebruik gemaakt van het grondwaterprogramma GMS-MODFLOW. MODFLOW is een modulair, driedimensionaal, eindige-differentie programma dat is ontwikkeld door de United States Geological Survey. Het pakket kan zowel stationaire als niet-stationaire stroming simuleren in (verzadigd) freatische, semi-ge-spannen en gespannen watervoerende lagen.

Als modelschil is gebruik gemaakt van Groundwater Modelling System (GMS, versie 10.5.8, [www.aquaveo.com](http://www.aquaveo.com)).

### 3.2 Opzet modellering

- Voor de modellering is als eerste stap een stationair model van de huidige situatie gemaakt. Kalibratie van het model is gedaan door middel van aanpassen van de deklaagweerstand, het doorlaatvermogen van de drainage en de doorlatendheid van het freatisch pakket. De berekende grondwaterstanden zijn gevalideerd met de metingen. Het doel is dat het model de gemeten grondwaterstanden zo goed mogelijk benadert.
- Er is een gevoeligheidsanalyse van het model uitgevoerd voor de deklaagweerstand, doorlatendheid van het freatisch pakket, en de gemiddelde stationaire grondwateraanvulling. Zie bijlage 5 voor de resultaten hiervan. Uit deze analyse bleek dat de grondwaterstanden ongeveer even gevoelig zijn voor alle drie de parameters, en een variatie van 10-15 cm hogere of lagere grondwaterstanden geven.
- Daarna is het model tijdsafhankelijk doorgerekend met een periode van 10 jaar. Hiervoor is de periode 2000-2010 gekozen omdat voor deze periode getransformeerde klimaatreeksen van het KNMI beschikbaar zijn. Voor de peilbuizen waar een gemeten GHG en GLG beschikbaar is, is deze vergeleken met de statistisch bepaalde GHG/GLG (respectievelijk P93,75 en P6,25) van de berekende grondwaterstand met het model. Uit de metingen en modelresultaten bleek dat grondwaterstanden op 15-02-2007 overeenkomen met de GHG en dat 11-09-2005 overeenkomt met de GLG. De berekende grondwaterstanden voor deze twee data worden in deze rapportage als maatgevend beschouwd voor de GHG en GLG. De modelresultaten zijn weergegeven in de alinea met de modelvalidatie.
- Bij het omzetten van het stationaire model naar het tijdsafhankelijke model bleek in eerste instantie de berekende fluctuatie van de grondwaterstanden te groot (hoge grondwaterstanden te hoog, en lage grondwaterstanden te laag). Terwijl de gemiddelde



berekende grondwaterstanden wel goed overeenkwamen met de peilbuismetingen. Methodes om de fluctuaties te verlagen zijn het verhogen van de storativity of het verlagen van de grondwateraanvulling. Omdat de storativity al richting de maximale realistische waarde voor zand ligt (0,275) is het verlagen van de grondwateraanvulling een betere optie. Na nadere analyse van het model bleek dat het model de hoeveelheid onverhard oppervlak overschatte, waardoor er ook meer grondwateraanvulling (en verdamping) is. Dit is opgelost door de neerslag/verdamping met een extra factor (0,85) te vermenigvuldigen. Hierdoor wordt de te grote grondwateraanvulling vanwege de te grote hoeveelheid onverhard oppervlak gecorrigeerd en komen de berekende GHG/GLG's in het model goed overeen met de metingen.

### 3.3 Opbouw grondwatermodel

In Tabel 3 zijn per laag de eigenschappen van het grondwatermodel vermeld en in Tabel 4 de overige parameters. De deklaag is opgenomen in de verticale doorlatendheid van modellaag 1. De totale deklaagweerstand is bepaald op circa 4.500 dagen.

**Tabel 3 Lagenmodel grondwatermodel**

| Laagnr | Omschrijving         | Bovenkant<br>[m +NAP] | Doorlatendheid                                             | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------|----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Ophooglaag + deklaag | AHN3<br>±NAP -1,5 m   | K <sub>hor</sub> = 10 m/d<br>K <sub>ver</sub> = 0,001 m/d* | De freatische laag en de deklaag zijn als één modellaag opgenomen. De reden hiervoor is modelstabiliteit en rekensnelheid. Omdat in het freatisch pakket voornamelijk horizontale stroming optreedt is de horizontale K-waarde gelijk aan die van de freatische laag. In de deklaag treedt verticale stroming op, daarom is de verticale k-waarde van de modellaag gelijk aan de verticale k-waarde van de deklaag. Er is gecorrigeerd voor de laagdikte.<br><br>In het model is de verticale deklaagweerstand circa 4.500 dagen. |
| 2      | Watervoerend pakket  | -6                    | 15 m/d                                                     | Pleistocene zand                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

\* Dit is inclusief de verticale anisotropie van 3. De horizontale doorlatendheid van de deklaag komt daarbij op 0,003 m/d. dit komt overeen met de waarden voor veen.



**Tabel 4 Parameters grondwatermodel**

| Onderdeel                                                             | Waarde                                                                                                               | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verhardingen                                                          | Op basis van BGT en verhardingen kaart                                                                               | Huidige situatie, is tevens gehanteerd voor toekomstige situatie                                                                                                                                                                                          |
| Grondwateraanvulling (neerslag) voor gemiddelde situatie (stationair) | 0 mm/d ter plaatse van verharding. 0,7 mm/d ter plaatse van groen                                                    | Bepaald met rekensheet IB, zie bijlage 4.                                                                                                                                                                                                                 |
| Grondwateraanvulling huidige situatie (tijdsafhankelijk)              | (neerslag-verdamping)*0,85*0,85 op dagbasis voor de jaren 2000-2010                                                  | Factor 0,85 corrigeert voor de afstroom van hemelwater of verdampingsreductie voor onverhard oppervlak<br>De tweede factor 0,85 is later toegevoegd om te corrigeren voor de te grote hoeveelheid onverhard oppervlak in het model (zie 3.2)              |
| Grondwateraanvulling klimaatscenario 2085WH (tijdsafhankelijk)        | (neerslag-verdamping) op dagbasis voor de jaren 2000-2010 met de getransponeerde KNMI-reeks voor het 2085WH scenario |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Waterpeil in watergangen                                              | NAP -2,70 m                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Bodemhoogte watergangen                                               | 0,60 m waterdiepte<br>Bodemhoogte op NAP -3,35 m                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Weerstand bodem watergangen                                           | 0,4 d                                                                                                                | GMS berekent de doorlatendheid (conductance) met de oppervlakte van de oppervlaktewaterpolygoon met de formule $cond = K/d$ . Waarbij K is de doorlatendheid van de sliblaag [m/d], en d is de dikte [m].<br>Uitgangspunt is 0,25 m slib met $K=0,1$ m/d. |
| Stijghoogte eerste zandlaag                                           | NAP -3,35 m op westrand. NAP -2,9 m op ooststrand                                                                    | Dient als vaste randvoorwaarde (CHD) voor model                                                                                                                                                                                                           |
| Drainagehoogte                                                        | B.O.B.-drainageleidingen en polderriolering. Zie paragraaf 2.7                                                       | Drainagehoogte vastgesteld op B.O.B.                                                                                                                                                                                                                      |
| Doorlaatvermogen drainage                                             | 0,5 m <sup>2</sup> /d                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Storativity                                                           | Freatisch: 0,275<br>WVP: 0,00025                                                                                     | Standaardwaarden ophoogzand en gespannen pakket.<br>Waarde bepaald tijdens kalibratie tijdsafhankelijke GHG- en GLG-situatie.                                                                                                                             |

### 3.4 Gevoeligheid grondwatermodel

Met een beknopte gevoeligheidsanalyse is onderzocht welke invoerparameters de grootste invloed hebben op de berekende grondwaterstanden. Daarbij is uitgegaan van realistische lage en hoge waarden (bandbreedte) die een parameter kan hebben. Dat levert verschillen op in de berekende gemiddelde grondwaterstanden. Hiervoor zijn de deklaagweerstand, doorlatendheid van het freatisch pakket, de gemiddelde stationaire grondwateraanvulling en de doorlatendheid

van de watergangbodems aangepast. De effecten op de gemiddelde grondwaterstand zijn in kaart gebracht en bijgevoegd in bijlage 5.

**Tabel 5 Parameters gevoeligheidsanalyse (zie bijlage 5 voor de resultaten)**

| Parameter                       | Lage waarde                | Referentiewaarde          | Hoge waarde                 |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| C-deklaag                       | 3000 d ( $K_v=0,0015$ m/d) | 4500 d ( $K_v=0,001$ m/d) | 6000 d ( $K_v=0,00075$ m/d) |
| Doorlatendheid freatisch pakket | 5 m/d                      | 10 m/d                    | 20 m/d                      |
| Grondwateraanvulling            | 0,55 mm/d                  | 0,70 mm/d                 | 0,85 mm/d                   |
| Doorlatendheid watergangen      | 0,2 /d                     | 0,4 /d                    | 1 d                         |

\* De waarde varieert ruimtelijk in het model. Voor de gevoeligheidsanalyse is elke waarde vermenigvuldigd met een factor 0,5 of 2.

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse laten zien dat de gevoeligheid van het model ongeveer gelijk is voor alle drie de parameters. Er wordt een verhoging of verlaging van maximaal 15 cm in het model berekend. De gevoeligheid ter plaatse van het modelgebied is een stuk lager. Dit is vanwege de watergang die door het plangebied loopt. Het oppervlak waterpeil houdt de omliggende grondwaterstand constant. Aan de noord- en zuidzijde van het plangebied is de modelgevoeligheid groter, maar nog steeds kleiner dan 10 cm.

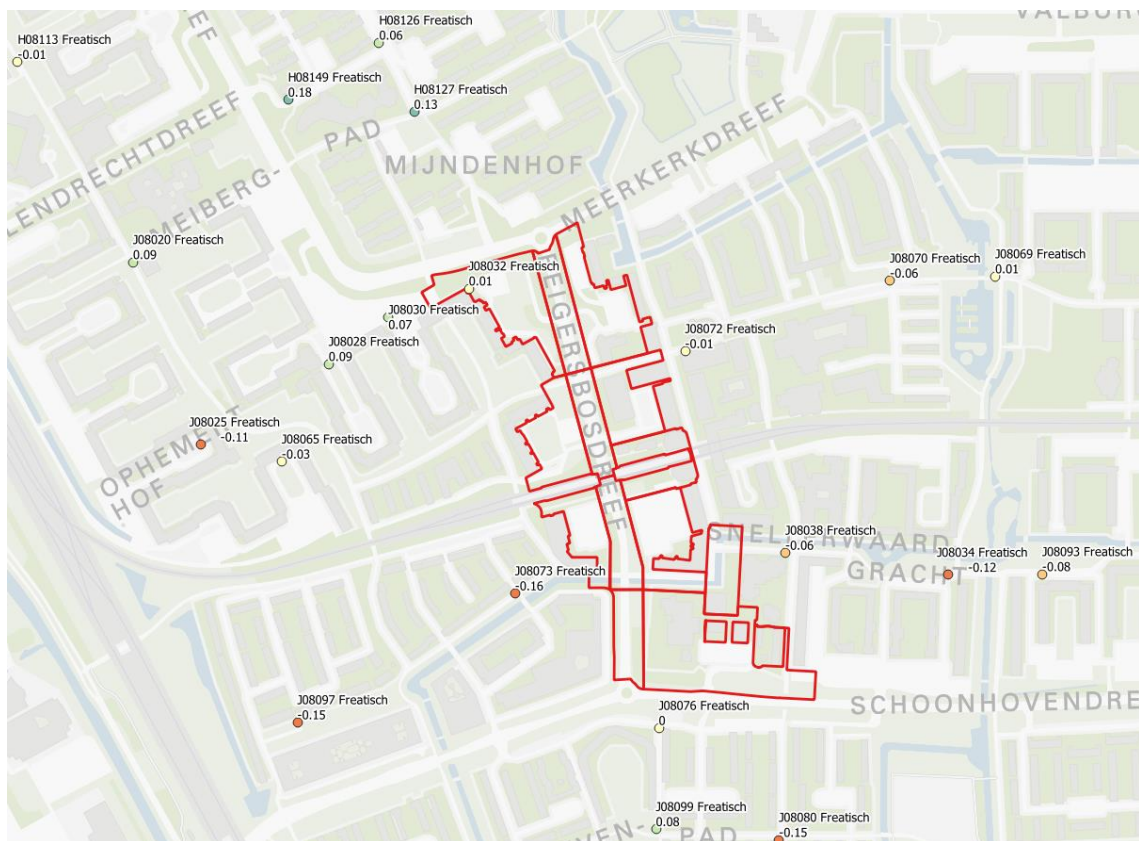
Aanvullend is er een gevoeligheidsberekening gedaan van de bodemdoorlatendheid van het oppervlaktewater. Hieruit komt dat de gevoeligheid van het oppervlaktewater beperkt is. Wanneer al het oppervlaktewater uit het model wordt verwijderd is er stijging van de grondwaterstand tot 20 cm. Dit is een beperkte stijging en wordt beperkt door de aanwezige drainage. Pas wanneer al het oppervlaktewater en alle drainage uit het model verwijderd wordt neemt de berekende grondwaterstand sterk toe (tot 50 cm). Daarnaast heeft oppervlaktewater de grootste invloed op lage grondwaterstanden (infiltratie) en hoge grondwaterstanden (drainage). De invloed op de gemiddelde grondwaterstand is beperkter. Drainage beïnvloedt voornamelijk de hoogste grondwaterstanden.

De huidige C-waarde (4.500 dagen) geeft de beste modelresultaten van de berekende gemiddelde grondwaterstand. Er zijn geen informatiebronnen die de c-waarde beter kunnen bepalen dan met de voorliggende modelkalibratie is gebeurd. Wel is het mogelijk dat de c-waarde in werkelijkheid groter of kleiner is, waarmee de inzigging kleiner of groter zou zijn dan nu berekend. Dit zou ook inhouden dat de horizontale (freatische) grondwaterstroming groter of kleiner zou zijn, zodat bijvoorbeeld aanwezige drainage een groter of juist een kleiner effect zouden hebben. Echter elk model bevat een zekere onzekerheidsmarge. Het gekalibreerde model is een combinatie van realistische modelparameters die de metingen goed benaderen.

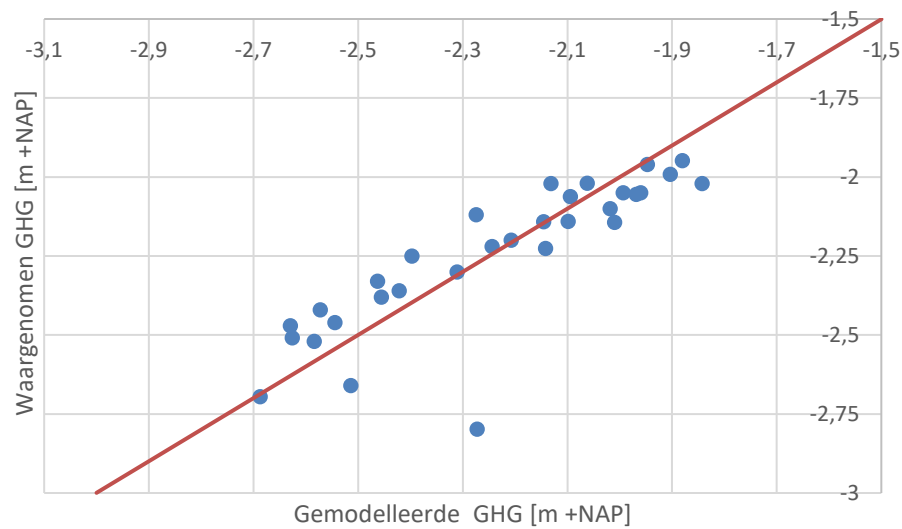
### 3.5 Modelvalidatie

#### GHG-situatie

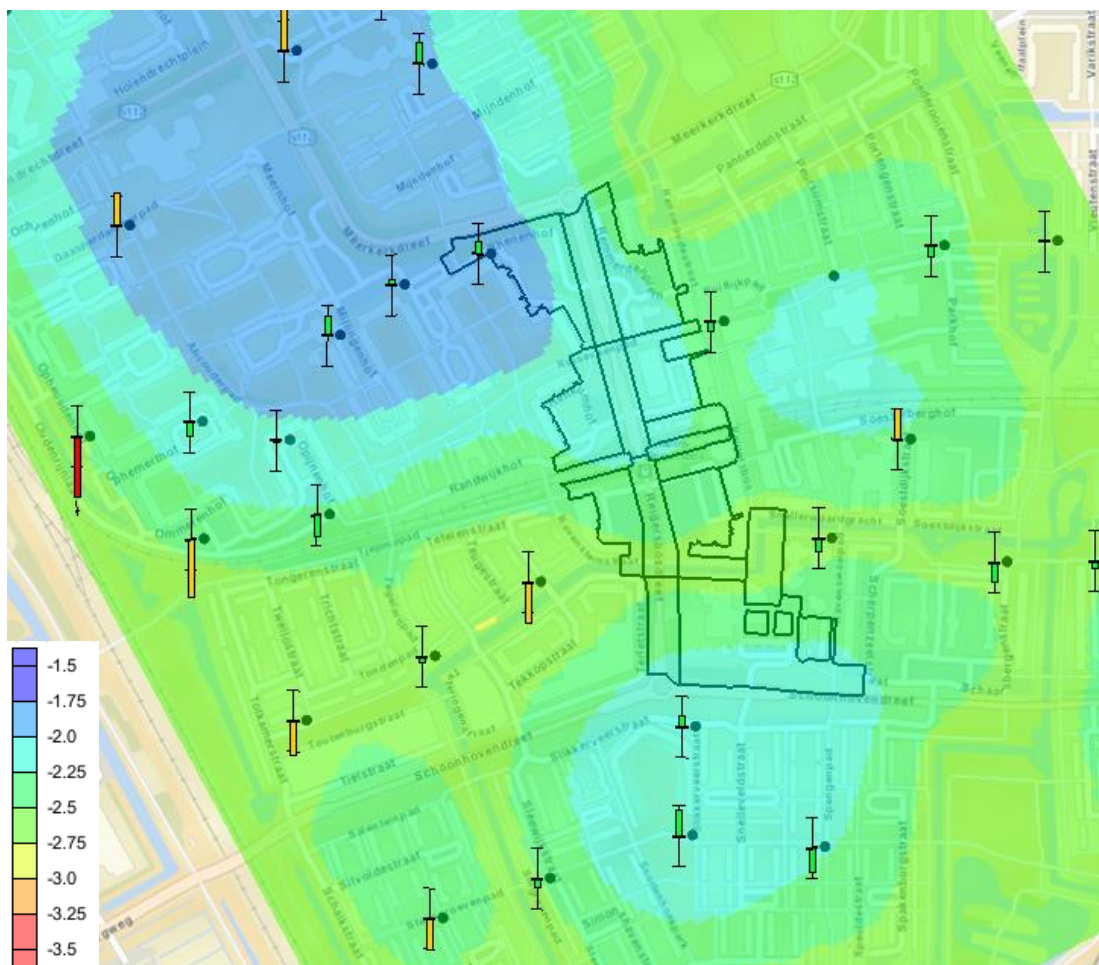
Voor de validatie van de GHG-situatie is de gemeten GHG (berekend als de 93,75-percentiel) vergeleken met de 93,75-percentiel van de berekende grondwaterstand op die locatie in het model. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 3-1. In Figuur 3-2 is voor de peilbuizen rondom het plangebied de waargenomen en gemodelleerde GHG met elkaar vergeleken. Te zien is dat deze goed met elkaar overeenkomen. De peilbuizen rondom de watergang in het plangebied geven een grotere afwijking dan de overige peilbuizen. De gemodelleerde GHG is hier te laag, en de modelresultaten geven aan de berekende grondwaterstand rond op oppervlaktewaterpeil (NAP -2,7 m) ligt. Dit komt omdat deze peilbuizen zo dicht op de watergang staan, dat deze modelmatig binnen de watergang vallen, terwijl hier in werkelijkheid een gradiënt in de grondwaterstand zit. Verder van de watergang af liggen de berekende grondwaterstanden hoger en komen deze beter overeen met de waarnemingen.



Figuur 3-1 Modelafwijking GHG [m]



Figuur 3-2 Gemodelleerde en waargenomen GHG voor peilbuizen rondom het plangebied



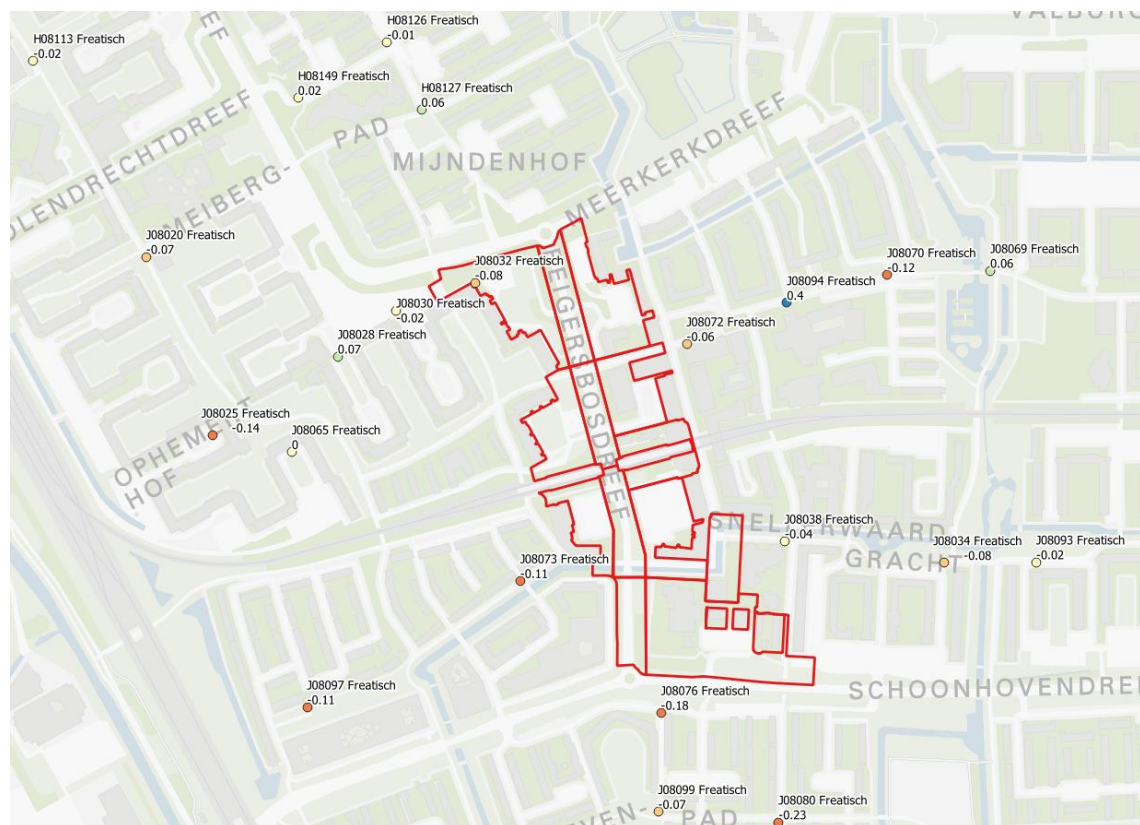
Figuur 3-3 Berekende grondwaterstand voor 15-02-2007 [m +NAP] en afwijking met waargenomen GHG op peilbuislocaties. De gemodelleerde grondwaterstand op deze datum wordt als maatgevend beschouwd voor de GHG



In Figuur 3-3 is de berekende grondwaterstand voor de datum 15-02-2007 weergegeven. Op deze datum komt de berekende grondwaterstand goed overeen met de GHGs die bepaald zijn met de peilbuismetingen. De berekende grondwaterstand voor deze dag wordt in deze rapportage aangehouden als maatgevende GHG. Zo zal de toekomstige verandering in de GHG bepaald worden door te kijken wat er met de berekende grondwaterstand op deze dag gebeurt.

## GG

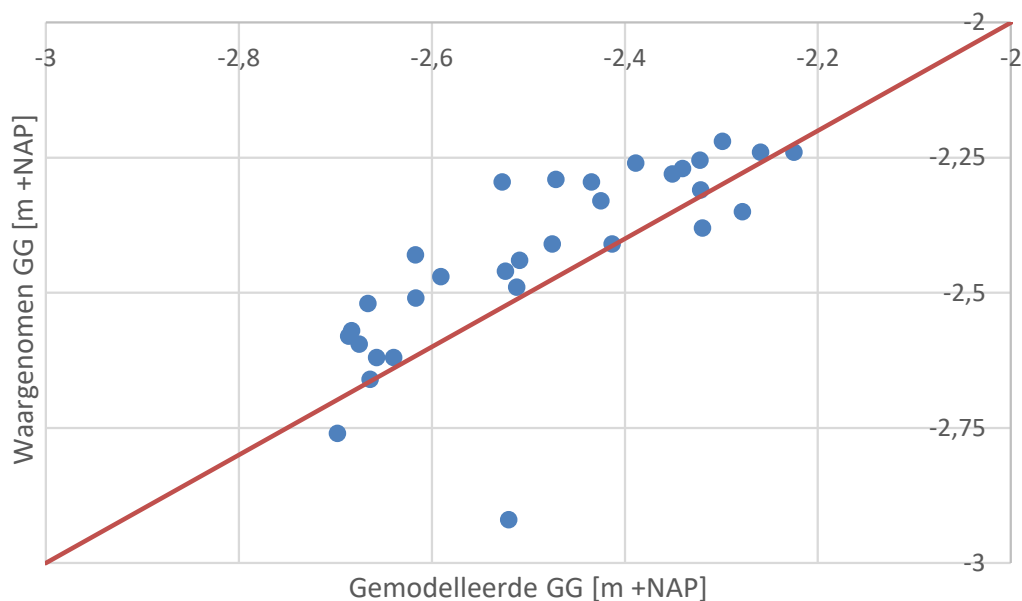
Deze vergelijking is ook gemaakt voor de GG (gemiddelde grondwaterstand). Te zien is dat de GG licht te laag wordt gerekend, de mediane afwijking is 0,05 m te laag. Dit zijn echter nog steeds zeer goede modelresultaten. Ter hoogte van de watergang is de modelafwijking is groter, dit heeft dezelfde reden als de GHG-afwijking voor deze locaties.



