

definitief
Versie 1.1
Februari 2011
165909



Gemeente Amsterdam
Ingenieursbureau

Land & Water

Groeiend grondwatermodel Zuidas Rapport

Auteur

Ir. J.J.M. Steenbergen
Ir. T.P. Timmermans

Opdrachtgever

Projectbureau Zuidas
Contactpersoon: dhr. B. van Eijk

Projectnummer

50334

Documentnummer: 165909			
autorisatie	naam	paraaf	datum
opstelling	J.J.M. Steenbergen		3-5-2011
	T.P. Timmermans		9-5-11
controle	I.C. Calvelage		9-5-11
vrijgave	T.P. Timmermans		9-5-11

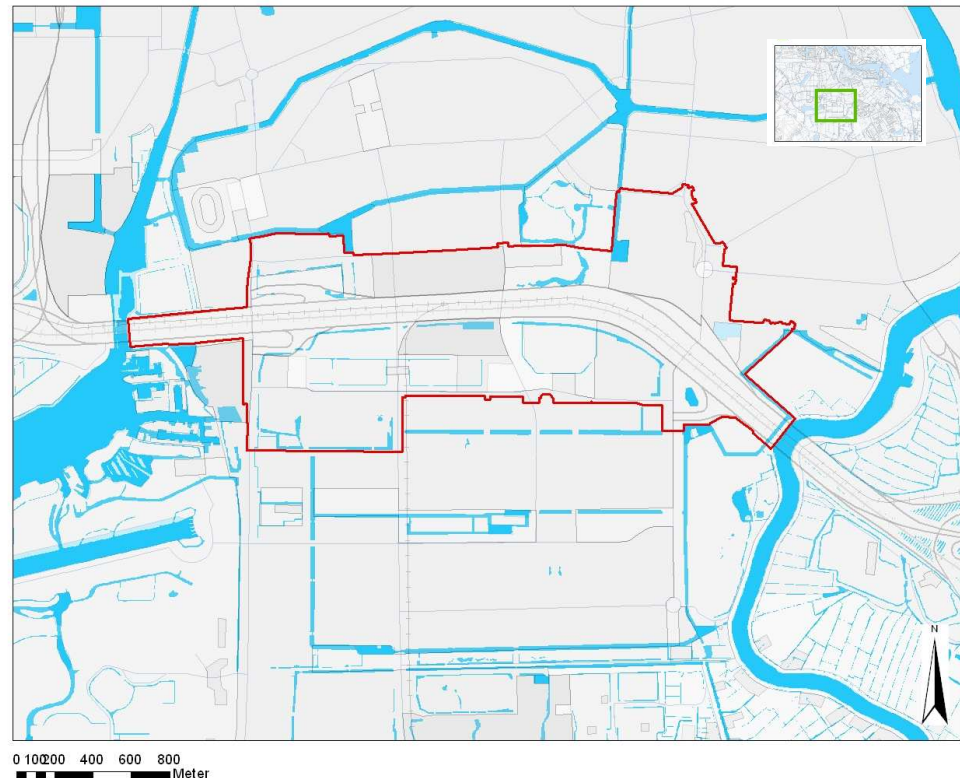
Inhoudsopgave

Gemeente Amsterdam.....	1
Auteur	1
Opdrachtgever	1
Projectnummer	1
1 Inleiding	3
2 Uitgangspunten	5
2.1. Uitgangspunten.....	5
3 Modelparameters	6
3.1.1. Gebiedsgrenzen en knooppunt dichtheid	6
3.1.2. Plangebied Zuidas	6
3.1.3. Freatisch invloedsgebied	6
3.1.4. Modelgebied	7
3.1.5. Knooppunt dichtheid	8
3.2. Oppervlaktewater.....	8
3.3. Meteo-informatie	9
3.4. Maaiveldinrichting en grondwateraanvulling	11
3.5. Bodemopbouw.....	12
3.5.1. Maaiveldniveau, ophooglaag en freatisch grondwater	12
3.5.2. Scheidende laag / slechtdoorlatende laag	15
3.5.3. Eerste watervoerend pakket en stijghoogte	16
3.6. Ondergrondse constructies	17
3.6.1. Effect ondergrondse constructies	17
3.6.2. Bestaande ondergrondse constructies in de Zuidas	18
3.6.3. Polderconstructies	19
4 IJking	20
4.1. Maatgevende grondwaterstanden	20
4.2. IJkingparameters	20
4.3. Resultaten ijking	22
4.3.1. Resultaat grondwaterstand	22
4.3.2. Resultaat weerstand slecht-doorlatende laag	27
4.3.3. Resultaat weerstand doorlatendheid freatisch pakket	29

5	Gevoeligheidsanalyse modelparameters	30
5.1.	Doorlatendheid	30
5.2.	Weerstand slecht-doorlatende laag.....	32
6	Conclusie	33
BIJLAGE 1 –	Dagneerslag meteo-stations rond Amsterdam	1
BIJLAGE 2 –	peilbuisgegevens en grondwaterstanden	2
BIJLAGE 3 –	Indeling verhard-, onverhard- en wateroppervlak in 2010.....	5
BIJLAGE 4 –	kaart percentage verhard oppervlak per deelgebied	6
BIJLAGE 5 –	grondwateraanvulling gemiddelde situatie	7
BIJLAGE 6 –	grondwateraanvulling pieksituatie	8
BIJLAGE 7 –	Gevoeligheidsanalyse weerstand slecht-doorlatende laag per deelgebied, inclusief gevoeligheidsanalyse	9
BIJLAGE 8 –	doorlatendheid freatisch pakket (k-waarden) per deelgebied (inclusief gevoeligheidsanalyse)	14
BIJLAGE 9 –	ijkresultaten.....	18
BIJLAGE 10 –	geraadpleegde boringen en sonderingen.....	19
Colofon.....		21

1 Inleiding

Projectbureau Zuidas werkt aan de gefaseerde ontwikkeling van een woon- en werkgebied nabij het station Amsterdam Zuid. Binnen het projectgebied Zuidas (zie Figuur 1) wordt een hoge bebouwingsdichtheid gerealiseerd met vele ondergrondse voorzieningen. Door de vele ondergrondse constructies, zoals rioolgemaal, parkeergarages, integrale kabel- en leidingtunnel (ILT) en het Zuidas Dok, die gerealiseerd zijn en worden, verandert de grondwaterstroming en daarmee de grondwaterstanden. Ook de verwachte aanpassing van het oppervlaktewater-systeem heeft consequenties voor de freatische (ondiepe) grondwaterstanden en grondwaterstroming.



Figuur 1: ligging Zuidas (grens van het Zuidas-gebied is weergegeven met het rode kader).

Voor de aanleg van verschillende ondergrondse constructies en aanpassing van gedeelten van het oppervlaktewatersysteem in de Zuidas zijn grondwater-onderzoeken uitgevoerd. Deze onderzoeken geven echter informatie over het effect van één wijziging op de grondwaterstand. Het cumulatieve effect van de verschillende wijzigingen bepaalt echter de toekomstige grondwaterstanden.

Een onderzoek naar het effect van alle wijzigingen in de Zuidas is in 2009 uitgevoerd [bron 1]. De nauwkeurigheid van het model bleef echter beperkt door de vele onzekerheden over de bestaande situatie en de toekomstige ontwikkelingen. Door de gefaseerde ontwikkeling van de Zuidas met een vraaggestuurde ontwikkeling is het moeilijk alle wijzigingen vooraf te bepalen.

In deze rapportage wordt het grondwatermodel “Groeimodel Zuidas” beschreven. In dit grondwatermodel is de huidige geohydrologische situatie van de Zuidas nauwkeurig opgenomen en uitgebreid geijkt op gemeten grondwaterstanden in de Zuidas. Met het zo opgestelde grondwatermodel kunnen in de toekomst alle wijzigingen in de Zuidas, zoals ondergrondse constructies, wijziging van het oppervlaktewatersysteem en ontwateringsmiddelen gemodelleerd worden. Daarnaast is het model geschikt om de debieten en het effect op de omgeving van freatische bemaling te bepalen.

2 Uitgangspunten

2.1. Uitgangspunten

We hanteren de volgende uitgangspunten bij het opstellen van het grondwatermodel:

- De gemeten neerslag van het dichtstbijzijnde meteostation (Schiphol) is representatief voor het modelgebied;
- Bij alle ondergrondse constructies wordt aangenomen dat het gehele freatische pakket geblokkeerd wordt. Het freatische doorlaatvermogen ter plaatse van ondergrondse constructies is zodoende 0 m²/d;
- Het grondwaterverlagende effect van polderconstructies door grondwaterstroming door een lekkende bouwkuip wordt verwaarloosd;
- Voor het percentage verhard / onverhard oppervlak en het oppervlaktewater in de Zuidas is gebruik gemaakt van de GBKA (Grootschalige BasisKaart Amsterdam) [bron 2]. Deze is ook gebruikt voor de waterbergingskaart van de Zuidas [bron 3];
- Voor het vaststellen van de hydraulische weerstand van de deklaag en de ligging van de onderkant van het freatisch pakket is gebruik gemaakt van boringen en sonderingen binnen het projectgebied [bron 4 en 5];
-

3 Modelparameters

In dit hoofdstuk worden de verschillende parameters besproken die als invoer gebruikt worden bij het grondwatermodel. Het grondwatermodel is opgezet in MicroFEM [bron 6].

3.1.1. Gebiedsgrenzen en knooppunt dichtheid

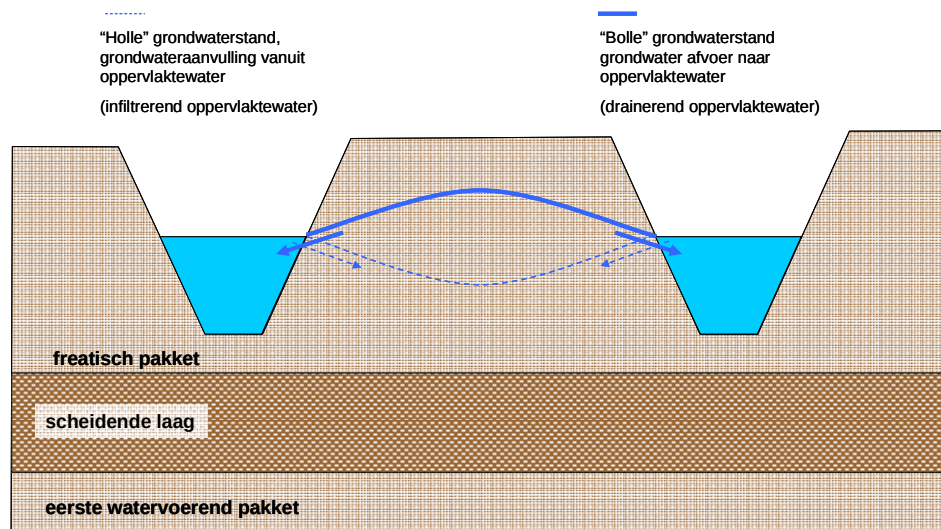
Binnen het grondwatermodel en dit rapport zijn drie verschillende gebieden gedefinieerd, te weten:

3.1.2. Plangebied Zuidas

Het plangebied Zuidas (zie Figuur 1) heeft een oppervlak van circa 270 ha [bron 7]. Binnen dit gebied zullen in de toekomst extra ondergrondse constructies worden aangelegd. Er worden bestaande watergangen gedempt en nieuwe watergangen gegraven. Ook zal de grondwateraanvulling binnen dit gebied wijzigingendoor de toename van de hoeveelheid verhard oppervlak.

3.1.3. Freatisch invloedsgebied

Het invloedsgebied van een wijziging in de freatische grondwaterstand wordt beperkt tot het dichtstbijzijnde oppervlaktewater. Het oppervlaktewater vormt een "vaste" basis voor het freatische grondwaterstand, doordat hier een aanzienlijke grondwateraanvulling of -ontrekking plaats kan vinden. De grootte van de grondwateraanvulling is afhankelijk van het verschil tussen het grond- en oppervlaktewaterstand (zie Figuur 2).



Figuur 2: schematisatie grondwateraanvulling vanuit oppervlaktewater.

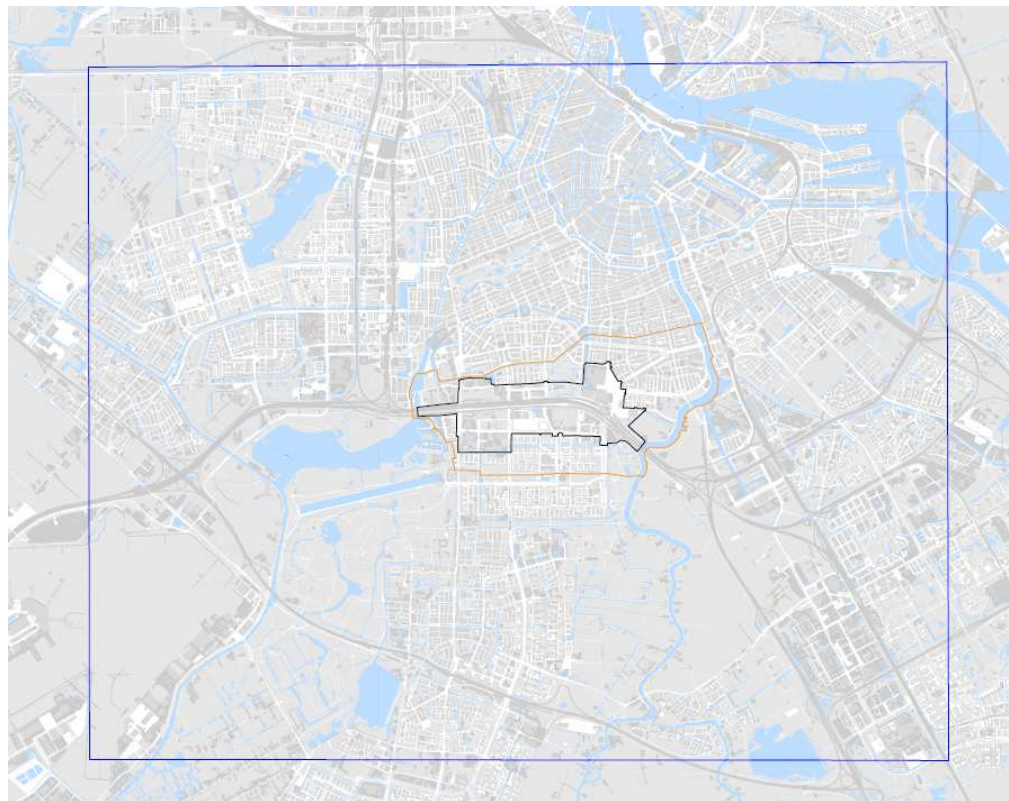
Het freatische invloedsgebied van wijzigingen in plangebied Zuidas heeft een oppervlak van circa 746 ha en wordt begrenst door:

- noordzijde: het Zuideramstelkanaal en het Amstelkanaal;
- oostzijde: De Amstel, de watergang langs begraafplaats Zorgvliet en de watergang ten noorden van het Amstelpark;
- zuidzijde: de watergang ten noorden van Oversinge en Magerhorst en de watergang ten zuiden van De kamp en Cannenburg;
- westzijde: de watergang ten westen van de Amstelveenseweg en de Jachthavenweg, het Olympiakanaal en de Stadiongracht.

3.1.4. Modelgebied

Het invloedsgebied van een wijziging in de stijghoogte (grondwaterstand) van het eerste watervoerend pakket is aanzienlijk groter dan bij het freatische pakket. Het invloedsgebied in het eerste watervoerende pakket wordt vaak bepaald met behulp van de volgende formule voor de spreidingslengte ($\lambda = \sqrt{(kD \times c)}$).

Uitgaande van een doorlaatvermogen voor het eerste watervoerend pakket van 750 m²/d [bron 8] en een maximale hydraulisch weerstand van de slechtdoorlatende laag van 10.000 dagen is de spreidingslengte circa 2,8 km. Het modelgebied bestaat uit een vierkant oppervlak, waarvan de grenzen minimaal 3 km buiten het plangebied Zuidas liggen, zodat in de toekomst het grondwatermodel ook geschikt gemaakt kan worden voor berekeningen van de stijghoogte en debieten bij spanningsbemaling.



Figuur 3: overzicht opbouw grondwatermodel. Deelgebied Zuidas (zwart kader), freatisch beïnvloedsgebied (bruin kader) en modelgrens / invloedsgebied eerste watervoerend pakket (blauw kader).

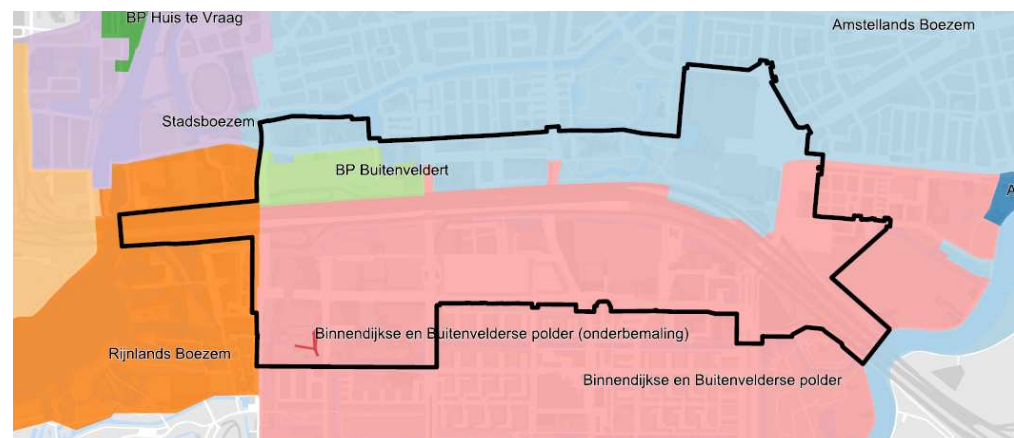
3.1.5. Knooppunt dichtheid

De knooppunt dichtheid binnen de plangebied Zuidas moet zo klein mogelijk zijn, zodat toekomstige ontwikkelingen makkelijk in het model gezet kunnen worden. Binnen het modelgebied is de uniforme knooppuntsafstand 4 m, dit is de kleinste mogelijke afstand binnen de beperkingen van MicroFEM (maximaal 50.000 nodes) en gewenste rekentijd (circa 5 tot 10 minuten). Buiten de Zuidas verloopt de knooppunt dichtheid tot een knooppunt afstand van 150 m bij de grens van het freatisch invloedsgebied. Daarbuiten (het invloedsgebied van het eerste watervoerend pakket) verloopt de knooppunt dichtheid tot 1.500 m bij de grens van het modelgebied.

3.2. Oppervlaktewater

Het plangebied Zuidas maakt deel uit van vier verschillende watersystemen (zie Figuur 4).

- Het plangebied Zuidas ten zuiden van het noordelijke talud van de ringweg A10 valt binnen de Binnendijkse en Buitenveldertse polder (circa 171,6 ha) [bron 9]. Het streefpeil in de watergangen van deze polder is NAP -2,0 m [bron 10].
 - De watergangen rond de Hortus Botanicus vormen een apart peilvak met een waterpeil van NAP -1,85 m [bron 10] (weergegeven met donkergroen in Figuur 4);
- Het plangebied Zuidas ten noorden van het noordelijke talud van de ringweg A10 valt binnen de Amstellands boezem (circa 72,4 ha) [bron 9]. Het streefpeil in de watergangen van deze boezem is NAP -0,4 m [bron 11];
- Het plangebied Zuidas ten westen van de Amstelveenseweg valt binnen de Rijnlands boezem (circa 11,3 ha) [bron 9]. In de watergangen van deze boezem wordt een zomerpeil van NAP -0,59 m en een winterpeil van NAP -0,62 m gehandhaafd [bron 11];
- De begraafplaats Buitenveldert en een klein deel van de omgeving vormen een afzonderlijke polder (circa 11,3 ha) [bron 9] met een polderpeil van NAP -2,0 m [bron 12];
- Binnen de Binnendijkse en Buitenveldertse Polder ligt op het terrein van de VU nog een onderbemaling met een jaarpeil van NAP -1,85 m.



