

Bouwstenen

Blauwe Agenda Utrechtse Heuvelrug



Blauwe Agenda
Utrechtse Heuvelrug



HydroLogic BV
Postbus 2177
3800 CD Amersfoort
033 4753535
hydrologic.nl

P1256
oktober 2021

HydroLogic



Inhoud

Samenvatting	3
1 Inleiding.....	12
1.1 Aanleiding	12
1.2 Doel	14
1.3 Werkwijze	14
1.4 Achtergrond en toepasbaarheid AZURE grondwatermodel en tools	15
1.5 Samenwerking	16
1.6 Leeswijzer	16
2 Systeembeschrijving.....	18
2.1 Inleiding	18
2.2 Hydrologie	18
2.2.1 Plateau	19
2.2.2 Flank	20
2.2.3 Voet	21
2.3 Bodemopbouw	22
2.4 Waterbalans	23
2.5 Historische en toekomstige grondwaterstand	25
2.5.1 Historische grondwaterreeksen (1960-heden)	25
2.5.2 Toekomstig klimaat (scenario's 2050)	29
2.6 Waterkwaliteit	32
2.6.1 Algemeen	32
2.6.2 Bodemverzuring	33
2.6.3 Verontreinigingen	33
2.7 Aandachtspunten	34
4 Knelpuntenopgave.....	36
4.1 Inleiding	36
4.2 Autonome ontwikkelingen	36
4.3 Opgave natuur	37
4.4 Opgave landbouw	40
4.5 Opgave stedelijk gebied	41
4.6 Samenvatting knelpuntenopgave	43
5 Bouwstenen.....	45
5.1 Inleiding	45
5.2 Overzicht van de bouwstenen	45
5.3 Effect van de bouwstenen	46
5.3.1 Water langer vasthouden	47
5.3.2 Meer water infiltreren	48
5.3.3 Integrale wateroplossingen	52

5.4	Combinatie van bouwstenen	55
5.5	Impact op functies	56
5.5.1	Natuur	57
5.5.2	Landbouw	59
5.5.3	Stedelijk gebied	61
5.6	Samenvattend	62
6	Synthese.....	63
6.1	Inleiding	63
6.2	Ruimtelijke karakteristieken Heuvelrug	63
6.3	Temporele dynamiek Heuvelrug	65
6.4	Handelingsperspectief	65
7	Conclusies en aanbevelingen.....	66
7.1	Conclusies	66
7.2	Aanbevelingen	70
Referenties		72
Bijlage A	Azure grondwatermodel	74
Bijlage B	Huidige situatie	82
Bijlage C	Vertaalslag natuur.....	9
Bijlage D	Knelpuntenopgave.....	13
Bijlage E	Overzicht bouwstenen	16

Samenvatting

Inleiding

Het belang van een gezond en veerkrachtig watersysteem op de Utrechtse Heuvelrug is groot. Het geïnfiltreerde regenwater op de Heuvelrug komt in de lagergelegen flanken weer als kwel naar boven en dient vele functies. Het water is van essentieel belang voor de natuur, levert jaarlijkse miljarden liters drinkwater van de hoogste kwaliteit en speelt een belangrijke rol voor de landbouw op de Heuvelrugflanken (Ref. 1).

Als gevolg van klimaatverandering en de toenemende druk op het ruimtegebruik (zoals een toename van de watervraag en versnippering van functies) is dit echter niet langer vanzelfsprekend. De gebiedspartners van de Heuvelrug werken daarom samen aan een robuust en toekomstbestendig watersysteem, waarin alle waterfuncties een duurzame plek vinden. Op initiatief van Nationaal Park Utrechtse Heuvelrug (NPUH) is door de gebiedspartijen (waterschappen Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Vallei en Veluwe, Vitens, terreinbeheerders, gemeenten en de Provincie Utrecht) een Blauwe Agenda ontwikkeld. Een gebiedsinitiatief om dit robuuste en toekomstbestendige watersysteem gezamenlijk te versterken met de volgende doelen (Ref. 1):

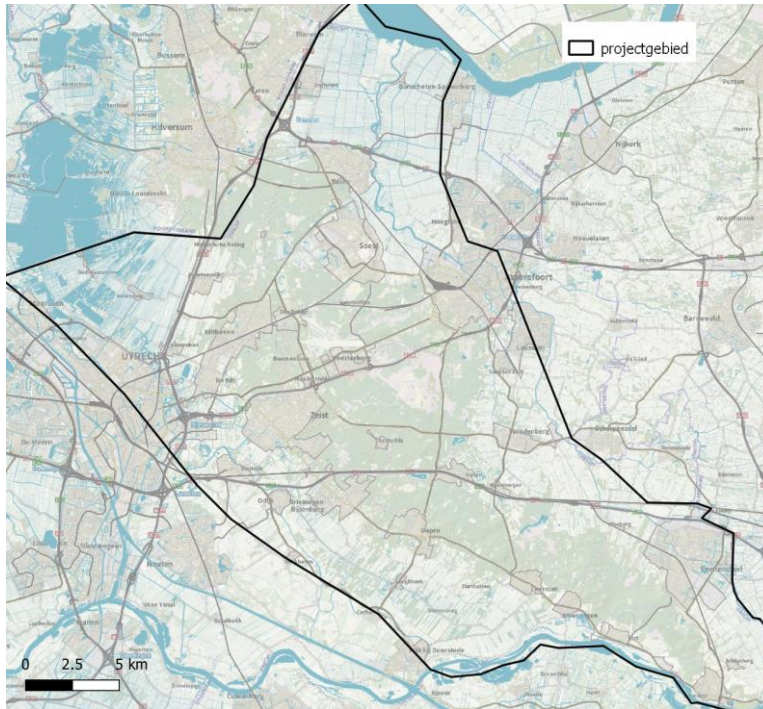
- Water langer vasthouden;
- Meer water infiltreren;
- Schoner water;
- Integrale wateroplossingen.



Figuur 1. De Utrechtse Heuvelrug in het voorjaar van 2021.

In Figuur 2 is de ligging van het projectgebied van de Blauwe Agenda gegeven. De begrenzing van het projectgebied van de Blauwe Agenda is gebaseerd op de begrenzing van het samenhangende grondwatersysteem en omvat naast het infiltratiegebied op de hoge delen ook de flanken en de lage gebieden aan de voet van de Utrechtse Heuvelrug waar de

invloed van de kwel nog merkbaar is. De inhoudelijke onderbouwing hiervan vormen stroombaanberekeningen die eerder met een grondwatermodel zijn gemaakt. De begrenzing richt zich op dat deel van de Heuvelrug dat binnen de provincie Utrecht valt. Op enkele plekken in het noorden van het gebied wordt de begrenzing daarom gevormd door de provinciegrens. Voor de begrenzing van het grondwatermodel zijn ruimere grenzen gehanteerd, die gebaseerd zijn op geohydrologische systeemgrenzen.



Figuur 2. Ligging van het projectgebied van de Blauwe Agenda.

Doel

Het doel van de voorliggende studie is inzicht te verkrijgen in effecten van potentiële maatregelen (gebundeld in bouwstenen) die bijdragen aan een robuust en toekomstbestendig watersysteem van de Utrechtse Heuvelrug. De bouwstenen dienen als input voor de visie voor het watersysteem op de Utrechtse Heuvelrug. In nauwe samenspraak met de kerngroep is de gezamenlijke werkdefinitie voor de bouwstenen voor een robuust watersysteem als volgt gedefinieerd:

Een robuust en toekomstbestendig watersysteem moet alle huidige functies ook in de toekomst van voldoende water kunnen voorzien (inclusief effecten klimaatverandering). Dit kan echter wel betekenen dat functies zich soms moeten aanpassen of verplaatsen (adaptatie).

Systeembeschrijving

Het systeem van de Utrechtse Heuvelrug bestaat uit drie zones met elk hun eigen hydrologische kenmerken.

Het plateau van de Heuvelrug

De grondwaterstand op het plateau is diep gelegen (3 tot 60 m onder het maaiveld). De vegetatie onttrekt het vocht niet uit het grondwatersysteem, maar uit de onverzadigde zone.

Lokaal kan er een schijngrondwaterspiegel voorkomen door de aanwezigheid van lokale kleilagen, waardoor plaatselijk natte natuur en/of vennetjes kunnen voorkomen. In het overgrote deel van dit plateau waar geen lokale kleilagen voorkomen en de grondwaterstand diep onder maaiveld is gelegen, is de vegetatie afhankelijk van regenwater dat ter plaatse infiltreert.

De flank van de Heuvelrug

Op de flanken van de Heuvelrug is de grondwaterstand minder diep onder het maaiveld gelegen (0 tot 5 meter onder het maaiveld). Op de flanken is oppervlaktewater aanwezig; hoog op de flank ontspringen beken en waterlopen, en lager op de flank is een intensief oppervlaktewatersysteem aanwezig. Dit is ook de zone waar grondwaterafhankelijke vegetaties voorkomen.

De voet van de Heuvelrug

De voet van de Heuvelrug is laaggelegen en is een gebied met gedetailleerd slotensysteem. Ten zuidwesten van de Heuvelrug (in het beheersgebied van Waterschap De Stichtse Rijnlanden) en aan de oostkant en noordkant (in het beheersgebied van Waterschap Vallei en Veluwe) is wateraanvoer mogelijk en kunnen oppervlaktewaterpeilen worden gehandhaafd. In het overige gedeelte kan niet (atijd) water worden aangevoerd en zullen de oppervlaktewaterpeilen uitzakken bij langere perioden van droogte.

Knelpuntenopgave

Voor de knelpuntenopgave is gekeken naar de functies natuur, landbouw, drinkwaterwinning en stedelijk gebied. Het onderzoek wijst uit dat deze functies op de Heuvelrug een aantal knelpunten kennen:

- Natuur op het plateau van de Heuvelrug. Deze natuur is grondwateronafhankelijk. Langdurige droge voorjaar- en/of zomerperioden veroorzaken uitdroging van de onverzadigde zone, waardoor droogteschade optreedt. Terreinbeherende organisaties geven aan dat droogteschade als gevolg van langdurige droogte, uitdroging van de bodem en hoge temperaturen na de recente droge zomers van 2018 t/m 2020 steeds zichtbaarder wordt.
- Slechts beperkte delen van de voet en de flank van de Heuvelrug zijn nu, qua grondwatersysteem, geschikt voor de hoge natte natuurwaarden die meer geambieerd worden in de toekomst. De grondwaterstand is vaak te diep gelegen en kwel beperkt zich tot de laagste delen van de beekdalen.
- Zowel droogteschade als natschade kunnen bij de landbouw optreden. Dit is afhankelijk van de lokale maaiveldhoogte, ontwateringsdiepte en de helling van het maaiveld. De landbouw ligt met name op de lage delen van de flank.
- Wateroverlast op het maaiveld in het stedelijke gebied treedt op bij hevige buien. Ook vormt afstromend water vanaf de Heuvelrug een knelpunt in de bovenstrooms gelegen gedeelten van het bebouwde gebied.
- De drinkwaterwinning verwacht een toenemende vraag voor de toekomst (+ 13 Mm³/jaar voor de Provincie Utrecht). Tevens zijn er zorgen over beïnvloeding van de waterkwaliteit bij de bronnen door persistente verontreinigingen, zoals PFAS op de lange termijn.

- De functies landbouw en natuur op de flanken (met name de zuidwestflank) liggen vanuit waterhuishoudkundig oogpunt te dicht bij elkaar, waardoor het lastig is de waterstand voor beide doeleinden te optimaliseren.

Effecten toekomstig klimaat

De klimaatscenario's wijzen uit dat de netto neerslag jaarrond gemiddeld genomen toeneemt. Als gevolg hiervan, blijkt uit de modelberekeningen dat gemiddeld jaarrond de grondwaterstanden met 70 cm stijgen op het plateau van de Heuvelrug. Op de flanken en aan de voet stijgt de grondwaterstand nagenoeg niet omdat het oppervlaktewatersysteem het water afvoert. De afvoer op de flanken neemt wel toe.

Evenwel blijkt uit de klimaatscenario's dat de extremen toenemen en dat de temporele verschillen (zowel binnen als tussen jaren) groter worden. Afhankelijk van het beschouwde klimaatscenario kunnen bovendien drogere voorjaren en zomers in de toekomst vaker voorkomen (Ref. 23). Dit leidt ertoe dat in de toekomst de hierboven geconstateerde knelpunten zullen toenemen.

Beschrijving en effect bouwstenen

Voor de visievorming van de Blauwe Agenda is bepaald welke bouwstenen kunnen bijdragen aan het robuust maken van het watersysteem van de Utrechtse Heuvelrug. De groslijst met bouwstenen die vanuit de Blauwe Agenda zijn opgesteld, vormde hiervoor de basis. Deze bouwstenen zijn op basis van de systeemwerking en geconstateerde knelpunten en opgaven in overleg met de specialisten- en kerngroep aangescherpt (Tabel 1).

Tabel 1. Overzicht van de bouwstenen die zijn onderzocht.

Doel bouwsteen	Nr.	Bouwsteen
Water langer vasthouden	1	Peil- / bodemverhoging (sterk drainerende) watergangen
	2	Dempen detailontwatering
Meer water infiltreren	3	Verloofen naaldbos in infiltratiegebied
	4	Afkoppelen stedelijk gebied in infiltratiegebied
	5	Infiltreren rivierwater
Integrale wateroplossingen	6	Inzet effluent RWZI's
	7	Permanent beregeningsverbod
	8	Piekbuien (tot T=5) bergen in natuur om wateroverlast te voorkomen in stedelijk gebied
	9	Gedeeltelijke vervanging drinkwater uit grondwater door oppervlaktewater
Schoner water en water vasthouden	11	Kansen op verbeteren oppervlakte- en grondwaterkwaliteit, verbeteren bodemstructuur en verhogen organisch stofgehalte in de bodem

De bouwstenen, incl. varianten (zoals peilaanpassing overal of alleen in bepaalde stroomdalen), zijn uitgewerkt. In totaal zijn 21 bouwsteen(varianten) uitgewerkt. Voor iedere bouwsteen(variant) is een factsheet opgesteld (separaat document), waarin de belangrijkste achtergrondinformatie en effecten van de bouwsteen(variant) zijn samengevat. De bouwstenen 1 t/m 9 zijn doorgerekend met een grondwatermodel. De effecten van deze bouwstenen op het grondwatersysteem (effect op grondwaterstand, stijghoogte en stromingsfluxen) en de functies natuur, landbouw en stedelijk gebied zijn daarmee in kaart

gebracht. De opgestelde effectkaarten zijn tevens in een separate bijlage als geheel opgenomen. Bouwsteen 11 is alleen kwalitatief uitgewerkt.

Effect bouwstenen

Naast de 21 bouwsteen(varianten) zijn 2 combinaties van bouwstenen (bouwsteen 10) met het model doorerekend. Alle bouwstenen blijken in meer of mindere mate effectief, maar het effectgebied en ingrijphoogte op het systeem (plateau, flank of voet) van de bouwstenen variëren sterk:

- Peilaanpassingen (bouwstenen 1 en 2) hebben met name invloed op de voet en op de flank van de Heuvelrug. Door peilverhoging stijgt de grondwaterstand in eenzelfde orde van grootte maar neemt ook de grootte van het gebied met een kwelflux en afvoer af.
- De overige bouwstenen stimuleren met name de wateraanvulling op het plateau en hebben daardoor invloed op de grondwaterstand op het plateau. Deze stijging van de grondwaterstand op het plateau leidt echter niet tot baten voor de functies omdat de grondwaterstand dan te diep onder het maaiveld is gelegen. Afhankelijk van de grootte van de bouwsteen straalt het effect uit tot op de flank. Dit laatste geldt bijvoorbeeld voor de bouwsteen grootschalige infiltratie van rivierwater (bouwsteen 5). Door grondwaterstandverhoging op het plateau neemt de kwelflux op de flank (en de afvoer) toe en stijgt de grondwaterstand bovenop de flank. Grootschalige infiltratie biedt als neveneffect ook kansen om de waterwinning op de Heuvelrug te vergroten zonder verdrogende effecten op de flanken. Het afkoppelen van het stedelijke gebied naar het grondwater heeft als neveneffect dat de RWZI minder belast worden en overstortproblematiek afneemt. Daarnaast past deze trend binnen het beleid van de gemeenten.
- De bouwstenen verloofing, kleinschalige infiltratie (RWZI en opvangen piekbui) hebben alleen lokaal een (beperkt) effect. Deze maatregelen zijn daarom beter geschikt om lokale knelpunten te verhelpen. Deze maatregelen hebben ook positieve neveneffecten: infiltratie van piekbuien zal lokaal effectief zijn om problemen met water op straat op te lossen en het verloofen van naaldbos stimuleert de biodiversiteit op de Heuvelrug en maakt de bossen daarmee minder kwetsbaar voor ziekteplagen.
- Hoewel veel van de maatregelen (behalve de aanpassingen aan het oppervlaktewaterstelsel (bouwsteen 1)) tot een grondwaterstandverhoging en grondwateraanvulling leiden, blijft de impact op de functies op de flank van de afzonderlijke maatregelen beperkt. Dit is voornamelijk omdat het water op de flanken weer uittreedt via het drainerende oppervlaktewaterstelsel. Het is dus essentieel om maatregelen te combineren, waarbij maatregelen voor de verhoging van de grondwaterstand (zoals infiltratie) worden gecombineerd met gerichte maatregelen die de uit- en afstroom van oppervlakte- en grondwater beperken (zoals peil- en bodemverhoging).

Tabel 2 geeft op bouwsteenniveau een overzicht van het effect van de bouwsteen op het hydrologische systeem met de voor- en nadelen.

Tabel 2. Overzicht van het effect van de bouwstenen.

Bouwsteen en doel	Effect op hydrologie	Voordelen	Nadelen
1 Peil- / bodemverhoging (sterk draineerende) watergangen (regionaal) <i>Doel: water vasthouden</i>	- gws: +30 of +50 cm - kwel: afname bij maatregel, daaromheen neemt toe - effect: bij maatregel	- afname droogteschade landbouw - toename potentie natte natuur door hogere gws	- toename natschade landbouw - afname kwel (bij natuur) - toename risico grondwateroverlast stedelijk gebied
2 Dempen lokale detailontwatering (bovenkant flank) <i>Doel: water vasthouden</i>	- gws: tot + 1 m - kwel: flank: kwel neemt af en voet: kwel neemt toe - effect: bovenkant flank, enige uitstraling	- lokale afname droogteschade landbouw - lokale toename potentie natte natuur - toename kwel aan voet (bij natuur)	- lokale toename natschade landbouw - lokale afname kwel op flank (bij natuur) - toename risico grondwateroverlast stedelijk gebied
3 Verloofen naaldbos in infiltratiegebied (50 of 25 %) <i>Doel: integrale oplossing en water infiltreren</i>	- gws: tot +20 cm - kwel: toename infiltratie - effect: op plateau	- toename gwaanvulling - toename diversiteit biomenpopulatie, afname ziektes - omzet naar droge natuur levert iets meer op	- nauwelijks impact op functies - effect op gws is geringer in zomer - bij naaldbossen ook specifieke natuurwaarden aanwezig
4 Afkoppelen stedelijk gebied in infiltratiegebied (100 of 50 %) <i>Doel: integrale oplossing en water infiltreren</i>	- gws: tot +1.5m op plateau - kwel: toename infiltratie - effect: op plateau en flank met name bij bebouwing	- lokale toename natte natuur op flank - afname piekafvoer RWZI en riooloverstorten - aanvulling gwsysteem	- gering toename risico op grondwateroverlast op flank - waterkwaliteit infiltratiewater en calamiteit gevoelig - onderhoud en beheer
5 Infiltreren rivierwater (+50 Mm ³ /j) <i>Doel: water infiltreren</i>	- gws: tot +1 à +2 m op plateau - kwel: toename kwel op flank - effect: regionaal op plateau en flank	- toename natte natuur bovenkant flank - geringe afname droogteschade landbouw - stuurbare aanvulling gwsysteem - combinatie met waterwinning op plateau mogelijk	- andere typologie water dan Heuvelrug water - geringe toename natschade landbouw - inzet afhankelijk van rivierafvoer en kwaliteit rivierwater (calamiteitgevoelig) - kosten (zuivering, transport en energie) - onderhoud en beheer
6 Inzet effluent RWZI's (+2.5 Mm ³ /j) <i>Doel: integrale oplossing en water infiltreren</i>	- gws: tot 1 à 2 m op plateau - kwel: toename kwel op flank - effect: lokaal rondom ingreep (500 m)	- lokale impact op functies - combinatie met landbouw, waterwinning en wellicht natuur mogelijk - hergebruik/ stabiele waterstroom - afname verontreinigingen in RWZI-stroom op oppervlaktewater	- gedegen zuivering nodig (4e zuiveringsstap) - afname RWZI-stroom [m3] voor oppervlaktewater - kosten (energie, transport onderhoud en beheer) - waterkwaliteit (calamiteit gevoelig)
7 Permanent beregningsverbod <i>Doel: water vasthouden</i>	- gws: tot +20 cm - kwel: afname op perceel - effect: lokaal rond perceel	- stijging gws in aangrenzende percelen	- droogteschade op landbouwperceel zelf - toename afspoeling nutriënten - afnemende bodemkwaliteit

Bouwsteen en doel	Effect op hydrologie	Voordelen	Nadelen
8 Piekbuilen (tot T=5) bergen in natuur om wateroverlast te voorkomen in stedelijk gebied <i>Doel: integrale oplossing</i>	- gws: zeer gering - kwel: zeer gering - effect: zeer lokaal	- afname wateroverlast over maaiveld (lokaal in stroomdal) - kleinschalige grondwateraanvulling	- waterkwaliteit (gevoelig voor calamiteit) - geen wateraanvulling in droge periode - beheer en onderhoud - plaatsing afstemmen op bebouwing (grondwateroverlast)
9 Gedeeltelijke vervanging drinkwater uit grondwater door oppervlaktewater (- 4,5 Mm3/j) <i>Doel: integrale oplossing</i>	- gws: tot +1 à +2 m bij winning (op plateau) - kwel: lokaal toename kwel op flank - effect: rond winning (1 km)	- meerdere winningen aanwezig, ruimtelijke sturing mogelijk voor effectgebied. Bij aanpassingen aan winningen op flank mogelijk wel lokaal positief effect voor natte natuur. (zie bouwsteen 6)	- afname winningshoeveelheid (noodzaak extra/nieuwe winmogelijkheden elders i.v.m. leveringsplicht) - aanpassing op plateau, geen positieve invloed op functies op flank (natuur of landbouw)
10 gecombineerde bouwstenen (peilaanpassing, infiltratie op Heuvelrug, afkoppelen naar gw) <i>Doel: water vasthouden, water infiltreren en integrale oplossing</i>	- gws: meer dan 2 m op plateau - kwel: toename kwel op flank - effect: regionaal op plateau en flank	- toename kwel - toename natte natuur aan de voet en de flank - afname droogteschade landbouw - toename winhoeveelheid Vitens	- toename natschade landbouw - risico's m.b.t. waterkwaliteit rivierwater (zie bouwsteen 5)
11.1 Kansen op verbeteren oppervlaktewater en gwkwaliteit <i>Doel: schoner water</i>	- effect: lokaal of gebieden die onder invloed zijn van het oppervlaktewater	- positief effect voor de aanwezige functies	- zuivering intensiveren of anders inrichten - aanpassingen in de landbouw uitvoeren (sluitende stoffenbalans)
11.2 bodemstructuur verbeteren <i>Doel: water vasthouden</i>	- effect: lokaal bij de maatregel	- toename vasthouden water in de wortelzone	- aanpassingen in de landbouw of groenbeheer op plateau (diepe onverzadigde zone) uitvoeren

gws: grondwaterstand, gw: grondwater, effect: grofmazige ruimtelijke indicatie van effectgebied

Stuurbaarheid Heuvelrug

Het onderzoek wijst uit dat het systeem van de Utrechtse Heuvelrug met een combinatie van bouwstenen -bij voorkeur aangevuld met lokale detailinrichting en ontwaterings- en afwateringsmaatregelen- stuurbaar is en tot een verbeterde grondwaterbeschikbaarheid leidt voor de functies op de flanken en voet van de Heuvelrug. Op het plateau is het grondwatersysteem ook goed te sturen, alleen niet zodanig dat de aanwezige natuurfunctie hier voordeel van ondervindt. De reden is de diepe ligging van de grondwaterstand en de grondwateronafhankelijke natuur op het plateau. Er zijn andere type maatregelen (andere dan hydrologische maatregelen) nodig om de situatie voor het plateau te verbeteren. Bijvoorbeeld in de vorm van adaptieve maatregelen.

De natuur en landbouw op de flanken kunnen wél worden gestuurd door het grond- en oppervlaktewatersysteem, omdat de grondwaterstand minder diep onder het maaiveld is gelegen. Deze functies zijn op meerdere manieren te beïnvloeden, waarbij optimalisatie

tussen de aanwezige belangen is gewenst. Het stedelijke gebied, natuur en landbouw komen naast elkaar voor. Met name op de westelijke flank wisselen de natuur- en landbouwgebieden elkaar af. Natuur is doorgaans gebaat bij iets nattere grondwateromstandigheden en de aanwezigheid van kwelwater. Dit maakt het logisch dat de natuur op de lagere delen ligt en landbouw op de delen waar de grondwaterstand van nature (verschil maaiveld en oppervlaktewaterpeil) dieper ligt. Dit is in praktijk echter niet altijd het geval. Aanpassingen van het watersysteem voor de ene functie zullen daarom zonder aanvullende detailinrichting een negatief effect hebben op de andere functie. Qua detailinrichting kan gedacht worden aan: stuwen, afplaggen, greppels, aanleg bufferzones etc. Voor het stedelijke gebied is een ondiepe grondwaterstand juist niet gewenst, uitbreidingen van bebouwd gebied zouden daarom juist op de droge delen kunnen plaatsvinden. Aanbevolen wordt deze bevindingen ook als input mee te nemen in toekomstige RO-ontwikkelingen en de toekomstige visie van het gebied.

In navolging van deze studie zal de Blauwe Agenda met de toekomstvisie voor de Utrechtse Heuvelrug deze bouwstenen in detail uitwerken.

Aanbevelingen

Naast de inzichten die het onderzoek heeft opgeleverd, zijn aanbevelingen voor het vervolgtraject gedefinieerd:

- Geadviseerd wordt de mogelijkheden en meerwaarde van 'Anticiperend Grondwaterbeheer Utrechtse Heuvelrug' te onderzoeken. Uit voorliggend onderzoek is gebleken dat het systeem tot op zekere hoogte stuurbaar is. Evenwel is nog niet bekend wat een anticiperende beheerstrategie oplevert in termen van grondwaterbeschikbaarheid en hogere doelrealisatie van verschillende gebruiksfuncties. Aanbevolen wordt te onderzoeken tot op welke hoogte met slim dynamisch grondwaterbeheer (o.a. stuurknoppen onttrekkingen en peilbeheer) temporele variaties in droge en natte jaren kunnen worden opgevangen. Als de meerwaarde van anticiperend grondwaterbeheer is aangetoond, liggen de volgende twee vervolgstappen voor de hand:
 - Uitwerken naar gezamenlijke (operationele) redeneerlijn waarmee de stakeholders expliciet afspreken op welke wijze de grondwatervoorraad wordt beheerd, wanneer (en wanneer niet) bepaalde maatregelen worden ingezet, gericht op een duurzaam en optimaal beheer van de voorraad. Waarbij maatregelen bijvoorbeeld eerder worden ingezet na twee droge zomers met matige aanvulling van het grondwater in de winter, terwijl het enigszins interen op de buffer einde zomer geen probleem is. De uitdaging is om deze besluitvorming te rationaliseren, ervoor te zorgen dat deze op basis van meetbare, operationele criteria wordt genomen en dat er breed draagvlak is voor de gezamenlijke redeneerlijn. Deze redeneerlijn kan vervolgens regelmatig worden bijgesteld op basis van voortschrijdend inzicht.
 - Het komen tot een optimaal, integraal maatregelenpakket waarvan zowel de inrichtingsmaatregelen als de meer beheersmatige maatregelen ('anticiperend grondwaterbeheer') onderdeel zijn. Deze kunnen eventueel worden uitgewerkt in een beperkt aantal mogelijke handelingsstrategieën voor bijv. droogte, die vervolgens bestuurlijk worden voorgelegd. Bijvoorbeeld in sommige jaren de grondwateraanvulling in de winter vergroten door extern water aan te voeren, niet als generieke maatregel, maar gericht tijdens de extremere, langdurigere droogtes.

- In het onderzoek is het effect van de bouwstenen bepaald door langjarige situaties door te rekenen. Resultaten geven daarmee inzicht in het gemiddelde langjarige effect, maar juist de (extreem) droge zomers (of meerdere opeenvolgende droge zomers) hebben op het systeem en de functies. Geadviseerd wordt door middel van een stresstest-achtige benadering te onderzoeken wanneer onomkeerbare/ significante schade optreedt, welk type maatregelen onder deze omstandigheden nog wel soelaas kunnen bieden (combinatie van inrichtingsmaatregelen en anticiperend beheer), waarbij tevens aandacht moet zijn voor het mogelijke handelingsperspectief naar een volgende droogte.

1 Inleiding

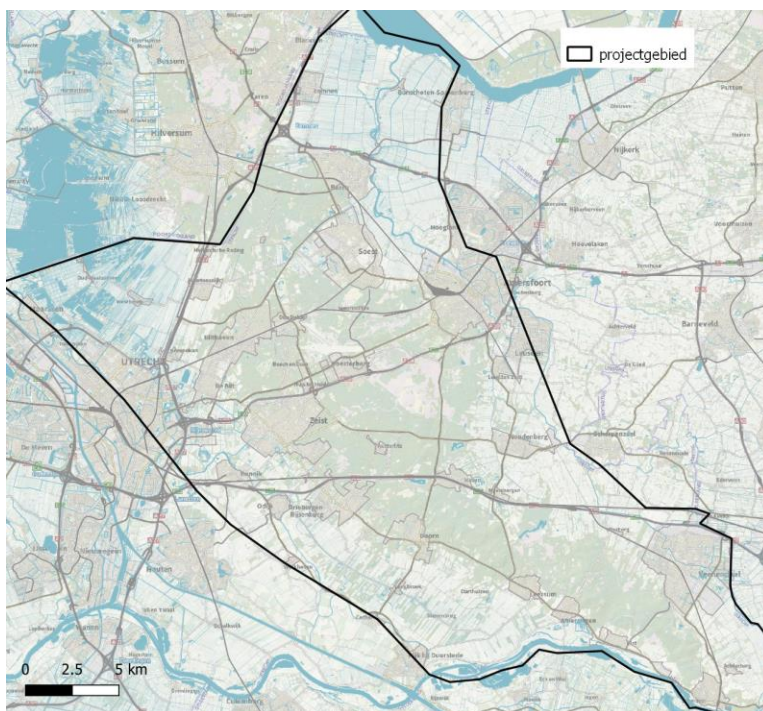
1.1 Aanleiding

Het belang van een gezond en veerkrachtig watersysteem op de Utrechtse Heuvelrug is groot. Het geïnfiltreerde regenwater op de Heuvelrug komt in de lagergelegen flanken weer als kwel naar boven en dient vele functies. Het water is van essentieel belang voor de natuur, levert jaarlijkse miljarden liters drinkwater van de hoogste kwaliteit en speelt een belangrijke rol voor de landbouw op de Heuvelrugflanken (Ref. 1).

Als gevolg van klimaatverandering en de toenemende druk op het ruimtegebruik (zoals een toename van de watervraag en versnippering van functies) is dit echter niet langer vanzelfsprekend. De gebiedspartners van de Heuvelrug werken daarom samen aan een robuust en toekomstbestendig watersysteem, waarin alle waterfuncties een duurzame plek vinden. Op initiatief van Nationaal Park Utrechtse Heuvelrug (NPUH) is door de gebiedspartijen (waterschappen Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Vallei en Veluwe, Vitens, terreinbeheerders, gemeenten en de Provincie Utrecht) een Blauwe Agenda ontwikkeld. Een gebiedsinitiatief om dit robuuste en toekomstbestendige watersysteem gezamenlijk te versterken met de volgende doelen (Ref. 1):

- Water langer vasthouden;
- Meer water infiltreren;
- Schoner water;
- Integrale wateroplossingen.

In Figuur 3 is de ligging van het projectgebied gegeven. De begrenzing van het projectgebied van de Blauwe Agenda is gebaseerd op de begrenzing van het samenhangende grondwatersysteem en omvat naast het infiltratiegebied op de hoge delen ook de flanken en de lage gebieden aan de voet van de Utrechtse Heuvelrug waar de invloed van de kwel nog merkbaar is. De inhoudelijke onderbouwing hiervan vormen stroombaanberekeningen die eerder met een grondwatermodel zijn gemaakt. De begrenzing richt zich op dat deel van de Heuvelrug dat binnen de provincie Utrecht valt. Op enkele plekken in het noorden van het gebied wordt de begrenzing daarom gevormd door de provinciegrens. Voor de begrenzing van het grondwatermodel zijn ruimere grenzen gehanteerd, die gebaseerd zijn op geohydrologische systeemgrenzen.



Figuur 3. Ligging van het projectgebied van de Blauwe agenda.

In het samenwerkingsverband wordt een lange termijnvisie opgesteld, wordt een watersysteemonderzoek uitgevoerd en wordt ingezet op het vergroten van de bewustwording. Voorliggende studie is onderdeel van dit proces en heeft de effectiviteit en impact van mogelijke maatregelen voor een robuust watersysteem op de Utrechtse Heuvelrug onderzocht.



Figuur 4 De Utrechtse Heuvelrug in het voorjaar van 2021.

1.2 Doel

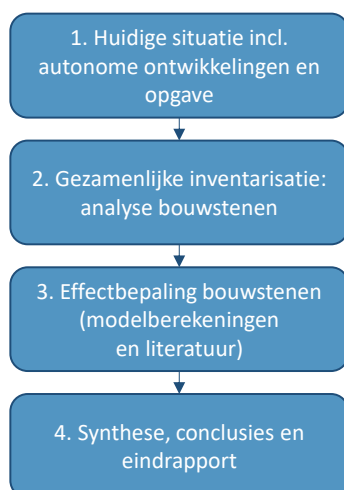
Het doel van de voorliggende studie is inzicht te krijgen in potentiële maatregelen (gebundeld in bouwstenen) die bijdragen aan het robuust maken van het watersysteem van de Utrechtse Heuvelrug. De bouwstenen dienen als input voor de visie voor het watersysteem op de Utrechtse Heuvelrug.

Een robuust en toekomstbestendig watersysteem moet alle huidige functies ook in de toekomst van voldoende water kunnen voorzien (inclusief effecten klimaatverandering). Dit kan echter wel betekenen dat functies zich soms moeten aanpassen of verplaatsen (adaptatie).

1.3 Werkwijze

Om tot potentiële bouwstenen voor het robuust maken van het watersysteem van de Utrechtse Heuvelrug te komen, zijn verschillende stappen doorlopen (Figuur 5). Voor de effectbepaling van de bouwstenen zijn reeds aanwezige kennis, literatuuronderzoek en modelanalyses toegepast. Voor de modelanalyses is gebruik gemaakt van het AZURE grondwatermodel (V1.0.3, Ref. 28) dat in de beginfase van het project is geactualiseerd zodat ook de recente droogtejaren van 2018, 2019 en 2020 door het model naar behoren kunnen worden gesimuleerd.

Met behulp van het AZURE model is allereerst de huidige situatie, inclusief autonome ontwikkelingen (2050 situatie), in beeld gebracht als referentiesituatie. Daarna zijn van de referentie situatie de knelpunten en belangrijkste aandachtspunten geïnventariseerd. Op basis van de bevindingen zijn de bouwstenen definitief gemaakt, waarna met het Azure model de effecten van de bouwstenen op het grondwatersysteem en afgeleide functies zijn bepaald. Om de effecten op de natuur en landbouw af te leiden, is gebruik gemaakt van de WaterWijzerNatuur (WWN) en de WaterWijzerLandbouw (WWL). Dit zijn postprocessingstools (Ref. 10, Ref. 41) die met behulp van grondwaterstanden, kwel- en infiltratiefluxen en bodemgegevens de geschiktheid van de lokale situatie voor de gewenste natuur en landbouw berekenen.



Figuur 5. Stappenplan om te bepalen welke bouwstenen leiden tot een robuuster watersysteem van de Utrechtse Heuvelrug.

Op basis van de resultaten zijn tot slot in voorliggend rapport de belangrijkste bevindingen en conclusies samengevat, is een overzicht gegeven van de resterende onderzoeksvragen en zijn adviezen gegeven omtrent het verdere traject van de Blauwe Agenda.

In aanvulling op dit rapport zijn 2 separate bijlagen opgeleverd:

- 1 de bevindingen van de bouwstenen zijn vastgelegd in heldere factsheets.
- 2 de resultaten van de modelanalyse zijn verwerkt in een set uniforme effectkaarten.

1.4 Achtergrond en toepasbaarheid AZURE grondwatermodel en tools

Voor deze analyse is gebruik gemaakt van modeluitkomsten van het grondwatermodel Azure, en de postprocessingtools Water Wijzer Landbouw (WWL) en Water Wijzer Natuur (WWN).

Azure grondwatermodel

Het Azure grondwatermodel V1.0.3 is opgezet door een breed consortium van projectpartners en gebiedsspecialisten. Op dit moment is dit model het meest actuele model voorhanden om regionale analyses voor het projectgebied mee uit te voeren. Bijlage A geeft een toelichting op de aanpassingen, de modeldiscretisatie de betrouwbaarheid en het toepasingsbereik van het model.

Het Azuremodel is na een update (verlenging tot 2019) gevalideerd voor de periode 2012 t/m 2019 aan de hand van een validatieset bestaande uit 401 grondwaterstand- en stijghoogtemetingen. Uit de validatie blijkt dat bij het model een bandbreedte van 29 cm (± 27 cm) (gemiddelde absolute afwijking met standaard deviatie) in acht dient te worden genomen. Op basis hiervan is door de specialisten, betrokken vanuit de Blauwe Agenda, geconcludeerd dat het grondwatermodel Azure geschikt is voor deze studie, waarbij de huidige situatie, autonome ontwikkelingen en het effect van bouwstenen op regionale schaal in kaart kunnen worden gebracht en getoetst.

Tijdens de studie zijn 2 aandachtspunten met betrekking tot de toepasbaarheid van het model voor deze studie geconstateerd:

- Op het plateau van de Heuvelrug ligt de grondwaterstand diep onder het maaiveld. Lokaal kunnen schijngrondwaterspiegels voorkomen door de aanwezigheid van lokale kleilenzen. Dit bodemdetail is niet opgenomen in het model. Effecten van bouwstenen op dit ondiepe “grond”watersysteem kunnen daarom niet berekend worden met het model.
- In het model is uitgegaan van vaste winter- en zomerpeilen voor het oppervlaktewater. Deze peilen zijn randvoorwaarden en blijven in alle situaties gehandhaafd. Dynamische beekafvoeren of vraagstukken met betrekking tot doorspoeling (berekening uit oppervlaktewater) kunnen daarom niet met het model berekend worden.

WaterWijzerNatuur

De Waterwijzer Natuur (v 2.30) gaat uit van grondwaterinformatie om de geschiktheid voor natuur te berekenen. Op de hogere delen van de Utrechtse Heuvelrug is de

grondwaterstand diep gelegen en daardoor buiten het bereik van de natuur. Dit maakt dat dit instrument voor de toetsing van natuur op deze locaties niet goed geschikt is. Voor droge, grondwateronafhankelijke, natuur zal het instrument aangeven dat er geen knelpunt is (ook niet als droge zomers langer duren waardoor het bodemvocht bij bv. een boomwortel opdraakt en er in werkelijkheid wel degelijk schade optreedt aan de boom). Voor natte natuur, op de hogere delen van de Heuvelrug, zal het instrument aangeven dat de grondwaterstand te diep is, terwijl de natuur in werkelijkheid afhankelijk is van ondiep hangwater.