Figuur 3-4

Modelafwijking GG [m]

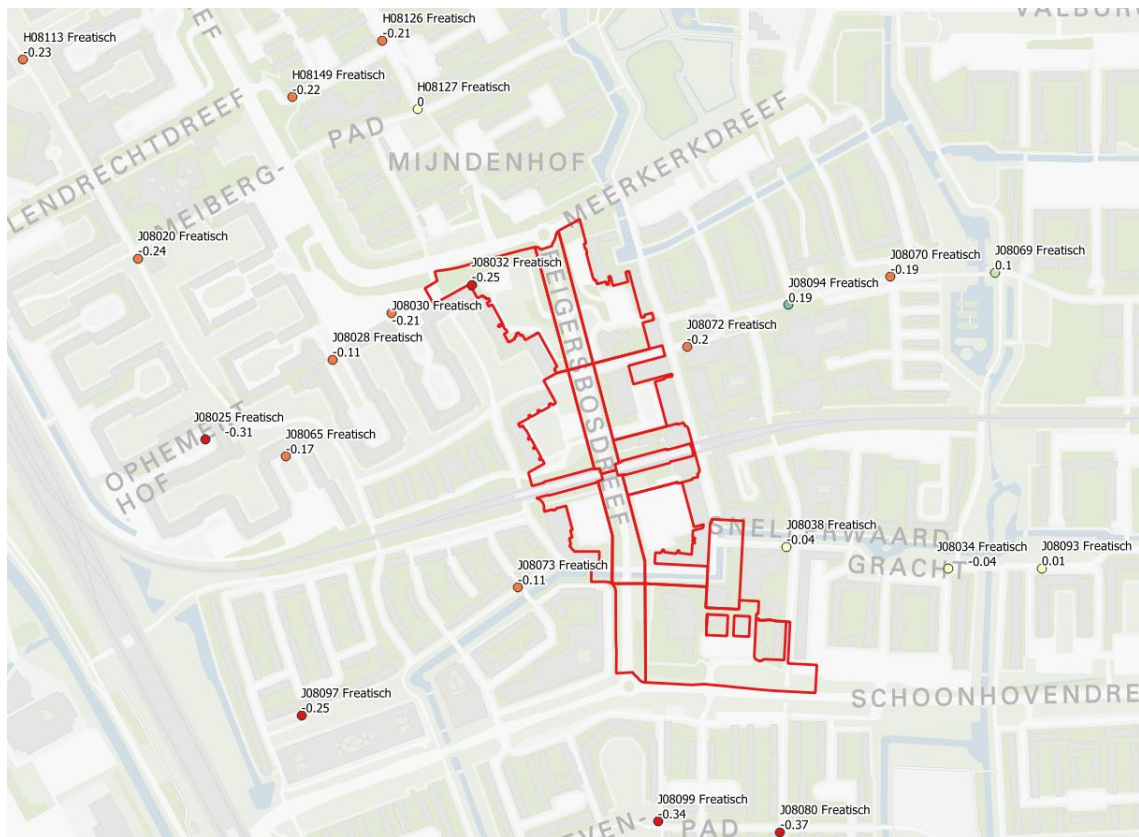




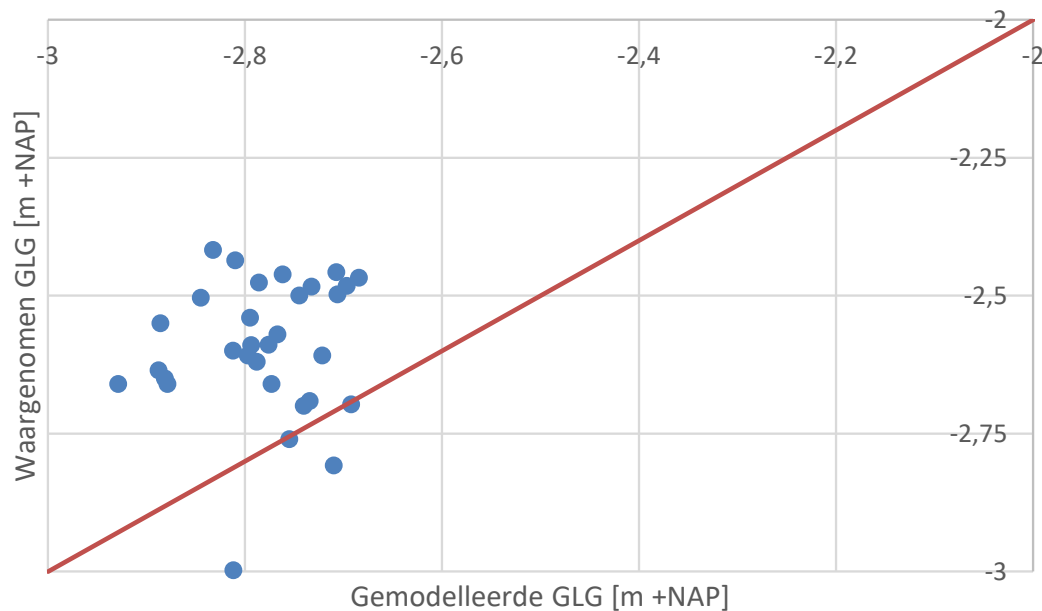
Figuur 3-5 *Gemodelleerde en waargenomen GG voor peilbuizen rondom het plangebied*

### GLG

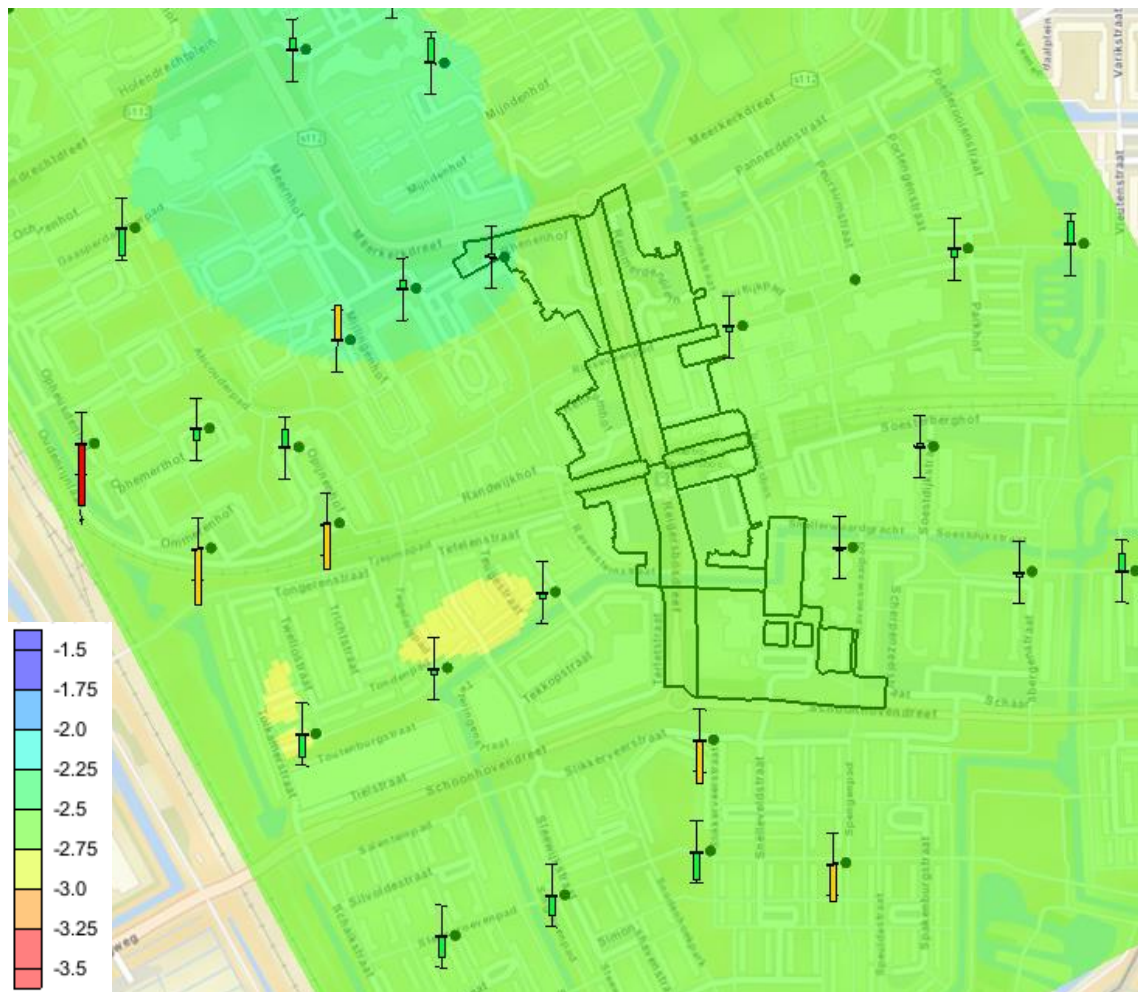
In Figuur 3-6 en Figuur 3-7 zijn de modelafwijkingen voor de GLG te zien. Te zien is dat voor een groot aantal peilbuizen de berekende GLG 20 cm te laag is. Het is niet gelukt om deze afwijking tijdens de kalibratie te verkleinen, zonder de afwijking in de GG en GHG toe te laten nemen. Omdat de afwijking nog enigszins beperkt is en de nadruk van dit onderzoek ligt op het bepalen van de GHG en ontwateringsdieptes, en er geen houten paalfunderingen in de omgeving zijn, is ervoor gekozen de modelafwijking in de GLG te accepteren. De modelresultaten voor droogte zijn dus indicatief en zijn minder geschikt voor nauwkeurige droogte-analyses; daarvoor dienen ook de metingen beschouwd te worden.



Figuur 3-6 Modelafwijking GLG [m]



Figuur 3-7 Gemodelleerde en waargenomen GLG voor peilbuizen rondom het plangebied

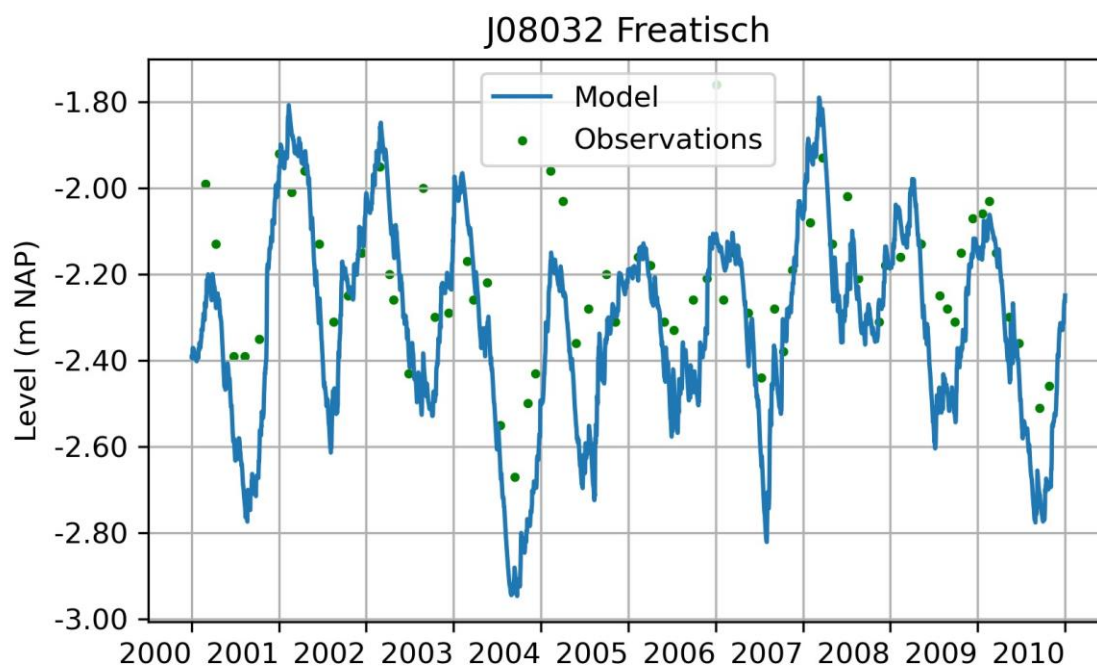


**Figuur 3-8** Berekende grondwaterstand voor 11-09-2005 [m +NAP] en afwijking met waargenomen GLG op peilbuislocaties. De gemodelleerde grondwaterstand op deze datum wordt als maatgevend beschouwd voor de GLG

In *Figuur 3-8* is de berekende grondwaterstand voor de datum 11-09-2005 weergegeven. Op deze datum komt de berekende grondwaterstand goed overeen met de GLGs die bepaald zijn met de peilbuismetingen. De berekende grondwaterstand voor deze dag wordt in deze rapportage aangehouden als maatgevende GLG. Zo zal de toekomstige verandering in de GLG bepaald worden door te kijken wat er met de berekende grondwaterstand op deze dag gebeurt.

### Tijdreeksen

Voor 30 peilbuizen rondom het plangebied is een tijdreeksplot voor de gemeten en gemodelleerde grondwaterstand gemaakt. Deze zijn bijgevoegd in bijlage 6. In *Figuur 3-9* is de tijdreeksplot van peilbuis Jo8032 weergegeven. Deze peilbuis ligt in het noorden net buiten het plangebied en is één van de peilbuizen die het dichtst bij het plangebied ligt, en niet direct langs een watergang ligt. De tijdreeksplot laat goed zien dat de GHG en GG goed berekend worden, maar dat in droge perioden de grondwaterstand in het model 10-20 cm te ver uitzaakt.



Figuur 3-9 Tijdsreeksplot peilbuis J08032

#### Aanvullende modelvalidatie a.d.h.v. projectpeilbuizen

De modelberekening zijn uitgevoerd in de zomer van 2023. Toen waren er nog niet voldoende grondwatermetingen van de projectpeilbuizen beschikbaar om de modelresultaten aan te valideren. Het uitgangspunt was om naderhand de modelresultaten te vergelijken met de gemeten grondwaterstanden. Dit is in januari 2024 uitgevoerd met de metingen van juni 2023 tot en met december 2023. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 6 (zie paragraaf 2.4 voor peilbuislocaties). Te zien is dat de GHG ongeveer 10 cm te laag wordt berekend. Dit kan deels komen door het zeer natte najaar van 2023, waarbij de GHG uit de peilbuizen hoger uitvalt dan de langjarige GHG. Desondanks komen de gemeten en gemodelleerde GHG goed overeen, en is het planontwerp robuust genoeg om deze 10 cm marge op te vangen. De GLG, gemeten over de zomer van 2023, wordt erg goed door het model berekend. Daarnaast wordt ook de ruimtelijke gradiënt (de grondwaterstand neemt af richting de watergang in het zuiden) goed berekend door het model. De conclusie is daarom dat het model geschikt is voor het doel van dit onderzoek.

Tabel 6 Vergelijking projectpeilbuizen met modelresultaten [m +NAP]

| Peilbuis | GHGobs | GLGobs | GHGmodel | GLGmodel | dGHG  | dGLG  |
|----------|--------|--------|----------|----------|-------|-------|
| PB01     | -1,99  | -2,45  | -2,13    | -2,47    | -0,14 | -0,02 |
| PB02     | -2,17  | -2,56  | -2,25    | -2,56    | -0,08 | 0,00  |
| PB03     | -2,40  | -2,63  | -2,50    | -2,64    | -0,10 | -0,01 |

#### Conclusie modelvalidatie

De waargenomen GHG, GG en GLG is voor 31 peilbuislocaties vergeleken met de modelresultaten. De GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand, 93,75-percentiel) heeft een mediaan modelafwijking van -0,007 m. De GG (gemiddelde grondwaterstand) heeft een mediane

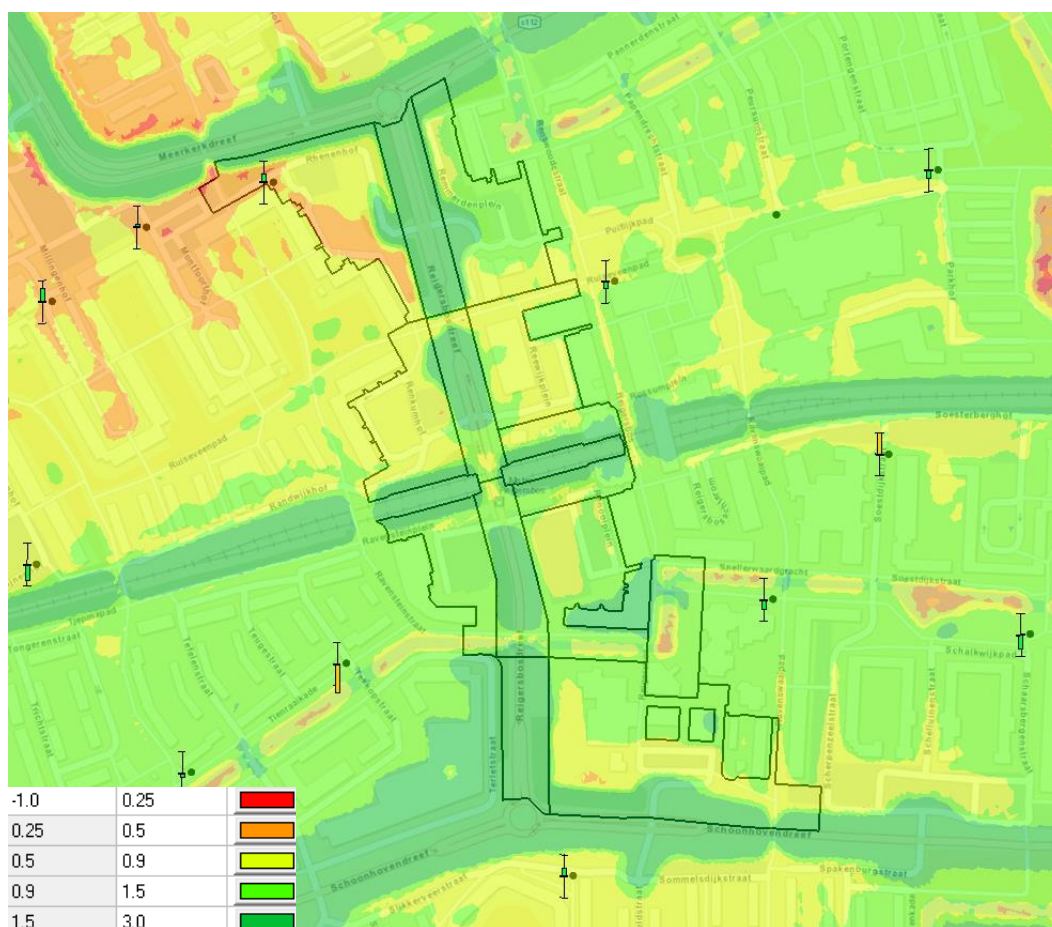
modelafwijking van -0,06 m. Dit zijn erg goede resultaten. De GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand, 6,25-percentiel) heeft een mediane afwijking van -0,21 m. Echter wordt de GLG binnen het plangebied wel goed berekend. Omdat de focus van dit onderzoek op de GHG en daaruit volgende ontwateringsdiepten ligt, is het huidige model geschikt voor het doel van dit onderzoek.



## 4 Resultaten

### 4.1 Huidige ontwatering

In Figuur 4-1 is de berekende ontwatering weergegeven. Daarnaast zijn ook de peilbuizen met peilbuisafwijkingen t.o.v. de GHG opgenomen, te zien is dat overal de berekende grondwaterstand overeenkomt met de berekende GHG. Zolang de peilbuizen binnen het plangebied nog niet zijn meegenomen, is daarom het uitgangspunt dat ook binnen het plangebied de berekende grondwaterstand overeenkomt met de GHG. Groene delen hebben een ontwatering groter dan 90 cm en voldoen daarmee in de huidige situatie aan de ontwateringsnorm van 90 cm. Dit is met name het geval voor de verhoogde dreven en rondom de watergangen. Gele delen hebben een ontwatering tussen 50-90 cm en voldoen daarmee wel aan de ontwateringsnorm uit het GRP2016-2021, maar niet aan de ontwateringsnorm uit het OPR2022-2027. Enkele delen in het plangebied (oranje en rood) hebben een ontwatering kleiner dan 50 cm. Dit is met name het geval in het noordwestdeel van het plangebied. Dit komt de door grote hoeveelheid onverhard oppervlak (en dus veel infiltratie van hemelwater dat de grondwaterstand verhoogt).



Figuur 4-1

Huidige ontwateringsdiepte met peilbuisafwijkingen voor de GHG [m-mv]

## 4.2 Ontwatering met klimaateffect 2085WH

In *Figuur 4-2* is de ontwatering weergegeven voor het 2085WH klimaatscenario. Uitgangspunt is dat de hoeveelheid verharding binnen het plangebied bij benadering gelijk blijft. Het doel van deze berekening is om inzicht te krijgen in de autonome ontwikkeling in de (hoge) grondwaterstanden als gevolg van klimaatverandering. Binnen het plangebied neemt de GHG met ongeveer 10 cm toe. Wat ertoe leidt dat de ontwatering met 10 cm afneemt. Rond de watergang blijft de GHG (en daarmee ook de ontwatering) gelijk.



*Figuur 4-2* Ontwateringsdiepte met klimaateffect voor 2085 [m-mv]

Op meerdere locaties binnen het plangebied is de toekomstige ontwatering minder dan 90 cm (zie hiervoor de gele, oranje en rode delen in *Figuur 4-2*), en op een aantal locaties zelfs onder de 50 cm. Echter zijn er drie locaties binnen het plangebied waar de ontwatering beneden de 50 cm komt (oranje en rode delen (*Figuur 4-2*). Hier worden maatregelen (maaiveldophoging) geadviseerd om toekomstige grondwateroverlast (en bomensterfte) te voorkomen: zie paragraaf 4.5.

Delen met een ontwatering kleiner dan 50 cm:

- Rondom de Rhenenhof in het noordwesten van het plangebied. Hier is in de huidige situatie veel onverhard oppervlak. Door de klimaatopslag neemt de infiltratie van neerslag hier extra toe, en stijgt de grondwaterstand.
- Rondom de Renkumhof. In de huidige situatie is de ontwatering hier meer dan 50 cm, door klimaatopslag neemt deze af tot onder de 50 cm. Ook hier is in de huidige situatie veel onverhard oppervlak. Door de klimaatopslag neemt de infiltratie van neerslag hier extra toe, en stijgt de grondwaterstand.
- In de ZW-hoek van het plangebied, bij de rotonde met de Schoonhovendreef. Ook hier is veel onverhard oppervlak aanwezig het maaiveld ligt hier ook in een lokale laagte.

Daarnaast zijn er twee locaties waar de ontwatering bijna geheel tussen de 50 en 90 cm ligt:

- Het Reewijkplein. Hier is al redelijk veel verhard oppervlak aanwezig, waardoor de huidige grondwateraanvulling beperkt is. De lage ontwatering komt omdat delen van het Reewijkplein lager liggen dan de omgeving. Het Reewijkplein ligt op circa NAP -1,45 m en het omliggende gebied op NAP -1,25 m. Omdat het Reewijkplein een verhard gebied is met veel bebouwing is het Reewijkplein het meest risicovol voor (grond)wateroverlast binnen het plangebied.
- Het Renooiplein. De lage ontwatering komt hier door de lage ligging tussen de verhoogde dreef en de metrobaan, in combinatie met een relatief laag maaiveld. Ter vergelijking, het maaiveld van het Ravensteinplein ligt circa 20-30 hoger dan het Renooiplein. Hierdoor heeft het Ravensteinplein een veel betere ontwatering dan het Renooiplein.

### 4.3 Mogelijkheden voor Rainproof maatregelen

Met de herinrichting wordt het plangebied ook zoveel mogelijk Rainproof ingericht. Dit houdt onder andere in dat hemelwater vanaf de openbare verharding zoveel mogelijk in de ondergrond infiltreert. Extra infiltratie van hemelwater kan leiden tot een stijging van de grondwaterstand.

Echter dient het planontwerp ook te voldoen aan de ontwateringsnorm van 90 cm.

Rainproofmaatregelen kunnen dus tegenstrijdig zijn aan het behalen van de ontwateringsnorm.

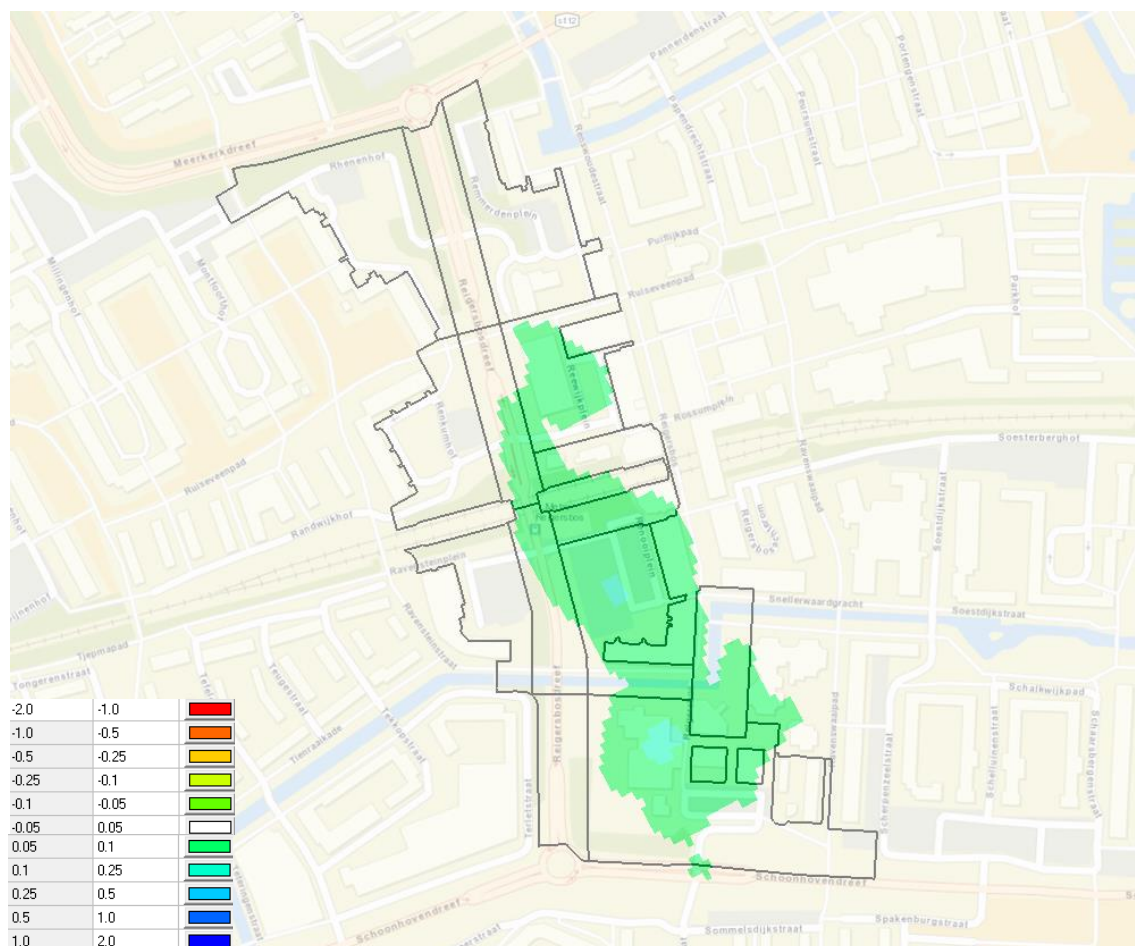
Daarom is het belangrijk om inzicht te krijgen hoe ver de grondwaterstand stijgt als gevolg van de extra infiltratie door Rainproof maatregelen. Om deze reden is er een aanvullende berekening uitgevoerd met de volgende uitgangspunten:

- Neerslag/verdamping reeks van het klimaatscenario 2085WH;
- Geen infiltratie van hemelwater ter plaatse van nieuwe bebouwing (dit wordt namelijk op de kavels/daken geborgen en daarna afgevoerd op het HWA);
- 100% infiltratie van neerslag buiten bebouwing (verhard + onverhard). Dit betekent dat al het hemelwater vanaf de verharding, dreven en wegen infiltreert.

