



Datum
17 januari 2023

Ons kenmerk
Corsa 23.002539

Projectnummer
01.3071/001

Capaciteitsuitbreiding AWD van 70 naar 75

Mm³

per jaar

Onderdeel grondwatermodellering

Pierre Kamps
Philip Nienhuis

Inhoud

Inhoud	3
Voorwoord	5
1 Inleiding	7
2 Beschrijving van het huidige infiltratie en winsysteem	9
2.1 Inname, voorzuivering en transport van rivierwater uit de Lek	9
2.2 Infiltratie van WRK-water in de AWD	9
2.3 Winning met de winkanalen, drains en diepe winning	10
2.4 Winning van natuurlijk duinwater	11
2.5 Verdeling van infiltratie en winning binnen een jaar	12
3 De grondwatermodellering van het referentiescenario	14
3.1 Het referentiescenario, periode 2013 tot en met 2020	14
3.2 Resultaten van het referentiescenario 2013 tot en met 2020	15
3.3 Onderzoek winning netto-duinwater in het referentiescenario	15
4 Bouwstenen voor de uitbreiding productie	17
4.1 Randvoorwaarden waar de bouwstenen aan moeten voldoen	17
4.2 Bouwsteen 0+, intensievere benutting van het huidige systeem.	17
4.3 Bouwsteen 1, peilverlaging Barnaartkanaal met 25 cm.	20
4.4 Bouwsteen 2, peilverhoging van geulen met maximaal 10 cm.	22
4.5 Bouwsteen 3, Uitstroming van UB11 en UB12 verplaatsen van het Schusterkanaal naar het Westerkanaal	23
4.6 Bouwsteen 4, Omvorming van der Vlietkanaal naar een infiltratiebekken.	24
4.7 Bouwsteen 5, diepinfiltratie 2,5 Mm3/j met extra voorgezuiverd rivierwater.	26
5 Het Voorkeurscenario, een combinatie van bouwstenen	29
5.1 Het Voorkeurscenario stationair	29
5.2 Het referentiescenario niet-stationair	30
6 Conclusies en aanbevelingen	32
7 Referenties	33
Bijlage 1: Onderzoek netto-duinwaterwinning	34
Bijlage 2: Gevoeligheidsanalyse bodemweerstand winkanalen	39
Bijlage 3: Worst-case scenario doorwerking van effecten naar buiten de AWD42	

Voorwoord

Deze rapportage behandelt het hydrologisch onderzoek voor de uitbreiding van de productiecapaciteit in de Amsterdamse Waterleidingduinen (AWD) van 70 naar 75 Mm³/jaar.

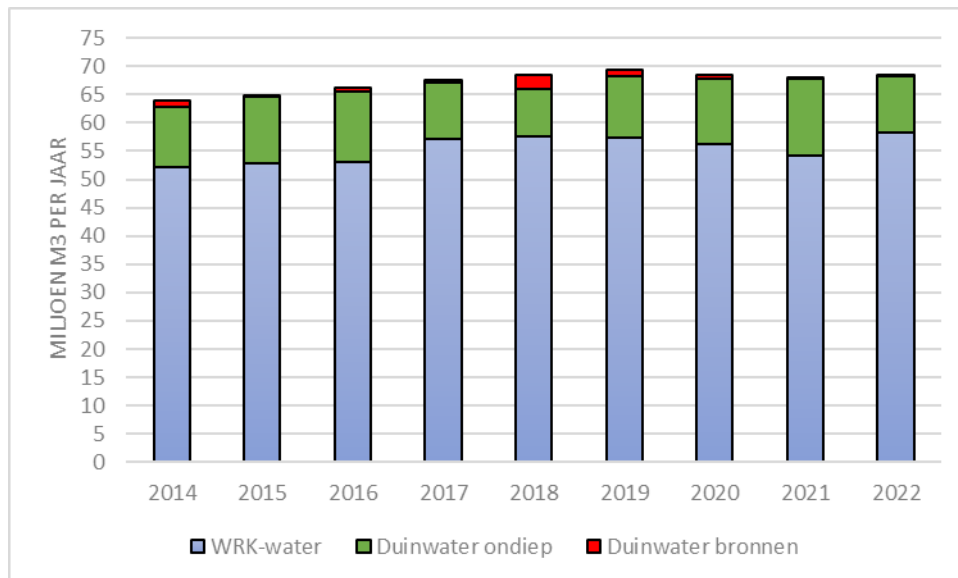
De verschillende bouwstenen die hiervoor zijn bedacht zijn beschreven in het rapport "Arcadis (2021) Alternatievenafweging uitbreiding productiecapaciteit drinkwaterwinning Amsterdamse Waterleiding Duinen". Op basis van een aantal belangrijke criteria is een keuze gemaakt voor een combinatie van drie van deze bouwstenen, de Voorkeursvariant. In dit rapport wordt uitgebreider ingegaan op de hydrologische aspecten ervan.

Gaandeweg het project is een aantal hydrologische vragen naar boven gekomen en zijn daarvoor aanvullende hydrologische berekeningen uitgevoerd. De resultaten daarvan zijn meegenomen in de interpretatie van de effecten van de bouwstenen en het voorkeursscenario (zie bijlagen). Dit betreft (1) doorwerking van effecten van ingrepen in de infiltratiegebieden op gebieden aangrenzend aan de AWD en (2) veranderingen in de grondwateraanvulling uit het neerslagoverschot in de AWD die de laatste 15 jaar zijn opgetreden ten gevolge van een aantal veranderingen in de AWD.

1 Inleiding

De productie van drinkwater op de vestiging Leiduin is de afgelopen jaren gestaag gegroeid tot maximaal 69,4 Mm³ in 2019 (zie Figuur 1). Alleen in 2020 is de productie met circa 1 Mm³ gedaald, ongetwijfeld door de coronacrisis. De maximale onttrekking aan de AWD, gelimiteerd in de vergunning tot 70 Mm³/jaar, is daarmee in zicht gekomen. Volgens de beschikbare prognoses zal de komende jaren de drinkwatervraag verder toenemen. Waternet heeft de voorkeur om in capaciteit te groeien op de productielocatie Weesperkarspel, maar dit zal naar verwachting pas na 2025 gerealiseerd kunnen worden. Tot die tijd zal de groei van de drinkwatervraag moeten worden opgevangen op de vestiging Leiduin. Verwacht wordt dat hiervoor nog 5 Mm³/jaar aan extra wincapaciteit in de AWD nodig is.

Figuur 1 Geleverde hoeveelheid ruwwater uit de AWD aan de zuivering Leiduin, verdeeld in de herkomst van het water.



Leeswijzer

De werking van het infiltratie-winsysteem (IWS) in de AWD wordt beknopt uit de doeken gedaan in hoofdstuk 2. In dit hoofdstuk worden tevens aangegeven welke randvoorwaarden Waternet bij de capaciteitsuitbreiding in acht neemt qua waterkwaliteit en inrichting van het IWS. Andere randvoorwaarden (bijvoorbeeld vanuit natuurbeheer) die Waternet stelt worden elders beschreven.

De vakgroep bronnenhydrologie heeft berekeningen met het grondwatermodel van de Amsterdamse Waterleidingduinen (in het vervolg AMWADU genoemd) uitgevoerd.

Allereerst is de hydrologische situatie in de periode 2013-2020 met de daarin gevoerde bedrijfsvoering en peilbeheer doorgerekend (hoofdstuk 3). Dit is het "referentiescenario".

Vervolgens is een aantal door de projectgroep "70-75" aangedragen varianten om de extra wincapaciteit de AWD te kunnen vergroten ("bouwstenen") met het model doorgerekend. Van elke bouwsteen zijn de capaciteitsvergroting en de omgevingseffecten (inclusief natuur) apart berekend en vergeleken met het referentiescenario. Op basis van de resultaten zijn combinaties van bouwstenen

opgesteld waarmee de gewenste extra capaciteit kan worden gerealiseerd en die combinaties zijn onderling vergeleken. Uiteindelijk is hieruit een voorkeursscenario geselecteerd dat aan de belangrijkste randvoorwaarden voldoet, zoals een minimaal effect voor de omgeving en een realisatietermijn van < 3 jaar. De resultaten van deze berekeningen worden in hoofdstuk 4 beschreven.

In het begin van het project is ook de bouwsteen “omvorming Oosterkanaal” beschouwd en doorgerekend. Deze bouwsteen, waarbij het Oosterkanaal tot infiltratiebekken wordt omgevormd, is niet verder meegenomen. De realisatietermijn, zou als gevolg van de impact op de omgeving (binnen en buiten het duin) , veel langer zijn dan 3 jaar. Deze bouwsteen is daarom niet meegenomen in de alternatievenafweging.

2 Beschrijving van het huidige infiltratie en winsysteem

In dit hoofdstuk wordt een korte beschrijving gegeven van het huidige systeem van bron tot zuivering voor de AWD. Ook wordt aangegeven waar in de nabije jaren mogelijke knelpunten kunnen ontstaan in de gehele keten voor de productie van ruw drinkwater voor de zuivering.

2.1 Inname, voorzuivering en transport van rivierwater uit de Lek

Op het Waterwinstation Cornelis Biemond (WCB) in Nieuwegein wordt sinds 1957 rivierwater uit het Lekkanaal gehaald, voorgezuiverd door coagulatie en snelle zandfiltratie en vervolgens via de WRK-I en de WRK-II leidingen naar de ontvangstvijvers van de AWD gepompt. Op WCB is ook een noodwinning aanwezig bestaande uit 16 winputten die zoet grondwater uit de diepere bodemlagen kan onttrekken met een gezamenlijke capaciteit van 5000 m³/h. Deze noodwinning kan worden ingezet wanneer het water in het Lekkanaal van slechte kwaliteit is waardoor deze niet meer voldoet aan het infiltratiebesluit; echter is het jaartotaal van deze winning in de vergunning gelimiteerd tot 2,999 miljoen m³ per jaar.

Er wordt regelmatig, meestal in het najaar, onderhoud gepleegd aan één van de WRK-leidingen of infrastructuur op WCB waardoor de aanvoer van rivierwater in deze periode beperkt is en soms zelfs geheel stopt. In dit laatste geval was het in het verleden mogelijk om via de WRK-III leiding ook water uit het IJsselmeer te ontvangen uit Andijk, de andere WRK vestiging (Waterwinstation Prinses Juliana). Echter door de beperkte capaciteit van deze productielocatie en de toegenomen vraag van PWN zelf was dit de afgelopen jaren niet of nauwelijks meer mogelijk.

2.2 Infiltratie van WRK-water in de AWD

Het WRK-water uit Nieuwegein komt in de ontvangstvijver binnen op een hoogte van circa NAP +9,50 m en vervolgt dan zijn weg naar de infiltratiepanden of geulen onder natuurlijk verval. Na de binnenkomst ondergaat het water eerst een beluchting waarna het via twee gesloten leidingen naar de infiltratiegebieden stroomt. Volgens de huidige vergunning mag het rivierwater namelijk niet buiten het infiltratiegebieden worden geïnfiltreerd en teruggewonnen. In de infiltratiegebieden monden de leidingen uit in een stelsel van toevoersloten, in dit open aanvoersysteem vindt al beperkte infiltratie van rivierwater plaats, het overige water stroomt naar de 40 geulen. De verdeling van het water over de vijf verschillende gebieden wordt geregeld door een 8-tal meet- en regelstuwen in het aanvoersysteem. De verblijftijd van het water in het aanvoersysteem ligt in de orde van uren.

Het waterpeil van de meeste geulen ligt duidelijk onder die van de toevoersloot. Deze geulen zijn via een overstortbak gekoppeld aan de toevoersloot, de randgeulen 6, 19 en 20 langs het Westerkanaal worden echter gevoed via een onderdoorlaat omdat hiermee een groter debiet in de geulen kan worden ingelaten. De geulen 2, 9 en 10 zijn met een duiker gekoppeld aan de toevoersloot en volgen daardoor het peil van de toevoersloot.

Het IWS is in de jaren vijftig van de vorige eeuw ontworpen op een maximale capaciteit van 83 Mm³ per jaar. Hierbij werd een minimale verblijftijd in de ondergrond gehanteerd van 60 dagen. Bij een minimale afstand tussen geul en winning van 60 meter is daarbij dan de gemiddelde stroomsnelheid in de ondergrond 1 meter per dag. Bij onze collega duinwaterleidingbedrijven is de norm voor de minimale

verblijftijd korter, PWN 21 dagen en Dunea 28 dagen, waardoor zij op een kleiner oppervlakte kunnen opereren. Een langere verblijftijd heeft echter grote voordelen; de afvlakking van de waterkwaliteit is veel beter, o.a. die van de watertemperatuur omdat deze in de AWD in seizoensale tegenfase is met de luchttemperatuur; door het grotere oppervlak is er meer watervoorraad beschikbaar zodat bij een beperking van aanvoer de normale productie langer ongestoord kan doorgaan.

2.3 Winning met de winkanalen, drains en diepe winning

Na de bodempassage wordt het ondiepe grondwater weer teruggewonnen met de kanalen of de drains. In het verleden hebben aanpassingen aan het IWS plaatsgevonden, zoals de omvorming van win- naar voorraadkanaal, dempen van kanalen en verhoging van het bedrijfspeil van kanalen. Deze maatregelen en de afname van de capaciteit van de drains door veroudering hebben er voor gezorgd dat de oorspronkelijke maximale ontwerpcapaciteit thans niet meer haalbaar is.

Kanalen

De onttrekking van de kanalen voorziet in circa 70% van de totale winning. De peilen in de randkanalen kunnen weinig fluctueren omdat deze, naast het verzorgen van het transport van water naar de Oranjekom, vanwege hun lage peilen ook zorgen voor ontwatering van naast de AWD gelegen gebieden. Centraal in de AWD liggen de bredere voorraadkanalen die meer in peil mogen fluctueren. De voorraadkanalen onttrekken ook infiltratiewater afkomstig uit de nabij gelegen geulen. Hoe lager het waterpeil van een voorraadkanaal, des te meer het als winkanaal fungeert, maar ook hoe lager de watervoorraad van de AWD.