Op de lagere delen van de flanken en aan de voet van de Utrechtse Heuvelrug is de natuur wel grondwaterafhankelijk en is de Waterwijzer Natuur een geschikt instrument voor het evalueren van natuurcondities. In overleg met de projectgroep is een methode uitgewerkt om dit instrument succesvol voor deze studie in te zetten, zie bijlage C.

Instrument Waterwijzer landbouw (WWL)

De Waterwijzer Landbouw (4.0.1) gaat uit van grondwaterinformatie en het landgebruik om de geschiktheid voor landbouw te berekenen. Uit de toetsingsresultaten van de WWL (Ref. 11) blijkt dat het WWL-instrumentarium goede resultaten geeft voor zandgronden (in tegenstelling tot de eerdere versie 1.1.0), echter het instrument overschat de droogtestress bij (zware) kleigronden onder natte omstandigheden en is hiervoor minder goed bruikbaar. Dit betekent dat het aannemelijk is dat instrument de droogteschade ten zuiden van de Heuvelrug op de komkleigronden overschat. Hiermee dient rekening gehouden te worden bij de interpretatie van de resultaten.

1.5 Samenwerking

Gedurende het project is nauw samengewerkt met de specialisten- en kerngroep, bestaande uit vertegenwoordigers van de partijen die bij de Blauwe Agenda van de Utrechtse Heuvelrug zijn betrokken. Inhoudelijke resultaten zijn aan de specialisten voorgelegd en bediscussieerd, alvorens deze aan de kerngroep zijn gepresenteerd. Technische uitgangspunten en detailanalyses van de resultaten zijn in overleg vastgelegd. Relevante inhoudelijke keuzes zijn met de specialisten bediscussieerd en vervolgens voor akkoord aan de kerngroep voorgelegd. Zo is met de specialistengroep de definitieve set aan bouwstenen afgestemd, waarna deze voor akkoord aan de kerngroep is voorgelegd.

Op deze manier is een evenwichtige set aan bouwstenen verkregen waaraan alle betrokkenen hun input hebben geleverd. Tevens zijn gezamenlijk de belangrijkste kennisvragen geïdentificeerd.

1.6 Leeswijzer

De werking van het grond- en oppervlaktewatersysteem van de Utrechtse Heuvelrug is in hoofdstuk 2 beschreven, inclusief de effecten van de verwachte klimatologische ontwikkelingen. Vervolgens zijn in hoofdstuk 3 de belangrijkste knelpunten beschreven. In hoofdstuk 4 is een omschrijving gegeven van de bouwstenen en zijn de belangrijkste effecten

van de bouwstenen samengevat. In hoofdstuk 5 zijn de belangrijkste bevindingen en vervolgvragen in een synthese samengevat, waarna in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek zijn gegeven.

In aanvulling op dit rapport zijn 2 separate bijlagen opgeleverd:

- 1 de bevindingen van de bouwstenen zijn vastgelegd in heldere factsheets
- 2 de resultaten van de modelanalyse zijn verwerkt in een set uniforme effectkaarten.

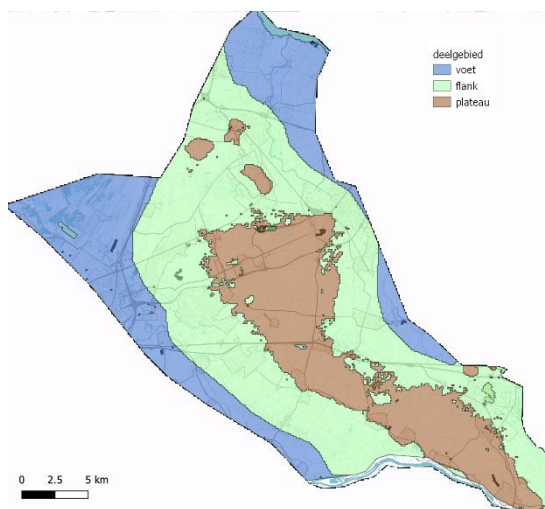
2 Systeembeschrijving

2.1 Inleiding

Om tot effectieve bouwstenen te komen is in dit hoofdstuk het hydrologische systeem beschreven. Dit is gedaan aan de hand van metingen, literatuur en modelresultaten van het Azure model (zie voor meer uitleg over het grondwatermodel bijlage A).

De begrenzing van het projectgebied van de Blauwe Agenda (Figuur 6), is gebaseerd op de begrenzing van het samenhangende grondwatersysteem en omvat naast het infiltratiegebied op de hoge delen ook de flanken en de lage gebieden aan de voet van de Utrechtse Heuvelrug waar de invloed van de kwel nog merkbaar is (par. 1.1). Het projectgebied is voor deze studie ingedeeld in drie zones, zie Figuur 6, met hun eigen hydrologisch kenmerken:

- Het plateau van de Heuvelrug: het hoger gelegen deel dat tevens de gestuwde zone omvat, het gebied dat hoger ligt dan +8 mNAP;
- De voet van de Heuvelrug, het lager gelegen gebied rondom de Heuvelrug;
- De flank van de Heuvelrug: het gebied tussen het plateau en de voet, waar kwelwater uittreedt.

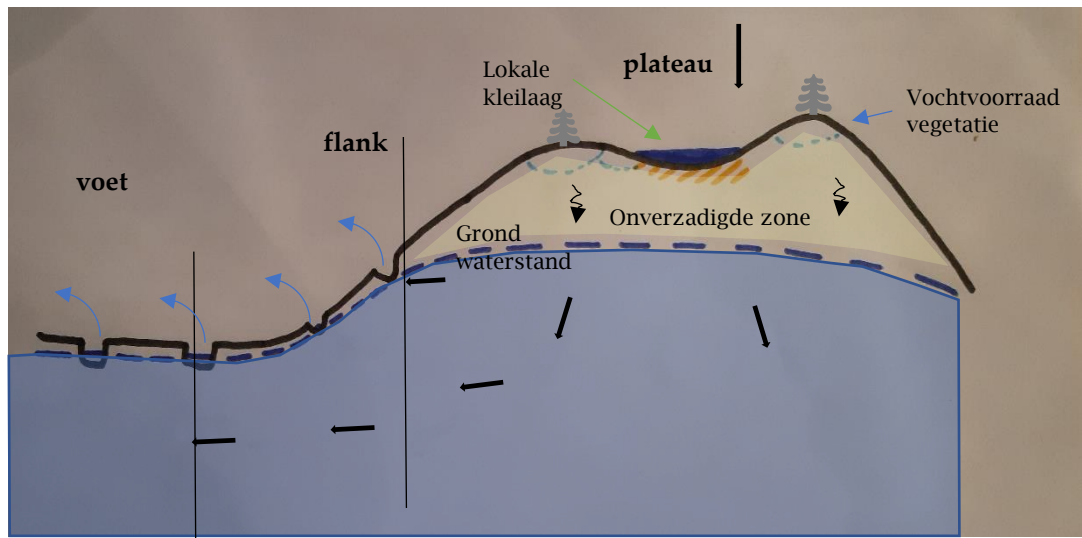


Figuur 6 Projectgebied met daarbij weergave van de indeling van de Heuvelrug in de 3 zones: voet, flank en plateau.

2.2 Hydrologie

Figuur 7 geeft een schematische weergave weer van de hydrologische omstandigheden aan de voet, op de flank en op het plateau van de Heuvelrug. Neerslag op de Utrechtse heuvelrug stroomt door de ondergrond (bestaande uit voornamelijk zandlagen), naar het omliggende, lager gelegen, gebied. Daar waar het maaiveld op ongeveer dezelfde hoogte

ligt als de grondwaterstand, treedt grondwater uit en zijn beken ontstaan of sprengen aangelegd.

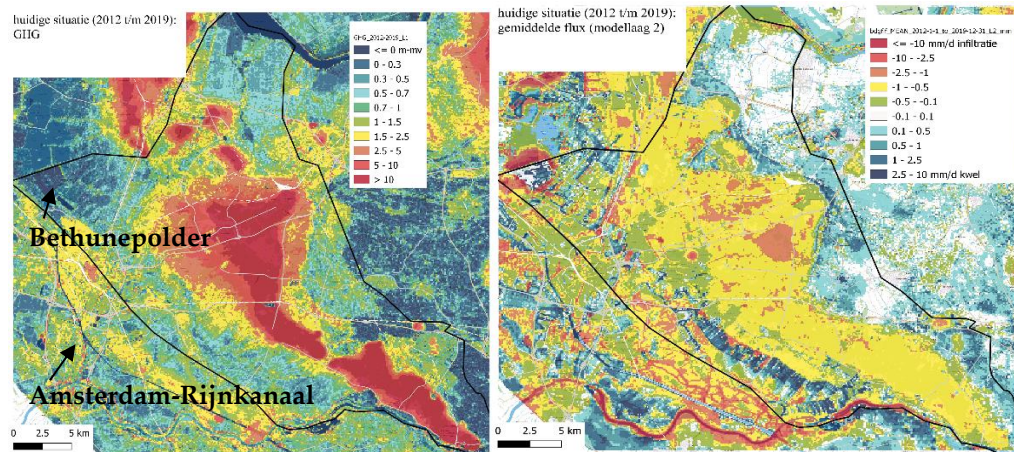


Figuur 7 Schematische weergave van de hydrologie van de Heuvelrug in de 3 zones: voet, flank en plateau.

2.2.1 Plateau

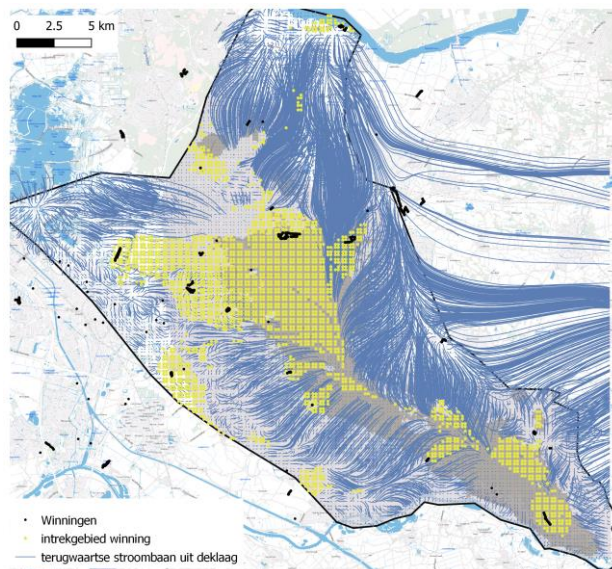
Het plateau kenmerkt zich door diepe grondwaterstanden, waardoor de onverzadigde zone dik is en er weinig oppervlaktewater aanwezig is. De grondwaterstand bedraagt op het plateau circa +5 mNAP (aan de noordwestkant van de Heuvelrug) tot +7.5 mNAP (aan de zuidoostkant van de Heuvelrug). Aangezien het maaiveld op het plateau meestal (veel) hoger (tot +65 mNAP) ligt, is de grondwaterstand diep gelegen: 3 tot 60 m onder het maaiveld, zie Figuur 8. De vegetatie onttrekt het vocht voor evapotranspiratie dus niet aan het grondwatersysteem, maar uit de onverzadigde zone. Lokaal kunnen schijngrondwater-spiegels voorkomen, door de aanwezigheid van lokale kleilagen, waardoor plaatselijk natte natuur en/of vennetjes kunnen voorkomen.

Vanwege het diep gelegen grondwater zijn er vrijwel geen watergangen of oppervlaktewater op het plateau van de Heuvelrug aanwezig. De netto neerslag komt daarom, buiten de bebouwde gebieden, bijna in zijn geheel ten goede aan aanvulling van het grondwatersysteem. Dit gaat echter traag. De reactietijd van het grondwatersysteem bedraagt ongeveer een maand per 3 tot 10 meter onverzadigde zone (Ref. 24). Hierdoor geven grondwaterstandmetingen op het plateau niet de gebruikelijke jaardynamiek weer (hoog in winter, laag in zomer), maar juist langjarige trends. Een aantal natte jaren achter elkaar zorgen voor een verhoging van de grondwaterstand en vice versa.



Figuur 8. gemiddelde grondwaterstand m-mv (linker figuur) en kwel- infiltratiestroming (rechter figuur).

Op het plateau en op de flanken van de Heuvelrug wordt grondwater onttrokken t.b.v. drinkwaterwinning en andere doeleinden. De neerslag, die infiltreert rondom de winvelden, stroomt deels door de bodem naar de putten van deze winvelden. De onttrekkingen zijn met name gelegen in het noordelijke deel van de Heuvelrug, waardoor de intrekgebieden van de winningen hier een groter deel van de Heuvelrug beslaan, zie de gele zones in Figuur 9. De overige neerslag stroomt door de bodem naar de omgeving van de Heuvelrug en kwelt uiteindelijk op in de lage delen op de flank en de voet, zie Figuur 8. Het water van de Heuvelrug verspreidt zich door het watervoerende pakket tot verder dan het projectgebied, zo wordt ook een deel afgevangen door de laaggelegen Bethunepolder (ten noorden van het projectgebied, waar ook water gewonnen wordt) en door het Amsterdam Rijnkanaal ten westen van de Heuvelrug.

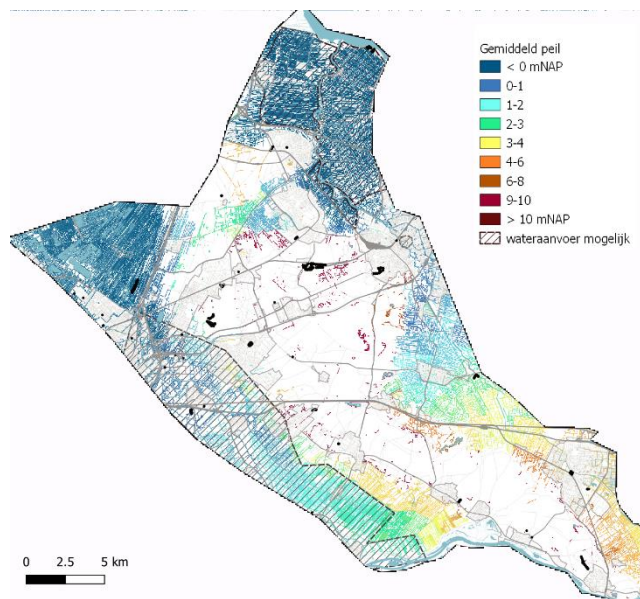


Figuur 9. Stromingsrichting van het freatische grondwater: in blauw stroombanen, die de stromingsrichting van het plateau naar de flank en voet weergeven en in geel de locaties van waar het grondwater vanaf de deklaag richting een winveld stroomt (intrekgebied van de winningen). Zwarte puntjes geven de winlocaties weer. Meer achtergrondinformatie over de stroombaanberekeningen is opgenomen in bijlage B.

2.2.2 Flank

Voor de flanken van de Heuvelrug zijn in deze studie de lagere gedeelten van de Heuvelrug aangehouden, waar de grondwaterstand minder diep onder het maaiveld ligt (0 tot 5

meter onder het maaiveld). In deze zone is oppervlaktewater aanwezig: hoog op de flank ontspringen beken en waterlopen, en lager op de flank is een intensief oppervlaktewaterstelsel aanwezig (zie Figuur 10). In het bovenste gedeelte van de flanken is de bodemhoogte van het oppervlaktewater maatgevend voor het drainageniveau. Indien de grondwaterstand hoger is dan de bodemhoogte zal water worden afgevoerd. Afhankelijk van het jaar (en langere droge of natte perioden) zal het uittredepunt hoger of lager liggen waardoor het oppervlaktewaterstelsel niet altijd overal altijd watervoerend is. Dit is ook de zone waar grondwaterafhankelijke vegetaties voorkomen. Onderaan de flanken is aan de westkant van de Heuvelrug wateraanvoer door het Waterschap mogelijk en gelden normaalgesproken een winter- en zomerpeil.



Figuur 10. Overzicht waterlopen met het peil zoals beschikbaar in het UGM (provincie Utrecht/ tool Artesia) met aangegeven of wateraanvoer gegarandeerd is.

De grondwaterstand ligt in het buitengebied tussen 2 en 0.5 m onder het maaiveld en in de stedelijke gebieden tussen 1.5 en 2.5 m onder het maaiveld. De diepte van de grondwaterstand is sterk afhankelijk van de lokale maaiveldhoogte en het drainageniveau van het oppervlaktewater- of drainagesysteem.

2.2.3 Voet

De voet van de Heuvelrug ligt rondom de Heuvelrug en is laaggelegen, het maaiveld varieert van 0 tot +3 mNAP. In het gebied is een gedetailleerd slotensysteem aanwezig, zie Figuur 10. Ten zuidwesten van de Heuvelrug (in het beheersgebied van Waterschap De Stichtse Rijnlanden) is wateraanvoer mogelijk en zijn peilen door het Waterschap vastgelegd. Aan de oostkant (in het beheersgebied van Waterschap Vallei en Veluwe) is aan de noordkant (nabij het Eemmeer) wateraanvoer mogelijk en in de Gelderse vallei langs de A-watergangen. In het overige gedeelte kan niet (atijd) water worden aangevoerd en zullen de oppervlaktewaterpeilen zakken bij langere droogte.

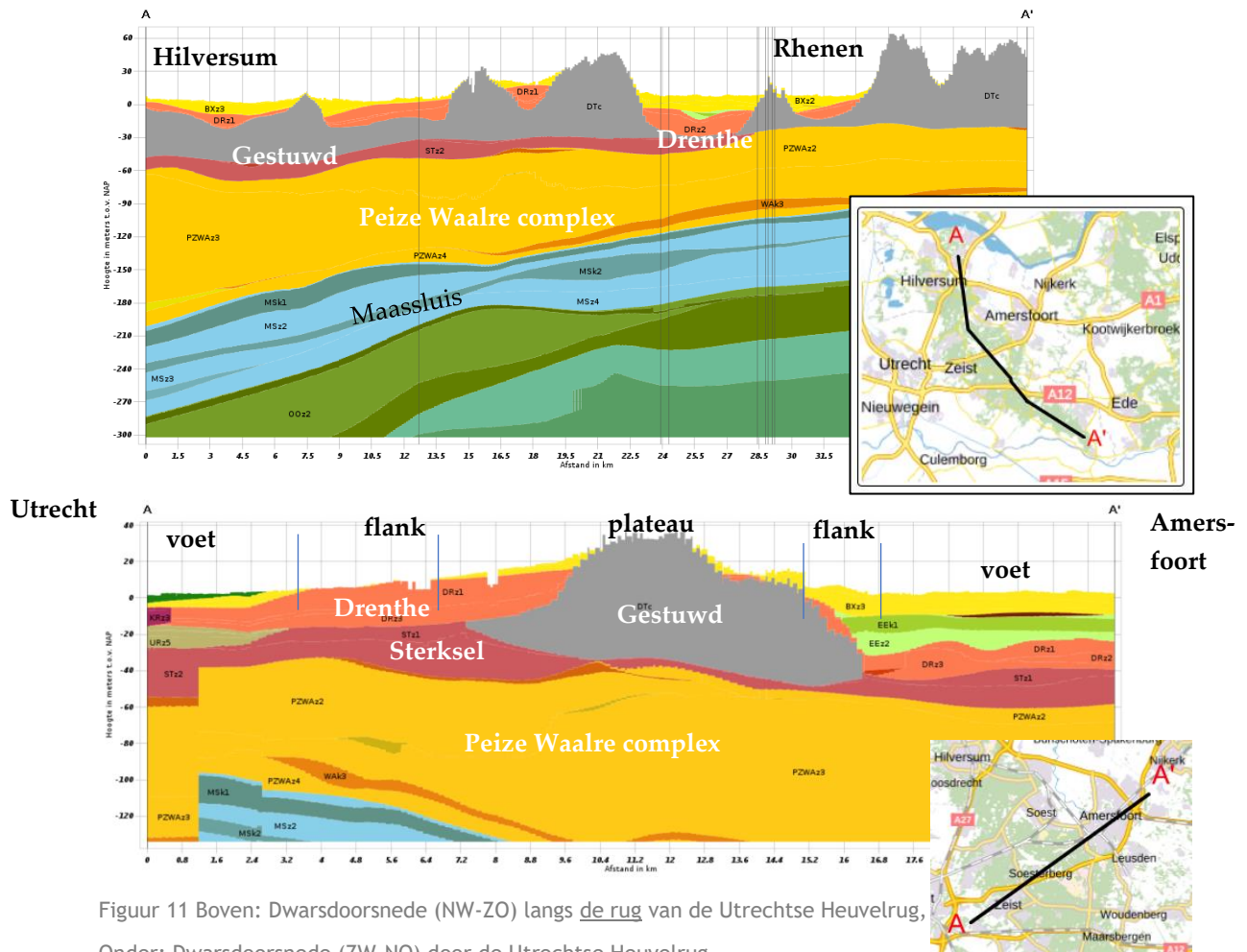
De grondwaterstand wordt sterk beïnvloed door het opgelegde peil en heeft een jaardynamiek (hoog in winter, laag in zomer). Afhankelijk van de lokale variatie in de maaiveldhoogte en het opgelegde polderpeil heerst er lokaal een infiltratie- of kwelsituatie. De lage delen aan de voet zijn van nature de kwelgebieden, zoals de Maarsseveense plassen. Op de meeste locaties is een (dunne) deklaag aanwezig bestaande uit klei en veen.

2.3 Bodemopbouw

Figuur 11 geeft twee dwarsdoorsneden weer van de bodemopbouw op basis van het REGIS II V2.2 uit het Dinoloket. Ter plaatse van de Heuvelrug bestaat de ondergrond met name uit zandige afzettingen tot aan de hydrologische basis (Formatie van Maassluis). De neerslag kan hierdoor op het plateau en de flanken goed infiltreren en zich verspreiden tot grotere diepte. De formatie van Maassluis ligt in het noordwesten (bij Hilversum) ongeveer op een diepte van -180 mNAP en in het zuidoosten (bij Rhenen) op een diepte van -100 mNAP.

Het zandpakket, boven de formatie van Maassluis, bestaat ter plaatse van de Utrechtse Heuvelrug uit een eerste en tweede watervoerende pakket, zonder een goed ontwikkelde scheidende tussenlaag. Het tweede watervoerende pakket wordt gevormd door het Peize Waalre complex en ligt boven de formatie van Maassluis, tot een diepte van ongeveer -50 mNAP. Het zandpakket bestaat uit matig tot uiterst grove zanden.

Het eerste watervoerende pakket ligt op een diepte van -50 mNAP tot aan maaiveld. Het bevat de geologische lagen Sterksel, gestuwde afzettingen, de Formatie van Drenthe en Boxtel. De gestuwde afzettingen zorgen voor het reliëf van de Utrechtse Heuvelrug. Deze zijn gevormd in het Saalien, tijdens de Drenthe glaciatie, zo'n 150.000 jaar geleden (Ref. 13). Het ijs bereikte in deze tijd haar maximale omvang. De gestuwde afzettingen zijn hoger naar het zuiden toe en bereiken daar een hoogte van circa + 60 mNAP. De glaciële dalen zijn daarna opgevuld door smeltwaterafzettingen (groeve zandlagen van de Drenthe formatie), welke weer zijn afgesloten door dekzandlagen (Boxtel). Het eerste watervoerende pakket is doorgaans niet afgesloten door een kleilaag.



Figuur 11 Boven: Dwarsdoorsnede (NW-ZO) langs de rug van de Utrechtse Heuvelrug,

Onder: Dwarsdoorsnede (ZW-NO) door de Utrechtse Heuvelrug

De stuwwal Utrechtse Heuvelrug is gevormd door opstuwing van de ondergrond door een ijstong aan de oostkant van de stuwwal. Door het ijs worden de zandlagen over elkaar heen geschoven als schubben. Tussen de schubben wordt de grond versmeerd, waardoor lokaal een dunne scheidende laag kan ontstaan, vaak kleiig. De stroming van het water gaat hierdoor makkelijker via de scheefgestelde geschubde lagen (Noord-zuid richting) in plaats van horizontaal (oost-west richting). Dit wordt in de hydrologie geduid als anisotropie. Door de stuwing vanuit het oosten is de stuwwal aan de oostkant (bij Amersfoort) steiler dan aan de westkant (richting Utrecht). Dit is nog steeds terug te zien in het landschap.

2.4 Waterbalans

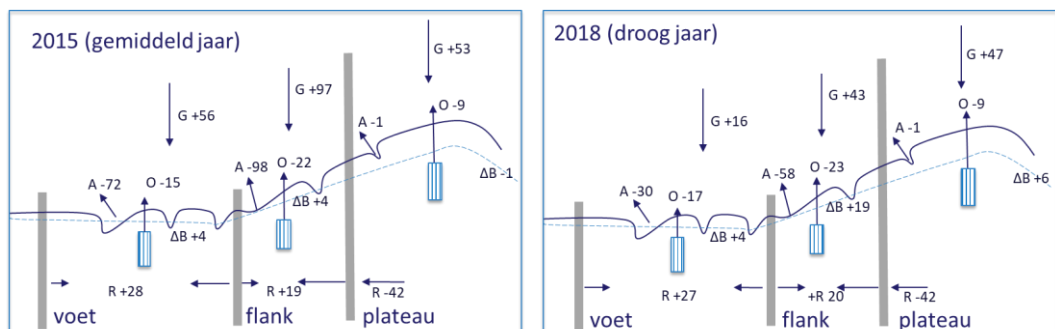
De waterbalans van de Utrechtse Heuvelrug geeft op globale schaal inzicht in de verdeling van het water op de Utrechtse Heuvelrug. Aan de hand van de modelgegevens is voor twee jaren (een gemiddeld jaar 2015, en een droog jaar 2018) een waterbalans opgesteld voor het projectgebied. De volgende brondata ligt aan het model ten grondslag:

- Netto neerslag: uitvoer van Metaswap op dagbasis (neerslag en verdamping op basis van KNMI basisstations geaggregeerd middels point kriging op dagbasis (Ref. 22), landgebruik (LGN), bodemdata en verharding;

- Onttrekkingen: broninformatie voor de desbetreffende jaren is aangeleverd door Provincie en Waterschap en verwerkt in het model op jaarbasis.

Figuur 12 geeft middels een tabel de waterbalans voor het totale projectgebied weer en in de afbeeldingen zijn de waterbalansen per deelgebied (plateau, flank (oost- en westkant tezamen) en voet (oost- en westkant tezamen) weergegeven. Zie voor de deelgebieden Figuur 6. In Bijlage B zijn de waterbalansposten per deelgebied opgenomen in millimeter per maand.

Op het plateau van de Utrechtse Heuvelrug komen vrijwel geen watergangen voor. Er vindt daardoor nagenoeg geen uitwisseling tussen oppervlaktewater en grondwater plaats. Ongeveer 20 procent van de grondwateraanvulling op het plateau (jaar 2015: $G +53 \text{ Mm}^3/\text{j}$, zie Figuur 12) wordt weer onttrokken door onttrekkingen op het plateau (2015 $O -9 \text{ Mm}^3/\text{j}$), met name voor drinkwater. Het overige deel van de grondwateraanvulling (2015 $R -42 \text{ Mm}^3/\text{j}$) stroomt grotendeels af via het eerste en tweede watervoerende pakket naar het omliggende gebied. De mate van afstroming naar de omgeving wordt bepaald door de grondwaterstand op de Heuvelrug en de opgelegde peilen in de lagere delen. In het droge jaar (2018 $R -42 \text{ Mm}^3/\text{j}$) is de afstroming daarom ongeveer gelijk aan het jaar 2015, ondanks dat de grondwateraanvulling kleiner is. Dit water wordt onttrokken aan de berging (2018 $\Delta B +6 \text{ Mm}^3/\text{j}$), waardoor de grondwaterstand daalt in dat jaar.



Waterbalansposten	Jaar 2015 (gemiddeld jaar) totale projectgebied	Jaar 2018 (droog jaar) totale projectgebied
G: Grondwateraanvulling (uitvoer van Metaswap)	+206 Mm^3/j of +320 mm/jr	+106 Mm^3/j of +166 mm/jr
O: Onttrekking (modflow gebaseerd op brondata)	-46 Mm^3/j of -72 mm/jr (22% van grondwateraanvulling)	-49 Mm^3/j of -77 mm/jr (45% van grondwateraanvulling)
A: Netto afvoer door oppervlaktewater (berekend door modflow)	-171 Mm^3/j of -265 mm/jr (83% van grondwateraanvulling)	-89 Mm^3/j of -138 mm/jr (84% van grondwateraanvulling)
ΔB : Bergingsverandering (berekend door modflow)	+7 Mm^3/j of +11 mm/jr	+29 Mm^3/j of +45 mm/jr
R: Netto flux over rand van gebied (berekend door modflow)	+5 Mm^3/j of +8 mm/jr	+5 Mm^3/j of +8 mm/jr
Restpost	-1 Mm^3/j of -2 mm/jr	-2 Mm^3/j of -4 mm/jr

Figuur 12. Waterbalans voor het jaar 2015 (gemiddeld jaar), links en het jaar 2018 (droog jaar), rechts. G 'grondwateraanvulling' (+), O 'onttrekking' (-), R 'aan- en afvoer over rand gebied door watervoerend pakket' (- of +), A 'netto afvoer via oppervlaktewater' (-), ΔB 'verschil in berging' (+de berging neemt af → afname grondwaterstand, - de berging neemt toe → toename grondwaterstand).

Op de flank en aan de voet van de Heuvelrug treedt het grootste deel van de grondwateraanvulling uit. Deze flux is sterk afhankelijk van de ontwateringsbasis (opgelegde peilen, bodemhoogtes en eventuele drainagesystemen) in combinatie met de grondwaterstand. Zo is de afvoer tijdens een droog jaar geringer door de lagere grondwaterstand (A -89 Mm³/j in het jaar 2018 in plaats van A -171 Mm³/j in 2015).

De onttrekkingshoeveelheid is ieder jaar ongeveer hetzelfde volgens de brondata. In het droge jaar 2018 wordt net iets meer water onttrokken (O -48 Mm³/j in het jaar 2018 in plaats van O -46 Mm³/j in 2015). Op de Utrechtse Heuvelrug en de flanken bedragen de onttrekking tezamen ongeveer 31 Mm³/jr (jaar 2015). Dit wordt onttrokken door de volgende gebruikers:

- 29 Mm³/j - drinkwaterwinning;
- 1.7 Mm³/j - industrie;
- 0.5 Mm³/j - overige onttrekkingen (gemeld- vergund bij Waterschappen, behalve de beregelingen).

Uit het verschil in de waterbalans over 2015 en 2018 blijkt dat in een droog jaar, op het plateau van de Heuvelrug water aan de berging wordt onttrokken. Hierdoor daalt de grondwaterstand. Dat in droge jaren de grondwaterstand lager wordt is ook zichtbaar in grondwaterstandmeetreeksen (paragraaf 2.5.1).

Berekening vanuit het grondwater is in het model toegestaan op percelen rondom locaties waar vanuit registraties blijkt dat berekening plaatsvindt (bron: Azure basisgrids 1.0.3 en aangeleverde informatie HDSR, mrt 2021). De verwachting is dat dit gecombineerde overzicht een onderschatting geeft van het aantal locaties. Het model berekent nu ongeveer 1 Mm³/jaar onttrekking grondwater ten behoeve van beregening in beide jaren.

2.5 Historische en toekomstige grondwaterstand

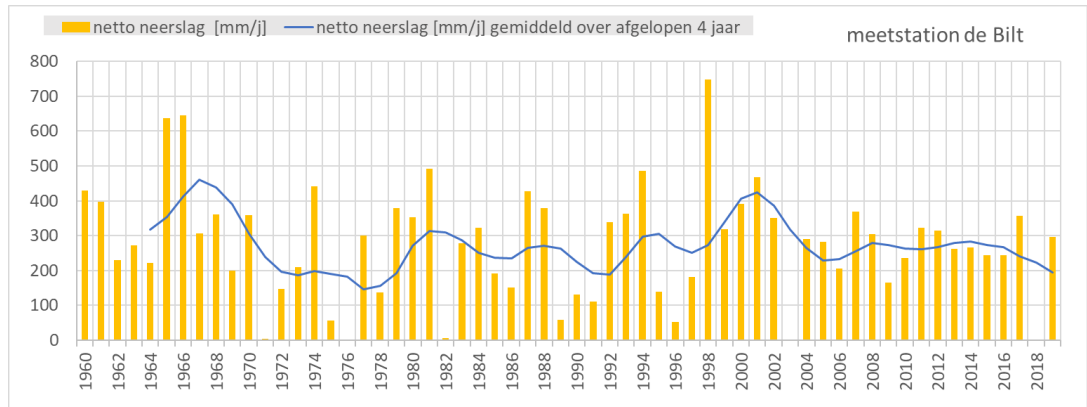
Uit de waterbalansanalyse blijkt dat de grondwaterbalans per jaar sterk afhankelijk is van de netto neerslag in dat jaar. Het weer varieert echter in de tijd. Daarnaast hebben in de loop van de afgelopen decennia veranderingen plaatsgevonden, die van invloed zijn op het grondwatersysteem. Daarom is middels een terugblik (30 historische meetreeksen) en vooruitblik (modeloutput o.b.v. klimaatscenario jaar 2050) bepaald wat het gevolg hiervan is op het watersysteem van de Heuvelrug.

2.5.1 Historische grondwaterreeksen (1960-heden)

De grondwaterstand wordt beïnvloed door het klimaat (neerslag en verdamping) en ingrepen die impact hebben op het grondwatersysteem bij een desbetreffend meetpunt. Om trends in meetreeksen te bepalen en te kunnen koppelen aan bepaalde ingrepen is trendanalyse nodig, waarbij kennis van alle ingrepen noodzakelijk is. Een dergelijke analyse valt buiten de scope van dit project.

De neerslag en verdamping is niet ieder jaar gelijk. In het verleden hebben bv. langere natte en drogere perioden elkaar afgewisseld. De netto grondwateraanvulling (neerslag

minus potentiële verdamping (Makkink)) bij het KNMI meetstation de Bilt wordt weergegeven in Figuur 13.



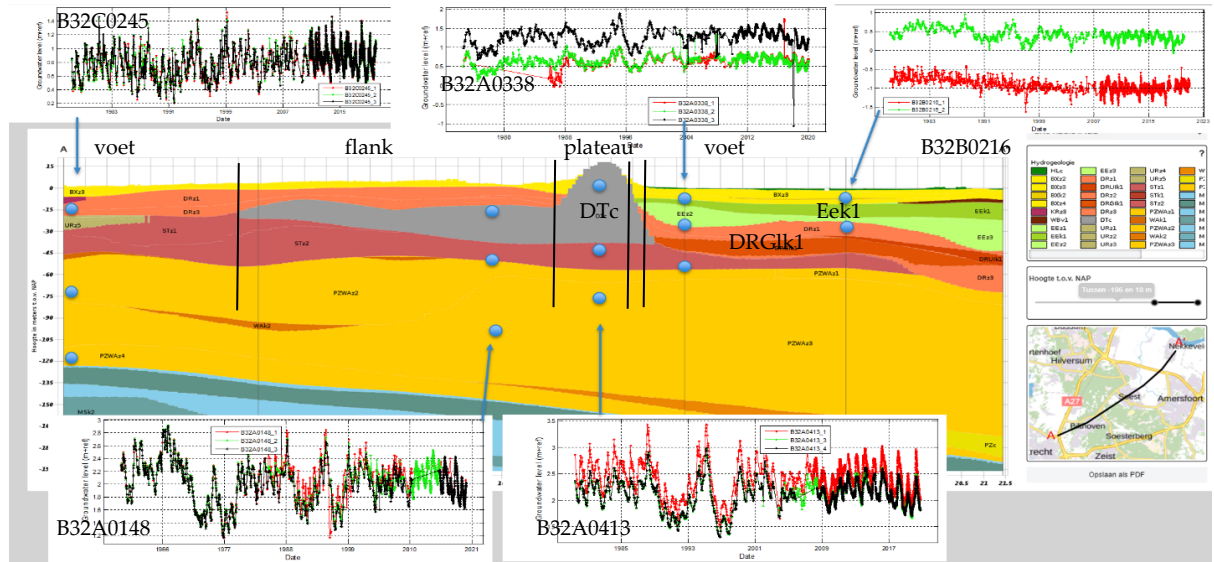
Figuur 13. Netto neerslag per jaar in de afgelopen decennia bij meetstation de Bilt.

De afgelopen decennia hebben naast fluctuaties in de netto grondwateraanvulling de volgende grootschalige ingrepen plaatsgevonden op en rondom de Utrechtse Heuvelrug:

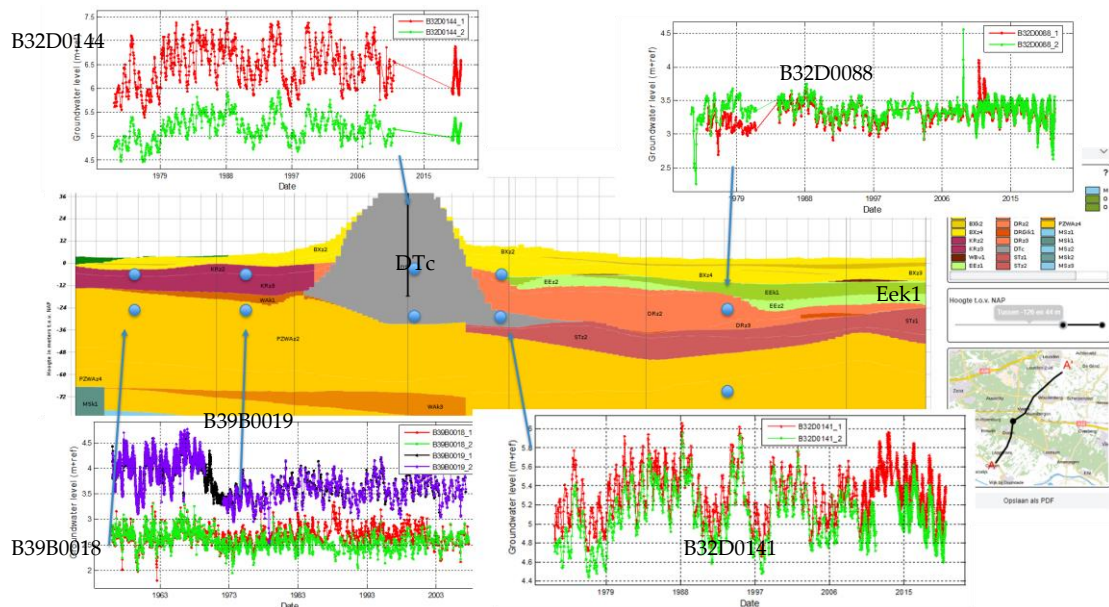
- 1850-1920 - Omvorming van overwegend heide vegetatie op de Utrechtse Heuvelrug naar dennen- en loofbos (Ref. 21). Dit leidt tot een toename van de verdamping en dus een afname van de grondwateraanvulling;
- 1880 tot heden – Grondwateronttrekking ten behoeve van drinkwaterwinning op de Heuvelrug (Ref. 30). De winningshoeveelheid fluctueert. Op sommige momenten is de onttrekkingshoeveelheid sterk veranderd, zo neemt in de periode 1960 – 1980 de onttrekking op bv. de winvelden Zeist, Doorn en Beerschoten toe. Dit leidt lokaal tot een verlaging van de grondwaterstand;
- 1930 - Start winning van oppervlaktewater in de De Bethunepolder van circa 30 Mm3/jaar t.b.v. drinkwatervoorziening van Amsterdam (Ref. 30). Dit leidt tot een verlaging van de grondwaterstand;
- Aanleg (tot 1960) en verbreding (1965-1981) van het Amsterdams Rijn Kanaal met een lager oppervlaktewaterpeil dan in de omgeving;
- 1960 – Aanleg Flevopolder. Het aangelegde oppervlaktewatersysteem met vast peilniveau heeft een verlagende invloed op de stijghoogte ten noorden van de Utrechtse heuvelrug;
- In de afgelopen decennia (o.a. tijdens ruilverkaveling in de jaren 60) is de ontwatering in het omliggende oppervlaktewatersysteem naar verwachting geïntensiveerd ((1) toename drainage en (2) hebben veranderingen van het drainageniveau in meer of mindere mate plaatsgevonden).