In Figuur 4-3 is het effect op de GHG weergegeven wanneer al het hemelwater vanaf het openbare terrein infiltreert. Te zien is dat de GHG enkel in de zuidelijke helft van het plangebied met meer dan 5 cm stijgt. In het noordelijke deel is de stijging kleiner dan 5 cm. Dit is omdat er in het noordelijke deel van het plangebied in de huidige situatie al veel onverhard oppervlak is. Hier



neemt de infiltratie dus niet veel toe. Rondom het Reewijkplein, het Renooiplein en het zuidelijke deel van het plangebied stijgt de GHG met 5-10 cm als gevolg van de extra infiltratie. Dit is omdat hier in de huidige situatie veel wegverharding is (parkeerpleinen), hier neemt de toekomstige infiltratie dus toe.

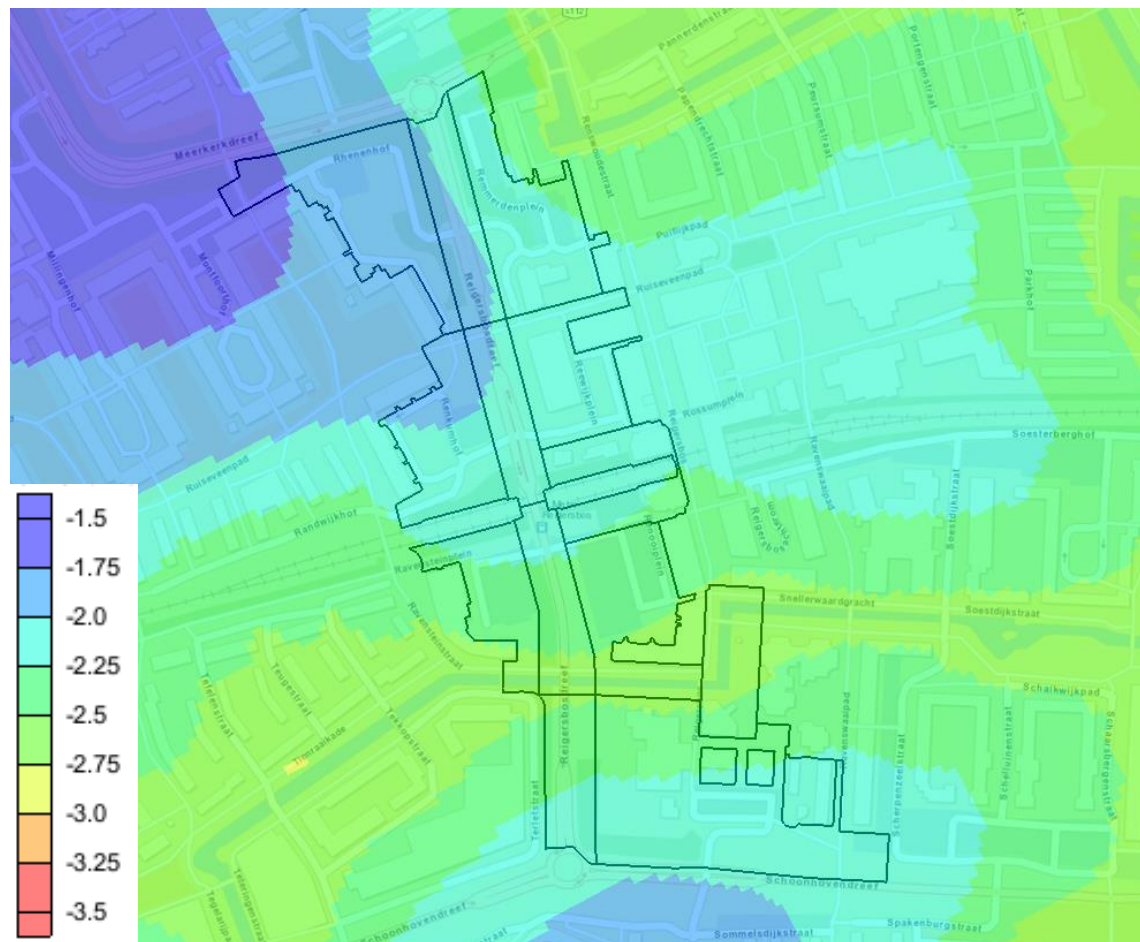


*Figuur 4-3*

*Effect op de GHG bij toepassing 100% infiltratie hemelwater vanaf openbaar gebied [m]*

#### 4.4 Maatgevende GHG en ontwateringsdiepte

In dit onderzoek wordt, voor het vaststellen van de toekomstige aanleghoogtes, de GHG aangehouden waarbij ook de klimaatopslag voor het 2085WH-scenario en de Rainproof-maatregelen zijn opgenomen. Deze GHG is ongeveer 15 cm hoger dan de huidige GHG. Door deze hogere GHG aan te houden wordt er een robuust en klimaatbestendig planontwerp gerealiseerd. In *Figuur 4-4* is de maatgevende GHG weergegeven in m+NAP. Te zien is dat de GHG het laagst ligt rondom de watergangen (NAP -2,55 m, dit is iets boven het oppervlaktewaterpeil) en toeneemt richting het zuiden en noordwesten (NAP -1,85 m). Binnen het plangebied is dus ook niet één GHG vast te stellen, de GHG verschilt per deelgebied binnen het plangebied.



Figuur 4-4 Maatgevende GHG voor het planontwerp [m +NAP]

In

Figuur 4-5 is de ontwatering weergegeven die hoort bij de GHG in Figuur 4-4 en het huidige maaiveldniveau. Te zien dat dat er nog steeds delen binnen het plangebied zijn die voldoen aan de 90 cm ontwateringsnorm uit het OPR, er zijn ook grote delen met een ontwatering tussen de 50-90 cm, deze voldoen aan de ontwateringsnorm uit het GRP (en daarmee het geldende beleid voor deze planontwikkeling). In de volgende paragraaf wordt per deelgebied een maaiveld- en ophoogadvies gegeven.





Figuur 4-5

Ontwateringsdiepte met klimaat effect-WH2085 en Rainproof maatregelen [m-mv]

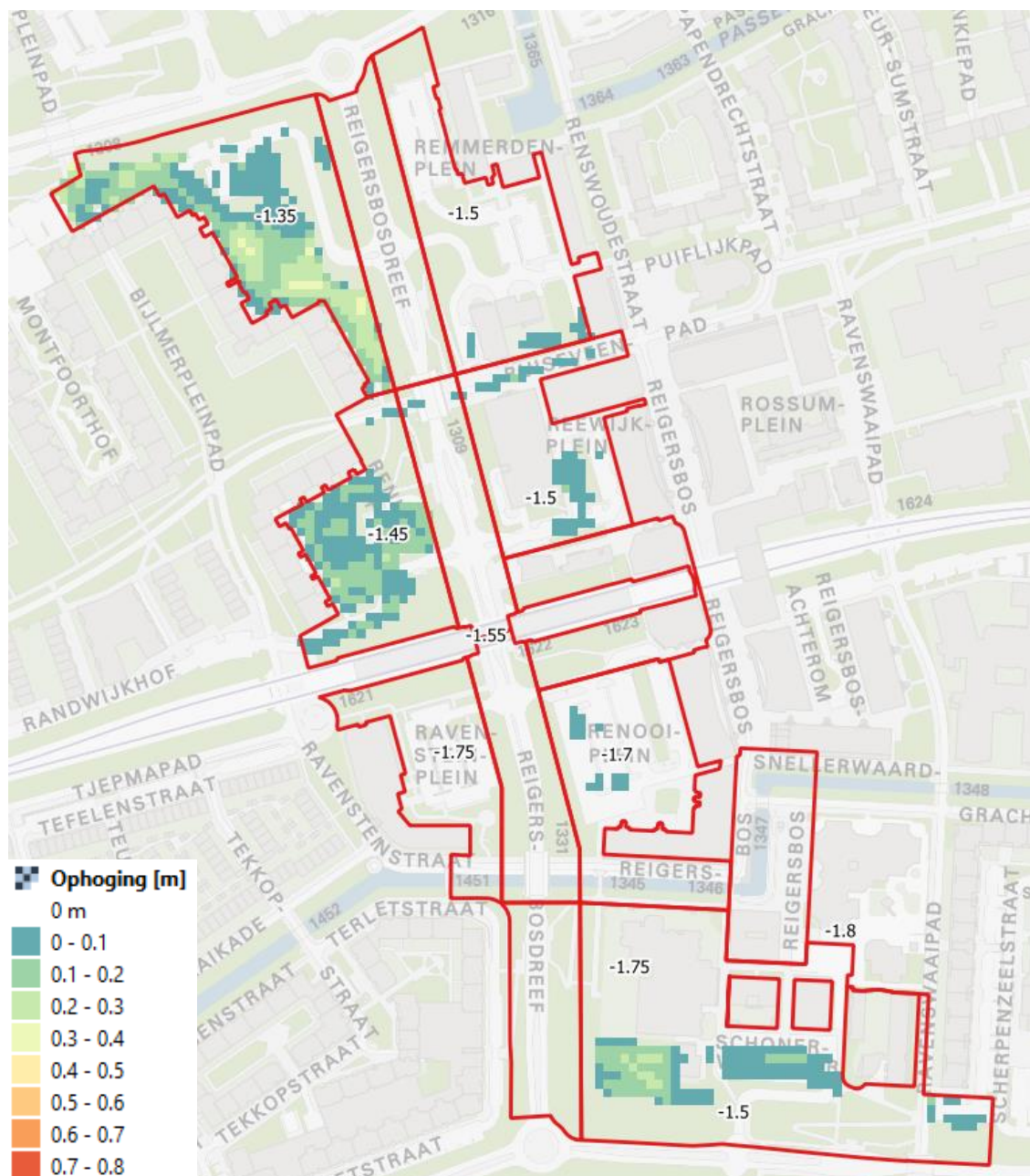
## 4.5 Geadviseerde maaiveldhoogten

In Tabel 7 en Figuur 4-6 zijn per deelgebied de maatgevende GHG, het geadviseerde maaiveldniveau en de benodigde maaiveldophoging weergegeven. Te zien is dat voor grote delen van het plangebied er ongeveer 20-30 cm maaiveldhoging geadviseerd wordt. Maar er zitten uitschieters van 60-80 cm tussen. De geadviseerde aanleghoogten betreffen maaiveldhoogten. De vloerpeilen van de toekomstige bebouwing dienen nog 15-25 cm hoger te worden aangelegd. Dit om risico's met afstromend hemelwater te voorkomen.

Onderstaand advies is geschreven met het oog op het behalen van de 90 cm ontwateringsnorm, dit is een inspanningsverplichting. Vanuit het GRP geldt een ontwateringseis van 50 cm. Met uitzondering van de Rhenenhof, Renkumhof en de zuidelijk strook langs de Schoonhovendreef (oranje delen Figuur 4-5) wordt overal de 50 cm ontwatering met het huidige maaiveldniveau al gehaald. Voor delen van het plangebied met een huidige maatgevende ontwatering groter dan 50 cm mag het toekomstig maaiveld niet verlaagd worden.

- Voor het groengebied rondom de Rhenenhof is de grootste maaiveldophoging binnen het plangebied nodig, tot circa 80 cm. Dit is omdat het huidige maaiveld hier relatief laag ligt, terwijl de GHG hier relatief hoog ligt. Het is de vraag of de geadviseerde maaiveldhoogte van NAP -0,95 m haalbaar en gewenst is. Ten eerste staan hier veel bomen die behouden blijven, deze bomen zijn niet bestand tegen een maaiveldophoging van meerdere decimeters. Daarnaast liggen de achtertuinen en bebouwing aan de westzijde op NAP -1,35 m. Wanneer het plangebied hoger wordt aangelegd dan de aanliggende bebouwing zijn er aanvullende (Rainproof) maatregelen nodig om afstromend hemelwater en wateroverlast op de bestaande kavels te voorkomen. In nadere planuitwerking (bepalen maaiveldhoogten, bomenadvies en Rainproofadvies) dient een afweging te worden gemaakt voor de definitieve maaiveldhoogte.  
Om de 50 cm ontwatering te halen is er een ophoging van 0-40 cm nodig om een maaiveldniveau van NAP -0,55 m te halen. Ook hiervoor dient gekeken te worden of dit mogelijk is vanwege aansluithoogtes met de bestaande bebouwde omgeving. Mogelijk kunnen de laagste delen van het grasveld laag blijven en ingezet worden als waterberging (wadi)
- Het Remmerdenplein heeft een maaiveldophoging van 10-25 cm nodig om de 90 cm ontwatering te halen. Dit betreft vooral het opvullen van de laagte langs de verhoogde dreef.
- Voor de onderdoorgang van het Ruiseveenpad onder de Reigersbosdreef wordt een ophoging van 30-40 cm geadviseerd om de 90 cm ontwatering te halen. Mits de doorrijhoogte voldoende blijft.
- Rondom de Renkumhof is de huidige ontwatering beperkt. Vanuit het oogpunt voor ontwatering is aan te raden het gebied op te hogen met 30-50 cm om de 90 cm ontwatering te halen. Echter gelden hier dezelfde beperkingen als voor de Rhenenhof. Er staan hier in de huidige situatie bomen, welke behouden worden. Technisch is het mogelijk de bomen te behouden door ieder jaar met 5 cm op te hogen, maar in de fasering is het lastig om past na 5 jaar op het definitieve maaiveldniveau te zitten. Daarnaast is het, vanuit o.a. Rainproof aspect, niet verstandig om het maaiveld hoger aan te leggen dan de bestaande aangrenzende woningen ten westen en noorden van de Renkumhof.  
Om de 50 cm ontwatering te halen is er een ophoging van 0-10 cm nodig om een maaiveldniveau van NAP -0,65 m te halen. Ook hiervoor dient gekeken te worden of dit mogelijk is vanwege aansluithoogtes met de bestaande bebouwde omgeving. Mogelijk kunnen de laagste delen van het grasveld laag blijven en ingezet worden als waterberging (wadi)
- Delen van het Reewijkplein dienen met 40 cm opgehoogd te worden om de 90 cm ontwatering te halen. Omdat het Reewijkplein al relatief laag ligt en de huidige ontwatering beperkt is, wordt aangeraden om het Reewijkplein voldoende op te hogen. Ook vanuit Rainproof is het belangrijk om het deelgebied voldoende op te hogen.
- Voor de onderdoorgang van de metro wordt een ophoging van 15-20 cm geadviseerd om de 90 cm ontwatering te halen, mits de doorrijhoogte voldoende blijft. De huidige onderdoorgang ligt namelijk in een lokale laagte. Het ophogen van de onderdoorgang verbetert ook de Rainproof situatie.

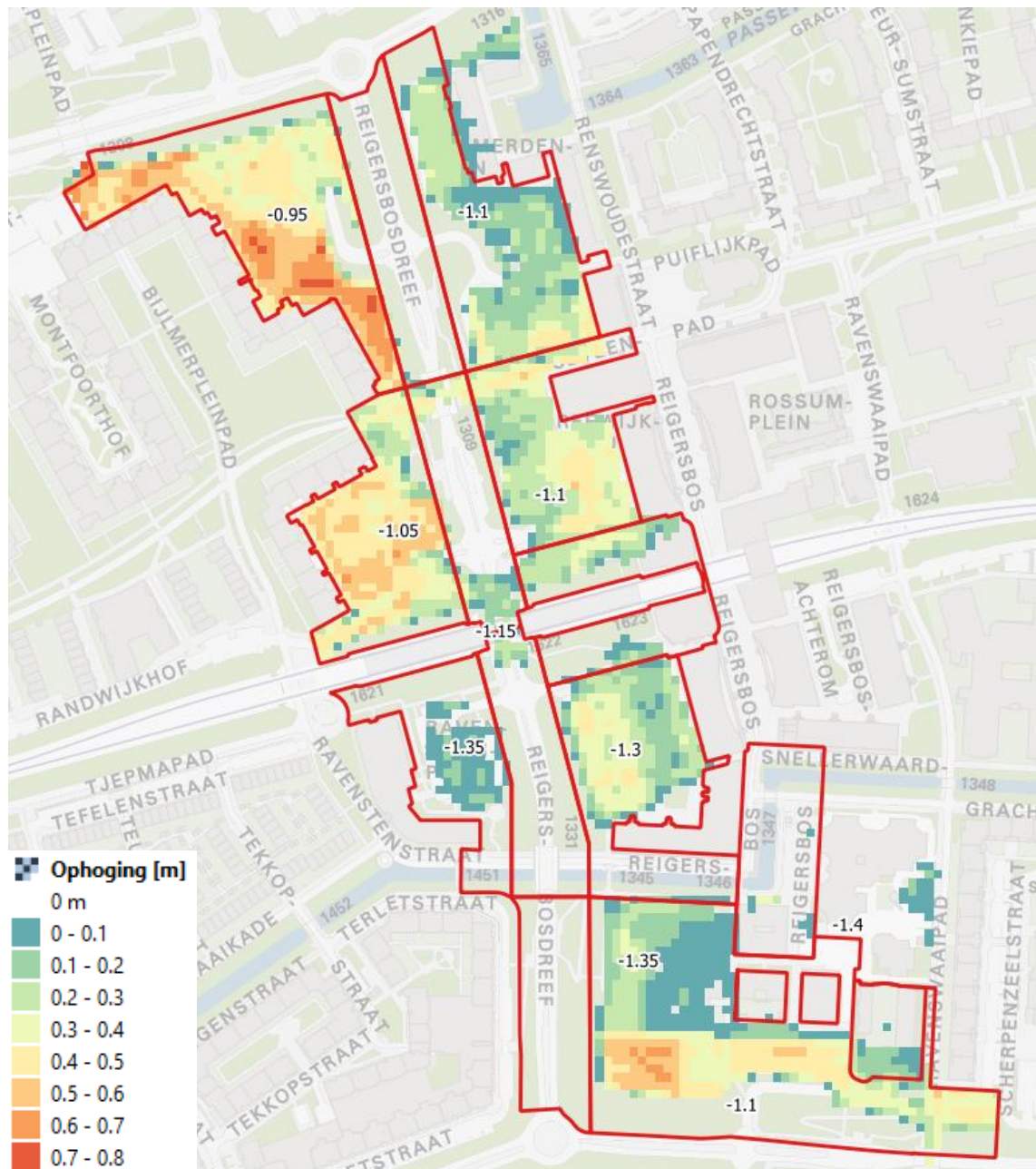
- Het Ravensteinplein heeft een geringe ophoging tot 10 cm nodig om de 90 cm ontwatering te halen. Dit is omdat het maaiveld hier al relatief hoog ligt, en de GHG relatief laag.
- Voor het Renooiplein wordt een ophoging van 10-40 cm geadviseerd om de 90 cm ontwatering te halen. Hoewel de GHG hier op gelijke hoogte ligt dan het Ravensteinplein, ligt het huidige maaiveld hier wel lager. De ophoging betreft voornamelijk het opvullen van de laagte langs de binnenbocht van de verhoogde dreef en metrobaan.
- In de deelgebieden ten zuiden van de watergang verschilt de geadviseerde maaiveldhoogte. Direct ten zuiden van de watergang is een beperkte ophoging van 0-20 cm nodig om de 90 cm ontwatering te halen. Dit betreft vooral ophoging van de lage delen langs de verhoogde dreef. Verder naar het zuiden neemt de GHG toe en de huidige maaiveldhoogte af. Langs de Schoonhovendreef en Schonerwoerdstraat leidt dit tot een benodigde ophoging tot 60 cm om de 90 cm ontwatering te halen. Ook dit betreft weer voornamelijk het opvullen van de laagte langs het verhoogde dreeftalud. Om de 50 cm ontwatering te halen is hier een ophoging van 0-20 cm nodig. Mogelijk kunnen de laagste delen langs het talud ingezet worden voor hemelwaterberging (wadi's). De bebouwing aan de oostzijde heeft voldoende ontwatering en heeft geen ophoging nodig. Deze bebouwing blijft ook grotendeels staan, veel mogelijkheden tot ophoging zijn er hier dus ook niet.



*Figuur 4-6*

Geadviseerde maaiveldhoogte (bijschrift [m+NAP]) en benodigde maaiveldophoging (kleurenschaal [m]) per deelgebied voor 50 cm ontwatering





Figuur 4-7

Geadviseerde maaiveldhoogte (bijschrift [m+NAP]) en benodigde maaiveldophoging (kleurenschaal [m]) per deelgebied voor 90 cm ontwatering



Tabel 7 Geadviseerde maaiveldophoging per deelgebied voor 90 cm en 50 cm ontwatering

| Deelgebied                   | GHG<br>[m +NAP] | Benodigd maaiveld<br>[m +NAP]                  | Benodigde<br>ophoging<br>(bandbreedte) | Benodigd maaiveld<br>[m +NAP] | Benodigde<br>ophoging<br>(bandbreedte) |
|------------------------------|-----------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
|                              |                 | 90 cm ontwatering<br>(inspanningsverplichting) |                                        | 50 cm ontwatering<br>(eis)    |                                        |
| Rhenenhof                    | -1,85           | -0,95                                          | 40-60 cm<br>(lokaal 80 cm)             | -0,55                         | 0-20 cm<br>(lokaal 40 cm)              |
| Remmerdenplein               | -2              | -1,1                                           | 10-25 cm                               | -0,7                          | 0 cm                                   |
| Onderdoorgang Ruiseveenpad   | -1,95           | -1,05                                          | 30-40 cm                               | -0,65                         | 0 cm                                   |
| Renkumhof                    | -1,95           | -1,05                                          | 30-50 cm                               | -0,65                         | 0-10 cm                                |
| Reeuwijkplein                | -2              | -1,1                                           | 10-40 cm                               | -0,7                          | 0 cm                                   |
| Onderdoorgang metro          | -2,05           | -1,15                                          | 15-20cm                                | -0,75                         | 0 cm                                   |
| Ravenstein                   | -2,2            | -1,3                                           | 0-10 cm                                | -0,9                          | 0 cm                                   |
| Renooiplein                  | -2,2            | -1,3                                           | 10-40 cm                               | -0,9                          | 0 cm                                   |
| DG zuid (noordzijde)         | -2,25           | -1,35                                          | 0-20 cm                                | -0,95                         | 0 cm                                   |
| DG zuid (Schonerwoerdstraat) | -2              | -1,1                                           | 15-60 cm                               | -0,7                          | 0-20 cm                                |
| DG zuid (oostzijde)          | -2,05           | -1,15                                          | 0 cm                                   | -0,75                         | 0 cm                                   |

## 5 Conclusie en advies

De toekomstige benodigde maaiveldhoogte is bepaald voor de GHG (Gemiddeld hoogste grondwaterstand) inclusief klimaatopslag en toepassing van Rainproof-maatregelen (extra infiltratie van hemelwater). Het ophoogadvies staat grotendeels beschreven in par 4.5. De geadviseerde ophogingen binnen het plangebied variëren tussen 0 en 80 cm om de 90 cm ontwatering te halen. Dit komt enerzijds omdat er lokale laagten aanwezig zijn, maar ook omdat de GHG varieert binnen het plangebied. Om de minimaal vereiste ontwatering van 50 cm te halen is de benodigde ophoging een stuk beperkter, tot maximaal 40 cm. De geadviseerde aanleghoogten betreffen maaiveldhoogten. De vloerpeilen van de toekomstige bebouwing dienen nog 15-25 cm hoger te worden aangelegd. Dit om risico's met afstromend hemelwater te voorkomen.

De geadviseerde maaiveldhoogten in deze rapportage zijn gebaseerd op het behalen van de 90 cm ontwateringsnorm uit het Omgevingsprogramma Riolerings (OPR), het behalen van de 90 cm is een inspanningsverplichting voor het plangebied omdat deze norm in werking is getreden na vaststelling van de planontwikkeling. Bij het vaststellen van de definitieve maaiveldhoogten dient een afweging gemaakt te worden tussen meerdere belangen (bomen behoud, aansluiting met omgeving, etc). Deze rapportage dient als input voor deze afweging.

Vanuit het eerdere beleid van het GRP geldt een ontwateringseis van 50 cm (90 cm voor bebouwing met kruipruimte, in deze rapportage is uitgegaan van kruipruimteloos bouwen), deze ontwatering moet minimaal gehaald worden. Met uitzondering van de Rhenenhof, Renkumhof en de zuidelijke strook langs de Schoonhovendreef (oranje delen Figuur 4-5) wordt overal de 50 cm ontwatering met het huidige maaiveldniveau al gehaald. Voor delen van het plangebied met een huidige maatgevende ontwatering groter dan 50 cm mag het toekomstig maaiveld niet verlaagd worden.

Hoewel de 90 cm ontwatering niet als resultaatverplichting geldt voor het plangebied is er wel een inspanningsverplichting om aan dit nieuwe beleid te voldoen. Met name voor groeiplaatsverbetering voor bomen wordt een ontwatering van 90 cm sterk aangeraden.

Verschillende hoogtes van deelgebieden dienen goed op elkaar aan te sluiten. Zo moet voorkomen worden dat hemelwater vanaf een hoger gelegen deelgebied afstroomt naar een lager deel. Dit wordt nader uitgewerkt in het (nog op te stellen) Rainproofadvies. Ook liggen enkele delen van het plangebied (Rhenenhof, Renkumhof en de zuidelijk strook langs de Schoonhovendreef (oranje delen Figuur 4-5)) erg laag. Deze delen liggen ook in een lokale laagte en ophogen om de gewenste ontwatering te halen is niet wenselijk vanuit het oogpunt dat de omliggende bestaande bebouwing van lager komt te liggen dan het nieuwe maaiveld. De meest haalbare optie voor deze lage delen is om dit verlaagd te laten en in te richten als hemelwaterberging (wadi's). Hier kunnen dan gaan bomen komen.

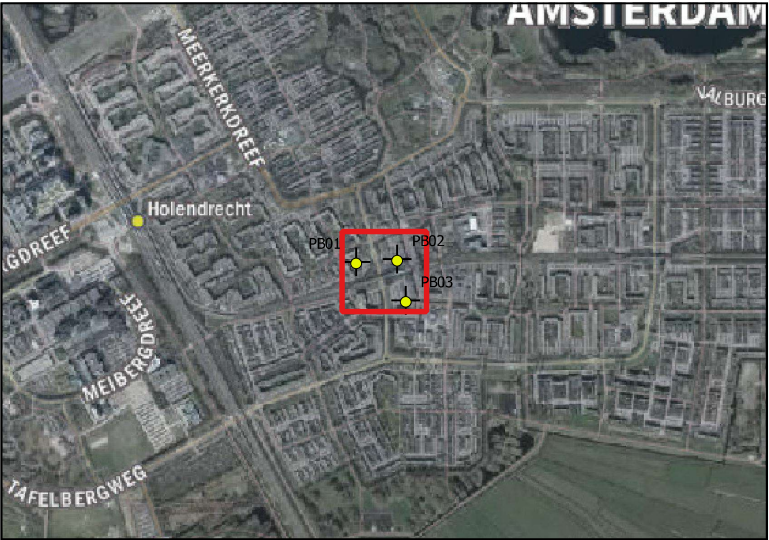
Het huidig advies is opgesteld in de zomer van 2023, en in januari 2024 aanvullend getoetst aan nieuwe grondwaterstandsmetingen (en daaruit bepaalde GHG) binnen het plangebied. Hieruit komt dat het model de grondwaterstanden goed reproduceert. Het huidig advies betreft een robuust advies, waarin het effect van klimaatverandering en de toename van hemelwaterinfiltratie door toekomstige Rainproof maatregelen is meegenomen. De conclusies (geadviseerde maaiveldophogingen) van dit onderzoek zijn daarmee gelijk gebleven.