Drains

De ontwerpcapaciteit van de drains, ofwel maximale capaciteit waarbij nog voldaan wordt aan de minimale verblijftijd, is voor de gezamenlijke 12 drainsystemen 92.500 m³ per dag (destijds is uitgegaan van 10 m³/ meter drain / dag). Deze ontwerpcapaciteit blijkt bij een aantal drains met de huidige schoonmaaktechnieken niet meer volledig te kunnen worden hersteld, met name wanneer de drain langdurig dit debiet zou moeten leveren. Daarnaast lozen de drainstrengen van UB11 en UB12 op een voorraadkanaal met een hoog bedrijfspeil van NAP +5,00 m. Hierdoor wordt het debiet van deze drains verder beperkt. De huidige beschikbare maximale capaciteit van alle drains wordt derhalve geschat op 72.500 m³ per dag. Als laatste randvoorwaarde dient nog vermeld te worden dat de drains een belangrijke rol spelen in de sturing van het gehele IWS. Het debiet van de drains is namelijk goed stuurbaar met de regelschachten. Bij een normale bedrijfsvoering zetten de waterregelaars de drains liefst op 50% van de ontwerpcapaciteit (46.250 m³ per dag, ofwel 64 % van de huidige capaciteit) zodat er nog voldoende ruimte is om het debiet te verkleinen of juist te vergroten. Om deze redenen wordt een structurele stijging van de gemiddelde inzet van de drains tot meer dan 65% van de ontwerpcapaciteit als ongewenst beschouwd. De afgelopen jaren bedroeg de inzet van de drains gemiddeld 50.700 m³ per dag (70 % van de huidige capaciteit), bij een verhoging van de inzet naar 65 % van de ontwerpcapaciteit groeit de inzet van de drains met 9400 m³ naar 60.125 m³ per dag (83 % van de huidige capaciteit). Om deze verhoogde winning te kunnen realiseren zal het onderhoud aan de drains intensiever moeten worden uitgevoerd. Onzeker is hoe snel hierdoor de levensduur respectievelijk capaciteit van de drains terug loopt. Er zijn nog geen concrete plannen hoe deze capaciteit in de toekomst zou kunnen worden vervangen.

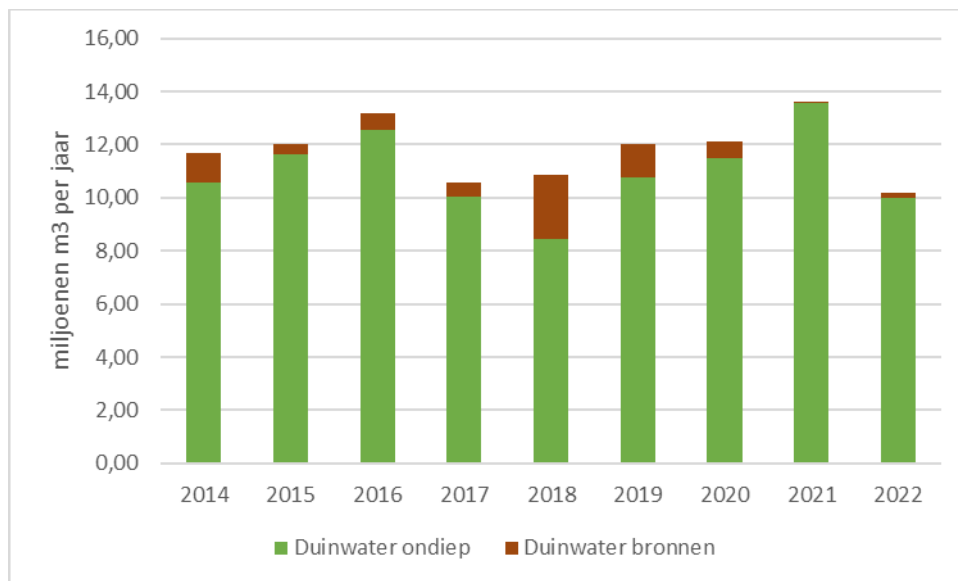
Diepe winning

Het grondwater uit de diepere lagen kan worden gewonnen door de 240 diepe winputten waarvan de winfilters zijn geplaatst op een diepte tussen de NAP -20 en -40 m. Deze diepe winning heeft een gezamenlijke capaciteit van 4070 m³/h (97.680 m³ per dag) . De diepe winning maakt geen deel uit van de reguliere winning en wordt alleen ingezet bij bijzondere omstandigheden zoals onderhoud, beperkte levering van de WRK en eventuele gewenste of noodzakelijke bijsturing van de waterkwaliteit in de Oranjekom.

2.4 Winning van natuurlijk duinwater

In de AWD wordt uit de Oranjekom jaarlijks meer water onttrokken dan de hoeveelheid uit Nieuwegein aangevoerd WRK-water. Het verschil wordt de netto-onttrekking duinwater genoemd, kortweg “duinwater” en dit verschil is in de vergunning gelimiteerd op 12,7 miljoen m³ per jaar. Een deel van dit duinwater wordt met bronnen uit het diepe pakket gewonnen, het overige komt uit het freatische pakket. Het freatische water wordt ook wel 'ondiep duinwater' genoemd en is deels ook afkomstig van buiten de infiltratiegebieden en deels zelfs van buiten de AWD (Boogkanaal).

Figuur 2 Winning van duinwater in de periode 2013 tot en met 2022.



In de vergunning zijn ook peilregimes opgenomen waaraan moet worden voldaan. Met name de randkanalen (rondom de infiltratiegebieden) hebben een strak peilregime om effecten naar omgeving te beperken. Als gevolg van deze randvoorwaarden wordt de hoeveelheid gewonnen duinwater in hoge mate bepaald door neerslag en verdamping zonder dat Waternet daar veel aan kan sturen. Dit werkt in grote lijnen als volgt door:

Hoe meer neerslag, hoe meer ondiep duinwater zal worden gewonnen, hoe minder WRK-water hoeft te worden aangevoerd en dus hoe minder de infiltratiegebieden worden gebruikt, ofwel: hoe hoger de totale wincapaciteit van de AWD is. Maar ook: hoe minder vergunningsruimte er is voor inzet van de diepe (calamiteiten-)winnings (“diep duinwater”). Ingeval van calamiteiten is er in droge jaren met een laag

neerslagoverschot dus meer ruimte voor de inzet van de diepe winning terwijl in natte jaren deze winning nauwelijks kan worden ingezet.

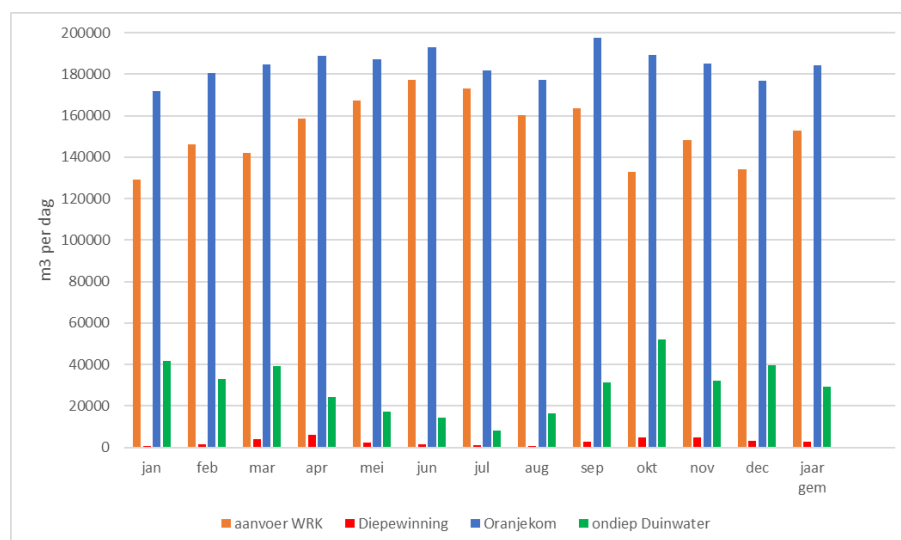
Vermeldenswaard is dat dit mechanisme zorgt voor een zekere demping van de effecten van droge en natte jaren op de omgeving. Ingeval van droge jaren is de winning van duinwater relatief laag en dient meer WRK-water te worden aangevoerd om op de gewenste productie uit te komen; dit heeft tot gevolg dat de verdroging rond de infiltratiegebieden maar ook in de omgeving van vooral de noordelijke helft van de AWD beperkt blijft. In natte jaren wordt het relatieve "overschot" aan neerslag via duinwater gewonnen waardoor juist vernatting wordt beperkt.

De afgelopen acht jaar is de hoeveelheid netto neerslag relatief hoog geweest en bedroeg de onttrekking van duinwater gemiddeld 11,7 miljoen m³ per jaar (zie Figuur 2; ondiep 10,8 en diep 0,9 miljoen m³). Dit was uiteraard gunstig want de beschikbare capaciteit was daarmee relatief hoog; anderzijds kan er niet op worden gerekend dat in de toekomst deze relatief hoge neerslag structureel elk jaar beschikbaar is. Een en ander impliceert dat vergroting van de wincapaciteit in de AWD maar beter onafhankelijk kan zijn van het jaarlijkse neerslagoverschot en dus het beste kan worden gezocht in de infiltratiegebieden.

2.5 Verdeling van infiltratie en winning binnen een jaar

In de onderstaande Figuur 3 wordt per maand het gemiddelde van de metingen weergegeven voor de periode 2015 tot en met 2019. De winning van ondiep duinwater wordt niet gemeten maar is berekend als sluitpost van de waterbalans. September was de afgelopen vijf jaar de maand met gemiddeld de hoogste productie. Opvallend is ook de dip in de productie gedurende de vakantie maanden juli en augustus. De aanvoer van WRK-water laat een maandelijks grotere fluctuatie zien dan die van de productie, de aanvoer is in juni met 177.200 m³/dag het hoogst en in januari met 129.300 m³/dag het laagst. Dit verschil wordt vooral veroorzaakt door het neerslagoverschot en in mindere mate door de productie.

Figuur 3 Gemiddelde dagproductie per maand voor de periode 2015 tot en met 2019 inclusief het jaarlijks gemiddelde voor die periode.



Opvallend is ook de dip in oktober die wordt veroorzaakt door onderhoud aan het infiltratiesysteem. De structureel maandelijks benodigde infiltratiecapaciteit wordt in

de praktijk afgeregeld met de hoeveelheid WRK-water die naar de randgeulen langs het Westerkanaal wordt gestuurd en met de inzet van de drains. De inzet van de drains ten opzichte van de ontwerpcapaciteit (92.500 m³ per dag) was gemiddeld 55%, ten opzichte van de feitelijke beschikbare capaciteit (72.500 m³ per dag) 70%. De waterregelaars (operators) melden dat gedurende perioden met een hoge productie het voorkomt dat vrijwel alle drains op hun maximum staan. Bij uitbreiding van de productie zal het infiltratiesysteem in de maanden mei tot en met juli het eerst tegen haar maximum aan stuiten.

3 De grondwatermodellering van het referentiescenario

De berekeningen zijn uitgevoerd met 'het grondwatermodel van de AWD (AMWADU). Er is gebruik gemaakt van de AMWADU-versie met een verfijnd modelnetwerk van 20x20 meter met parameters die zijn geoptimaliseerd voor de berekening van de watervoorraad in de AWD (Philippa Higgings, 2017). Er zijn meerdere stationaire en instationaire berekeningen uitgevoerd waarbij de intrede-weerstand van de geulen en ook van de drains is gewijzigd. Hiermee wordt de mogelijke capaciteit van het infiltratie- en winsysteem gesimuleerd indien de geulen en de drains intensiever worden schoongemaakt. Hieronder zijn deze scenario's beschreven.

3.1 Het referentiescenario, periode 2013 tot en met 2020

Natuurtoets bouwstenen

Afgesproken is dat de natuureffecten van de bouwstenen in eerste instantie worden getoetst door KWR met het rekenprogramma PROBE. De basisinvoer van PROBE bestaat uit de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) van de AWD. Om de GVG te kunnen berekenen met het grondwatermodel moet een periode van minimaal acht jaar instationair worden doorgerekend met tijdstappen van een maand. De GVG kan vervolgens worden berekend door voor de gehele simulatieperiode de freatische grondwaterstand van de maanden maart en april te middelen.

Referentiescenario instationair

Als referentiescenario voor de beoordeling van de geselecteerde bouwstenen is gekozen voor het gevoerde waterbeheer van de AWD van de afgelopen acht jaar, dit beslaat de periode 2013 tot en met 2020. Als modelinvoer voor deze instationaire berekening worden de maandelijks gemiddelde gemeten geul- kanaal- en drainpeilen en diepe winning gebruikt. De natuurlijke grondwateraanvulling wordt door het onverzadigde zone programma ONZAT berekend met de gevallen neerslag in de zeereep (regenmeter 6) en in de binnenduinrand (regenmeter 11, Leiduin) en de Makkinkverdamming (KNMI stations De Kooy en Vlissingen).

Simulatie van de droogvallende geulen

In AMWADU worden de geulen gesimuleerd met de GHB-package. Tijdens de simulatieperiode vallen geulen regelmatig droog doordat de aanvoer van WRK-water stagneert. Het geulpeil kan hierdoor tot onder de peilschaal zakken waardoor geen waterpeil meer beschikbaar is. Indien meer dan de helft van de peilaflezingen in een maand ontbreekt wordt de geul in deze maand uitgezet, ofwel niet aangemaakt in de GHB-package.

Correctie berekende GVG met metingen

Het programma PROBE berekent met een digitaal terrein model, ofwel AHN, de GVG om naar een waterstand beneden maaiveld om de natuurtoets te kunnen uitvoeren. Een structureel te hoog of te laag berekende grondwaterstand heeft hierdoor ongewenste gevolgen voor de analyse. Om dit effect te mitigeren is een correctievlak aangemaakt op basis van de gemeten GVG in freatische waarnemingsfilters. Deze methode wordt momenteel ook toegepast bij het maken van isohypsenkaarten voor het hydrologische jaaroverzicht.

Referentiescenario stationair, gemiddelde situatie 2013 tot en met 2020

De beoordeling van de bijdrage van een bouwsteen aan extra productiecapaciteit kan goed worden berekend met een stationaire berekening. Een stationaire berekening is eenvoudiger uit te voeren en kost veel minder rekentijd. Voor deze stationaire berekening wordt de modelinvoer gemiddeld voor de periode 2013 tot en met 2020. Een keuze die voor deze stationaire berekeningen gemaakt moet worden is hoe het jaarlijks gemiddelde “modelgeulpeil” bepaald wordt van randgeulen langs het Westerkanaal die regelmatig droog vallen. De aanvoer van WRK-water naar deze geulen wordt 's winters vaak beperkt om de productiecapaciteit van de AWD te verlagen. In het referentiescenario is het peil van PG07, PG20 en PG24 40 cm lager aangehouden dan het bedrijfspeil; deze waarde is gebaseerd op expert judgement en modelresultaten. Ook al is dit enigszins arbitrair, bij de uiteindelijke berekeningen van de effecten van het voorkeurscenario speelt dit geen rol meer omdat die instationair zijn uitgevoerd en omdat de geulen in dat scenario continu in bedrijf zijn en niet meer droogvallen.

3.2 Resultaten van het referentiescenario 2013 tot en met 2020

In de periode 2013 tot en met 2020 werd gemiddeld 54,8 Mm³/jaar WRK-water aangevoerd. De gemeten gemiddelde onttrekking uit de Oranjekom was 66,5 Mm³/jaar. Het grondwatermodel berekent voor de instationaire simulatie een gemiddelde infiltratie van 55,3 Mm³/jaar WRK-water m³/jaar en een jaarlijkse onttrekking uit de Oranjekom van 63,4 Mm³. De hoeveelheid infiltratie van WRK-water wordt door het model goed benaderd, alleen wordt de hoeveelheid gewonnen duinwater met circa 3 Mm³ onderschat.