Al met al zijn dit ontwikkelingen geweest, die ervoor hebben gezorgd dat de stijghoogte op de Heuvelrug (lokaal) is afgenomen. In 1992 (Ref. 29) is trendanalyse uitgevoerd op 49 reeksen in de provincie Utrecht. Hieruit blijkt dat de stijghoogte sinds 1960 licht gedaald is: op de Heuvelrug 30 à 40 cm, en daarbuiten 10 à 15 cm. Ook wordt geconcludeerd dat deze daling met name is opgetreden in de periode 1960 - 1975 en dat daarna de meetreeksen doorgaans stabiel zijn. Bij de meetreeksen op de Heuvelrug wordt tevens aangegeven dat de betrouwbaarheid van de tijdreeksmodellen beperkt is wegens de invloed van de dikke onverzadigde zone.

Om een indruk te krijgen van het verloop van de grondwaterstand en de stijghoogte en om visueel te beoordelen of er sprake is van een dalende lijn op een langere tijdschaal, zijn meetreeksen in het DINOlaket opgevraagd. Deze zijn geprojecteerd langs 2 dwarsdoorsneden van de bodemopbouw. Figuur 14 en Figuur 13 geven ter illustratie de dwarsdoorsnede langs Soest en Doorn weer. De gemeten reeksen zijn in Bijlage B beter zichtbaar gepresenteerd.



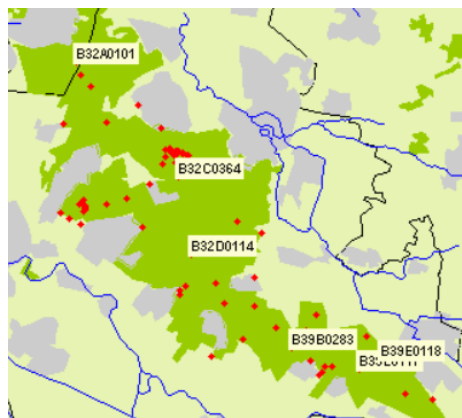
Figuur 14. Dwarsdoorsnede-profiel langs Soest, van Utrecht naar Bunschoten-Spakenburg met daarbij de beschikbare langjarige stijghoogtereeksen.



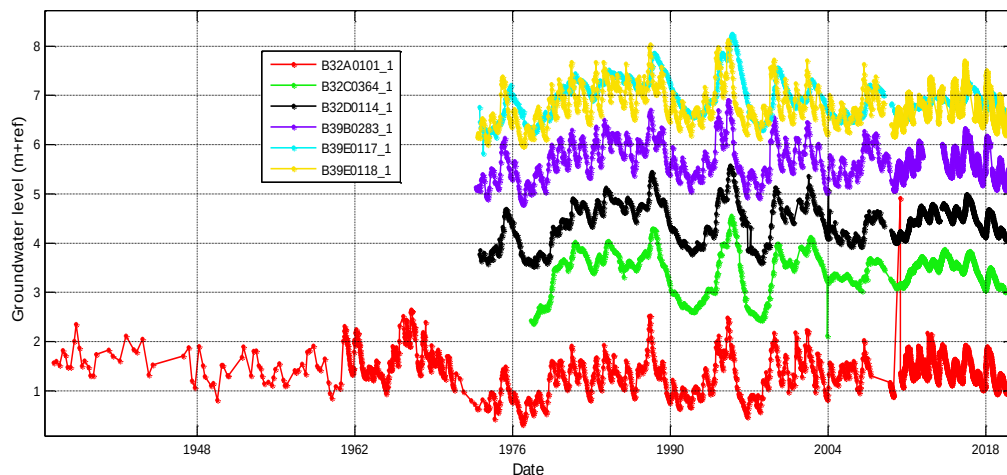
Figuur 15. Dwarsdoorsnede-profiel langs Doorn, van Cothen naar Woudenberg met daarbij de beschikbare stijghoogtereeksen.

Op het plateau en de flank

Ter plaatse van de flank en het plateau van de Utrechtse heuvelrug (peilbuislocaties B32A0148 en B32A0413) in Figuur 14, is de dynamiek van de grondwaterstand in de tijd anders dan in de peilbuislocaties aan de voet, aan weerszijden van de Heuvelrug (B32C0245 en B32B0216). In de grondwaterstand op de Heuvelrug is een geringe jaardynamiek van circa 0.5 m zichtbaar, maar een grotere dynamiek van 1.5 m door de jaren heen. De stijghoogtemetingen in de perioden 1970-1980, 1991 en 1995 zijn aanmerkelijk lager dan de overige perioden en vallen samen met perioden met een beperkte netto neerslag zie Figuur 13. Figuur 16 geeft nog een 6-tal stijghoogtereeksen van meetpunten op het plateau weer, deze geven hetzelfde beeld weer. De stijghoogtemetingen in de jaren 2018 t/m 2020 zijn doorgaans hoger of ongeveer gelijk aan de stijghoogte in de tijdelijke droge perioden rond 1990 en 1995. In de langere droge periode 1970-1980 is de stijghoogte lager dan in de afgelopen 3 jaar. Dit kan echter maar op een aantal locaties geverifieerd worden op het plateau. Uit Figuur 16 (peilbuis B32C0364), blijkt ook hoe hoger het maaiveld is (hoe dikker de onverzadigde zone), hoe minder jaardynamiek in de meetreeks zichtbaar is.



B32A0101: maaiveld 3 m+NAP
 B32C0364: maaiveld 32 m+NAP
 B32D0114: maaiveld 15 m+NAP
 B39B0283: maaiveld 9 m+NAP
 B39E0118: maaiveld 10 m+NAP
 B39E0117: maaiveld 44 m+NAP



Figuur 16 Zes tijdreeksen van de stijghoogte op het plateau.

De peilbuizen boven op het plateau, in het gestuwde gebied: B32A0413 (Figuur 14) en B32D0144 (Figuur 15) geven aan dat er lokaal versmeerde kleilaagjes aanwezig zijn in de gestuwde ondergrond. De ondiep gemeten stijghoogtereeksen zijn hoger (respectievelijk 30 cm en 1 m) dan de stijghoogte in het onderliggende zandpakket. Desondanks blijven de

freatische grondwaterstanden en stijghoogten ver onder maaiveld, aangezien de maaiveldhoogte ter plaatse 15 m+NAP en 40 m+NAP bedraagt.

De stijghoogtemetingen in Figuur 14 en Figuur 15 geven aan dat de watervoerende pakketten ten westen van de Heuvelrug en op de flank nagenoeg als één zandpakket functioneren. De stijghoogten en dynamiek zijn in de filters op verschillende diepten namelijk vrijwel gelijk. Uit het dwarsprofiel bij Doorn (Figuur 15) blijkt dat er ten westen van de Heuvelrug een dunne kleilaag aanwezig is (Wak1). Toch komen de stijghoogtemetingen in de peilbuizen B39B0018 en B39B0019 boven en onder de kleilaag Wak1 zeer goed overeen, wat duidt op een beperkt scheidend vermogen.

Peilbuis B9B0019 bij Doorn (Figuur 15) heeft een geringe dynamiek, maar laat wel in de periode rond 1970 een duidelijke daling van de stijghoogte zien van circa 0.5 m. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn het toenemen van het onttrekkingsdebiet in de periode 1955-1970 van drinkwaterwinning Doorn, op 1 km afstand (Ref. 30) en/ of oppervlaktewateraanpassingen in de regio.

De peilbuizen boven op het plateau, in het gestuwde gebied: B32A0413 (Figuur 14) en B32D0144 (Figuur 15) geven aan dat er lokaal versmeerde kleilaagjes aanwezig zijn in de gestuwde ondergrond. De ondiep gemeten stijghoogtereeksen zijn hoger (respectievelijk 30 cm en 1 m) dan de stijghoogte in het onderliggende zandpakket. Desondanks blijven de freatische grondwaterstanden en stijghoogten ver onder maaiveld, aangezien de maaiveldhoogte ter plaatse 15 m+NAP en 40 m+NAP bedraagt.

Aan de voet van de Heuvelrug

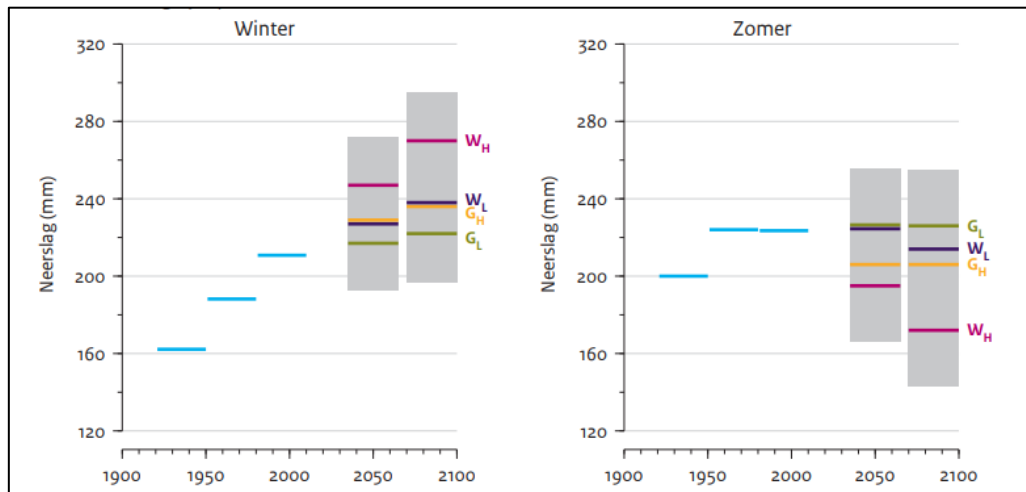
Ten oosten van de Heuvelrug zijn wel aaneengesloten kleilagen aanwezig in de ondergrond. Uit de meetreeksen op de locaties B32A00338 en B32B0216 in Figuur 14 zijn stijghoogteverschillen van respectievelijk 0.5 m over de Drenthe klei (DRG1k1) en 1.5 m over de Eemklei (laag EEk1) gemeten. Het ondiepe watersysteem (boven de Eemklei) ten noordoosten van de Heuvelrug (Eemvallei) wordt sterk gestuurd door de (lage) oppervlaktewaterpeilen in de regio. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar in de grondwaterstandsmetingen in peilbuis B32B0216 (bovenste filter): de grondwaterstand is 1 m lager dan de stijghoogte en de daling van de grondwaterstand tussen 1985 en 2000 van circa 50 cm, treedt ook in beperktere mate op in de stijghoogte (daling circa 10 cm). Een mogelijke verklaring hiervoor zijn aanpassingen aan het oppervlaktewatersysteem.

2.5.2 Toekomstig klimaat (scenario's 2050)

Door het KNMI zijn klimaatscenario's opgesteld (Ref. 7), de zogenaamde KNMI'14 klimaatscenario's GL, GH, WL en WH voor de situatie in 2050. De vier KNMI'14-scenario's beschrijven samen de hoekpunten waarbinnen de klimaatverandering in Nederland zich waarschijnlijk zal voltrekken.

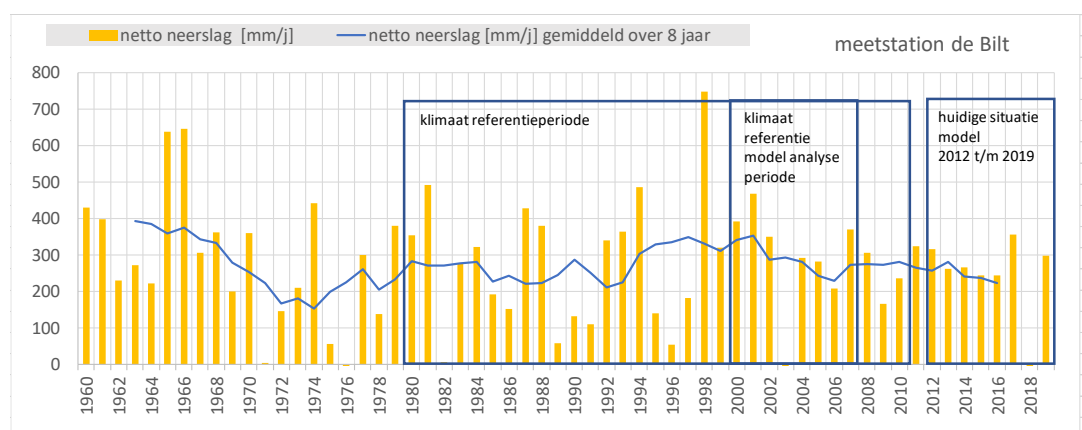
- WH: sterke temperatuurstijging (warm), hoge waarde verandering luchtstromen;
- WL: sterke temperatuurstijging (warm), lage waarde verandering luchtstromen;
- GH: gematigde temperatuurstijging, hoge waarde verandering luchtstromen;
- GL: gematigde temperatuurstijging, lage waarde verandering luchtstromen.

De KNMI'14-klimaatscenario's (zie Figuur 17) laten een beeld zien van hogere temperaturen, een sneller stijgende zeespiegel, nattere winters, hevigere buien en kans op drogere zomers. Deze klimaatscenario's zijn beschikbaar op de portal van het KNMI (getransformeerde reeksen 1980-2010 voor klimaat KNMI'14 2050 per KNMI meetstation).



Figuur 17. Overzicht effect van de KNMI'14 klimaatscenario's op de neerslag [KNMI, 2015].

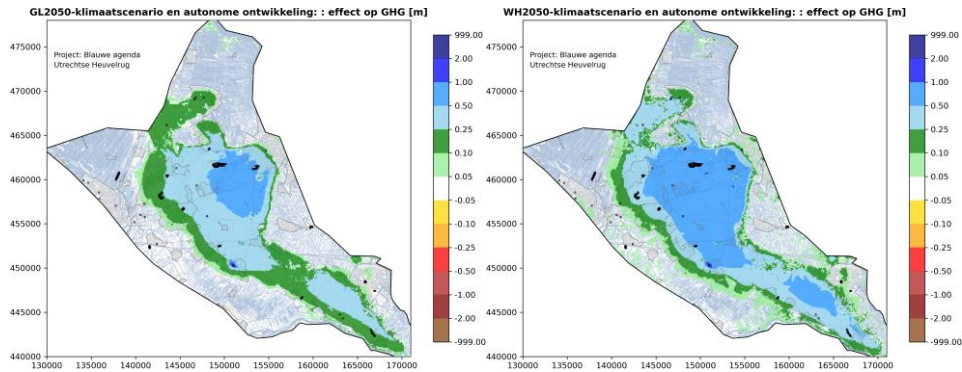
De getransformeerde klimaatreeksen zijn afgeleid van de neerslag en verdampingsdata over 1980-2010. Getransformeerde neerslag en verdampingsreeksen zijn in het model opgenomen en de analyse is wederom uitgevoerd over de laatste 8 jaar omwille van modelrekentijden. Deze 8 analysejaren komen overeen met de jaren 2000 t/m 2007. Gemiddeld over 2000 t/m 2007 was de grondwateraanvulling groter dan in 2012 t/m 2019, zie Figuur 18. Deze verschuiving in de tijd leidt tot een grotere netto grondwateraanvulling in het model, alsmede het effect van het klimaatscenario zelf (de neerslag neemt voor alle klimaatscenario's jaarrond toe).



Figuur 18. Netto neerslag per jaar in de afgelopen decennia bij meetstation de Bilt.

Met het model is het effect van de klimaatscenario's GL en WH (inclusief een verschuiving van de neerslagdata van 2012 t/m 2019 naar 2001 t/m 2007) berekend. De grondwaterstand neemt als gevolg hiervan toe op de Heuvelrug, in de winter met 60 cm (GL2050) tot 96 cm

(WH2050) en in de zomer met 45 cm (GL2050) tot 73 cm (WH2050) , zie Figuur 19 en bijlage B. Op de flank neemt het effect op de grondwaterstand snel af. Het drainageniveau op de flank verandert namelijk niet, waardoor het oppervlaktewatersysteem meer water zal afvoeren en het effect op de grondwaterstand wordt gedempt.



Figuur 19 effect van klimaatscenario KNMI'14 GL2050 en WH2050 (2000 t/m 2077) t.o.v. huidige situatie (2012 t/m 2019) op de GHG.

Naar aanleiding van de resultaten is met de specialisten gediscussieerd over het gebruik van de KNMI'14 klimaatscenario's. De figuren, die besproken zijn bij de discussie zijn weergegeven in Bijlage B. De genoemde aandachtspunten zijn :

- De klimaatreeksen KNMI'14 zijn vertaalde neerslag- en verdampingsreeksen van de periode 1980-2010. De afgelopen 10 jaar (2010-2020), waarin een aantal significant drogere jaren voorkomen, zijn hier geen onderdeel van. Een aandachtspunt voor de toekomst is of de nieuwe klimaatscenario's (verwacht medio 2023) overeenkomen met de eerdere klimaatscenario's (c.q. zet de vernatting inderdaad door?).
- Het klimaat wordt jaarrond inderdaad natter in de toekomst, maar de vraag is daarbij gesteld of het klimaat in het voorjaar niet juist droger wordt. Voldoende vocht is in het voorjaar van belang voor de natuur omdat dan juist veel vocht nodig is voor verdamping. Uit de klimaatscenario's (Ref. 23) blijkt dat, afhankelijk van het toekomstige klimaatscenario, drogere voorjaren en zomers in de toekomst vaker kunnen voorkomen en dus dat droogteschade hierdoor zal toenemen.
- Extremen in het klimaat nemen toe. Uit een analyse van de klimaatreeks volgt dat het huidige klimaat is vertaald naar een toekomstige reeks, waarbij kenmerken van het huidige klimaat intact zijn gelaten. Zo lijkt in de vertaalde reeks geen toename van droge en natte jaren achter elkaar te zijn verwerkt. De vraag hierbij is: is het reëel om te verwachten dat een aantal droge jaren achter elkaar niet vaker zal voorkomen? En zo ja, wat betekent dat voor het grondwatersysteem en de natuur? Wellicht is één droog jaar geen probleem, maar drie droge jaren achter elkaar wel. Dit vergt een andere type benadering dan de beschikbare klimaatscenario's.

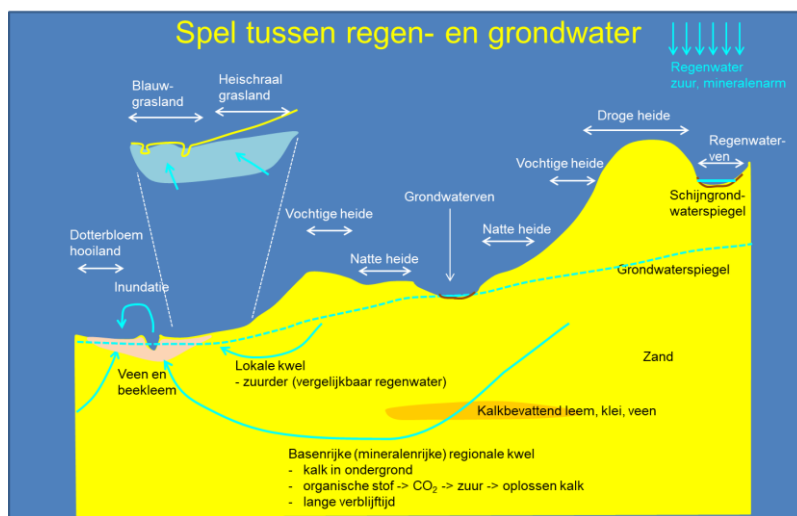
Besloten is om voor deze studie uit te gaan van de KNMI-14 scenario's. De redenen hiervoor zijn dat de klimaatscenario's zijn opgesteld op basis van de meest recente kennis, dat bij deze werkwijze wordt aangesloten bij vergelijkbare onderzoeken in Nederland en dat de wijze van hoe de reeksen tot stand zijn gekomen goed gedocumenteerd zijn. Wel komen deze aandachtspunten terug in hoofdstuk 7.

2.6 Waterkwaliteit

2.6.1 Algemeen

Voor de gebruikers van het grondwater (natuur, drinkwaterwinning en landbouw) is naast de waterkwantiteit, ook de waterkwaliteit van belang. De gebruikers hebben ieder hun eigen wensen voor de kwaliteit van het water. Deze paragraaf vormt een samenvatting van informatie uit de aangeleverde literatuur.

Figuur 20 geeft een overzicht weer van de verschillende grondwaterkwaliteiten die voorkomen in het Heuvelrugstelsel. Boven op de Utrechtse Heuvelrug infiltreert regenwater, dit is mineralenarm als gevolg van atmosferische depositie zuur. Dit water infiltreert naar het grondwater door de onverzadigde zone. Afhankelijk van de afstand tot de onverzadigde zone kan dit enkele maanden tot jaren duren. De ondergrond is bovenin zandig en arm, hierdoor blijft het regenwater tot enkele meters onder de grondwaterspiegel zuur. Daaronder zijn kalkhoudende lemlagen aanwezig, waardoor de samenstelling van het grondwater verandert. De zuurgraad van het water gaat omhoog en de mineralensamenstelling van het water verandert, kalkverzadiging treedt op. Het water stroomt uiteindelijk door het eerste en tweede watervoerende naar de laaggelegen omgeving, en treedt daar uit (diepe kwelstroom). Dit is de basenrijke (mineralenrijke kwel). Deze locaties bieden goede potentie voor natte natuur met wensen voor voedselarme basenrijke kwel. Dit zijn natuurtypen, die vanuit natuurherstelootpunt of natuurwaarden nagestreefd worden, zoals aangegeven in Figuur 20.



Figuur 20 Aanwezige waterkwaliteiten in de regio Utrechtse Heuvelrug (Ref. 14).

Op de flanken van de Heuvelrug zal het water uittreden, dat relatief korter onderweg is. Afhankelijk van de indringingsdiepte en de diepte van de kalklagen verandert het grondwater. De lokale kwelstroom is daardoor vaak zuurder. Afhankelijk van de bodemprocessen kan nitraat en fosfaat zijn achtergebleven in de bodem. In dat geval biedt de lokale kwelstroom potentie voor natte natuur met wens voor voedselarm kwelwater.

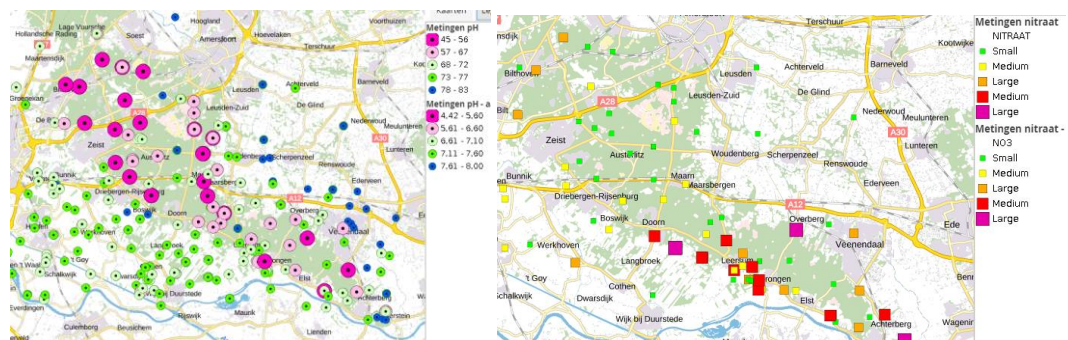
De natuurtypen, die in bovenstaande figuur langs de flank van de Heuvelrug zijn weergegeven, hebben specifieke wensen voor aanwezige mineralen, zuurgraad en

voedselrijkdom. Afhankelijk van de lokale eigenschappen van het grondwater kunnen deze lokaal goed groeien. Naast beïnvloeding door het grondwater, treedt er ook beïnvloeding van de waterkwaliteit van bovenaf op. In veel gebieden in Nederland spoelen namelijk nitraat en sulfaat uit naar het bodemsysteem en het oppervlaktewater vanaf landbouwpercelen. Dit treedt ook op in de regio Utrechtse Heuvelrug. Hierdoor wordt de voedselrijkdom van het grond- en oppervlaktewater vergroot, waardoor de grondwatertypologie soms niet meer goed past voor deze natuurtypen. Andere, vaak minder hoogwaardige natuur komt daar dan voor in de plaats.

2.6.2 Bodemverzuring

Als gevolg van industrie, verkeer en landbouw zijn de afgelopen decennia de concentraties van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak verhoogd. Hierdoor is de neerslag zuurder. In 2012 lag de emissie zuur rond de 2500 mol/ha in het gebied rond de Utrechtse Heuvelrug (Ref. 5, Ref. 43). De neerslag infiltreert in de Utrechtse Heuvelrug goed, vanwege het ontbreken van een deklaag en de zandige bodem. Het zuur wordt beperkt geneutraliseerd door een beperkt bufferend vermogen van de kalkloze en kalkarme zandbodems. Als gevolg van een lage zuurgraad zullen de beschikbare nutriënten in het bodemsysteem veranderen (toename ijzer, mangaan, aluminium en afname fosfaat, sulfaat en calcium) en het bodemleven worden beïnvloed (afname bacteriën, toename schimmels, aantasting van wortelcellen) (Ref. 5). Daar waar buffering ontbreekt, wordt ook het grondwater zuurder. Figuur 21 geeft de pH meetgegevens van het provinciaal meetnet weer ter illustratie.

Voor verschillende ecosystemen is het kritische depositieniveau aangegeven in (Ref. 42). Voor droge en natte heidevegetatie is aangegeven dat schade optreedt bij waarden hoger dan 1.000 – 1.400 mol/ha. Bij naald- en loofbos treedt aluminium uitputting op boven 1.650/ 1.800 mol/ha en schade aan wortels treedt op boven 1.900/ 2.450 mol/ha. Dit betekent dat, ondanks dat de verzuring al sterk is gereduceerd, de natuur nog steeds schade ondervindt van zure depositie.



Figuur 21 Meetresultaten van het provinciaal meetnet. Links: pH en rechts: nitraat (bron: Geopoint provincie Utrecht).

2.6.3 Verontreinigingen

Het Utrechtse heuvelrugstelsel is erg kwetsbaar voor verontreinigingen vanaf het maai-veld, omdat een afsluitende deklaag en diepere scheidende lagen ontbreken en de ondiepe bodem arm en zandig is.

Verontreinigingen infiltreren vanaf maaiveld met het regenwater. Vervolgens stromen deze door de ondergrond waarbij een aantal processen optreden (Ref. 4):

- Onverzadigde zone (zuurstofrijk): afbraak van PAK (bij aanwezigheid van organische stof en diepe grondwaterstanden), binding van minerale olie en binding van zware metalen aan organische stof.
- Redoxgrens in grondwater (overgang van zuurstof rijk naar gereduceerd grondwater): afbraak van nitraat, mangaan en sulfaat en organische microverontreinigingen
- Kalkhoudende leemlagen in de bodem: binding van fosfaat en afhankelijk van pH afbraak van organische microverontreinigingen

Persistente stoffen zoals o.a. VOCL, en bepaalde PFAS en medicijnresten worden niet/slecht afgebroken of geadsorbeerd en kunnen zich daardoor tot ver verspreiden in de ondergrond. Persistente stoffen zijn een risico/zorg voor de drinkwateronttrekkingen.

Door Grontmij is een inventarisatie uitgevoerd (Ref. 3, Ref. 4) naar de verontreinigingsrisico's op de Utrechtse Heuvelrug. In deze studie is vastgesteld dat het gehele infiltratiegebied van de Utrechtse Heuvelrug zeer kwetsbaar is voor (persistente) verontreinigingen. Om deze reden is toentertijd gekozen om voor RO-ontwikkelingen die risico's geven voor verontreiniging een algemeen 'Nee tenzij' principe te hanteren.

Oppervlaktewatersysteem

Een aantal RWZI's systeem (o.a. RWZI De Bilt, Zeist, Driebergen, Bunnik) lozen hun water op het kromme Rijn systeem. Daarnaast wordt water ingelaten vanuit de Lek, dat via de Kromme Rijn door het oppervlaktewatersysteem stroomt, ten westen van de Utrechtse Heuvelrug. Ook in dit water komen verontreinigingen voor. Dit water infiltreert in de bodem afhankelijk van de lokale kwel- of infiltratiestroming. De grondwaterwinningen (o.a. Groenekan) (Ref. 30) aan de voet of aan de onderkant van de flank, worden beïnvloed hierdoor.

2.7 Aandachtspunten

Op basis van de systeemanalyse zijn de belangrijkste aandachtspunten voor het uitvoeren van de bouwsteenanalyse samengevat:

- De functies op het plateau (natuur en stedelijk gebied) staan niet in contact met het grondwatersysteem, maar met de onverzadigde zone. De natuur haalt zijn vocht uit de bovenste paar meter van de onverzadigde zone. Het verbeteren van de hydrologie ten bate van de functies door aanpassingen in het grondwatersysteem zal daarom weinig effect hebben op de functies op het plateau van de Heuvelrug.
- De grondwaterwinningen op de flanken beïnvloeden het stromingspatroon. Door veranderingen in windebieten, verandert het stromingspatroon. Dit kan erin resulteren dat de waterkwaliteit in een gebied mettertijd verandert. Ook hebben de winningen invloed op de grondwaterstand in de omgeving van de winning. Bij debietaanpassingen kan het invloedsgebied veranderen en afhankelijk van de grondwaterstandsdiepte

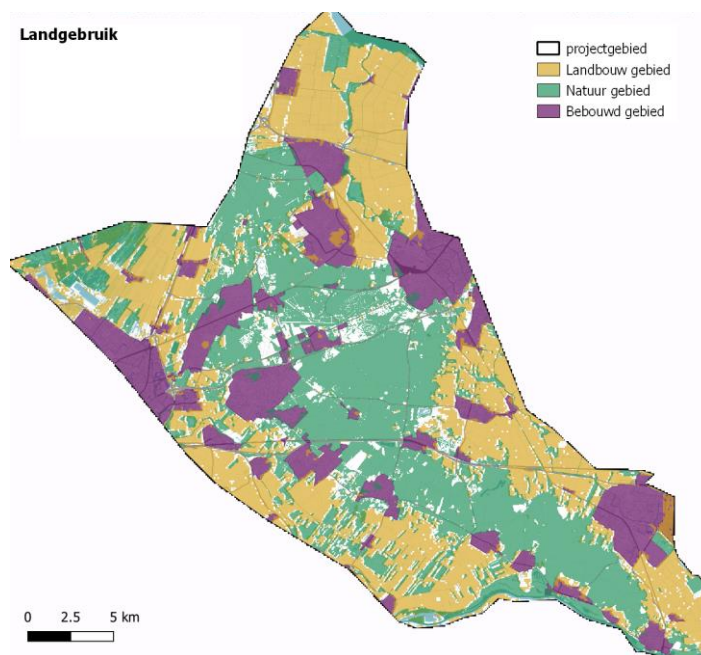
kan dit een effect hebben op de natuur, landbouw of uitstroomniveau van beken of sprengen.

- De klimaatscenario's leiden in het specialistenoverleg tot een aantal discussies. Jaar-rond treedt netto een toename van de grondwateraanvulling als gevolg van de klimaatscenario's op. Evenwel nemen extremen in het klimaat toe. Uit een analyse van de klimaatreeks volgt dat het huidige klimaat is vertaald naar een toekomstige reeks, waarbij kenmerken van het huidige klimaat intact zijn gelaten. Zo lijkt in de vertaalde reeks geen toename van droge en natte jaren achter elkaar te zijn verwerkt. De vraag hierbij is: is het reëel om te verwachten dat een aantal droge jaren achter elkaar niet vaker zal voorkomen? En zo ja, wat betekent dat voor het grondwatersysteem en de natuur? Wellicht is één droog jaar geen probleem, maar drie droge jaren achter elkaar wel. Dit vergt een andere type benadering dan de beschikbare klimaatscenario's. Voor deze studie is besloten dit alleen te adresseren.

4 Knelpuntenopgave

4.1 Inleiding

Voor de knelpuntenopgave voor het projectgebied is eerst geïnventariseerd wat de autonome ontwikkelingen zijn in het projectgebied tot de situatie in het jaar 2050. Daarna is getoetst in hoeverre het grondwatersysteem, anno 2050, geschikt is voor de toepassingen: natuur, landbouw en stedelijk gebied, maar ook naar wensen vanuit de drinkwatervoorziening. Deze situatie is daarna als referentie gebruikt voor de bouwsteenanalyse (hoofdstuk 5). Figuur 22 geeft een overzicht van de ligging van de functies weer. Voor het bepalen van de opgave zijn de modelresultaten van het Azuremodel gebruikt (par. 1.4).



Figuur 22 Overzichtskartaal van de functies.

Tijdens het uitvoeren van de studie is tijdens de specialistenoverleggen gediscussieerd over de wijze waarop de natuuropgave moet worden bepaald, daarnaast is ook in kaart gebracht hoe de knelpuntenopgave voor de huidige situatie (2012 t/m 2019) eruit ziet. In Bijlage C is daarom opgenomen hoe de knelpuntenopgave natuur tot stand is gekomen en in bijlage D zijn de knelpuntenkaarten voor natuur, landbouw en stedelijk gebied voor de huidige situatie en de situatie in 2050 naast elkaar gepresenteerd ter illustratie.

4.2 Autonome ontwikkelingen

Voor de knelpuntenopgave is in het specialistenoverleg besloten uit te gaan van het WH2050 klimaatscenario. Dit is het scenario dat tot de grootste vernatting jaarrond leidt op de Utrechtse Heuvelrug, maar ook tot situaties met de droogste zomers.

Daarnaast zijn van enkele grote winningen de winhoeveelheden aangepast voor de toekomstige situatie in 2050. Zo zijn de drinkwaterwinning Doorn en de onttrekkingen t.b.v. saneringen uitgezet in het model en is het debiet van winningen aangepast, waarvan op basis van het overzicht industriële onttrekkingen van de Provincie bekend is dat deze in werkelijkheid minder onttrekken dan hun vergunning.

4.3 Opgave natuur

In deze studie wordt uitgegaan van de natuurgebieden, aangegeven in het natuurbeheerplan 2021 van de Provincie (Ref. 9). Dit omvat de natuurterreinen in en buiten het Natuurnetwerk Nederland (NNN), natuurterreinen in Natura 2000, te ontwikkelen natuurterreinen in de Groene Contour en in agrarische gebieden met natuurwaarden. Bij de bouwsteenanalyse (hoofdstuk 4) wordt ook uitgegaan van het realiseren van natuur binnen deze natuurterreinen.

Plateau

Op het plateau van de Utrechtse Heuvelrug bestaat de natuur met name uit droge natuur (naald- en loofbossen, (monumentale) bomen op landgoederen, droge heide/ graslanden en zandvlaktes). Deze natuur is niet afhankelijk van het grondwatersysteem (par. 2.2.1 en 2.7), omdat de grondwaterstand op deze locatie te diep onder het maaiveld is gelegen (meer dan 3 m). De natuur op het plateau onttrekt vocht uit de onverzadigde zone of kan soms lokaal profiteren van infiltratie vanuit venetjes (hangwater) of schijngrondwaterspiegels op ondiep gelegen kleilagen. In het model zijn deze lokale gegevens niet verwerkt. Ook is de WWN niet geschikt om de geschiktheid van de bodem aan de hand van bodemvocht voor natuur te toetsen.

Dit is besproken in de specialistengroep. Drogere voorjaren en zomers (zoals in 2018 t/m 2020) en hogere temperaturen leiden ertoe dat het percentage bodemvocht, dat beschikbaar is voor de planten en bomen, geringer is gedurende het groeiseizoen, waardoor droogtestress kan optreden. De terreinbeherende organisaties geven aan dat zij in de praktijk waarnemen dat (droogte)schade aan de natuur op het plateau steeds meer zichtbaar wordt. Uit de klimaatscenario's (Ref. 23) blijkt dat, afhankelijk van het toekomstige klimaatscenario, drogere voorjaren en zomers in de toekomst vaker kunnen voorkomen en dus dat droogteschade hierdoor zal toenemen.

Flanken en voet

De flanken van de Heuvelrug vertonen een overgang van droog naar nat. Bos, houtwallen en lanen vinden we op de hogere delen, met daartussen droge en vochtige heide met vennen, droge schraallanden en kruiden- en faunarijke akkers. De lagere delen kenmerken zich door houtsingels en knotbomen. Met daar waar kwel optreedt vochtige hooilanden, natte schraallanden en plaatselijk moeras. Op de Zuidflank zijn veel buitenplaatsen en landgoederen aanwezig. Hier komen bosjes en bijzondere solitaire bomen voor.

Op de flanken en onderaan de heuvelrug komt natuur voor die profiteert van het diepe grondwater dat hier als kwel naar boven komt. Afhankelijk van allerlei lokale factoren

treedt het grondwater op de lageregelegen plaatsen uit. Tijdens het transport door de bodem worden ijzer, voedingsstoffen en soms ook kalk opgenomen waardoor kwelwater een ander karakter heeft dan regenwater. Ter plekke van uittredend kwelwater ontstaan vaak bijzondere, natte biotopen. Dat kan een bovenloop van een beek richting de Gelderse Vallei zijn, een kwelmoeras (Anderstein bij Maarn), een gegraven spreng op een landgoed (Heidestein) of het zorgt voor een specifieke flora en fauna in de kwel sloten op de overgang naar het Kromme Rijngebied en de Gelderse vallei. In graslanden leidt aanwezigheid van kwel tot bijzondere vegetatie.

Natuurbeheerplan

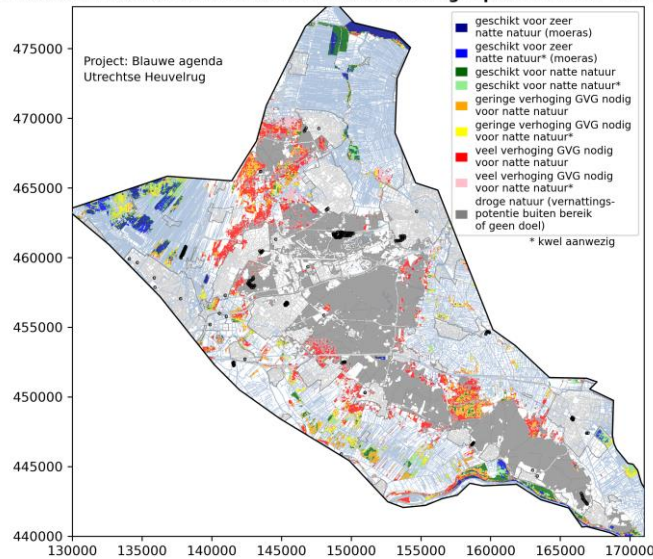
De Provincie heeft in het natuurbeheerplan (Ref. 9) per natuurlocatie vastgelegd welke (natuur)beheertypen nu gelden en welke ambities er liggen voor de toekomst. De (natuur)beheertypen betreffen meestal de op dit moment aanwezige natuur (opgesteld t.b.v. beheersubsidie), maar dit geeft niet altijd de volledige potentie van een locatie weer. De ambities voor de toekomst zijn vastgelegd in ambitiekaarten door de Provincie. De ambitiekaarten (met daarop ambitie-beheertypen) dienen gebruikt te worden voor de knelpuntenopgave in 2050. In de aangeleverde vorm bleken deze gegevens echter niet goed bruikbaar. In overleg met de Provincie is een vertaalslag gemaakt van de verschillende ambitie-beheertypen (allen natte natuurtypen) naar één representatief hoogwaardig natuurdoeltype, “natte natuur”. De grondwaterkarakteristieken van dit natuurdoeltype “natte natuur” komen globaal overeen met de benodigde grondwatercondities voor de verschillende hoogwaardige ambitie-beheertypen (zie voor meer achtergrondinformatie bijlage C). De komende decennia dienen de natuurgebieden, waar mogelijk, zo ontwikkeld te worden dat het areaal van natte natuur toeneemt.