Figuur 4: overzicht polders omgeving Zuidas

Het freatisch invloedsgebied valt nog binnen enkele andere watersystemen:

- Het gebied ten westen van de Amstelveenseweg en ten zuiden van sportpark Amstelpark valt binnen de Buitendijksche Buitenveldersche polder. In de watergangen van deze polder wordt een zomerpeil van NAP -1,70 m en een winterpeil van NAP -1,75 m gehandhaafd [bron 11];
- De watergangen rond Sportpark Schinkel vormen een apart peilvak binnen de Stadboezem [bron 13]. In de watergangen van deze polder wordt een zomerpeil van NAP -0,60 m en een winterpeil van NAP -0,70 m gehandhaafd [bron 13];
- Het gebied ten noorden van het IJsbaanpad en ten westen van de Amstelveenseweg valt binnen de Stadboezem [bron 13]. Het streefpeil in de watergangen van deze boezem is NAP -0,4 m [bron 13];
- Het gebied ten oosten van het De Mirandapad vormt de Atekpolder [bron 14]. Het streefpeil in de watergangen van deze polder is NAP -2,0 m [bron 14]. In de toekomst wordt deze polder mogelijk opgeheven, hiervoor zijn plannen in voorbereiding [bron 15];

3.3. Meteo-informatie

Het grondwater bolt op tussen de watergangen door de aanvulling van het grondwater door neerslag. De hoeveelheid neerslag is hiermee een van de belangrijke parameters voor de berekening van de grondwaterstanden.

Binnen de grondwatermodellering wordt gebruik gemaakt van de systematiek zoals beschreven in de Nota Grondwater [16]. Binnen deze systematiek wordt ter bepaling van de maatgevende grondwaterstanden gerekend met een langjarig gemiddelde neerslag gevolgd door een piekbui gedurende 10 dagen.

Voor de neerslag binnen het modelgebied wordt gebruik gemaakt van de gemeten neerslag van diverse meteo-stations (Amsterdam, Schiphol, Schellingwoude, Hoofddorp, Weesp, Abcoude, Aalsmeer, Lijnden) (zie BIJLAGE 1 – Dagneerslag meteo-stations rond Amsterdam). Een piekbui die gemeten wordt bij een metostation hoeft niet per definitie ook op hetzelfde moment op te treden bij de Zuidas. Wel kan gesteld worden dat de gemiddelde neerslaghoeveelheid en intensiteit van piekbuien op alle locaties gelijk zijn.

De gemeentelijke grondwaternorm gaat uit van een ontwatering die maximaal 1x per 2 jaar mag optreden. Uit de gegevens van de meteo-stations blijkt dat de neerslagintensiteit bij een 10-daagse piekbui die eens per twee jaar optreedt gemiddeld 8,3 mm/d bedraagt. De gemiddeld gemeten dagneerslag is 2,5 mm/dag.

Rekeninghoudend met het klimaatscenario 2006 Warm van het KNMI neemt de gemiddelde neerslag in de toekomst toe tot 2,6 mm/d (+14% [bron 17]). De 10-dagen piekbui neemt naar verwachting in de toekomst toe tot 9,7 mm/d (+16 % [bron 17]).

Tabel 1: Neerslaggegevens Waternet-systematiek en meteo-stations voor de gemiddelde neerslag en de 10-dagen neerslag

	Huidig	Incl. klimaatscenario
Waternet-Systematiek ('theoretische' rekenwaarden)		
Gemiddelde neerslag	2,5 mm/d	2,9 mm/d
10-dagen piekbui	7,2 mm/d	8,4 mm/d
Meteo-stations (gemeten waarden)		
Gemiddelde neerslag	2,3 mm/d	2,6 mm/d
Maximale gemiddelde maandneerslag meteo-station Schiphol	89 mm/maand = 3,0 mm/d (november)	3,5 mm/d
Maximale maandneerslag meteo-station Schiphol	196,2 mm/maand = 6,5 mm/d (november 2000)	7,6 mm/d
10-dagen piekbui (T=2 jaar)	8,3 mm/d	9,7 mm/d

Uit de bovenstaande tabel (Tabel 1) kan geconcludeerd worden dat de gemiddelde neerslag uit de Waternet-systematiek zwaarder is dan de huidige optredende gemiddelde neerslag. De 10-dagen piekbui uit de systematiek is echter minder intensief dan de gemeten gemiddelde 10-daagse piekneerslag. De piekbui uit de Waternetsystematiek treedt circa één keer per jaar op, in plaats van één keer per twee jaar waar de gemeentelijke grondwaternorm van uit gaat.

Een deel van de gevallen neerslag komt de grondwateraanvulling niet ten goede, maar verdampt (van het maaiveld, de toplaag van de bodem (evaporatie) en door planten (transpiratie)). Bij de modellering is rekening gehouden met een gemiddelde daggewasverdamping van 1,49 mm/d (gemiddelde gewasverdamping meteo-station De Bilt tussen 1971 en 2000) en een gewasverdamping van 0,35 mm/d gedurende de 10-dagen piekbui (gemiddelde gewasverdamping meteo-station De Bilt in november tussen 1971 en 2000). De werkelijk optredende verdamping is afhankelijk van het type maaiveldinrichting. Voor verhard oppervlak wordt rekening gehouden met een gewasfactor van 0,1 en voor onverhard oppervlak wordt rekening gehouden met een gewasfactor van 1,0 (grasland [bron 18]).

Tabel 2: Verdamping, gemiddelde waarde en gedurende de 10-dagen bui voor onverhard en verhard oppervlak

	Referentie-gewasverdamping	Verdamping bij verhard oppervlak	Verdamping bij onverhard oppervlak
Gemiddeld	1,49 mm/d	0,149 mm/d	1,49 mm/d
10-dagen piekbui (T=2 jaar)	0,35 mm/d	0,035 mm/d	0,35 mm/d

3.4. Maaiveldinrichting en grondwateraanvulling

Een groot deel van de neerslag op onverhard oppervlak infiltreert naar het grondwater. Bij verhard oppervlak wordt echter het merendeel van de neerslag via het maaiveld en een hemelwaterafvoer (HWA) afgevoerd naar het oppervlaktewater. Zodoende vindt er ter plaatse van het verhard oppervlak nauwelijks of geen grondwateraanvulling plaats.

Bij het grondwatermodel wordt voor het verharde oppervlak rekening gehouden met een infiltratiecoëfficiënt van 0,1 [bron 9]. Dit betekent dat van de netto-neerslag slechts 10% infiltreert naar het grondwater. Bij het onverharde oppervlak geldt een infiltratiecoëfficiënt van 0,85 [bron 19]. De grondwateraanvulling bestaat uit de geïnfiltreerde neerslag verminderd met het deel dat hiervan verdwijnt door verdamping en transpiratie.

In de onderstaande tabel (Tabel 3) zijn de bruto en netto neerslag en de algemene grondwateraanvulling nog eens samengevat.

Tabel 3: Grondwateraanvulling en bruto- en netto-neerslag verhard en onverhard oppervlak

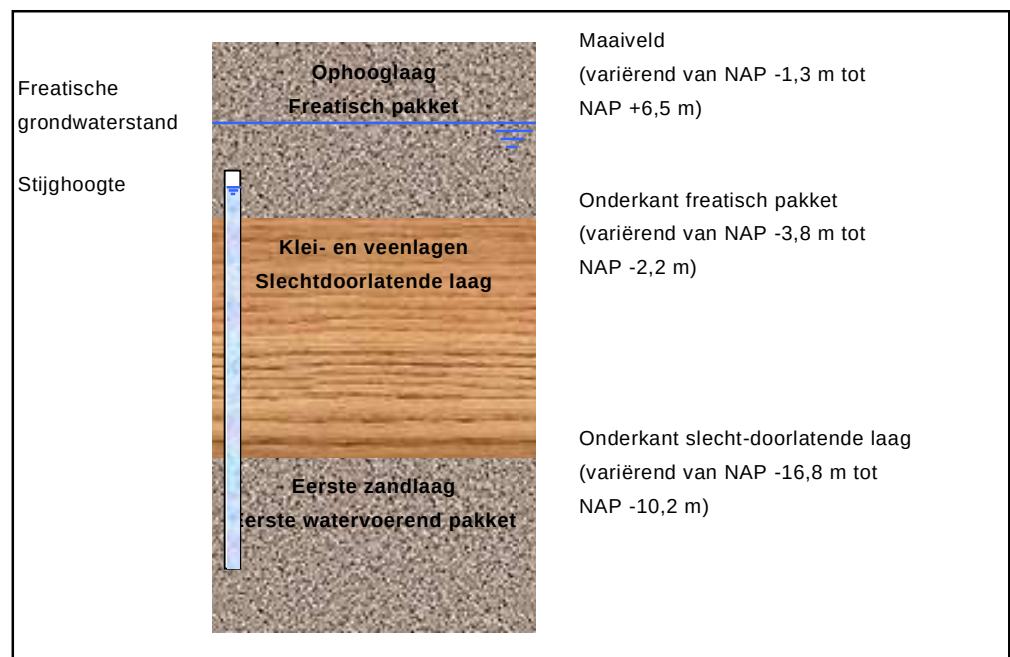
	Gemiddeld		10-dagen bui (T=2 jaar)	
	Huidig	Toekomst	Huidig	Toekomst
Bruto-neerslag [mm/d]	2,3	2,6	8,3	9,7
Geïnfiltreerde neerslag [mm/d]				
• Verhard	0,23	0,26	0,83	0,97
• Onverhard	1,95	2,24	7,08	8,21
Verdamping & transpiratie [mm/d]				
• Verhard	0,15		0,04	
• Onverhard	1,49		0,35	
Grondwateraanvulling [mm/d]				
• Verhard	0,08	0,11	0,80	0,93
• Onverhard	0,48	0,75	6,72	7,86

Met een geografisch informatiesysteem (GIS) is per deelgebied van de Zuidas de verdeling van verhard en onverhard oppervlak bepaald voor de huidige situatie (2010) (zie BIJLAGE 3 – Indeling verhard-, onverhard- en wateroppervlak in 2010). Als basis-kaart voor deze bepaling is de huidige GBKA-kaart [bron 2] gebruikt. Bij het toekennen van de status verhard of onverhard is de indelingssystematiek gebruikt zoals ook gebruikt bij de referentiesituatie 2001 [bron 9].

3.5. Bodemopbouw

Van oorsprong is het projectgebied Zuidas een veenweidegebied, dat met zand werd opgehoogd ten behoeve van de stadsuitbreidingen van Nieuw Zuid (jaren '20 van de vorige eeuw) en Buitenveldert (jaren '60 van de vorige eeuw). Ter plaatse van het grondlichaam van de ringweg A10-zuid lag in de jaren '20 al een ophoging voor de ringspoorlijn, die vervolgens in de jaren '60 en later is uitgegroeid tot het huidige circa 100 m brede grondlichaam [bron 20].

De exacte bodemopbouw binnen het freatische invloedsgebied zijn bepaald door de beschikbare sonderingen en boringen in het archief van IBA en het DINO-loket te analyseren (zie bijlage 10).



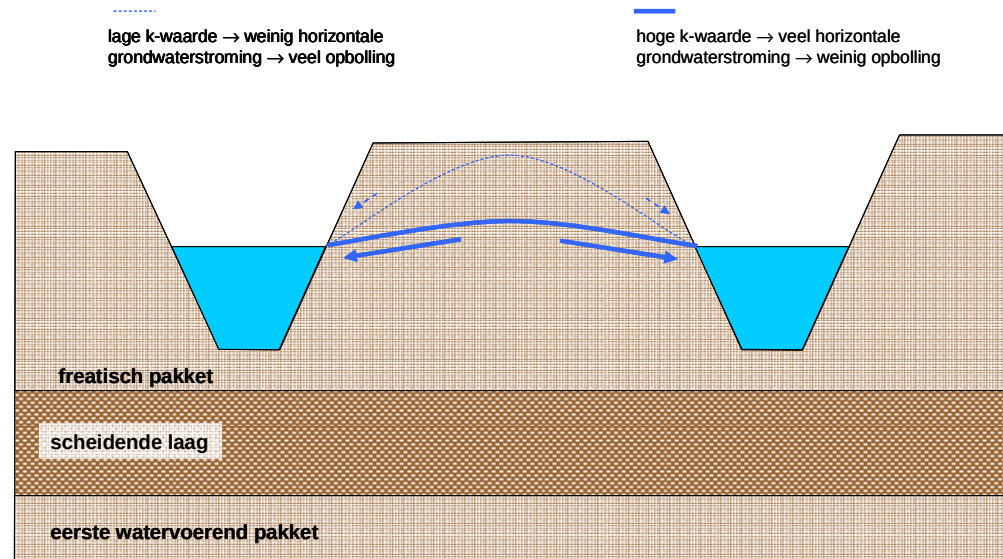
Figuur 5: Schematisch overzicht bodemopbouw in de Zuidas

3.5.1. Maaiveldniveau, ophooglaag en freatisch grondwater

Het maaiveldniveau binnen het freatische invloedsgebied varieert aanzienlijk. Het maaiveldniveau is bepaald met een ruimtelijke interpolatie van de maaiveldhoogtes ter plaatse van de beschikbare boringen, sonderingen en peilbuizen gecombineerd met de gegevens uit het Actueel Hoogtebestand Nederland [bron 21].

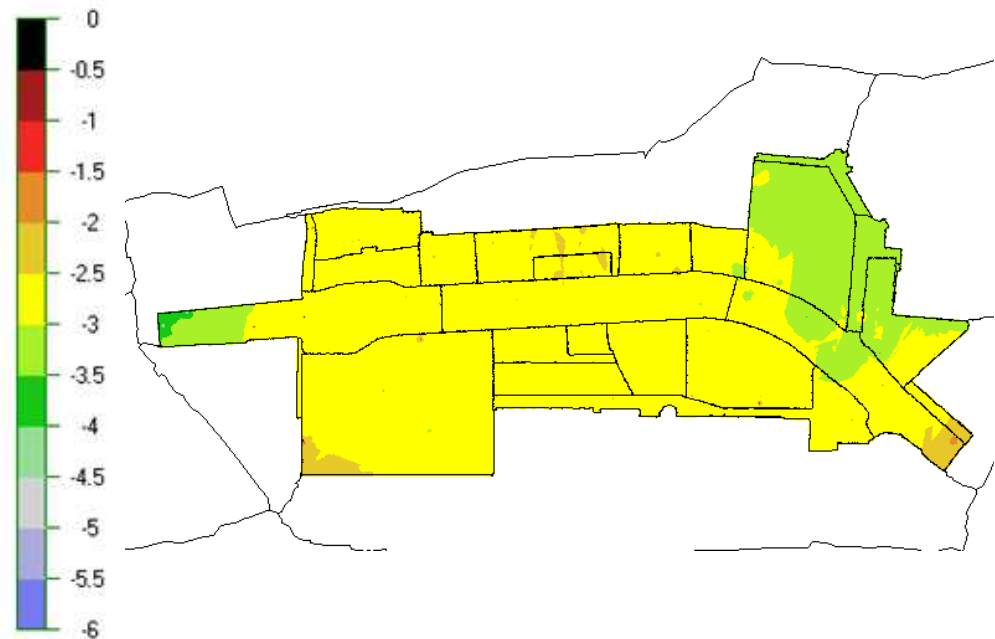
Direct onder het maaiveld bevindt zich de ophooglaag. Binnen deze ophooglaag vindt horizontale en verticale grondwaterstroming plaats. Dit grondwater is freatische grondwater aangezien de bovenzijde van het grondwaterpakket niet afgesloten wordt door een slecht-doorlatende laag en dus kan variëren. De onderzijde van het freatische grondwater wordt gevormd door de slecht-doorlatende

laag waar het freatische grondwater “overheen stroomt”. De ophooglaag waarin freatisch grondwater zit wordt in de geohydrologie het freatische pakket genoemd.



Figuur 6: effect variatie k-waarde op de grondwaterstand: bij een lage k-waarde van het freatische pakket ondervindt het grondwater een grotere horizontale weerstand dan bij een hoge k-waarde waardoor bij een lage k-waarde een grotere opbolling optreedt.

De onderkant van het freatisch pakket varieert en is bepaald aan de hand van de analyse van de beschikbare boringen en sonderingen. De niveaus van de onderkant van het freatische pakket ter plaatse van de boringen en sonderingen zijn vervolgens ruimtelijk geïnterpoleerd naar het gehele freatische beïnvloedingsgebied (zie Figuur 6).



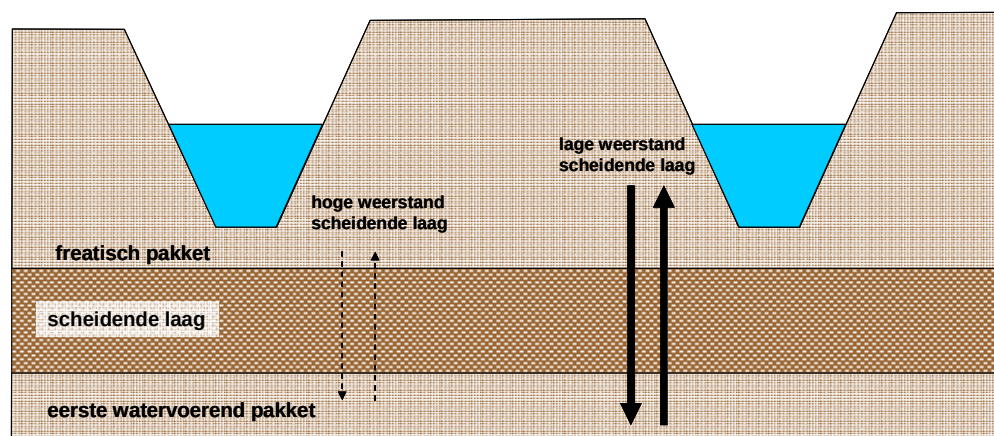
Figuur 7: overzicht van de ligging van de onderkant van het freatisch pakket in de Zuidas (m NAP).

Het zand van de ophooglaag is over het algemeen matig fijn tot matig grof. Uit metingen met verschillende methoden blijkt de doorlatendheid van het ophoogzand te variëren van 0,3 t/m 10 m/dag [bron 20]. De exacte waarden van de doorlatendheid wordt per deelgebied oor middel van ijking van het grondwatermodel op de in het gebied gemeten grondwaterstanden bepaald.

De gemiddelde freatisch grondwaterstand in het freatische beïnvloedingsgebied varieerde van NAP 0,2 m (midden tussen watergangen in de Amstellandsboezem) tot NAP -2,0 m (ter plaatse van de watergangen van de Binnendijkse Buitenveldertse polder) [bron 22].