In de stationaire berekening komt de aanvoer WRK-water uit op 60,2 Mm³ en de onttrekking uit de Oranjekom op 68,4 Mm³ per jaar. Deze berekende onttrekking is hiermee vrijwel gelijk aan de onttrekking van het jaar 2020 en wordt in het vervolg gebruikt als “referentie” voor de berekening van de productiecapaciteit.

De berekende infiltratie ligt hiermee circa 3 Mm³ te hoog vanwege de onderschatting van de hoeveelheid gewonnen duinwater. Dit overschot aan infiltratiecapaciteit kan worden gebruikt om het droog staan van geulen voor werkzaamheden in het najaar te compenseren. In jaren met een laag neerslagoverschot kan de winning duinwater weer worden verhoogd door de inzet van extra diepe winning.

3.3 Onderzoek winning netto-duinwater in het referentiescenario

De “winning netto-duinwater” wordt niet gemeten maar berekend als het verschil tussen de onttrekking van de Oranjekom en de aanvoer van WRK-water. Doordat het netto-duinwater het verschil is van twee grote getallen, wordt een kleine meetfout direct toegekend aan deze post. De verhouding onttrekking duinwater versus onttrekking Oranjekom is circa 10 op 70 Mm³ per jaar waardoor een meetfout van 1% in de onttrekking Oranjekom een fout van 7% in de winning “netto-duinwater” veroorzaakt. Bij vergelijking van de modelresultaten met de berekende “netto-winning duinwater” moet hier terdege rekening mee worden gehouden. De onderschatting van AMWADU is met 3 Mm³ per jaar (afwijking circa 30 %) echter dusdanig van omvang dat dit extra onderzocht is.

Uit dit onderzoek blijkt dat de lagere duinwaterwinning in het grondwatermodel wordt veroorzaakt doordat de gewasfactoren die worden gebruikt in het onverzadigde zone programma ONZAT voor met name de kortere grazige vegetatie en mossen te hoog

zijn. Doordat dit vegetatietype door beheer tegen Prunus en voor PAS-maatregelen de afgelopen jaren flink in areaal is toegenomen, in combinatie met een hogere freatische grondwaterstand door vernattingsmaatregelen en meer neerslag, worden de effecten hiervan nu ook zichtbaar in de modelresultaten.

In samenspraak met ecologen zijn de gewasfactoren van deze vegetatietypen verlaagd. Met deze nieuwe set parameters zijn opnieuw berekeningen uitgevoerd met het onverzadigde zone programma ONZAT. Vervolgens heeft AMWADU met deze grondwateraanvulling opnieuw de referentieperiode doorgerekend. Bij deze nieuwe berekening is de winning "netto-duinwater" gestegen tot 10,7 miljoen per jaar (afwijking circa 9%). De afwijking van de freatische winning Boogkanaal bedraagt 6% (was 13 %), die van het Oosterkanaal 13% (-4 %) en die van de Oranjekom 1% (5 %).

Door de hogere grondwateraanvulling stijgt de berekende freatische grondwaterstand en daarmee ook de berekende GVG. Hierdoor wijkt de berekende GVG duidelijk minder af van de metingen en is het correctievlak kleiner. Meer informatie over dit onderdeel wordt vermeld in bijlage 1.

Doordat alleen de grondwateraanvulling is veranderd en niet de modelparameters heeft deze aanpassing geen effect op de veranderingen van grondwaterstanden bij de verschillende bouwstenen.

4 Bouwstenen voor de uitbreiding productie

4.1 Randvoorwaarden waar de bouwstenen aan moeten voldoen

Het infiltratie- en winsysteem is in de jaren vijftig van de vorige eeuw ontworpen op een minimale verblijftijd van het WRK-water in de ondergrond van 60 en een gemiddelde verblijftijd van 90 dagen. Bij de buurwaterleidingbedrijven PWN en Dunea worden kortere minimale verblijftijden gehanteerd waardoor het ontwerp van het IWS aldaar compacter kon worden gemaakt. Waternet houdt echter vast aan de originele ontwerpeisen omdat deze belangrijke voordelen bieden, zo is bijvoorbeeld de watertemperatuur van de winning in seizoenale tegenfase met die van de infiltratie. In de winter wordt relatief warm water en in de zomer relatief koel water terug gewonnen, met de huidige klimaatveranderingen is dit een belangrijk voordeel.

De ontwerpcapaciteit van de drains is de maximale capaciteit waarbij nog voldaan wordt aan de minimale verblijftijd van het systeem. De drains worden in de huidige bedrijfsvoering ook gebruikt voor de sturing van het systeem. In de dagelijkse bedrijfsvoering wordt gestuurd op een onttrekking van de drains van 50 % van de ontwerpcapaciteit. Hierdoor kan de productie zonder veel aanpassingen in het systeem eenvoudig worden opgevoerd of verlaagd, mocht dit nodig zijn. Nadeel is dat het IWS hierdoor niet optimaal wordt benut. Om het IWS beter te benutten is gekozen om bij de bouwstenen de gemiddelde onttrekking van de drains te verhogen tot maximaal 65 % van de ontwerpcapaciteit. Hierdoor neemt echter wel de flexibiliteit en de sturing af.

Bij alle bouwstenen is de ruwe bron van de extra capaciteit het voorgezuiverde Rijnwater dat wordt aangevoerd naar de AWD via de WRK-leidingen. De extra wincapaciteit in alle hieronder beschreven bouwstenen is gebaseerd op het vergroten van de wincapaciteit in alleen de infiltratiegebieden (d.w.z. doorvoer van WRK-water). Daar komt ook het leeuwendeel van het gewonnen water uit de Oranjekom vandaan.

Zoals in par 2.4 is aangegeven leveren de delen van de AWD die buiten de infiltratiegebieden liggen ook een deel van het water in de Oranjekom (het "duinwater"). Dat aandeel wordt echter sterk gedomineerd door in de winvergunning voorgeschreven waterpeilen en de grondwatervoeding uit het neerslagoverschot, welke laatste van jaar tot jaar varieert en waarop Waternet hooguit indirect, via natuurbeheer/evapotranspiratie, enige invloed heeft. De beschreven bouwstenen staan dan ook los van deze buiten de infiltratiegebieden gelegen delen van de AWD en zijn gericht op minimale beïnvloeding ervan.

De modelberekeningen van de bouwstenen zijn stationair uitgevoerd. De berekeningen geven daarom alleen informatie over de gemiddelde toename van de capaciteit van de AWD. Bij piekvraag, bij werkzaamheden aan de waterwin-infrastructuur en bij calamiteiten wordt de extra capaciteit geleverd uit de freatische en de diepe watervoorraad.

4.2 Bouwsteen 0+, intensievere benutting van het huidige systeem.

In deze bouwsteen wordt het bestaande IWS zonder aanpassingen van de infrastructuur en binnen het geldende peilregime intensiever gebruikt om de productiecapaciteit van de AWD te verhogen. In 2020 zijn verkennende berekeningen uitgevoerd met het grondwatermodel van de AWD om de ruimte in

extra productiecapaciteit in beeld te brengen (Kamps en Smits, 2021). Uit die berekeningen is gebleken dat in theorie 18,9 Mm³/jaar extra wincapaciteit kan worden verkregen. Door allerlei praktische randvoorwaarden zal er in de praktijk echter rekening mee moeten worden gehouden dat slechts circa 3,5 Mm³/jaar aan extra capaciteit mogelijk zal zijn. Waar in het IWS nog ruimte wordt verwacht om de extra capaciteit te kunnen realiseren is als volgt:

- 1) De randgeulen 7, 18, 19 en 20 langs het Westerkanaal zijn niet het gehele jaar in gebruik. Door deze geulen langduriger op bedrijfspeil te houden kan de infiltratiecapaciteit worden verhoogd.
- 2) Geul 24 wordt gebruikt om het baggerslib uit de kanalen en de geulen van het 4^{de} en 5^{de} infiltratiegebied op een natuurlijke manier te ontwateren, buiten deze periodes stond deze geul veelal droog. Ook in de toekomst zal geul 24 hier nog steeds voor worden ingezet, alleen zal de periode dat de geul hiervoor gebruikt wordt, beperkt worden (15 september - 15 maart). Het materiaal zal voortaan nadrogen op het gronddepot.
- 3) De gemiddelde inzet van de drains wordt verhoogd van 55 naar 65 procent van de ontwerpcapaciteit.
- 4) Om de infiltratiecapaciteit van de geulen op peil te houden zullen deze in een hogere frequentie worden schoongemaakt. De cyclus wordt versneld van 1 x per 25 naar 1 x per 20 jaar, jaarlijks zullen dan gemiddeld twee geulen worden schoongemaakt.
- 5) De capaciteit van de drains wordt in stand gehouden door regelmatig het verstoppende materiaal in drains te verwijderen door te flushen. Indien het flushen niet meer voldoende resultaat oplevert worden de drainstrengen van het tweede en derde gebied extra schoon gepompt via de brede C-buizen.
- 6) In droge jaren met een laag neerslagoverschot kan meer gebruik worden gemaakt van de watervoorraad in het diepe pakket. Vooral in het najaar, wanneer onderhoud wordt uitgevoerd aan het IWS, gaat de productiecapaciteit omlaag. Door dan gericht diepe winning in te zetten wordt de daling van de freatische grondwaterstand binnen de infiltratiegebieden en daarmee natuurschade beperkt.

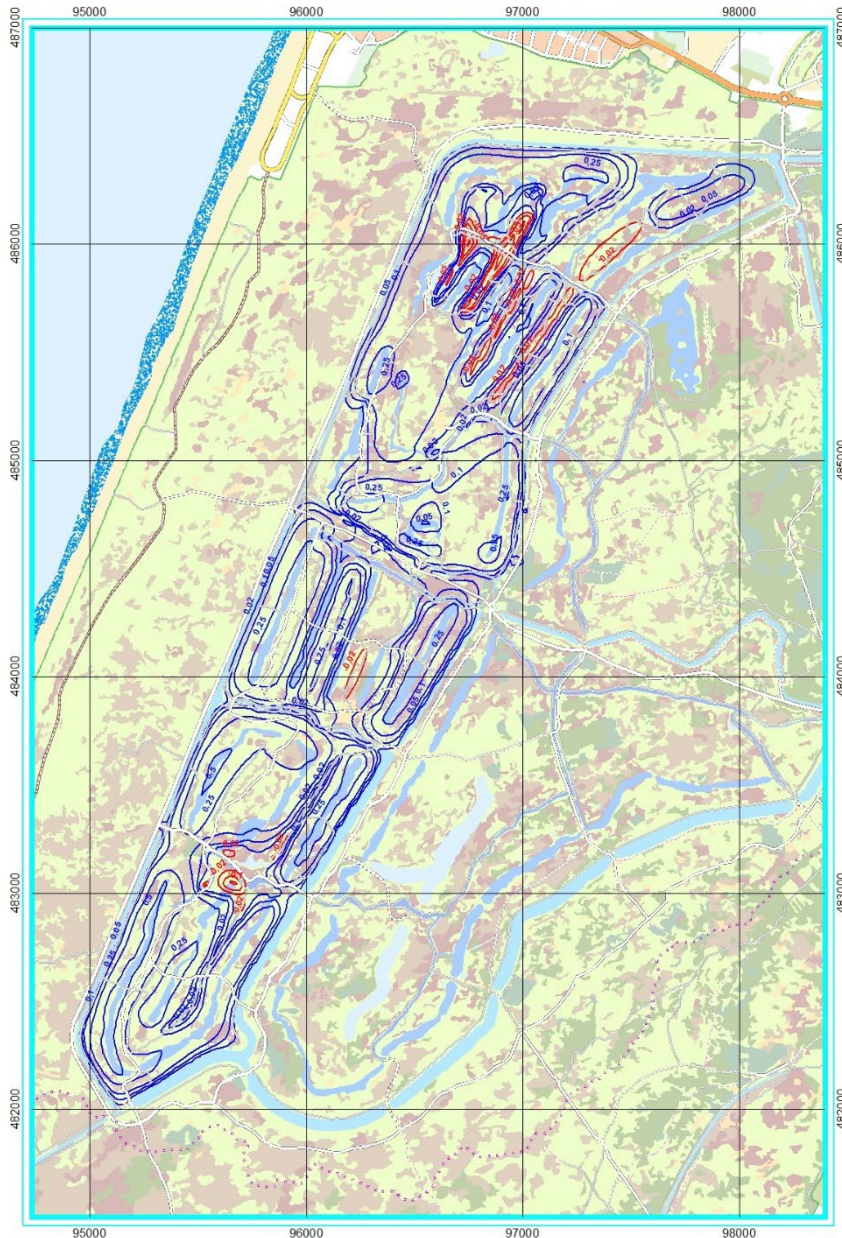
De referentieperiode (2013-2020) is opnieuw stationair doorgerekend met een aantal aanpassing in de geulpeilen, intredeweerstand van de geulen en intredeweerstand van de drains. De intredewestanden zijn verlaagd naar een waarde die overeenkomt met die van geulen en drains die recent goed zijn onderhouden. Daarna zijn ook de drainpeilen aangepast om de gemiddelde onttrekking van de drains te beperken tot 65 procent van de ontwerpcapaciteit. De modelinvoer van het referentiescenario en van alle bouwstenen zijn in de bijlagen opgenomen.

Resultaten stationaire berekening

In Figuur 4 wordt het verschil in freatische grondwaterstand weergegeven tussen bouwsteen 0+ en het referentiescenario. Buiten de infiltratiegebieden I, II en III zijn geen significante effecten berekend. Door de hogere geulpeilen en door de geringere infiltratieweerstanden gaat de grondwaterstand in de gebieden I, II en III in het algemeen omhoog. De grootste stijging wordt berekend bij de randgeulen langs het Westerkanaal en bij geul 24. De stijging loopt op tot maximaal 50 cm en komt redelijk overeen met de ingevoerde verhoging van de peilen in die geulen. Intensiever gebruik van de drains door een lager drainpeil en verlaging van de intredeweerstand veroorzaakt een verlaging van de grondwaterstand, met name bij de drainstrengen

van UB06. De gebieden met lagere grondwaterstanden zijn qua oppervlakte beduidend kleiner dan de gebieden met verhoogde grondwaterstanden. Met deze bouwsteen neemt de gemiddelde berekende capaciteit van de AWD **toe van 68,4 naar 72,8 Mm³/jaar**.

Figuur 4 Verskil in freatische grondwaterstand tussen bouwsteen 0+ en het referentiescenario voor de stationaire berekening. Rode contouren zijn verlaging en blauwe verhoging van de grondwaterstand.