De toetsing met de WWN geeft dus inzicht op welke locaties op de flank en aan de voet van de Heuvelrug de condities nu geschikt zijn voor natte natuur, waar kwel aanwezig is en welke vorm van aanpassing van het grondwatersysteem elders nodig is om tot de gewenste grondwatercondities voor natte natuur te komen (kansen). Hierbij geldt dus dat het niet nodig is om overal natte natuur te realiseren, alleen daar waar mogelijk. In deze analyse is alleen uitgegaan van de natuurterreinen, die nu zijn opgenomen in het natuurbeheerplan.

Figuur 23 geeft het resultaat weer voor de potentie van natte natuur aan de voet en op de flank van de Utrechtse Heuvelrug voor 2050. Uit de kaart blijkt dat aan de voet en met name onderaan de flanken de grondwatersituatie soms al voldoet voor natte natuur (licht- en donkergroene kleuren, ~ 32 km²), maar dat lokaal met een beperkte vernatting (geel en oranje kleur, ~ 25 km²) een bijna tweemaal zo groot gebied natte natuur gerealiseerd kan worden binnen de natuurterreinen uit het natuurbeheerplan. Een beperkte vernatting houdt in een verhoging van de gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG) tot 50 cm en/of beperking van de droogtestress tot 9 dagen. Droogtestress wordt berekend door de WWN, dit is het gemiddeld aantal dagen (d) per jaar dat de zuigspanning in de bodem een waarde van 12000 cm overschrijdt. Dit is afhankelijk van de waterstanden en het bodemtype. Aan de bovenkant van de flanken van de Heuvelrug (rode en roze kleuren) is meer vernatting nodig om tot de juiste grondwatersituatie te komen voor natte natuur. De GVG dient hier verhoogd te worden met 50 tot 150 cm en/of de droogtestress dient sterker

beperkt te worden. Op het plateau van de Heuvelrug zijn de condities niet geschikt voor natte grondwaterafhankelijke natuur (par. 2.2.1 en 2.7).

WH2050-klimaatscenario en autonome ontwikkeling: : potentie voor natte natuur



Figuur 23. Potentie voor natte natuur (jaar 2050). Geringe vernatting betekent dat de GVG tot 50 cm moet worden verhoogd of de droogtestress tot 9 dagen moet worden beperkt. Veel vernatting betekent dat de GVG 50-150 cm moet worden verhoogd en/ of de droogtestress 9-29 dagen moet worden beperkt.

De grondwatersituatie bij de Oostelijke Vechtplassen (noordwesten van het projectgebied) is zeer geschikt voor natte natuur. De kaart geeft zelfs aan dat zonder maatregelen de grondwatercondities geschikt zijn voor de ontwikkeling van moerassen.

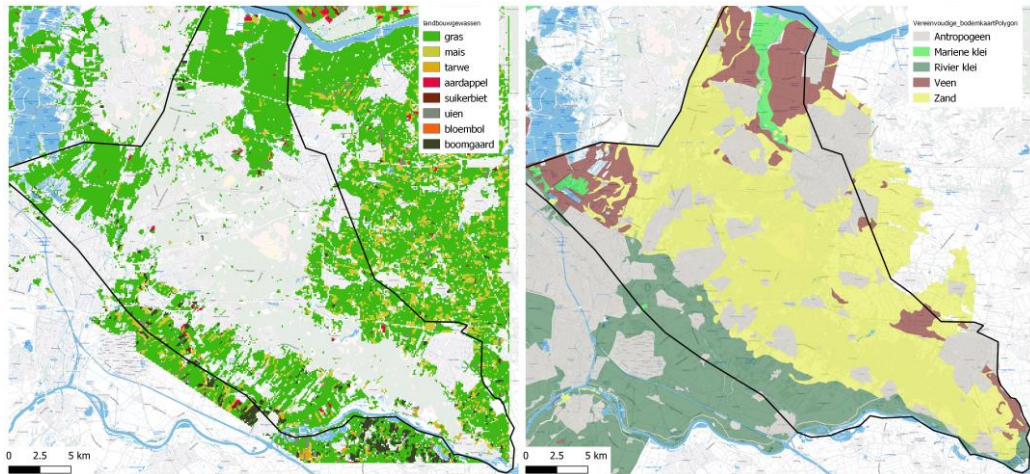
Conclusie

In de huidige situatie wordt droogteschade ondervonden op het plateau (grondwaterafhankelijke natuur) tijdens langere perioden met droogte. Aan de voet en op de flanken is een ambitie gedefinieerd voor grondwaterafhankelijke natuur, die volgens de toetsing beperkt gerealiseerd kan worden. Als gevolg van de autonome ontwikkelingen wordt het natter. De natuur ondervindt daar echter niet altijd voordeel van:

- op het plateau stijgt de grondwaterstand (echter deze blijft buiten het bereik van de natuur). Het voorkomen van droogteschade door te sturen met het grondwatersysteem vormt geen oplossing;
- op de flanken en aan de voet is de stijging van de grondwaterstand beperkt. De kwel neemt toe, maar deze wordt afgevoerd door het oppervlaktewatersysteem. Omdat deze natuur wel grondwaterafhankelijk is, zijn de plaatselijke hydrologische condities te verbeteren door middel van ingrepen in het grondwatersysteem.

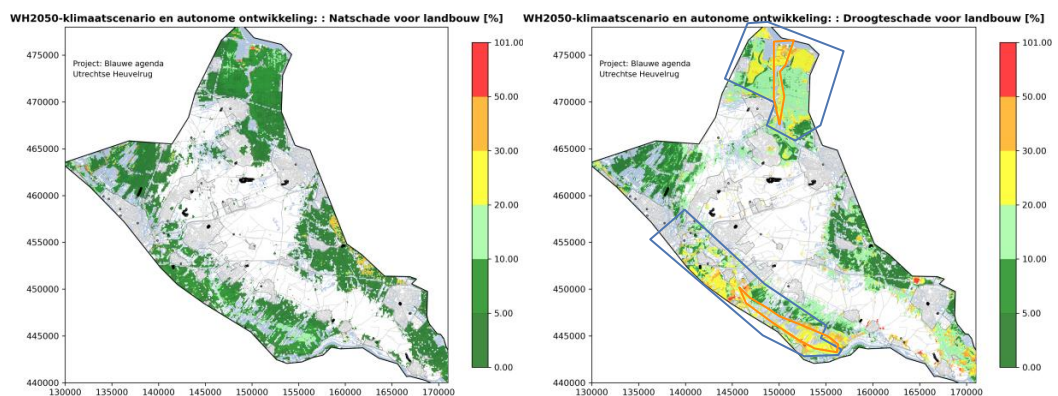
4.4 Opgave landbouw

Op de flanken en aan de voet van de Heuvelrug zijn landbouwgebieden gelegen. Landbouwgewassen kunnen schade ondervinden als gevolg van te natte grondwatercondities (natschade die doorgaans in de wintermaanden optreedt) en te droge grondwatercondities (droogteschade die doorgaans in de zomer optreedt). In het projectgebied worden met name gras en maïs verbouwd, zie Figuur 24.



Figuur 24. LGN kaart van projectgebied en versimpelde bodemopbouw.

De mate van landbouwschade is afhankelijk van de grondwaterstanden (gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand), het type gewas en het bodemtype. Ten zuiden van de Utrechtse Heuvelrug verandert het bodemtype van zandgrond naar (zwarte) kleigrond.



Figuur 25. Nat- en droogteschade voor landbouw in de referentie situatie (2050). Bij de droogteschadekaart is middels blauwe contour aangegeven waar berekening is toegestaan en middels oranje contour waar kleibodems met hoge grondwaterstanden in de zomer voorkomen.

Natschade wordt op de zuidwestelijke en noordelijke flanken van de Utrechtse Heuvelrug alleen in beperkte mate (tot circa 12%) berekend op de klei- en veengronden (Figuur 25). Het percentage geeft de berekende opbrengst weer in relatie tot de opbrengst onder optimale omstandigheden. Bijlage D geeft de berekende opbrengst voor de huidige en toekomstige situatie in 2050 weer en het verschil hiertussen.

Droogteschade wordt met name in de zuidoostpunt van het projectgebied, bij Rhenen, op de kleigronden ten zuiden van de Utrechtse Heuvelrug (Kromme Rijn gebied) berekend en op de klei- en veengronden langs de Eem en nabij het Eemmeer (zie Figuur 25). Droogteschade wordt bepaald door de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) in samenhang met het bodemtype en het gewastype. Uit onderzoek van STOWA (Ref. 11) blijkt dat de droogtestress op zware kleigronden onder natte omstandigheden overschat wordt door de WWL. Deze gebieden zijn in Figuur 25 aangegeven middels een oranje contour, deze berekende droogteschade betreft dus een overschatting. Daarnaast is in deze gebieden berekening via het oppervlaktewater, toegestaan (zie blauwe contour op de kaart). Met berekening kan droogteschade vaak (maar niet altijd) gemitigeerd worden. Aardappelen mogen bv. niet geïrrigeerd worden met oppervlaktewater, vanwege het risico op ziektes (bruinrot) en ook in sommige fruitteelten kan irrigatie met oppervlaktewater nadelige effecten hebben. Aardappelen worden op een beperkt aantal percelen verbouwd en boomteelt vindt met name plaats ten zuiden van de Kromme Rijn.

Conclusie

In de huidige situatie treedt plaatselijk droogte- danwel natschade (zie vorige alinea) op. De landbouw ligt met name aan de voet of onderaan de flanken. Als gevolg van de autonome ontwikkelingen veranderen de gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstanden (indicatoren voor nat- en droogteschade) hier nauwelijks. Wel zullen droge en natte perioden vaker voorkomen. Hierdoor neemt de berekende natschade doorgaans enkele procenten (1 tot 5%) af en de droogteschade toe.

4.5 Opgave stedelijk gebied

In het bebouwde gebied kunnen knelpunten optreden als gevolg van grondwateroverlast en/ of water op straat als gevolg van extreme neerslag. Soms kunnen deze situaties elkaar ook versterken: bij een ondiepe grondwaterstand, is bv. minder bergend vermogen in de ondergrond aanwezig, waardoor de oppervlakkige afstroming eerder kan optreden. Deze modelstudie focust op de grondwateroverlast, maar ook de impact op water op straat in stedelijk gebied zal kwalitatief worden geadresseerd.

Grondwateroverlast

Grondwateroverlast als gevolg van hoge grondwaterstanden treedt niet kortstondig (minder dan een dag) op, maar juist over langere perioden. Door de hoge grondwaterstand kunnen bv. vochtproblemen ontstaan bij huizen, lekkages in kelders of schade aan vegetatie optreden, etc. Als indicatie voor risico op grondwateroverlast wordt in veel gemeenten de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) getoetst op de grenswaarde "70 centimeter minus maaiveld". Hierbij is aangenomen dat risico op grondwateroverlast een aandachtspunt vormt op locaties waar ondiepere GHG's optreden (zie Figuur 26).

Uit de toets blijkt dat het risico op grondwateroverlast in de referentiesituatie zeer beperkt is in de bebouwde kernen in het projectgebied. Op de Utrechtse Heuvelrug is de grondwaterstand (veel) dieper dan 70 cm-mv. In de bebouwde kernen aan de voet van de

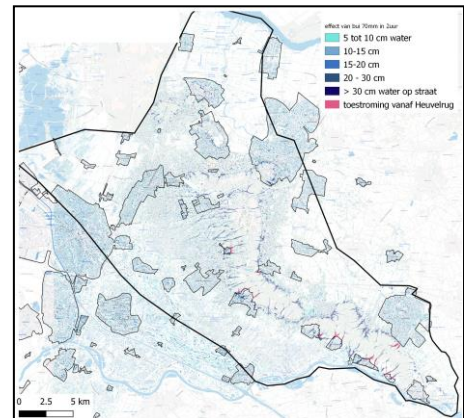
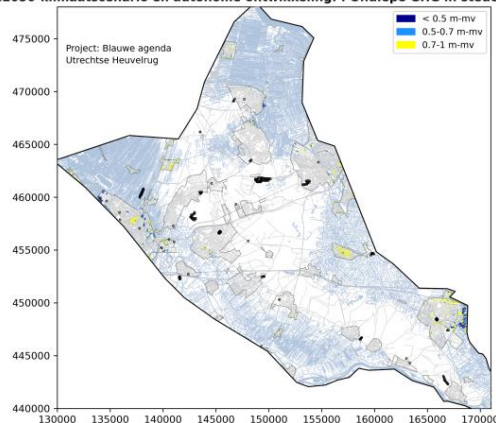
Heuvelrug is de grondwaterstand ondieper gelegen (veelal 70 cm-mv tot 150 cm-mv). De grondwaterstand wordt hier gereguleerd door het oppervlaktewatersysteem en stedelijke drainage/wegcunnetten etc.

Water op straat

Wateroverlast als gevolg van water op straat is doorgaans een kortdurend event als gevolg van een hevige neerslagbui. Het water blijft staan op straat en kan niet snel genoeg worden afgevoerd. Hierdoor ontstaan bv. grote plassen, kunnen tunnels tijdelijk blank komen te staan en/of kan het water naar plekken stromen waar het schade veroorzaakt, zoals bij woningen. Op de Heuvelrug treedt nog een extra risico op, namelijk wateraanvoer over maaiveld vanaf de Heuvelrug: door de maaiveldgradiënt, verzamelt het water zich van een stroomgebiedje in de laagste delen, er vormt zich dan een “natuurlijke waterloop” naar beneden. Vanuit de gemeentes is aangegeven dat deze wateroverlast in de praktijk reeds wordt ervaren vanaf de Heuvelrug.

Stresstesten geven inzicht in de locaties waar water op straat een risico vormt als gevolg van hevige buien. Stresstesten worden niet uitgevoerd met een grondwatermodel. Bij een T= 100 bui (een bui die 1-maal per 100 jaar optreedt) kunnen waterdieptes van 30 cm of meer op straat voorkomen (bron: Geopoint, provincie Utrecht). Bij een T = 1 bui (een bui die jaarlijks optreedt) zal het aantal centimeter water op straat beperkter zijn, maar de verwachting is dat de locaties, waar dit optreedt, wel vergelijkbaar zullen zijn. Aangezien de intensiteit van buien toeneemt als gevolg van klimaatverandering, zal deze overlast toeneemen.

WH2050-klimaatscenario en autonome ontwikkeling: : Ondiepe GHG in stedelijk gebied



Figuur 26. Links overzicht bebouwd gebied en locaties met gemiddelde hoogste grondwaterstanden ondieper dan 0.7 m-mv bij de situatie 2050 WH. Rechts: Kaart met aantal centimeter water op straat na bui van 70 mm in 2 uur tijd (T=100) (bron GEO-POINT Provincie Utrecht). Locaties waar afstroming van water vanaf de Heuvelrug naar bebouwd gebied plaatsvindt is in roze aangegeven.

Conclusie

Grondwateroverlast vormt een beperkt risico in de huidige situatie. Wateroverlast op straat wordt in de huidige situatie wel al ervaren binnen de gemeentes op de flanken van de Heuvelrug. Het risico op grondwateroverlast op het plateau neemt echter nauwelijks toe. Dit komt omdat ondanks dat de grondwaterstand als gevolg van de autonome

ontwikkelingen stijgt, de grondwaterstand nog steeds ver onder maaiveld ligt. Als gevolg van klimaatverandering zullen hevige buien wel vaker en intenser optreden, hieruit volgt dat het risico op wateroverlast door water op straat zal toenemen.

Opgave levering drinkwater

De provincie Utrecht groeit flink tot 2050 (broninformatie: Drinkwaterstrategie van Vitens en provincie Utrecht). Volgens de prognoses neemt zowel het aantal inwoners als de bedrijvigheid toe. Dit heeft op twee manieren gevolgen voor de drinkwaterwinning. Ten eerste neemt de vraag naar drinkwater toe. En ten tweede kan de kwaliteit van het grondwater (de drinkwaterbron) onder druk komen te staan, bijvoorbeeld door bedreigingen van nieuwe stoffen zoals medicijnresten in het water. Ook de energietransitie kan gevolgen hebben voor de grondwaterkwaliteit, met het toenemende gebruik van warmte-/koudeopslag (WKO) en mogelijk aardwarmte.

Vitens heeft vergunning om jaarlijks circa 90 miljoen m³ grondwater te onttrekken voor de levering van drinkwater in de provincie Utrecht. Om ook in de toekomst voldoende drinkwater te kunnen leveren, moet de totale jaarlijkse vergunningscapaciteit tussen nu en 2040 met minimaal 13 miljoen m³ toenemen. Een deel hiervan, 10 miljoen m³ per jaar, is een gevolg van de stijgende drinkwatervraag door de bevolkingsgroei, vooral in de groeikernen Utrecht en Amersfoort. Daarnaast moet voor 3 miljoen m³ per jaar alternatieve vergunningen worden gevonden voor bestaande wincapaciteit op de locaties Doorn en Loosdrecht. De locatie Doorn, met een capaciteit 1,6 miljoen m³ per jaar, gaat sluiten. Deze ondiepe winning ligt in stedelijk gebied en de kwaliteit van het grondwater is hier lastig te beschermen. Op de locatie Loosdrecht verminderen we de vergunning met 1,5 miljoen m³ per jaar om ongewenste effecten op de natuur van de Oostelijke Vechtplassen te beperken.

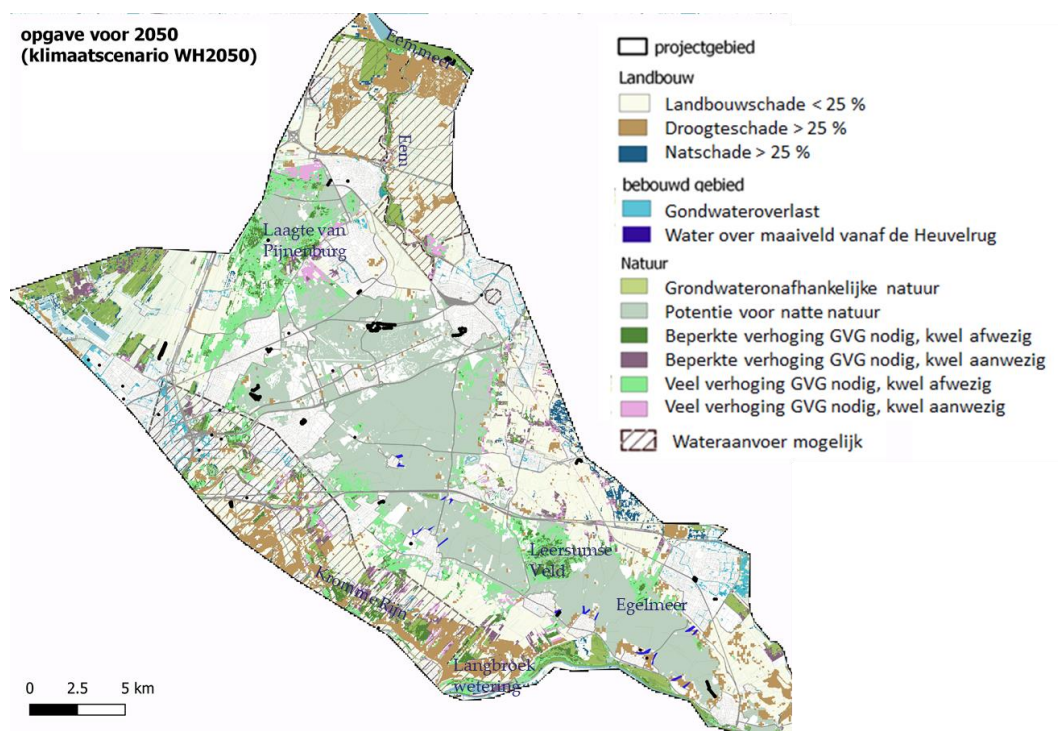
4.6 Samenvatting knelpuntenopgave

Voor de knelpuntenopgave is gekeken naar de functies natuur, landbouw, drinkwaterwinning en stedelijk gebied. Het onderzoek wijst uit dat deze functies op de Heuvelrug situatie diverse knelpunten kennen:

- Natuur op het plateau van de Heuvelrug. De natuur op het plateau is grondwateronafhankelijk. Langdurige droge voorjaar- en/of zomerperioden veroorzaken uitdroging van de onverzadigde zone, waardoor droogteschade optreedt. Terreinbeherende organisaties geven aan dat droogteschade als gevolg van langdurige droogte, uitdroging van de bodem en hoge temperaturen na de recente droge zomers van 2018 t/m 2020 steeds zichtbaarder wordt;
- Slechts beperkte delen van de voet en de flank van de Heuvelrug zijn qua grondwatersysteem nu geschikt voor de hoge natte natuurwaarden die meer geambieerd worden in de toekomst. De grondwaterstand is vaak te diep gelegen en een kwelflux beperkt zich tot de laagste delen van de beekdalen;
- Zowel droogteschade als natschade bij de landbouw treden op, afhankelijk van de lokale maaiveldhoogte, ontwateringsdiepte en de helling van het maaiveld. De landbouw is met name op de lage delen van de flank gelegen;

- Wateroverlast op het maaiveld in het stedelijke gebied treedt op bij hevige buien. Ook vormt afstromend water vanaf de Heuvelrug een knelpunt in de bovenstrooms gelegen gedeelten van het bebouwde gebied;
- De drinkwaterwinning kampt met een toenemende vraag voor de toekomst (+ 13 Mm³/jaar voor de Provincie Utrecht). Tevens zijn er zorgen over beïnvloeding van de waterkwaliteit bij de bronnen door persistente verontreinigingen, zoals PFAS op de lange termijn;
- De functies landbouw en natuur op de flanken (met name de zuidwestflank) liggen vanuit waterhuishoudkundig oogpunt te dicht bij elkaar, waardoor het lastig is de waterstand voor beide doeleinden te optimaliseren.

Figuur 27 geeft een overzichtskaart van de opgave weer. Om bovenstaande opgave te realiseren zijn 19 bouwstenen geformuleerd, waarbij opgemerkt wordt dat droogteschade bij de grondwateronafhankelijke natuur op het plateau zeer lastig te voorkomen is. Deze bouwstenen worden in het volgende hoofdstuk toegelicht en uitgewerkt. Een aandachtspunt is dat als gevolg van deze maatregelen geen nevenschade mag optreden aan andere functies (bv. extra nat of droogteschade bij landbouw en natuur grondwateroverlast in stedelijk gebied etc.).



Figuur 27. Gecombineerde opgave voor natuur, landbouw en bebouwd gebied.

Deze opgave is gebaseerd op modelresultaten. Uit bijlage A blijkt dat lokaal het model een afwijking kan hebben van de metingen (bv. in de laagte van Pijnenburg is het model 25-50 cm te droog). Gezien de nog geconstateerde opgave is geconcludeerd dat de kaart een redelijk overzicht van de opgave weergeeft.

5 Bouwstenen

5.1 Inleiding

Voor de visievorming van de Blauwe Agenda is bepaald welke bouwstenen kunnen bijdragen aan het robuust maken van het watersysteem van de Utrechtse Heuvelrug. De groslijst met bouwstenen die reeds in de offertefase is gedeeld, vormde hiervoor de basis. Deze bouwstenen zijn op basis van de systeemwerking en geconstateerde knelpunten en opgaven in overleg met de specialisten- en kerngroep aangescherpt.

De bouwsteenanalyse is uitgevoerd op basis van literatuur en berekeningen met het grondwatermodel Azure. In een aparte digitale bijlage zijn alle effectkaarten gebundeld weergegeven. Per bouwsteen is daarnaast een factsheet opgesteld (separaat document), waarin de belangrijkste achtergrondinformatie en modelresultaten zijn samengevat. Voor uitgebreide informatie over de bouwstenen wordt naar de factsheets verwezen. In dit hoofdstuk zijn de resultaten per bouwsteentype kort toegelicht.

5.2 Overzicht van de bouwstenen

In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de bouwstenen die in het voorliggende onderzoek zijn beschouwd. Binnen deze bouwstenen zijn diverse varianten onderzocht. In Bijlage E is een uitgebreider overzicht gegeven van de bouwstenen, inclusief de modelmatige implementatie van de bouwstenen.

Tabel 3. Overzicht van de bouwstenen die (modelmatig) zijn onderzocht.

Doel bouwsteen	Nr.	Bouwsteen
Water langer vasthouden	1	Peil- / bodemverhoging (sterk drainerende) watergangen
	1.1	In alle watergangen het peil, de bodemhoogte en of de drainagebasis met 30 cm verhogen
	1.2	Peil en bodemhoogte aan de voet van de heuvelrug (kwelgebieden) verhogen met 30 cm
	1.3	Peil en bodemhoogte op de flanken verhogen met 50 cm
	1.4	Peil en bodemhoogte de flanken verhogen met 50 cm op twee individuele locaties
	2	Dempen detailontwatering
	2.1	Dempen van drainerende watergangen op vier individuele locaties
Meer water infiltreren	3	Verloofen naaldbos in infiltratiegebied
	3.1	50% van het naaldbos op het plateau verloofen
	3.2	25% van het naaldbos op het plateau verloofen
	3.3	25% van het naaldbos omzetten naar droge natuur
	4	Afkoppelen stedelijk gebied in infiltratiegebied
	4.1	100% afkoppelen van (en infiltreren in) stedelijk gebied op het plateau en de flank
	4.2	50% afkoppelen van (en infiltreren in) stedelijk gebied op het plateau en de flank
	5	Infiltreren rivierwater

Doel bouwsteen	Nr.	Bouwsteen
Integrale water-oplossingen	5.1	Infiltratie van 2 x 25 miljoen m ³ /jaar (putten op 2 locaties)
	5.2	Infiltratie van 5 x 10 miljoen m ³ /jaar (putten op 5 locaties)
	6	Inzet effluent RWZI's
	6.1	Infiltratie van 2.5 miljoen m ³ /jaar ten westen van Soest
	6.2	Infiltratie van 2.5 miljoen m ³ /jaar ten zuidwesten van Veenendaal
	7	Permanent beregeningsverbod
	7.1	Geen beregening vanuit grondwater
	8	Piekbuien (tot T=5) bergen in natuur om wateroverlast te voorkomen in stedelijk gebied
	8.1	Infiltratie van piekbui in ondergrond bij Amerongen
	9	Gedeeltelijke vervanging drinkwater uit grondwater door oppervlaktewater
	9.1	Alle drinkwater- en industriële winningen op de flank en het plateau 15% (4.5 Mm ³ /j) beperken (over alle onttrekkingslocaties)
	9.2	Totale drinkwater- en industriële winningen 15% beperken door de drinkwaterwinning bij Soestduin te reduceren met (4.5 Mm ³ /j)
	9.3	Op één locatie een extra drinkwaterwinning plaatsen met een debiet van (4.5 Mm ³ /j)
	11	bouwstenen zonder modelverbetering
Schoner water	11.1	Kansen op verbeteren oppervlakte- en grondwaterkwaliteit
	11.2	Verbeteren bodemstructuur en de impact van specifieke teelten

5.3 Effect van de bouwstenen

Met uitzondering van de mogelijkheden om de oppervlakte- en grondwaterkwaliteit te verbeteren (bouwsteen 11), zijn alle bouwstenen met het AZURE model doorerekend en de effecten gekwantificeerd. Het effect van de bouwstenen is weergegeven op ruimtelijke kaarten, waarbij o.a. is gekeken naar het effect op:

- het grondwatersysteem (grondwaterstand, stijghoogte en stromingsfluxen);
- natuur;
- landbouw;
- stedelijk gebied.

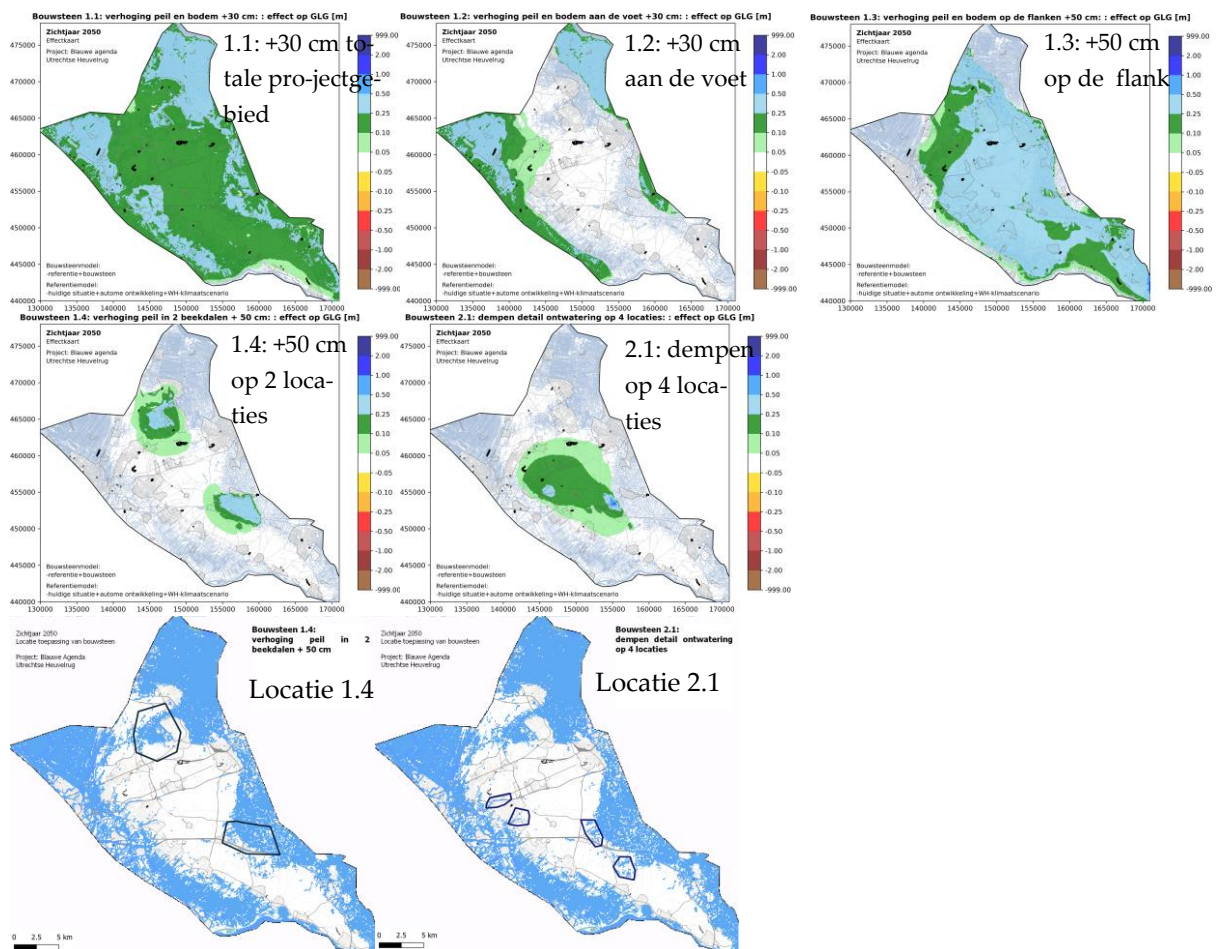
De kaarten zijn als digitale bijlage aan dit rapport toegevoegd en zijn waar relevant ook opgenomen in de factsheets. De mogelijkheden voor het verbeteren van de oppervlakte- en grondwaterkwaliteit zijn kwalitatief beschreven.

Per bouwsteen zijn hieronder de resultaten samengevat. Van de modelberekeningen is steeds ter illustratie het effect van iedere bouwsteen op de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) gepresenteerd alsmede de locatie waar de maatregel is ingevoerd in het model als dit uit de tekst niet blijkt.

5.3.1 Water langer vasthouden

Verhogen peil en bodemniveau of dempen detailontwatering (bouwstenen 1 en 2)

Door het peil in en het bodemniveau van watergangen met enkele decimeters (30 of 50 cm) te verhogen of detailontwatering als beken en sprengen te dempen, worden de uitstroom van grondwater en de afstroom via het oppervlaktewater beperkt. Hierdoor stijgt de grondwaterstand en wordt meer (grond)water in het systeem geborgen.



Figuur 28. Effect van de bouwstenen 1.1 t/m 2.1 op de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) en de locaties waar bouwsteen 1.4 en 2.1 zijn uitgevoerd. De locaties van bouwstenen 1.1 t/m 1.3 komen overeen met de grenzen in Figuur 6.

Als gevolg van het verhogen van het peil en bodemhoogte stijgt de grondwaterstand op de locaties waar de bouwsteen wordt uitgevoerd, zie Figuur 28. Hoe intensiever het oppervlaktewatersysteem lokaal is, hoe meer de grondwaterstandverhoging overeen komt met de mate van peilverhoging (dus overeenkomt met een verhoging van 30 of 50 cm afhankelijk van het scenario). De belangrijkste bevindingen zijn als volgt:

- De locatie van de peil- en bodemverhoging en de intensiteit van het oppervlaktewatersysteem zijn bepalend voor het uiteindelijke effectgebied;
- Het aanpassen van het peil op de voet van de Heuvelrug leidt niet tot een verhoging van de grondwaterstand op de flank, alleen tot een toename van de afvoer (kwelflux) onderaan de flank;

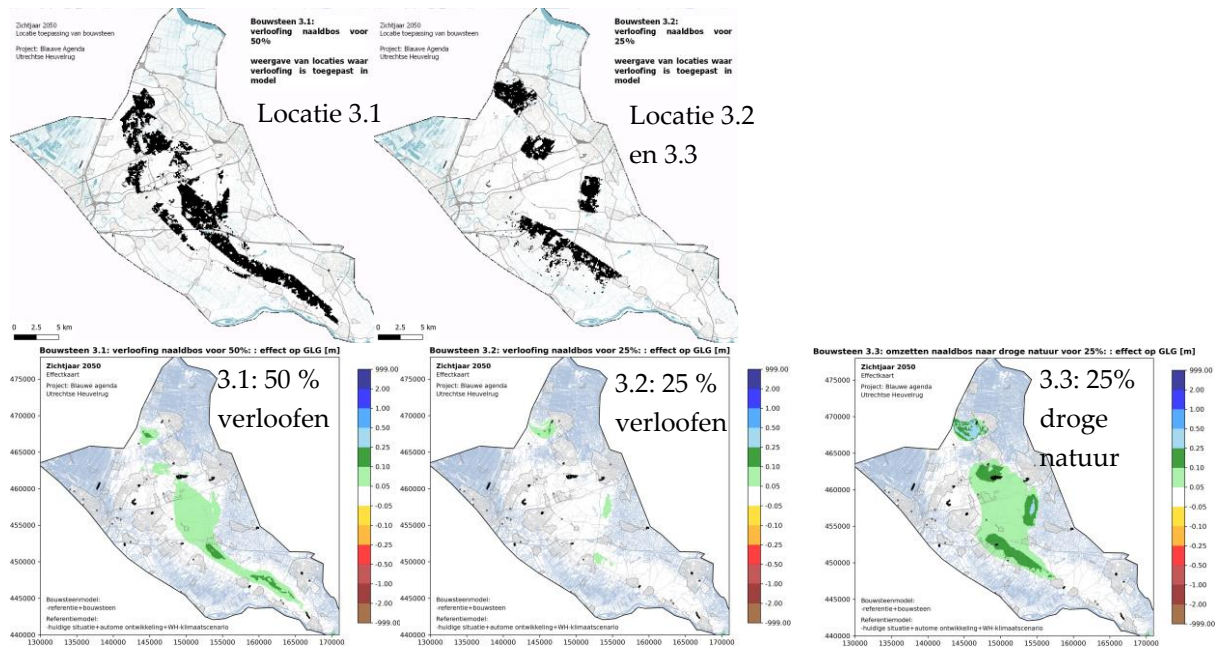
- Het effect, van de peilverhoging op de flank, op de grondwaterstand strekt zich echter uit tot de gehele Heuvelrug, omdat op de top vrijwel geen oppervlaktewater aanwezig is en daardoor geen dempend effect optreedt. Ook levert de hogere grondwaterstand op de flank een extra afvoer (kwelflux) aan de voet op;
- Indien de bouwsteen alleen lokaal wordt uitgevoerd (bijv. bouwsteen 1.4), is ter plaatse van de bouwsteen het effect op de grondwaterstand eenzelfde orde van grootte.

Als gevolg van het verhogen van het waterpeil of het dempen van detailontwatering neemt de kwelflux ter plaatse af. Hoe kleinschaliger de bouwsteen wordt uitgevoerd, hoe sterker de kwelflux wordt weggedrukt. Ter plaatse van natuurgebieden met kwelafhankelijke natuurwaarden is het daarom noodzakelijk om aanvullend de detailinrichting van het gebied ook aan te passen (bv. gericht maaiveld afplaggen, greppels aanleggen etc.), zodat er wel een kwelflux op deze locaties blijft behouden of juist wordt geïntensiveerd. Deze maatregel wordt uitgevoerd aan de voet en/of de flanken van de Heuvelrug en heeft daarom effect op de functies die daar gelegen zijn. Op de flank komen de functies natuur en landbouw vaak naast elkaar voor, het optimaliseren van de waterstand voor beide doeleinden is wellicht niet overal realiseerbaar. In toekomstige RO-ontwikkelingen kan het gebruik mogelijk worden geoptimaliseerd of kunnen bufferzones tussen de functies worden ingericht om zodoende het systeem robuuster in te richten.

5.3.2 Meer water infiltreren

Verloofen naaldbos of omzetten naar droge natuur (bouwsteen 3)

Door de naaldbossen om te zetten naar loofbossen of droge natuur, treedt jaarrond minder verdamping op en infiltreert meer water naar het grondwatersysteem. Tevens past verlooping binnen het beleid van de Provincie, zoals onder andere verwoord in de bosstrategie, om meer diversiteit te creëren, en zo bomen minder vatbaar voor ziektes te maken. Op de flanken en het plateau is circa 5 km² naaldbos aanwezig volgens de LGN-kaart in het Azuremodel.



Figuur 29. Locatie van de bouwstenen en effect van de bouwstenen 3.1 t/m 3.3 op de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG).

Het verlooping van naaldbos leidt tot een beperkte verhoging van de grondwaterstand, zie Figuur 29. Bij 50% verlooping stijgt de gemiddelde hoogste grondwaterstand met 5 tot 25 cm en de gemiddelde laagste grondwaterstand met 5 tot 12 cm. Het effectgebied wordt op de flanken gedempt door het vaste drainageniveau van het oppervlaktewatersysteem. Omdat de meeste functies met een knelpunt juist op de flank liggen, heeft de bouwsteen een geringe impact op de functies. Dat de impact in de zomerperiode geringer is, komt doordat loofbossen jaarrond wel minder verdampen, maar in het groeiseizoen juist meer verdampen dan naaldbossen. Indien verlooping lokaal wordt toegepast (bouwsteen 3.2) is de stijging van de gemiddelde laagste grondwaterstand geringer (tot zeer lokaal 10 cm). De omzetting van naaldbos naar droge natuur leidt tot een grotere grondwateraanvulling, omdat deze vegetatie minder verdampt.