3.5.2. Scheidende laag / slechtdoorlatende laag

Onder het ophoogzand bevindt zich het oorspronkelijke maaiveld met daaronder het holocene pakket. Dit holocene pakket is opgebouwd uit respectievelijk Hollandveen, zanden en kleien van de afzetting van Calais en daaronder basisveen. De onderzijde van het basisveen ligt overal globaal op NAP -11,5 m. In alle beschikbare boringen en sonderingen binnen het freatische beïnvloedingsgebied worden klei- en veenlagen aangetroffen. In vrijwel alle boringen en sonderingen komt basisveen voor. Er is dus geen sprake van significante gaten in het Holoceen [bron 20]. Binnen deze scheidende / slecht-doorlatende laag vindt voornamelijk verticale grondwaterstroming plaats. Deze verticale grondwaterstroming wordt beperkt door de weerstand van de verschillende klei en veen lagen (de hydraulische weerstand), zie Figuur 7.



Figuur 7: schematisatie hydraulische weerstand scheidende laag. Bij een hoge weerstand vindt er weinig of geen uitwisseling plaats tussen het freatische pakket en het eerste watervoerend pakket. Bij een lage weerstand van de scheidende laag stroomt grondwater vanuit het freatische pakket naar het eerste watervoerend pakket (inzijging) of omgekeerd (kwel).

Over de hydraulische weerstand van het holoceen zijn geen exacte gegevens bekend. Globaal genomen varieert deze tussen de 100 en 10.000 dagen. De waarden van de hydraulische weerstand van de scheidende laag zijn bepaald door bij de boringen en sonderingen de dikte van de verschillende grondlagen te achterhalen. Aan deze grondsoorten wordt vervolgens een verticale doorlatendheid toegekend. De hydraulische weerstand van de grondlaag wordt verkregen door de dikte van de grondlaag te delen door de verticale doorlatendheid. De totale hydraulische weerstand van de slecht-doorlatende laag wordt verkregen door de hydraulische weerstand van de grondlagen tussen het freatische pakket en de eerste zandlaag bij elkaar op te tellen. In Tabel 4 zijn de indicatieve hydraulische weerstanden per grondsoort die gebruikt zijn voor de berekening van de totale hydraulische weerstand van de slecht-doorlatende laag weergegeven.

Tabel 4: Hydraulische weerstand per grondsoort [bron 23]

Grondsoort	Vertikale doorlatendheid [m/d]	Hydraulische weerstand per meter dikte [d/m]
Veen	0,01400	72
Basisveen	0,00070	1.429
Klei	0,00070	1.429
Zware klei / potklei	0,00035	2.857
Licht zandige klei	0,00140	714
Zand	0,00350	286
Klei- / silthoudend zand	0,03500	29

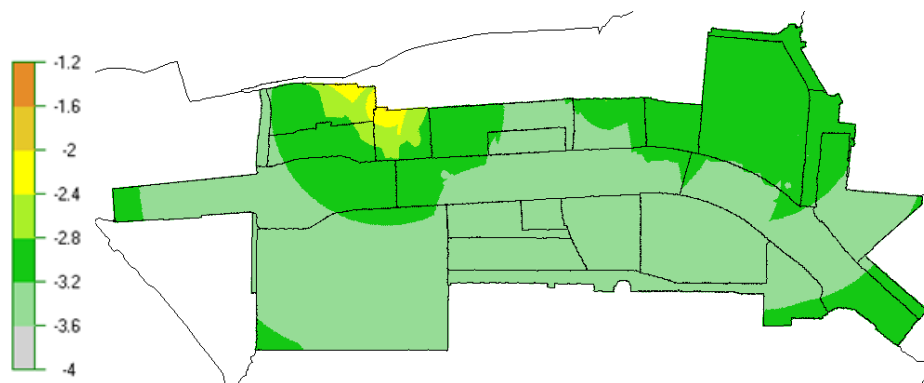
De informatie over de hydraulische weerstand ter plaatse van de boringen is vervolgens ruimtelijk geïnterpoleerd naar het gehele freatische beïnvloedingsgebied. Deze gegevens zijn als startwaarden bij de ijking van het grondwatermodel gebruikt. In bijlage 6 is een overzicht opgenomen van de hydraulische weerstand van de slecht-doorlatende laag in het geijkte grondwatermodel.

3.5.3. Eerste watervoerend pakket en stijghoogte

Onder de scheidende /slecht-doorlatende laag ligt een zandpakket (Formatie van Twente), dat is afgezet onder periglaciale omstandigheden en bestaat uit matig fijne tot grove zanden en kleilagen. In het grootste deel van Amsterdam bevindt zich in dit pakket een kleilaag tussen NAP -14 en NAP -18 m. In het freatische beïnvloedingsgebied ontbreekt deze kleilaag echter grotendeels [bron 20].

Onder de Formatie van Twente liggen de onder mariene omstandigheden afgezette zanden van de Eem-formatie. Deze Eem-formatie ligt op de door landijs gestuwde zanden van de Formatie van Drente. In deze laag bevindt zich op circa NAP -45 tot NAP -50 m een kleilaag van enkele meters dikte, die als basis van het watervoerend pakket kan worden beschouwd. Onder deze kleilaag bevindt zich een zeer dik watervoerend pakket (circa 140 m), dat bestaat uit deels gestuwde zanden en deels uit door rivieren afgezette zanden [bron 20].

De gemiddelde stijghoogte (= druk van het diepere grondwater) in het freatische beïnvloedingsgebied varieert tussen de NAP -3,1 m (in het noordoosten) tot NAP -3,5 m (in het zuiden). In het gehele beïnvloedingsgebied is de freatische grondwaterstand hoger dan de stijghoogte. Er is dan ook sprake van een inzijgingssituatie waarbij grondwater vanuit het freatische pakket omlaag stroomt naar het diepere grondwater.



Figuur 8: overzicht stijghoogte eerste watervoerend pakket (m NAP).

Het grondwater in het eerste watervoerend pakket stroomt in zuidwestelijke richting door de aanwezigheid van de laaggelegen Haarlemmermeer [bron 24].

3.6. Ondergrondse constructies

Ondergrondse constructies kunnen de optredende grondwaterstand beïnvloeden doordat zij de grondwaterstroming door het freatische pakket kunnen beperken. De constructies kunnen bestaan uit ondergrondse parkeergarages, damwanden, polderconstructies en rioolgemaal.

3.6.1. Effect ondergrondse constructies

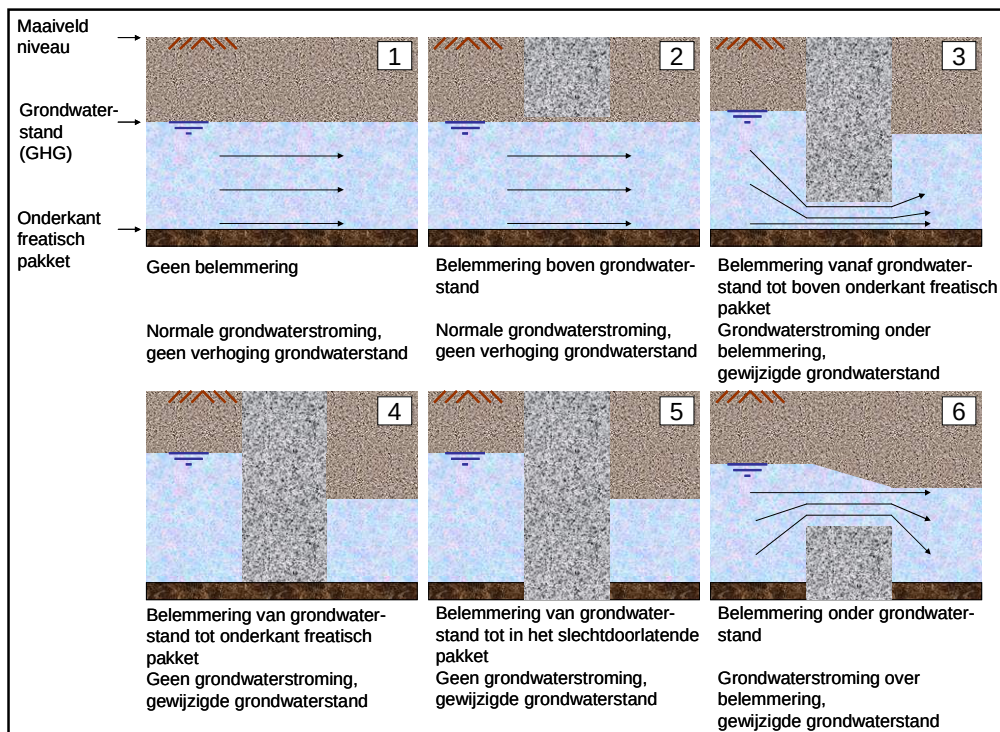
Constructies op het maaiveld (situatie 1 in Figuur 9), boven de hoogste grondwaterstand (situatie 2 in Figuur 9) en geheel onder de onderkant van het freatische pakket beïnvloeden de maatgevende grondwaterstand niet aangezien zij de grondwaterstroming in het freatische pakket niet belemmeren.

Constructies waarbij de onderzijde tot onder de hoogste grondwaterstand komt, maar wel boven de onderkant van het freatische pakket blijven (situatie 3 in Figuur 9) beperken de grondwaterstroming. Het freatische grondwater kan alleen nog onder de constructie door stromen, de doorstroombare dikte wordt daardoor verminderd. De grondwaterstand stijgt mogelijk beperkt aan de bovenstroomse zijde en daalt mogelijk beperkt aan de benedenstroomse zijde.

Constructies waarbij de bovenzijde tot onder de hoogste grondwaterstand blijft (situatie 6 in Figuur 9) beperken de grondwaterstroming. Het freatische grondwater kan alleen nog over de constructie stromen, de doorstroombare dikte wordt daardoor verminderd. De grondwaterstand stijgt mogelijk beperkt aan de bovenstroomse zijde en daalt mogelijk beperkt aan de benedenstroomse zijde.

Bij constructies die lopen van de hoogste grondwaterstand tot de onderzijde van het freatische pakket (situatie 4 en 5 in Figuur 9) wordt de grondwaterstroming geheel

belemmerd. Het freatische grondwater moet om de constructie heen stromen. De grondwaterstand stijgt mogelijk beperkt aan de bovenstroomse zijde en daalt mogelijk beperkt aan de benedenstroomse zijde.



Figuur 9: Verschillende diepteliggingen van ondergrondse constructies en hun effect op de grondwaterstanden

3.6.2. Bestaande ondergrondse constructies in de Zuidas

Om te achterhalen waar in de Zuidas ondergrondse constructies aanwezig zijn, zijn er in het verleden verschillende documenten geanalyseerd en hebben er verschillende overleggen plaats gehad. De bestaande ondergrondse constructies binnen de Zuidas zijn opgenomen in bijlage 11 [bron 25].

Bij de grondwatermodellering is ervan uitgegaan dat de bestaande ondergrondse constructies de grondwaterstroming geheel belemmeren (situatie 4 en 5). Dit betekent dat ter plaatse van de ondergrondse constructies een doorlaatvermogen van 0 m²/dag gehanteerd wordt. Hiermee wordt de mogelijkheid van grondwaterstroming over of onder de constructie verwaarloosd, dit is een conservatieve aanname. Daarnaast is wordt er van uit gegaan dat ter plaatse van de ondergrondse constructies geen grondwateraanvulling plaatsvindt.

3.6.3. Polderconstructies

In de Zuidas en de directe omgeving bevinden zich drie polderconstructies [bron 22]:

- de parkeergarages van de RAI;
- een kavel in deelgebied Gershwin;
- het station van de Noord-Zuidlijn ter plaatse van het Europaplein.

Bij een polderconstructie wordt binnen een bouwkuip de grondwaterstand kunstmatig verlaagd met drainage. De bouwkuip, vaak bestaande uit damwanden, voorkomt dat de grondwaterstand in de omgeving van de polderconstructie verlaagd wordt en er aanzienlijke hoeveelheden grondwater binnen de polderconstructie uitgemalen en geloosd moeten worden. Enige toestroming van grondwater naar de polderconstructie kan wel plaats vinden, doordat de bouwkuip nooit 100%-waterdicht is. Deze toestroming van grondwater wordt binnen dit onderzoek verwaarloosd.

4 IJking

Het grondwatermodel is geijkt op de in de Zuidas gemeten grondwaterstanden en de gemeten neerslag van diverse meteostations (zie ook hoofdstuk 3). Het oppervlaktewatersysteem is gebaseerd op de situatie in 2009. Inmiddels hebben er wijzigingen plaatsgevonden in dit systeem. Voor nieuwe berekeningen met het grondwatermodel wordt het model aangepast op de vigerende situatie.

4.1. Maatgevende grondwaterstanden

De ijking van het grondwatermodel heeft plaatsgevonden op basis van de langjarig gemeten grondwaterstanden in de Waternet-peilbuizen in de Zuidas. Over het algemeen zijn voor deze peilbuizen meerjarige meetreeksen beschikbaar waardoor een betrouwbare gemiddelde grondwaterstand berekend kan worden.

Naast de gemiddelde grondwaterstand is ook de GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand) berekend. Omdat niet van alle peilbuizen voldoende meetgegevens beschikbaar zijn of de meetreeks niet voldoet om de GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand) te berekenen, is een afgeleide GHG vastgesteld [bron 26] door het gemiddelde van de 15% hoogste metingen te berekenen.

4.2. IJkingsparameters

Met het grondwatermodel kunnen grondwaterstanden berekend worden op basis van een set parameters, zoals bijvoorbeeld de grondwateraanvulling en de doorlatendheid van het freatische pakket. Een aantal van de parameters zijn bekend, worden berekend of afgeleid en met een deel van de parameters wordt gevarieerd (geijkt) totdat het grondwatermodel de werkelijke (gemeten) grondwaterstanden zo nauwkeurig mogelijk benaderd. De parameters die nauwkeurig konden worden berekend / vastgesteld zijn weergegeven in de onderstaande tabel (Tabel 5). Met deze parameters wordt niet geijkt.

Tabel 5: overzicht 'vaste' parameters

Parameter		
Grondwateraanvulling	Berekend o.b.v. percentage verhard oppervlak en neerslaggegevens	zie bijlage 5 en 6
stijghoogte eerste watervoerend pakket	Gemiddelde waarden berekend uit Waternet-peilbuizen	zie Figuur 8
onderkant freatisch pakket	Afgeleid uit beschikbare boringen en sonderingen	zie Figuur 6
Oeverweerstand	Aanname op basis van 'expert knowledge'	Overal 10 dagen, behalve begraafplaats Buitenveldert, daar 30 dagen

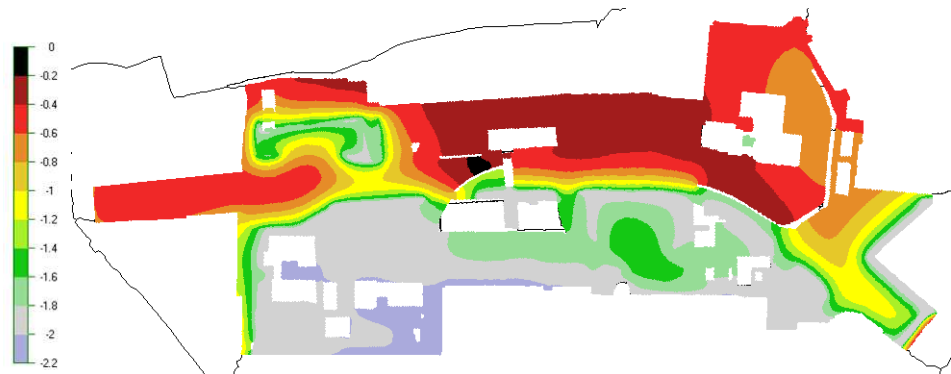
Bij de gehanteerde overweersand is de grondwatertoestroming naar het oppervlaktewater in de maatgevende neerslagsituatie minder dan 5% van de gemaal-capaciteit.

De doorlatendheid van het freatische pakket (k-waarde, m/dag) en de hydraulische weerstand van de slecht-doorlatende laag (c, dagen) zijn de parameters waarmee gevarieerd is. Tijdens de ijking is getracht door met beide parameters te variëren, de gemeten grondwaterstanden zo nauwkeurig mogelijk te benaderen.

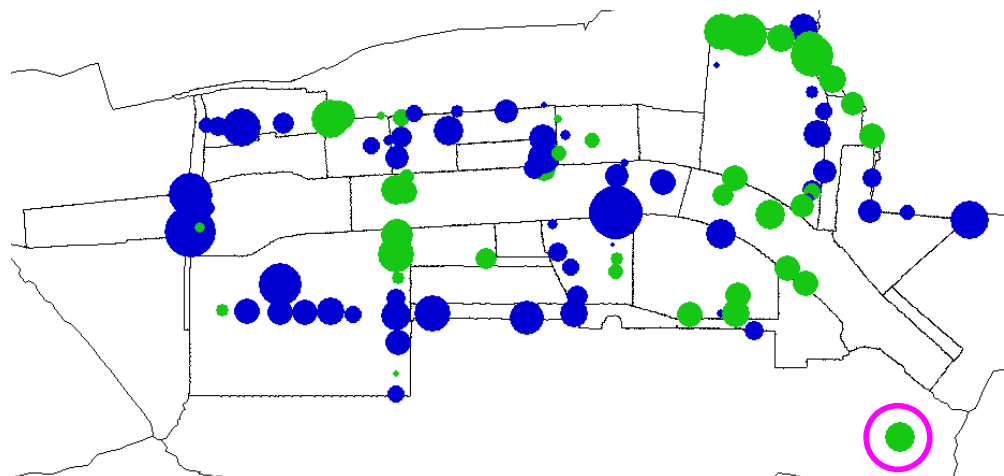
4.3. Resultaten ijking

4.3.1. Resultaat grondwaterstand

In de onderstaande figuren (Figuur 10 en Figuur 11) zijn de resultaten van de ijking van het grondwatermodel weergegeven.

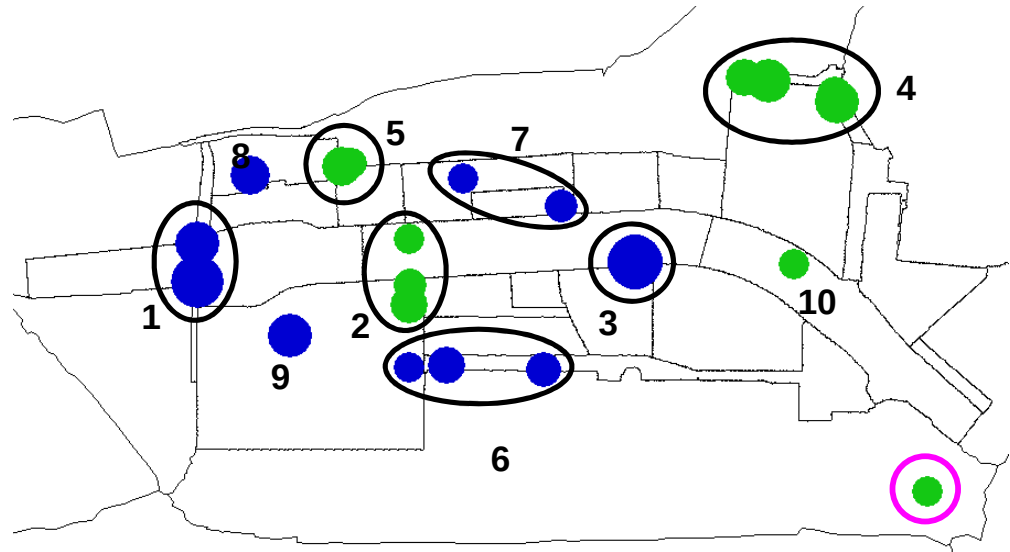


Figuur 10: geijkte grondwaterstand (m NAP)



Figuur 11: verschil geijkte grondwaterstand ten opzicht van gemeten grondwaterstanden. Een blauwe stip betekent dat de berekende grondwaterstand lager ligt dan de gemeten grondwaterstand, groen betekent dat de berekende grondwaterstand hoger ligt dan de gemeten grondwaterstand. De diameter van de groene stip in de paarse cirkel geeft een verschil van 20 cm weer.