4.3 Bouwsteen 1, peilverlaging Barnaartkanaal met 25 cm.

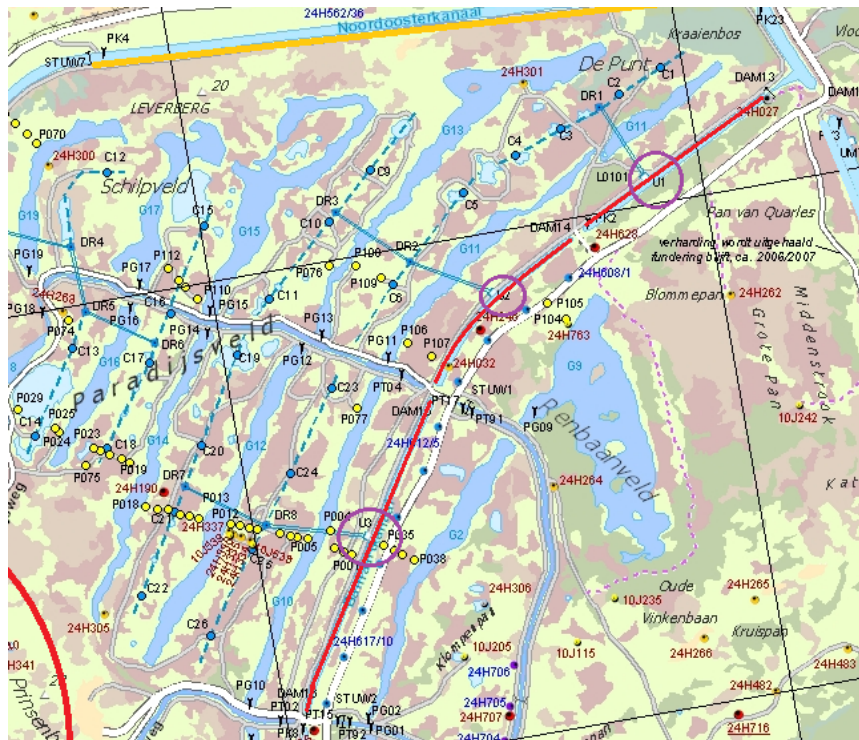
Het huidige maximale haalbare debiet van UB01, UB02 en UB03 ligt momenteel beduidend onder hun ontwerpcapaciteit. De oorzaak is tweeledig: ten eerste hebben deze drains veel last van verstopping waarbij er maar beperkte mogelijkheden zijn om deze weer goed schoon te maken, en ten tweede kan het drainpeil niet voldoende verlaagd worden. De uitstroming van deze drains vindt plaats in het Barnaartkanaal (BAK) waarin een gemiddeld kanaalpeil van NAP +3,15 m (peilschaal PK02) wordt aangehouden.

Tabel 1 Capaciteit en drainpeil van UB01, UB02 en UB03 in de huidige situatie en bij het ontwerp van de drains.

Ubak	Ontwerp capaciteit [m3/d]	Huidig capaciteit [m3/d]	Ontwerp min peil [m+NAP]	Huidig min peil [m+NAP]
UB01	4500	1750	2,80	3,40
UB02	9500	6200	2,80	3,60
UB03	12000	6100	2,80	3,65

Bij bouwsteen 1 wordt het peil van het Barnaartkanaal met 25 cm verlaagd waardoor het drainoverstortpeil van de UB01, UB02 en UB03 met dezelfde waarde kan worden verlaagd. Door deze peilverlaging gaat het kanaal ook meer infiltratiewater aantrekken uit de nabij gelegen geulen. Het bedrijfspeil wordt niet verder verlaagd dan met 25 cm om de verblijftijd van het rivierwater niet te veel te verlagen, ook hoeft dan het kanaal maar beperkt te worden verdiept.

Figuur 5 Locatie van het Barnaartkanaal aangegeven met een rode lijn en de uitmondingsbakken UB01, UB02 en UB03 omcirkelt.

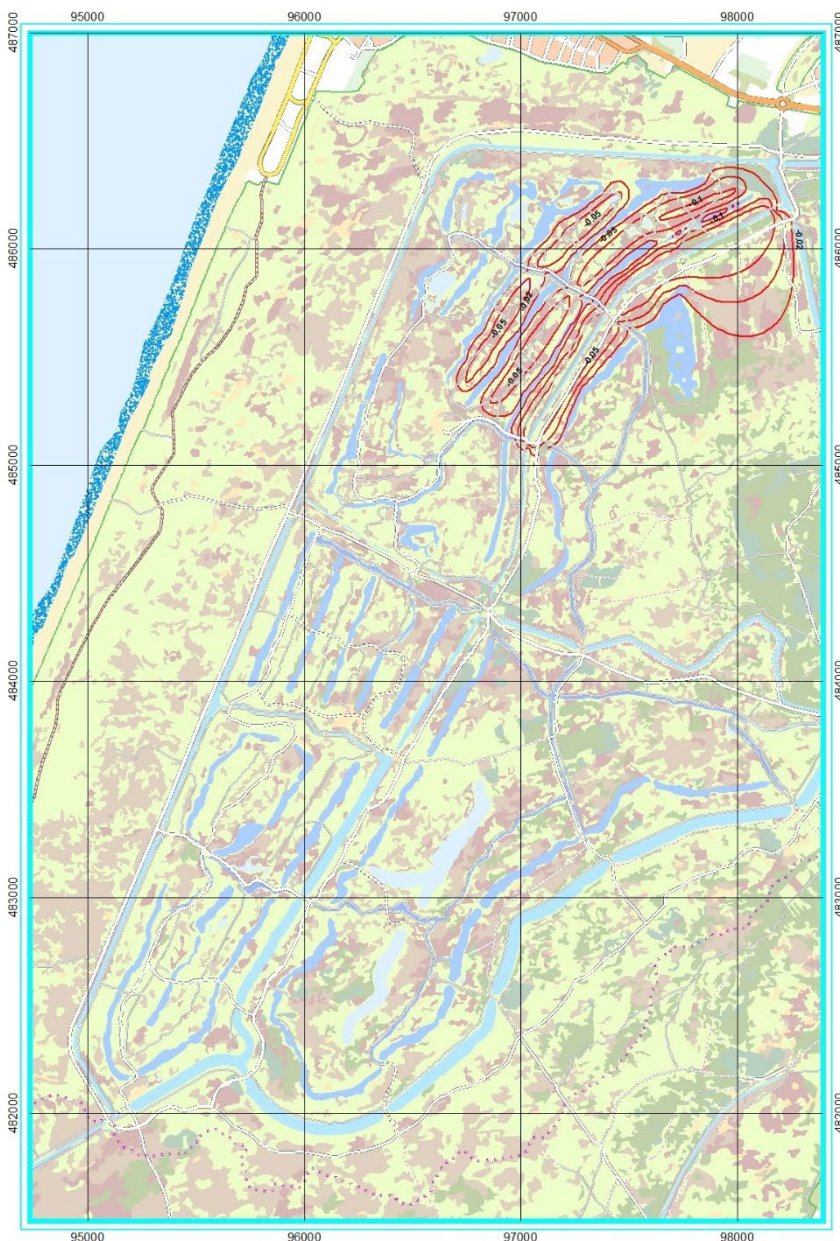


Resultaten stationaire berekening

Bij deze bouwsteen neemt de capaciteit van de AWD toe met **0,7 Mm³/jaar**.

Door de peilverlaging van het kanaal en van de drainoverstorten van UB01, UB02 en UB03 daalt ook de freatische grondwaterstand in dit gebied. In Figuur 6 wordt het verschil in freatische grondwaterstand weergegeven tussen bouwsteen 1 en het referentiescenario. In de figuur worden de verlaginglijnen 0,02 m, 0,05 m en 0,10 m weergegeven. De maximale verlaging bij het Barnaartkanaal blijft onder de 25 cm.

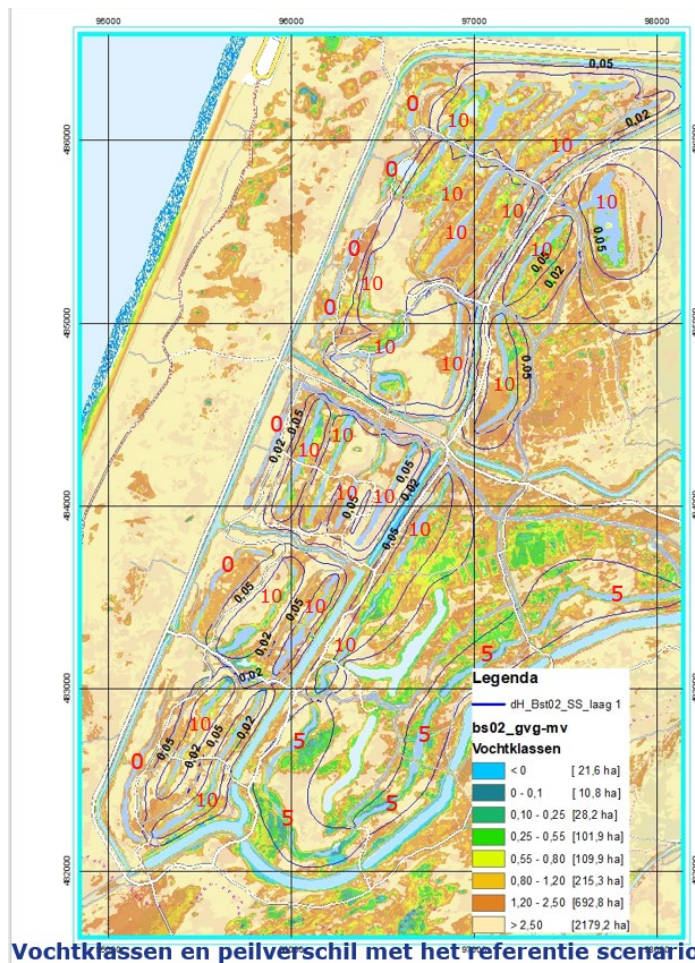
Figuur 6 Verschilkaart tussen bouwsteen 1 en het referentiescenario. Rode contouren zijn verlaging van de grondwaterstand.



4.4 Bouwsteen 2, peilverhoging van geulen met maximaal 10 cm.

De capaciteit van het IWS kan worden verhoogd door het verhang tussen de infiltratiepanden en onttrekkingsmiddelen (drains en kanalen) te verhogen waardoor de stroomsnelheid van het water in de ondergrond groter wordt. Belangrijke beperking bij deze bouwsteen is dat hiermee de minimale verblijftijd van 60 dagen niet wordt onderschreden. In deze bouwsteen wordt het verhang vergroot door het bedrijfspeil van de geulpeilen te verhogen met maximaal 10 cm. De peilverhoging kan per geul variëren, zo wordt bij de randgeulen langs het Westerkanaal geen peilverhoging toegepast omdat hier de verblijftijd soms al onder de 60 dagen kan liggen. Ook moet worden onderzocht welke peilverhoging in de voorraadgebieden nog mogelijk is waarbij nog voldoende water onder natuurlijk verhang naar deze geulen kan worden gestuurd. Voorlopig wordt uitgegaan van een peilverhoging van de geulen 34 tot en met 40 met 5 cm. De overige geulen krijgen een peilverhoging van 10 cm. De geulen 2, 9, en 10 zijn via duikers direct gekoppeld aan het peil van de toevoersloot. Het peil van deze geulen kan alleen met 10 cm worden verhoogd wanneer ook het peil van de toevoersloot in gebied 1 en 4 met 10 cm wordt verhoogd. De peilverhoging van de toevoersloot is in de berekening niet meegenomen.

Figuur 7 Peilverhoging van de geulen in rood aangegeven in cm en de verhoging van de freatische waterstand in m behorende bij bouwsteen 2. In de figuur worden ook de vochtclassen weergegeven voor bouwsteen 2.



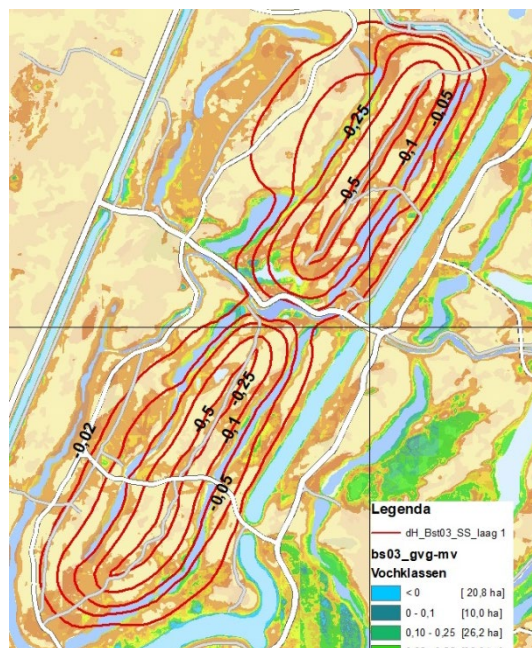
Resultaten stationaire berekening

Bij deze bouwsteen neemt de capaciteit van de AWD toe met 1,3 Mm³/jaar. Bij deze bouwsteen is alleen sprake van stijging van de freatische grondwaterstand binnen de infiltratiegebieden. Buiten de infiltratiegebieden vindt geen verandering van de freatische grondwaterstand plaats.

4.5 Bouwsteen 3, Uitstroming van UB11 en UB12 verplaatsen van het Schusterkanaal naar het Westerkanaal

De uitstroming van de drains van UB11 en UB12 vindt plaats in het Rechte Schusterkanaal (RSK). Het debiet van deze drains wordt gereguleerd door het drainpeil te verhogen of te verlagen. Het drainpeil kan echter niet verder dalen dan het peil van het Rechte Schusterkanaal waar de drains via UB11 en UB12 op lozen. De hoofdfunctie van het RSK is voorraadkanaal met een bijbehorend hoog bedrijfspeil van NAP +4,7 m, een maximaal peil van NAP +5,0 m en een calamiteitspeil van NAP +3,25 m. Binnen de normale bedrijfsvoering mag dit peil dus variëren tussen NAP +3,25 en 5,0 m waarbij gestuurd wordt op het bedrijfspeil. De afgelopen jaren blijkt dat het peil van het RSK gemiddeld NAP +4,75 m was. In oktober 2015 zijn de regelschachten van UB11 en UB12 omgebouwd van een systeem met overstort naar een met onderdoorlaat. Door deze aanpassing kunnen beide drains efficiënter worden ingezet. Vanaf april 2019 staan beide schuiven van de onderdoorlaat ruim open waardoor het drainpeil slechts iets hoger is dan het kanaalpeil. Door deze instelling wordt het debiet van beide drains direct gereguleerd door het peil van het RSK, bij daling van het kanaalpeil gaan beide drains meer water leveren en bij stijging juist minder. Hierdoor zorgen de drains dat de peilvariatie van het RSK wordt afgevlakt.

Figuur 8 Verlaging van de freatische grondwaterstand in het derde infiltratiegebied door de verlaging van het drainpeil van UB11 en UB12 met 75 cm.