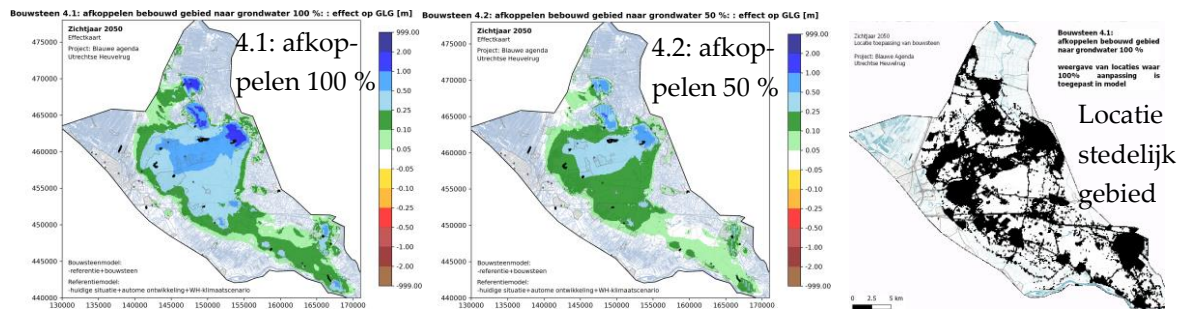
De maatregel is beperkt geschikt om lokaal extra grondwateraanvulling te creëren, waarbij de omzetting naar droge natuur effectiever blijkt dan verlooping. Omzetting naar droge zandgrond zal nog effectiever zijn. Hierbij wordt ook opgemerkt dat niet alle uniforme naaldbossen in aanmerking komen voor verlooping, omdat deze habitattypen op zichzelf ook natuurwaarde hebben (o.a. vanwege unieke paddenstoelenflora en vogels).

Afkoppelen stedelijk gebied in infiltratiegebied (bouwsteen 4)

Het afkoppelen van het stedelijk gebied naar het grondwater heeft meerdere doelen:

- 1 er vindt extra grondwateraanvulling plaats;
- 2 de piekafvoer naar de RWZI wordt verminderd, doordat een deel van het hemelwater niet zal afstromen naar de RWZI;
- 3 verminderen riooloverstorten;
- 4 afname wateroverlast als gevolg van de verminderde riooloverstorten.

De gemeente Utrechtse Heuvelrug geeft aan, dat deze ontwikkeling ook past binnen hun visie voor ontwikkelingen voor de komende decennia.



Figuur 30. Effect van de bouwstenen 4.1 en 4.2 op de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) en de locatie van het stedelijke gebied.

Op het plateau en de flanken is veel stedelijk gebied aanwezig (circa 7.5 km² op basis van het LGN in Azure), waardoor de bouwsteen, bij eventueel toekomstig beleid, een groot effectgebied zal beslaan. Het effect op de grondwaterstand strekt zich uit tot aan de flanken, waar het oppervlaktewatersysteem aanwezig is, zie Figuur 30. Op de flanken neemt de afvoer (kwelflux) toe. Het effect van het volledig afkoppelen naar het grondwater leidt in sterk verharde gebieden tot een grondwaterstandstijging van ca. 1 tot 1.5 m op het plateau. Het afkoppelen van de helft van het verhard oppervlak leidt tot een halvering van het effect. Of dit effect in werkelijkheid ook zal optreden, is afhankelijk van de praktijksituatie:

- In welke mate is het gebied nu al afgekoppeld? (in de modelanalyse is aangenomen dat er in de referentie nog geen afkoppeling plaatsvindt);
- Vindt in al het stedelijk gebied in de toekomst alleen afkoppeling plaats door infiltratie in de bodem? (en niet naar een bergbezinkbassin of oppervlaktewater om vervolgens alsnog naar de RWZI te stromen).

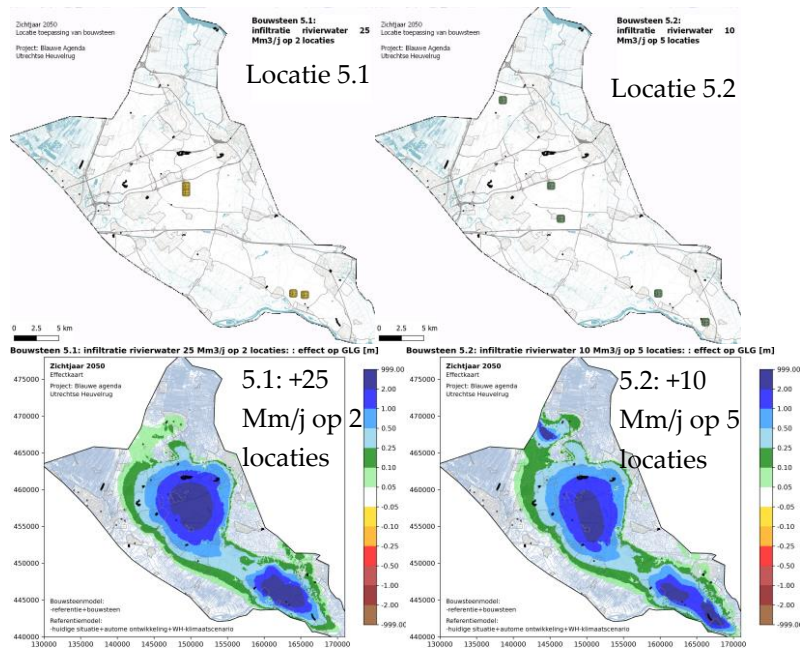
Een voorlopige inschatting o.b.v. het kerngroepoverleg is dat afkoppeling naar het grondwatersysteem in de huidige situatie beperkt plaatsvindt.

De berekende grondwaterstandstijging treedt echter maar beperkt op ter plaatse van natuurterreinen, hierdoor is de impact op natuur beperkt.

Op basis van deze regionale analyse, is het risico op natschade als gevolg van afkoppelen in het stedelijke gebied op de flanken beperkt. Het wordt wel aangeraden dit in een vervolgonderzoek nader te verifiëren. Daarnaast zal het afgekoppelde hemelwater minder schoon zijn dan hemelwater dat van nature infiltreert buiten het bebouwde gebied. Afkoppelkansen en risico's dienen in eventueel vervolg daarom gedetailleerder te worden beschouwd, ook op basis van het gebruik van het gebied en de aanwezige functies (drinkwater, natuur etc.). Het afkoppelen van hemelwater naar het grondwater is calamiteiten gevoelig (Ref. 34).

Infiltreren rivierwater (bouwsteen 5)

De infiltratie van 50 Mm³/j rivierwater heeft als doel het grondwatersysteem grootschalig aan te vullen. De 50 Mm³/j is gebaseerd op de onttrekking van alle winningen tezamen in het projectgebied.



Figuur 31. Locatie van de bouwstenen en effect van de bouwstenen 5.1 en 5.2 op de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG).

Om het water te kunnen infiltreren, is de infiltratie hoog op het plateau gepositioneerd, zie Figuur 31. De bouwsteen leidt tot grondwaterstand- en stijghoogteverhogingen op het hele plateau tot lokaal meer dan 2 meter. Het effect wordt op de flanken gedempt door de vaste drainagehoogte van het oppervlaktewatersysteem. Het meeste effect treedt daarom op het plateau op, waar het geen impact heeft op de functies. Door de grootschaligheid van de maatregel heeft deze maatregel wel invloed op de grondwaterstand aan de bovenkant van de flanken en op die locaties een positief effect op de mogelijkheden voor natte natuur. Op de flanken neemt de afvoer van het oppervlaktewatersysteem en de locaties met een kwelflux sterk toe. Het uitvoeren van deze bouwsteen middels twee of vijf kleinere infiltratielocaties leidt niet tot grote effectverschillen op de stijghoogte, zolang de infiltratie plaatsvindt hoog op het plateau.

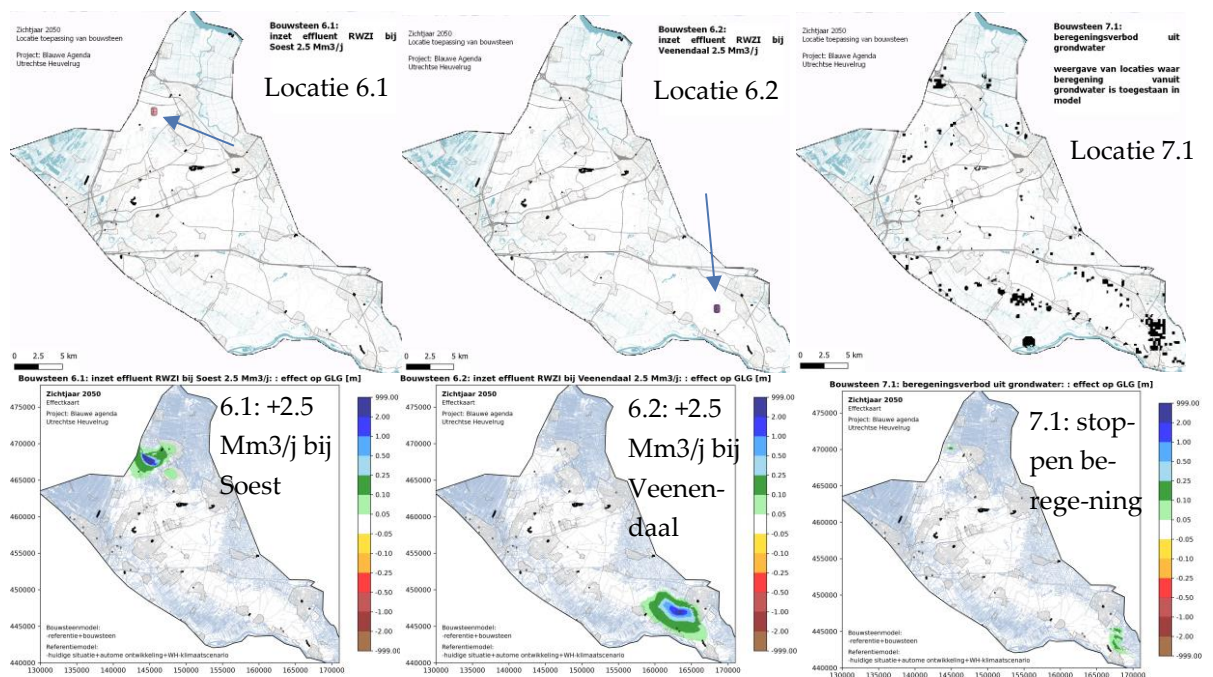
De toevoeging van gebiedsvreemd rivierwater aan het grondwatersysteem kan zorgen voor negatieve effecten op bepaalde natuurwaarden. Het kalkgehalte van het rivierwater is bv. hoger dan regenwater. Het is daarom nodig dat het rivierwater wordt gezuiverd. Zwerende stoffen en microverontreinigingen zoals landbouwgif, PFAS en medicijnresten moeten uit het water worden gefilterd. De leveringszekerheid is groot, wel kan bij kwaliteitscamiteiten of lage rivierafvoeren een innamestop worden ingelast. Het water moet van de rivier naar het plateau worden getransporteerd, dit kost geld en energie en vergt onderhoud en beheer.

5.3.3 Integrale wateroplossingen

Inzet effluent RWZI's (bouwsteen 6)

Het doel van infiltratie van RWZI water is om plaatselijk extra grondwateraanvulling te creëren, bv. ten behoeve van een functie, bv. natuur, landbouw of een lokale onttrekking. De beschikbare hoeveelheid is ingeschat op ongeveer 50 % van het totale debiet van de RWZI, circa 2.5 Mm³/jaar.

Het effect van deze bouwsteen is vergelijkbaar met bouwsteen 5, maar dan veel kleinschaliger, zie Figuur 32. De stijghoogte stijgt lokaal tot meer dan 2 meter, maar de uitstraling naar de omgeving is veel geringer (tot circa 500 meter). De infiltratielocaties (bij Soest en Veenendaal) zijn zo gekozen dat het geïnfilterde water zoveel mogelijk ten goede komt van natuurfuncties in de omgeving en zijn dus niet op het hoogste deel van de Heuvelrug gepositioneerd (waar veel ruimte is voor infiltratie). Rondom de infiltratielocaties op de flank treedt daarom plaatselijk vrijwel direct al lokaal grondwater uit. De plaatsing van de infiltratie in relatie tot de natuur, drinkwater of landbouwfuncties dient nadere uitwerking bij een eventueel vervolg.



Figuur 32. Locatie van de bouwstenen en effect van de bouwstenen 6.1, 6.2 en 7.1 op de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG).

Voordat infiltratie van RWZI-water kan plaatsvinden, is zeer robuuste zuivering van het rioolwater essentieel, wellicht met geavanceerde oxidatie, de zogenaamde 4^e zuiveringsstap om medicijnresten uit het water te verwijderen (Ref. 40). Er kunnen schommelingen in de waterkwaliteit optreden (bv. door drugsafval). Zelfs als de reiniging van 'toxische' stoffen adequaat is, betreft het gebiedsvreemd water met een chemische samenstelling die afwijkt van het gebiedseigen (regen)water. Veel typen natuur zijn gevoelig hiervoor. De levering van effluent is relatief constant, al kunnen wel dag- en nachtritmes en piekafvoeren bij hevige neerslag voorkomen. RWZI-water kan worden ingezet voor landbouw en

drinkwater (gebeurt in andere landen Ref. 40) en voor natuur (afhankelijk van de gestelde eisen).

Permanent beregeningsverbod uit grondwater (bouwsteen 7)

Het doel van een beregeningsverbod met grondwater is om extra verlaging van de grondwaterstand in de droge perioden (en uitstraling daarvan richting andere functies) te voorkomen.

In het model treedt beregening vanuit het grondwater maar beperkt op (zie Figuur 32), afhankelijk van het gewas en de locaties waar beregening in het model is toegestaan. Aangezien dit beperkt is toegestaan, is de verwachting dat het model het effect van het stopzetten van beregening enigszins onderschat. In de zuidoosthoek van het projectgebied, tussen Veenendaal en Rhenen, vindt op veel locaties beregening uit grondwater plaats. Door deze beregening modelmatig uit te zetten, wordt een verhoging van de gemiddelde laagste grondwaterstand berekend van 5 tot 20 cm. Dit effect treedt op in de droogste periode van het jaar, als droogteschade optreedt. Indien de functies landbouw en natte natuur naast elkaar gelegen zijn, kan deze maatregel ervoor zorgen dat de grondwaterstand net iets minder daalt in een droge periode bij het naastgelegen natuurterrein. Anderzijds kan droogteschade van de landbouw (bij stopzetten beregening) zorgen voor verminderde bodemkwaliteit door inactiviteit van micro-organismen (Ref. 19) en meer uitspoeling van nutriënten (Ref. 20) op de landbouwpercelen.

Infiltratie van piekbui in ondergrond bij Amerongen (bouwsteen 8)

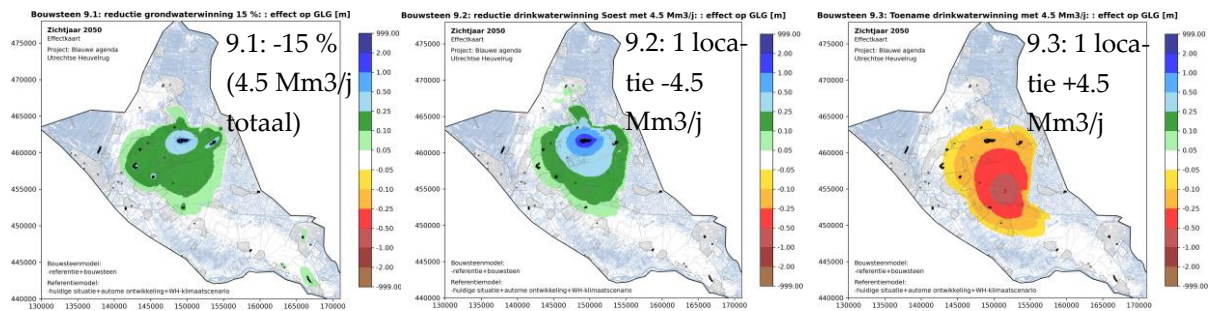
Deze bouwsteen dient twee doelen:

- 1 lokale grondwateraanvulling aan het grondwatersysteem;
- 2 voorkomen van wateroverlast door afstroming over maaiveld.

De bouwsteen is doorgerekend voor Amerongen. Nabij Amerongen stroomt vanuit twee bovenstroomse gebiedjes water over maaiveld naar het bebouwde gebied. Dit betreft een zeer lokale maatregel (17.500 m³ bij een bui die eens per 5 jaar valt) die op regionale schaal en de jaardynamiek geen effect heeft. Het ligt voor de hand om de infiltratie bovenstrooms van het stedelijke gebied te plaatsen, hierdoor is het wellicht lastig om de infiltratie zo te plaatsen dat er nog specifieke functies (zoals bv. natuur) baat hebben bij de grondwateraanvulling. Ook is er in droge perioden geen extra water beschikbaar voor infiltratie, tenzij een hevige bui valt. Alleen direct rondom de infiltratielocatie zal dan bv. natuur een positief effect ondervinden van de infiltratie. De kwaliteit van het afstromend water over maaiveld is gevoelig voor calamiteiten.

Gedeeltelijke vervanging drinkwater uit grondwater door oppervlaktewater (bouwsteen 9)

Door de grondwaterwinningen af te bouwen of uit te breiden, treedt respectievelijk een grondwaterstijging of -daling op. Het doel van deze bouwstenen is om de effecten van de onttrekkingen op het grondwatersysteem in beeld te brengen. Hiervoor is de winthoeveelheid gevarieerd met 15 % van de onttrekkingshoeveelheid van Vitens op de Heuvelrug (circa 4.5 Mm³/j).



Figuur 33. Effect van de bouwstenen 9.1 t/m 9.3 op de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG). De zwarte stippen geven de locaties van de winningen weer. Voor bouwsteen 9.2 en 9.3 geeft het effect goed weer waar de putten gepositioneerd zijn, die aangepast (9.2) of toegevoegd (9.3) zijn.

De effecten van de toe- en afname van grondwaterwinningen op het hydrologische systeem zijn vergelijkbaar met het effect van bouwsteen 5 (grootschalige infiltratie) en bouwsteen 6 (infiltratie van RWZI water). De grondwaterstand stijgt (afname van winning) of daalt (toename van winning) op het plateau en de bovenkant van de flank, zie Figuur 33. Nabij de winning die verandert, bedraagt het effect op de grondwaterstand circa 2 m. De effecten op het midden van de flank zijn beperkt waardoor de afvoer (gebied met een kwelflux) maar beperkt toeneemt. Met het gericht afbouwen van bepaalde winningen (bouwsteen 9.2) kan beter gestuurd worden op het effectgebied dan met bouwsteen 9.1, hierdoor kunnen eventuele positieve effecten op functies (natuur/ landbouw) beter gestuurd worden. Het effect van bouwsteen 9.3 is tegengesteld aan bouwsteen 9.2.

Bouwstenen zonder modelberekening (bouwsteen 11)

Om de oppervlakte- en grondwaterkwaliteit (bouwsteen 11.1) te verbeteren, is op basis van literatuuronderzoek bepaald welke bouwstenen beschikbaar zijn:

- Effectiviteit RWZI's vergroten;
- Atmosferische depositie van stikstof beperken, vooral rond droge gronden;
- Sluiten van nutriëntenkringloop in de landbouw om uitspoeling naar oppervlaktewater te verkleinen;
- Nutriënten (stikstof en fosfor) uit oppervlaktewater filteren, bijvoorbeeld door het gebruik van een Helofytenfilter.

Deze maatregelen zijn er met name op gericht om de waterkwaliteit voor natte natuurfuncties te bevorderen. Vaak zijn deze natuurwaarden gebaat bij voedselarm (kwel)water. De genoemde maatregelen zullen ook uitspoeling van verontreinigingen naar het grondwater verminderen en daardoor een positief effect hebben op de grondwaterkwaliteit bij de grondwaterwinningen.

Om water langer vast te houden rondom de wortelzone middels verbeteren bodemstructuur en specifieke teelten (bouwsteen 11.2) zijn drie bouwstenen beschouwd:

- Vruchtwisseling, groenbemesters en gewasresten: dit zijn met name bouwstenen die kunnen worden uitgevoerd op landbouwpercelen. De bouwstenen zijn erop gericht om het organisch stofgehalte in de bodem te verhogen waardoor het water langer beschikbaar blijft in de bodem.

- Grondbewerking: Door de bouwvoor minder te belasten met mechanische grondbewerking kan de bodemstructuur verbeteren: met gebruik van rijpaden, lichtere mechanisatie en niet kerende grondbewerking kan een positief effect op het bodemleven en aanwezige poriën worden gerealiseerd.
- Bemesting en structuurverbeteraars: Door meer organische meststoffen, zoals bijvoorbeeld compost, toe te passen zorg je voor: een snellere opwarming van de bodem, stabilisatie van de bodemstructuur, een grotere doorlatendheid, meer bodemleven, een groter waterbergend vermogen, een toename van de hoeveelheid sporenelementen, en een natuurlijke buffer tegen pH schommelingen. Voorbeelden van structuurverbeteraars zijn het toedienen van wormen, bekalking (voornamelijk plaats op zand-, zavel-, klei- en lössgrond met een lage kalkreserve) of bijvoorbeeld het toedienen van biochar.

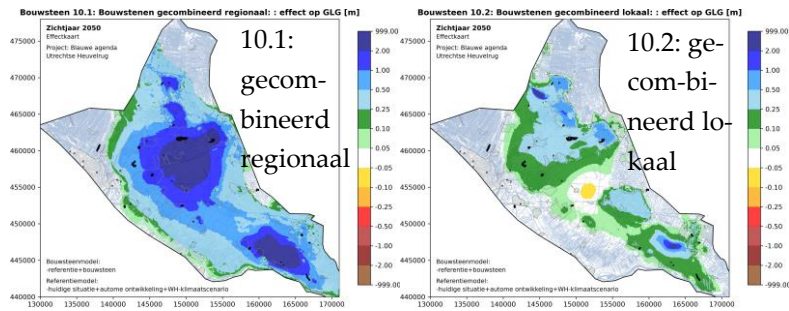
Deze bouwstenen zijn erop gericht om de bodem te verbeteren zodat de bodem van nature water makkelijker vasthoudt en beschikbaar houdt voor de vegetatie. Naast de landbouw kunnen deze bouwstenen tevens potentie bieden voor bepaalde planten/ bomen op landgoederen op het plateau, waar de vegetatie grondwateronafhankelijk is.

5.4 Combinatie van bouwstenen

Hoewel veel van de maatregelen tot een grondwaterstandverhoging leiden, blijft het (gunstige) effect op de functies beperkt. Dit komt omdat het water op de flanken direct weer uittreedt via het oppervlaktewatersysteem. Een combinatie van maatregelen is daarom gewenst, waarbij maatregelen voor de verhoging van de grondwaterstand (zoals infiltratie) worden gecombineerd met maatregelen die tevens de uit- en afstroom van oppervlakte- en grondwater beperken (zoals peil- en bodemverhoging). Daarom zijn in samenspraak met de specialisten- en kerngroep twee combinaties van maatregelen doorgerekend die elkaar versterken:

- 1 Een combinatie waarbij een ambitieuze regionale impact is nagestreefd:
 - a) Peil- en bodemverhoging op de flanken met 50 cm;
 - b) autonome ontwikkeling afkoppelen stedelijk gebied naar grondwater (100%);
 - c) extra drinkwateronttrekking van 4.5 M m³/j midden op de Heuvelrug;
 - d) Infiltratie van rivierwater op 2 locaties (in totaal 50 Mm³/j).
- 2 Een combinatie waarbij een realistische lokale impact is nagestreefd:
 - a) autonome ontwikkeling afkoppelen stedelijk gebied naar grondwater (50%);
 - b) lokale peil- en bodemverhoging op de flank met 50 cm;
 - c) lokale infiltratie van RWZI water bij Soest (2.5 Mm³/j) en Veenendaal (2.5 Mm³/j);
 - d) extra drinkwateronttrekking van 2.25 M m³ midden op de Heuvelrug.

Figuur 34 geeft een indruk van het effect van de gecombineerde bouwstenen weer. Zichtbaar is dat bouwsteen 10.1 op het plateau en op de flank tot grondwaterstandverhogingen leidt, waarbij ook de drinkwaterwinning extra grondwater kan onttrekken t.b.v. drinkwaterbereiding. Ook bouwsteen 10.2 leidt op lokale schaal tot grondwaterstandverhogingen, waarbij ook in deze variant extra water t.b.v. drinkwaterbereiding wordt onttrokken.



Figuur 34. Effect van de gecombineerde bouwstenen 10.1 en 10.2 op de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG).

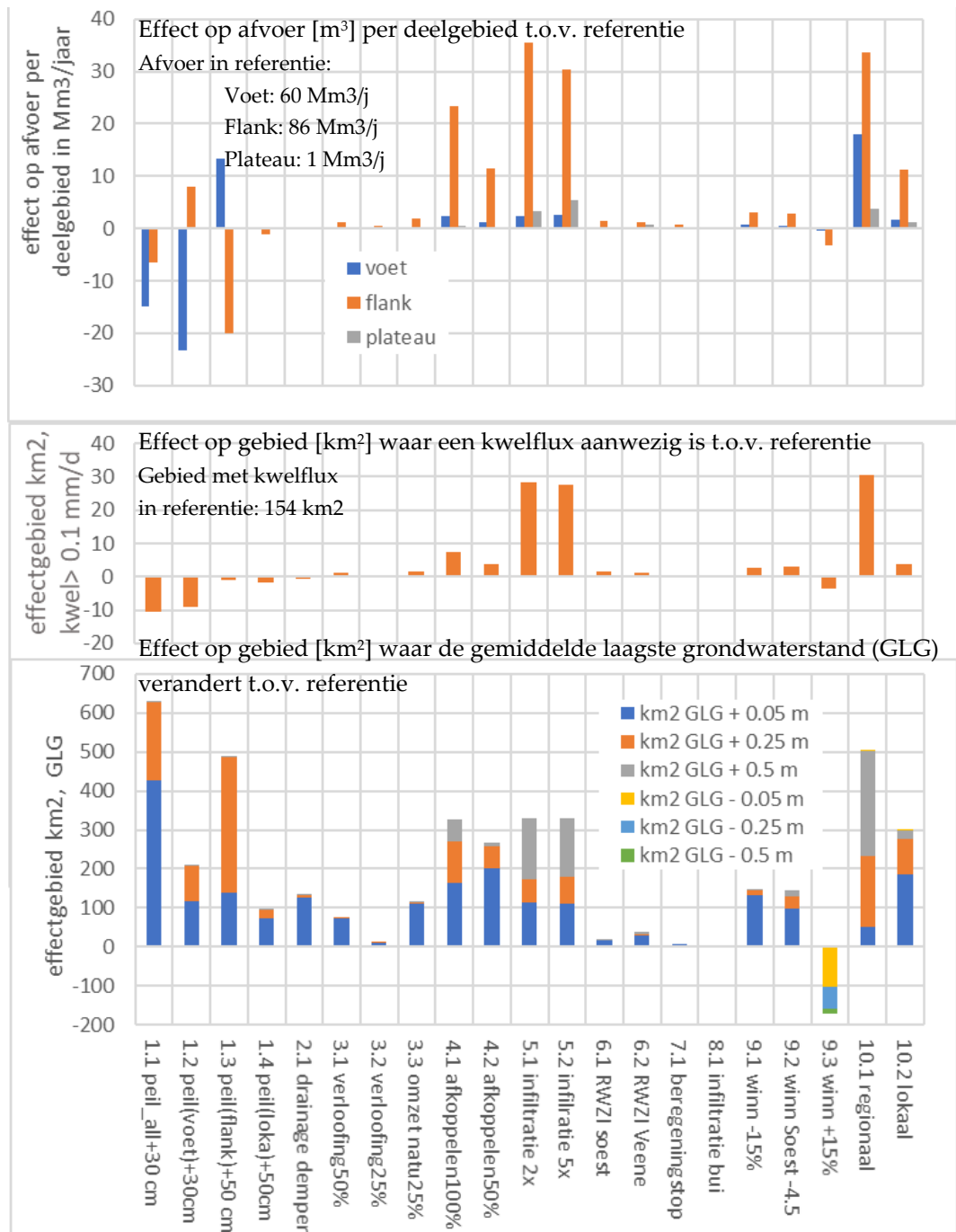
In par. 5.5 volgt een doorvertaling van de effecten van bouwstenen en gecombineerde bouwstenen op de functies.

5.5 Impact op functies

De onderzochte bouwstenen verschillen van elkaar in type maatregel, ingrijphoogte op het systeem (plateau, flank of voet) en schaalgrootte. Dit maakt het vergelijken van de bouwstenen qua impact op de functies niet eenduidig.

Figuur 35 geeft een overzicht van het effect van alle bouwstenen op het hydrologische systeem. Peil aanpassingen hebben met name invloed op de voet en op de flank van de Heuvelrug. Door peilverhoging neemt het gebied met een kwelflux af en neemt de afvoer af. De overige bouwstenen hebben met name invloed op de grondwaterstand op het plateau, waarbij de effecten soms uitstralen tot op de flank. Door grondwaterstandverhoging op het plateau neemt de kwelflux op de flank (en de afvoer) toe.

De bouwstenen verlooping, kleinschalige infiltratie (RWZI en opvangen piekbui) en stoppen van beregening hebben alleen lokaal een beperkt effect. Deze maatregelen zijn daarom beter geschikt om lokale knelpunten te verhelpen.



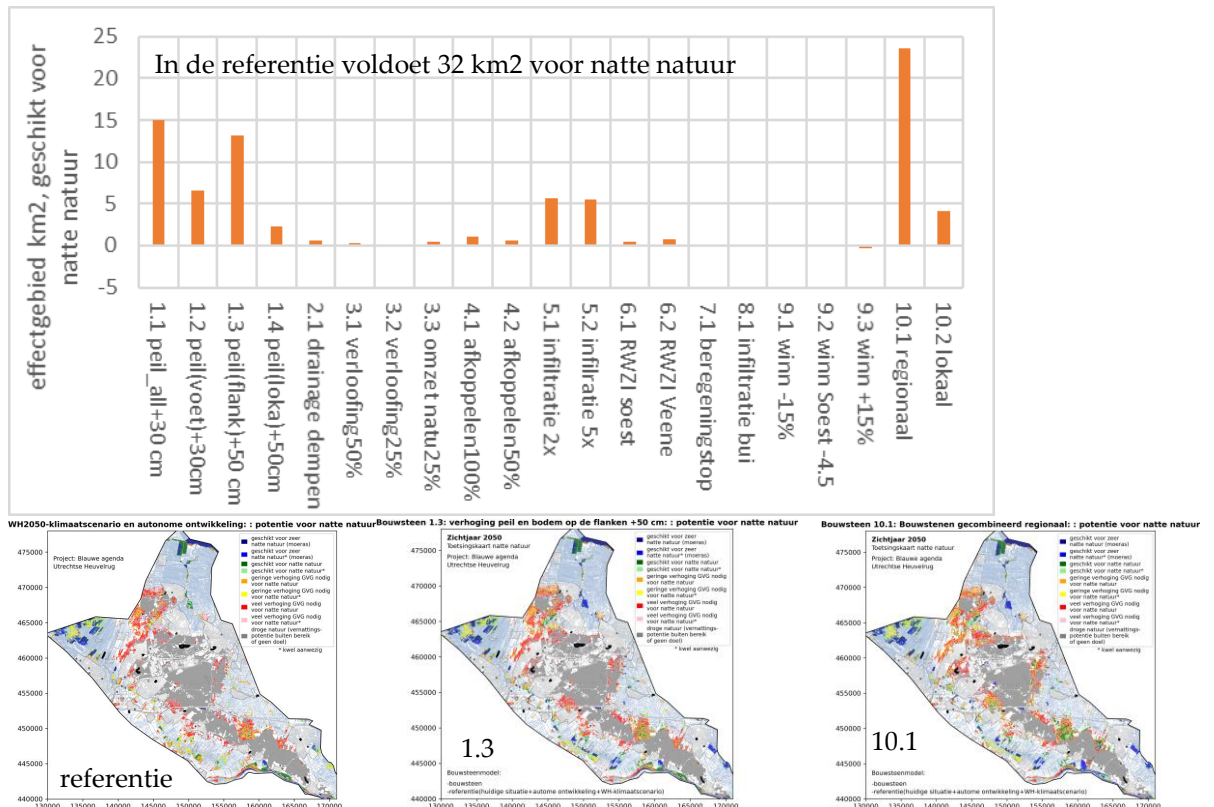
Figuur 35. Effect van de bouwstenen op het hydrologische systeem: de afvoer door het oppervlaktewatersysteem, het gebied waar een kwelflux aanwezig is en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG). In deze grafieken zit geen relatie met functies verwerkt.

5.5.1 Natuur

Natte (grondwateronafhankelijke) natuur heeft met name potentie aan de voet en op de flank van de Heuvelrug. In de referentie situatie voldoet volgens het grondwatermodel op ongeveer 32 km² de grondwatersituatie voor natte natuur binnen de natuurterreinen (NBP 2021). Niet overal heerst ook een kwelflux. Natte grondwaterafhankelijk natuur, heeft baat bij een ondiepe grondwaterstand en afhankelijk van het vegetatietype, een waterkwaliteit die doorgaans samenhangt met de aanwezigheid van kwelwater. Als gevolg van de

bouwstenen neemt de grondwaterstand op 0 tot 23 km² (bepaald binnen de natuurterreinen (NBP 2021) toe tot een niveau, die voldoet voor ontwikkeling voor natte natuurtypen, zie Figuur 36. Met name bouwstenen die effect hebben op de flank (ook aan de bovenkant van de flank) leiden tot een toename van mogelijkheden voor natte natuur, dit betreffen peilverhogingen en infiltratiesystemen die de grondwaterstand op de bovenkant van de flank beïnvloeden.

Uit Figuur 35 blijkt dat vooral de bouwstenen, waarbij de grondwaterstand op het plateau stijgt, leiden tot een groter gebied waar een kwelflux heerst en de afvoer toeneemt. Peil-aanpassingen leiden juist tot een afname van de kwelflux (en afvoer). Hierbij geldt ook hoe kleiner het gebied is waar maatregelen worden uitgevoerd, hoe meer de lokale kwelflux zal wegvallen door de peilverhoging van het oppervlaktewater. Dit pleit ervoor om juist gecombineerde maatregelen uit te voeren voor de ontwikkeling van natte natuur. Uit de resultaten van bouwstenen 10.1 en 10.2 blijkt dit ook: als gevolg van bouwsteen 10.1 (regionale combinatie) neemt het gebied met grondwaterstanden geschikt voor natte natuur meer toe dan de bouwstenen afzonderlijk bij elkaar opgeteld, namelijk 23 km² (dit is een 72% toename van het gebied met potentie voor natte natuur ten opzichte van de referentie). Daarnaast neemt het gebied, waar een kwelflux heerst, in het totale projectgebied ook toe en neemt de afvoer van het oppervlaktewatersysteem toe. De afvoer op de flank neemt toe met 34 Mm³/j, circa 40 % (119 Mm³/j in plaats van 86 Mm³/j in de referentie). Door dit afstromende water middels aanvullende maatregelen (maatwerk detailinrichting) ook deels beschikbaar te stellen voor bestaande natuur, kan een nog groter gebied met natuurwaarden profiteren.

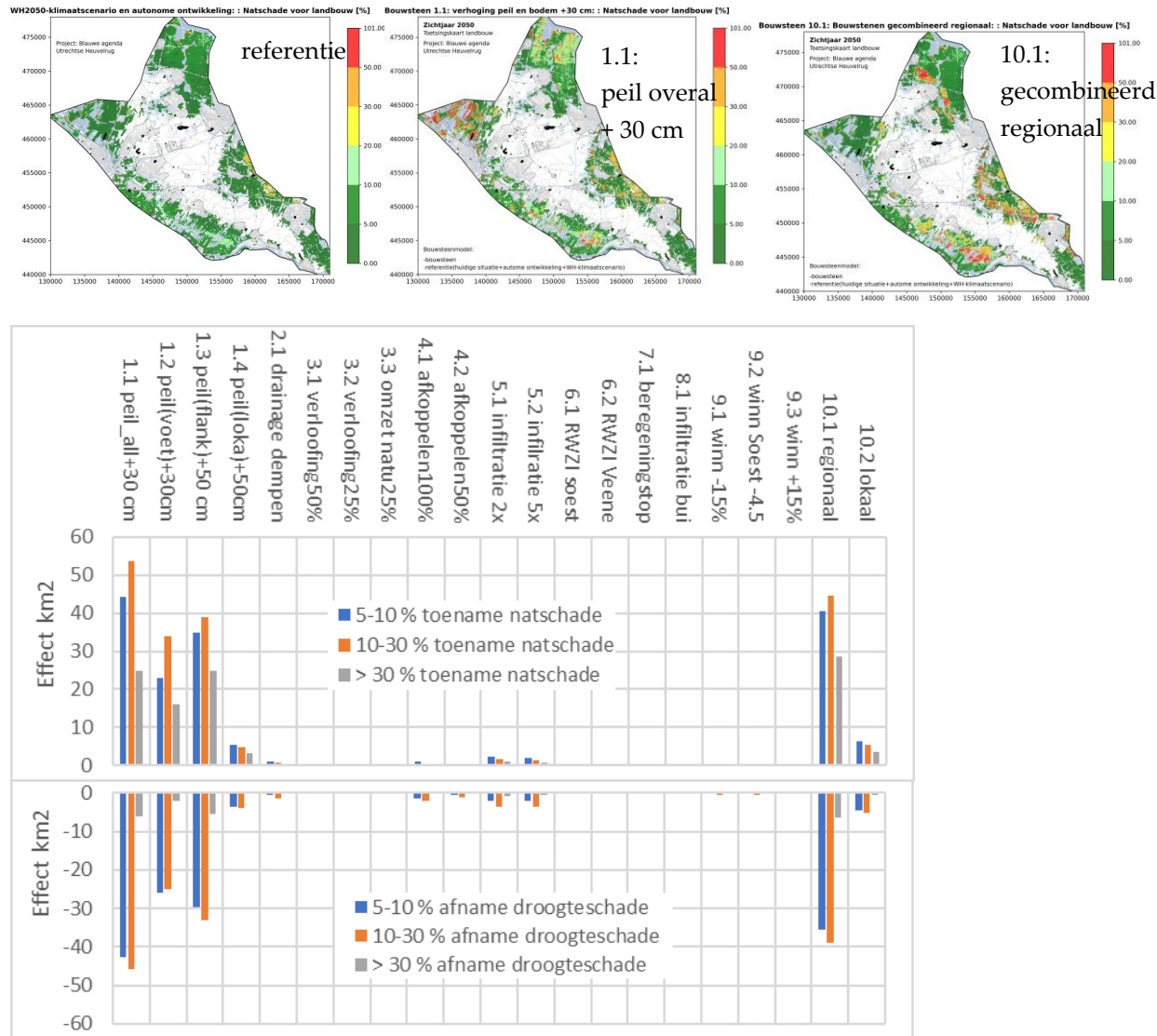


Figuur 36. Boven: effect van de bouwstenen op de grootte van het gebied dat geschikt is voor natte natuur (uitgedrukt in km²). Onder: effect op potentie voor natte natuur voor de referentie, bouwsteen 1.3 (flank peil + 50 cm) en 10.1 (regionale gecombineerde bouwstenen).

5.5.2 Landbouw

De landbouwgebieden zijn gelegen aan de voet en op de flank van de Heuvelrug. Veel van de bouwstenen hebben met name invloed op de grondwaterstand op het plateau en de bovenkant van de flank. Deze bouwstenen hebben daardoor weinig invloed op de nat- en droogteschade bij de landbouwgebieden.

Figuur 37 geeft het effect van alle bouwstenen op de nat- en droogteschade weer. Met name de bouwstenen met peilverhogingen aan de voet en op de flank hebben invloed op de landbouwgebieden. De natschade (in de winter) neemt onderaan de flank toe en de droogteschade (in de zomer) neemt daar af.



Figuur 37. Boven: grootte van het gebied waar droogte- dan wel natschade optreedt als gevolg van de bouwstenen. Onder: effect op natschade voor de referentie, bouwsteen 1.1 (gehele projectgebied peil en bodem plus 30 cm) en 10.1 (regionale gecombineerde bouwstenen).