Tijdens de ijking is geprobeerd de gemeten grondwaterstand zo precies mogelijk te benaderen. Daarbij is over het algemeen een nauwkeurigheid behaald van tenminste + of – 20 cm. In de onderstaande figuur (Figuur 12) zijn de locaties weergegeven waar deze nauwkeurigheid niet behaald is. Een betere nauwkeurigheid is niet gehaald door de grootte van het model en eventuele lokale variaties van parameters.



Figuur 12: locaties waar de afwijking van de berekende grondwaterstand ten opzichte van de gemeten grondwaterstand meer dan + of – 20 cm bedraagt. Een blauwe stip betekent dat de berekende grondwaterstand lager ligt dan de gemeten grondwaterstand, groen betekent dat de berekende grondwaterstand hoger ligt dan de gemeten grondwaterstand. De diameter van de groene stip in de paarse cirkel geeft een verschil van 20 cm weer.

In bovenstaande figuur is te zien dat de locaties waar de gewenste nauwkeurigheid niet behaald is, verspreid liggen over het gehele model. In tabel Tabel 6 is per deelgebied de range in de afwijkingen weergegeven.

Tabel 6: overzicht verschil geijkte grondwaterstand met gemeten grondwaterstand per deelgebied.

DEELGEBIED	afwijking van gemeten gws bij c = 100% en K = 100%	
ABN Amro	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Amstelveenseweg Zuid	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Amstelveenseweg Noord	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Beatrixpark	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Beethoven	-0,02	0,05
Begraafplaats Buitenveldert	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Boelelaan	-0,26	-0,08
Dokzone Oost	0,11	0,21
Dokzone Midden	-0,14	0,21
Dokzone West	-0,563	0,082
Europaboulevard Noord (noord)	-0,17	0,42
Europaboulevard Noord (zuid)	-0,13	0,14
Frederik Roeskestraat	-0,32	-0,05
Gershwin	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Kenniskwartier	-0,400	0,310
Kop Zuidas	-0,136	-0,052
Mahler	peilbuizen in kelders	
RAI	-0,18	0,16
Ravel	-0,11	0,04
Rechtbank	-0,06	0,34
Strawinsky Noord	-0,21	0,07
Vivaldi	-0,19	0,17
WTC	-0,22	-0,17

Voor een aantal van deze locaties bestaat een verklaring voor de grote afwijking:

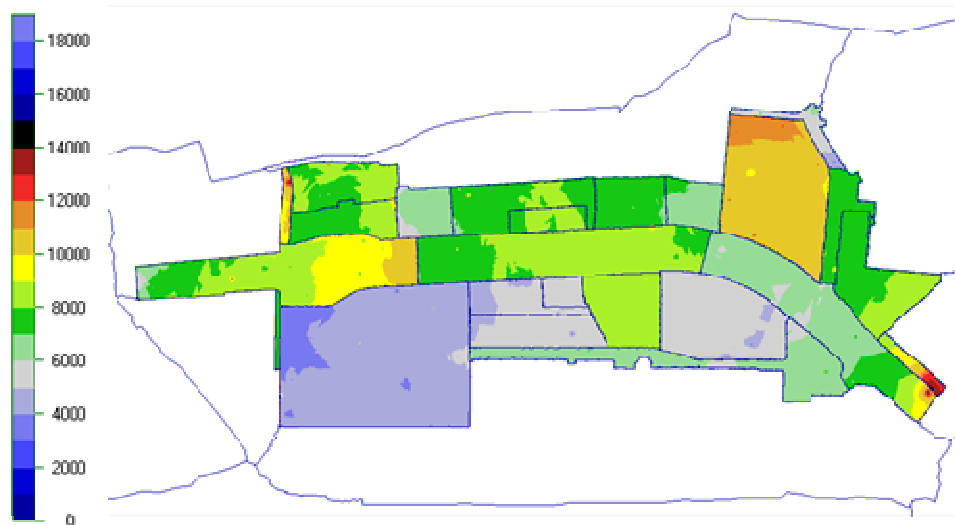
1. Ter plaatse van de kruising van de Amstelveenseweg met de A10 worden lagere grondwaterstanden berekend dan in werkelijkheid gemeten worden. Hiervoor is nog geen verklaring gevonden. Mogelijk vindt ten westen van de Amstelveenseweg meer infiltratie plaats dan berekend of is de doorlatendheid van het freatisch pakket lager dan tijdens de ijking berekend is;
2. Ter plaatse van de kruising van de Parnassusweg met de A10 worden hogere grondwaterstanden berekend dan in werkelijkheid gemeten worden. Dit kan verklaard worden door de drainage die onder het tramspoor ligt [bron ²⁷]. Deze drainage is (nog) niet in het grondwatermodel opgenomen omdat nog niet voldoende details beschikbaar zijn;
3. Aan de noordrand van Sportpark Buitenveldert ligt peilbuis F05209A. De gemeten grondwaterstand in deze peilbuis ligt op NAP – 1,09 m. Deze peilbuis bevindt zich echter op circa 10 m van een sloot met een peil van NAP – 2,0 m. De met het grondwatermodel berekende grondwaterstand van NAP - 1,73 m ligt meer in de lijn der verwachting. Mogelijk staat het filter van de peilbuis in de klei of lekt het deksel van de peilbuis;
4. Deze groep peilbuizen bevindt zich aan de Wielingenstraat en het Europaplein. Voor het grondwatermodel is per wijk in de Zuidas de grondwateraanvulling berekend. Mogelijk is door het lokaal (ter plaatse van de wegen) hogere percentage verhard oppervlak de gehanteerde grondwateraanvulling lokaal te hoog waardoor hogere grondwaterstanden berekend worden dan in werkelijkheid optreden.;
5. Ter hoogte van peilbuizen F05189A en F05197A aan de Frederik Roeskestraat, worden met het grondwatermodel hogere grondwaterstanden berekend dan in werkelijkheid gemeten worden. De berekende grondwaterstanden zijn NAP -0,63 m resp. NAP – 0,52 m, terwijl de gemiddelde gemeten grondwaterstanden NAP – 0,97 m resp. NAP – 0,74 m zijn. Beide peilbuizen bevinden zich maximaal zo'n 10 meter uit de oever van het Zuideramstelkanaal. Een verklaring voor de te hoge berekende grondwaterstand kan zijn dat de oeverweerstand (waarvoor nu een aanname is gedaan van 10 dagen) hoger is dan aangenomen. Daardoor kan het grondwater minder snel worden aangevuld vanuit het Zuideramstelkanaal waardoor lagere grondwaterstanden optreden.
6. Bij de peilbuizen aan de westelijke helft van de de Boelelaan wordt een te lage grondwaterstand gemeten. Mogelijk wordt dit effect veroorzaakt door de aanleg van de watergangen in het verleden waardoor de grondwaterstand lager ligt dan in het verleden toen de watergangen nog niet gerealiseerd waren;
7. F05102A (oostzijde WTC) en F05210A (Strawinskylaan nr. 10). De berekende grondwaterstanden zijn NAP – 0,39 m respectievelijk NAP – 0,35 m. De gemiddelde gemeten grondwaterstanden zijn NAP – 0,16 m respectievelijk NAP – 0,14 m. Het is mogelijk dat een deel van het op de ondergrondse constructies vallende regenwater ten goede komt aan de grondwateraanvulling. Voor het grondwatermodel is echter aangenomen dat

alle neerslag die op de ondergrondse constructies valt, direct wordt afgevoerd;

8. Peilbuis F05191A. Deze peilbuis ligt aan de Frederik Roeskestraat, nabij nr. 98, ten noorden van begraafplaats Buitenveldert. Hier wordt een grondwaterstand berekend van NAP – 1,02 terwijl er gemiddeld een grondwaterstand van NAP – 0,69 werd gemeten. De metingen vonden plaats van 1977 tot begin 2003. Van de laatste 8 jaar zijn geen meetgegevens beschikbaar. Het is onduidelijk of de afwijking veroorzaakt wordt door het grondwatermodel, of dat er de laatste 8 jaar wijzigingen hebben plaatsgevonden in het grondwaterregime. Dit ligt het meest voor de hand, in de afgelopen 10 jaar is de hoeveelheid verhard oppervlak toegenomen waardoor de grondwateraanvulling kleiner is geworden. Logischerwijze mag dus een lagere grondwaterstand verwacht worden dan 10 jaar geleden. De peilbuizen ten oosten en ten westen van deze peilbuis (ook in de Frederik Roeskestraat) worden wel tot op heden gemeten. Daar is de afwijking van het grondwatermodel veel kleiner (slechts circa 10 cm);
9. Peilbuis F05232A is gelegen nabij de schoolwerktuinen in het Kenniskwartier. Hier worden met het grondwatermodel grondwaterstanden berekend die circa 40 cm hoger liggen dan de gemeten werkelijke grondwaterstanden. Mogelijk ligt er in de schoolwerktuinen drainage waardoor de werkelijke grondwaterstand lager ligt dan berekend;
10. Op deze locatie is een ondergrondse constructie aangelegd voor de Noord-Zuidlijn. Deze constructie belemmert de grondwaterstroming waardoor aan de noordzijde in zekere mate opstuwning van grondwater plaatsvindt. Dit veroorzaakt het verschil tussen de berekende grondwaterstand in het grondwatermodel en het gemiddelde van de langdurig gemeten grondwaterstand.

4.3.2. Resultaat weerstand slecht-doorlatende laag

In de onderstaande figuur (Figuur 13) is de weerstand van de slecht-doorlatende laag in dagen weergegeven voor het Zuidasgebied.



Figuur 13: weerstand van de slecht-doorlatende laag (d). Een vergroting van deze figuur is weergegeven in bijlage 7.

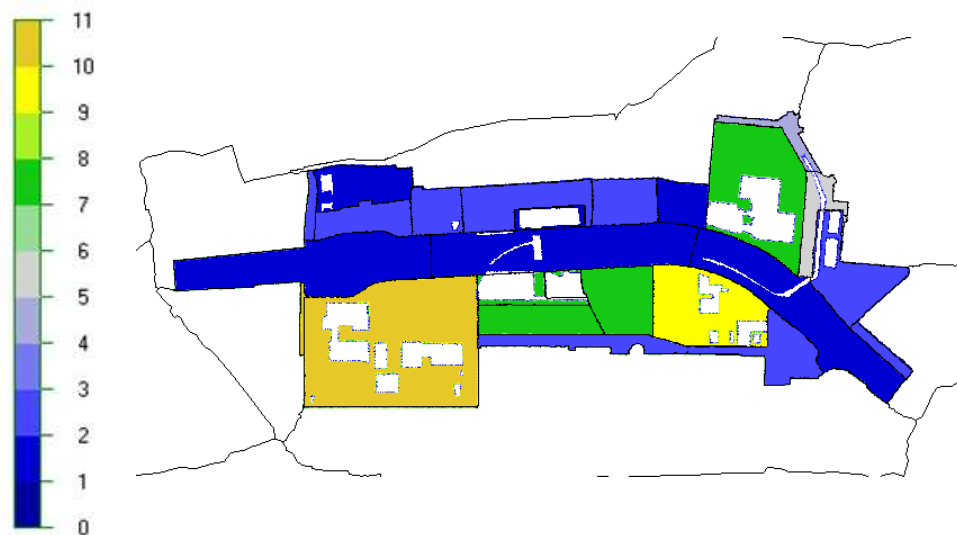
In de onderstaande tabel (Tabel 7) is een overzicht van de weerstand van de slecht-doorlatende laag per deelgebied opgenomen.

Tabel 7: overzicht weerstand slecht-doorlatende laag (c) per deelgebied.

DEELGEBIED	WEERSTAND SLECHT-DOORLATENDE LAAG (dagen)	
	gemiddeld (ca)	range (ca)
ABN Amro	ca 5.100	5.000 - 5.300
Amstelveenseweg Zuid	ca 7.200	7.000 - 7.500
Amstelveenseweg Noord	ca 10.200	9.400 - 12.000
Beatrixpark	ca 6.800	5.900 - 7.300
Beethoven	ca 7.200	6.900 - 7.600
Begraafplaats Buitenveldert	ca 8.000	7.200 - 9.100
Boelelaan	ca 6.300	5.800 - 7.000
Dokzone Oost	ca 6.700	6.100 - 12.000
Dokzone Midden	ca 8.100	7.000 - 8.900
Dokzone West	ca 8.800	5.300 - 10.700
Europaboulevard Noord noord	ca 5.400	4.200 - 6.000
Europaboulevard Noord zuid	ca 8.400	7.300 - 13.000
Frederik Roeskestraat	ca 8.100	6.900 - 9.000
Gershwin	ca 5.100	4.800 - 5.300
Kenniskwartier	ca 4.300	3.600 - 5.300
Kop Zuidas	ca 7.900	7.200 - 8.600
Mahler	ca 5.000	4.300 - 5.300
RAI	ca 10.700	8.900 - 11.500
Ravel	ca 8.300	8.000 - 8.600
Rechtbank	ca 6.200	5.800 - 6.700
Strawinsky Noord	ca 7.700	6.800 - 8.200
Vivaldi	ca 5.200	4.900 - 5.200
WTC	ca 8.000	7.600 - 11.400

4.3.3. Resultaat weerstand doorlatendheid freatisch pakket

In de onderstande figuur (Figuur 14) is de uit de ijking resulterende doorlatendheid van het freatische pakket in de Zuidas weergegeven.



Figuur 14: geijkte doorlatendheid freatisch pakket (k-waarde, m/dag), zie ook bijlage 8

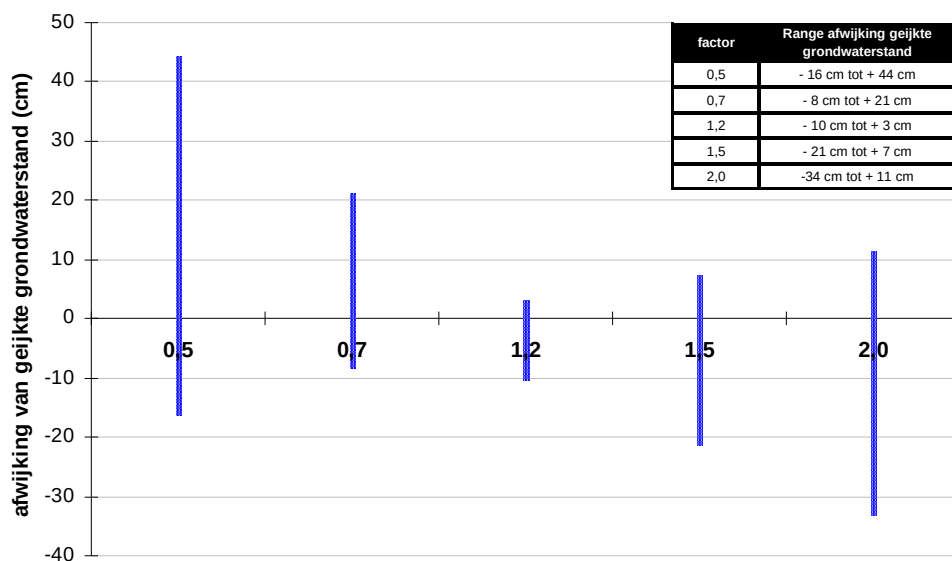
Te zien is dat in de zuidelijke helft van de Zuidas, met name in het Kenniskwartier (oranje vlak) en in deelgebied Vivaldi (geel vlak) de doorlatendheid van het freatisch pakket hoger is dan in de noordelijke helft.

5 Gevoeligheidsanalyse modelparameters

Na de ijking van het grondwatermodel is onderzocht wat de gevoeligheid van het model is voor de parameters k-waarde (k) en de weerstand van de slecht-doorlatende laag (C). In totaal zijn 10 extra model-runs uitgevoerd. Daarbij werd telkens één parameter tegelijk gevarieerd. Daarvoor werd gerekend met 50%, 70%, 120%, 150% en 200% van de betreffende parameter, waarbij 100% de geijkte waarde van de betreffende parameter is. De resultaten zijn uitgedrukt als stijging of daling van de berekende grondwaterstand, ten opzichte van de geijkte grondwaterstand.

5.1. Doorlatendheid

De resultaten van deze berekening zijn opgenomen in Tabel 12 in bijlage 8. Hier is per deelgebied telkens de kleinste en de grootste afwijking van de geijkte grondwaterstand opgenomen. Tevens is de locatie (peilbuis) waarbij de afwijking optreedt in tabel weergegeven. In de onderstaande grafiek (Figuur 14) zijn de resultaten voor de gehele Zuidas samengevat.



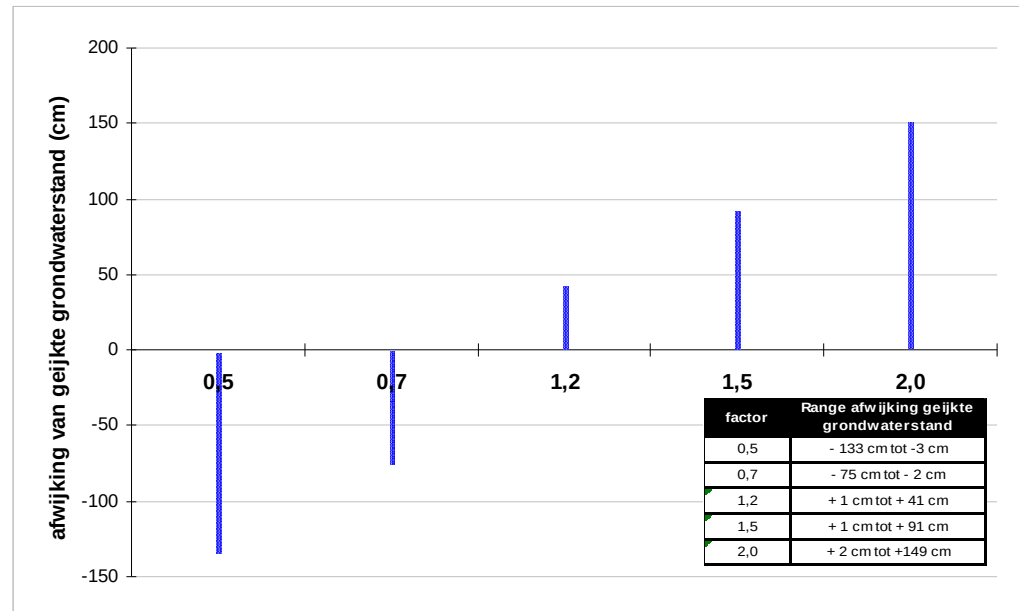
Figuur 15: resultaat van de gevoeligheidsanalyse voor de doorlatendheid van het freatische pakket. Weergegeven is de range van de afwijking (cm) van de berekende grondwaterstanden ten opzichte van de geijkte grondwaterstand.

Te zien is dat bij zowel een toe- als afname van de k-waarde een positief én negatief effect optreedt. Bij een afname van de k-waarde is het grootste effect vooral een stijging van de grondwaterstand, bij een toename van de k-waarde is het grootste effect vooral negatief en daalt de grondwaterstand. Verder valt op dat er

geen lineair verband tussen toe- / afname k-waarde en de afwijking van de berekende grondwaterstand ten opzichte van de geijkte grondwaterstand. Wel is te zien dat wanneer de afwijking van de geijkte k-waarde groter wordt (in zowel positieve als negatieve richting) de range van de afwijking van de geijkte grondwaterstand groter wordt.