In deze bouwsteen wordt de uitstroming van UB11 en UB12 verplaatst naar het Westerkanaal. Hiervoor zal een nieuwe afvoerleiding vanaf de drainput worden

gemaakt door een gestuurde boring. Doordat het peil van het Westerkanaal laag is zal dit geen belemmering meer zijn voor de inzet van de drains van UB11 en UB12. De huidige gemiddelde inzet van beide drains is lastig te bepalen doordat de meetinrichting niet goed functioneert door lekkage en uitvallende sensoren. Geschat wordt dat de gemiddelde inzet van de drains circa 45 procent was. Door verplaatsing van de uitmondingsbakken kan de gemiddelde inzet van beide drains worden verhoogd van 45 naar 65 procent. Een hogere inzet dan 65 procent wordt niet wenselijk geacht omdat hiermee flexibiliteit verloren gaat. Door de verhoging van de inzet met 20 procent (ontwerpcapaciteit is 5,11 Mm³/jaar) neemt de productiecapaciteit van de AWD **toe met 1,0 Mm³/jaar**. In het grondwatermodel is hiervoor het drainpeil van UB11 en UB12 verlaagd met 75 cm. De drains onttrekken dan 1,16 Mm³/jaar meer water maar doordat deels dit ten koste gaat van wat het Rechte Schusterkanaal draineert uit gebied III neemt de capaciteit netto met 1,0 Mm³/jaar toe. De daling van de grondwaterstand blijft beperkt tot het derde infiltratiegebied. Nabij de drains daalt de grondwaterstand met 50 cm, de daling neemt af richting de geulen. Onder de geulen wordt nog een daling berekend van circa 5 cm. Wanneer echter de geulen goed schoongemaakt zijn zal onder de geulen geen daling van de grondwaterstand merkbaar zijn.

4.6 **Bouwsteen 4, Omvorming van der Vlietkanaal naar een infiltratiebekken.**

De huidige functie van het Van der Vlietkanaal (VdV) is zowel winkanaal als voorraadkanaal. Dit kanaal kan in bijzondere omstandigheden ook worden ingezet als transportkanaal waardoor het water van het Barnaartkanaal via het CD-kanaal, Van der Vlietkanaal en Sprengelkanaal naar de Oranjekom kan worden gebracht. Momenteel staat de regelschacht tussen het VdV en het CD-kanaal volledig open waardoor beide kanalen vrijwel een gelijk peil hebben. Hierdoor helpt het VdV als voorraadkanaal direct mee met het bufferen bij een verandering van de watervraag. Het huidige gemiddelde peil van het Van der Vlietkanaal is NAP +2,35 m waarbij dit kanaal jaarlijks circa 0,5 miljoen m³ grondwater onttrekt.

In deze bouwsteen wordt het peil van het Van der Vlietkanaal kunstmatig verhoogd door de aanvoer van WRK-water. Dit water wordt door een circa kilometer lange leiding aangevoerd die aansluit op het bestaande toevoersysteem. Het kanaal gaat hierdoor functioneren als infiltratiebekken waardoor de infiltratie- en wincapaciteit van de AWD wordt vergroot. De toename van de wincapaciteit is afhankelijk van het nieuw ingestelde peil van het infiltratiebekken, echter hoe hoger het nieuwe peil des te meer kosten moeten worden gemaakt om de bestaande infrastructuur aan te passen. Omgekeerd mag bij een hoger bedrijfspeil weer meer natuurwinst worden verwacht en neemt de watervoorraad in de AWD verder toe. Uiteindelijk is gekozen om in dit scenario het peil van het Van der Vlietkanaal met 2,65 m te verhogen naar NAP +5,0 m. Bij dit kanaalpeil zijn de aanpassingen aan de bestaande infrastructuur nog beperkt. Bij een hoger peil moeten de 15 diepe winputten met installatie langs het kanaal worden aangepast.

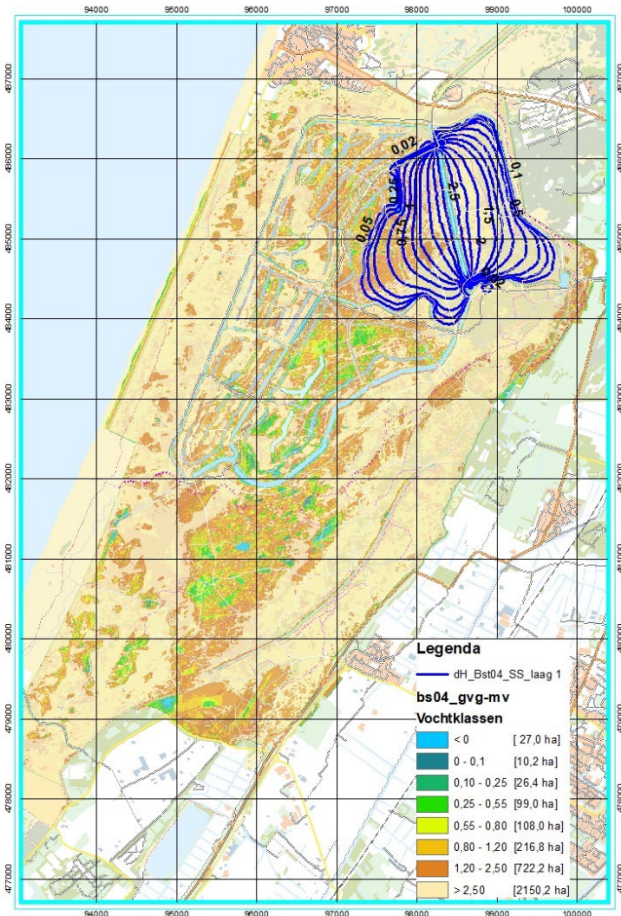
De wincapaciteit van de AWD neemt toe met 0,4 Mm³ per jaar, echter hiervoor moet wel 0,8 Mm³ per jaar extra rivierwater worden aangevoerd. Doordat er meer water naar het diepe pakket lekt kan er meer diepwater met de bronnen worden gewonnen. De productiecapaciteit van de AWD neemt **toe met 0,5 Mm³/jaar**. De flexibiliteit van het systeem neemt af doordat de extra wincapaciteit moeilijk stuurbaar is en het Van der Vlietkanaal niet meer kan worden gebruikt als voorraad- en transportkanaal. Door de stijging van de grondwaterstand in het gebied neemt echter wel de

grondwatervoorraad toe. De stijging van de freatische grondwaterstand blijft beperkt tot de AWD (zie Figuur 9)

Voor deze bouwsteen moet relatief veel infrastructuur worden gemaakt;

- 1) Aanleg van een toevoersysteem van Rijnwater naar het van der Vlietkanaal. De aantakking aan de WRK I leiding bij dam 4 is qua lengte nieuwe leiding optimaal. Vanuit bedrijfszekerheid heeft de aantakking bij het uiteinde van de WRK I leiding de voorkeur omdat daar ook water uit de WRK II leiding kan worden ingenomen.
- 2) Aanpassing van de regelschacht bij dam 12. Deze regelschacht kon in december 2013 na werkzaamheden niet meer waterkerend worden gemaakt. Dit was de aanleiding om het Van der Vlietkanaal te koppelen aan het CD-kanaal.
- 3) Aanpassing van de regelschacht bij dam 10 om de lekkage van Rijnwater naar het Sprengelkanaal te voorkomen.
- 4) Aanpassing van de twee dammen met verharde weg.

Figuur 9 Stijging van de freatische grondwaterstand bij peilverhoging van het Van der Vlietkanaal inclusief de bijbehorende vochtklassen.



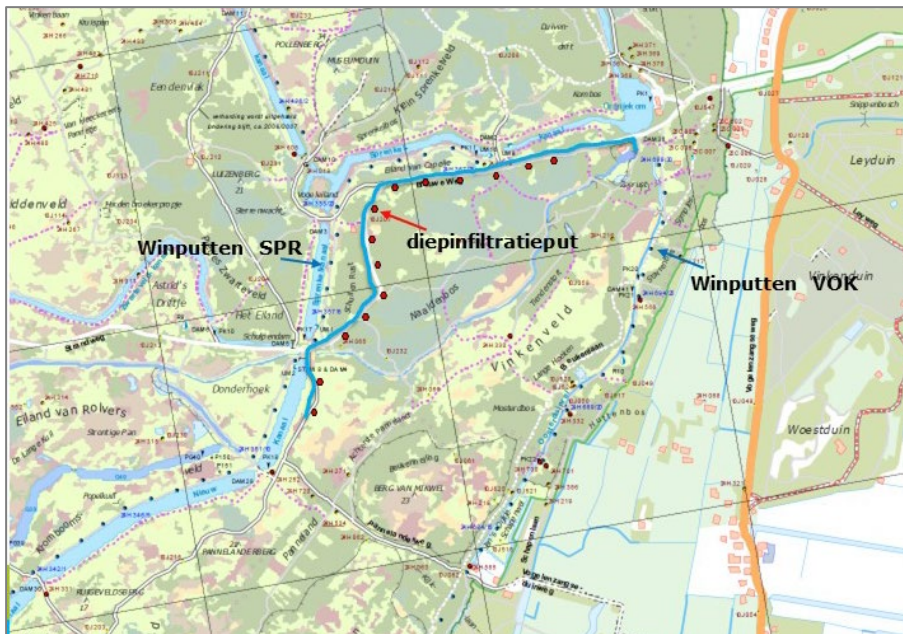
4.7 Bouwsteen 5, diepinfiltratie 2,5 Mm³/j met extra voorgezuiverd rivierwater.

Beschrijving van de huidige situatie

Momenteel vindt alleen infiltratie van WRK-water plaats via infiltratiepanden in het bovenste freatische pakket. Hierdoor heeft het IWS direct invloed op de freatische grondwaterstand hetgeen ook gevolgen kan hebben op de natuur. Onder het freatische pakket, gescheiden door een kleilaag, bevindt zich het zogenoemde diepe pakket. Boven in dit diepe pakket zijn de winfilters van de bronnen (diepe winning) afgesteld. Deze diepe winning wordt tegenwoordig voornamelijk ingezet wanneer er een beperking is in de aanvoer van WRK-water. Doordat het diepe pakket met een kleilaag is gescheiden van het freatische pakket werkt het effect van deze winning slechts gedempt door naar het bovenliggende freatische pakket. De reikwijdte van deze winning is echter veel groter waardoor ook altijd naar effecten op de omgeving moet worden gekeken.

Extra voorzuivering van het WRK-water

Op het innamepunt bij Nieuwegein ondergaat het ruwe Rijnwater al een voorzuivering bestaande uit coagulatie en snelfiltratie. Door optimalisatie van deze voorzuivering heeft het WRK-water de afgelopen jaren al een lage MFI (Membraan Filtraat Index) van rond 1. Voor het vermijden van mechanische putverstopping bij diepinfiltratie wordt een MFI kleiner dan 1 (drinkwater kwaliteit) aanbevolen. Om deze kwaliteit te kunnen garanderen kan, na aankomst van het WRK-water in de ontvangstvijver, nog een extra zuiveringsstap worden toegevoegd voordat het water naar de diepinfiltratieputten wordt gebracht. Hiervoor zou actieve kool of eventueel een flexbedfilter kunnen worden ingezet. Deze extra zuiveringstap kan op het terrein van de ontvangstvijver geplaatst worden.



Figuur 10 Ligging van putten van het diepinfiltratiesysteem

Infrastructuur voor het diepinfiltratiesysteem op hoofdlijnen

Vanaf de ontvangstvijver moet een aanvoerleiding het extra gezuiverde WRK-water naar de diepinfiltratieputten brengen. In dit plan worden 14 diepinfiltratieputten op een onderlinge afstand van circa honderd meter geplaatst langs de Blauwe Weg (Figuur

10). Elke put krijgt een infiltratiefilter van circa 20 meter lengte in het diepe pakket (diepte van NAP-30m tot NAP-50m) met een ontwerpcapaciteit van 20 m³/u. Het moet mogelijk zijn om deze filters af en toe te kunnen schoon pompen. Hiervoor kan een mobiele pompinstallatie worden gebruikt, wanneer de putten echter toch sneller verstopten dan gedacht moeten ze kunnen worden uitgerust met een vaste pomp gekoppeld aan een afvoerleiding. De terugwinning van het geïnfiltreerde water geschiedt met de bestaande winputten langs het Sprengkanaal en het Verlengde Oosterkanaal.

Strategie van het bedrijven van het diepinfiltratie- en winsysteem

Het diepinfiltratiesysteem is het gehele jaar in gebruik en wordt alleen onderbroken wanneer er geen WRK-water beschikbaar is of voor onderhoud aan de infiltratieputten. De terugwinning kan op twee verschillende manieren plaatsvinden.

- 1) Intensief terugwinnen, winning vindt alleen plaats in perioden dat de productie erg hoog is. De diepe winningen van het Verlengde Oosterkanaal en het Spreng / Nieuwkanaal worden dan volledig ingeschakeld. Deze bronnen kunnen in 3,5 maand in totaal 2,5 miljoen m³ diep water onttrekken. Bij deze strategie zullen in perioden met alleen diepinfiltratie de stijghoogten in het diepe pakket verhoogd zijn (winterperiode) en in perioden met terugwinning treedt juist verlaging op (zomerperiode).
- 2) Continu terugwinnen wat wordt geïnfiltreerd, alleen de bronnen rondom de diepinfiltratieputten worden ingezet. Met deze strategie wordt het effect op de omgeving geminimaliseerd. Bij staking van de diepinfiltratie kan er voor worden gekozen om de pompen van diepe winning aan te laten staan als calamiteitenwinning.

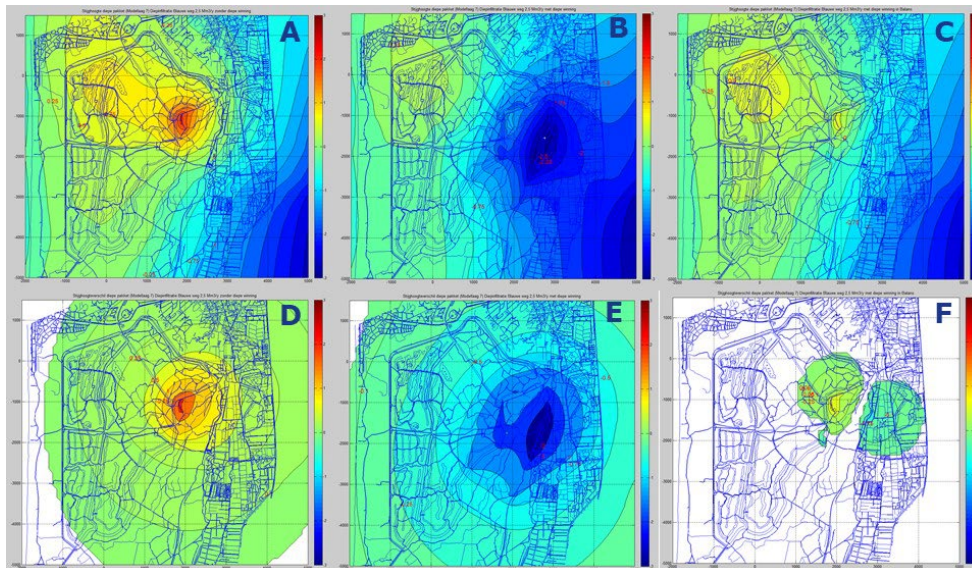
Voordelen van het diepinfiltratiesysteem

- 1) De infiltratie en winning vindt plaats in de diepere lagen van de ondergrond waardoor de gevolgen voor de natuur beperkt zullen zijn.
- 2) Het systeem kan in geval van toename van de vraag eenvoudig worden uitgebreid.
- 3) Door de grote verblijftijd spreiding van het systeem heeft het met de bronnen onttrokken water een constante kwaliteit.
- 4) Het diepinfiltratiesysteem kan in de toekomst zorgen voor vervangende capaciteit indien de capaciteit van de drains vanwege veroudering afneemt.
- 5) De opgedane ervaring met een diepinfiltratiesysteem in de AWD kan gebruikt worden om een dergelijk systeem ook in Loenen te ontwikkelen.