## Bijlage(n)



## **Bijlage 1 - Boorprofielen en Doorlatendheidsmetingen**





Legenda

 Boring met peilbuis

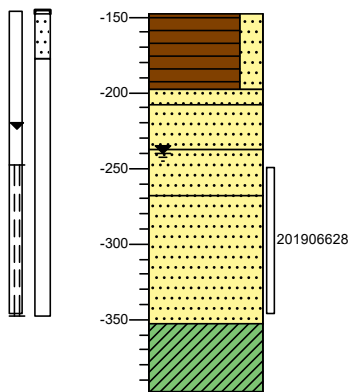
|                                                                                                  |  |                                                                 |  |                  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------|--|------------------|--|
| Projectnummer: COP.02540.01.21                                                                   |  | Versie: 01.02                                                   |  | Status: As Built |  |
| Auteur: <div></div>                                                                              |  | Datum: 06-06-2023                                               |  | Schaal: 1:750    |  |
| Formaat: A2                                                                                      |  |                                                                 |  |                  |  |
| Projectomschrijving:                                                                             |  |                                                                 |  |                  |  |
| Reigersbos Centrum                                                                               |  |                                                                 |  |                  |  |
| BAM Infraconsult bv<br>Afdeling Bodem<br>H.J. Nederhorststraat 1<br>2801 SC Gouda<br>baminfra.nl |  |                                                                 |  |                  |  |
|             |  | <div>0204060</div> <div><div></div><div></div><div></div></div> |  |                  |  |



# Boorbeschrijvingen

## Boring: HB01

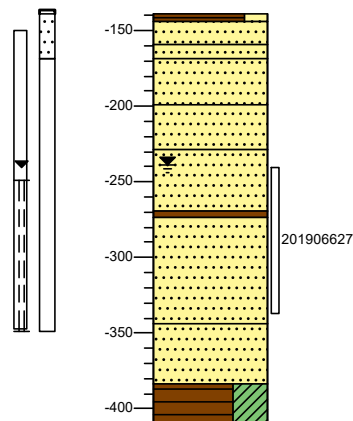
Datum: 25-5-2023  
X: 126734,94  
Y: 478760,03



|      |                                                                                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -148 | gras                                                                                                      |
| -150 | Teelaarde of Humus, zwak zandig, veel wortels, donkerbruin, gelaagdheid niet intact                       |
| -198 |                                                                                                           |
| -208 | Zand fijn 63-200, sterk organisch, subhoekig, bolvormig, donkerbruin, gelaagdheid niet intact             |
| -238 |                                                                                                           |
| -268 | Zand fijn 63-200, zwak organisch, subhoekig, bolvormig, weinig roest, lichtbruin, gelaagdheid niet intact |
| -353 | Zand fijn 63-200, subhoekig, bolvormig, grijs, gelaagdheid niet intact                                    |
| -398 | Zand middelgrof 200-630, subhoekig, bolvormig, weinig grindlensjes, bruin, gelaagdheid niet intact        |
| -398 | Klei, sterk organisch, bruin, gelaagdheid niet intact                                                     |

## Boring: HB02

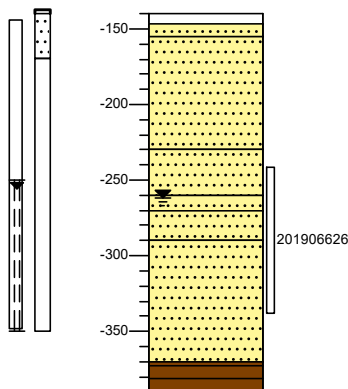
Datum: 25-5-2023  
X: 126888,48  
Y: 478770,15



|      |                                                                                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -130 | gras                                                                                                      |
| -144 | Teelaarde of Humus, zwak zandig, donkerbruin, gelaagdheid niet intact                                     |
| -159 |                                                                                                           |
| -169 |                                                                                                           |
| -199 | Zand fijn 63-200, zwak organisch, subhoekig, bolvormig, weinig puin, donkerbruin, gelaagdheid niet intact |
| -229 |                                                                                                           |
| -274 | Zand fijn 63-200, subhoekig, bolvormig, donkerbruin, gelaagdheid niet intact                              |
| -344 | Zand middelgrof 200-630, subhoekig, bolvormig, weinig grindlensjes, bruin, gelaagdheid niet intact        |
| -384 | Zand middelgrof 200-630, subhoekig, bolvormig, weinig grindlensjes, bruin, gelaagdheid niet intact        |
| -409 | Zand grof 630-2000, subhoekig, bolvormig, weinig grindlensjes, bruin, gelaagdheid niet intact             |
| -409 | Veen, bruin, gelaagdheid niet intact                                                                      |
|      | Zand middelgrof 200-630, subhoekig, bolvormig, weinig grindlensjes, bruin, gelaagdheid niet intact        |
|      | Zand middelgrof 200-630, subhoekig, bolvormig, grijs, gelaagdheid niet intact                             |
|      | Veen, kleilig, bruin, gelaagdheid niet intact                                                             |

## Boring: HB03

Datum: 25-5-2023  
X: 126920,92  
Y: 478616,06



|      |                                                                                                            |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -140 | tegels                                                                                                     |
| -147 |                                                                                                            |
| -155 | Volledig tegel, gelaagdheid niet intact                                                                    |
| -230 | Zand fijn 63-200, subhoekig, bolvormig, weinig puin, lichtbruin, gelaagdheid niet intact                   |
| -260 | Zand fijn 63-200, zwak organisch, subhoekig, bolvormig, veel puingranulaat, bruin, gelaagdheid niet intact |
| -270 |                                                                                                            |
| -290 | Zand middelgrof 200-630, subhoekig, bolvormig, weinig puin, bruin, gelaagdheid niet intact                 |
| -370 | Zand middelgrof 200-630, subhoekig, bolvormig, weinig grindlensjes, lichtbruin, gelaagdheid niet intact    |
| -390 | Zand grof 630-2000, subhoekig, bolvormig, weinig grindlensjes, bruin, gelaagdheid niet intact              |
| -390 | Zand middelgrof 200-630, subhoekig, bolvormig, grijs, gelaagdheid niet intact                              |
| -390 | Veen, donkerbruin, gelaagdheid niet intact                                                                 |



**BAM Infraconsult bv**  
Toetsenbordweg 11  
1033 MZ Amsterdam  
Telefoon (020) 410 85 43  
Email info.infra@bam.com

Projectnaam: Reigersbos te Amsterdam

Opdrachtgever: Gemeente Amsterdam

Projectcode: 02540.01.21

Boormeester: Ronald Loose

Projectleider:

Pagina: 1 / 1 Conform NEN-EN-ISO 14688-1

Legenda (conform NEN-EN-ISO 14688-1)

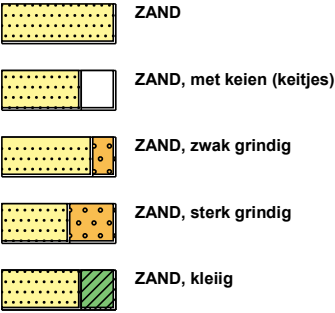
KEIEN (KEITJES)



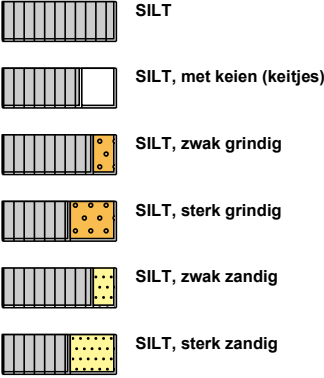
GRIND



ZAND



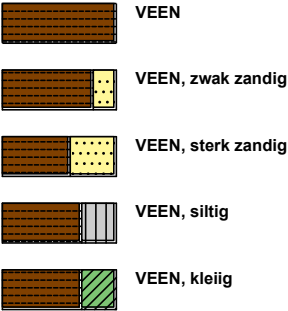
SILT



KLEI



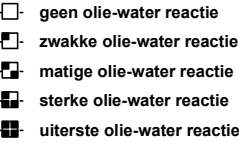
VEEN (HUMUS, DETRITUS)



geur



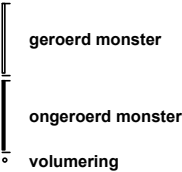
olie



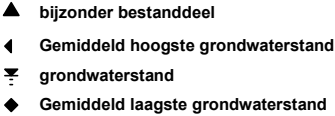
p.i.d.-waarde



monsters



overig





# Doorlatendheidsmetingen

## Overzichtstabel doorlatendheidsmetingen

De doorlatendheidsproeven zijn uitgevoerd op 15 juni 2023 met de constant head(verlaging) methode, volgens de werkwijze zoals opgenomen in de Kennisbank Stedelijk Water. Bij de proeven wordt een vaste verlaging van het waterpeil in de peilbuis gerealiseerd. Zodra het onttrekkingsdebiet stabiliseert bij een vast verlagingsniveau, is een stabiele situatie bereikt. Het constante onttrekkingsdebiet vormt samen met de grondwaterstandverlaging een maat voor de doorlatendheid van de bodem ter plaatse van het filtertraject.

### Metingen

| Metingnummer +<br>Peilbuis | Start<br>Grondwaterstand<br>(cm t.o.v. BkPb) | Pompvolume<br>(liter) | Pomptijd<br>(min) | Debiet<br>(liter/min) | Eind<br>Grondwaterstand<br>(cm t.o.v. BkPb) | Verlaging<br>(cm) |
|----------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------------|-------------------|
| Meting 1: peilbuis 01      | -95                                          | 10                    | 6.0               | 1.67                  | -110                                        | 15                |
| Meting 2: peilbuis 01      |                                              | 10                    | 6.0               | 1.67                  | -110                                        | 15                |
| Meting 1: peilbuis 02      | -97                                          | 10                    | 6.0               | 1.67                  | -108                                        | 11                |
| Meting 2: peilbuis 02      |                                              | 10                    | 6.0               | 1.67                  | -108                                        | 11                |
| Meting 1: peilbuis 03      | -117                                         | 10                    | 6.0               | 1.67                  | -128                                        | 11                |
| Meting 2: peilbuis 03      |                                              | 10                    | 6.0               | 1.67                  | -128                                        | 11                |

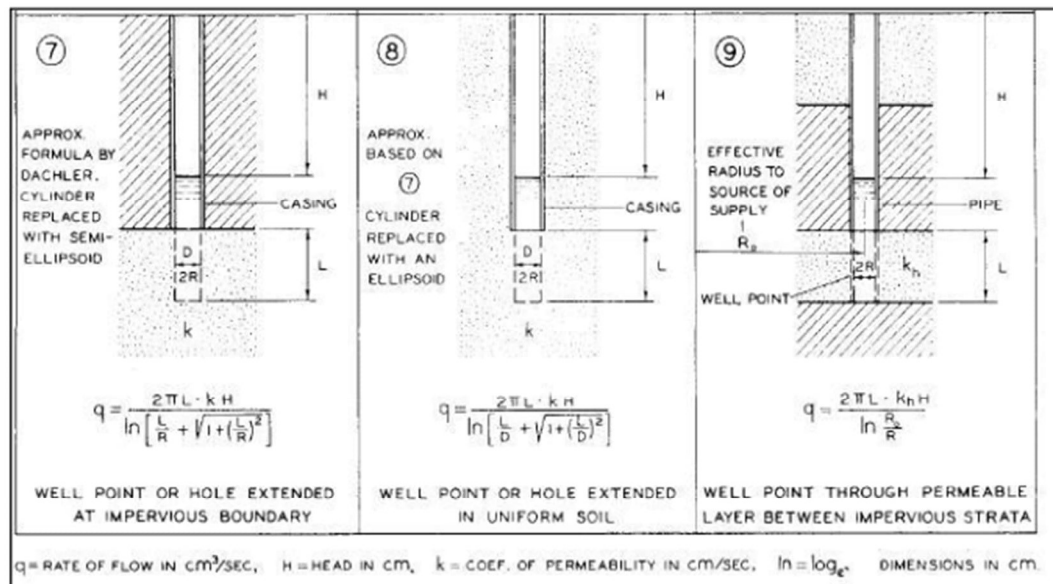
## Berekening volgens de Methode Hvorslev/Dachler

| Metingnummer + Peilbuis | Q<br>(liter/min) | D<br>(cm) | L<br>(cm) | <sup>h</sup><br>(cm) | R<br>(cm) | R <sub>0</sub><br>(cm) | Geometrische factor | K<br>(cm/sec) | K<br>(m/dag) | Bodem opbouw                         |
|-------------------------|------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|------------------------|---------------------|---------------|--------------|--------------------------------------|
| Meting 1: peilbuis 01   | 1.67             | 5         | 100       | 15                   | 2.5       | 150                    | 3,69                | 0,01090       | 9,4          | Zand middelgrof<br>(200 – 630 µm)    |
| Meting 2: peilbuis 01   | 1.67             | 5         | 100       | 15                   | 2.5       | 150                    | 3,69                | 0,01090       | 9,4          |                                      |
| Meting 1: peilbuis 02   | 1.67             | 5         | 100       | 11                   | 2.5       | 150                    | 3,69                | 0,01486       | 12,8         | Zand middelgrof<br>(200 – 630 µm)    |
| Meting 2: peilbuis 02   | 1.67             | 5         | 100       | 11                   | 2.5       | 150                    | 3,69                | 0,01486       | 12,8         |                                      |
| Meting 1: peilbuis 03   | 1.67             | 5         | 100       | 11                   | 2.5       | 150                    | 3,69                | 0,01486       | 12,8         | Zand fijn tot grof<br>(63 – 2000 µm) |
| Meting 2: peilbuis 03   | 1.67             | 5         | 100       | 11                   | 2.5       | 150                    | 3,69                | 0,01486       | 12,8         |                                      |

### Toelichting:

- Q [l/min] debiet
- D [cm] diameter boorgat
- L [cm] effectieve filterlengte
- <sup>h</sup> [cm] verlaging tijdens pompen
- F factor Dachler (3 methodes, afhankelijk van de ondergrondopbouw. Zie figuur op de volgende pagina.)
- K [cm/sec] doorlatendheid cm/s
- K [m/dag] doorlatendheid m/d
- R [cm] straal boorgat
- R<sub>0</sub> [cm] straal 'source of supply' > geïnterpreteerd als straal invloedsgebied

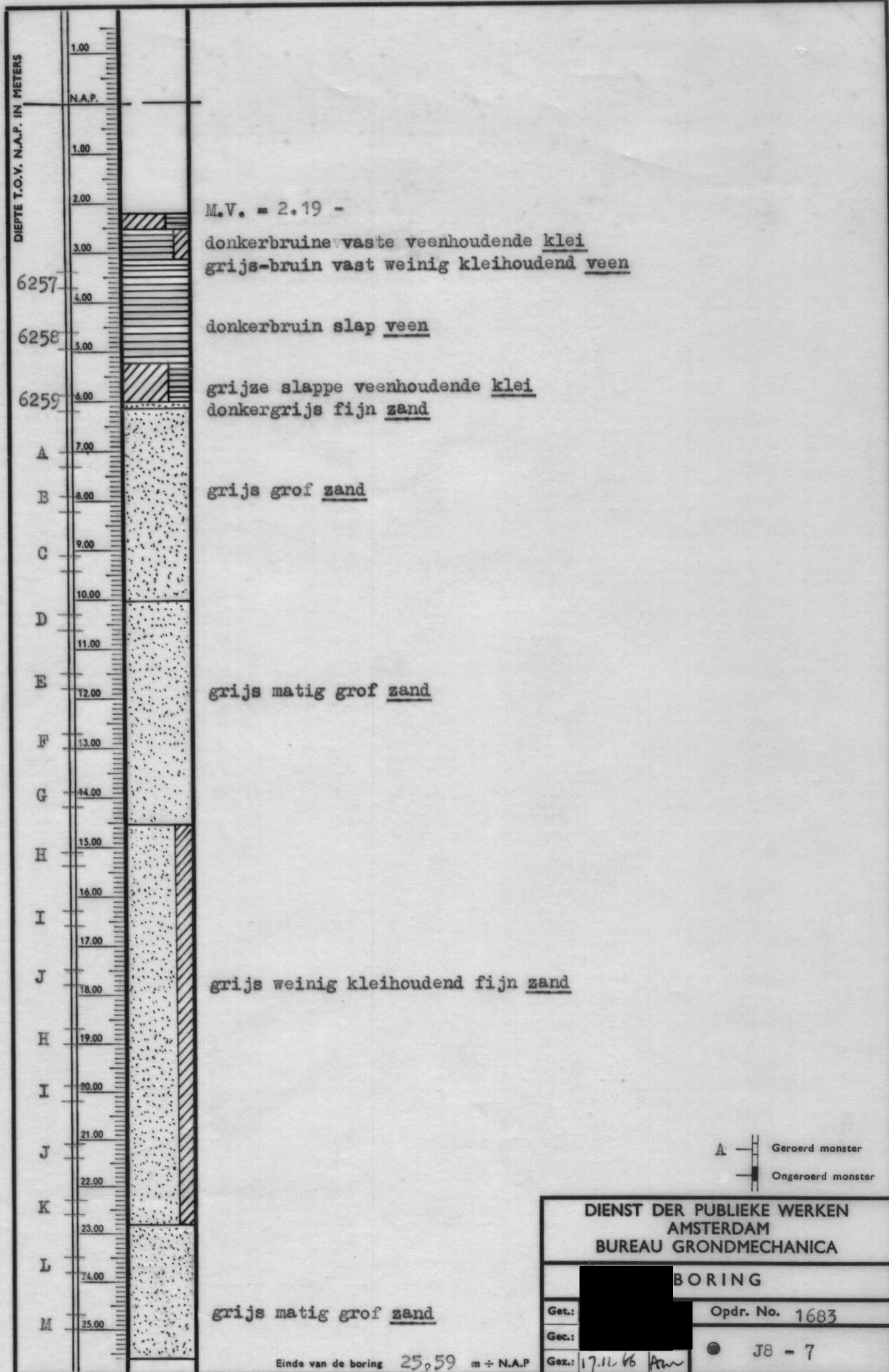
**Formule van Hvorslev/Dachler:**  $K = (((Q \times 100) / 6) / 2 \times \pi \times L \times {}^h) \times F$

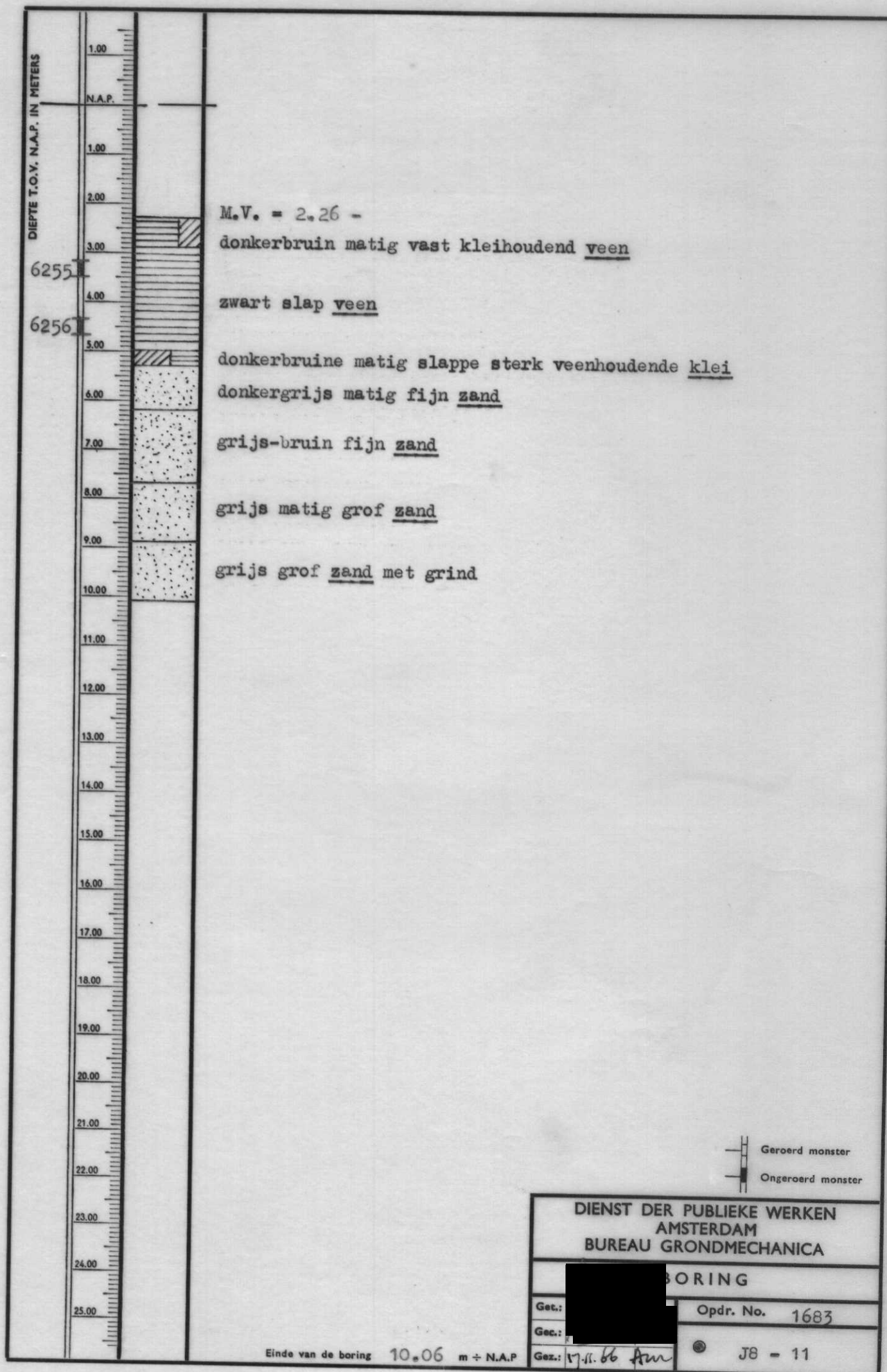


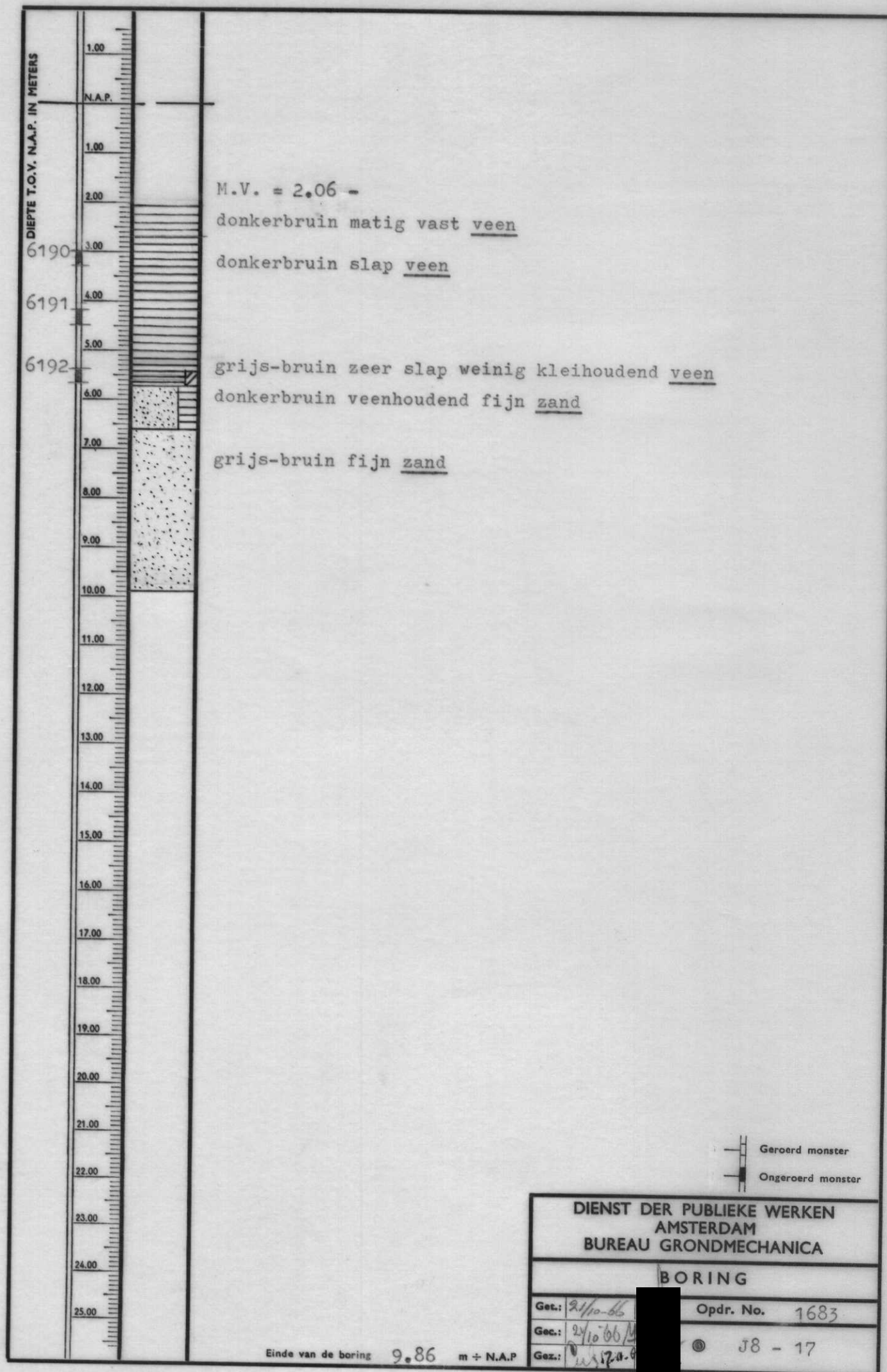
In de berekening is uitgegaan van "well point or hole extended in uniform soil"



## Bijlage 2 - Waternetboringen









■ ONGEROERD MONSTER □ GEROERD MONSTER

DATUM BOREN: 780525 X --28170 Y =16095

N.A.P.

DIEPTE IN METERS T.O.V. N.A.P.