Een verklaring voor de hierboven beschreven verschijnselen is het volgende:
Bij een hogere k-waarde kan water sneller door het freatisch pakket worden afgevoerd, maar kan ook sneller grondwateraanvulling vanuit het oppervlaktewatersysteem plaatsvinden. Een toename van de k-waarde kan dus zowel een stijging als een daling van de grondwaterstand tot gevolg hebben. Voor een afname van de k-waarde geldt hetzelfde. Er kan minder snel grondwateraanvulling vanuit het oppervlaktewater plaatsvinden, maar grondwater in het freatisch pakket wordt ook minder snel afgevoerd naar het oppervlaktewater.

5.2. Weerstand slecht-doorlatende laag



Figuur 16: resultaat van de gevoeligheidsanalyse voor de weerstand van de slecht-doorlatende laag. Weergegeven is de range van de afwijking (cm) van de berekende grondwaterstanden ten opzichte van de geijkte grondwaterstand.

In de grafiek met de resultaten van de gevoeligheidsanalyse voor de weerstand van de slecht-doorlatende laag is te zien dat er is sprake van een lineair verband tussen de weerstand van de slecht-doorlatende laag en de afwijking van de berekende grondwaterstand. Wanneer op een grondwatermeetpunt de weerstand van de slecht-doorlatende laag afneemt, daalt de grondwaterstand. Het effect is niet op alle punten even groot, in sommige punten bedraagt het effect slechts enkele centimeters. In andere punten wordt een daling van 133 cm berekend bij een halvering van de weerstand van de slecht-doorlatende laag.

Bij een toename van de weerstand van de deklaag geldt het omgekeerde. In sommige punten treedt een toename van slechts enkele centimeters op, in andere punten wordt een toename van 149 cm berekend bij een verdubbeling van de weerstand van de slecht-doorlatende laag.

Kort gezegd kan bij een lagere weerstand van de slecht-doorlatende laag meer verticale grondwaterstroming door deze laag plaatsvinden dan bij een hogere weerstand. Bij een lagere weerstand zal dus meer infiltratie (of kwel) plaatsvinden dan bij een hogere grondwaterstand. In de Zuidas is sprake van inzijging, daardoor zal bij een lagere weerstand de grondwaterstand dalen. Wanneer er sprake zou zijn van kwel zou de grondwaterstand stijgen bij een lagere weerstand van de slecht-doorlatende laag.

6 Conclusie

Met het groeiend grondwatermodel Zuidas is een integraal grondwatermodel voor de Zuidas gerealiseerd. Met dit model kunnen effecten van ingrepen in de Zuidas op de grondwaterstand berekend worden. Tijdens de ijking is over het algemeen een nauwkeurigheid van tenminste + of – 20 cm of beter bereikt.

De uitgevoerde gevoeligheidsanalyse heeft uitgewezen dat het grondwatermodel over het gehele gebied lineair reageert op wijzigingen in de weerstand van de slecht-doorlatende laag. Kort samengevat daalt de grondwaterstand bij een lagere weerstand en stijgt de grondwaterstand bij een hogere weerstand.

Wanneer de doorlatendheid van het freatisch pakket gewijzigd wordt, treedt afhankelijk van de locatie een ander effect op. Bij het effect van wijzigingen in de doorlatendheid van het freatische pakket spelen een aantal andere parameters, zoals de afstand tot de dichtstbijzijnde watergang (drainage afstand) ook een grotere rol.

In orde van grootte zijn de effecten van veranderingen in doorlatendheid van het freatische pakket kleiner dan de effecten van wijzigingen in de weerstand van de slecht-doorlatende laag.

Vanwege de grote schaal van het grondwatermodel bestaat nog wel het risico dat door heterogeniteit van parameters lokaal verschillen kunnen optreden tussen berekende grondwaterstanden en waargenomen grondwaterstanden. Wanneer het grondwatermodel gebruikt wordt voor nieuwe berekeningen dient altijd de actualiteit van het model gecontroleerd te worden. Wijzigingen in bijvoorbeeld het oppervlaktewatersysteem moeten doorgevoerd worden in het groeiend grondwatermodel alvorens het model gebruikt wordt.

Bronvermelding

- [bron 1] Rapportage “Grondwatermodellering Zuidas, effecten van de ontwikkeling van projectgebied Zuidas”, projectnummer 50280, documentnummer 40252, versie 2, IBA, 22 september 2009;
- [bron 2] Grootschalige BasisKaart Amsterdam (GBKA), Dienst Persoons- en Geoinformatie, 29 juni 2010.
- [bron 3] 2010-12 Waterbergingskaart situatie 2010, IBA, 10 december 2010
- [bron 4] boringen en sonderingen TNO DINOloket (<http://www.dinoloket.nl/>), geraadpleegd 21 juni 2010
- [bron 5] boringen en sonderingen OMEGAM archief / IBA archief, geraadpleegd 21 juni 2010
- [bron 6] MicroFEM, versie 4.10.10, C.J. Hemker en R.G. de Boer
- [bron 7] <http://www.zuidas.nl/feiten>, geraadpleegd 02 november 2010
- [bron 8] Aanvraag vergunning ingevolge de Grondwaterwet – Decaf Amsterdam, Ingenieursbureau het Noorden, 1998;
- [bron 9] Rapportage “Waterbergingsopgave Zuidas, Referentiesituatie en Berekeningssystematiek”, versie 202, Waternet, 25 augustus 2008;
- [bron 10] Kaart behorende bij het peilbesluit van de Binnendijkse en Buitenvelderse polder, vastgesteld door het algemeen bestuur van Waternet/AGV, 2 oktober 2008;
- [bron 11] Tekening “Waterkeringen en polders in en rond Amsterdam”, DWR, 1997;
- [bron 12] Kaart behorende bij het peilbesluit van de BP Buitenveldert, vastgesteld door het algemeen bestuur van Waternet/AGV, 2 oktober 2008;
- [bron 13] Kaart behorende bij het peilbesluit van de Stadboezem, vastgesteld door het algemeen bestuur van Waternet/AGV, 2 oktober 2008;
- [bron 14] Kaart behorende bij het peilbesluit van de Atekpolder, vastgesteld door het algemeen bestuur van Waternet/AGV, 2 oktober 2008;
- [bron 15] Rapportage “Geohydrologisch en geotechnisch ophoogadvies De Mirandastrook, Amsterdam Zuideramstel”, projectnummer 50265, documentnummer 41579, versie 2, IBA, 19 juni 2010;
- [bron 16] Nota Grondwater Amsterdam 2007 – 2011, netwerken aan grondwater, Waternet, oktober 2007
- [bron 17] Publicatie “Klimaat in de 21^e eeuw, vier scenario’s voor Nederland”, KNMI, mei 2006;
- [bron 18] Cultuur technisch vademecum, Cultuurtechnische vereniging, 1988;

-
- [bron 19] Boek "Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers", American Society of Civil Engineers and the Water Pollution Control Federation, 1969;
- [bron 20] Concept-rapportage "Grondwater in de Zuidas, bouwsteen visie water in de Zuidas", dossier T8652-02-001, registratienummer WA-DW20020995, versie 2, DHV Water BV, juni 2001;
- [bron 21] Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) 2005, www.AHN.nl
- [bron 22] Concept-rapportage "Zuidas grondwatermeetnet, meetverslag 2009", projectnummer 66522-1, rapportnummer 10.012635, Waternet, 18 mei 2010;
- [bron 23] SBR-publicatie funderingen, Deel A, A3000 funderingsontwerp, nummer 273, SBR, oktober 1995;
- [bron 24] Grondwaterkaart van Nederland (Zandvoort/Amsterdam), TNO, december 1979
- [bron 25] 2009-12 Ondergrondse constructies Zuidas, IBA, December 2009
- [bron 26] Een alternatieve GHG analyse, D.H. Edelman, A.S. Burger, Stromingen 15 (2009) nummer 3 29-34.
- [bron 27] Rapport funderings- en ontwateringsadvies bypass tramlijn 5. documentnummer 10140, projectnummer 45113, IBA, 20 december 2006

BIJLAGE 1 – Dagneerslag meteo-stations rond Amsterdam

Dagneerslag									
Project: 50334					Groeiend grondwatersmodel Zuidas				
Documentnummer: 58919					per project invullen standaard waarde				
Opsteller: T.P. Timmermans					berekening				
Datum: 1-2-2011					2 jaar 14 % 18 %				
Bestandsoort: K:\BESTAAND\50334\grondwater groeimodel\Dagneerslag_wijsgermansting					5x1				
Formule: Geweente herhalingstijds dagneerslag = (T= 1 / x Jaar) Geweente herhalingstijds 10-dagneerslag = (T= 1 / x Jaar) Wijziging gemiddelde neerslag = Wijziging piekneerslag =					1 x / 1 x / 1 x /				
Meteo-station									
VERLEIDEN EN HUIDIG									
Aantal metingen [jaar]	59	59	59	59	104	59	59	40	62,58
Gemiddelde dagneerslag [mm/d]	2,3	2,3	2,3	2,3	2,2	2,4	2,2	2,2	2,31
Maximum dagneerslag [mm/d]	58,1	57,4	63,1	101,2	68,3	62,0	93,6	59,0	70,34
Dagneerslag met geweente herhalingstijds [mm/d]	35,2	34,6	34,4	35,5	34,6	36,8	36,4	33,1	35,05
Gemiddelde 10-dagneerslag [mm/10 d]	23,3	23,0	23,1	23,1	22,1	24,3	24,2	21,8	23,13
Gemiddelde 10-dagneerslag [mm/d]	2,3	2,3	2,3	2,3	2,2	2,4	2,2	2,2	2,31
Maximum 10-dagneerslag [mm/10 d]	146,2	116,1	127,9	123,6	139,0	119,4	131,2	120,7	129,01
Maximum 10-dagneerslag [mm/d]	14,6	11,6	12,8	12,4	13,9	11,9	13,1	12,1	12,80
Minimum 10-dagneerslag [mm/10 d]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Minimum 10-dagneerslag [mm/d]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Geweente herhalingstijds met 10-dagneerslag [mm/10 d]	82,4	80,9	80,3	84,0	84,1	86,6	86,0	82,0	83,29
Geweente herhalingstijds met 10-dagneerslag [mm/d]	8,2	8,1	8,0	8,4	8,4	8,7	8,6	8,2	8,33
TOEKOMSTIG VERWACHTING									
Gemiddelde dagneerslag [mm/d]	2,7	2,6	2,6	2,6	2,5	2,8	2,8	2,5	2,64
Dagneerslag met geweente herhalingstijds [mm/d]	40,1	39,7	39,2	40,5	39,4	42,0	41,0	37,7	39,96
Geweente herhalingstijds met 10-dagneerslag [mm/d]	9,6	9,4	9,3	9,7	9,8	10,0	10,0	9,5	9,66

BIJLAGE 2 – peilbuisgegevens en grondwaterstanden

Tabel 8: overzicht freatische peilbuisgegevens en grondwaterstanden

peilbuis ID	X	Y	grondwaterstand min (m NAP)	grondwaterstand max (m NAP)	bovenkant filter (m NAP)	onderkant filter (m NAP)	maateeld-hoogte (m NAP)	gemiddelde grondwaterstand (m NAP)	afgeleide G.H.G. (m NAP)
F05011A	119614	483768	-0,74	-0,02	-1,78	-2,78	0,74	-0,41	-0,12
F05014A	118880	483432	-0,30	0,28	-1,18	-2,18	0,27	-0,07	0,21
F05015A	118912	483446	-0,70	-0,54	-0,99	-1,99	0,52	-0,61	-0,54
F05016A	118878	483568	-0,29	-0,07	-0,33	-1,33	0,55	-0,16	-0,07
F05017A	118910	483568	-0,61	-0,19	-1,13	-2,13	0,32	-0,43	-0,25
F05018A	119745	483749	-0,25	0,39	-1,71	-2,71	0,84	0,05	0,39
F05019A	119722	483643	-0,24	0,40	-1,69	-2,69	0,78	0,05	0,40
F05023A	118996	483139	-3,59	-1,08	-3,62	-4,62	-0,67	-1,86	-1,53
F05024A	119090	483136	-2,36	-1,57	-3,28	-4,28	-0,52	-1,89	-1,57
F05025A	119213	483132	-2,72	-1,34	-3,38	-4,38	-0,65	-1,84	-1,52
F05026A	119306	483132	-2,51	-1,29	-3,39	-4,39	-0,74	-1,84	-1,43
F05027A	119398	483133	-2,38	-1,24	-3,38	-4,38	-0,72	-1,82	-1,48
F05028A	119486	483125	-2,30	-1,54	-3,24	-4,24	-0,63	-1,94	-1,69
F05029A	119646	483119	-2,17	-1,23	-3,42	-4,42	-0,88	-1,79	-1,52
F05030A	119654	483019	-2,42	-1,32	-3,53	-4,53	-0,79	-1,86	-1,57
F05031A	119647	482902	-2,25	-1,72	-3,56	-4,56	-0,70	-2,01	-1,87
F05032A	119781	483127	-2,05	-1,33	-3,30	-4,30	-0,67	-1,72	-1,55
F05033A	120131	483113	-2,17	-0,98	-3,43	-4,43	-0,83	-1,74	-1,43
F05036A	120307	483125	-2,04	-1,42	-3,38	-4,38	-0,77	-1,73	-1,56
F05038A	120737	483124	-2,04	-1,54	-3,37	-4,37	-0,76	-1,79	-1,61
F05039A	120850	483125	-2,41	-1,56	-3,38	-4,38	-0,77	-1,85	-1,69
F05040A	120908	483125	-3,29	-1,51	-3,43	-4,43	-0,76	-2,05	-1,65
F05041A	120918	483195	-2,06	-1,74	-3,50	-4,50	-0,79	-1,88	-1,78
F05042A	120975	483065	-2,46	-1,70	-3,34	-4,34	-0,73	-1,90	-1,75
F05045A	120272	483793	-1,28	0,24	-1,77	-2,77	1,02	-0,30	0,07
F05046A	120857	484171	-1,08	-0,38	-0,64	-1,64	1,91	-0,74	-0,48
F05047A	120835	484048	-0,57	-0,20	-2,07	-3,07	0,58	-0,41	-0,31
F05061A	119869	483878	-0,62	0,06	-2,17	-3,17	0,47	-0,32	-0,09
F05063A	119712	483867	-0,61	0,01	-2,01	-3,01	0,57	-0,31	-0,10
F05064A	119589	483860	-1,40	-0,13	-2,15	-3,15	0,60	-0,43	-0,22
F05098A	119984	483671	-0,28	0,65	-1,62	-2,62	0,91	0,19	0,49
F05099A	120004	483765	-0,22	0,57	-1,08	-2,08	0,94	0,10	0,39
F05100A	120188	483776	-0,49	0,18	-1,52	-2,52	0,48	-0,20	0,04
F05101A	120078	483724	-0,33	0,65	-1,33	-2,33	0,67	-0,01	0,36
F05102A	120193	483703	-0,42	0,37	-1,65	-2,65	0,40	-0,16	0,13
F05105A	119551	483750	-0,86	-0,14	-1,54	-2,54	0,60	-0,55	-0,30
F05136A	119682	483578	-1,49	-0,33	-2,75	-3,75	0,33	-0,59	-0,35
F05137A	119644	483584	-0,84	-0,57	-2,05	-3,05	0,01	-0,73	-0,58
F05138A	118872	483517	-0,62	0,03	-1,99	-2,99	0,45	-0,32	-0,05
F05139A	118943	483522	-0,68	-0,13	-1,92	-2,92	0,50	-0,44	-0,16
F05165A	120945	484159	-1,59	0,13	-2,01	-3,01	0,57	-0,90	-0,35
F05176A	119682	483635	-0,74	-0,21	-2,06	-3,06	0,52	-0,45	-0,26
F05177A	119978	483669	-0,18	0,14	-1,91	-2,91	0,69	-0,03	0,14
F05178A	120192	483660	-0,92	-0,11	-1,92	-2,92	0,67	-0,50	-0,27
F05179A	119716	483330	-2,39	-1,67	-3,25	-4,25	-0,71	-1,97	-1,69
F05180A	119980	483330	-1,86	-1,58	-3,53	-4,53	-0,92	-1,77	-1,58
F05181A	120205	483332	-2,07	-1,68	-3,27	-4,27	-0,72	-1,92	-1,72
F05184A	118938	483824	-1,21	-0,24	-1,63	-2,63	0,88	-0,77	-0,40
F05189A	119403	483850	-1,50	-0,43	-1,89	-2,89	0,68	-0,97	-0,70
F05190A	119225	483834	-1,29	-0,18	-1,96	-2,96	0,58	-0,80	-0,43
F05191A	119072	483818	-1,35	-0,12	-1,94	-2,94	0,63	-0,69	-0,31