Nadelen van het diepinfiltratiesysteem

- 1) De afhankelijkheid van de WRK-leidingen neemt toe; dit geldt overigens voor alle opties voor capaciteitsuitbreiding in de AWD.
- 2) Er wordt in de AWD een nieuw infiltratiesysteem geïntroduceerd met extra infrastructuur waardoor de benodigde hoeveelheid onderhoud zal toenemen.
- 3) Vanwege de configuratie van de diepinfiltratieputten en de winputten wordt verwacht dat niet alle geïnfiltreerde WRK-water weer wordt teruggewonnen. Hierdoor zal de waterkwaliteit van het teruggewonnen water veel lijken op die van het huidige diepe grondwater.
- 4) Risico op verzilting en verstopping van de winputten.

*Figuur 11 Isohypsens van het diepe pakket bij: **A** diepinfiltratie zonder onttrekking, **B** onttrekking zonder infiltratie en **C** diepinfiltratie met onttrekking. Onder de betreffende figuren wordt het stijghoogteverschil gegeven met het referentiescenario.*



5 Het Voorkeurscenario, een combinatie van bouwstenen

De bovenstaande bouwstenen zijn in een afzonderlijke rapportage op verschillende facetten beoordeeld met een Multi Criteria Analyse (MCA). De Stuurgroep 70-75 heeft op basis van dit rapport (Arcadis 2021) een combinatie van bouwstenen geselecteerd waarmee de beoogde productiecapaciteit van circa 75 Mm³ per jaar kan worden behaald. Het voorkeurscenario bestaat uit de volgende gecombineerde bouwstenen;

- 1) Bouwsteen 0+, intensiever benutten van het bestaande IWS.
- 2) Bouwsteen 1, peilverlaging van het Barnaartkanaal inclusief peilverlaging van de drains van UB01, UB02 en UB03.
- 3) Bouwsteen 2, peilverhoging van de geulen met maximaal 10 cm.

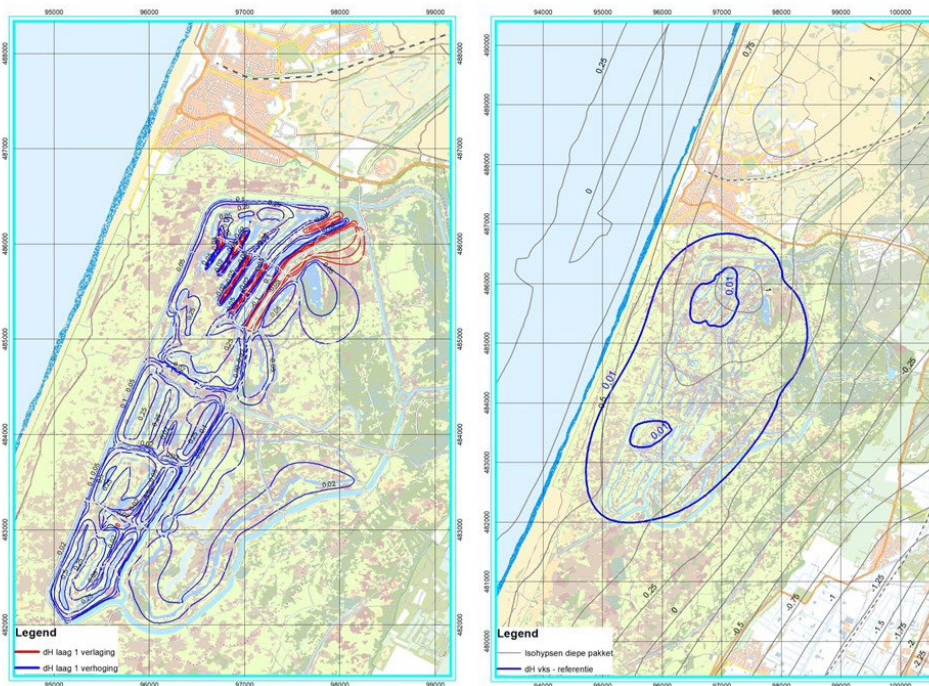
Doordat de bouwstenen gezamenlijk worden doorgerekend is de productiecapaciteit iets hoger dan de som van de afzonderlijke bouwstenen. Dit komt doordat een lagere intredeweerstand van geulen en drains (die gerealiseerd wordt door ingrepen in bouwsteen 0+) bij bouwsteen 1 en 2 zorgt voor extra capaciteit van 0,1 Mm³ per jaar. Hierdoor komt de stationair berekende wincapaciteit in het voorkeurscenario uit op van **74,9 miljoen m³ per jaar**.

Het Voorkeurscenario is met het grondwatermodel stationair en instationair doorgerekend om de effecten op de productiecapaciteit en op de natuur en omgeving goed in beeld te brengen. Door combinatie van deze bouwstenen

5.1 Het Voorkeurscenario stationair

In figuur 10 worden de verschillen weergegeven tussen de freatische waterstanden van het Voorkeurscenario en het referentiescenario. De blauwe contouren geven een stijging van de waterstand weer. De stijging van de grondwaterstand wordt veroorzaakt door de hogere geulpeilen en door een lagere intredeweerstand van de geulen. De rode contouren geven een verlaging van de grondwaterstand weer, deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de peilverlaging van het Barnaartkanaal met 25 cm en de daarmee samenhangende peilverlaging van de drains van UB01, UB02 en UB03. Substantiële veranderingen (>2 cm) in de freatische grondwaterstand bij dit Voorkeurscenario blijven beperkt tot de infiltratiegebieden. In de Zeereep tussen het Westerkanaal en de Noordzee wordt een geringe stijging berekend van maximaal 1,5 cm. De stijging van de freatische grondwaterstanden wordt gedempt doorgegeven aan de stijghoogtes in het diepe pakket; op een diepte van circa NAP -35m is deze nog maximaal 1 cm. De berekende verschillen tussen de diepe stijghoogtes in het voorkeurscenario en referentiescenario worden in Figuur 12 weergegeven met de donkerrode lijnen. In deze figuur worden in blauw ook de isohypsen van het diepe pakket weergegeven van het voorkeurscenario.

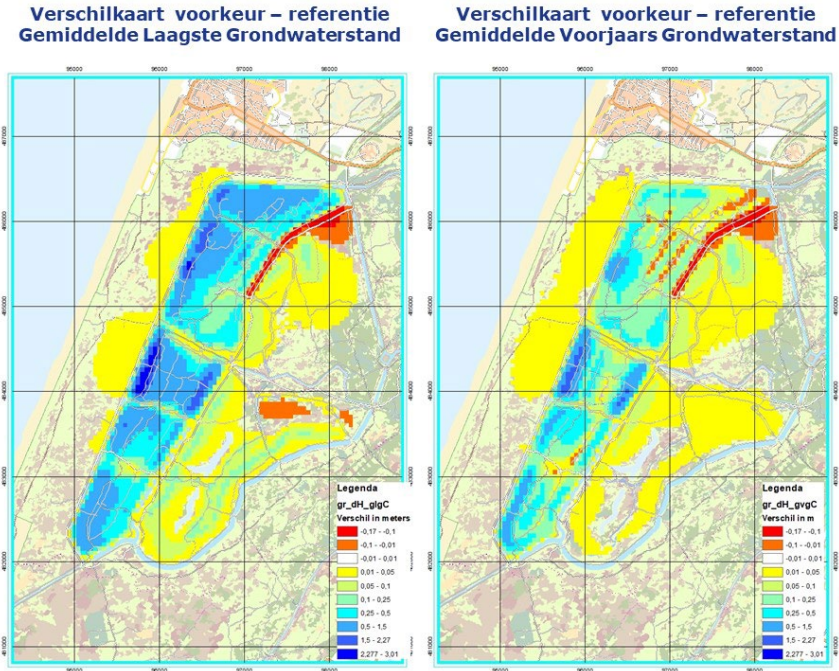
Figuur 12 Verschillenkaart tussen het Voorkeurscenario en het referentiescenario, links het freatisch en rechts het diepe pakket.



5.2 Het referentiescenario niet-stationair

Om de GVG en de GLG van het Voorkeurscenario te kunnen bepalen is dit scenario niet-stationair voor de periode 2013 t/m 2020 met tijdstappen van een maand doorgerekend. In Figuur 13 worden de verschillen tussen het Voorkeurscenario en het referentiescenario weergegeven. Doordat in het Voorkeurscenario de geulen niet meer droogvallen doordat deze intensiever worden ingezet gaat de GLG duidelijk meer omhoog dan de GVG. De GLG en GVG gaan beiden omlaag nabij het Barnaartkanaal. Opvallend is de verlaging van de GLG nabij de toevoersloot in voorraadgebied 5. Blijkbaar is hier het gekozen vaste peil van de toevoersloot bij het Voorkeurscenario iets lager dan die bij het Referentiescenario. Doordat in het Voorkeurscenario het schonen van de geulen niet is opgenomen zal de GLG langjarig gezien iets lager uitvallen.

Figuur 13 Verschilkaart van de Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG) en de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) tussen het Voorkeurscenario en het Referentiescenario.



6 Conclusies en aanbevelingen

1. De vraag naar drinkwater groeit dermate snel dat Waternet op zeer korte termijn de capaciteit moet uitbreiden. Tevens wenst Waternet al langer een beter evenwicht te verkrijgen tussen de productie in “Oost” (Bethunepolder / Loenen a/d Vecht / Weesperkarspel; circa 25 Mm³/jaar) en Leiduin (Amsterdamse Waterleidingduinen (AWD); circa 70 Mm³/jaar). Omdat uitbreiding van de productie in Oost niet tijdig haalbaar is werd gezocht naar mogelijkheden voor capaciteitsuitbreiding op korte termijn in Leiduin / AWD van 70 naar 75 miljoen m³/jaar.
2. Waternet heeft een aantal onderling onafhankelijke bouwstenen opgesteld en onderzocht voor deze capaciteitsuitbreiding. Alle bouwstenen hebben gemeen dat de netto waterbalans van de AWD (het verschil tussen aangevoerd en gewonnen hoeveelheid water) niet verandert.
3. Op basis van een aantal criteria, waaronder minimale beïnvloeding van de omgeving, maximale natuurwinst en mogelijkheden voor snelle uitvoering, is een voorkeursscenario opgesteld dat de bouwstenen 0+, 1 en 2 omvat. Met dit voorkeursscenario kan Waternet de voorspelde groei van de drinkwatervraag opvangen tot het moment dat er voldoende capaciteit is bijgebouwd aan de andere kant van Amsterdam (Loenen / Weesperkarspel). De bedoeling is de betreffende bouwstenen geleidelijk aan één voor één te implementeren, afhankelijk van snelheid van groei van de drinkwatervraag.
4. De gezamenlijke hydrologische effecten van dit voorkeursscenario blijven beperkt tot de winfiltratie-wingebieden en voorraadgebieden in de AWD en hebben zeer beperkte effecten in de zeeduinen (westelijk van de infiltratie-wingebieden). De ecologische effecten worden separaat gerapporteerd.
5. Met behulp van gevoeligheidsanalyses is aangetoond dat de berekende effecten robuust zijn en er veilig van kan worden uitgegaan dat buiten de Amsterdamse Waterleidingduinen geen merkbare hydrologische effecten zullen optreden.
6. Evengoed dient de hydrologische monitoring waar wenselijk worden aangepast om eventuele effecten op en via het grondwater nabij de AWD te kunnen detecteren, en om te kunnen achterhalen of deze eventuele effecten überhaupt gerelateerd zijn aan de voorgenomen ingreep en zo ja. in welke mate.

7 Referenties

Kamps, P en Smits F (2021) Notitie Capaciteitsuitbreiding AWD, grondwatermodellering. Indicatieve berekeningen om de beschikbare wincapaciteit van het huidige IWS in beeld te brengen.

Arcadis (2021) Alternatievenafweging uitbreiding productiecapaciteit drinkwaterwinning Amsterdamse Waterleiding Duinen.

Higgings, P. (2017) Sensitivity Analysis of the Amsterdam Water Supply Dunes storages to intake reductions. MSc Thesis UNESCO-IHE WSE-GroundwatCH.17.02 & intern rapport Waternet

Genuchten, C. van (1999) Modelling van de onverzadigde zone in de Amsterdamse Waterleidingduinen. Simulatie van de grondwateraanvulling voor bestaand Modflow-model AMWADU

Bijlage 1: Onderzoek netto-duinwaterwinning

Aanleiding

De jaarlijkse onttrekking uit de Oranjekom is hoger dan de aangevoerde hoeveelheid voorgezuiverd WRK-water. Deze overonttrekking wordt ook de netto winning van duinwater genoemd, kortweg "duinwater". Een deel hiervan wordt gewonnen met de diepe winning uit het diepere watervoerende pakket en wordt met flowmeters gemeten. Het restant komt uit het ondiepe freatische pakket en kan niet direct worden gemeten. Een deel van het WRK-water kan niet worden teruggewonnen maar sijpelt weg naar de diepere lagen. Vanwege deze niet direct meetbare balansposten wordt gesproken van "netto winning duinwater". Het aandeel duinwater van de onttrekking Oranjekom is vanwege het wegzijgende WRK-water in werkelijkheid hoger dan de "winning netto-duinwater".

De "winning netto-duinwater" wordt eenvoudigweg berekend als het verschil tussen de onttrekking uit de Oranjekom en de aanvoer van WRK-water. Doordat het netto-duinwater aldus het verschil is van twee grote getallen, wordt een kleine meetfout daarin direct toegekend aan deze post. De verhouding onttrekking duinwater - onttrekking Oranjekom is circa 10 miljoen op 70 miljoen m³ per jaar waardoor een meetfout van 1% in de onttrekking Oranjekom een fout van 7% in de winning "netto-duinwater" veroorzaakt. Bij vergelijk van de modelresultaten met de berekende "netto-winning duinwater" moet hier terdege rekening mee worden gehouden. Omdat de winning netto-duinwater niet direct kan worden gemeten is deze balanspost niet opgenomen in de kalibratieset van AMWADU, in plaats daarvan is de freatische winning van duinwater uit het Boog- en het Oosterkanaal opgenomen.