Bouwsteen 10.1 (gecombineerde regionale maatregelen) leidt tot een versterkt effect op de nat- en droogteschade. De combinatie met de realistische maatregelen (bouwsteen 10.2) leidt in vergelijking tot de afzonderlijke maatregelen tot een beperkte toename van de natschade en afname van de droogteschade. Door nog meer locatiespecifieke maatregelen in combinatie met lokale detailinrichting en ontwaterings- en afwateringsmaatregelen is naar verwachting een optimalisatie van de maatregelen mogelijk.

Voor landbouwgebieden is natschade doorgaans problematischer. Droogteschade kan soms gemitigeerd worden door beregning vanuit het oppervlaktewater of grondwater. De gebieden waar droogteschade wordt berekend, liggen met name op locaties waar beregning vanuit oppervlaktewater is toegestaan. Daarnaast wordt deels droogteschade in de referentie situatie (en afname van droogteschade als gevolg van een bouwsteen) berekend op locaties met zware kleigronden en ondiepe grondwaterstanden. Uit Ref. 11 blijkt dat het WWL instrument de schade (en de beperking van de schade) hier lokaal overschat.

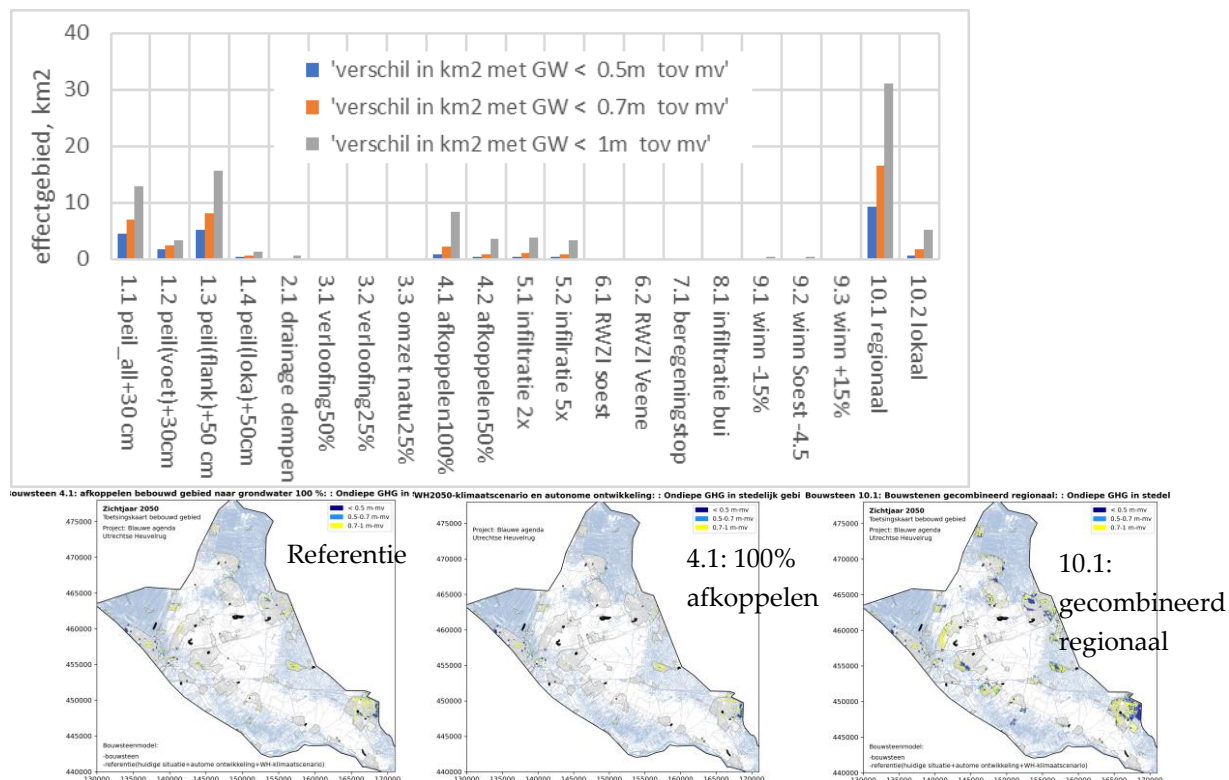
Mogelijke mitigatie-/ of adaptatiemaatregelen zijn: het creëren van bufferzones, lokale optimalisatie van het peil en bodemhoogte, aanleg drainage, afstemming gewas en bedrijfsvoering op nattere omstandigheden.

5.5.3 Stedelijk gebied

Het stedelijk gebied is aanwezig aan de voet, op de flank en op het plateau. Omdat de grondwaterstand op het plateau diep onder maaiveld staat, treedt hier, zelfs ondanks enkele bouwstenen met grootschalige maatregelen op het plateau, nagenoeg geen extra risico op grondwateroverlast op.

Als gevolg van het afkoppelen van hemelwater naar het grondwater (toegepast op plateau en de flank) treedt lokaal op de flank wel een toename van het risico op. Door peilaanpassingen, welke juist aan de voet en op de flank plaatsvinden (met relatief ondiepe grondwaterstanden), neemt het risico op wateroverlast daar het meeste toe.

Door de combinatie van bouwstenen op regionaal niveau (bouwsteen 10.1) worden de effecten van afkoppelen, peilaanpassingen en extra druk vanaf het plateau gecombineerd, waardoor het effect groter is dan de losse bouwstenen apart. Door de combinatie meer lokaal uit te voeren (10.2) blijkt dat sturing hierin wel goed mogelijk is.



Figuur 38. Boven: grootte van het gebied waar als gevolg van bouwstenen risico op grondwateroverlast (als gevolg van hoge grondwaterstanden) optreedt. Onder: effect op stedelijk gebied voor de referentie, bouwsteen 4.1 (100 % afkoppelen) en 10.1 (regionale gecombineerde bouwstenen).

5.6 Samenvattend

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de onderzochte bouwstenen, de impact op het systeem en de functies en een indicatie waar de bouwsteen toepasbaar is.

bouwsteen	effect op grondwa- terstand > 0.25 m [km2]	kwelflux aanwe- zig [km2]	geschikt voor natte natuur [km2]	drinkwa- terwin- ning [Mm3/j]	land- bouw droogte- natscha- de > 10 % [km2]	landbouw droogte- schade > 10 % [km2]	Stedelijk grondwa- ter < 0.7 m-mv [km2]			
Absolute hoeveelheid										
Referentie	154.3	32.5	39	19.9	154.8	6.1				
Verandering van hoeveelheid t.o.v. referentie								toepasbaarheid	bijkomend doel	opgave blauwe Agenda
1 peil en bodemhoogteaanpassingen								Op voet en flank, leidt tot afname van kwel bij maatregel	nvt	water vasthouden
1.1 In hele projectgebied +30 cm	199	-11	15	0	78	52	7			
1.2 Aan de voet +30cm	90	-9	7	0	50	27	3			
1.3 Op de flank en het plateau +50 cm	348	-1	13	0	64	39	8			
1.4 2 stroomgebieden +50cm	23	-2	2	0	8	4	1			
2 drainage dempen bovenkant van de flank										
2.1 drainage dempen	5	-0.5	1	0	1	1	0			
3 Verloofen van naaldbos in infiltratiegebied								direct bij functies, beperkt effect	toename diversiteit bomen, leidt tot afname ziektes	integrale oplossing en water infiltreren
3.1 verloofing 50%	0	1	0	0	0	0	0			
3.2 verloofing 25%	0	0.5	0	0	0	0	0			
3.3 omzet naaldbos naar natuur 25%	5	1	0	0	0	0	0			
4 Afkoppelen stedelijk gebied in infiltratiegebied								stedelijk gebied met genoeg ontwateringsdiepte	afname druk op RWZI en wateroverlast op straat	integrale oplossing en water infiltreren
4.1 afkoppelen 100%	160	8	1	0	1	2	2			
4.2 afkoppelen 50%	67	4	1	0	0	1	1			
Infiltreren rivierwater								op plateau, op afstand van de flank	ruimte extra winning en dynamische sturing	water infiltreren
5.1 infiltratie 2 locaties (2 x 25 Mm3/j)	214	28	6	0	3	4	1			
5.2 infiltratie 5 locaties (5 x 10 Mm3/j)	221	28	5	0	2	4	1			
6 Inzet effluent RWZI's								direct bij functies, vanwege beperkt effectgebied	toename hergebruik van water	integrale oplossing en water infiltreren
6.1 RWZI soest (2.5 Mm3/j)	3	2	0	0	0	0	0			
6.2 RWZI Veenendaal (2.5 Mm3/j)	10	1	1	0	0	0	0			
7 Permanent beregeningsverbod vanuit grondwater								ter plaatse van beregening	nvt	water vasthouden
7.1 beregeningstop in projectgebied	0	0	0	0	0	0	0			
8 Plekbuien (tot T=5) bergen in natuur om wateroverlast te voorkomen in stedelijk gebied								onderaan stroomgebied/ bij functies	afname wateroverlast	integrale oplossing
8.1 infiltratie bui t = 5	0	0	0	0	0	0	0			
9 Gedeeltelijke vervanging drinkwater uit grondwater door oppervlaktewater								bovenop plateau, niet bij de flank	nvt	integrale oplossing
9.1 winningen op flank/ plateau -15% (-4.5 Mm3/j)	14	3	0	-4.5	0	0	0			
9.2 afname winning Soest (-4.5 Mm3/j)	48	3	0	-4.5	0	0	0			
9.3 nw winning +4.5 Mm3/j midden op plateau	-55	-4	0	+4.5	0	0	0			
10 gecombineerde bouwstenen								combinatie water vasthouden en toename infiltratie	ruimte extra winning en dynamische sturing	integraal, water vasthouden en infiltreren
10.1 regionaal (1.3, 4.1, 5.1, 9.3)	452	30	24	+4.5	73	45	17			
10.2 lokaal (1.4, 4.2, 6.1, 6.2, 9.3 à +2.25 Mm3/j)	113	4	4	+2.25	9	6	2			
11 Bouwstenen zonder modeberekening										
11.1 oppervlaktewater- en grondwaterkwaliteit verbeteren			+	+				schoner water vasthouden water		schoner water vasthouden
11.2 Verbeteren bodemstructuur en specifieke teelten			+				+	ook inzetbaar op plateau		water vasthouden

De kleurgrenzen zijn gesteld op effect > 2 km² (gering effect, lichte kleur) en > 10 km² (groot effect, donkere kleur).

Groen betekent een positief effect en oranje betekent een negatief effect. Uit Ref. 11 blijkt dat het WWL instrument de schade (en de beperking van de schade) lokaal op de zware kleigronden overschat.

6 Synthese

6.1 Inleiding

Om de impact van deze droge jaren op het grondwatersysteem te duiden, zijn langjarige stijghoogtereeksen visueel beoordeeld in relatie tot de dynamiek in neerslag en verdamping. Hieruit blijkt dat het grondwatersysteem op het plateau van de Heuvelrug traag reageert op variatie in de neerslag en verdamping. Een enkel droog jaar heeft daarom geringe impact op de stijghoogte op het plateau van de Heuvelrug. Op basis van de geïnspecteerde reeksen, lijkt het systeem evenwel in balans, van systematisch 'leeglopen' van de Heuvelrug over de jaren lijkt geen sprake. Om kleine trends daadwerkelijk statistisch vast te kunnen stellen is trendanalyse nodig, dit valt buiten de scope van dit project.

Klimaatscenario's wijzen uit dat de neerslag jaarrond gemiddeld toeneemt. Hierdoor stijgen jaarrond gemiddeld de grondwaterstanden, maar ook treden er meer extremen op, zoals heviger neerslag in de winter, drogere voorjaren en afhankelijk van het klimaatscenario ook drogere zomerperioden. De extremen nemen toe en de temporele verschillen (zowel binnen als tussen jaren) worden groter. Relevante ruimtelijke en temporele verschillen zijn van grote invloed op de systeemwerking van de Heuvelrug en de potentie van de bouwstenen (par. 6.2 en par. 6.3).

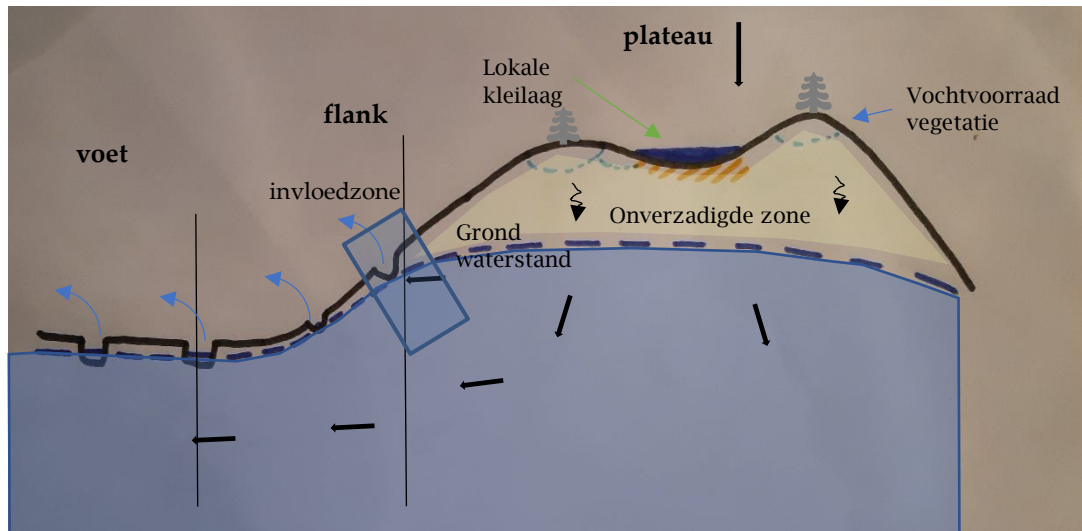
6.2 Ruimtelijke karakteristieken Heuvelrug

De Heuvelrug is ingedeeld in drie zones, de voet (oppervlaktewatersysteem gestuurd), de flank (aflopend maaiveld waar beken ontspringen) en het plateau (diepe grondwaterstand en weinig oppervlaktewater), zie Figuur 39.

Plateau

Het grondwatersysteem op het plateau is te beïnvloeden door bouwstenen die infiltratie bevorderen (infiltratie van water, afkoppelen stedelijk gebied, aanpassingen aan winningen) of door de afvoer op de flank te verminderen. Als gevolg van genoemde bouwstenen stijgt de grondwaterstand en de stijghoogte en neemt in de meeste gevallen de afvoer op de flank toe. Met de bouwstenen kan het grondwater worden aangevuld, zodat de grondwatersituatie jaarrond 'op orde' is. Aanvulling van het grondwatersysteem via de onverzadigde zone gaat echter langzaam (orde van grootte maanden in plaats van dagen) en dit zal ook gelden voor de doorwerking van de meeste bouwstenen.

Doordat de grondwaterstand op het plateau van de Heuvelrug echter diep onder maaiveld is gelegen, is er geen grondwaterafhankelijke natuur aanwezig. De natuur op het plateau staat niet in contact met het grondwatersysteem, maar met de onverzadigde zone en ondervindt problemen bij langdurige droogte, omdat de vochtvoorraad in de onverzadigde zone op raakt. Het grondwatersysteem is niet zodanig te sturen dat deze grondwateronafhankelijke natuur daar voordeel van ondervindt en vraagt daarom andere maatregelen dan hydrologische maatregelen (bijv. in de vorm van meer adaptieve maatregelen).



Figuur 39. Schematische weergave van de werking van de Heuvelrug en de smalle zone waarbinnen de grondwaterstand binnen het bereik van gewas en vegetatie ligt na een grondwaterstandstijging als gevolg van bouwstenen.

Flank

Op de flanken hebben grondwaterstandverhogingen wél direct effect op de aanwezige functies (natuur, landbouw en stedelijk gebied). Op deze locaties is de grondwaterstand relatief ondiep en komen grondwaterafhankelijk functies voor die direct door de grondwaterstand worden beïnvloed. Het water wordt op deze locaties echter direct weer afgevoerd door het aanwezige oppervlaktewatersysteem. Door deze dempende werking blijft de uiteindelijke grondwaterstandverhoging op de flanken beperkt.

De grondwaterstand op de flank is te sturen door peilaanpassingen en/of bodemverhogingen. Op de flank komt natuur naast landbouw voor. De grondwaterstandverhoging is voor de mogelijkheden van natte natuur vaak in alle gevallen gunstig, maar voor landbouw levert dit naast een afname van droogteschade een toename van de kans op nat-schade. De afvoer (kwelflux) op de flank is te sturen door infiltratie op het plateau (en de flank). Door de afvoer alsnog middels detailinrichting (greppels, stuwtjes etc.) te benutten op de flank, kunnen deze bouwstenen wellicht toch (ten dele) ten gunste komen voor specifieke natuurlocaties. Dit vraagt om meer dynamische sturing van de peilen (flexibel peilbeheer), namelijk vasthouden voorafgaand aan droge perioden en afvoeren in natte perioden (slim grondwatermanagement).

Voet

Alleen grootschalige maatregelen op de flank en het plateau van de Heuvelrug hebben invloed op het grondwatersysteem aan de voet van de Heuvelrug. Door grootschalige infiltratie op de Heuvelrug neemt de afvoer (kwel) aan de voet toe. Peilaanpassingen aan de voet en op de flank werken direct door in het grondwatersysteem.

6.3 Temporele dynamiek Heuvelrug

Het grondwatersysteem op de Utrechtse Heuvelrug is niet statisch, het varieert in de tijd. Zo zijn er in het verleden meerdere droge jaren opgetreden waarin de grondwaterstand en de afvoer in de beken (veel) lager is dan gemiddeld. Het is de vraag of met het toenemen van extremen ook de kans op droge voorjaren en de opeenvolging van droge jaren toeneemt en wat het effect van (opeenvolgende) droge zomer(s) is op het grondwatersysteem. Hoewel de klimaatscenario's uitwijzen dat jaarrond de gemiddelde grondwateraanvulling toeneemt, geeft Ref. 23 aan dat de kans op neerslagtekort in de maanden april en mei en de zomer zal toenemen. Processen op de Heuvelrug zijn traag, de aanvulling van het grondwatersysteem na een droog jaar hoeft (en kan) niet altijd direct te worden gerealiseerd, maar kan bijvoorbeeld plaatsvinden in de opeenvolgende winter. De winterperiode geeft bovendien ruimte voor een toekomstig handelingsperspectief (par. 6.4) door bijvoorbeeld het vullen van buffers, infiltratie, eventuele variatie in drinkwateronttrekking en wellicht het benutten van hoge rivierwaterstanden.

6.4 Handelingsperspectief

Gemiddeld genomen functioneert het systeem goed, evenwel kunnen een droog jaar of een opeenvolging van droge jaren tot grondwatertekorten en schade leiden. Belangrijke vraag is wat hiervan de precieze effecten zijn en welke sturingsmogelijkheden er zijn.

Uit het onderzoek blijkt dat met de bouwstenen het grondwatersysteem van de Utrechtse Heuvelrug kan worden beïnvloed, maar dat de mate waarin varieert. Omdat het oppervlaktewatersysteem op de flanken van de Utrechtse Heuvelrug zeer bepalend is voor de effecten van maatregelen (een toename van (grond)water wordt weer afgevoerd door het oppervlaktewater), zijn combinaties van bouwstenen noodzakelijk. Met combinaties van bouwstenen worden maatregelen voor de grondwateraanvulling (zoals infiltratie) gecombineerd met (beheers)maatregelen die tevens de uit- en afstroom van oppervlakte- en grondwater beperken (zoals het vasthouden van water, peil- en bodemverhoging). In aanvulling op een combinatie van de maatregelen zoals beschreven in par. 5.4 kan tevens worden gedacht aan maatwerk met detailmaatregelen zoals de realisatie van stuwen, dempen van greppels en het eventueel afplaggen van geschikte gronden. Als laatste optie kan uitwisseling van functies lokaal ervoor zorgen dat de grondwatersituatie voor alle partijen beter geregeld wordt. Het stedelijke gebied, natuur en landbouw komen naast elkaar voor op de flanken. Met name op de westelijke flank wisselen de natuur- en landbouwgebieden elkaar af. Natuur is doorgaans gebaat bij iets nattere grondwateromstandigheden en de aanwezigheid van kwelwater. Dit maakt het logisch dat de natuur op de lagere delen ligt en landbouw op de delen waar de grondwaterstand van nature (verschil maaiveld en oppervlaktewaterpeil) dieper ligt. Dit is in praktijk echter niet altijd het geval. Aanpassingen van het watersysteem voor de ene functie zullen daarom zonder aanvullende detailinrichting een negatief effect hebben op de andere functie.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Het doel van deze studie is inzicht te verkrijgen in het effect van potentiële maatregelen (gebundeld in bouwstenen) die bijdragen aan het robuust maken van het watersysteem van de Utrechtse Heuvelrug.

De afgelopen jaren 2018-2020 waren uitzonderlijk, omdat deze achtereenvolgend zeer droog waren. Om de impact van deze droge jaren op het grondwatersysteem te duiden, zijn langjarige stijghoogtereeksen visueel beoordeeld in relatie tot de dynamiek in neerslag en verdamping. Hieruit blijkt dat het grondwatersysteem op het plateau van de Heuvelrug traag reageert op variatie in de neerslag en verdamping. Een enkel droog jaar heeft daarom geringe impact op de stijghoogte op het plateau van de Heuvelrug. Meerdere droge jaren achtereenvolgend zijn vaker voorgekomen in het verleden, zoals in 1970-1980 en rond 1990 en 1996. De dalende stijghoogtetrend die toen optrad is van eenzelfde orde van grootte als die is opgetreden in 2018 tot 2020. Op basis van de onderzochte gegevens, lijkt het systeem evenwel in balans, van systematisch 'leeglopen' van de Heuvelrug over de jaren lijkt geen sprake.

Knelpuntenopgave

Voor de knelpuntenopgave is gekeken naar de functies natuur, landbouw, drinkwaterwinning en stedelijk gebied. Het onderzoek wijst uit dat deze functies op de Heuvelrug situatie diverse knelpunten kennen:

- Natuur op het plateau van de Heuvelrug. De natuur op het plateau is grondwateronafhankelijk. Langdurige droge voorjaar- en/of zomerperioden veroorzaken uitdroging van de onverzadigde zone, waardoor droogteschade optreedt. Terreinbeherende organisaties geven aan dat droogteschade als gevolg van langdurige droogte, uitdroging van de bodem en hoge temperaturen na de recente droge zomers van 2018 t/m 2020 steeds zichtbaarder wordt.
- Slechts beperkte delen van de voet en de flank van de Heuvelrug zijn qua grondwatersysteem nu geschikt voor de hoge natte natuurwaarden die geambieerd worden in de toekomst. De grondwaterstand is vaak te diep gelegen en een kwelflux beperkt zich tot de laagste delen van de beekdalen.
- Zowel droogteschade als natschade bij de landbouw treden op, afhankelijk van de lokale maaiveldhoogte, ontwateringsdiepte en de helling van het maaiveld. De landbouw is met name op de lage delen van de flank gelegen;
- Wateroverlast op het maaiveld in het stedelijke gebied treedt op bij hevige buien. Ook vormt afstromend water vanaf de Heuvelrug een knelpunt in de bovenstrooms gelegen gedeelten van het bebouwde gebied.
- De drinkwaterwinning kampt met een toenemende vraag voor de toekomst (+ 13 Mm³/jaar voor de Provincie Utrecht). Tevens zijn er zorgen over beïnvloeding van de waterkwaliteit bij de bronnen door persistente verontreinigingen, zoals PFAS op de lange termijn.

- De functies landbouw en natuur op de flanken (met name de zuidwestflank) liggen vanuit waterhuishoudkundig oogpunt dicht bij elkaar, waardoor het lastig is de waterstand voor beide doeleinden te optimaliseren.

Effecten toekomstig klimaat

De klimaatscenario's wijzen uit dat de netto neerslag jaarrond gemiddeld genomen toeneemt. Als gevolg hiervan, blijkt uit de modelberekening dat gemiddeld jaarrond de grondwaterstanden stijgen op het plateau van de Heuvelrug tot 70 cm. Op de flanken en aan de voet stijgt de grondwaterstand nagenoeg niet omdat het oppervlaktewatersysteem het water afvoert. De afvoer op de flanken neemt dus wel toe. Evenwel blijkt uit de klimaatscenario's dat de extremen toenemen en dat de temporele verschillen (zowel binnen als tussen jaren) groter worden. Afhankelijk van het klimaatscenario kunnen bovendien de droge voorjaren en zomers in de toekomst vaker voorkomen. Dit leidt ertoe dat de hierboven geconstateerde knelpunten naar verwachting zullen toenemen in de toekomst.

Effect bouwstenen

In deze studie zijn van 19 bouwsteen(varianten) (voor de bouwstenen 1 t/m 9) het effect op de functies en het grondwatersysteem met het grondwatermodel onderzocht. Daarnaast zijn 2 combinaties van bouwstenen (bouwsteen 10) op dezelfde wijze uitgewerkt en zijn 2 bouwsteenvarianten (bouwsteen 11) kwalitatief beschouwd.

Alle bouwstenen blijken in meer of mindere mate effectief, maar het effectgebied en ingrijpingshoogte op het systeem (plateau, flank of voet) van de bouwstenen variëren sterk:

- Peil aanpassingen (bouwsteen 1 en 2) hebben met name invloed op de voet en op de flank van de Heuvelrug. Door peilverhoging, stijgt de grondwaterstand in eenzelfde orde van grootte maar neemt ook de grootte van het gebied met een kwelflux en afvoer af.
- De overige bouwstenen stimuleren met name de wateraanvulling op het plateau en hebben daardoor invloed op de grondwaterstand op het plateau. Deze stijging van de grondwaterstand op het plateau leidt alleen niet tot baten voor de aanwezige functies omdat de grondwaterstand nog steeds diep onder het maaiveld is gelegen. Afhankelijk van de grootte van de bouwsteen straalt het effect uit tot op de flank. Dit laatste geldt bijvoorbeeld voor de bouwsteen grootschalige infiltratie van rivierwater (bouwsteen 5). Door grondwaterstandverhoging op het plateau nemen de kwelflux op de flank en de afvoer toe en stijgt de grondwaterstand bovenop de flank. Grootschalige infiltratie biedt als neveneffect ook kansen om de waterwinning op de Heuvelrug te vergroten zonder verdrogende effecten op de flanken. Het afkoppelen van het stedelijke gebied naar het grondwater heeft als neveneffect dat de RWZI minder belast worden en overstortproblematiek afneemt. Daarnaast past deze trend binnen het beleid van de gemeenten.
- De bouwstenen verloofing, kleinschalige infiltratie (RWZI en opvangen piekbui) hebben alleen lokaal een beperkt effect. Deze maatregelen zijn daarom beter geschikt om lokale knelpunten te verhelpen. Deze maatregelen hebben ook positieve neveneffecten: infiltratie van piekbuien zal lokaal effectief zijn om problemen met water op straat op te lossen en het verloofen van naaldbos stimuleert de biodiversiteit op de Heuvelrug en maakt de bossen daarmee minder kwetsbaar voor ziekteplagen.

- Hoewel veel van de maatregelen (behalve de aanpassingen aan het oppervlaktewater-systeem (bouwsteen 1) tot een grondwaterstandverhoging en grondwateraanvulling leiden, blijft de impact op de functies op de flank van de afzonderlijke maatregelen beperkt. Dit is voornamelijk omdat het water op de flanken weer uittreedt via het draine-rende oppervlaktewatersysteem. Het is dus essentieel om maatregelen te combineren, waarbij maatregelen voor de verhoging van de grondwaterstand (zoals infiltratie) worden gecombineerd met gerichte maatregelen die de uit- en afstroom van oppervlakte- en grondwater beperken (zoals peil- en bodemverhoging).

Onderstaande tabel geeft een samengevat overzicht op bouwsteenniveau van het effect van de bouwsteen op het hydrologische systeem met de voor- en nadelen.

Bouwsteen en doel	Effect op hydrologie	Voordelen	Nadelen
1 Peil- / bodemverhoging (sterk draine-rende) watergangen (regionaal) <i>Doel: water vasthouden</i>	- gws: +30 of +50 cm - kwel: afname bij maatregel, daaromheen neemt toe - effect: bij maatregel	- afname droogteschade landbouw - toename potentie natte natuur door hogere gws	- toename natschade landbouw - afname kwel (bij natuur) - toename risico grondwateroverlast stedelijk gebied
2 Dempden lokale detailontwatering (bovenkant flank) <i>Doel: water vasthouden</i>	- gws: tot + 1 m - kwel: flank: kwel neemt af en voet: kwel neemt toe - effect: bovenkant flank, enige uitstraling	- lokale afname droogteschade landbouw - lokale toename potentie natte natuur - toename kwel aan voet (bij natuur)	- lokale toename natschade landbouw - lokale afname kwel op flank (bij natuur) - toename risico grondwateroverlast stedelijk gebied
3 Verloofen naaldbos in infiltratiegebied (50 of 25 %) <i>Doel: integrale oplossing en water infiltreren</i>	- gws: tot +20 cm - kwel: toename infiltratie - effect: op plateau	- toename gwaanvulling - toename diversiteit biomenpopulatie, afname ziektes - omzet naar droge natuur levert iets meer op	- nauwelijks impact op functies - effect op gws is geringer in zomer - bij naaldbossen ook specifieke natuurwaarden aanwezig
4 Afkoppelen stedelijk gebied in infiltratiegebied (100 of 50 %) <i>Doel: integrale oplossing en water infiltreren</i>	- gws: tot +1.5m op plateau - kwel: toename infiltratie - effect: op plateau en flank met name bij bebouwing	- lokale toename natte natuur op flank - afname piekafvoer RWZI en riooloverstorten - aanvulling gwsysteem	- gering toename risico op grondwateroverlast op flank - waterkwaliteit infiltratiewater en calamiteit gevoelig - onderhoud en beheer
5 Infiltreren rivierwater (+50 Mm ³ /j) <i>Doel: water infiltreren</i>	- gws: tot +1 à +2 m op plateau - kwel: toename kwel op flank - effect: regionaal op plateau en flank	- toename natte natuur bovenkant flank - geringe afname droogteschade landbouw - stuurbare aanvulling gwsysteem - combinatie met waterwinning op plateau mogelijk	- andere typologie water dan Heuvelrug water - geringe toename natschade landbouw - inzet afhankelijk van rivierafvoer en kwaliteit rivierwater (calamiteitgevoelig) - kosten (zuivering, transport en energie) - onderhoud en beheer

Bouwsteen en doel	Effect op hydrologie	Voordelen	Nadelen
6 Inzet effluent RWZI's (+2.5 Mm3/j) <i>Doel: integrale oplossing en water infiltreren</i>	- gws: tot 1 à 2 m op plateau - kwel: toename kwel op flank - effect: lokaal rondom ingreep (500 m)	- lokale impact op functies - combinatie met landbouw, waterwinning en wellicht natuur mogelijk - hergebruik/ stabiele waterstroom - afname verontreinigingen in RWZI-stroom op oppervlaktewater	- gedegen zuivering nodig (4e zuiveringsstap) - afname RWZI-stroom [m3] voor oppervlaktewater - kosten (energie, transport onderhoud en beheer) - waterkwaliteit (calamiteit gevoelig)
7 Permanent beregeningsverbod <i>Doel: water vasthouden</i>	- gws: tot +20 cm - kwel: afname op perceel - effect: lokaal rond perceel	- stijging gws in aangrenzende percelen	- droogteschade op landbouwperceel zelf - toename afspoeling nutriënten - afnemende bodemkwaliteit
8 Piekbuien (tot T=5) bergen in natuur om wateroverlast te voorkomen in stedelijk gebied <i>Doel: integrale oplossing</i>	- gws: zeer gering - kwel: zeer gering - effect: zeer lokaal	- afname wateroverlast over maaiveld (lokaal in stroomdal) - kleinschalige grondwateraanvulling	- waterkwaliteit (gevoelig voor calamiteit) - geen wateraanvulling in droge periode - beheer en onderhoud - plaatsing afstemmen op bebouwing (grondwateroverlast)
9 Gedeeltelijke vervanging drinkwater uit grondwater door oppervlaktewater (- 4,5 Mm3/j) <i>Doel: integrale oplossing</i>	- gws: tot +1 à +2 m bij winning (op plateau) - kwel: lokaal toename kwel op flank - effect: rond winning (1 km)	- meerdere winningen aanwezig, ruimtelijke sturing mogelijk voor effectgebied. Bij aanpassingen aan winningen op flank mogelijk wel lokaal positief effect voor natte natuur. (zie bouwsteen 6)	- afname winningshoeveelheid (noodzaak extra/ nieuwe winmogelijkheden elders i.v.m. leveringsplicht) - aanpassing op plateau, geen positieve invloed op functies op flank (natuur of landbouw)
10 gecombineerde bouwstenen (peilaanpassing, infiltratie op Heuvelrug, afkoppelen naar gw) <i>Doel: water vasthouden, water infiltreren en integrale oplossing</i>	- gws: meer dan 2 m op plateau - kwel: toename kwel op flank - effect: regionaal op plateau en flank	- toename kwel - toename natte natuur aan de voet en de flank - afname droogteschade landbouw - toename winhoeveelheid Vitens	- toename natschade landbouw - risico's m.b.t. waterkwaliteit rivierwater (zie bouwsteen 5)
11.1 Kansen op verbeteren oppervlakte- en gwkwaliteit <i>Doel: schoner water</i>	- effect: lokaal of gebieden die onder invloed zijn van het oppervlaktewater	- positief effect voor de aanwezige functies	- zuivering intensiveren of anders inrichten - aanpassingen in de landbouw uitvoeren (sluitende stoffenbalans)
11.2 bodemstructuur verbeteren <i>Doel: water vasthouden</i>	- effect: lokaal bij de maatregel	- toename vasthouden water in de wortelzone	- aanpassingen in de landbouw of groenbeheer op plateau (diepe onverzadigde zone) uitvoeren

gws: grondwaterstand, gw: grondwater, effect: grofmazige ruimtelijke indicatie van effectgebied

Stuurbaarheid Heuvelrug

Het onderzoek wijst uit dat het systeem van de Utrechtse Heuvelrug met een combinatie van bouwstenen -bij voorkeur aangevuld met lokale detailinrichting en ontwaterings- en afwateringsmaatregelen- stuurbaar is en tot een verbeterde grondwaterbeschikbaarheid leidt voor de functies op de flanken en voet van de Heuvelrug.

Door de diepe ligging van de grondwaterstand, is de natuur op het plateau grondwateronafhankelijk. Het grondwatersysteem is ook met bouwstenen niet zodanig te sturen dat de natuur op het plateau voordeel van bouwstenen ondervindt. Hiervoor zijn andere type maatregelen (dan hydrologische maatregelen) nodig (bijv. in de vorm van adaptieve maatregelen).

De natuur en landbouw op de flanken worden wél beïnvloed door het grond- en oppervlaktewatersysteem, omdat de grondwaterstand minder diep onder het maaiveld is gelegen. Deze functies zijn op meerdere manieren te beïnvloeden, waarbij optimalisatie tussen de aanwezige belangen is gewenst. Het stedelijke gebied, natuur en landbouw komen naast elkaar voor op de flanken. Met name op de westelijke flank wisselen de natuur- en landbouwgebieden elkaar af. Natuur is doorgaans gebaat bij iets nattere grondwateromstandigheden en de aanwezigheid van kwelwater. Dit maakt het logisch dat de natuur op de lagere delen ligt en landbouw op de delen waar de grondwaterstand van nature (verschil maaiveld en oppervlaktewaterpeil) dieper ligt. Dit is in praktijk echter niet altijd het geval. Aanpassingen van het watersysteem voor de ene functie zullen daarom zonder aanvullende detailinrichting een negatief effect hebben op de andere functie. Qua detailinrichting kan gedacht worden aan: stuwen, afplaggen, greppels, aanleg bufferzones etc. Voor het stedelijke gebied is een ondiepe grondwaterstand juist niet gewenst, uitbreidingen van bebouwd gebied zouden daarom juist op de droge delen kunnen plaatsvinden. Aanbevolen wordt deze bevindingen ook als input mee te nemen in toekomstige RO-ontwikkelingen en de toekomstige visie van het gebied.

Het onderzoek wijst uit dat het systeem van de Utrechtse Heuvelrug met een combinatie van bouwstenen -al dan niet aangevuld met lokale detailinrichting en ontwaterings- en afwateringsmaatregelen- stuurbaar is en tot een verbeterde grondwaterbeschikbaarheid leidt. In navolging van deze studie zal de Blauwe Agenda met de toekomstvisie voor de Utrechtse Heuvelrug deze bouwstenen in detail uitwerken.

7.2 Aanbevelingen

Naast de inzichten die het onderzoek heeft opgeleverd, zijn aanbevelingen voor het vervolgtraject gedefinieerd:

- Geadviseerd wordt de mogelijkheden en meerwaarde van 'Anticiperend Grondwaterbeheer Utrechtse Heuvelrug' te onderzoeken. Uit voorliggend onderzoek is gebleken dat het systeem tot op zekere hoogte stuurbaar is. Evenwel is nog niet bekend wat een anticiperende beheerstrategie oplevert in termen van grondwaterbeschikbaarheid en hogere doelrealisatie van verschillende gebruiksfuncties. Aanbevolen wordt te onderzoeken tot op welke hoogte met slim dynamisch grondwaterbeheer (o.a. stuurknoppen onttrekkingen en peilbeheer) temporele variaties in droge en natte jaren kunnen

worden opgevangen. Als de meerwaarde van anticiperend grondwaterbeheer is aangetoond, liggen de volgende twee vervolgstappen voor de hand:

- **Uitwerken naar gezamenlijke (operationele) redeneerlijn waarmee de stakeholders expliciet afspreken hoe de grondwatervoorraad wordt beheerd, wanneer (en wanneer niet) bepaalde maatregelen worden ingezet, gericht op een duurzame en optimaal beheer van de voorraad.** Waarbij maatregelen bijvoorbeeld eerder worden ingezet na twee droge zomers met matige aanvulling van het grondwater in de winter, terwijl het enigszins interen op de buffer einde zomer geen probleem is. De uitdaging is om deze besluitvorming te rationaliseren, ervoor te zorgen dat deze op basis van meetbare, operationele criteria wordt genomen en dat er breed draagvlak is voor de gezamenlijke redeneerlijn. Deze redeneerlijn kan vervolgens regelmatig worden bijgesteld op basis van voortschrijdend inzicht.
 - Het komen tot een optimaal, integraal maatregelenpakket waarvan zowel de inrichtingsmaatregelen als de meer beheersmatige maatregelen ('anticiperend grondwaterbeheer') onderdeel zijn. Deze kunnen eventueel worden uitgewerkt in een beperkt aantal mogelijke handelingsstrategieën, die vervolgens bestuurlijk worden voorgelegd. Bijvoorbeeld in sommige jaren de grondwateraanvulling in de winter vergroten door extern water aan te voeren, niet als generieke maatregel, maar gericht tijdens de extremere, langdurigere droogtes.
- In het onderzoek is het effect van de bouwstenen bepaald door langjarige situaties door te rekenen. Resultaten geven daarmee inzicht in het gemiddelde langjarige effect, maar juist de (extreem) droge zomers (of meerdere opeenvolgende droge zomers) kunnen een grote impact hebben op het systeem en de functies. Geadviseerd wordt door middel van een stresstest achtige benadering te onderzoeken wanneer onomkeerbare/significante schade optreedt, welk type maatregelen onder deze omstandigheden nog wel soulaas kunnen bieden (combinatie van inrichtingsmaatregelen en anticiperend beheer), waarbij tevens aandacht moet zijn voor het mogelijke handelingsperspectief naar een volgende droogte.