peilbuis ID	X	Y	grondwaterstand min (m NAP)	grondwaterstand max (m NAP)	bovenkant filter (m NAP)	onderkant filter (m NAP)	maatveld-hoogte (m NAP)	gemiddelde grondwaterstand (m NAP)	afgeleide GHG (m NAP)
F05197A	119434	483860	-1,34	-0,41	-1,81	-2,81	0,65	-0,74	-0,51
F05198A	120055	483878	-0,71	0,09	-2,17	-3,17	0,46	-0,23	-0,01
F05199A	120373	483893	-2,68	0,45	-2,23	-3,23	0,46	0,14	0,33
F05201A	118981	483821	-1,64	-0,62	-2,36	-3,36	0,54	-0,93	-0,70
F05202A	120193	483900	-0,74	-0,05	-1,90	-2,90	0,64	-0,36	-0,17
F05203A	120863	483564	-0,66	-0,07	-4,28	-5,28	5,69	-0,42	-0,21
F05204A	120633	483615	-0,58	-0,01	-3,88	-4,88	6,17	-0,35	-0,09
F05205A	120467	483638	-0,48	-0,07	-2,95	-3,95	6,16	-0,31	-0,12
F05206A	120904	483632	-0,69	-0,09	-2,49	-3,49	1,12	-0,51	-0,29
F05207A	120852	483424	-1,95	-1,58	-2,15	-3,15	0,38	-1,76	-1,64
F05208A	120496	483687	-0,61	-0,20	-2,14	-3,14	0,98	-0,37	-0,28
F05209A	120465	483501	-1,56	-0,71	-2,74	-3,74	-0,02	-1,08	-0,79
F05210A	119842	483802	-0,90	0,44	-2,07	-3,07	0,53	-0,14	0,21
F05217A	119660	483852	-0,82	-0,28	-2,08	-3,08	0,51	-0,45	-0,32
F05218A	119665	483781	-0,47	-0,09	-2,01	-3,01	0,55	-0,28	-0,14
F05219A	119650	483706	-0,51	-0,05	-2,00	-3,00	0,62	-0,30	-0,09
F05220A	119647	483417	-2,43	-1,46	-2,93	-3,93	-0,36	-1,96	-1,63
F05221A	119645	483343	-3,44	-1,49	-3,19	-4,19	-0,65	-2,17	-1,57
F05222A	119651	483260	-2,24	-1,59	-3,30	-4,30	-0,68	-1,96	-1,67
F05223A	119643	483180	-2,25	-1,39	-3,35	-4,35	-0,75	-1,88	-1,58
F05226A	120243	483848	-0,84	-0,06	-1,83	-2,83	0,74	-0,36	-0,16
F05227A	120249	483723	-0,98	-0,04	-2,14	-3,14	0,41	-0,39	-0,14
F05228A	120225	483456	-1,96	-1,13	-3,24	-4,24	-0,67	-1,53	-1,19
F05229A	120247	483353	-2,05	-1,08	-3,22	-4,22	-0,64	-1,52	-1,19
F05230A	120295	483300	-3,85	-1,13	-3,13	-4,13	-0,58	-1,65	-1,25
F05231A	120320	483190	-2,06	-1,32	-3,16	-4,16	-0,57	-1,66	-1,37
F05232A	119215	483235	-1,92	-1,33	-3,43	-4,43	-0,83	-1,59	-1,37
F05235A	120373	483768	-0,71	-0,06	-1,86	-2,86	0,69	-0,37	-0,14
F05236A	120458	483434	-2,55	-1,39	-3,34	-4,34	-0,69	-1,72	-1,44
F05237A	120451	483381	-2,04	-1,19	-3,25	-4,25	-0,68	-1,59	-1,26
F05238A	120465	483329	-1,89	-1,23	-3,49	-4,49	-0,90	-1,56	-1,30
F05239A	120463	483284	-1,79	-1,16	-3,36	-4,36	-0,77	-1,56	-1,28
F05240A	120155	483666	-0,45	-0,21	-2,34	-3,34	0,68	-0,30	-0,21
F06015A	121036	483496	-0,84	-0,20	-3,74	-4,74	7,12	-0,55	-0,33
F06041A	121098	483293	-1,80	-1,57	-1,52	-2,52	-0,10	-1,67	-1,58
F06042A	121169	483237	-1,86	-1,22	-1,64	-2,64	-0,38	-1,49	-1,29
F06070A	121777	483476	-1,69	-0,54	-2,12	-3,12	0,32	-1,21	-0,94
F06080A	121416	483787	-1,78	-0,21	-2,11	-3,11	0,46	-0,72	-0,36
F06081A	121413	483631	-1,03	-0,24	-2,06	-3,06	0,59	-0,56	-0,34
F06082A	121407	483504	-1,36	-0,10	-2,01	-3,01	0,49	-0,58	-0,29
F06084A	121343	483905	-1,29	-0,19	-2,11	-3,11	0,41	-0,67	-0,39
F06085A	121270	483998	-1,79	-0,17	-2,07	-3,07	0,50	-0,73	-0,42
F06086A	121180	484111	-1,83	-0,15	-1,88	-2,88	0,67	-0,84	-0,40
F06087A	121073	484149	-1,39	-0,15	-2,24	-3,24	0,63	-0,74	-0,38
F06103A	121181	483553	-0,95	0,03	-1,84	-2,84	0,65	-0,54	0,03
F06104A	121192	483587	-0,78	-0,28	-1,78	-2,78	0,71	-0,52	-0,29
F06142A	121190	483579	-1,19	-0,25	-2,45	-3,45	0,21	-0,66	-0,38
F06148A	121546	483501	-1,15	-0,38	-2,17	-3,17	0,45	-0,78	-0,49
F06194A	121159	484187	-0,46	-0,25	-2,24	-3,24	0,58	-0,37	-0,25
F06195A	121189	484087	-2,25	-0,70	-3,02	-4,02	0,73	-1,02	-0,73
F06196A	121189	483948	-1,03	-0,23	-2,32	-3,32	0,45	-0,65	-0,32

peilbuis ID	X	Y	grondwaterstand min (m NAP)	grondwaterstand max (m NAP)	bovenkant filter (m NAP)	onderkant filter (m NAP)	maaveld-hoogte (m NAP)	gemiddelde grondwaterstand (m NAP)	afgeleide GHG (m NAP)
F06197A	121211	483793	-1,15	-0,04	-2,06	-3,06	0,85	-0,56	-0,18
F06198A	121239	483652	-1,08	-0,23	-2,13	-3,13	0,87	-0,56	-0,27
F06199A	121156	483526	-1,03	-0,35	-2,25	-3,25	0,68	-0,67	-0,40
F06200A	121236	483877	-1,23	-0,22	-2,32	-3,32	0,62	-0,66	-0,33
G05008A	119644	482827	-2,14	-1,67	-3,20	-4,20	-0,64	-1,95	-1,81

Tabel 9: overzicht eilbuisgegevens en stijghoogtes eerste watervoerend pakket

peilbuis ID	X	Y	stijghoogte min (m NAP)	stijghoogte max (m NAP)	bovenkant filter (m NAP)	onderkant filter (m NAP)	maaveld-hoogte (m NAP)	gemiddelde stijghoogte (m NAP)	afgeleide GHG (m NAP)
F05098C	119984	483671	-3,90	-3,30	-12,14	-13,14	0,91	-3,62	-3,40
F05113C	120123	483296	-4,06	-3,17	-13,18	-14,18	-0,89	-3,45	-3,24
F05136C	119682	483578	-3,53	-3,20	-12,09	-13,09	0,33	-3,34	-3,22
F05138C	118872	483517	-3,47	-3,17	-12,48	-13,48	0,45	-3,30	-3,19
F05139C	118943	483522	-3,41	-3,11	-11,45	-12,45	0,50	-3,25	-3,13
F05173C	119219	483324	-3,45	-3,09	-12,50	-13,50	-0,81	-3,23	-3,11
F05174C	120205	483490	-3,52	-3,05	-12,54	-13,54	-0,57	-3,29	-3,11
F05175C	120560	483442	-3,69	-3,03	-12,78	-13,78	-0,77	-3,28	-3,10
F05195C	120839	484129	-3,49	-2,80	-11,84	-12,84	0,37	-3,13	-2,98
F05197C	119434	483860	-2,55	-0,70	-12,28	-13,28	0,65	-1,53	-1,03
F05198C	120055	483878	-3,55	-3,07	-12,52	-13,52	0,46	-3,23	-3,10
F05199C	120373	483893	-3,39	-2,43	-12,99	-13,99	0,46	-2,70	-2,54
F05201C	118981	483821	-3,42	-3,07	-12,56	-13,56	0,54	-3,22	-3,10
F05203C	120863	483564	-3,48	-3,07	-13,77	-14,77	5,69	-3,24	-3,10
F05204C	120633	483615	-3,51	-3,11	-13,33	-14,33	6,17	-3,25	-3,12
F05205C	120467	483638	-3,38	-3,11	-13,69	-14,69	6,16	-3,24	-3,13
F05240C	120155	483666	-3,41	-3,21	-13,48	-14,48	0,68	-3,27	-3,21
F05241C	120580	483135	-3,78	-3,14	-12,33	-13,33	-0,53	-3,38	-3,21
F05242C	119945	483125	-4,49	-3,30	-11,98	-12,98	-0,63	-3,57	-3,33
F05243C	119455	483149	-3,56	-3,08	-13,28	-14,28	-0,61	-3,35	-3,21
F06015C	121036	483496	-3,40	-3,10	-13,75	-14,75	7,12	-3,24	-3,13
F06095C	120990	483868	-3,55	-2,12	-11,64	-12,64	0,86	-2,89	-2,29
F06115C	121197	483742	-3,80	-2,66	-12,44	-13,44	0,89	-3,25	-2,98
F06194C	121159	484187	-2,95	-2,74	-12,50	-13,50	0,58	-2,81	-2,74
F06195C	121189	484087	-3,68	-2,98	-12,10	-13,10	0,73	-3,23	-3,02
F06196C	121189	483948	-3,31	-2,74	-12,01	-13,01	0,45	-3,13	-2,98
F06197C	121211	483793	-3,33	-2,89	-12,42	-13,42	0,85	-3,17	-3,02
F06198C	121239	483652	-3,45	-3,07	-12,52	-13,52	0,87	-3,22	-3,08
F06199C	121156	483526	-3,38	-3,09	-12,42	-13,42	0,68	-3,24	-3,13
F06200C	121236	483877	-3,46	-3,03	-12,34	-13,34	0,62	-3,19	-3,05

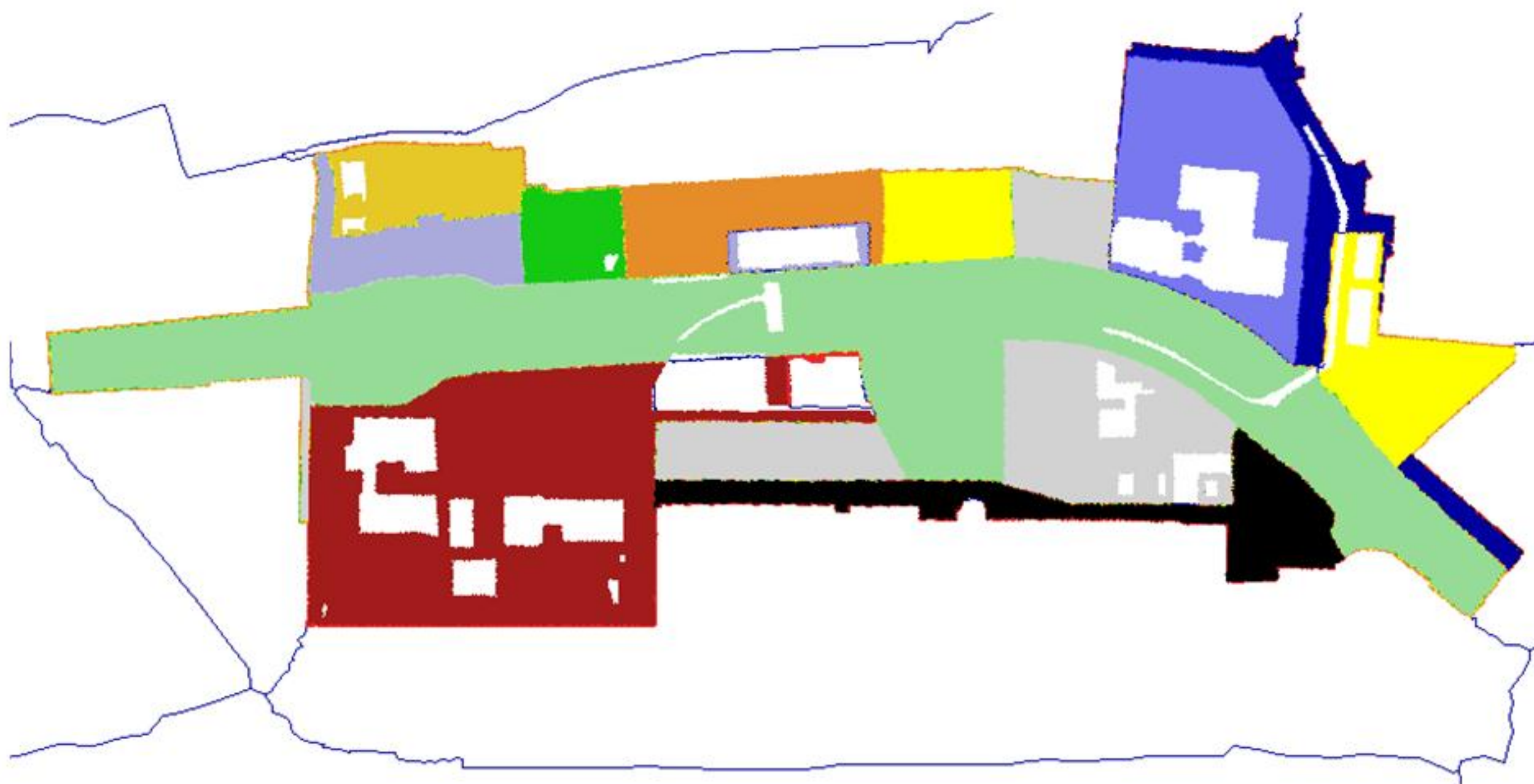
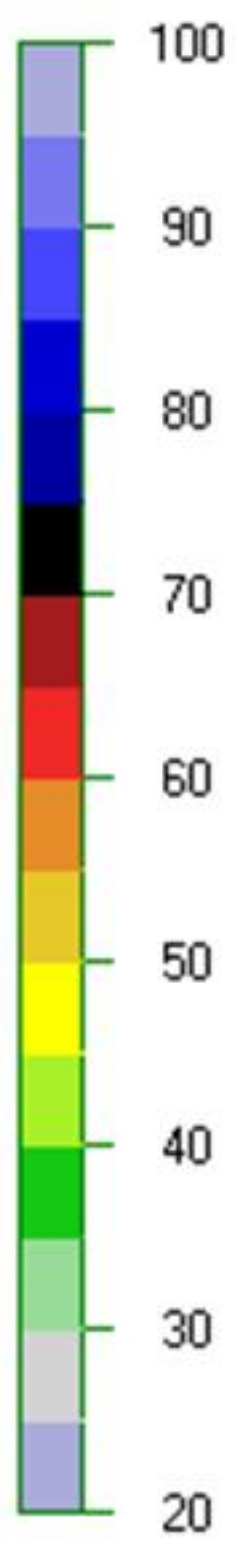
BIJLAGE 3 – Indeling verhard-, onverhard- en wateroppervlak in 2010

Tabel 10: indeling verhard, onverhard en wateroppervlak in 2010

Deelgebied	Totaal oppervlak deelgebied [ha]	Percentage van het gehele deelgebied-oppervlak (= inclusief wateroppervlak)			Percentage van het landoppervlak van het deelgebied	
		onverhard	verhard	water	Onverhard	Verhard
ABN Amro	2,3	36,5	56,5	7,0	39,3	60,7
Amstelveenseweg Zuid	0,6	71,4	28,6	0,0	71,4	28,6
Beatrixpark	4,7	65,0	22,1	13,0	74,6	25,4
Beethoven	6,6	50,2	42,6	7,3	54,1	45,9
Begraafplaats Buitenveldert	7,6	72,5	19,7	7,8	78,7	21,3
Boelelaan	13,7	27,3	68,6	4,1	28,4	71,6
Dokzone	72,6	68,1	29,1	2,8	70,1	29,9
Europaboulevard Noord	9,5	21,3	71,2	7,5	23,0	77,0
Frederik Roeskestraat	8,2	48,7	50,4	1,0	49,1	50,9
Gershwin	7,9	72,0	25,0	3,0	74,2	25,8
Kenniskwartier	47,0	32,0	62,2	5,8	34,0	66,0
Kop Zuidas	11,4	49,6	44,7	5,7	52,6	47,4
Mahler	5,5	35,3	64,7	0,0	35,3	64,7
RAI	25,0	9,0	84,5	6,5	9,6	90,4
Ravel	9,6	64,4	33,6	2,0	65,7	34,3
Rechtbank	5,3	62,9	35,0	2,1	64,2	35,8
Strawinsky Noord	9,9	43,1	56,9	0,0	43,1	56,9
Vivaldi	17,6	66,4	27,1	6,5	71,1	28,9
WTC	3,3	5,2	94,8	0,0	5,2	94,8
TOTAAL ZUIDAS	268,1	47,9	47,6	4,4	49,7	50,3
Freatisch beïnvloedingsgebied ten noorden van de Zuidas	282	-				
Freatisch beïnvloedingsgebied ten zuiden van de Zuidas	213					
TOTAAL ZUIDAS + FREATISCH BEINVLOEDINGSGEBIED	763					

BIJLAGE 4 – kaart percentage verhard oppervlak per deelgebied

netto percentage verhard oppervlak per deelgebied (wateroppervlak is niet in het totaaloppervlak meegerekend)

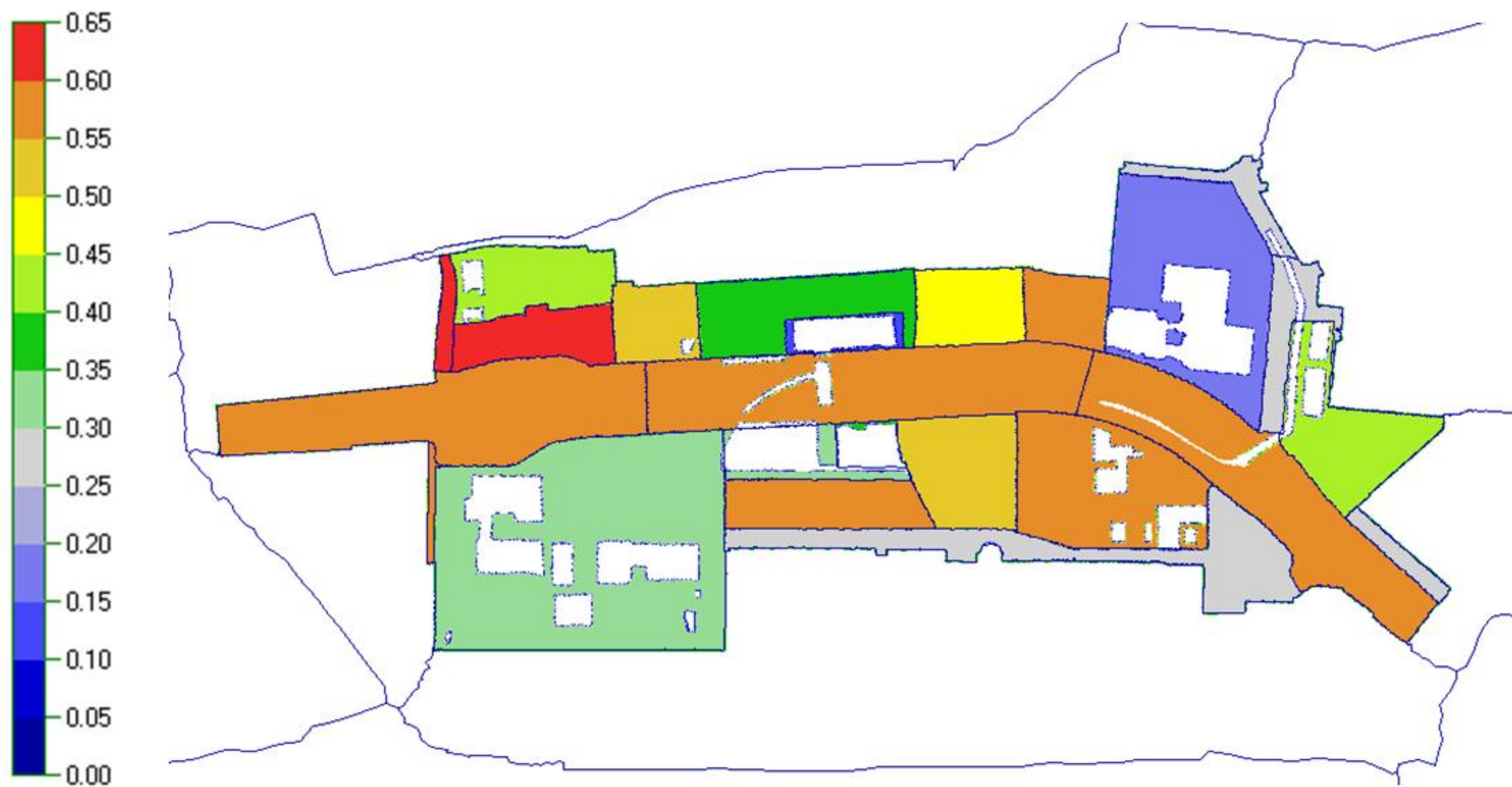


BIJLAGE 5 – grondwateraanvulling gemiddelde situatie

Grondwateraanvulling (mm/dag) in de gemiddelde situatie, zie ook de onderstaande tabel. Ter plaatse van kelders / ondergrondse constructies is de grondwateraanvulling op 0,0 gesteld. Buiten de Zuidas is de grondwateraanvulling op 0,37 mm/dag gesteld.