Bij het referentie scenario is de periode 2013 tot en met 2020 instationair met rekentijdstappen van een maand doorgerekend met het grondwatermodel. Uit de waterbalans van deze berekening blijkt dat AMWADU de winning netto-duinwater met 3 miljoen m³ per jaar onderschat (afwijking circa -30 %). Deze afwijking is dusdanig groot van omvang dat onderzocht is waardoor dit verschil wordt veroorzaakt.

Berekening grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling voor AMWADU wordt door vooraf met het onverzadigde zone programma ONZAT uitgerekend voor 10 verschillende vegetatietypen (Genuchten 1998). Per vegetatietype wordt voor 15 dikteklassen onverzadigde zone de berekening herhaald. Hierdoor wordt een dataset grondwateraanvulling gegenereerd voor 10x15 combinaties. Als modelinvoer wordt de gemiddelde neerslag van de regenmeter aan de kust (RM06) en die van Leiduin (RM11) gebruikt en die van de Makkink verdamping van 2 KNMI stations aan de kust. Daarnaast moet per vegetatietype een aantal parameters worden opgegeven. Het betreffen de parameters; gewasfactor, zomerinterceptiefractie, winterinterceptiefractie en de bewortelingsdiepte. Deze vegetatieparameters zijn samen met ecohydroloog dhr. L. Geelen doorgenomen en aangepast. De belangrijkste aanpassingen betreffen de gewasfactoren van de lage kruiden en mos, vegetatietypenummers 4 en 5. Met een gewasfactor van 0,9 wijken ze niet veel af van een goed van water voorzien grasland. Ook zijn een paar bewortelingsdieptes aangepast. In de AWD vallen regelmatig geulen droog voor onderhoud maar ook wanneer de productie van drinkwater laag is. Om hiervoor te compenseren is de gewasfactor van openwater verlaagd van 1,25 naar 1,0. Deze exercitie heeft niet de ambitie om een geijkte set

parameter voor vegetatietypes op te leveren maar om aan te geven waardoor de verschillen in netto-duinwaterwinning ontstaan. In de onderstaande tabellen worden respectievelijk de originele en de aangepaste parameters voor de vegetatietypes weer gegeven die in de berekeningen zijn gebruikt.

Tabel 2 Originele parameters voor de in ONZAT gebruikte vegetatieklassen.

Naam onzat vegetatie klassen	Vegetation type number	Gewas-factor	zomer interceptie fractie	winter interceptie fractie
A -sand -surface area	1	0.4	0.00	0.00
B -Mixed broad-leaved pine forest	2	0.6	0.46	0.36
C -Pine forest	3	0.7	0.57	0.57
D -Herbal open vegetation flora	4	0.9	0.00	0.00
E -Moss open vegetation flora	5	0.9	0.00	0.00
F -Open bush	6	0.7	0.15	0.05
G -Thickly grown low bush	7	0.7	0.25	0.10
H -Thickly grown mixed high/low bush	8	0.7	0.35	0.15
I -Broad leaved forest with bush	9	0.6	0.40	0.20
J -Broad leaved forest without bush	10	0.5	0.34	0.16

Tabel 3 Aangepast parameters voor de in ONZAT gebruikte vegetatieklassen in geel gewijzigde waarden.

Naam onzat vegetatie klassen	Vegetation type number	Gewas-factor	zomer interceptie fractie	winter interceptie fractie
A -sand -surface area	1	0.4	0.00	0.00
B -Mixed broad-leaved pine forest	2	0.6	0.46	0.36
C -Pine forest	3	0.7	0.57	0.57
D -Herbal open vegetation flora	4	0.6	0.05	0.00
E -Moss open vegetation flora	5	0.5	0.00	0.00
F -Open bush	6	0.7	0.15	0.05
G -Thickly grown low bush	7	0.7	0.25	0.10
H -Thickly grown mixed high/low bush	8	0.7	0.35	0.15
I -Broad leaved forest with bush	9	0.6	0.40	0.20
J -Broad leaved forest without bush	10	0.5	0.34	0.16

Vegetatiekaarten

In AMWADU zijn twee vegetatiekaarten opgenomen, die uit 1995 en een aangepaste variant uit 1997 waarbij het Van Limburg Stirumkanaal gedempt is. In de periode vanaf 1997 tot aan heden hebben zich nog flinke veranderingen plaatsgevonden in de vegetatie van de AWD. Vanaf 1998 heeft de Amerikaanse Vogelkers (*Prunus Serotina*) zich sterk uitgebreid. In 2015 is gestart met het prunus beheer in de AWD waarbij de laatste jaren veel beheer heeft plaatsgevonden vanwege PAS. Deze continue veranderende vegetatie is (nog) niet opgenomen in het grondwatermodel. Volgens tabel 1 neemt bij vegetatie verandering van "Open bush" naar "Herbal open vegetation" de gewasfactor juist toe waardoor de grondwateraanvulling afneemt. Het is pas zinvol om alle vegetatiekaarten toe te voegen wanneer meer duidelijkheid is over gewasfactor van de natuurlijke duinvegetatie.

Resultaten

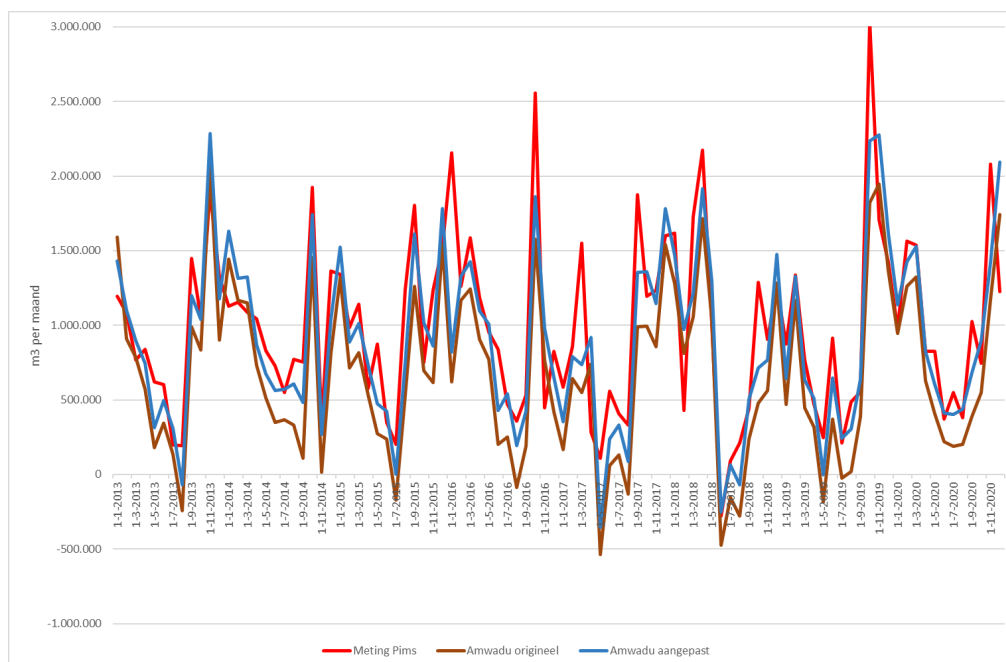
In tabel 3 wordt de waterbalans van de AWD weergegeven, de waarden zijn gemiddeld voor de referentieperiode 2013 tot en met 2020. De freatische winning van het Boogkanaal en van het Oosterkanaal is echter gemiddeld voor de periode 2017 tot en met 2020 vanwege de hoeveelheid onbetrouwbare metingen in de periode er voor.

Tabel 4 Aantal posten van de waterbalans van de AWD gemiddeld voor de periode 2013 tot en met 2020. De posten Boogkanaal en Oosterkanaal zijn gemiddeld voor de periode 2017 tot en met 2020. Onder kolom "Database" worden de metingen weergegeven en vervolgens de modelresultaten van het originele referentiescenario en die met aangepaste parameters voor de grondwateraanvulling

Balanspost	Database	Referentie origineel		Referentie aangepast	
	Mm3/j	Mm3/j	Perc	Mm3/j	Perc
Aanvoer rivierwater	54.74	55.30	101	54.91	100
Onttrekking Oranjekom	66.45	63.38	95	65.61	99
Netto winning duinwater inclusief diepe winning	11.71	8.08	69	10.70	91
Winning Boogkanaal	1.26	1.09	87	1.19	94
Winning Oosterkanaal	2.39	2.29	96	2.69	113

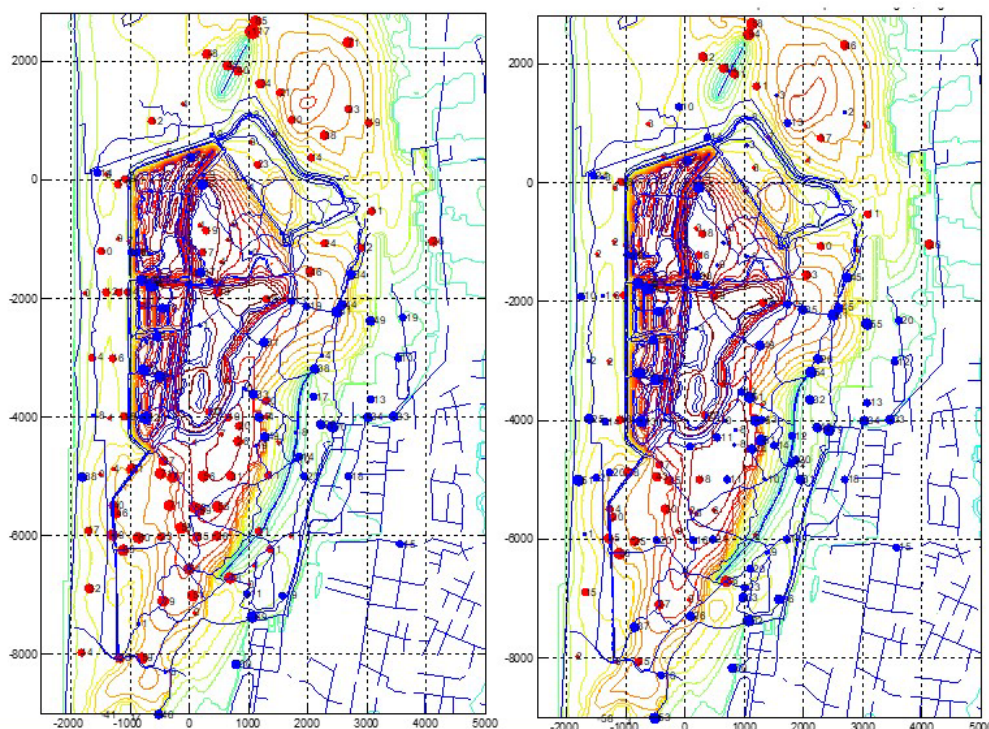
Door de aanpassing van de gewasfactoren neemt de netto winning duinwater toe tot gemiddeld 10,7 miljoen m³ per jaar waardoor de afwijking afneemt tot 9 procent. Hieruit blijkt hoe gevoelig de winning netto duinwater is voor de toegekende gewasfactoren. Door natuurherstelmaatregelen en toename van de neerslag in de afgelopen jaren is het areaal dagzomend grondwater in de AWD flink toegenomen. Doordat de vegetatie in die gebieden veel beter van water voorzien is, is de verdampingsreductie beperkt en gaat de gewasfactor veel zwaarder doorwegen in de berekende grondwateraanvulling.

Figuur 14 Maandsom winning netto-duinwater uit Pims en berekend met de originele en aangepaste grondwateraanvulling.



De toename van de grondwateraanvulling zorgt ook voor stijging van de freatische grondwaterstand in het grondwatermodel. Voor deze nieuwe berekening is ook de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) bepaald en vergeleken met de in waarnemingsfilters gemeten GVG. In de onderstaande Figuur 15 worden de residuen als bollenplot weergegeven van zowel de originele als de aangepaste berekening.

Figuur 15 Isohypsens van de GvG met links afwijkingen tussen metingen en origineel model en rechts model met aangepaste grondwateraanvulling.



De verhoogde grondwateraanvulling zorgt vooral voor stijging van de freatische grondwaterstand in gebieden waar in de nabijheid geen kunstmatig op peil gehouden oppervlaktewater aanwezig is. Het grondwatermodel kan geen schijnspiegels simuleren zodat deze peilbuizen zijn verwijderd. De figuur laat zien dat de verhoogde grondwateraanvulling ook leidt tot een beter simulatie van de GVG.

Conclusies

De winning netto-duinwater wordt indirect berekend door de winning Oranjekom te verminderen met de aanvoer van WRK-water. Hierdoor is deze waarde onevenredig gevoelig voor kleine meetfouten. Het verschil tussen de meting en het model is echter dusdanig groot (30%) dat onderzocht is waardoor dit verschil wordt veroorzaakt.

De oorzaak bleek de aangehouden hoge gewasfactor voor korte duinvegetatie zoals mossen en kruiden. Volgens ecohydroloog L. Geelen is een lagere gewasfactor representatiever voor deze duinvegetatie. Bij toepassing van een lagere gewasfactor voor de berekening van de grondwateraanvulling wordt met het grondwatermodel een netto-duinwater winning die slechts 9 % afwijkt van de metingen. Ook de berekende freatische grondwaterstand is beter passend bij de gemeten grondwaterstand.

De modelparameters van het grondwatermodel AMWADU zijn niet gewijzigd. Hierdoor blijven de berekende effecten van de verschillende bouwstenen gelijk. In het referentiescenario wordt de berekende GVG gecorrigeerd met de metingen. Bij toepassing van de nieuwe berekening van het referentiescenario zal hierdoor alleen de correctie met de metingen veranderen.

Bijlage 2: Gevoeligheidsanalyse bodemweerstand winkanalen

Aanleiding

Voor de omliggende gemeentes is een van de belangrijkste aandachtspunten hoeveel grondwaterstandsverhoging kan optreden ten gevolge van de voorgenomen maatregelen.

De infiltratiepanden waarin de peilverhoging is voorgenomen worden aan alle kanten omsloten door win- en transportkanalen met een veel lager peil dan in de infiltratiepanden. Daarom wordt verwacht dat de uitstraling van effecten naar buiten, in de zin van grondwaterstandsverhogingen, zeer sterk is gedempt, zoveel dat daar buiten de AWD vrijwel niets van te merken is.

Een van de belangrijkste factoren daarbij is de bodemweerstand van genoemde kanalen. Hoe hoger die bodemweerstand, hoe meer invloed naar buiten kan lekken. Daarbij zijn er wel zekere grenzen.

De weerstand moet laag zijn omdat anders de capaciteit van de ruwwaterwinning te klein zal zijn. Anders gezegd: als de bodemweerstand relatief hoog is zal het moeilijker zijn om met de winkanalen voldoende water te kunnen produceren. Verder treedt in alle kanalen kwel op, zodat van dichtslibben van de kanaalbodem en onderwatertaluds vrijwel geen sprake zal zijn. Ook dat impliceert dat de bodemweerstand niet hoog kan zijn.