PVC I

PVC II

→ MAAIVELD = -1.74 (M)

1.10.30 OPHOOGMATERIAAL: GEEL/GRIJS MATIG GROF ZAND

1.8.213 RIVIERKLEI: BRUIN/GRIJZE WEINIG VEENHOUDENDE KLEI  
1.5.10 HOLLANDVEEN: BRUIN MATIG SLAP VEEN  
GEEN MONSTER

1.5.10 HOLLANDVEEN: BRUIN MATIG SLAP VEEN

1.0.10 BASISVEEN: BRUIN MATIG SLAP VEEN  
2.1.315 DEKZANDEN 1E ZANDLAAG: BRUIN/GRIJS VEENHOUDEND FIJN ZAND  
2.1.30 DEKZANDEN 1E ZANDLAAG: BRUIN/GRIJS FIJN ZAND  
2.1.30 DEKZANDEN 1E ZANDLAAG: GRIJS FIJN ZAND

2.31.30 MIDDELGROVE ZANDEN. CROMERIEN. 3E ZANDLAAG: GRIJS GROF ZAND

2.31.30 MIDDELGROVE ZANDEN. CROMERIEN. 3E ZANDLAAG: GRIJS MATIG GROF ZAND

DIENT DER PUBLIEKE WERKEN  
AMSTERDAM  
BUREAU GRONDMECHANICA

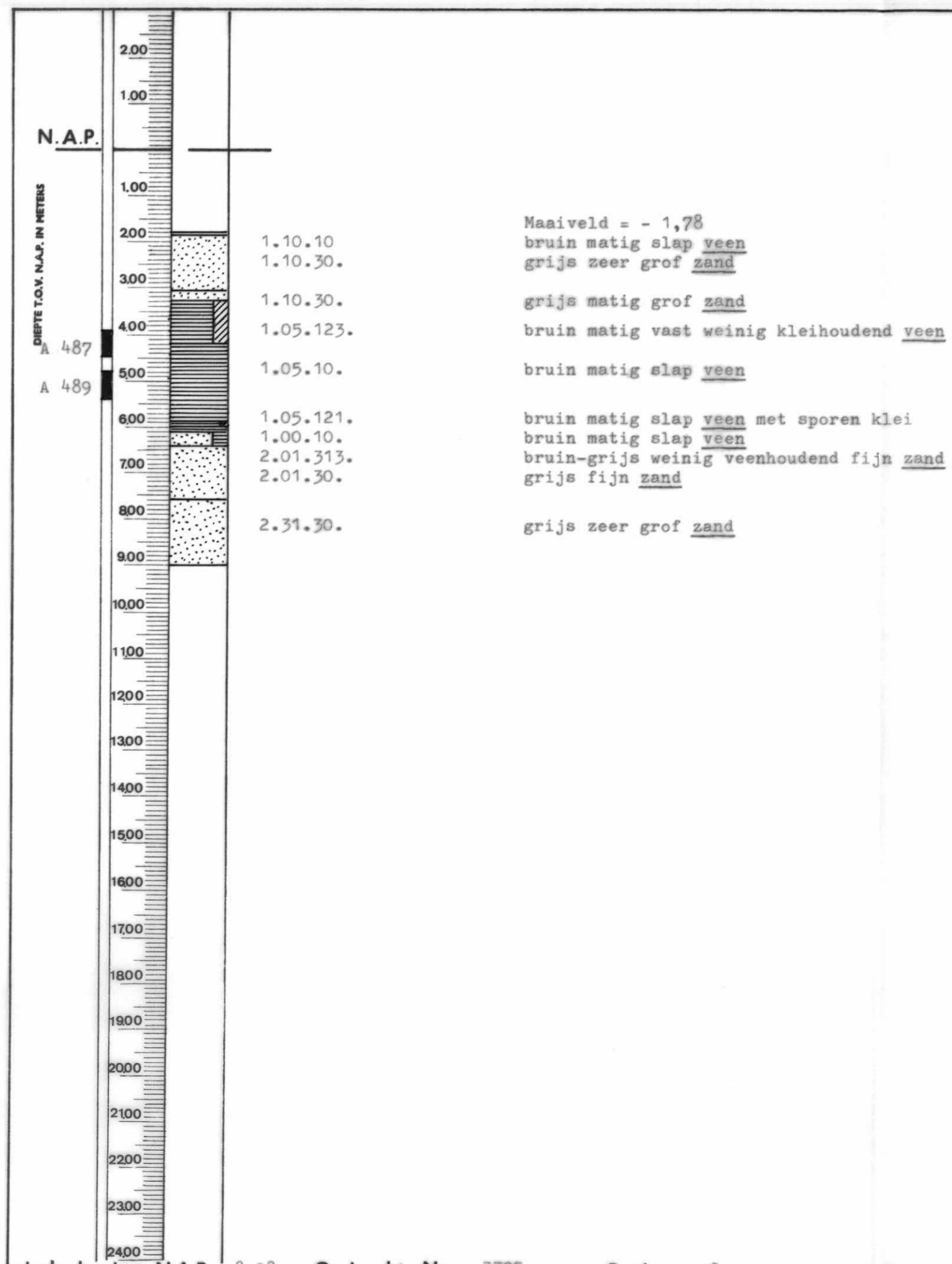
BORING

|     |        |    |                 |
|-----|--------|----|-----------------|
| GET | 780613 | HP | OPDRACHT 2967.1 |
| GEC | 780613 |    |                 |
| GEZ |        |    |                 |

● J 8-96

EINDE BORING N.A.P. -11.04 (M) OPDRACHT(2967.1): BRUG 1316, VEENENDAALDREEF



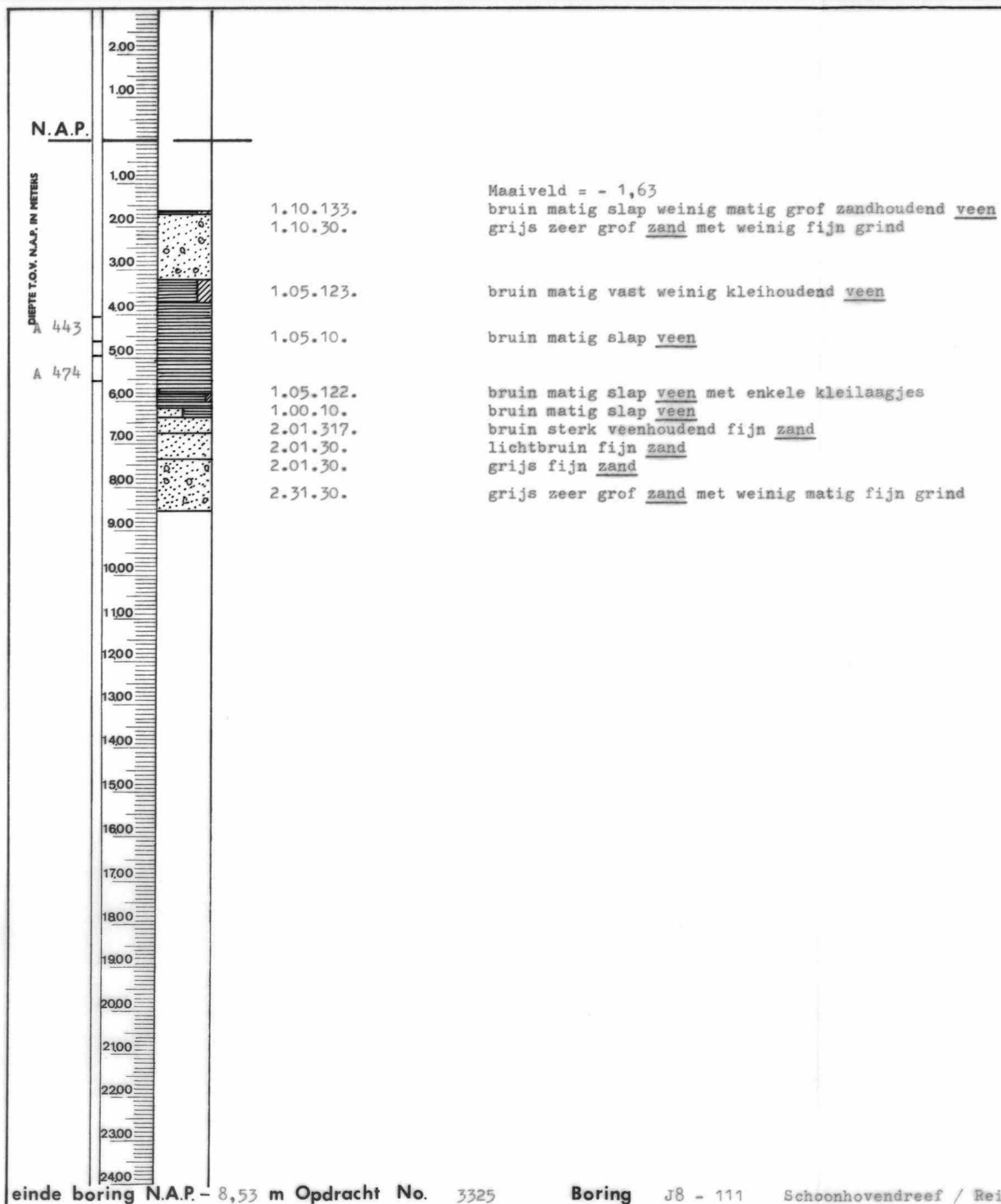


einde boring N.A.P. - 8,98 m Opdracht No. 3325

Boring J8 - 110 Schoonhovendreef / Reigersbosdreef

DIENT DER PUBLIEKE WERKEN  
AMSTERDAM  
BUREAU GRONDMECHANICA

|      |  |
|------|--|
| Gez. |  |
| Gez. |  |



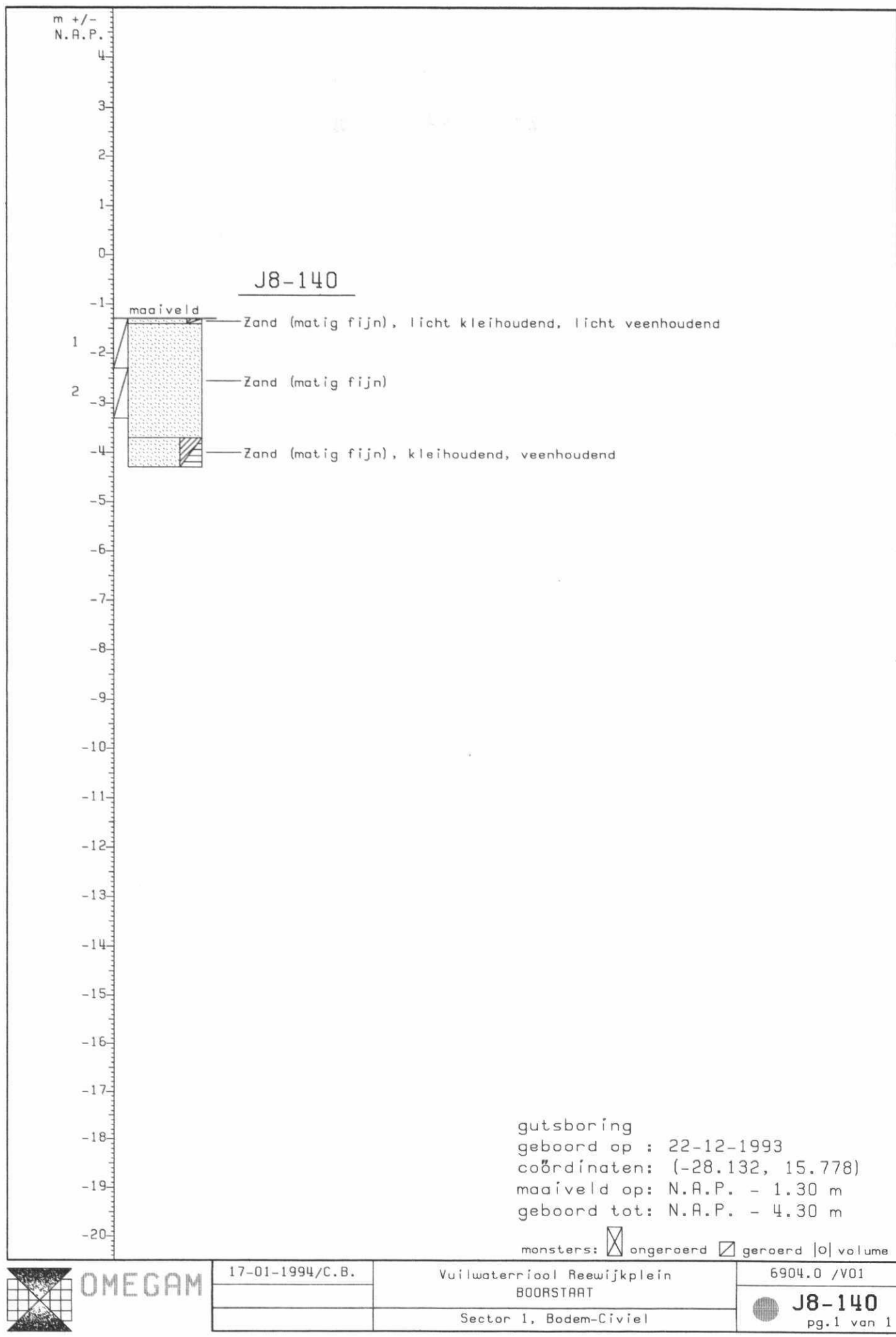
einde boring N.A.P. - 8,53 m Opdracht No. 3325

Boring J8 - 111 Schoonhovendreef / Reigersbosdreef

DIENT DER PUBLIEKE WERKEN  
AMSTERDAM  
BUREAU GRONDMECHANICA

Get.: LC  
Gee.:  
Gez.:





m +/-  
N.A.P.

getekend volgens NEN 5104 met aanvullingen

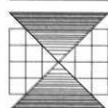
4  
3  
2  
1  
0  
-1  
-2  
-3  
-4  
-5  
-6  
-7  
-8  
-9  
-10  
-11  
-12  
-13  
-14  
-15  
-16  
-17  
-18  
-19  
-20

## J8-157



gutsboring  
geboord op : 1-08-2001  
coördinaten: (126.689, 478.630)  
maaiveld op: N.A.P. - 1.44 m  
geboord tot: N.A.P. - 6.44 m

bij visuele inspectie geen asbest waargenomen  
veldwaarn. verontr. filters: monsters: ☒ ongeroerd ☒ geroerd ☐ volume



OMEGAM

31-08-2001/C.B.

Reigersbos III deel 2  
BOORSTAAT

Sector 1, Geotechniek

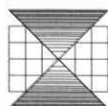
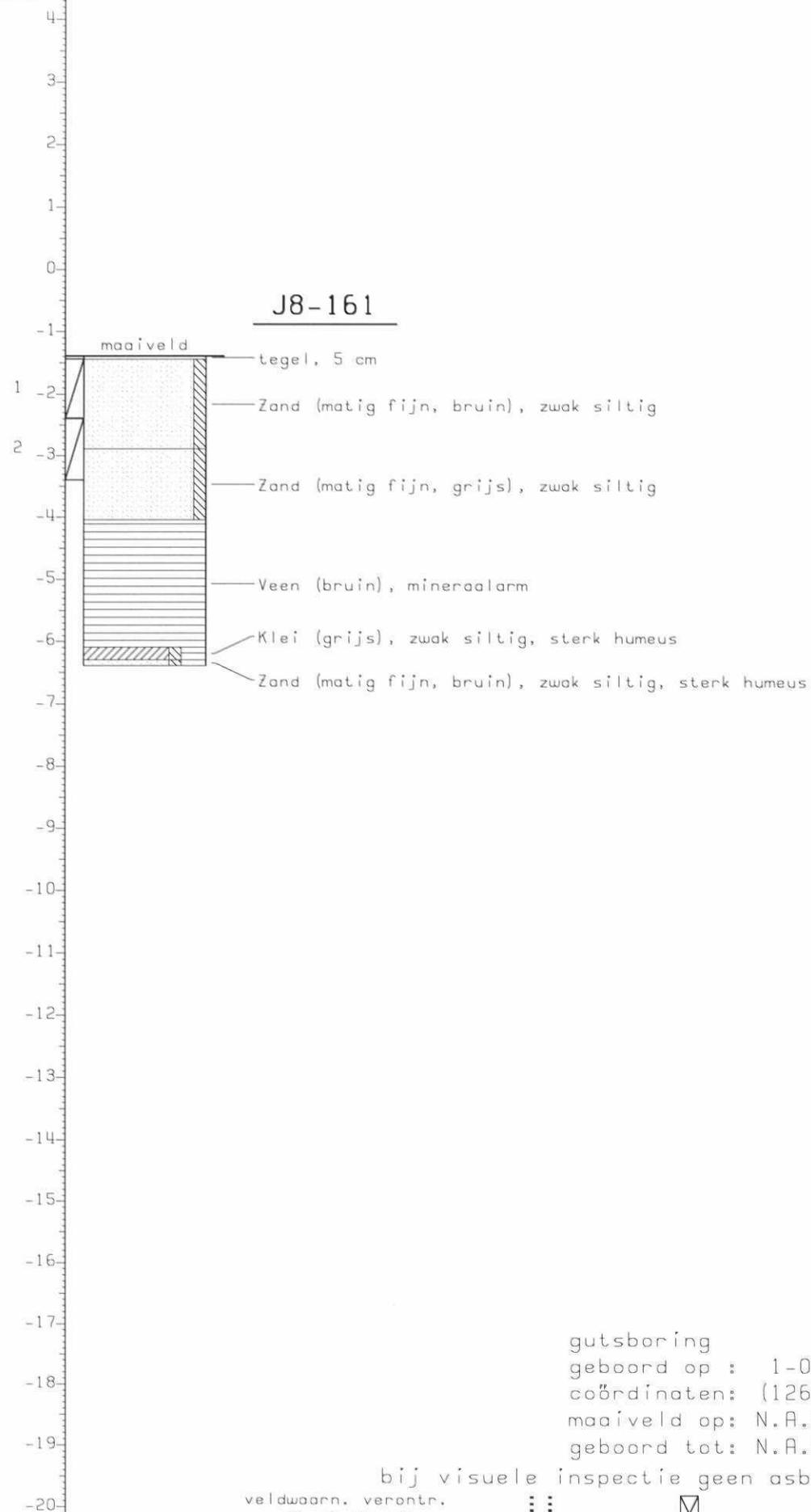
(12) 12.712

**J8-157**  
pg.1 van 1



m +/-  
N.A.P.

getekend volgens NEN 5104 met aanvullingen



OMEGAM

31-08-2001/C.B.

CB

Reigersbos III deel 2  
BOORSTAAT

Sector 1, Geotechniek

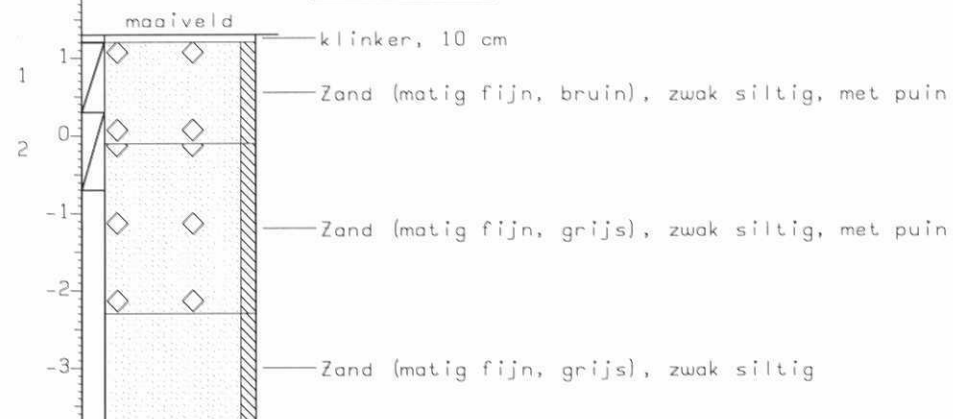
(12) 12.712

**J8-161**  
pg.1 van 1

m +/-  
N.A.P.

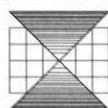
getekend volgens NEN 5104 met aanvullingen

J8-168



gutsboring  
geboord op : 1-08-2001  
coördinaten: (126.827, 478.492)  
maaiveld op: N.A.P. + 1.30 m  
geboord tot: N.A.P. - 3.70 m

bij visuele inspectie geen asbest waargenomen  
veldwaarn. verontr. filters: monsters: ☒ ongeroerd ☐ geroerd [0] volume



OMEGAM

31-08-2001/C.B.

C.B.

Reigersbos III deel 2  
BOORSTAAT

Sector 1, Geotechniek

(12) 12.712

**J8-168**  
pg.1 van 1

m +/-  
N.A.P.

4  
3  
2  
1  
0  
-1  
1 -2  
2 -3  
-4  
-5  
-6  
-7  
-8  
-9  
-10  
-11  
-12  
-13  
-14  
-15  
-16  
-17  
-18  
-19  
-20

### J8-181

maaiveld

tegels, 10 cm

Zand (matig fijn, bruin), weinig siltig

Zand (matig fijn, geel), weinig siltig, weinig grindig

Zand (matig fijn, grijs), weinig siltig

gutsboring  
geboord op: 20-07-2004  
coördinaten: (126,996, 478,520)  
maaiveld op: N.A.P. - 1,38 m  
geboord tot: N.A.P. - 3,78 m  
bij visuele inspectie geen  
asbest waargenomen

Veldwaarn. verontr.



filters



monsters:



ongeroerd ☒ geroerd ☐ volume

23-07-2004 / C.B.

Reigersbos Midden II

13.333 / 0

BOORSTAAT



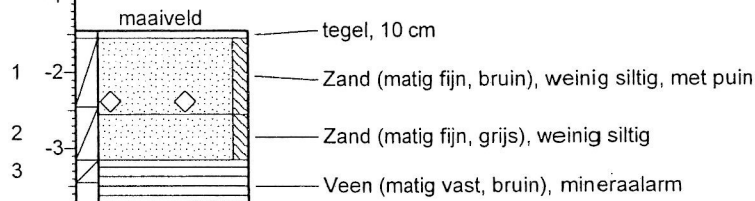
**J8-181**

Blz 1 van 1

m +/-  
N.A.P.

4  
3  
2  
1  
0  
-1  
-2  
-3  
-4  
-5  
-6  
-7  
-8  
-9  
-10  
-11  
-12  
-13  
-14  
-15  
-16  
-17  
-18  
-19  
-20

### J8-182



gutsboring  
geboord op: 20-07-2004  
coördinaten: (127,003, 478,589)  
maaiveld op: N.A.P. - 1,45 m  
geboord tot: N.A.P. - 3,85 m  
bij visuele inspectie geen  
asbest waargenomen

Veldwaarn. verontr.



filters



monsters: ☒ ongeroerd ☒ geroerd |o| volume

23-07-2004 / C.B.

Reigersbos Midden II

13.333 / 0

BOORSTAAT



**J8-182**

Blz 1 van 1

m +/-  
N.A.P.

4  
3  
2  
1  
0  
-1  
-2  
-3  
-4  
-5  
-6  
-7  
-8  
-9  
-10  
-11  
-12  
-13  
-14  
-15  
-16  
-17  
-18  
-19  
-20

### J8-183



gutsboring  
geboord op: 20-07-2004  
coördinaten: (127,045, 478,608)  
maaiveld op: N.A.P. - 1,42 m  
geboord tot: N.A.P. - 3,82 m  
bij visuele inspectie geen  
asbest waargenomen

Veldwaarn. verontr.



filters



monsters:



ongeroerd ☐ geroerd ☐ volume

23-07-2004 / C.B.

Reigersbos Midden II

13.333 / 0

BOORSTAAT



**J8-183**

Blz 1 van 1



m +/-  
N.A.P.

4  
3  
2  
1  
0  
-1  
-2  
-3  
-4  
-5  
-6  
-7  
-8  
-9  
-10  
-11  
-12  
-13  
-14  
-15  
-16  
-17  
-18  
-19  
-20

# J8-184



gutsboring  
geboord op: 20-07-2004  
coördinaten: (127,082, 478,551)  
maaiveld op: N.A.P. - 1,52 m  
geboord tot: N.A.P. - 4,12 m  
bij visuele inspectie geen  
asbest waargenomen

Veldwaarn. verontr.



filters



monsters:



ongeroerd



geroerd |o| volume

23-07-2004 / C.B.

Reigersbos Midden II

13.333 / 0

BOORSTAAT



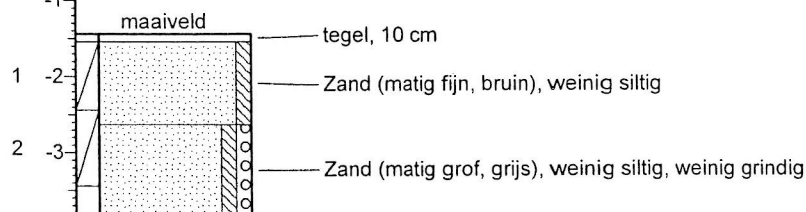
**J8-184**

Blz 1 van 1

m +/-  
N.A.P.

4  
3  
2  
1  
0  
-1  
-2  
-3  
-4  
-5  
-6  
-7  
-8  
-9  
-10  
-11  
-12  
-13  
-14  
-15  
-16  
-17  
-18  
-19  
-20

### J8-185



gutsboring  
geboord op: 20-07-2004  
coördinaten: (127,079, 478,480)  
maaiveld op: N.A.P. - 1,44 m  
geboord tot: N.A.P. - 3,84 m  
bij visuele inspectie geen  
asbest waargenomen

Veldwaarn. verontr.



filters



monsters:



ongeroerd



geroerd |o| volume

23-07-2004 / C.B.

Reigersbos Midden II

13.333 / 0

BOORSTAAT



**J8-185**

Blz 1 van 1

## **J8-196**

Handboring

Boormeesters:

B. Corsten / Rob Wilson

Datum boring:

27-04-2005

X-coördinaat:

126711

Y-coördinaat:

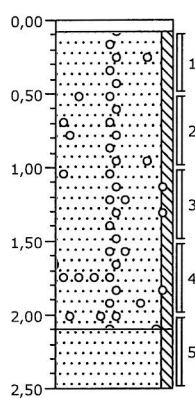
479105

Maaiveld (m t.o.v. N.A.P.):

-1,404

Referentievlak:

N.A.P.