Tabel 11: overzicht grondwateraanvulling gemiddelde situatie (mm/dag) per deelgebied

DEELGEBIED	grondwateraanvulling (mm/dag)
ABN Amro	0,36
Amstelveenseweg Zuid	0,57
Beatrixpark	0,59
Beethoven	0,46
Begraafplaats Buitenveldert	0,62
Boelelaan	0,29
Dokzone	0,56
Europaboulevard Noord	0,26
Frederik Roeskestraat	0,43
Gershwin	0,59
Kenniskwartier	0,33
Kop Zuidas	0,45
Mahler	0,34
RAI	0,18
Ravel	0,53
Rechtbank	0,52
Strawinsky Noord	0,39
Vivaldi	0,57
WTC	0,15
Buiten de Zuidas	0,37
gemiddeld	0,43

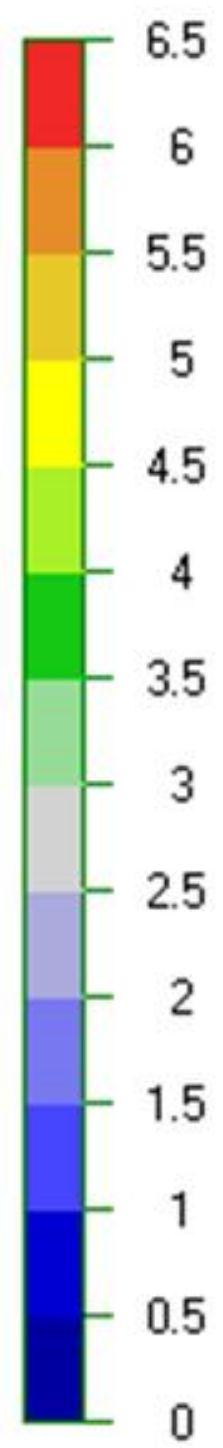


BIJLAGE 6 – grondwateraanvulling pieksituatie

Grondwateraanvulling (mm/dag) in de pieksituatie, zie ook de onderstaande tabel. Ter plaatse van kelders / ondergrondse constructies is de grondwateraanvulling op 0,0 gesteld. Buiten de Zuidas is de grondwateraanvulling op 3,7 mm/dag gesteld.

Tabel 12: overzicht grondwateraanvulling pieksituatie (mm/dag) per deelgebied

DEELGEBIED	grondwateraanvulling (mm/dag)
ABN Amro	3,63
Amstelveenseweg Zuid	5,85
Beatrixpark	6,13
Beethoven	4,67
Begraafplaats Buitenveldert	6,40
Boelelaan	2,87
Dokzone	5,78
Europaboulevard Noord	2,52
Frederik Roeskestraat	4,32
Gershwin	6,06
Kenniskwartier	3,29
Kop Zuidas	4,60
Mahler	3,36
RAI	1,62
Ravel	5,50
Rechtbank	5,36
Strawinsky Noord	3,91
Vivaldi	5,85
WTC	1,28
Buiten de Zuidas	3,7
gemiddeld	4,34

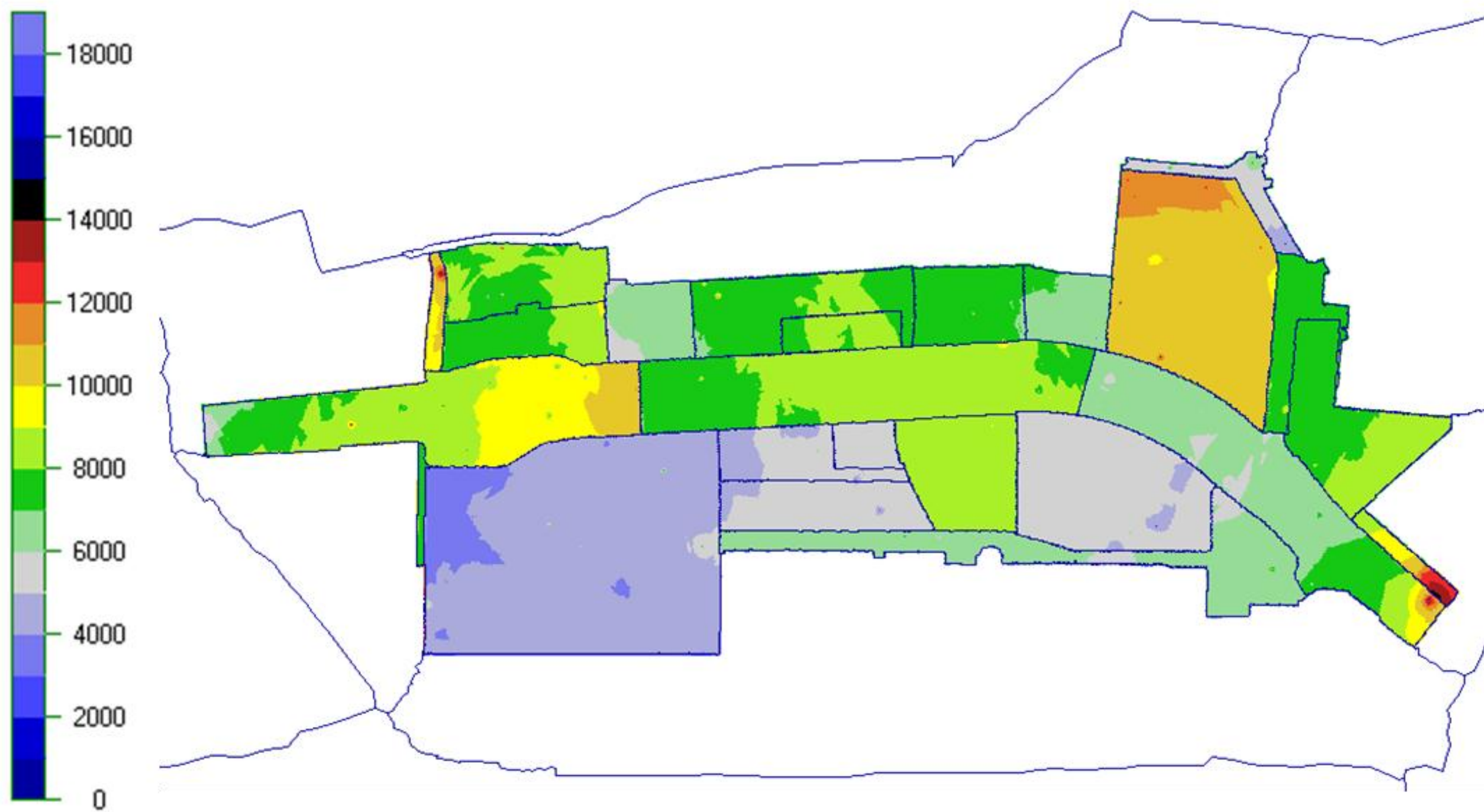


BIJLAGE 7 – Gevoeligheidsanalyse weerstand slecht-doorlatende laag per deelgebied, inclusief gevoeligheidsanalyse

Tabel 13: overzicht weerstand van de slecht doorlatende laag in dagen (zie kolom 'startwaarde'. Daarnaast zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse weergegeven. Deze zijn uitgedrukt als m verschil in stijghoogte in het freatisch pakket ten opzichte van de geijkte grondwaterstand, met links steeds de laagste waarde, rechts de hoogste waarde.

weerstand slecht-doorlatende laag (dagen)												
DEELGEBIED	geijkte waarde											
	min / max	gemiddeld	50%		70%		120%		150%		200%	
ABN Amro	5000 5300	ca 5100	geen stijghoogtemetingen beschikbaar									
Amstelveenseweg Zuid	7000 7500	ca 7200	geen stijghoogtemetingen beschikbaar									
Amstelveenseweg Noord	9400 12000	ca 10200	geen stijghoogtemetingen beschikbaar									
Beatrixpark	5900 7300	ca 6800	geen stijghoogtemetingen beschikbaar									
Beethoven	6900 7600	ca 7200	-0,50	-0,89	-0,24	-0,43	0,10	0,19	0,22	0,38	0,33	0,60
Begraafplaats Buitenveldert	7200 9100	ca 8000	geen stijghoogtemetingen beschikbaar									
Boelelaan	5800 7000	ca 6300	-0,15	-0,40	-0,07	-0,20	0,03	0,09	0,06	0,17	0,09	0,26
Dokzone Oost	6100 12000	ca 6700	-0,37	-1,31	-0,18	-0,74	0,08	0,41	0,17	0,90	0,27	1,48
Dokzone Midden	7000 8900	ca 8100	-0,10	-0,97	-0,05	-0,50	0,02	0,24	0,04	0,50	0,06	0,80
Dokzone West	5300 10700	ca 8800	-0,47	-0,58	-0,21	-0,27	0,09	0,11	0,18	0,23	0,27	0,35
Europaboulevard Noord (noord)	4200 6000	ca 5400	-0,13	-1,14	-0,07	-0,61	0,03	0,31	0,07	0,66	0,11	1,07
Europaboulevard Noord (zuid)	7300 13000	ca 8400	-1,20	-1,29	-0,65	-0,72	0,33	0,39	0,72	0,85	1,16	1,39
Frederik Roeskestraat	6900 9000	ca 8100	-0,25	-0,38	-0,11	-0,17	0,05	0,07	0,09	0,15	0,14	0,22
Gershwin	4800 5300	ca 5100	geen stijghoogtemetingen beschikbaar									
Kenniskwartier	3600 5300	ca 4300	-0,03	-0,37	-0,01	-0,18	0,01	0,08	0,01	0,16	0,02	0,25
Kop Zuidas	7200 8600	ca 7900	-0,88	-1,09	-0,47	-0,59	0,24	0,30	0,52	0,65	0,84	1,06
Mahler	4300 5300	ca 5000	peilbuizen in kelders									
RAI	8900 11500	ca 10700	-0,08	-1,33	-0,04	-0,75	0,02	0,41	0,04	0,91	0,07	1,49
Ravel	8000 8600	ca 8300	-0,15	-0,28	-0,07	-0,13	0,03	0,05	0,06	0,11	0,09	0,17
Rechtbank	5800 6700	ca 6200	-0,07	-0,87	-0,03	-0,45	0,02	0,21	0,03	0,45	0,05	0,72
Strawinsky Noord	6800 8200	ca 7700	-0,90	-1,19	-0,46	-0,62	0,22	0,29	0,46	0,61	0,73	0,97
Vivaldi	4900 5200	ca 5200	-0,03	-0,41	-0,02	-0,19	0,01	0,08	0,01	0,16	0,02	0,25
WTC	7600 11400	ca 8000	-0,97	-1,02	-0,46	-0,49	0,20	0,22	0,41	0,45	0,64	0,70

Op de volgende pagina is de geijkte weerstand van de slechtdoorlatende laag (dagen) weergegeven, gevolgd door een visualisatie van de gevoeligheidsanalyse.





Figuur 17: resultaat gevoeligheidsanalyse c-waarde 50 %. Een blauwe stip geeft een grondwaterstand weer die lager ligt dan de geijkte grondwaterstand, een groene stip een grondwaterstand die hoger ligt dan de geijkte grondwaterstand. Rechtsonder is een groene stip in een paarse cirkel te zien. De doorsnede van deze groene stip geeft een afwijking van 20 cm weer.



Figuur 18: resultaat gevoeligheidsanalyse c-waarde 70 %. Een blauwe stip geeft een grondwaterstand weer die lager ligt dan de geijkte grondwaterstand, een groene stip een grondwaterstand die hoger ligt dan de geijkte grondwaterstand. Rechtsonder is een groene stip in een paarse cirkel te zien. De doorsnede van deze groene stip geeft een afwijking van 20 cm weer.



Figuur 19: resultaat gevoeligheidsanalyse c-waarde 120 %. Een blauwe stip geeft een grondwaterstand weer die lager ligt dan de geijkte grondwaterstand, een groene stip een grondwaterstand die hoger ligt dan de geijkte grondwaterstand. Rechtsonder is een groene stip in een paarse cirkel te zien. De doorsnede van deze groene stip geeft een afwijking van 20 cm weer.



Figuur 20: resultaat gevoeligheidsanalyse c-waarde 150 %. Een blauwe stip geeft een grondwaterstand weer die lager ligt dan de geijkte grondwaterstand, een groene stip een grondwaterstand die hoger ligt dan de geijkte grondwaterstand. Rechtsonder is een groene stip in een paarse cirkel te zien. De doorsnede van deze groene stip geeft een afwijking van 20 cm weer.

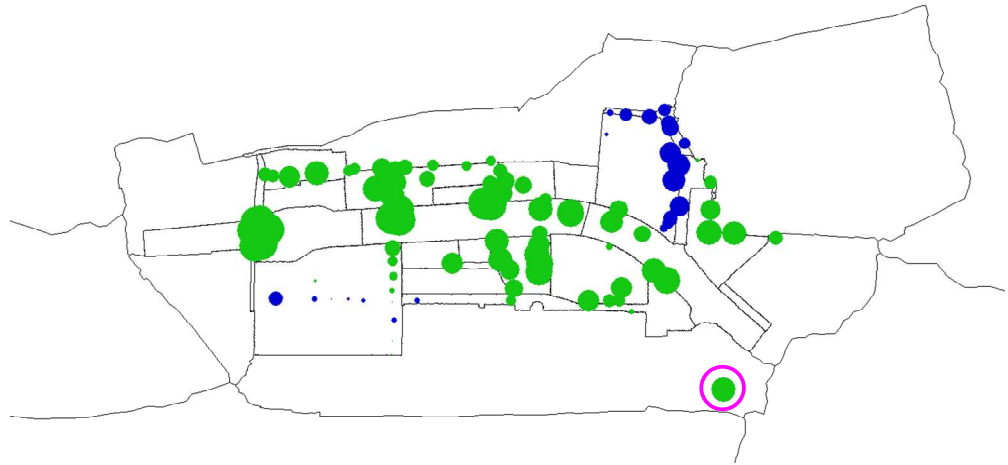


Figuur 21: resultaat gevoeligheidsanalyse c-waarde 200 %. Een blauwe stip geeft een grondwaterstand weer die lager ligt dan de geijkte grondwaterstand, een groene stip een grondwaterstand die hoger ligt dan de geijkte grondwaterstand. Rechtsonder is een groene stip in een paarse cirkel te zien. De doorsnede van deze groene stip geeft een afwijking van 20 cm weer.

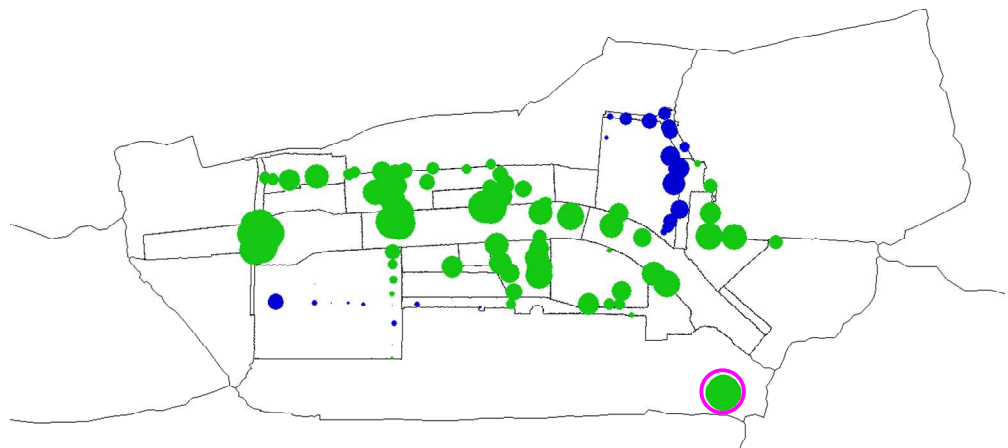
BIJLAGE 8 – doorlatendheid freatisch pakket (k-waarden) per deelgebied (inclusief gevoeligheidsanalyse)

Tabel 14: overzicht doorlatendheid (k-waarden) freatisch pakket (zie kolom 'startwaarde'. Daarnaast zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse weergegeven. Deze zijn uitgedrukt als m verschil in grondwaterstand in het freatisch pakket ten opzichte van de geijkte grondwaterstand, met links steeds de laagste waarde, rechts de hoogste waarde.

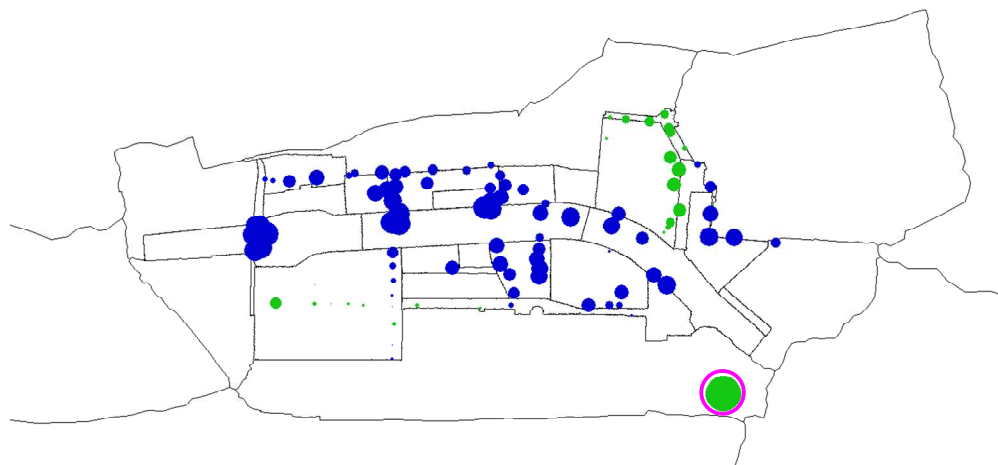
doorlatendheid freatisch pakket (m/dag)												
DEELGEBIED	geijkte waarde	50%		70%		120%		150%		200%		
ABN Amro	7	geen stijghoogtemetingen beschikbaar										
Amstelveenseweg Zuid	10	geen stijghoogtemetingen beschikbaar										
Amstelveenseweg Noord	2,5	geen stijghoogtemetingen beschikbaar										
Beatrixpark	1,75	geen stijghoogtemetingen beschikbaar										
Beethoven	2,5	0,07	0,17	0,04	0,09	-0,02	-0,04	-0,04	-0,09	-0,06	-0,15	
Begraafplaats Buitenveldert	2,5	geen stijghoogtemetingen beschikbaar										
Boelelaan	2	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	-0,06	0,00	-0,01	0,01	-0,02	
Dokzone Oost	1,75	0,10	0,23	0,05	0,11	-0,03	-0,06	-0,06	-0,12	-0,10	-0,19	
Dokzone Midden	1,75	0,06	0,35	0,03	0,18	-0,01	-0,09	-0,03	-0,19	-0,04	-0,31	
Dokzone West	1,5	0,28	0,44	0,13	0,21	-0,06	-0,10	-0,12	-0,21	-0,18	-0,33	
Europaboulevard Noord (noord)	4	-0,02	-0,09	-0,01	-0,04	0,00	0,02	0,01	0,04	0,01	0,05	
Europaboulevard Noord (zuid)	5	0,05	-0,13	0,03	-0,06	-0,02	0,03	-0,04	0,05	-0,08	0,08	
Frederik Roeskestraat	1	0,05	0,22	0,02	0,10	-0,01	-0,04	-0,01	-0,09	-0,01	-0,14	
Gershwin	7	geen stijghoogtemetingen beschikbaar										
Kenniskwartier	10	-0,01	0,08	-0,01	0,04	0,00	-0,02	0,01	-0,04	0,01	-0,06	
Kop Zuidas	2,5	0,14	0,21	0,07	0,11	-0,04	-0,06	-0,09	-0,12	-0,14	-0,20	
Mahler	7	peilbuizen vallen in kelders										
RAI	7	0,12	-0,16	0,06	-0,08	-0,03	0,03	-0,07	0,07	0,11	-0,12	
Ravel	7	0,11	0,23	0,05	0,11	-0,02	-0,05	-0,04	-0,10	-0,07	-0,16	
Rechtbank	2,5	0,04	0,21	0,02	0,10	-0,01	-0,05	-0,02	-0,10	-0,03	-0,16	
Strawinsky Noord	2,5	0,03	0,20	0,02	0,10	-0,01	-0,05	-0,02	-0,11	-0,04	-0,19	
Vivaldi	9	0,01	0,16	0,01	0,08	0,00	-0,04	0,00	-0,07	0,00	-0,12	
WTC	1,75	0,07	0,18	0,04	0,09	-0,02	-0,05	-0,05	-0,10	-0,08	-0,16	