Daarnaast is een aantal jaren gelden een uitgebreide modelkalibratie uitgevoerd gericht op het infiltratie-winsysteem inclusief de winkanalen (Higgins, 2017). Mede op basis daarvan is voor de kanaalbodemweerstand in het grondwatermodel een waarde ingevoerd variërend tussen 0,25 en 0,71 dag. Met hogere waarden kon nabij de kanalen geen bevredigende overeenstemming tussen gemeten en berekende grondwaterstanden worden verkregen.

Uitvoering

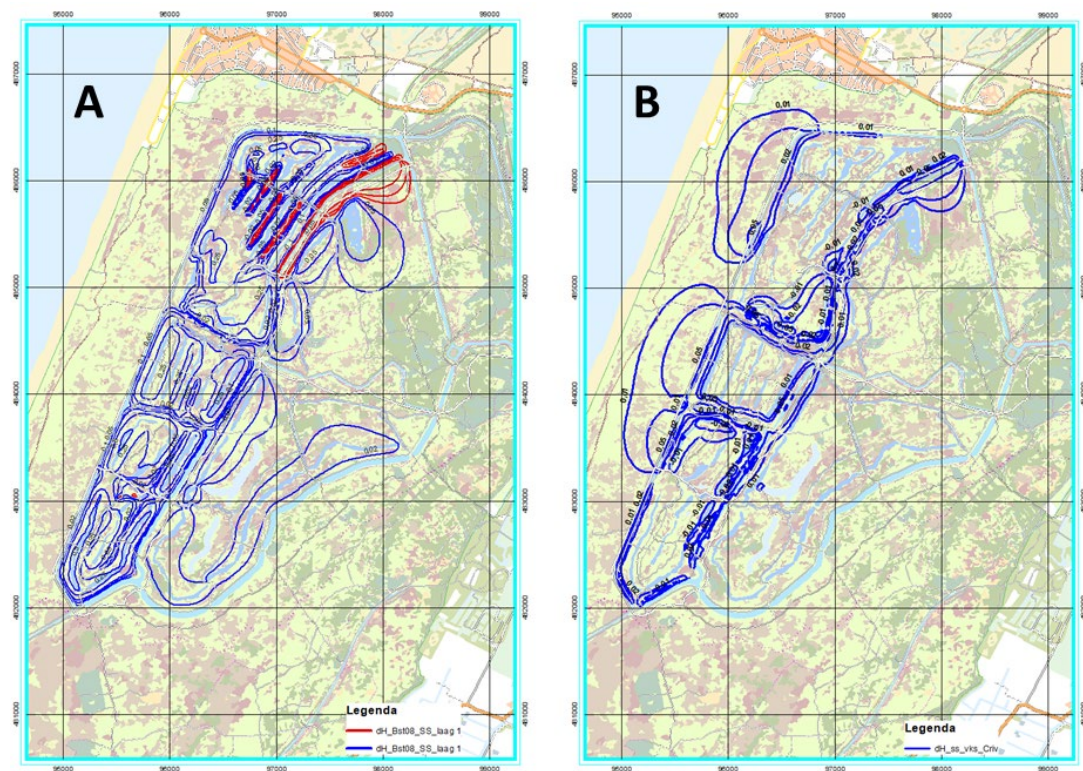
Om toch gevoel te krijgen voor hoeveel grondwaterstandsverhoging onder de winkanalen door naar buiten zou kunnen "lekker" is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij is de weerstandswaarde van de kanaalbodem vijf maal hoger gemaakt (1,25 – 3,55 dag), daarmee is het voorkeursscenario opnieuw doorgerekend en op basis daarvan zijn nieuwe grondwaterstandsverhogingen uitgerekend (uiteraard is voor dat laatste ook het referentiescenario met die hogere kanaalbodemweerstand doorgerekend).

Benadrukt wordt dat dit een vrij grove aanpak is. Het grondwatermodel is op veel parameters gekalibreerd: gemeten grondwaterstanden, stijghoogtes, neerslag en debieten. Je kunt in zo' n geoptimaliseerde set gekalibreerde parameters niet zo maar eentje aanpassen en daar vervolgens kwantitatieve resultaten mee afleiden zonder alle andere geoptimaliseerde parameters opnieuw te kalibreren; in ieder geval niet voor realistische scenarioberekeningen zoals die waarmee de voorgenomen maatregelen zijn gedimensioneerd. Hier gaat het echter primair om semi-kwantitatief inzicht te krijgen in de invloed en relatieve gevoeligheid van één bepaalde parameter en zoiets is -met enig voorbehoud- voor het verkrijgen van inzicht nog wel te verantwoorden.

Resultaten

In figuur Figuur 16 is weergegeven hoeveel de grondwaterstanden buiten de AWD extra zouden stijgen ten opzichte van de effecten van het voorkeursscenario uit referentieberekeningen (figuur 1B) ingeval van de hogere kanaalbodemweerstand. Voor deze berekening zijn van alle kanalen in de AWD de bodemweerstand

verhoogd, ook het Oosterkanaal en het Boogkanaal (waaruit circa 1 resp. 2,5 Mm3/jaar wordt gewonnen).



Figuur 16: (A) Berekende grondwaterstandsverhoging- en verlaging in het voorkeursscenario en (B) extra grondwaterstandsverhogingen t.o.v. (A) ingeval van 5 X hogere kanaalbodemweerstand

De 0,01-m contour extra stijging (buitenste contour) blijkt volledig binnen de AWD liggen; ter vergelijking: de al berekende maximale stijging in het voorkeursscenario is buiten de AWD kleiner dan 0,02 m.

Zoals aangegeven zou door die veel hogere bodemweerstand de waterbalans van de winkanalen worden beïnvloed. Dat laat zich illustreren aan de hand van onderstaande tabel 1.

Tabel 1 - WATERBALANS AWD [miljoenen m3/jaar]

Balanspost Amwadu	Referentie	Referentie Criv * 5	Voorkeur	Voorkeur Criv * 5
Infiltratie geulen	60.17	55.26	66.73	61.27
Winning kanalen	48.57	43.12	51.97	45.97
Winning drains	18.95	19.09	22.00	22.14
Diepe winning bronnen	0.93	0.93	0.93	0.93
Winning Oranjekom	68.44	63.14	74.90	69.03

In de referentiesituatie bedraagt de totale winning uit alle kanalen ruim 48 Mm3/jaar. Met een vijf maal grotere kanaalbodemweerstand loopt dit terug tot iets meer dan 43 Mm3/jaar, ofwel ruim 5 Mm3/jaar minder. Voor de totale winning uit de AWD bedragen betekent dit dat met die hogere kanaalbodemweerstand de huidige winning van bijna 70 Mm3/jaar überhaupt niet kan worden gehaald.

Dit ondersteunt de conclusie dat die 5 maal hogere kanaalbodemweerstand een irreëel hoge waarde is.

Conclusies

De extra grondwaterstandsverhogingen die zouden optreden indien de winkanalen een hogere bodemweerstand van 1,25 dag dan de aangehouden 0,25 dag zouden hebben, zijn aan de randen van de AWD kleiner dan 0,01 m.

Die hogere bodemweerstand zijn echter niet reëel omdat (1) tijdens de kalibratie (Higgins, 2017) al is gebleken dat berekende en gemeten grondwaterstanden naast de kanalen niet met elkaar konden matchen ingeval van hogere kanaalbodemweerstand en (2) met die hogere weerstanden de huidige capaciteit van het infiltratie-winsysteem niet kan worden gesimuleerd.

De overall conclusie luidt dan ook dat het uiterst onwaarschijnlijk is dat ten gevolge van het voorkeursscenario voor de capaciteitsuitbreiding buiten de AWD grondwaterstandsverhogingen optreden die überhaupt detecteerbaar zullen zijn (d.w.z. > 1 cm).

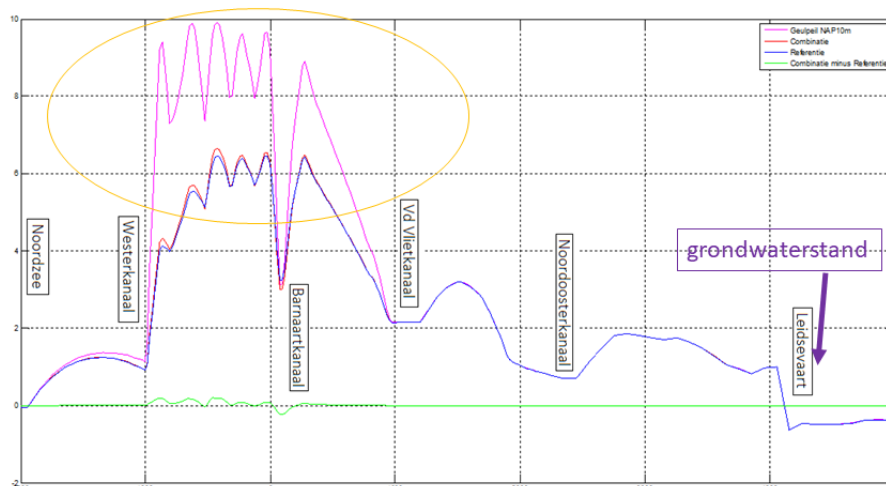
Bijlage 3: Worst-case scenario doorwerking van effecten naar buiten de AWD

Teneinde enig gevoel te krijgen voor de mate van doorwerking van de effecten van het keuzescenario naar de omgeving is een worst-case scenario doorgerekend vanuit de vraag “hoe groot zou de grondwaterstandsverhoging binnen de AWD moeten worden om überhaupt significante effecten buiten de AWD te kunnen merken”.

Deze vraag bleek al snel onrealistisch. Om buiten de AWD merkbare effecten te berekenen zouden fysiek onmogelijk hoge geulpeilen van tientallen meters +NAP moeten worden ingevoerd. In plaats daarvan zijn -minder onrealistische- geulpeilen van 10 m+NAP ingevoerd, ofwel ruim 20 maal zo grote verhoging van de geulpeilen als die van het voorkeursscenario (in werkelijkheid liggen de geulpeilen tussen circa 4 en circa 6,5 m+NAP). Een en ander is weergegeven in de gele ellips.

In onderstaande Figuur 17 zijn in een west-oost dwarsdoorsnede de berekende effecten weergegeven. De aldus berekende worst-case grondwaterstandslin is in paars aangegeven, die van het voorkeursscenario in oranje. Beide lijnen vallen oostelijk van het Van der Vlietkanaal vrijwel exact samen met de grondwaterstand in de huidige situatie. Ten westen van het Westerkanaal ligt de worst-case grondwaterstand maximaal circa 0,2 m boven de huidige grondwaterstand.

Simulatie van een extreem hoog peil in de infiltratiegebieden (+10 mNAP)



Figuur 17: Berekende grondwaterstanden in dwarsdoorsnede ingeval van voorkeurs- en worst-case scenario

Deze resultaten laten zien dat het uiterst onwaarschijnlijk is dat hydrologische effecten van het voorkeursscenario merkbaar zullen zijn buiten de AWD.



Rapportbegeleidingsformulier (rapform)

Postregistratienummer rapform: Corsa 23.002539			
• Algemeen			
Rapport/postregistratie-nummer ¹	Corsa 23.002539		
Projectcode/omschrijving	01.3071/001 Capaciteitsuitbreiding AWD		
Projectleider/auteur	Steven van Duijvenbode / Pierre Kamps & Philip Nienhuis		
Locatie document(en)	T:\TOP\Projecten OA\23 Hydrologie Bronnen\HY468_AWD_Capaciteitsuitbreiding_70-75\04 Documenten		
Spied/uit. verzenddatum			
Opmerkingen			
• Gegevens opdrachtgever/geadresseerde			
Naam bedrijf/instelling	Waternet		
Contactpersoon	Arno Sierkstra		
Afdeling + kamernummer	Productie		
Adres			
Postcode + plaats			
• Voortgang			
Fase	Datum	Handtekening	Naam/Opmerking(en)
Kwaliteitsborging	21-12-2022		Luc Geelen
Eindcontrole projectleider	21-12-2022		Steven van Duijvenbode
Postregistratie document(en) en redactionele controle (secretariaat)	19-2-2023	<i>Gabriele van der Linden</i>	Gabriele van der Linden
Eindborging teamleider (optioneel)			
Pdf-bestand gemaakt/opgeslagen	23-2-2023	<i>Gabriele van der Linden</i>	Gabriele van der Linden
Verspreid (zie hieronder)	23-2-2023	<i>Gabriele van der Linden</i>	Gabriele van der Linden
Rapform gedigitaliseerd/ gearhiveerd	23-2-2023	<i>Gabriele van der Linden</i>	Gabriele van der Linden
Verspreiding		Pdf-bestand	
Opdrachtgever		ja	
Projectleider		ja	
Auteur		ja	
Webredactie		ja	
Corsa		ja	
CardWeb		ja	
<i>Is het onderzoek openbaar en bevat het rapport informatie die ook buiten waternet relevant is? Dan kunnen we het openbaar publiceren. Geef hieronder aan of je dat wilt?</i>			
Winnovatie.nl		<input type="checkbox"/>	
Hydrotheek (wur.nl)		<input type="checkbox"/>	

Trefwoorden z.o.z.

Trefwoorden:

Hieronder staan algemene trefwoorden. Gebruik liever geen andere trefwoorden dan deze. Een combinatie van meerdere trefwoorden kan weergeven wat je wilt, bijvoorbeeld Afvalwater en Zuivering voor afvalwaterzuivering. Als je een trefwoord mist dat je vaak nodig hebt, laat het dan even weten.

Aanklikken: klik op het vierkantje aan het begin van de regel (evt. ongedaan maken: Control-Z)

<input type="checkbox"/> Afvalwater	<input type="checkbox"/> Locatie:
<input type="checkbox"/> Aquathermie	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Baggeren	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Beheer	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Beleid	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Bodem	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Bodemdaling	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Calamiteit	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Circulaire economie	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Datascience	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Discrepancie	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Drainage (waterafvoer)	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Drinkwater	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Duurbemonstering	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Duurzaamheid	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Ecologie	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Energie	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Energietransitie	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Geotechniek	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Grondwater	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Gemeente Amsterdam	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Hydrologie	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Innovatie	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Kaderrichtlijn Water (KRW)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Klimaatneutraal	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Klimaatadaptatie (klimaatbestendig)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Kering	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Kunstwerk (zoals rioolgemaal)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> LCA (levenscyclusanalyse)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Lozingen	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Milieutechnologie	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Oppervlaktewater	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Organisme	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Plan	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Riolering	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Senoren (was SMART bedrijfsvoering)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Toxicologie	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Transportleidingen	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Veiligheid	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Verbinden met de omgeving	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Verontreiniging	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Waterbalans	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Waterbodemkwaliteit	<input type="checkbox"/>

<input type="checkbox"/> <u>Waterkwaliteit</u>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <u>Waterschap Amstel, Gooi en Vecht</u>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <u>Watersysteem</u>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <u>Wet- en regelgeving</u>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <u>Zuivering</u>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <u>Zwemwaterrichtlijn</u>	<input type="checkbox"/>