Referenties

- Ref. 1. Aanbestedingsleidraad Onderbouwing bouwstenen visie Blauwe Agenda Utrechtse Heuvelrug (2020). 15758 MOA Onderbouwing bouwstenen visie Blauwe agenda - def - v.201207.
- Ref. 2. Boerefijn en Aarts (2007). Omvang en effecten van beregning uit grondwater in de provincie Utrecht. Tauw-rapport R001-4470035MPB-dmj-V01-NL, 10 januari 2007, Utrecht, 81 blz.
- Ref. 3. Grontmij, 2002. Grondwatervisie Utrechtse Heuvelrug. Handvatten voor actieve bescherming van de grondwaterkwaliteit tegen diffuse bronnen. Deel1: inventarisatie en methodiek.
- Ref. 4. Grontmij, 2009. Grenzen grondwaterbescherming Utrechtse Heuvelrug, nieuwe inzichten begrenzing, zones en provinciaal beleid.
- Ref. 5. Helderma, Rien, 2015. Risicoanalyse verzuurd grondwater Utrechtse Heuvelrug.
- Ref. 6. HKV. et al, 2021. Validatie en toetsing LHM 4.1, deelrapport 1.
- Ref. 7. KNMI, 2015. KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland. www.klimaatsscenario's.nl/correctie.
- Ref. 8. Maarleveld, G.C., 1955. Fluvio-glaciale afzettingen in Midden-Nederland. Tsch. Kon. Ned. Aardr. Gen., 72, pp. 48-58.
- Ref. 9. Provincie Utrecht, 2020. Natuurbeheerplan 2021. 820DE12F.
- Ref. 10. STOWA, 2018. De Waterwijzer Natuur, instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op terrestrische natuur, rapport 2018, 44.
- Ref. 11. STOWA, 2021. Opties binnen waterwijzer landbouw in 2020, van WWL-tabel versie.2.0.0 tot maatwerk met WWL-regionaal, rapport 2021.03.
- Ref. 12. TNO, 2021. Kaarten met grondwaterisohypsen in de provincie Utrecht 2009-2020. TNO2021R10281.
- Ref. 13. Van den Brink, Huib, 2021. Observaties betreffende de interne structuur van de Utrechtse Heuvelrug.
- Ref. 14. Verdonschot, Piet, 2016. Utrechtse Heuvelrug, de rol van water en een droge stuwwal: systeem functioneren en natte natuur. Presentatie.
- Ref. 15. Wateren, F.M. van der, 1985. A model of glacial tectonics, applied to the ice-pushed ridges in the Central Netherlands. Bull. Geol. Soc. Denmark, vol 34, pp 55-74.
- Ref. 16. Royal Haskoning, 2009. Effectenstudie grondwateronttrekkingen Provincie utrecht, hydrologische effecten op natura2000 en TOP-gebieden
- Ref. 17. Baan, J.W.M. (2019). Amerongen, vasthouden hemelwater bosgebied, BOOT.
- Ref. 18. Stuurman, R et al. (2020). Een verkenning naar de watervraag van de Noord-Brabantse Natuur, Deltares.
- Ref. 19. Dekkers, W. A. (2000). Beregenen van akkerbouw-en vollegrondsgroentegewassen (No. 99). Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt.
- Ref. 20. Postma, R., Thijssen, D., & Riechelman, B. (2021). Effect organische stof-aanvoer op bodemkwaliteit en nitraatuitspoeling.
- Ref. 21. Provincie Utrecht, 2011. Kwaliteitsgids Utrechtse landschappen: gebiedskatern Utrechtse heuvelrug
- Ref. 22. KNMI, 2009. Optimization of Rainfall interpolation versie 1.0
- Ref. 23. KNMI, 2021. KNMI Klimaat signaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert.
- Ref. 24. Verhagen, F. et al, 2014. Expertdialoog de Veluwe, begrijpen we het watersysteem?
- Ref. 25. Tauw, 2020. Hydrologische effecten van het vervangen van naaldbos op de Utrechtse Heuvelrug
- Ref. 26. Deltares, 2014. Grondwatermodel Azure versie 1.0
- Ref. 27. Tauw, 2021. Documentatie bij AZURE 1.04-beta
- Ref. 28. Deltares, 2015. Verbeteracties grondwatermodel Azure versie 1.0.2

- Ref. 29. TNO, 1992. Daling van de grondwaterstijghoogte in de provincie Utrecht, inventarisatie van verdrogingsverschijnselen via de analyse van gemeten tijdreeksen. Rapport nr. OS 92-23A
- Ref. 30. Provincie Utrecht, onbekend. Gebiedsdossier waterwinning (van o.a. de winvelden Beerschoten, de Bilt, Groenekan, Bethune polder, Soesterduinen, Zeist, Doorn).
- Ref. 31. Witte, J.P.M. et al., 2020. Aanpak droogte vraagt transitie waterbeheer. Water Governance, (3), 120-131.
- Ref. 32. Mens, M et al., 2020. Hydrologische en economische effecten van twee maatregelenpakketten voor Deltaprogramma Zoetwater fase II, Deltares.
- Ref. 33. Moors, E.J., 2012. Water use of forests in The Netherlands, VU en Alterra proefschrift
- Ref. 34. Provincie Utrecht 2012. Pilot monitoring afkoppelen Utrechtse Heuvelrug, Arcadis.
- Ref. 35. Ministerie VROM, 2001. Beleidsverkenning naar effecten en grenzen van het sturen met hemelwater in bestaand stedelijk gebied, Grontmij
- Ref. 36. Hoogvliet, M et al. 2013. Naar een bestendige stedelijke waterbalans, Deltares
- Ref. 37. Laconi, P., 2020. Is dit rigoureuze plan met miljarden liters IJsselwater dé oplossing tegen de droogte?, De Gelderlander
- Ref. 38. Visser, M., 2017. Interpretatie metingen influenten en effluenten RWZI's, Provincie Utrecht
- Ref. 39. Vergouwen, A.A. et al., 2011. Gebiedsstudie geneesmiddelen Provincie Utrecht, Stowa
- Ref. 40. Deltares, 2019. Beschikbare bronnen en waterbesparing voor de drinkwatervoorziening voor de provincie Flevoland.
- Ref. 41. STOWA, 2018. Waterwijzer landbouw: instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie. Rapport 2018, 48
- Ref. 42. Bruisman, E., et al, 2010. Zure regen. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
- Ref. 43. RIVM, 2013. Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland. Bilthoven: RIVM
- Ref. 44. Webpagina's:
- <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/pilot-aarle-rixtel>
 - <https://www.waterforum.net/tweede-kamer-wil-snellere-invoering-vierde-trap-rwzis>
 - <https://www.hdsr.nl/actueel/watertekort-droogte/actueel/laatste-nieuws/onttrekkingsverbod/>
 - <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202019/STOWA%202019-19A%20brochure%20neerslagstatistieken.pdf>
 - <https://geo-point.provincie-utrecht.nl/>
 - <https://www.dinoloket.nl/>
- Ref. 45. Visser, L, 2020. Rapportage meetronde freatische grondwaterkwaliteit, Sweco
- Ref. 46. STOWA 2013-13A,. De invloed van bodemstructuur op het watersysteem.
- Ref. 47. Van Eekeren et al., 2011. Vruchtwisseling van gras en maïs, V-focus april, pagina 24 - 26.
- Ref. 48. Provincie Utrecht, 2021.

Bijlage A Azure grondwatermodel

Aanpassingen, modeldiscretisatie, betrouwbaarheid en toepassingsbereik

1 - Status Azuremodel

Voor deze studie is het Azuremodel aangeleverd, het model ingeleverd in 3 versies:

- Versie 1.0.3: opgeleverde versie, gevalideerd door het consertium, geschikt voor niet-stationaire berekeningen van 2001 t/m 2005.
- Versie 1.0.4: aangepast model voor het project Waardevol Brummen, ten oosten van de Veluwe. Enkele gebiedsdekkende veranderingen zijn doorgevoerd, zoals een overstap naar nieuwe Metaswap en aanpassingen van enkele METASWAPparameters ten behoeve van de grondwatersituatie op de Veluwe. Ook is het model verlengd, zie (TAUW, 2021). Daarnaast zijn veel modelparameters ten westen van de Veluwe uit de runfile verwijderd.
- Versie 1.0.4 beta. Dit model betreft het gebied van Waterschap Vallei en Veluwe. Hiervoor is uitgegaan van versie 1.0.4 en het model is verlengd tot en met 2019. Dit model is niet getest en betreft daarom een beta-versie. In de runfile ontbreekt een deel van de modelparameters ter plaatse van Waterschap HDSR en Waternet. Daarnaast zijn de grids in de DBASE uitgeknipt voor het Waterschapsgebied van Vallei en Veluwe en beslaan nu niet het hele modelgebied voor deze studie.

Vanuit de specialistengroep is aangegeven dat het Azuremodel in deze staat niet geschikt is voor deze studie en aan de volgende randvoorwaarden moet voldoen:

- De modelperiode moet verlengd worden tot en met het jaar 2019;
- De grotere winningen op de Utrechtse Heuvelrug (Vitens en industrie) moeten met het daadwerkelijk onttrokken debiet in het model opgenomen zijn;
- Ter plaatse van waterschap HDSR dient het oppervlaktewatersysteem aangepast te worden aan de huidige kenmerken;
- Ter plaatse van waterschap HDSR dienen de onttrekkingen aangepast te worden aan het onttrekkingenoverzicht van het Waterschap;
- De runfile dient weer naar alle bronbestanden te verwijzen en de dbase het gehele studiegebied te beslaan.

Versiebeheer

Voor deze studie is alleen versie 1.0.3 direct bruikbaar omdat in andere versies een deel van het studiegebied in de modelbestanden ontbreekt. Uit een proefrun van de verschillende versies blijkt dat versie 1.0.4 en 1.0.4beta veel langere rekentijden hebben (factor 4) dan versie 1.0.3. Het is niet duidelijk of dit alleen komt door de wijze waarop het riviersysteem is gemodelleerd (niet-stationaire IJsselpeilen en alle riversystemen in IDF-format in plaats van deels ISG-format) of dat ook de nieuwe IMODexecutable langere rekentijden oplevert.

Om tot een werkbaar model te komen, zijn 2 mogelijkheden verkend: (1) versnellen rekentijden versie 1.0.4 en uitbreiden modelbestanden naar studiegebied of (2) versie 1.0.3 behouden en cruciale veranderingen terugbrengen naar deze versie. Na een korte, niet

succesvolle verkenning om versie 1.0.4 te versnellen qua rekentijd, is de tweede oplossing gekozen.

2 - Aanpassingen aan model

Voor deze studie is dus uitgegaan van versie 1.0.3. Dit model beslaat het gehele Azuremodelgebied en betreft de laatste gevalideerde modelversie. De modelaanpassingen die zijn doorgevoerd in versies 1.0.4 en 1.0.4 beta zijn, mits deze relevant zijn voor het studiegebied, opnieuw toegepast. De uitgevoerde aanpassingen worden hieronder toegelicht.

Aanpassingen winningen

Voor alle winningen is het onttrekkingsdebiet, dat in 2010 onttrokken werd, verlengd t/m 2019. Daarna zijn de volgende aanpassingen gedaan in het studiegebied:

- Vanaf het jaar 2012 zijn de winhoeveelheden aangepast op de volgende locaties:
 - Beheersgebied HDSR: de bestaande onttrekkingen zijn vervangen door de onttrekkingen uit het onttrekkingenoverzicht van HDSR en de provincie Utrecht. Tijdelijke onttrekkingen en onttrekkingen t.b.v. beregening zijn niet opgenomen in het model;
 - Beheersgebied HDSR: onttrekkingen ten behoeve van beregening zijn toegekend aan METASWAP;
 - Provincie Utrecht: de grote onttrekkingen zijn aangepast aan de onttrekkingshoeveelheden in het overzicht van de Provincie (werkelijk onttrokken jaardebieten). Dit betreft een aantal industriële onttrekkingen en de onttrekkingen van Vitens. KWO-systemen zijn niet opgenomen als de netto onttrekking 0 is of een gering debiet betreft.

Aanpassingen oppervlaktewatersysteem

Het oppervlaktewatersysteem in het model betreft het oppervlaktewatersysteem tussen 2000 en 2010.

Waterschap HDSR

Waterschap HDSR geeft aan dat juist het afgelopen decennium veel aanpassingen zijn uitgevoerd aan de waterlopen in het studiegebied, ter bevordering van het vasthouden van water. De situatie in het model komt daarom niet goed overeen met de situatie in de praktijk. Het oppervlaktewatersysteem is daarom aangepast in het model. In het kader van de ontwikkeling van het UGM is een tool ontwikkeld om de brongegevens over het watersysteem (GIS) om te zetten naar modelinput voor MODFLOW6. Deze tool is aangepast om modelinput voor de RIV package te genereren voor Azure met een gridgrootte van 25 m bij 25 m. De output van de tool betreft: een winterpeil, zomerpeil, bodemhoogte en conductance waarde op basis van 1 dag.

Het oppervlaktewatersysteem is vervolgens ter plaatse van waterschap HDSR vervangen door deze nieuwere gegevens. Het oppervlaktewatersysteem is toegekend aan laag 1 of aan laag 1 en laag 2, afhankelijk of de bodemhoogte van de waterloop insnijdt in de tweede modellaag. De drainageconductance is in dat laatste geval verdeeld over de lagen.

Op het plateau en de bovenkant vande flank is een infiltratiefactor “0” toegekend (waterloop kan alleen draineren) en de drainageconductance is bijgesteld naar 1.5 dag. Deze grens is afgestemd met het Waterschap.

Aan de voet en onderaan de flank is een drainageconductance van 3 dg aangehouden en een infiltratiefactor van 0.3. De drainageconductance is zo gekozen, dat deze zoveel mogelijk overeenkomt met de voormalige drainageconductance in het model.

Waterschap Vallei en Veluwe

Ter plaatse van waterschap Vallei en Veluwe is het oppervlaktewatersysteem uit de versie 1.0.4beta overgenomen.

Aanpassingen Metaswap

De meteogrids zijn verlengd t/m 2019. In de aangeleverde grids van Tauw (v1.0.4beta) zitten enkele files met verkeerde nodatavalues (begin juli 2015). Deze zijn verwijderd.

De LGN kaart is aangepast aan de kaart natuurbeheerplan (Provincie Utrecht, 2021). De LGN-code is aangepast naar een natuurcode, passende bij het betreffende natuurdoeltype. Daarnaast is behouden dat ter plaatse van droge bossen een afwisseling van loofbomen en naaldbomen in het grid zijn verwerkt.

In “luse_svat.inp” is bos (code 11, 12 en 19) aangepast, zodat de verdamping reduceert vanaf pF 2.4 en stopt met verdampen bij pF 3.0 op advies van Paul van Walsum (WENR) (Tauw, 2021). Uit eerdere analyse bleek namelijk dat de verdamping van bossen door MetaSWAP te laat wordt gereduceerd.

Daarnaast is de output aangepast zodat ook waterfluxen uit Metaswap (Neerslag, verdamping en berekening) weggeschreven worden. Vanwege een toename van de rekentijd (factor 4) is dit alleen voor het huidige scenario uiteindelijk gedaan.

Overige modelparameters

Uit een globale check van de modelbestanden en informatie van TAUW (Tauw, 2021) blijkt dat in de afgelopen jaren geen verbeteringen zijn aangebracht in de bodemopbouw en de stedelijke drainage. Deze gegevens zijn daarom niet aangepast.

3 - Modeldiscretisatie en rekenwijze

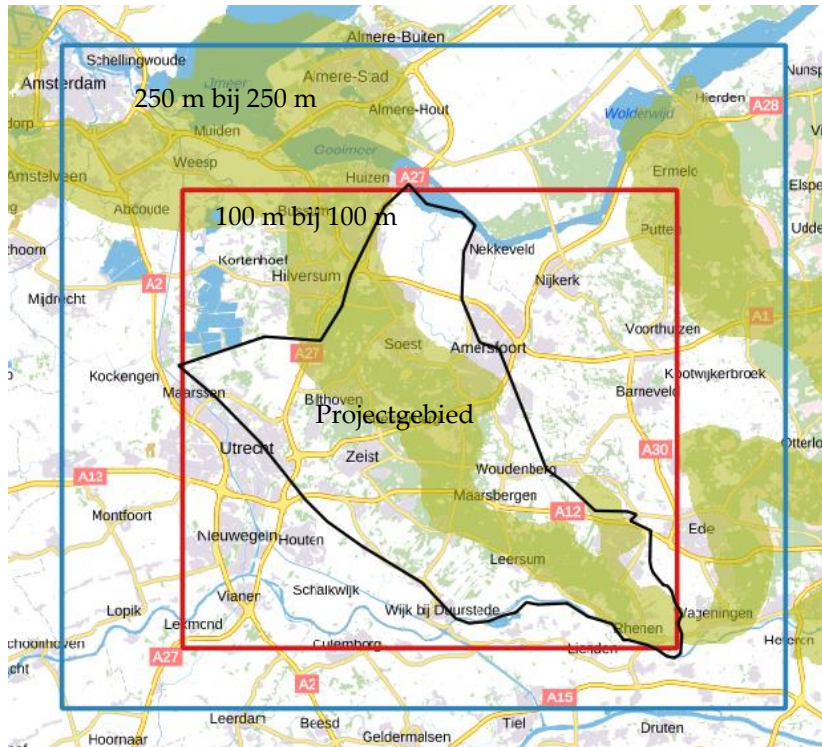
Het model rekent op 2 gridgrootten, namelijk op:

- 250 m bij 250 m voor het projectgebied met daaromheen een buffer van 10 km (x-coördinaat: 120 000 - 180 000 m en y-coördinaat 435 000 - 490 000 m). Model runt 8 uur.
- op 100 m binnen het projectgebied (x-coördinaat: 130 000 - 171 000 m en y-coördinaat 440 000 - 478 000 m). Model runt 24 uur (zonder uitvoer voor Metaswap).

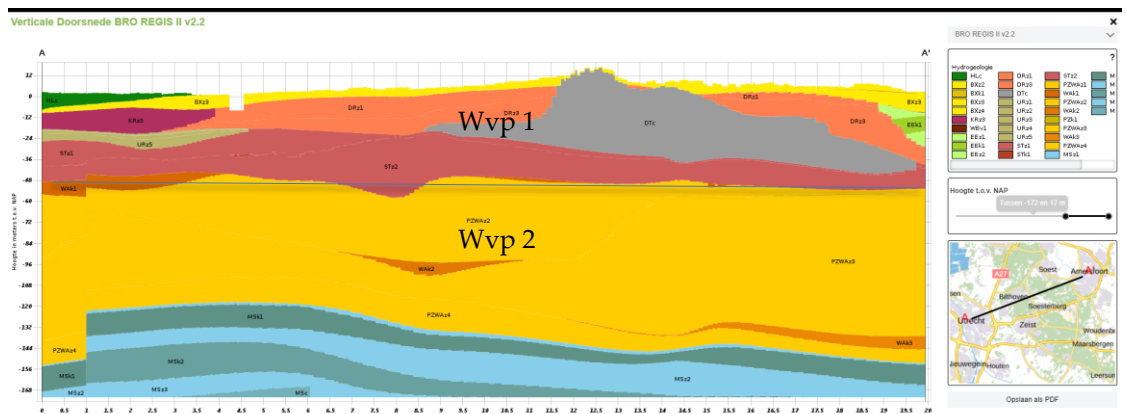
Het model op 250 m schaal is alleen doorgerekend om de juiste niet-stationaire randvoorwaarden voor het detailmodel te genereren. De doorrekentijd van het grondwatermodel bedraagt, als deze 2 modellen tegelijk worden aangezet, ongeveer 24 uur.

Het model rekent voor de periode 1 januari 2001 t/m 31 december 2019. Hiervoor zijn de eerste 11 jaren (2001 t/m 2011) aangehouden om het model in te spelen. De periode 2012

t/m 2019 (8 jaar) is bestemd voor analyse. Modeloutput is daarom alleen in deze periode weggeschreven op de 14^e en 28^e van iedere maand. Daarnaast is besloten om van 2 jaren alle fluxen weg te schrijven ten behoeve van het opstellen van een waterbalans. Gekozen is voor de jaren 2015 (het meest gemiddelde jaar in de periode 2012 t/m 2019) en 2018 (een extreem droog jaar).



Figuur 40 Modeldiscretisatie Azure model.



Figuur 41 Dwardoorsnede uit REGIS V2.2 van Utrecht naar Amersfoort.

4 - Validatie modelresultaat

Het aangepaste model is gevalideerd aan de hand van een ijkset van peilbuismetingen, die is opgezet voor de validatie van het LHM (HKV et al, 2021). Daarnaast is het resultaat gevalideerd aan het isohypsenpatroon, opgesteld door TNO [TNO, 2020] en is de uitzakking van de grondwaterstand op de Heuvelrug in droge jaren vergeleken met metingen.

Validatie IJkset

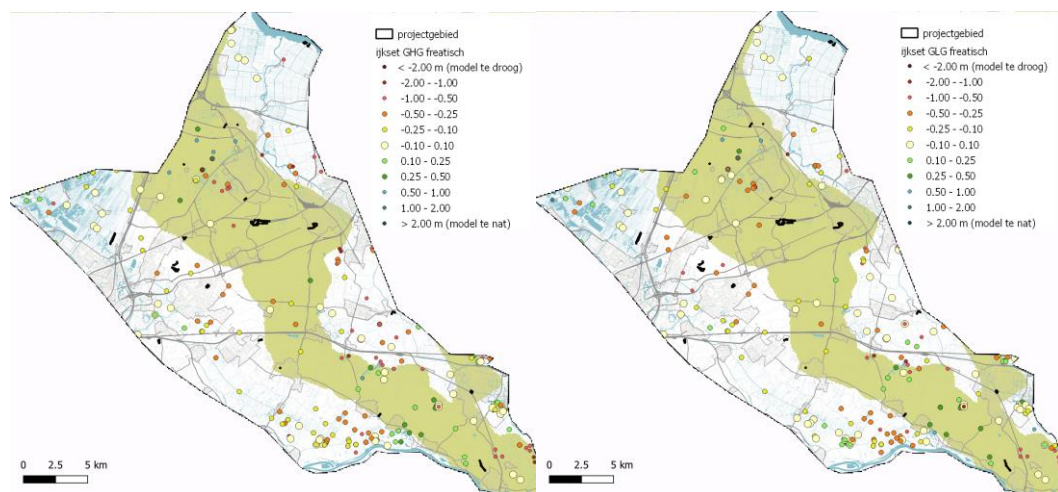
Binnen het projectgebied zijn 349 meetreeksen beschikbaar met metingen in 2012 t/m 2019 en op een minimale afstand van 1 km van een waterwinning van Vitens. Tabel 4 geeft het verschil tussen de metingen en het modelresultaat weer.

Tabel 4 Overzicht validatieresultaat, gegroepeerd voor freatische peilbuizen en peilbuizen in het 1^e en 2^e watervoerende pakket met de bijbehorende standaard deviatie.

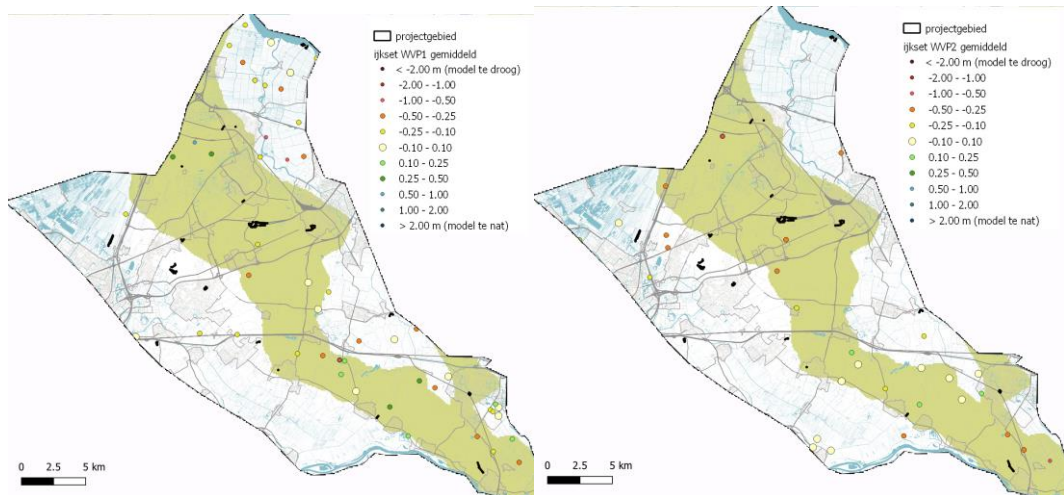
Aquifers	Aantal peilbuizen	Gemiddelde afwijking gg*	Gemiddelde absolute afwijking gg	Gemiddelde absolute afwijking dynamiek (ghg-glg)
Freatisch pakket	259	-0.17 +/- 0.36 m	0.29 m +/- 0.27 m	0.18 m +/- 0.18 m
1^e WVP	56	-0.15 m +/- 0.33 m	0.27 m +/- 0.25 m	0.11 m +/- 0.09 m
2^e WVP	34	-0.18 m +/- 0.26 m	0.24 m +/- 0.21 m	0.10 m +/- 0.08 m

*gg: gemiddelde grondwaterstand

Daarnaast zijn de verschillen tussen het modelresultaat en de metingen weergegeven middels verschil-bollenkaarten voor de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) in Figuur 42 en voor de gemiddelde stijghoogte in watervoerend pakket 1 en 2 in Figuur 43.



Figuur 42 Verschil in GHG en GLG tussen modelresultaat en metingen freatisch.

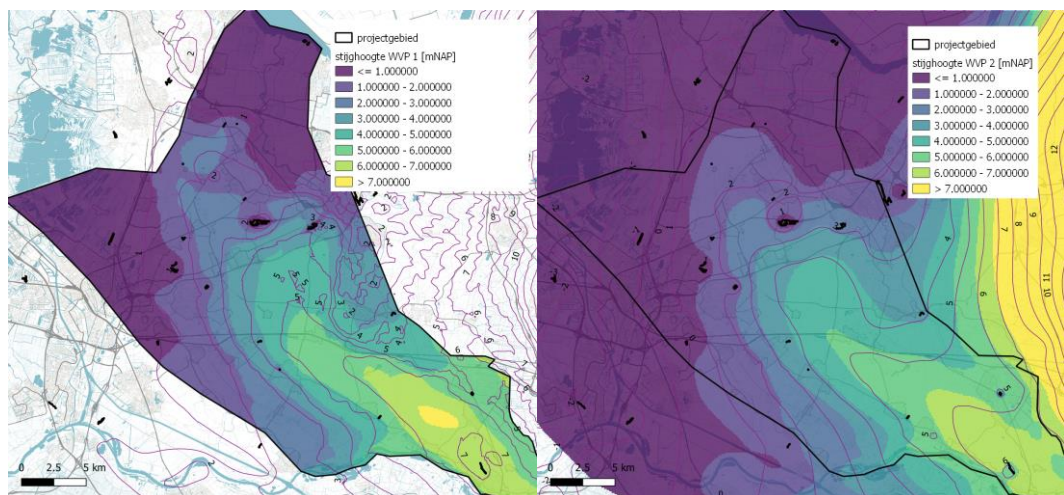


Figuur 43 Verschil in gemiddelde grondwaterstand tussen modelresultaat en metingen in het eerste en tweede watervoerende pakket.

Uit het vergelijken van de modelresultaten met de meetwaarden blijkt dat op een groot deel van de flanken het model de gemeten grondwaterstand en stijghoogte redelijk volgt binnen een afwijking van 50 cm. In enkele gebieden zijn wel duidelijke geclusterde verschillen waarneembaar tussen de metingen en het modelresultaat, met name in het zuidoosten nabij de Langbroekerwetering, in de directe omgeving van Zeist en ter plaatse van de laagte van Pijnenburg. De grondwaterstand wordt hier 25 tot 50 cm te droog berekend door het model.

Validatie isohypsenpatroon

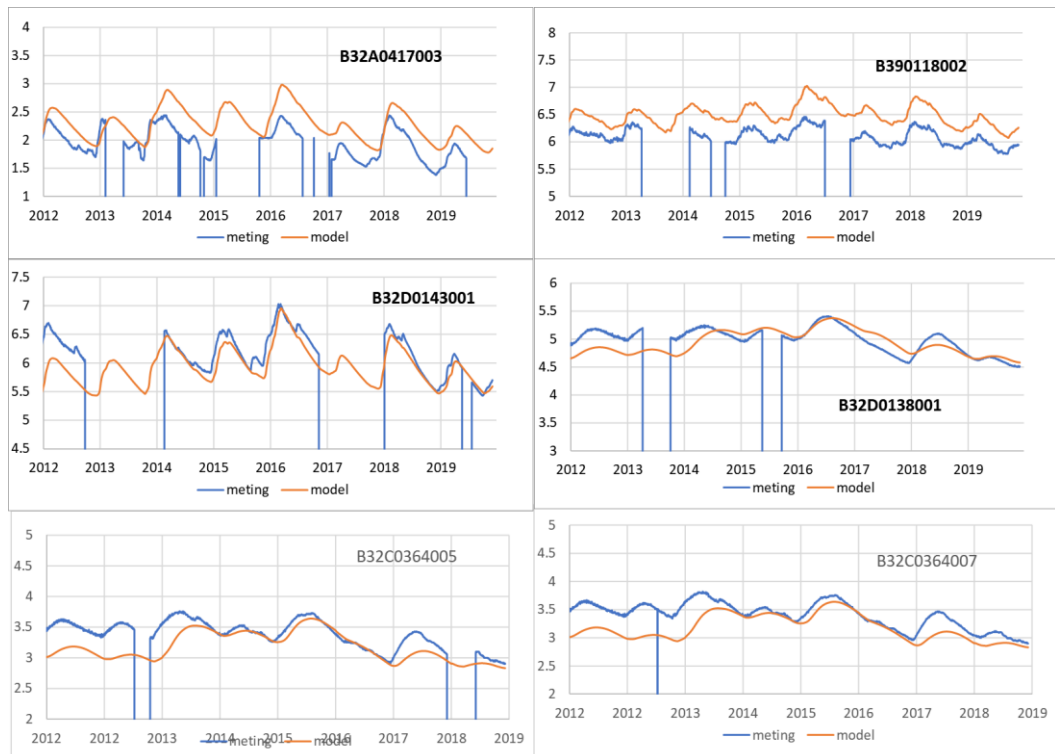
De berekende stijghoogten voor het eerste en tweede watervoerende pakket met het model, zijn vergeleken met isohypsenkaarten die door TNO zijn gemaakt op basis van metingen en modelresultaten (TNO, 2020), zie Figuur 44. Uit de vergelijking volgt dat de twee interpretaties redelijk overeenkomen.



Figuur 44 gemiddelde stijghoogte in WVP1 (links) en WVP2 (rechts) berekend met het model met daarop geprojecteerd het isohypsenpatroon van TNO middels lijnen [TNO, 2020].

Validatie uitzakking grondwaterstand in 2018-2019

Ook zijn een aantal tijdreeksen geplott om na te gaan hoe het model de uitzakking van het grondwater in droge tijden (jaar 2018) simuleert op de Heuvelrug. Uit de afbeeldingen blijkt dat het model de metingen redelijk volgt qua dynamiek.



Figuur 45 Tijdstijghoogtereeksen in mNAP voor metingen in peilbuizen op de Utrechtse Heuvelrug en het berekende resultaat met het model.

5 – Toepasbaarheid model

De gemiddelde absolute afwijking van het model ten opzichte van de metingen bedraagt circa 29 cm met een standaard deviatie van 27 cm voor het freatische grondwater. De dynamiek van de meetreeks wordt benaderd met een gemiddelde afwijking van 18 cm met een standaard afwijking van 18 cm. Met name op de flanken (waar het oppervlaktewaterstelsel wel of juist niet actief is) kunnen afwijkingen van het model de resultaten van bouwsteenberekeningen beïnvloeden. Op de flanken is het verschil tussen de metingen en het modelresultaat meestal kleiner dan 50 cm.

Het grondwatermodel Azure is geschikt bevonden voor deze studie, waarbij de huidige situatie en het effect van bouwstenen op regionale schaal in kaart gebracht gebracht en getoetst moeten worden, hierbij dient een bandbreedte van 56 cm in acht te worden genomen. Het wordt daarom aangeraden om een knelpuntenanalyse ook met in acht name van deze bandbreedte uit te voeren. Detailanalyses (bv. voor natuurtypen, waarvan de wensen voor de grondwaterstand 10 cm verschillen) zijn daarom te gedetailleerd om een betrouwbare uitspraak met dit model voor te kunnen doen.

In het model is uitgegaan van vaste peilen voor het oppervlaktewater. Deze peilen zijn randvoorwaarden en blijven in alle situaties gehandhaafd. Dynamische beekafvoeren of

vraagstukken met betrekking tot doorspoeling (berekening uit oppervlaktewater) kunnen niet met het model berekend worden. Het model is ook niet geschikt om uitspraken te doen over effecten van bouwstenen op hangwaterzones op het plateau van de Heuvelrug, omdat dit bodemdetail niet in het model verwerkt is.

Bijlage B Huidige situatie

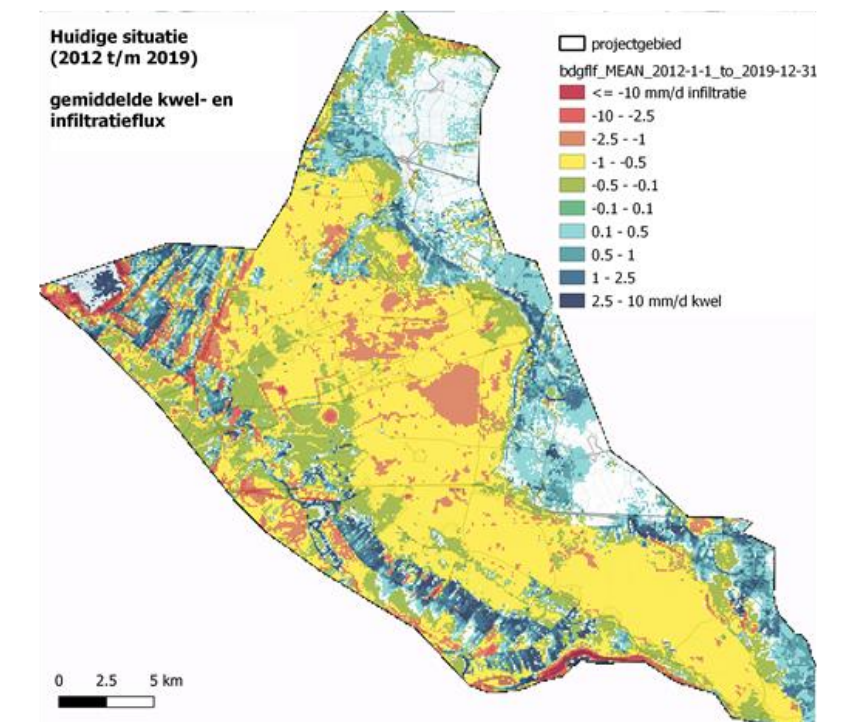
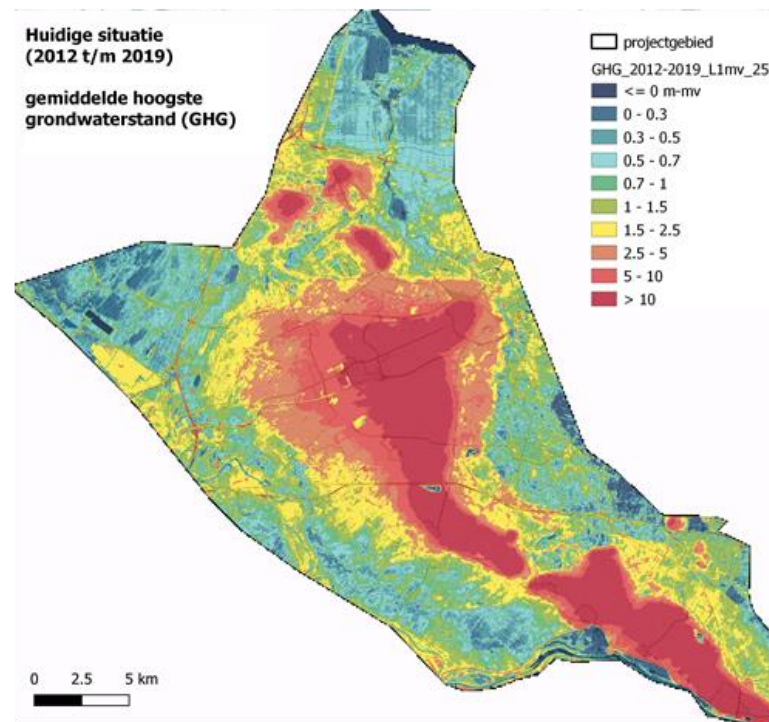
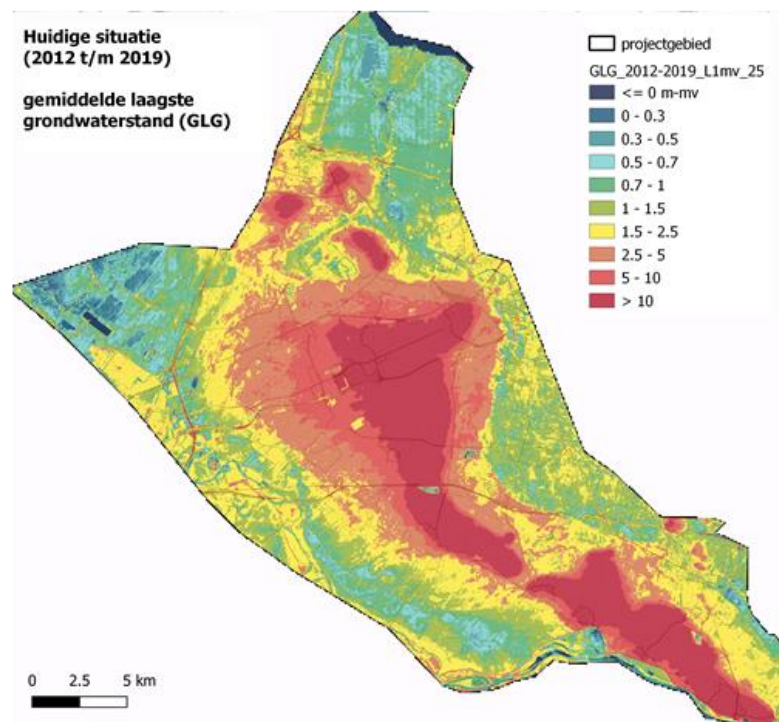
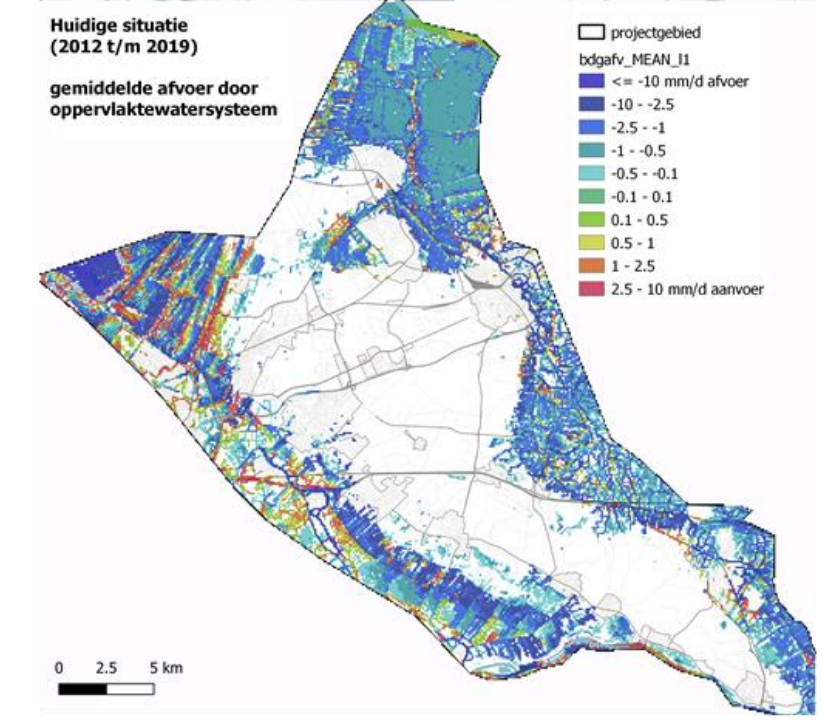
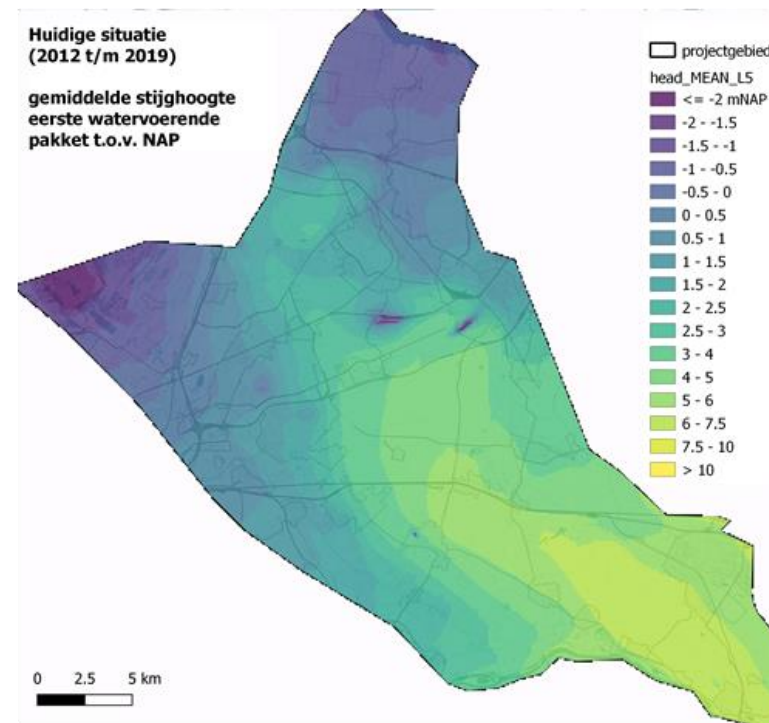
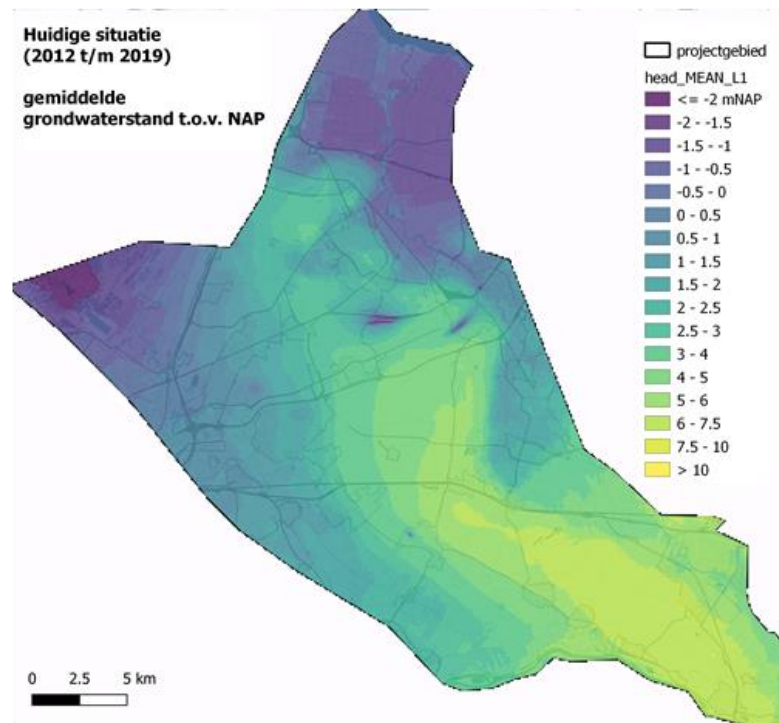
Deze bijlage geeft de modelresultaten van het grondwatermodel weer voor een drietal situaties:

- Huidige situatie (modelperiode 20012 t/m 2019);
- Effect van toekomstige situatie met klimaatscenario KNMI'14 GL2050 en autonome ontwikkelingen t.o.v. huidige situatie;
- Effect van toekomstige situatie met klimaatscenario KNMI'14 WH2050 en autonome ontwikkelingen t.o.v.. huidige situatie.