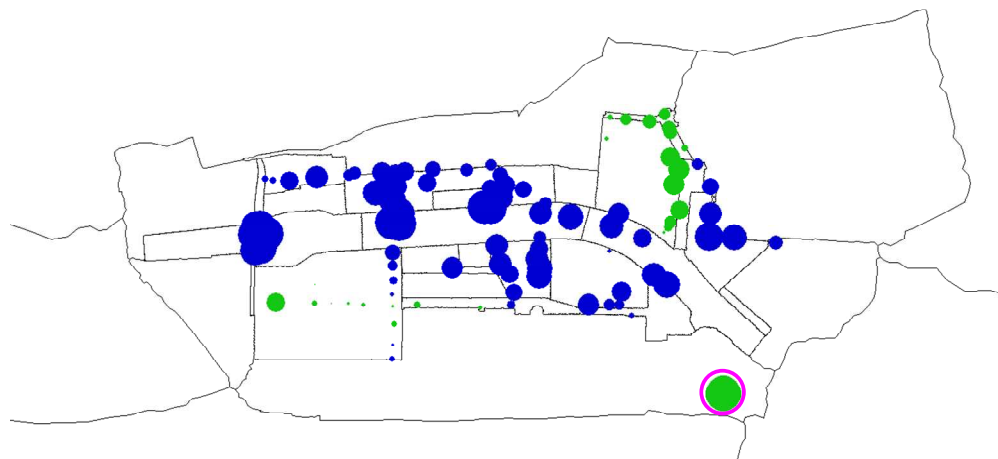
Figuur 22: resultaat gevoeligheidsanalyse k-waarde 50 %. Een blauwe stip geeft een grondwaterstand weer die lager ligt dan de geijkte grondwaterstand, een groene stip een grondwaterstand die hoger ligt dan de geijkte grondwaterstand. Rechtsonder is een groene stip in een paarse cirkel te zien. De doorsnede van deze groene stip geeft een afwijking van 20 cm weer.



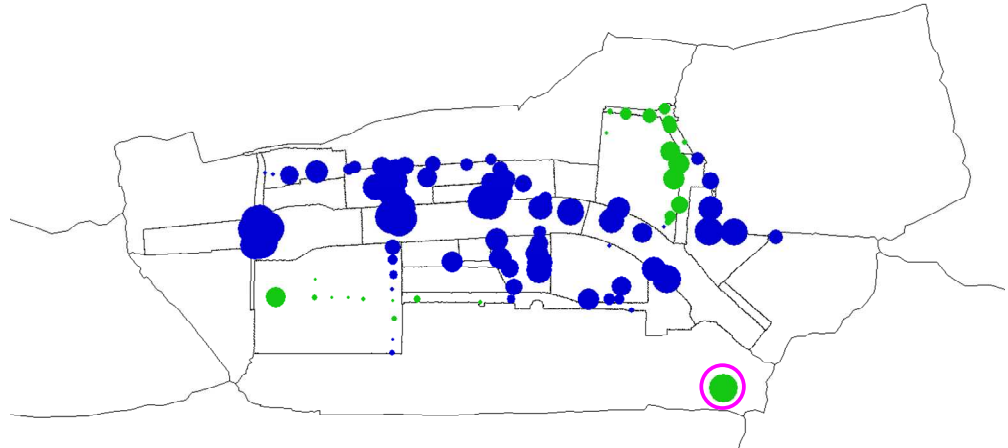
Figuur 23: resultaat gevoeligheidsanalyse k-waarde 70 %. Een blauwe stip geeft een grondwaterstand weer die lager ligt dan de geijkte grondwaterstand, een groene stip een grondwaterstand die hoger ligt dan de geijkte grondwaterstand. Rechtsonder is een groene stip in een paarse cirkel te zien. De doorsnede van deze groene stip geeft een afwijking van 20 cm weer.



Figuur 24: resultaat gevoeligheidsanalyse k-waarde 120 %. Een blauwe stip geeft



Figuur 25: resultaat gevoeligheidsanalyse k-waarde 150 %. Een blauwe stip geeft een grondwaterstand weer die lager ligt dan de geijkte grondwaterstand, een groene stip een grondwaterstand die hoger ligt dan de geijkte grondwaterstand. Rechtsonder is een groene stip in een paarse cirkel te zien. De doorsnede van deze groene stip geeft een afwijking van 20 cm weer.



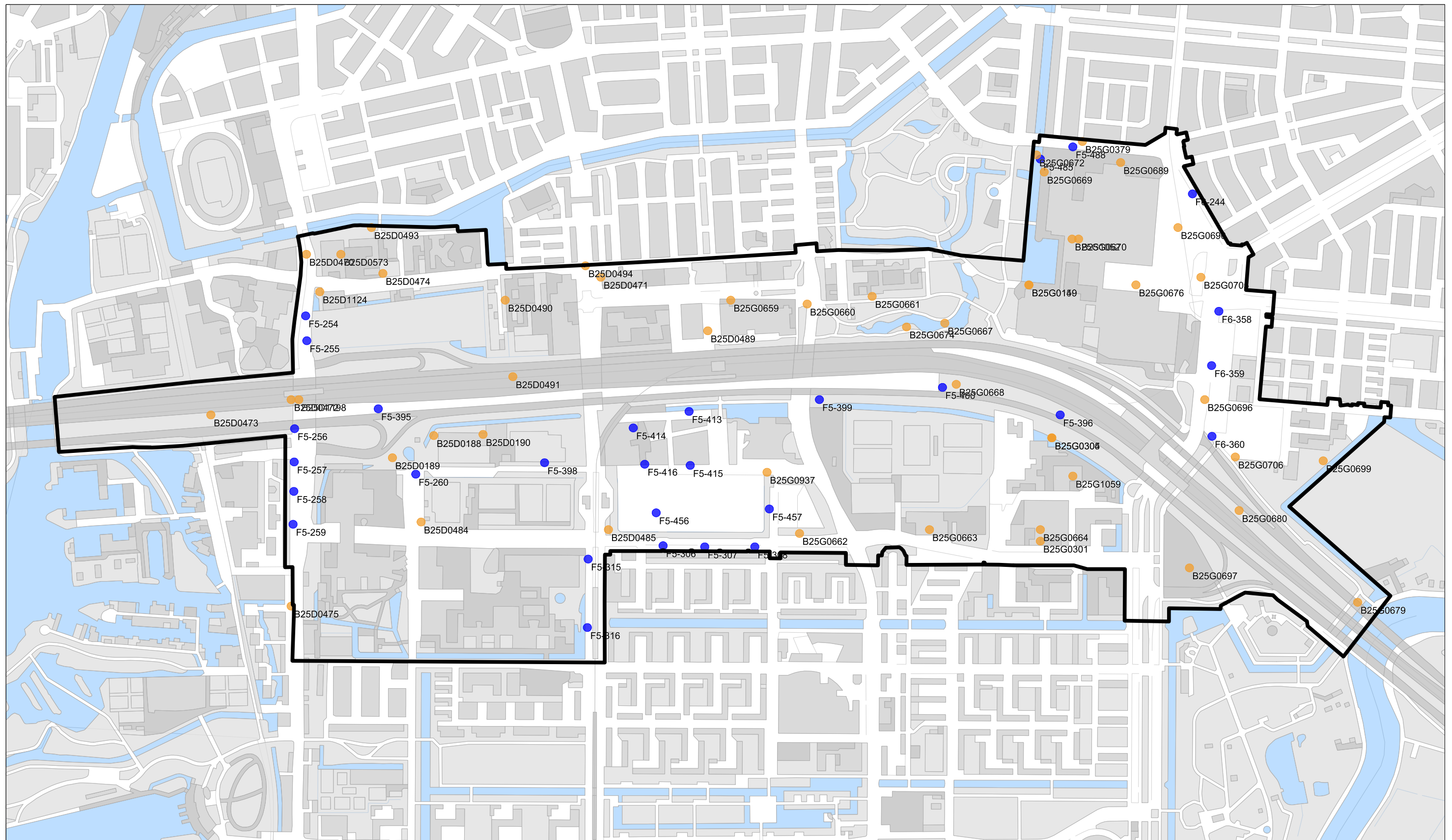
Figuur 26: resultaat gevoeligheidsanalyse k-waarde 200 %. Een blauwe stip geeft een grondwaterstand weer die lager ligt dan de geijkte grondwaterstand, een groene stip een grondwaterstand die hoger ligt dan de geijkte grondwaterstand. Rechtsonder is een groene stip in een paarse cirkel te zien. De doorsnede van deze groene stip geeft een afwijking van 20 cm weer.

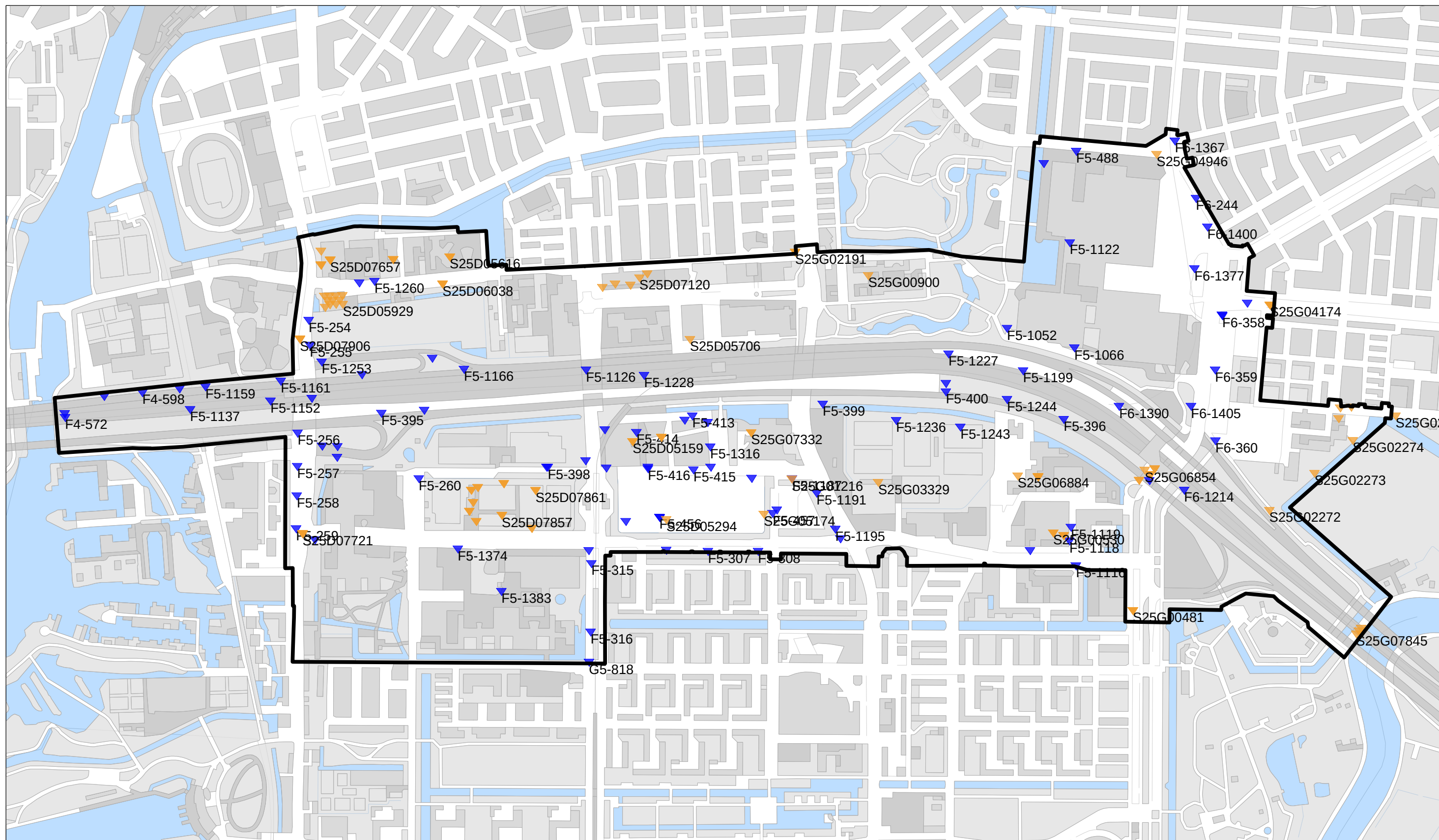
BIJLAGE 9 – ijkresultaten

Tabel 15: resultaten ijkking grondwatermodel. Weergegeven is de afwijking van de berekende grondwaterstand t.o.v de gemeten grondwaterstad. Afwijkingen groter dan plus of minus 20 cm zijn gemarkeerd.

DEELGEBIED	afwijking van gemeten gws bij c = 100% en K = 100%	
ABN Amro	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Amstelveenseweg Zuid	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Amstelveenseweg Noord	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Beatrixpark	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Beethoven	-0,02	0,05
Begraafplaats Buitenveldert	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Boelelaan	-0,26	-0,08
Dokzone Oost	0,11	0,21
Dokzone Midden	-0,14	0,21
Dokzone West	-0,56	0,08
Europaboulevard Noord (noord)	-0,17	0,42
Europaboulevard Noord (zuid)	-0,13	0,14
Frederik Boeskestraat	-0,32	-0,05
Gershwin	geen stijghoogtemetingen beschikbaar	
Kenniskwartier	-0,40	0,31
Kop Zuidas	-0,14	-0,05
Mahler	peilbuizen in kelders	
RAI	-0,18	0,16
Ravel	-0,11	0,04
Rechtbank	-0,06	0,34
Strawinsky Noord	-0,21	0,07
Vivaldi	-0,19	0,17
WTC	-0,22	-0,17

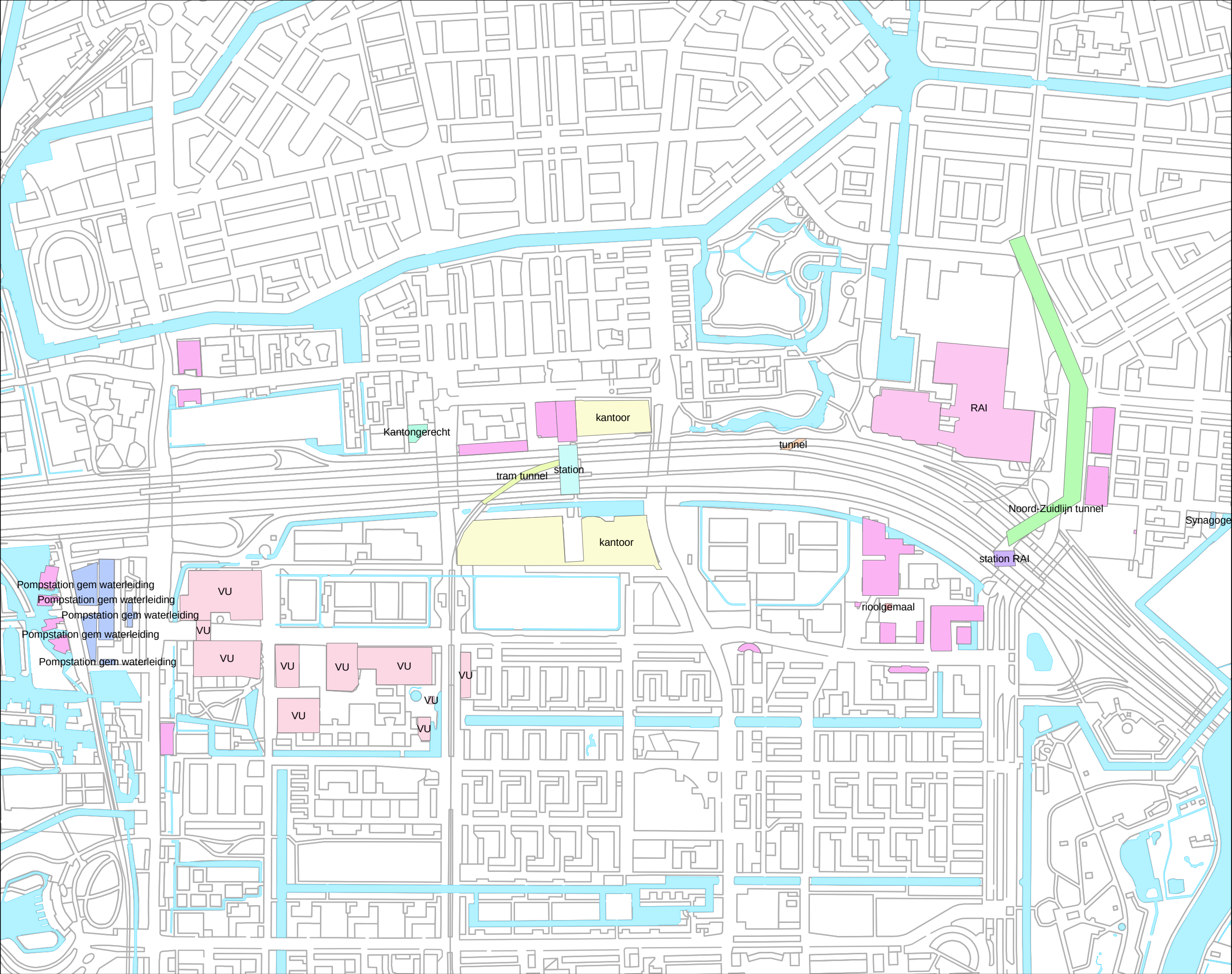
BIJLAGE 10 – geraadpleegde boringen en sonderingen





BIJLAGE 11 – locaties ondergrondse constructies

ONDERGRONDSE CONSTRUCTIES ZUIDAS



Legenda

Ondergrondse constructies Zuidas

objecttype

Noord-Zuidlijn tunnel

Kantongerecht

Pompstation gem waterleiding

RAI

Synagoge

VU

kantoor

rioolgemaal

station

station RAI

tram tunnel

tunnel

XXXX

Gemeente Amsterdam

XXXX

Ingenieursbureau

titel:

Ondergrondse constructies in de Zuidas

versie:

1

status:

DEFINITIEF

datum:

December 2009

opdrachtgever:

Projectbureau Zuidas

projectnummer:

50224

opsteller:

D. van den Ende

controle:

T.P. Timmermans

vrijgave:

T.P. Timmermans

Colofon

Tekst

Gemeente Amsterdam
Ingenieursbureau

Niets uit deze uitgave mag worden overgenomen zonder bronvermelding.
Gemeente Amsterdam,
Ingenieursbureau
Weesperstraat 430
Postbus 12693
1100 AR Amsterdam