-1,40  
-1,48

Klinker

Zand, matig grof, zwak siltig, zwak grindhoudend, geel

-3,50

Zand, matig fijn, zwak siltig, grijs

-3,90

**J8-213**

Handboring

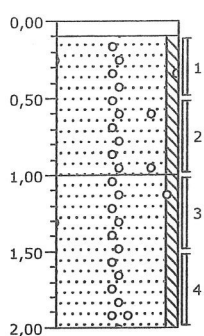
Datum boring: 27-02-2008

X-coördinaat: 126813

Y-coördinaat: 479019

Maaiveld (m t.o.v. N.A.P.): -1,33

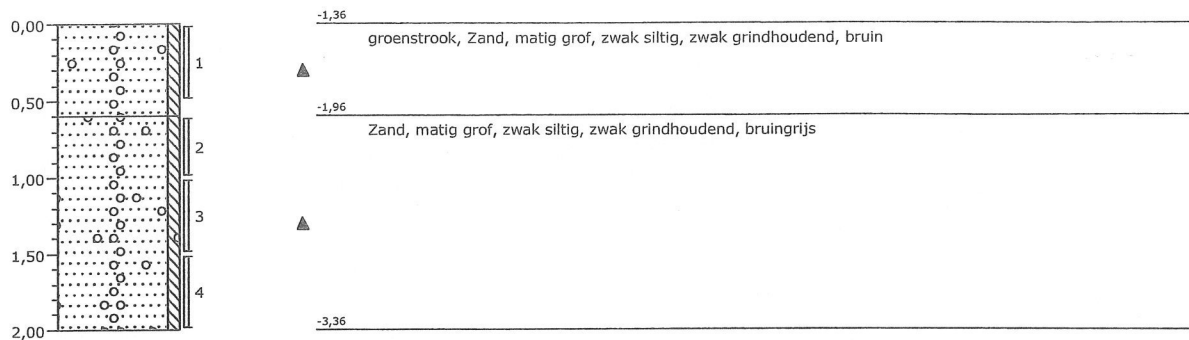
Referentievlak: N.A.P.



|       |                                                                             |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|
| -1,33 |                                                                             |
| -1,43 | tegel                                                                       |
|       | Zand, matig grof, zwak siltig, zwak grindhoudend, zwak sintelhoudend, bruin |
| -2,33 |                                                                             |
|       | Zand, matig grof, zwak siltig, zwak grindhoudend, bruin grijs               |
| -3,33 |                                                                             |

**-18-216**

Handboring  
Datum boring: 28-02-2008  
X-coördinaat: 126862  
Y-coördinaat: 478910  
Maaiveld (m t.o.v. N.A.P.): -1,36  
Referentievlak: N.A.P.

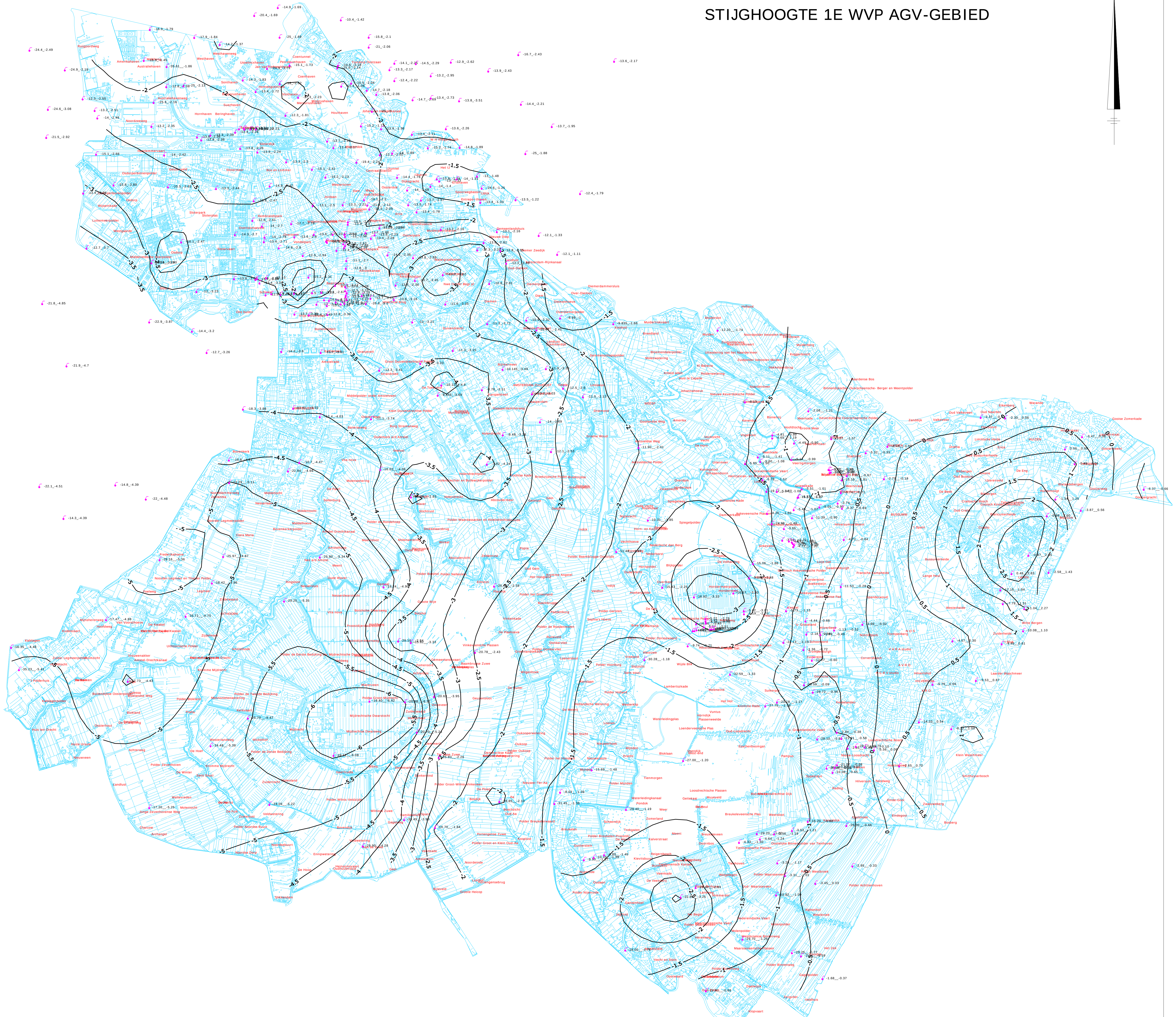
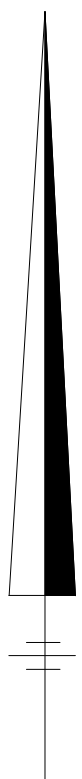




## **Bijlage 3 - Isohypsenskaart watervoerendpakket AGV**



# STIJGHOOGTE 1E WVP AGV-GEBIED



Gemiddelde stijghoogte over 2005  
Berekend met gegevens van TNO en Waternet  
Interpolatie techniek : kriging  
Achter het filter staat de diepte hart filter en de meetwaarde vermeld  
Alle waarden in m tov NAP  
Datum aanmaak : feb. 2007



## **Bijlage 4 - Rekensheet grondwateraanvulling**

# GRONDWATERAANVULLING HUIDIG

**Project:** Holendrecht Centrum  
**Projectnummer:**  
**Documentnummer:**  
**Opdrachtgever:** Gemeente Amsterdam  
**Opsteller:** Henk van den Berg  
**Datum:** 23-5-2023  
**Bestandslocatie:** G:\IB\Algemeen\WGM\BESTAND\Projecten\Holendrecht\analyses\[Grondwatera



Gemeente Amsterdam  
Ingenieursbureau

## Formule:

Grondwateraanvulling =

$$(1-cver) \times (\%ver/100) \times ((Nx(1+(ktoe/100))) - (Vxqver)) + (1-conv) \times (\%onv/100) \times ((Nx(1+(ktoe/100))) - (Vxqonv))$$

per project invullen  
standaard waarde  
berekening

## Gemiddelde situatie

|                                    |                                                                                                 |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Percentage verhard (%ver)          | 0 %                                                                                             |
| Percentage onverhard (%onv)        | 100 %                                                                                           |
| Gewasfactor onverhard (qonv)       | 1 (gras, cultuurtechnisch vademecum 1988)                                                       |
| Gewasfactor verhard (qver)         | 0,1 (aannname IBA)                                                                              |
| Afvoercoefficient verhard (cver)   | 0,9 (Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers, American Society of Civil Engineers) |
| Afvoercoefficient onverhard (conv) | 0,15                                                                                            |
| Neerslag (N)                       | 2,31 mm/dag = 2,31 mm/d (= langjarig gemiddelde meteostations rond                              |
| Referentie-gewasverdamping (V)     | 543 mm/jaar = 1,49 mm/d (= langjarig gemiddelde de Bilt)                                        |

Toename neerslag (ktoek)

0

Toename verdamping (ktoek)

0

Verdamping verhard

0,15 mm/d

Verdamping onverhard

1,49 mm/d

Netto neerslag verhard

2,16 mm/d

Netto neerslag onverhard

0,82 mm/d

Grondwateraanvulling bij verharding

0,22 mm/d

Grondwateraanvulling bij  
onverharding

0,70 mm/d

Gemiddelde grondwateraanvulling

0,70 mm/d

Infiltratiepercentage t.o.v. neerslag

30 %

## Piekgebeurtenis

|                                          |                  |                                                                  |
|------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------|
| Maximum 10-daagse neerslag (T=2 jaar)    | 83,3 mm/10 dagen | 8,33 mm/d (= 10-daagse bui met T=2 meteostations rond Amsterdam) |
| Gerelateerde referentie-gewas verdamping | 11 mm/maand =    | 0,35 mm/d (= langjarig gemiddelde november de Bilt)              |

Toename neerslag (ktoek)

0

Toename verdamping (ktoek)

0

Verdamping verhard

0,04 mm/d

Verdamping onverhard

0,35 mm/d

Netto neerslag verhard

8,29 mm/d

Netto neerslag onverhard

7,98 mm/d

Grondwateraanvulling bij verharding

0,83 mm/d

Grondwateraanvulling bij  
onverharding

6,78 mm/d

Piek grondwateraanvulling

6,78 mm/d

Infiltratiepercentage t.o.v. neerslag

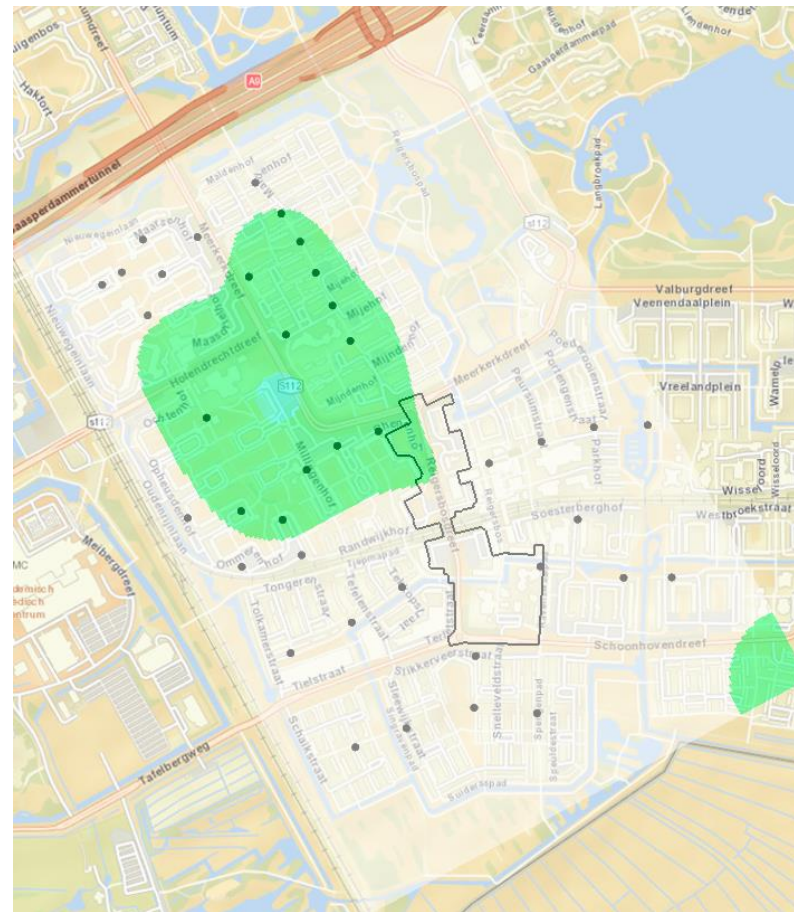
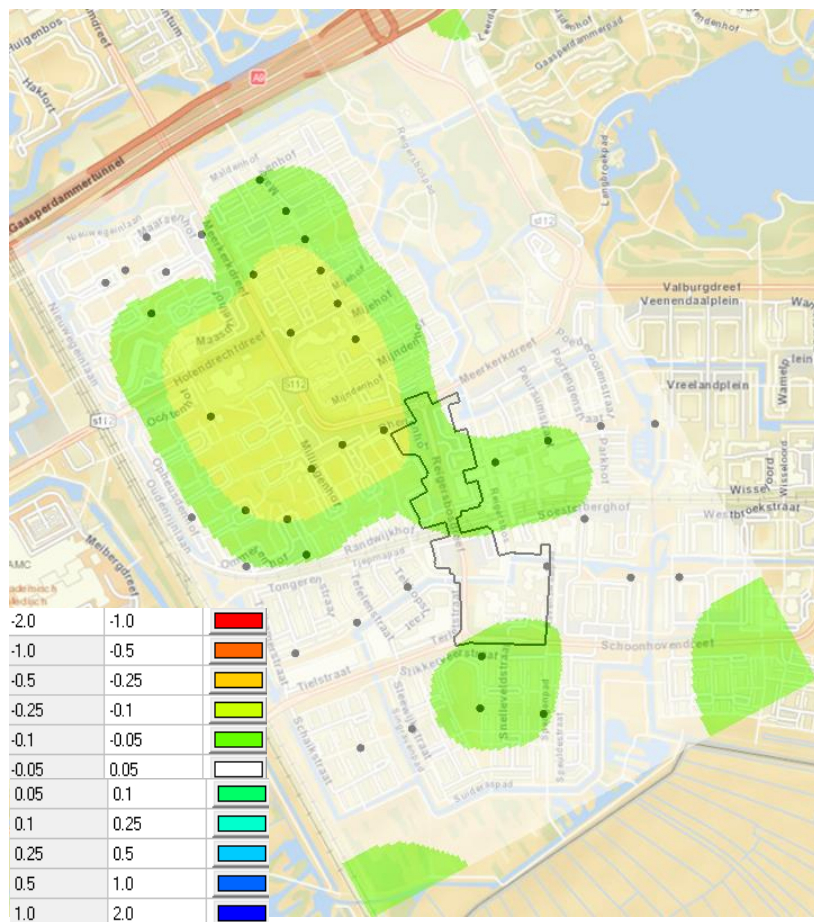
81 %

## **Bijlage 5 - Gevoeligheidsanalyse grondwatermodel**





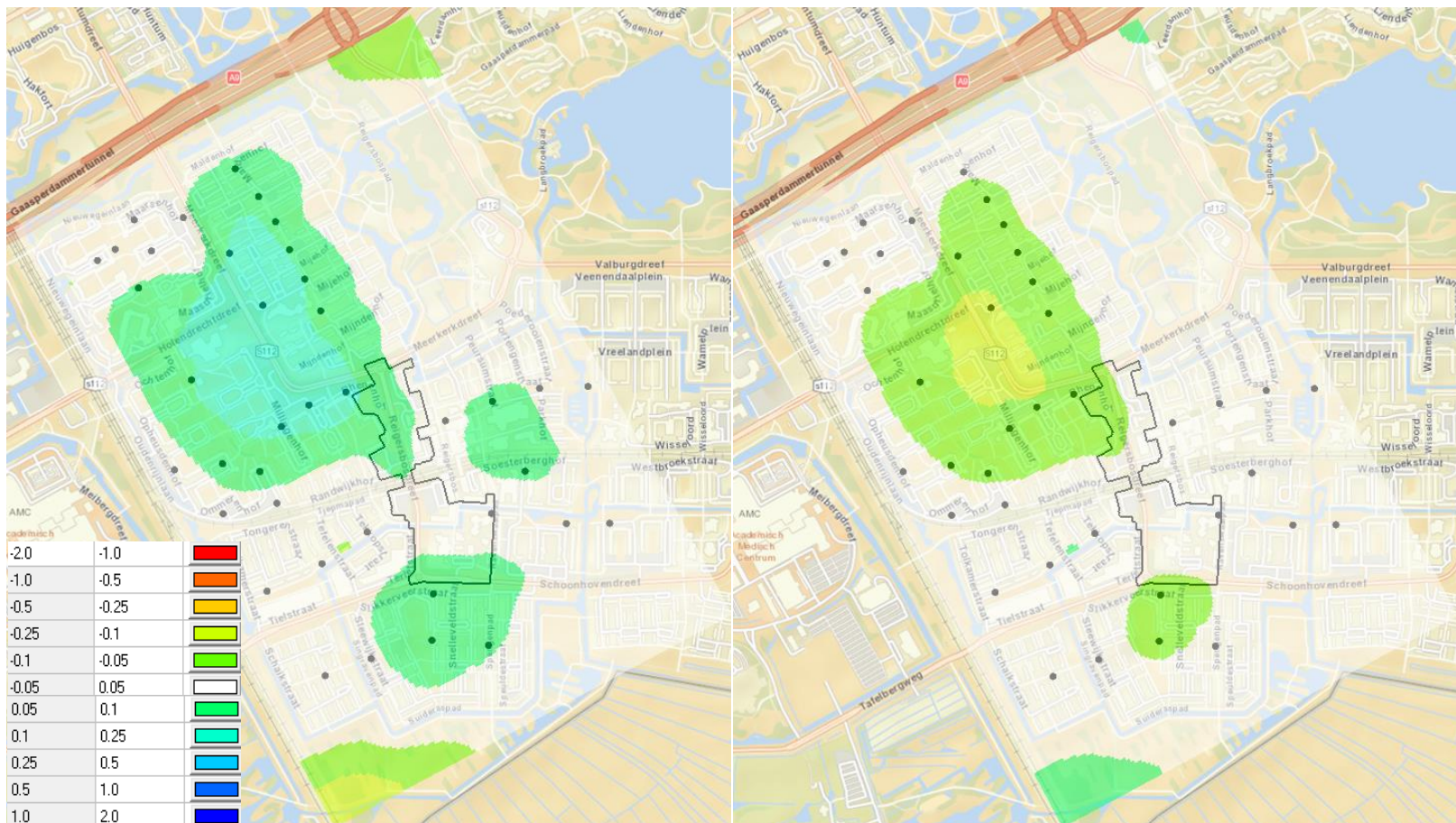
| Parameter | Lage waarde            | Referentiewaarde      | Hoge waarde             |
|-----------|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| C-deklaag | 3000 d (Kv=0,0015 m/d) | 4500 d (Kv=0,001 m/d) | 6000 d (Kv=0,00075 m/d) |



Effect lage waarde (links) en hoge waarde (rechts) tov referentiewaarde [m]



| Parameter                       | Lage waarde | Referentiewaarde | Hoge waarde |
|---------------------------------|-------------|------------------|-------------|
| Doorlatendheid freatisch pakket | 5 m/d       | 10 m/d           | 20 m/d      |



Effect lage waarde (links) en hoge waarde (rechts) tov referentiewaarde [m]





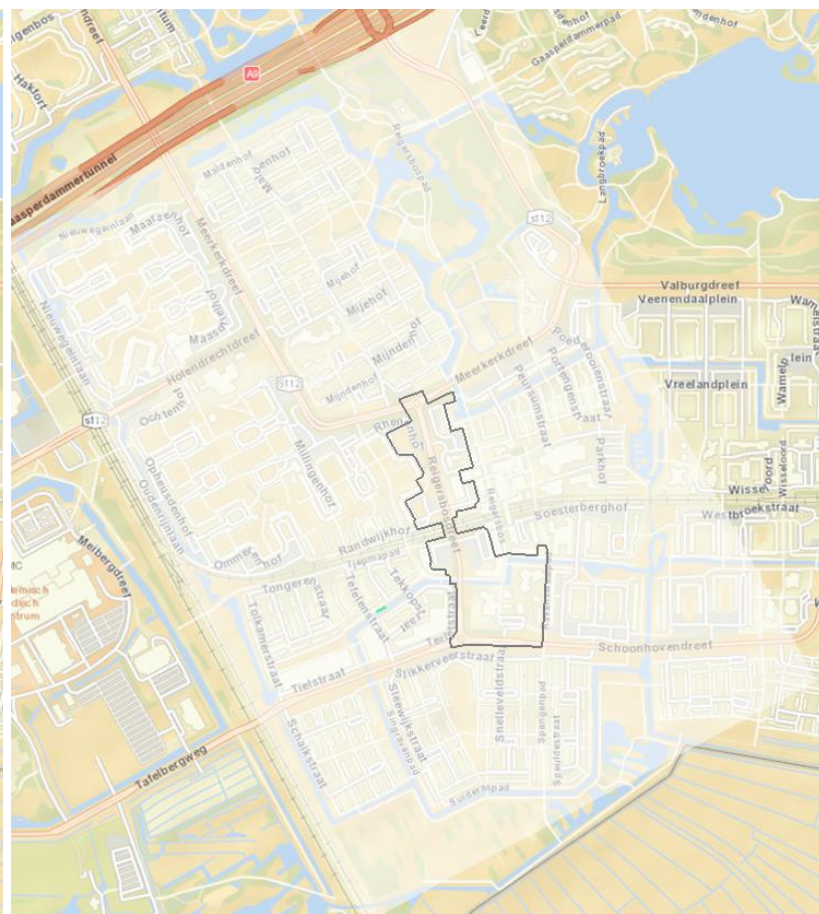
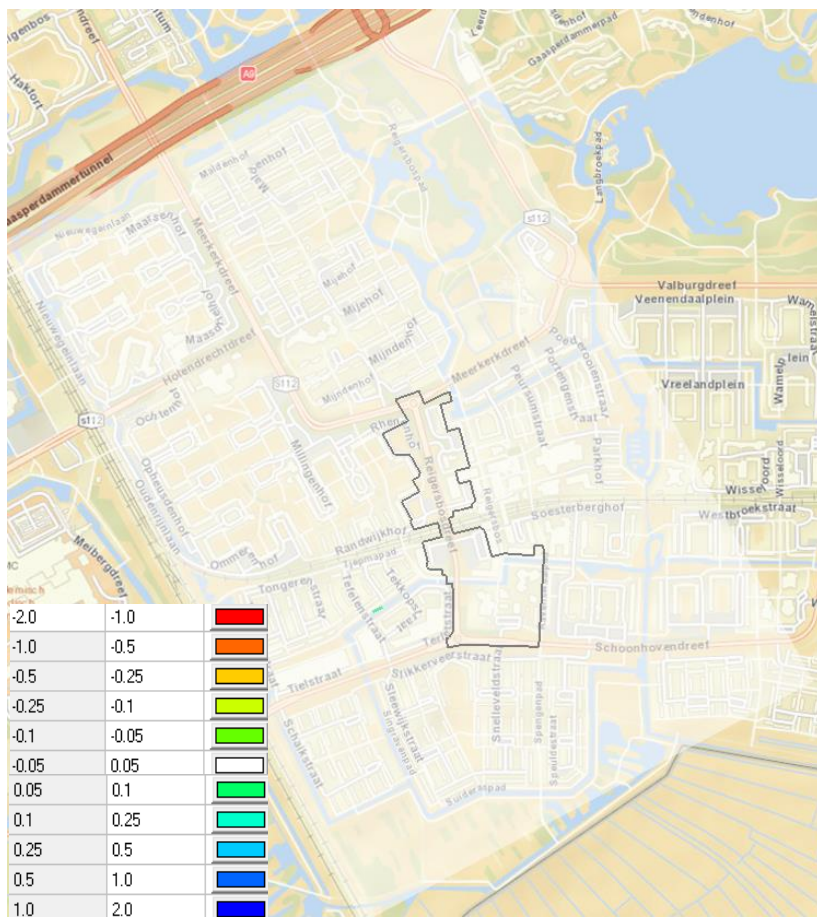
| Parameter            | Lage waarde | Referentiewaarde | Hoge waarde |
|----------------------|-------------|------------------|-------------|
| Grondwateraanvulling | 0,55 mm/d   | 0,70 mm/d        | 0,85 mm/d   |



Effect lage waarde (links) en hoge waarde (rechts) tov referentiewaarde [m]



| Parameter                  | Lage waarde | Referentiewaarde | Hoge waarde |
|----------------------------|-------------|------------------|-------------|
| Doorlatendheid watergangen | 0,1 d       | 0,4 d            | 2 d         |

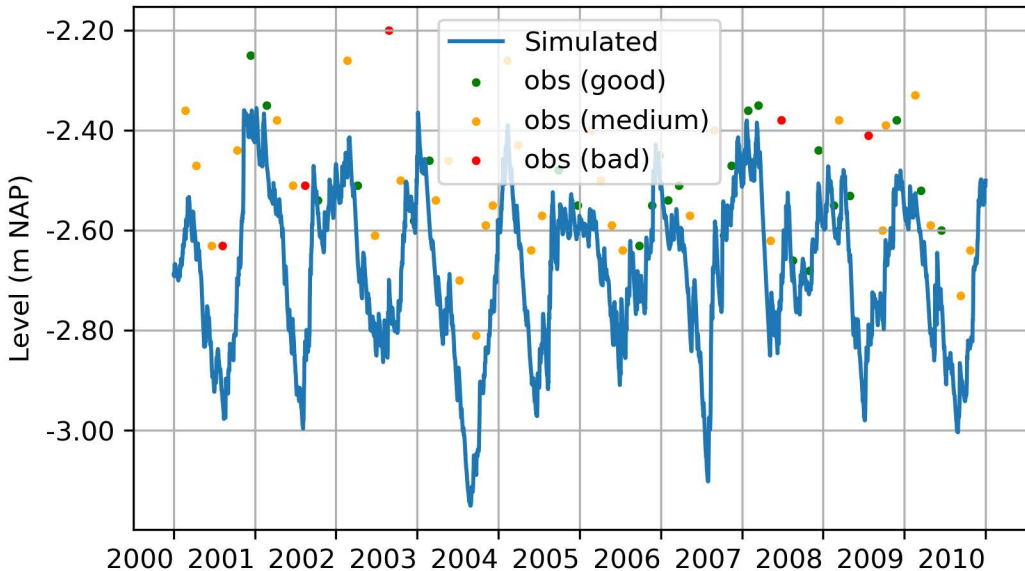


Effect lage waarde (links) en hoge waarde (rechts) tov referentiewaarde [m]

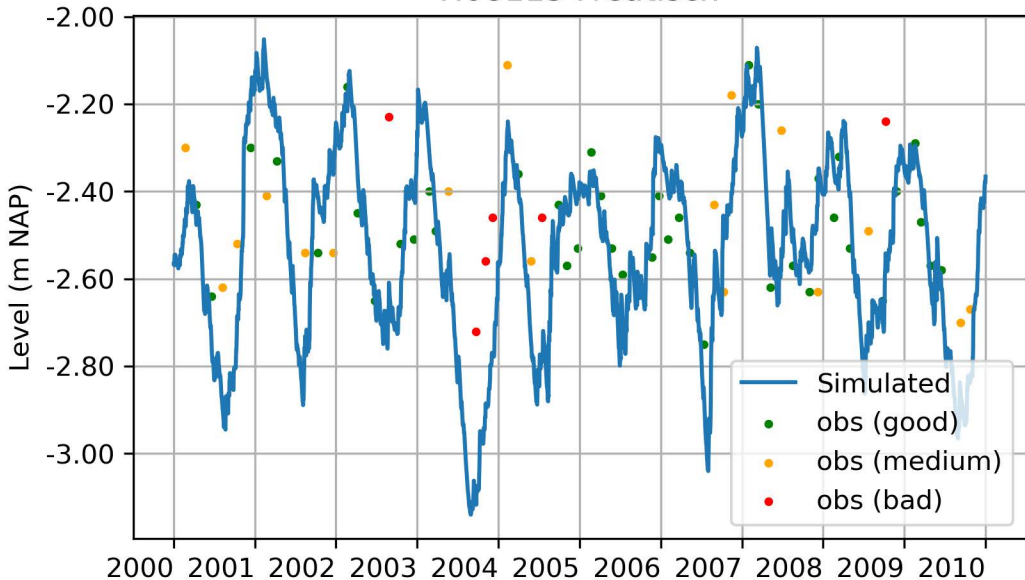


## **Bijlage 6 - Tijdreeksvergelijking grondwatermodel**

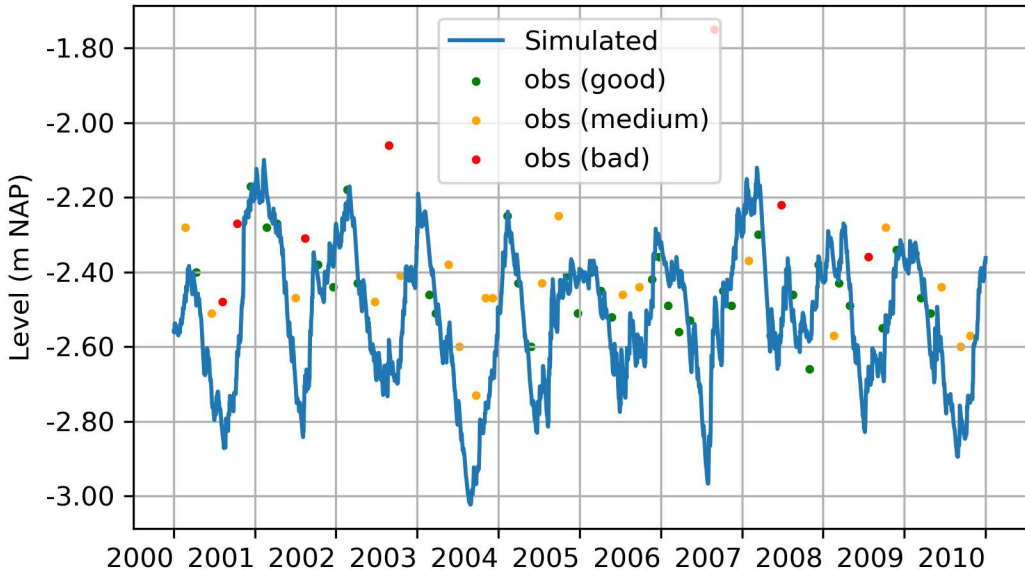
# H08111 Freatisch



# H08113 Freatisch

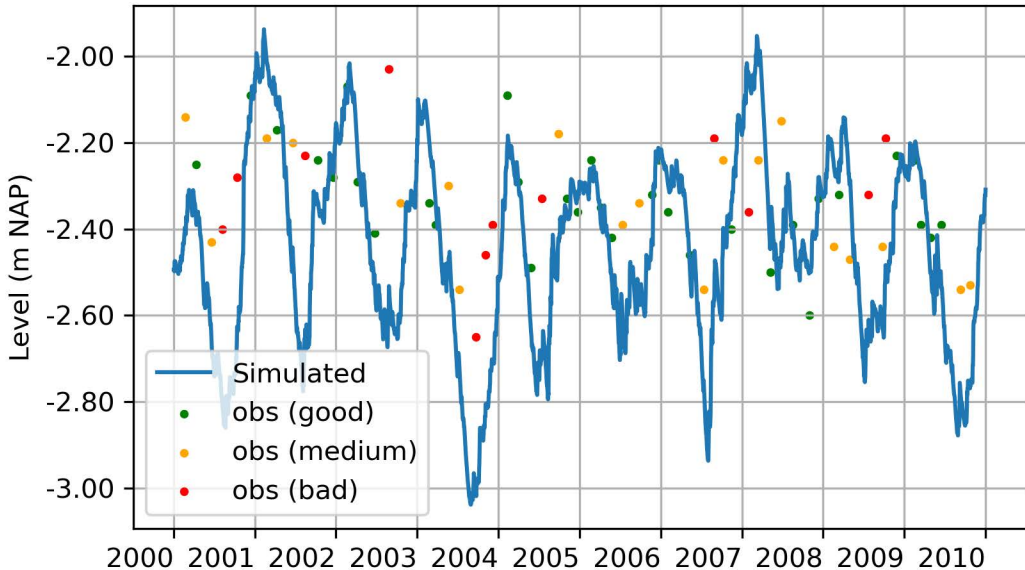


# H08122 Freatisch

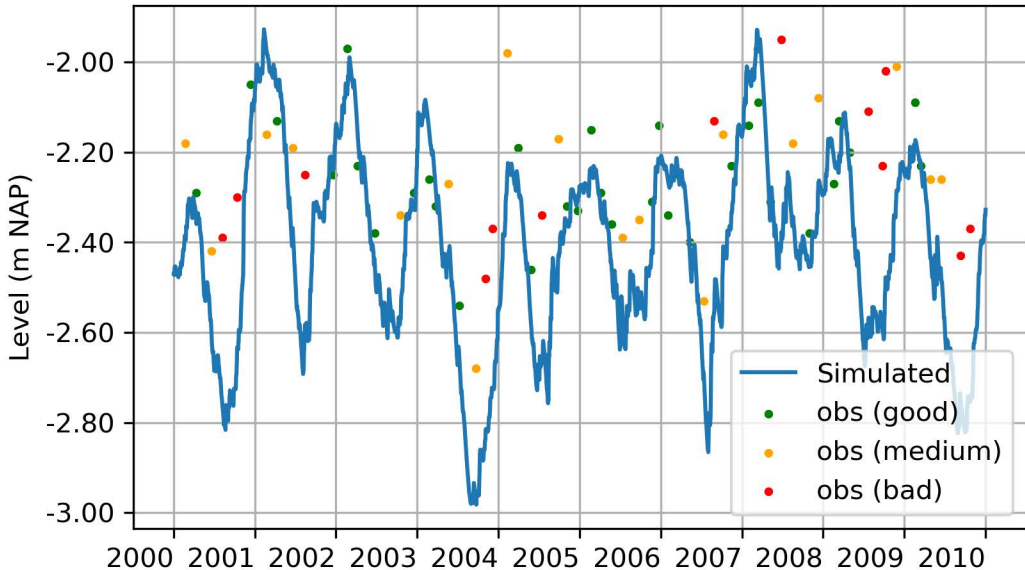




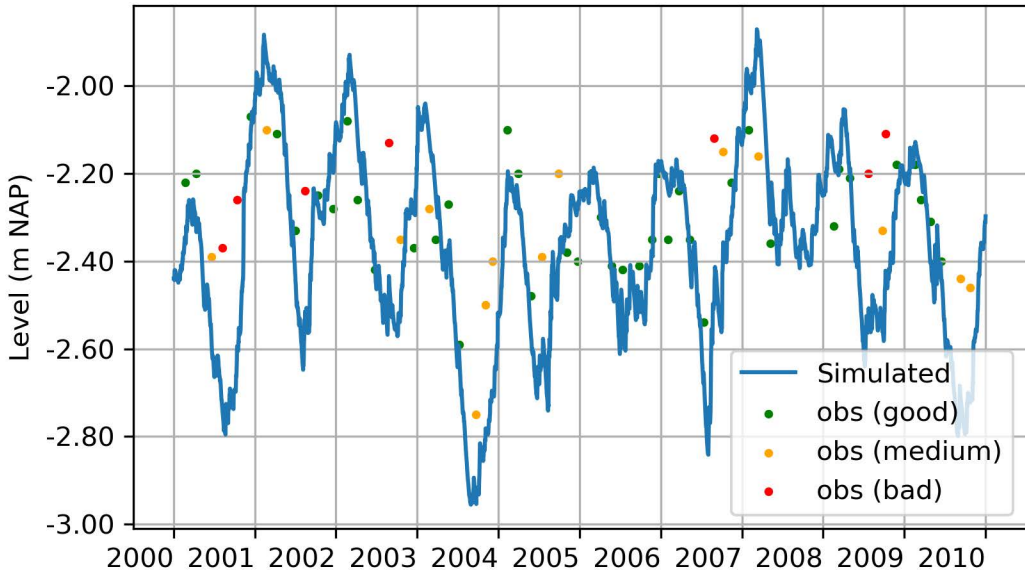
# H08123 Freatisch



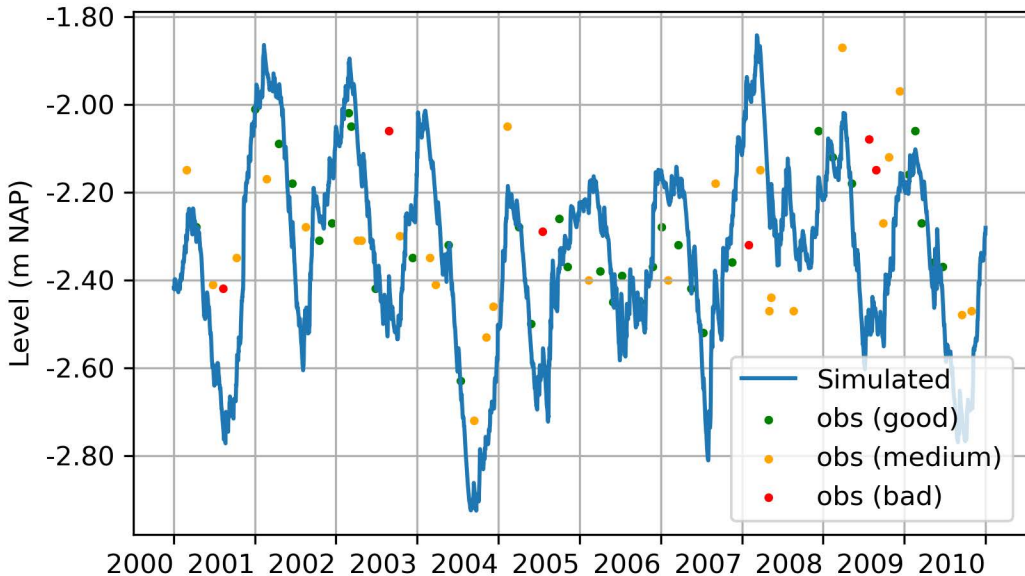
# H08124 Freatisch



# H08125 Freatisch

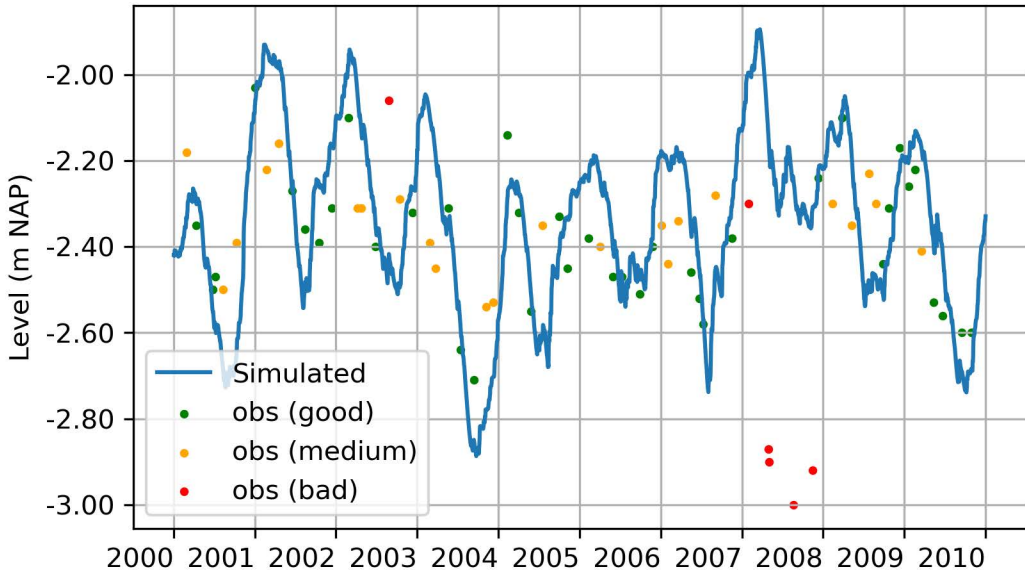


# H08126 Freatisch

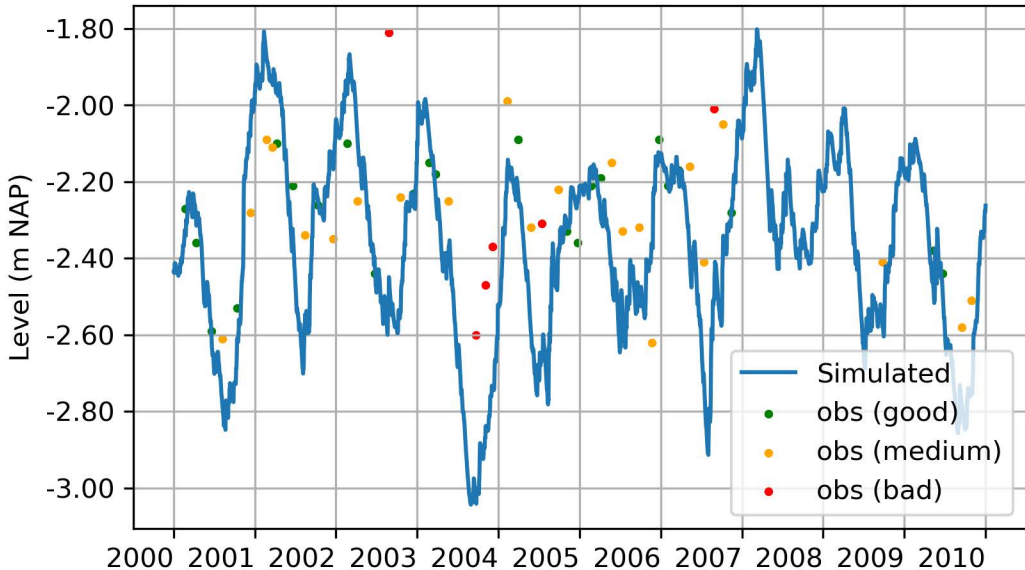




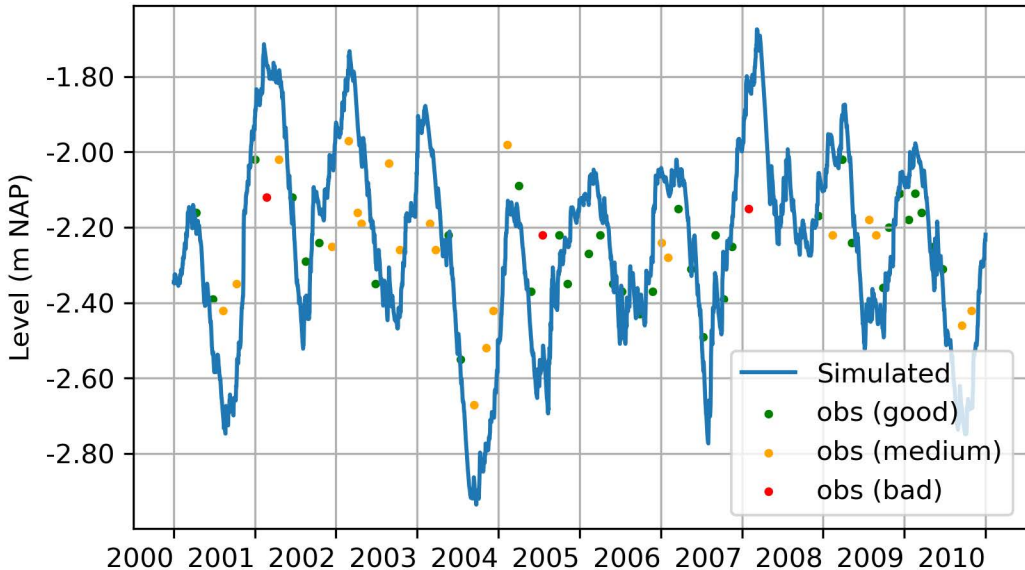
# H08127 Freatisch



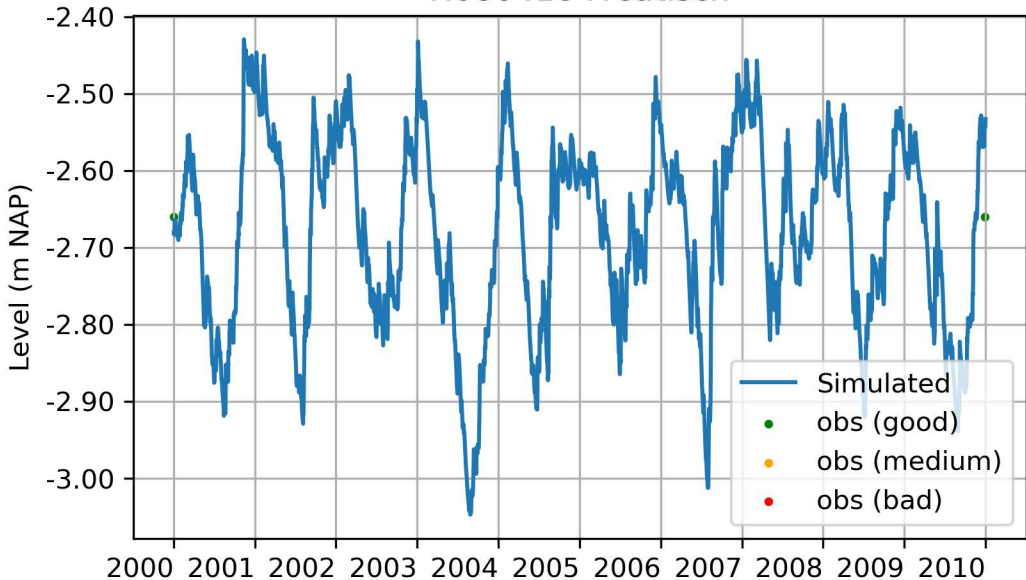
# H08148 Freatisch



# H08149 Freatisch

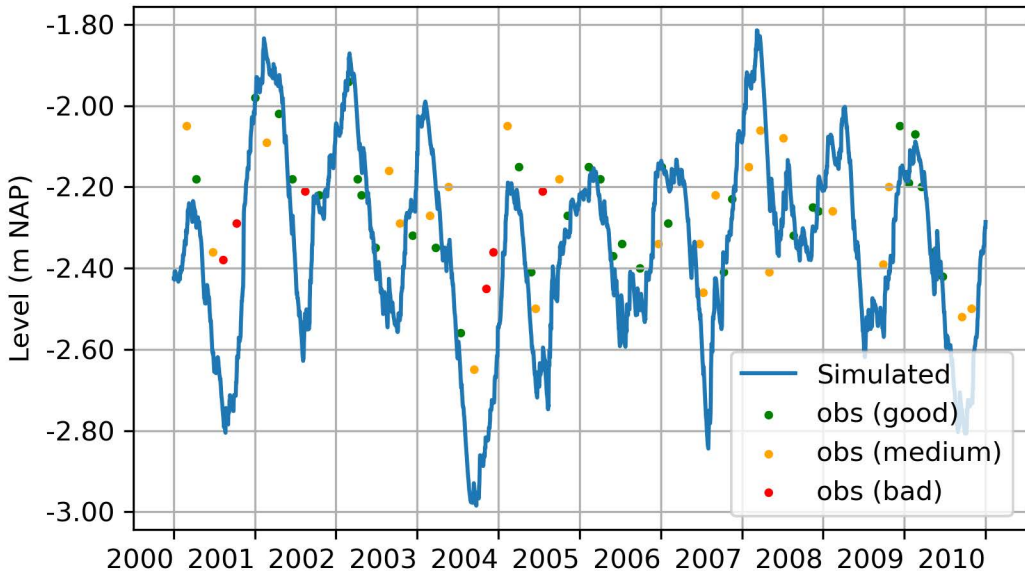


# H080418 Freatisch

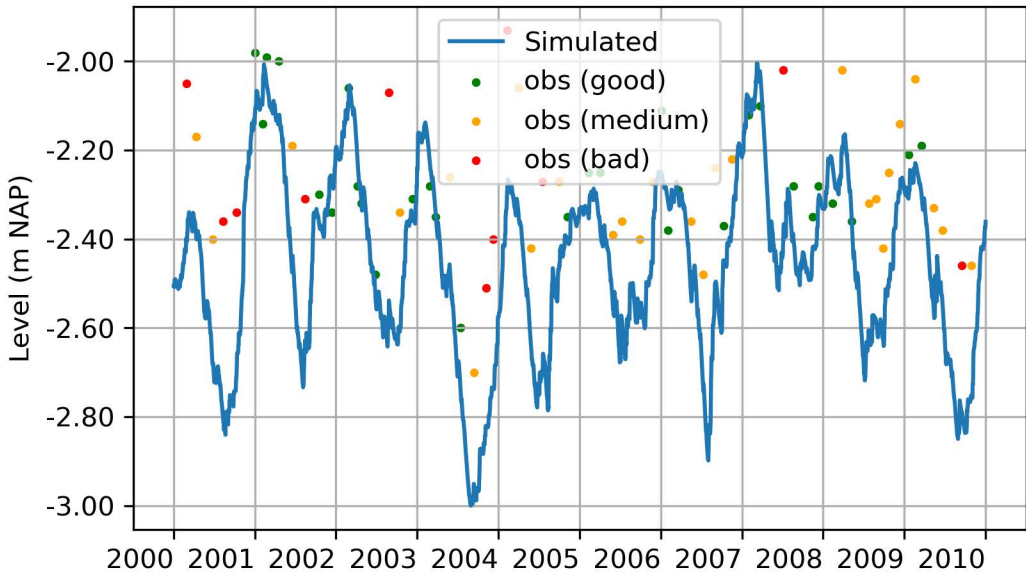




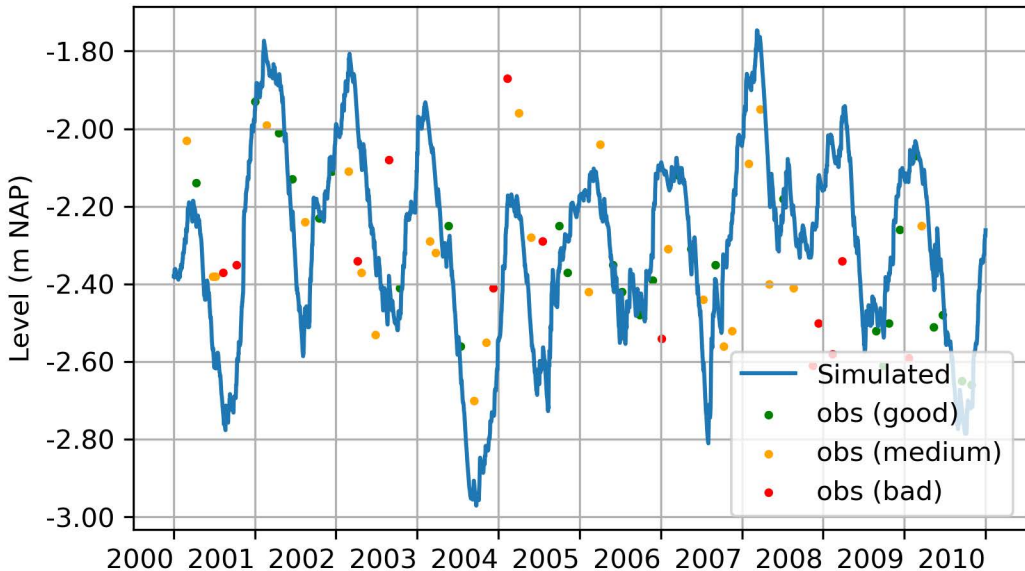
# J08020 Freatisch



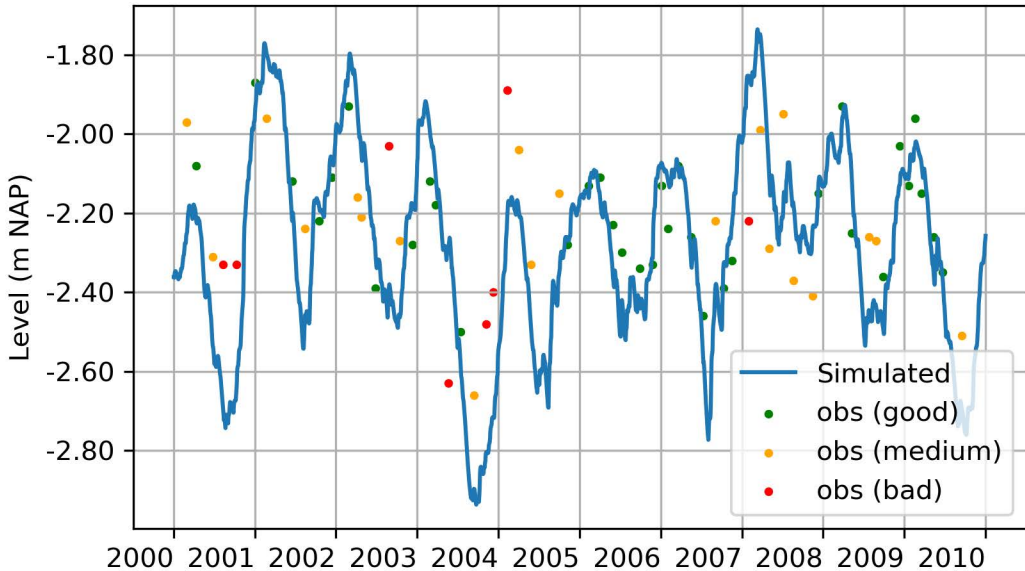
# J08025 Freatisch



# J08028 Freatisch

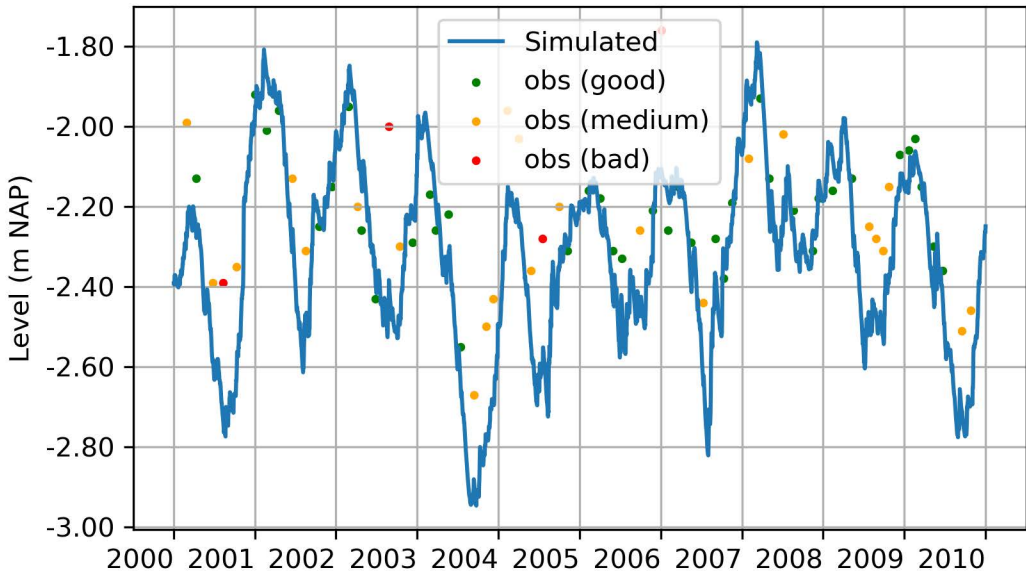


# J08030 Freatisch

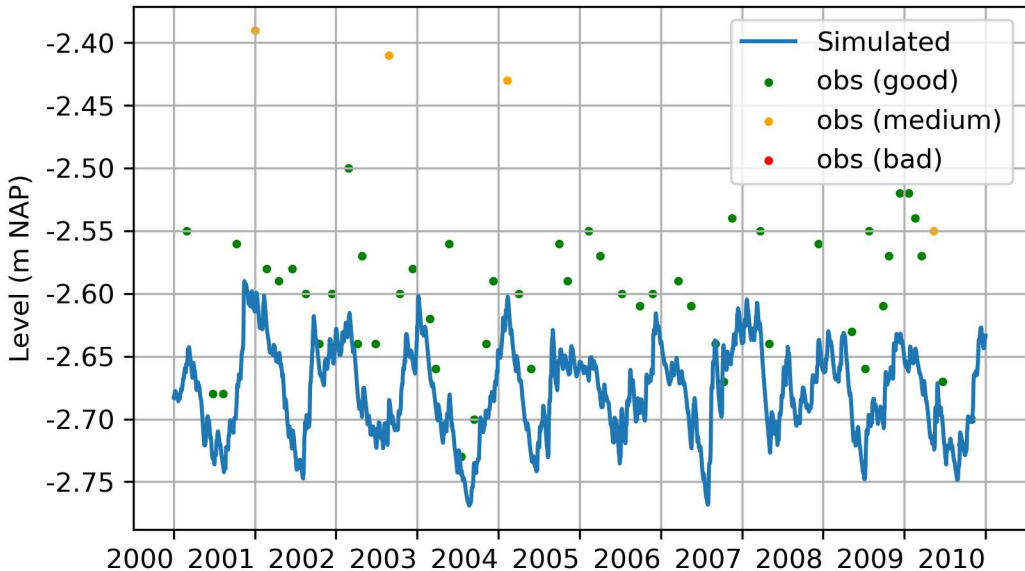




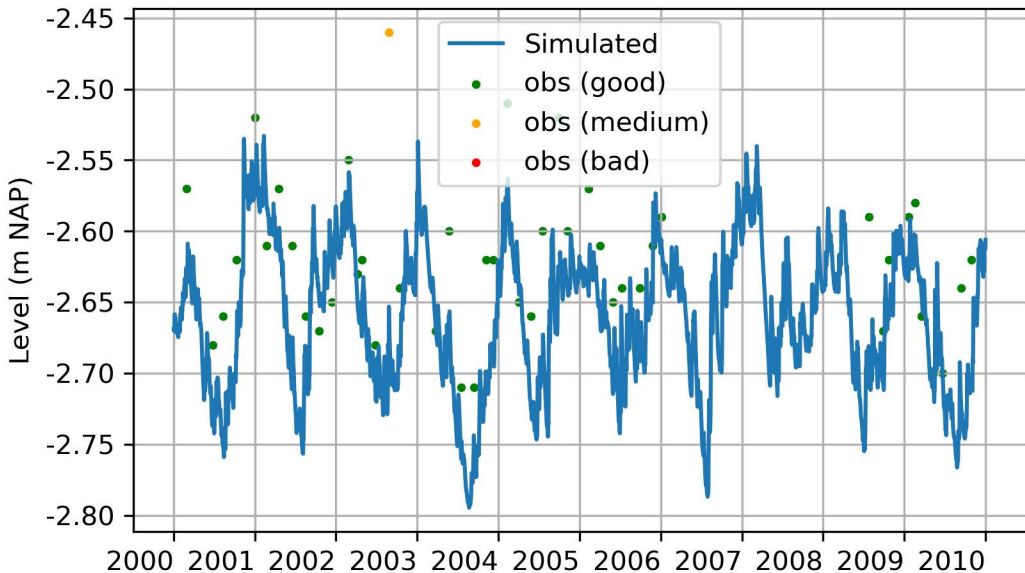
# J08032 Freatisch



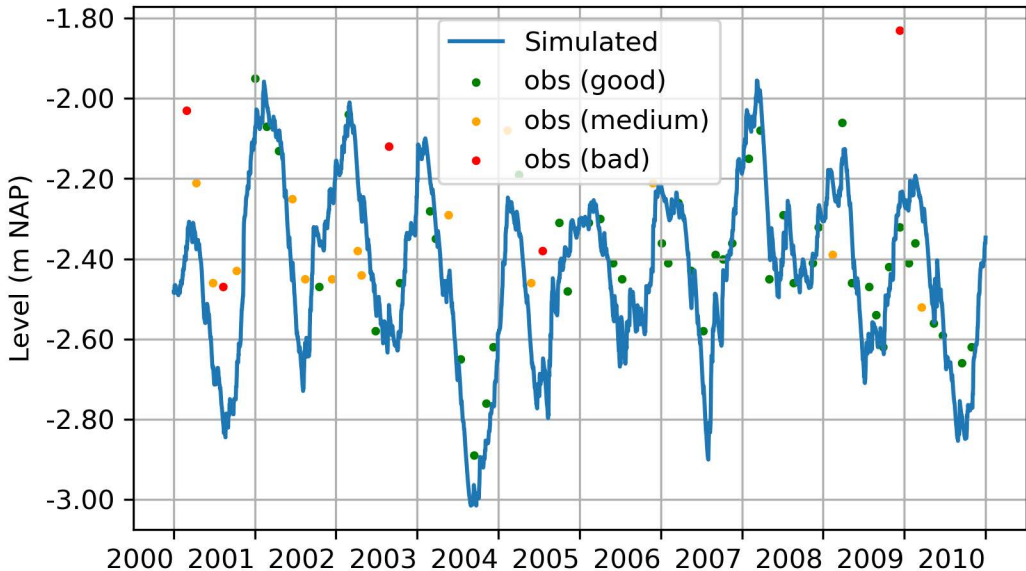
# J08034 Freatisch



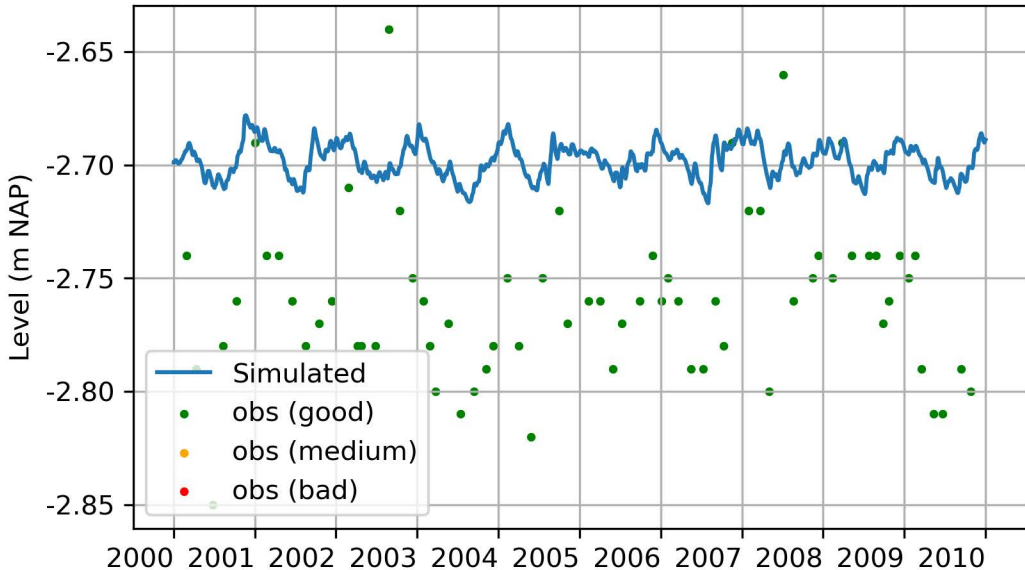
# J08038 Freatisch



# J08065 Freatisch

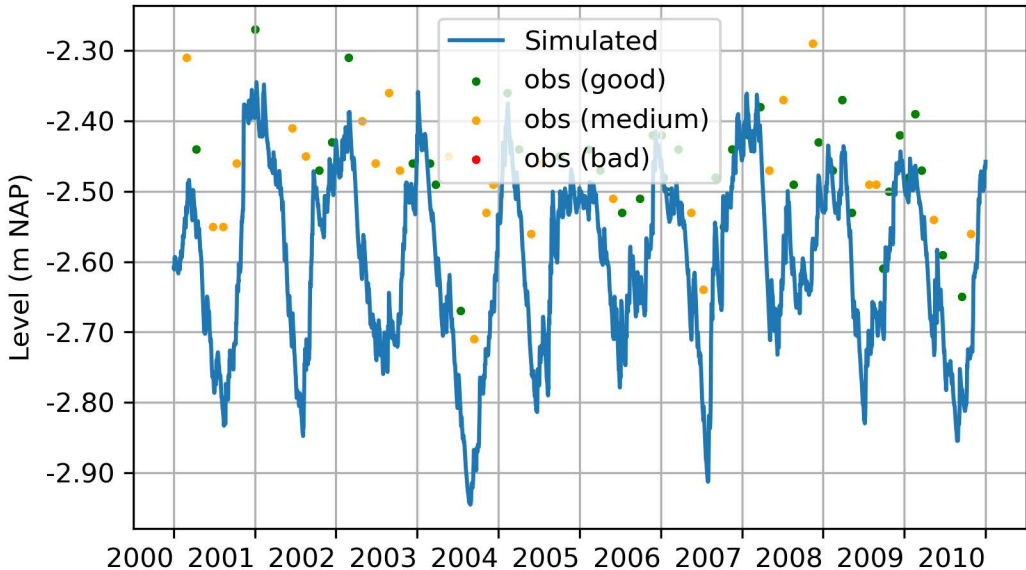


# J08069 Freatisch

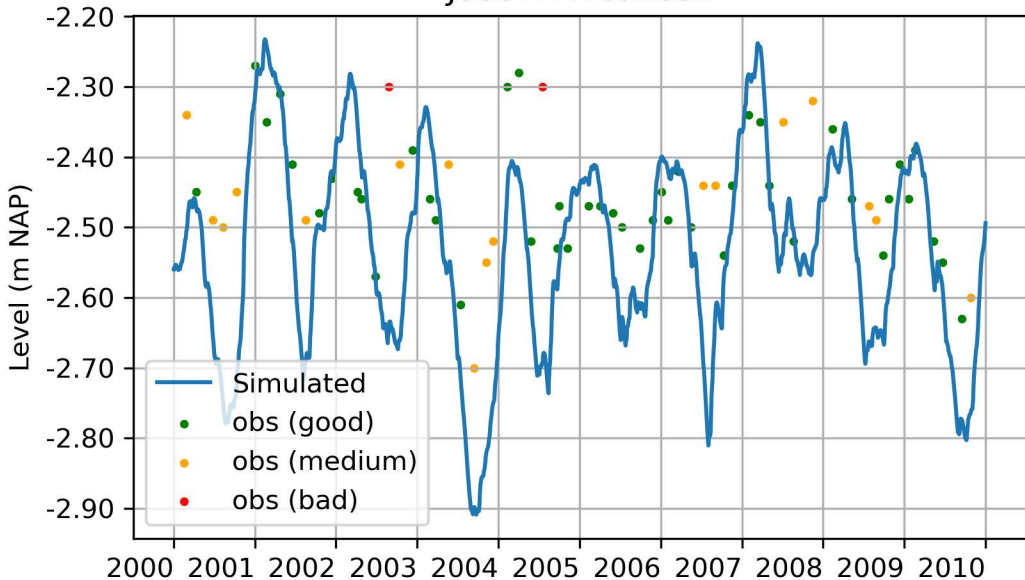




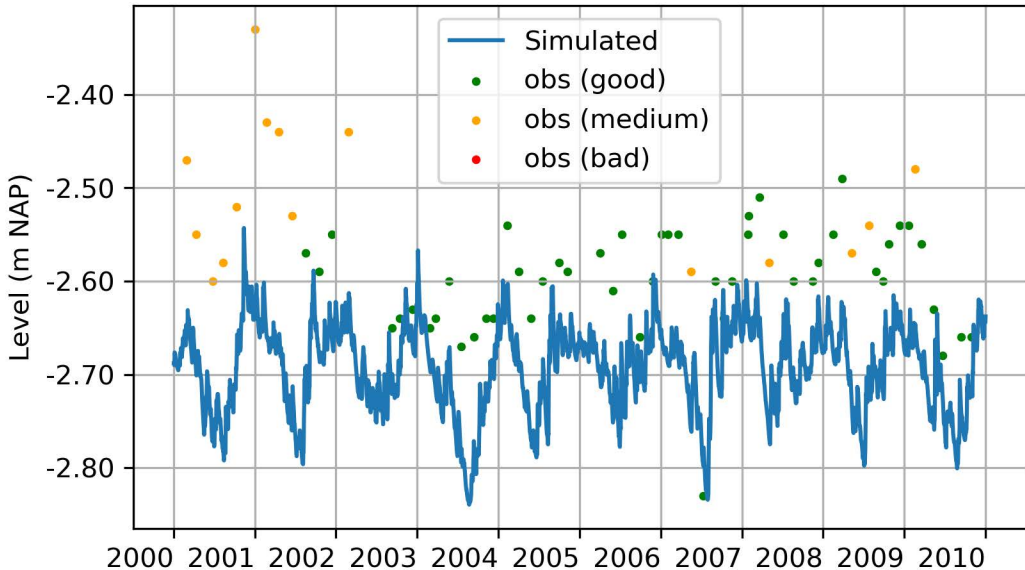
# J08070 Freatisch



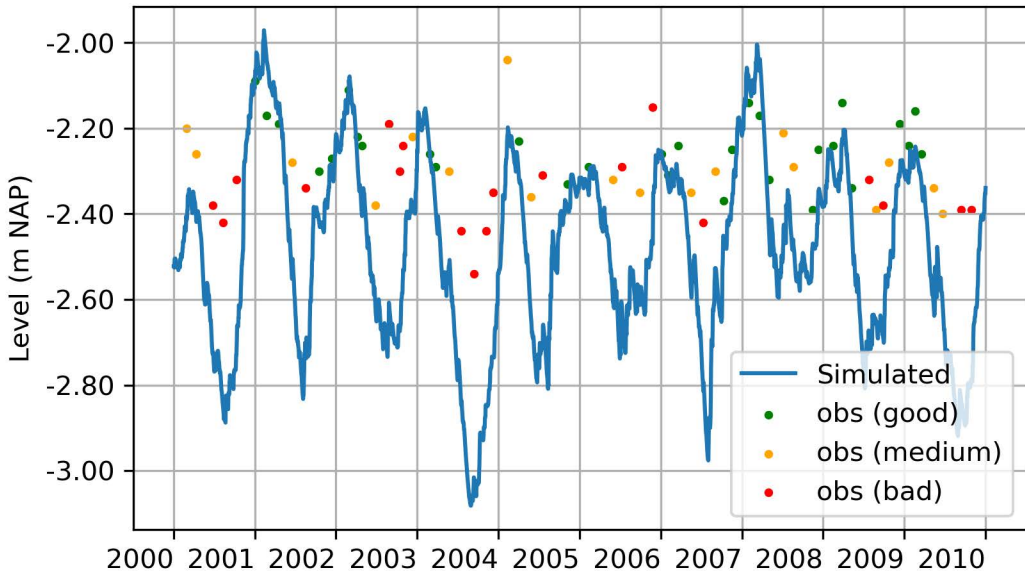
# J08072 Freatisch



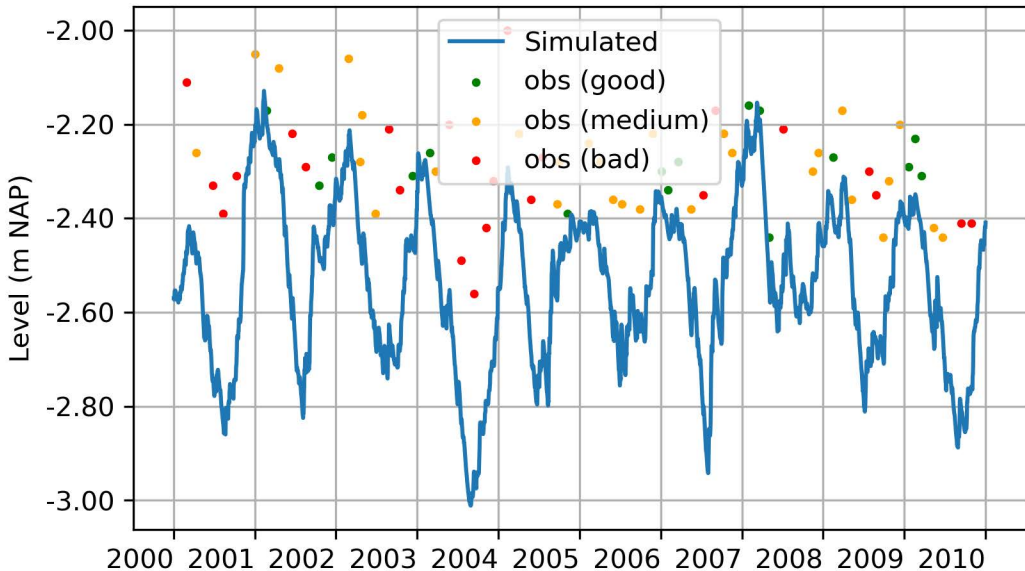
# J08073 Freatisch



# J08076 Freatisch

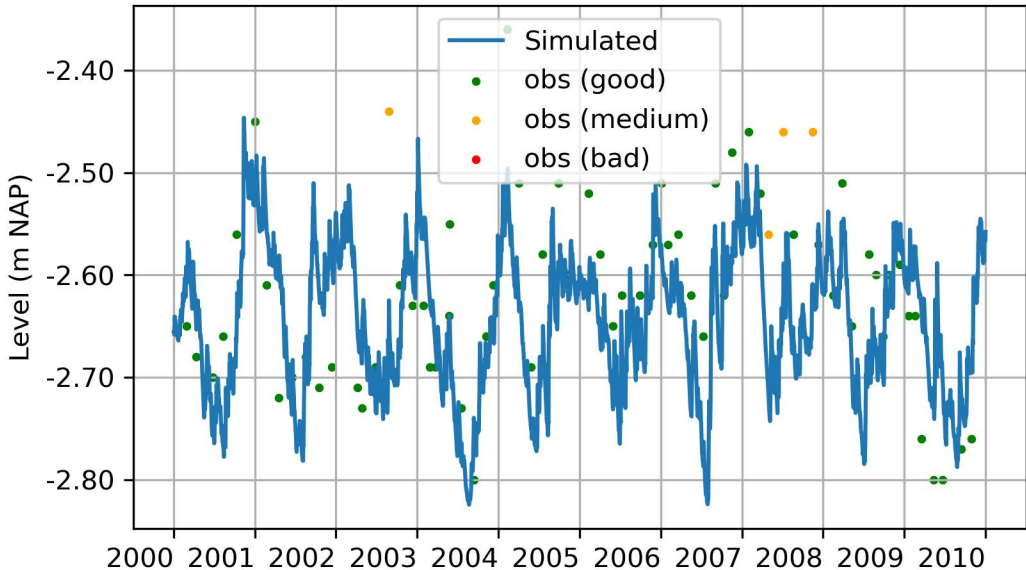


# J08080 Freatisch

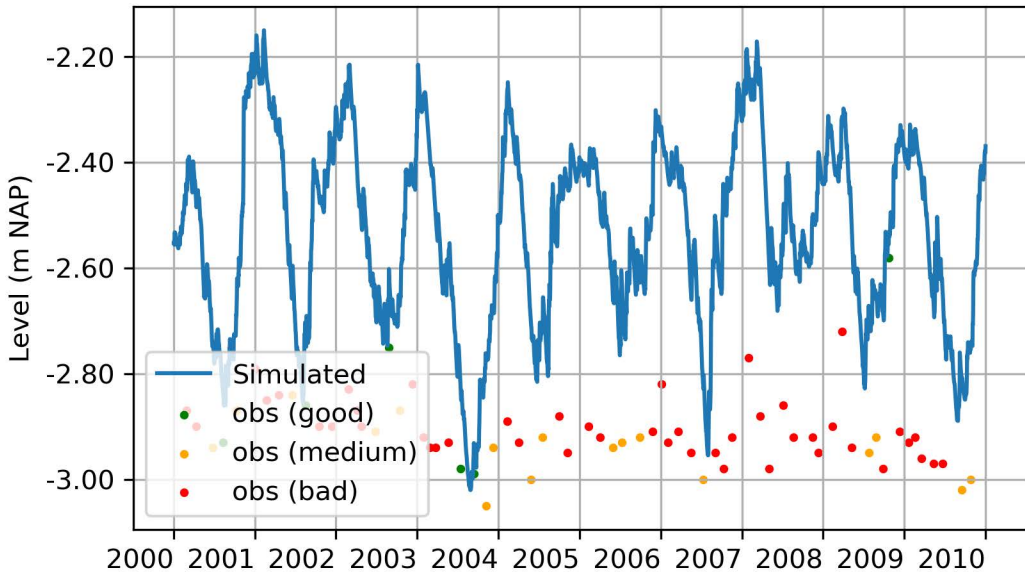




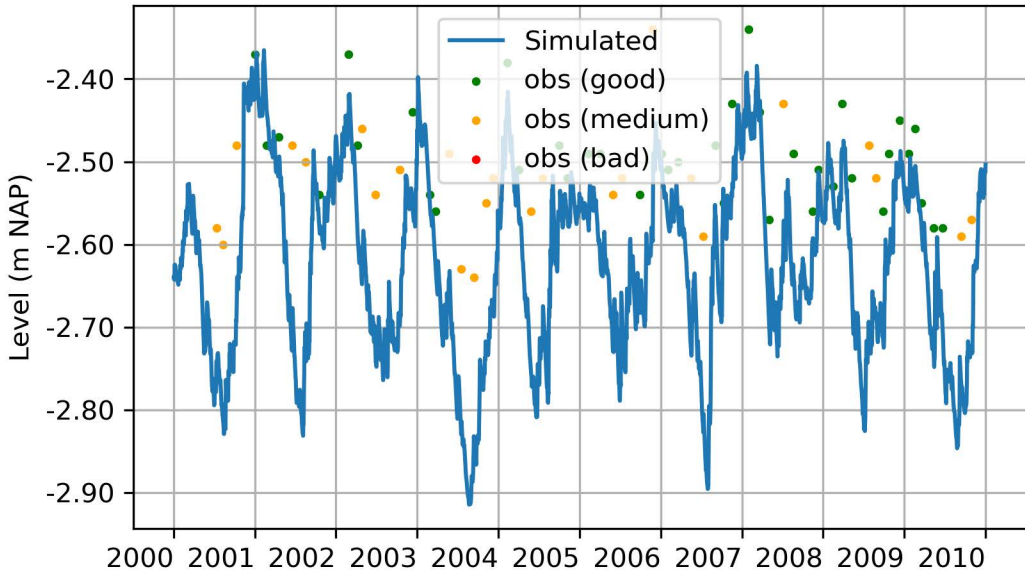
# J08093 Freatisch



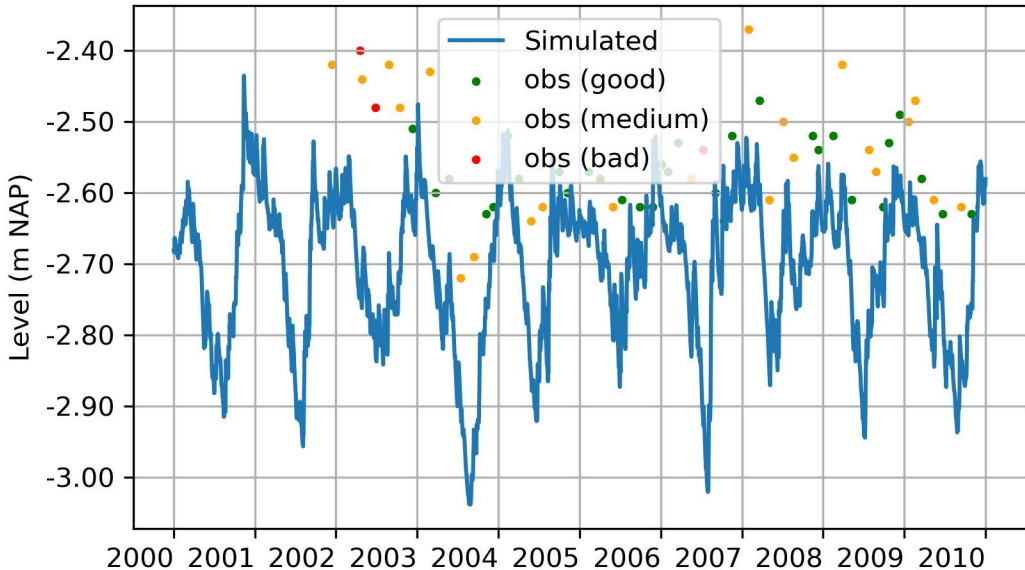
# J08094 Freatisch



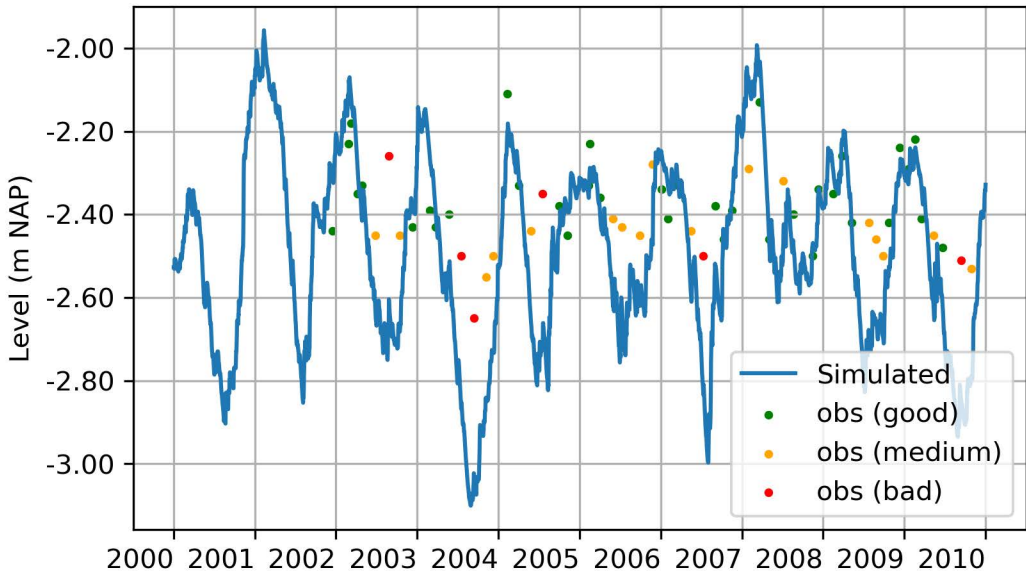
# J08095 Freatisch



# J08097 Freatisch



# J08099 Freatisch





# J08100 Freatisch