Daarna geeft deze bijlage een overzicht van achtergrondinformatie, welke tijdens het in kaart brengen van de huidige situatie is verzameld/geanalyseerd:

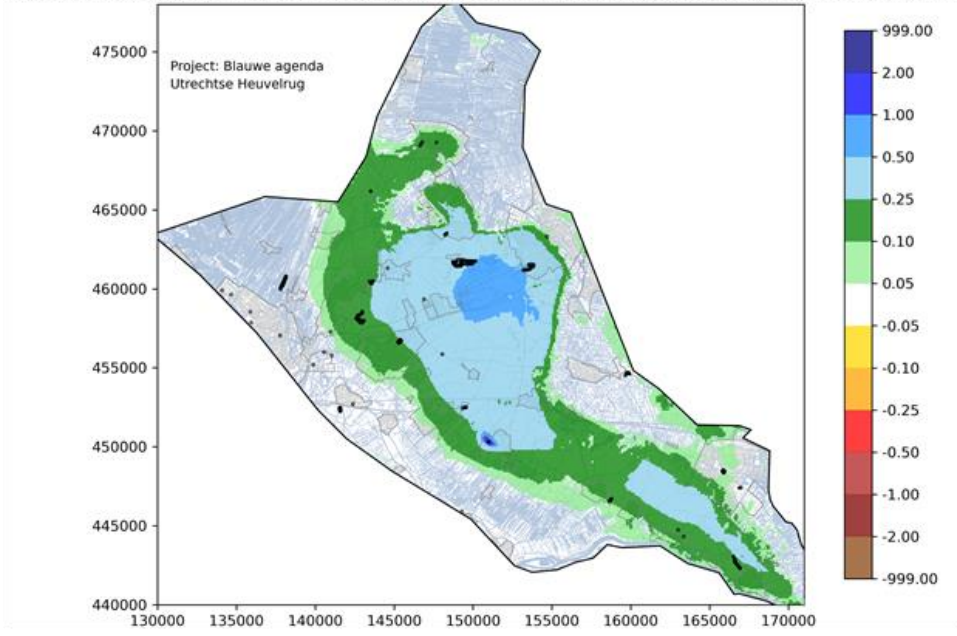
- Achtergrondinformatie bij de gebruikte klimaatscenario's;
- Achtergrondinformatie stroombaananalyse met het grondwatermodel Azure;
- Historische meetreeksen (ingezoomed)
- Waterbalans (mm/mnd)

Bijlage B: Huidige situatie (2012 t/m 2019)

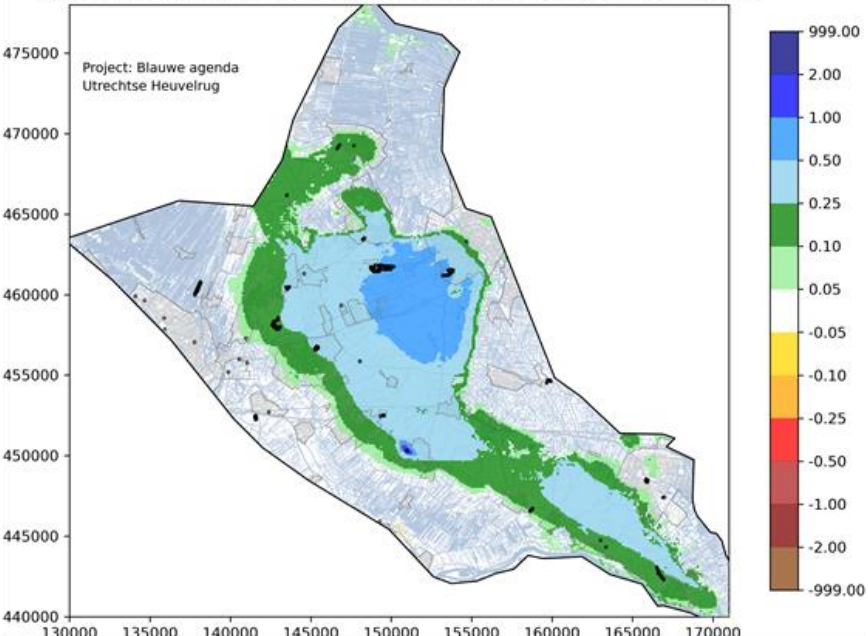


Bijlage B: effect van klimaatscenario KNMI'14 GL2050 (2000 t/m 2007) t.o.v. huidige situatie (2012 t/m 2019)

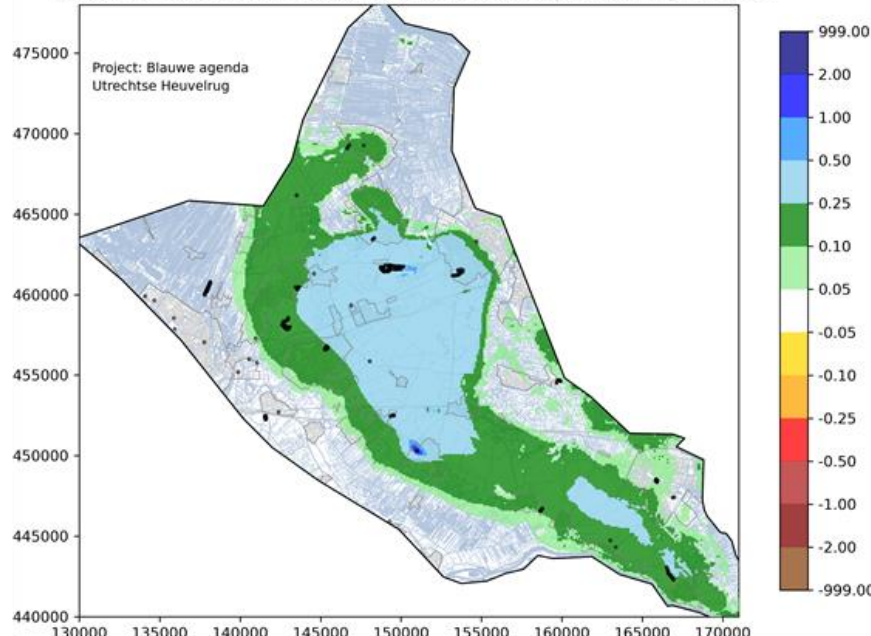
GL2050-klimaatscenario en autonome ontwikkeling: : effect op gemiddelde grondwaterstand [m]



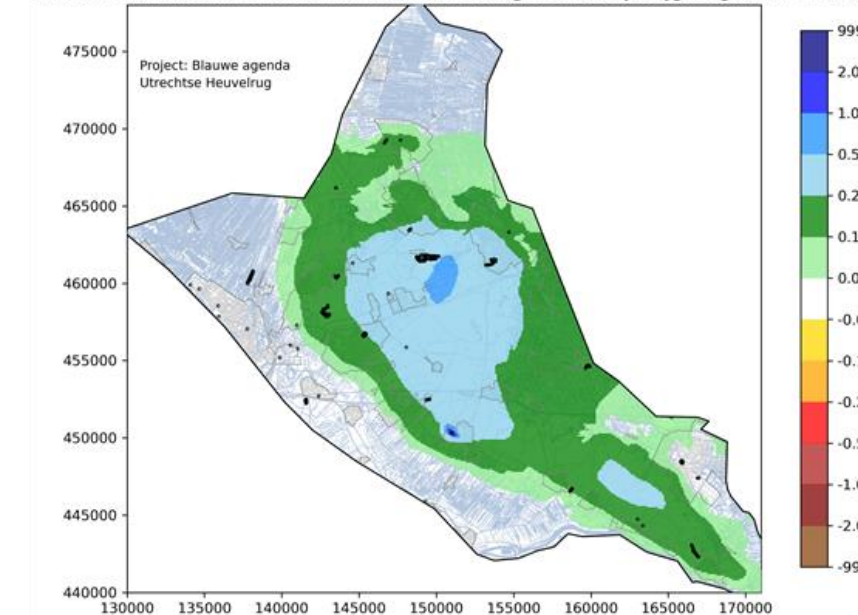
GL2050-klimaatscenario en autonome ontwikkeling: : effect op GHG [m]



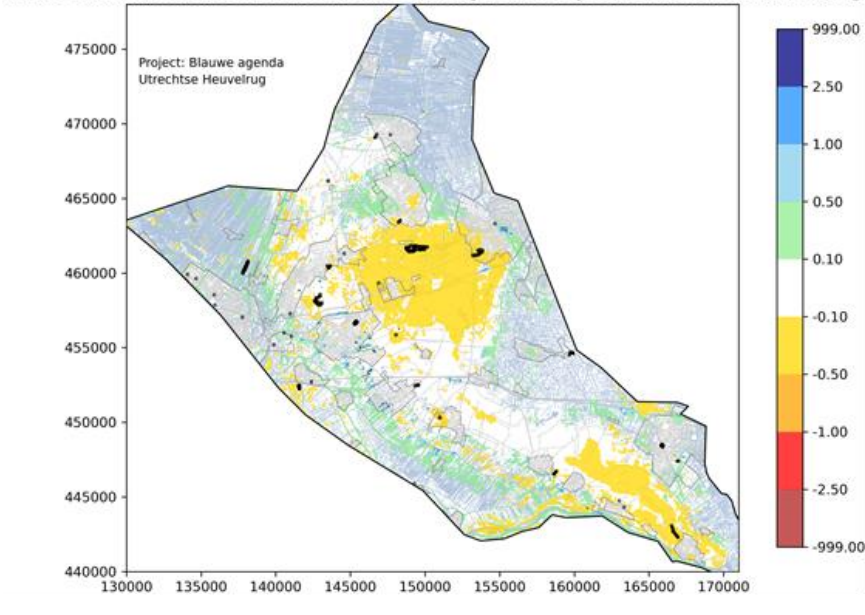
GL2050-klimaatscenario en autonome ontwikkeling: : effect op GLG [m]



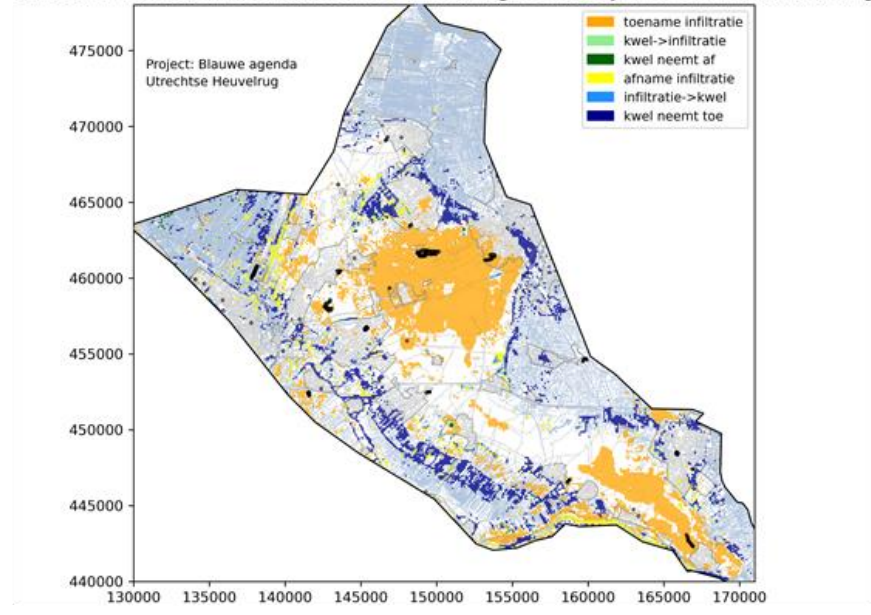
GL2050-klimaatscenario en autonome ontwikkeling: : effect op stijghoogte WVP 1 [m]



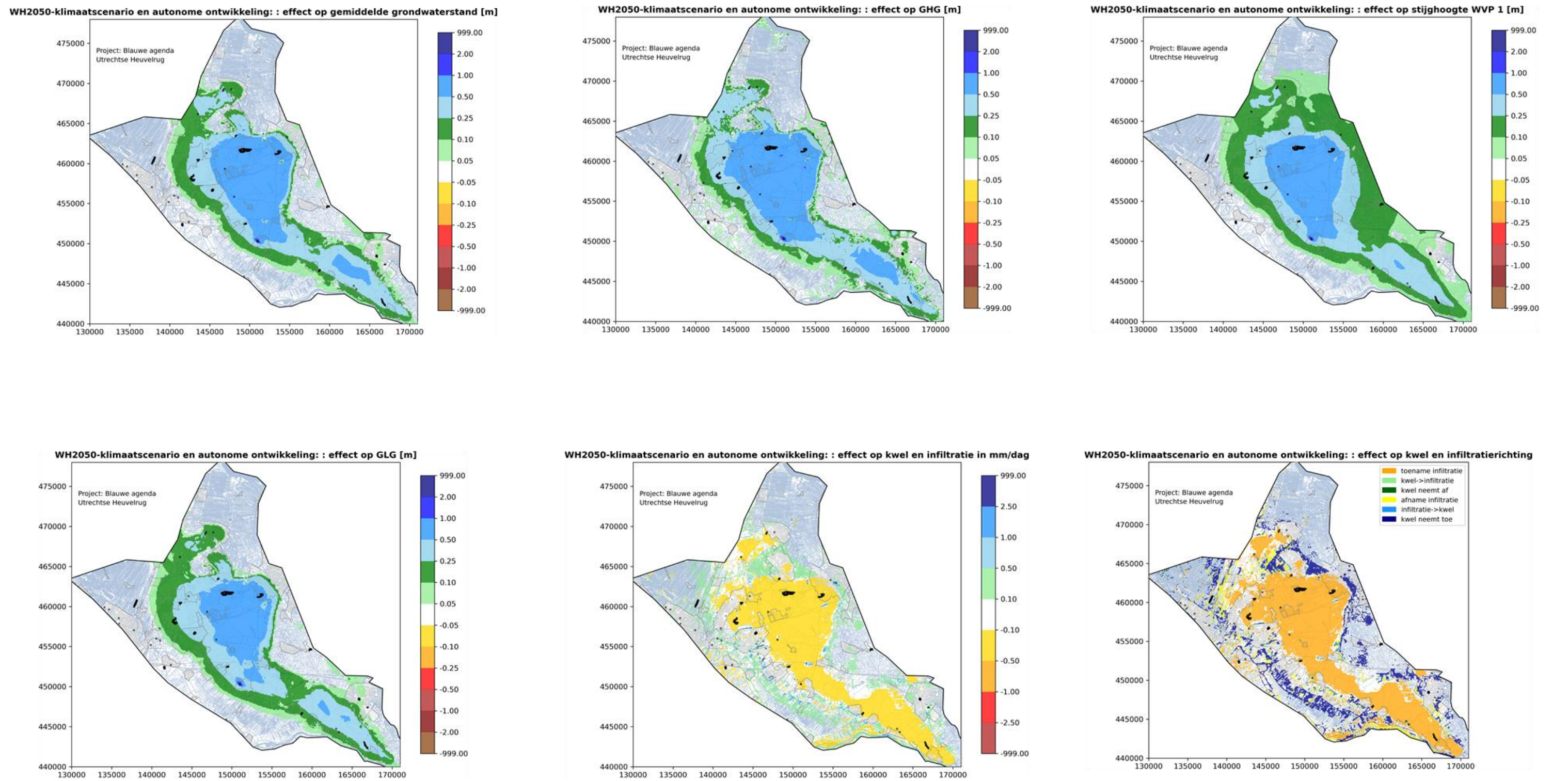
GL2050-klimaatscenario en autonome ontwikkeling: : effect op kwel en infiltratie in mm/dag



GL2050-klimaatscenario en autonome ontwikkeling: : effect op kwel en infiltratierichting



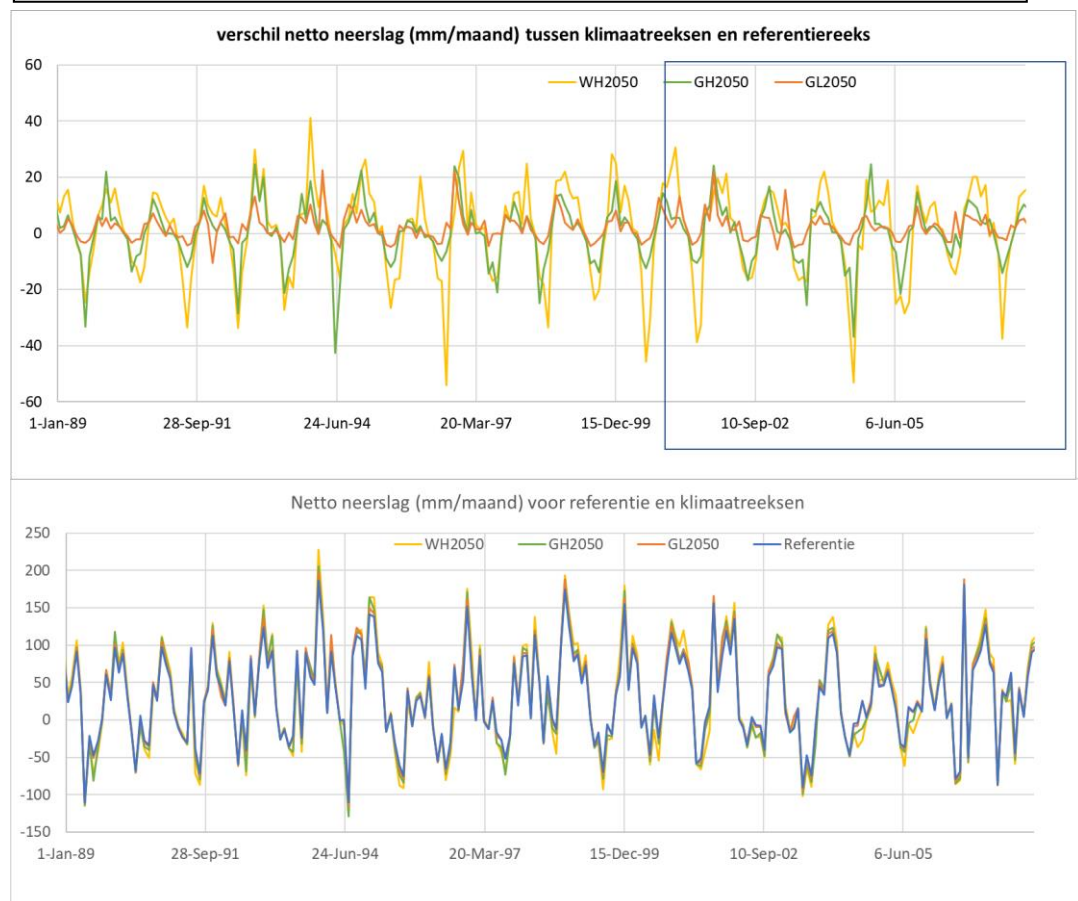
Bijlage B: effect van klimaatscenario KNMI'14 WH2050 (2000 t/m 2007) t.o.v. huidige situatie (2012 t/m 2019)



Achtergrondinformatie klimaatscenario's

Tabel 5 gemiddelde neerslagsom, verdampingssom en netto neerslagsom per jaar over de verschillende perioden en klimaatscenario's, gebruikt in deze studie.

meteorologiereeks	Periode	Gemiddelde neerslagsom per jaar	Gemiddelde verdampingssom per jaar	Netto neerslagsom per jaar
KNMI-dagwaarde (huidige situatie model)	2012-2019	880 mm	596 mm	284 mm
KNMI-dagwaarde (Referentie KNMI'14 klimaatreeks)	2001 t/m 2007	939 mm	588 mm	351 mm
2050GL KNMI'14 klimaatreeks	2001 t/m 2007	983 mm	606 mm	377 mm
2050GH KNMI'14 klimaatreeks	2001 t/m 2007	971 mm	617 mm	353 mm
2050WH KNMI'14 klimaatreeks	2001 t/m 2007	985 mm	628 mm	356 mm

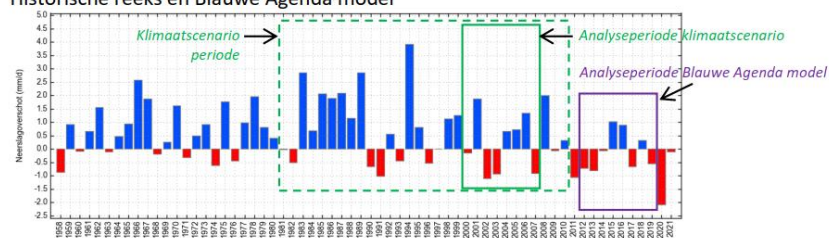


Figuur 46 boven :verschil van de netto neerslag van de klimaatreeksen WH, GL en GH 2050 ten opzichte van de klimaatreferentie. Omkaderd is de periode waarover de modelresultaten worden geanalyseerd (2001 t/m 2007). onder: tijdreeks van de netto neerslag van de klimaatreferentie en de klimaatreeksen WH, GL en GH 2050.

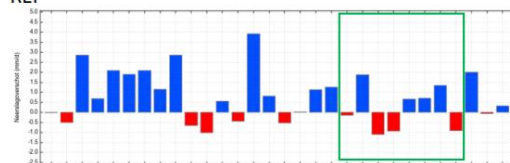
Voorjaarsmaand 15 maart – 15 april

daggemiddeld neerslagoverschot **per jaar**

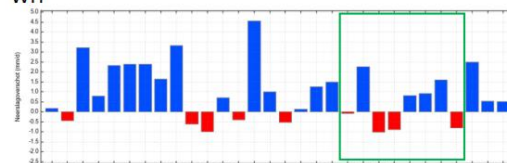
Historische reeks en Blauwe Agenda model



REF



WH



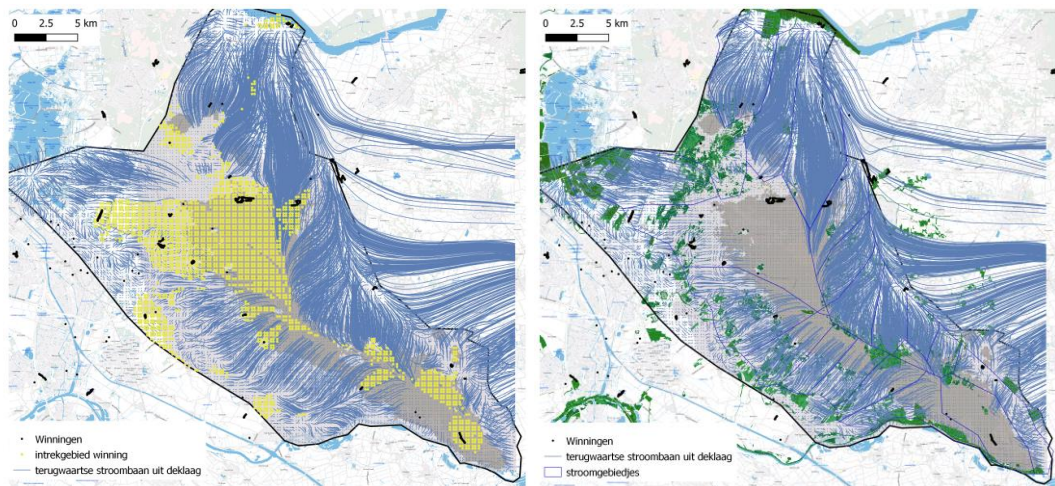
Figuur 47 analyse van de netto neerslag over de voorjaarsmaand 15 maart - 15 april op basis van metingen op KNMI station De bilt - periode 1958 t/m 2021 en de klimaatreeks WH2050. Analyse uitgevoerd door Borren, W. Van Natuurmonumenten.

Achtergrondinformatie stroombaananalyse

Om te bepalen waar het water dat infiltreert op de Utrechtse Heuvelrug naartoe stroomt, zijn Modpathberekeningen (stroombaanberekeningen) uitgevoerd. In het gehele projectgebied zijn om de 250 m startpunten gedefinieerd aan de onderkant van de tweede model-laag (in de deklaag/ bovenin de freatische zandlaag). Vanaf deze positie zijn stroombanen berekend voorwaarts (geeft weer waar het waterdeeltje naartoe stroomt, bv. voor bepaling intrekgebied) en achterwaarts (dit geeft aan waar dit waterdeeltje vandaan komt, informatie herkomstgebied).

Figuur 48 geeft middels blauwe stroombanen weer waar het water vandaan komt dat opkwelt op de flanken en aan de voet van de Utrechtse Heuvelrug. Hieruit volgt dat water dat opkwelt aan de flanken en aan de voet met name afkomstig is van de randen van de top van de Utrechtse Heuvelrug. Het water stroomt meestal in evenwijdig gelegen stroombanen naar beneden. Het water dat midden op de Utrechtse Heuvelrug infiltreert, wordt aangetrokken door de winningen. Startpunten van stroombanen die eindigen in een winput zijn weergegeven door gele punten (voorwaartse stroombaanberekening) en geven daarmee het intrekgebied van de winningen weer.

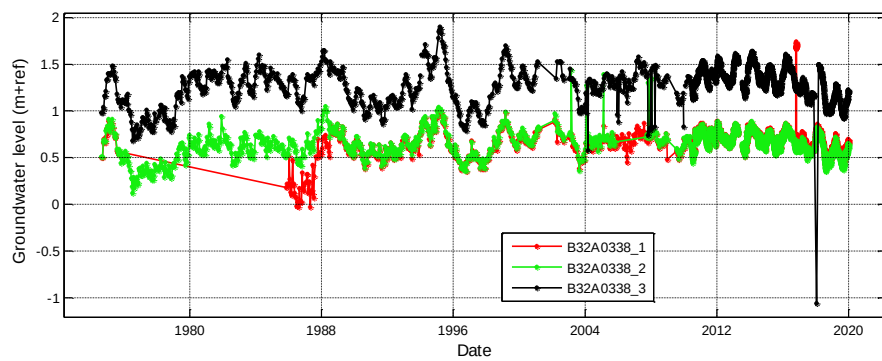
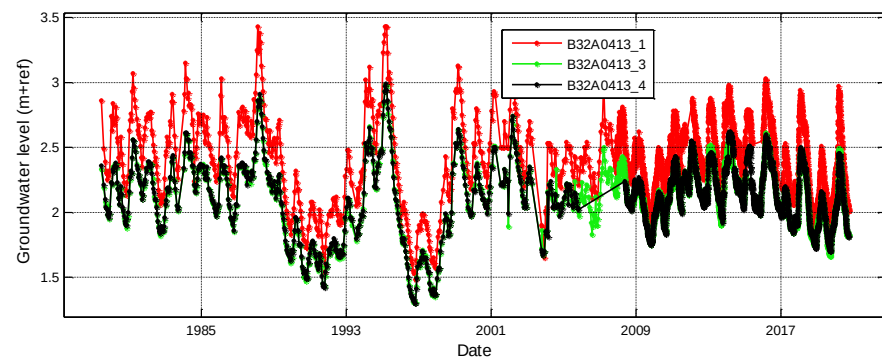
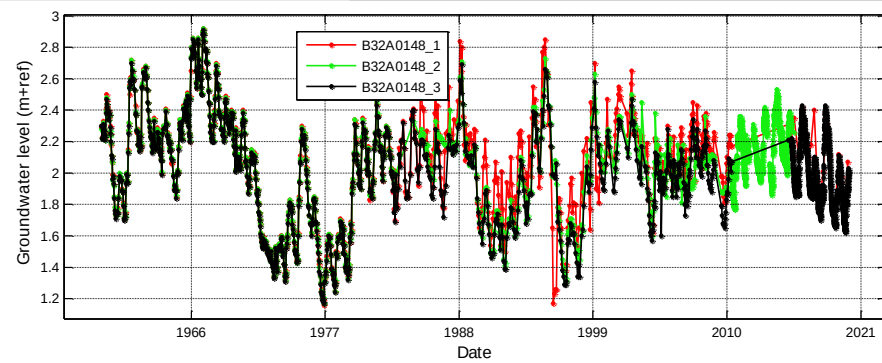
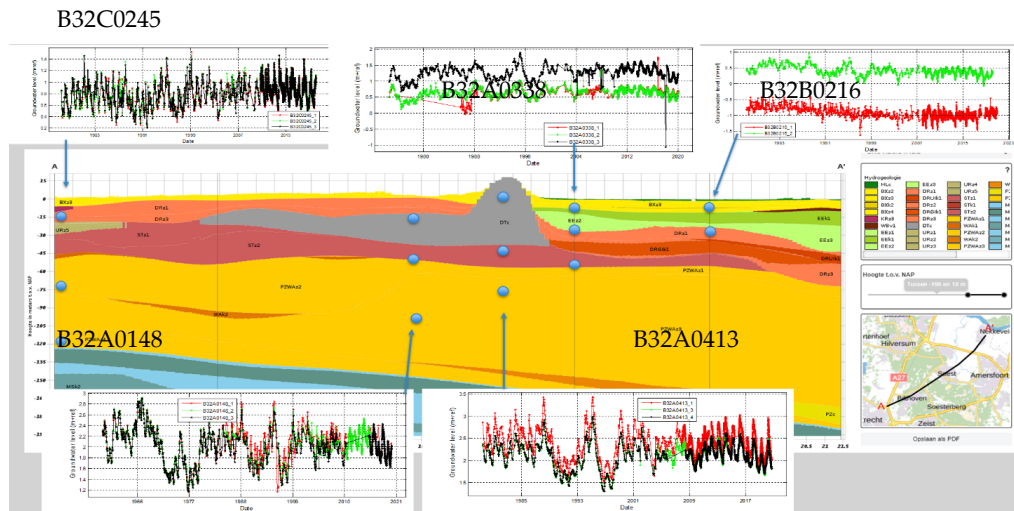
In Figuur 49 zijn de stroomgebieden globaal weergegeven. Het water stroomt hoofdzakelijk in evenwijdige stroombanen omlaag. Hierdoor zullen laaggelegen kwelgebieden vooral beïnvloed worden door ingrepen in het hydrologische systeem, op de bovenkant van de flank en de onderkant van het plateau, direct boven de kwellocatie of op de kwellocatie zelf.

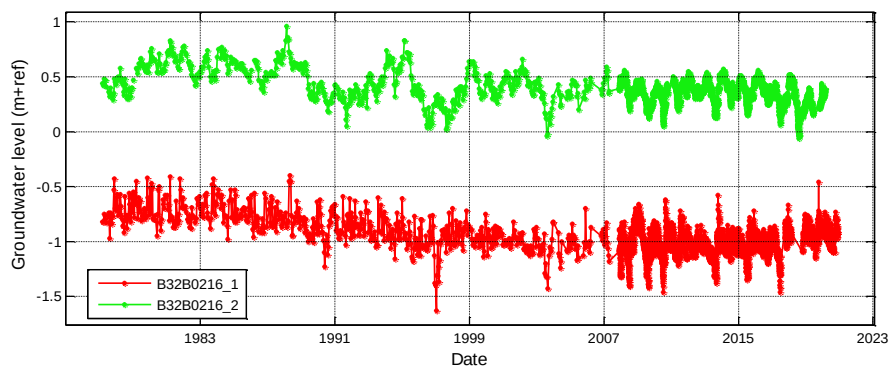
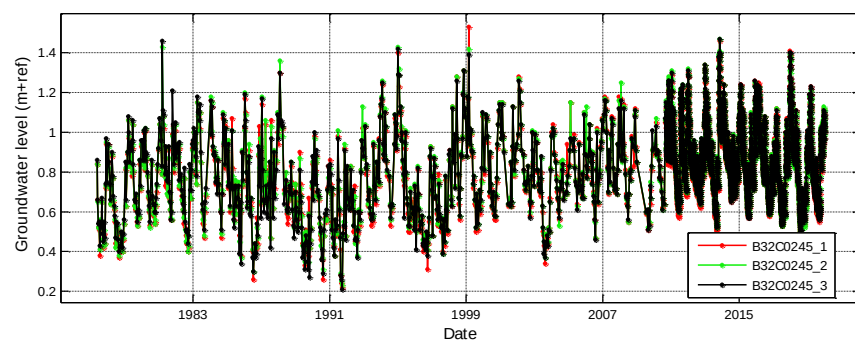


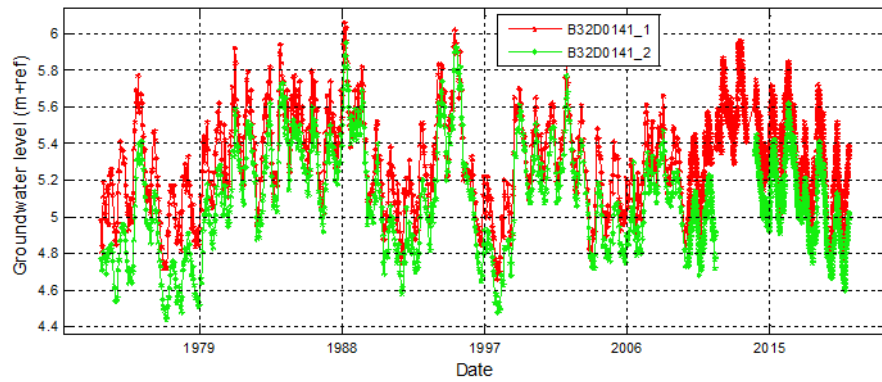
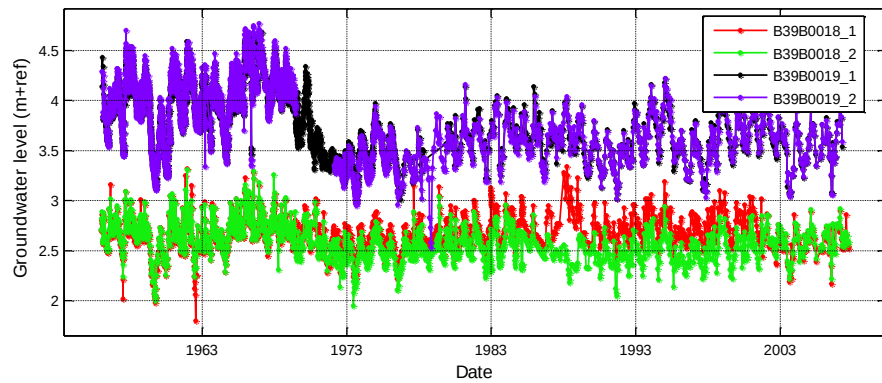
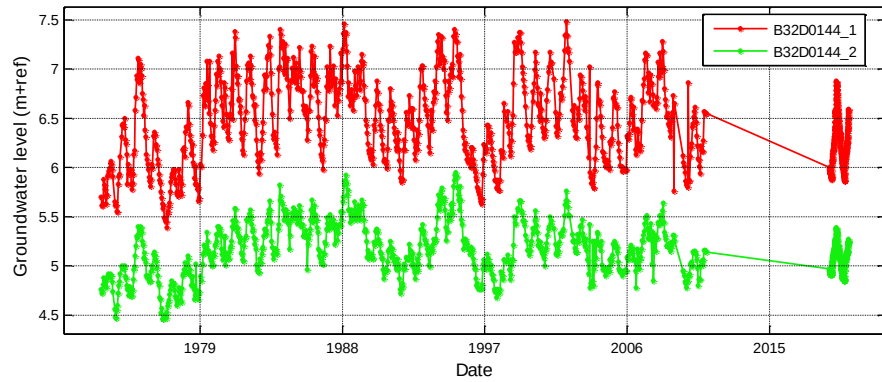
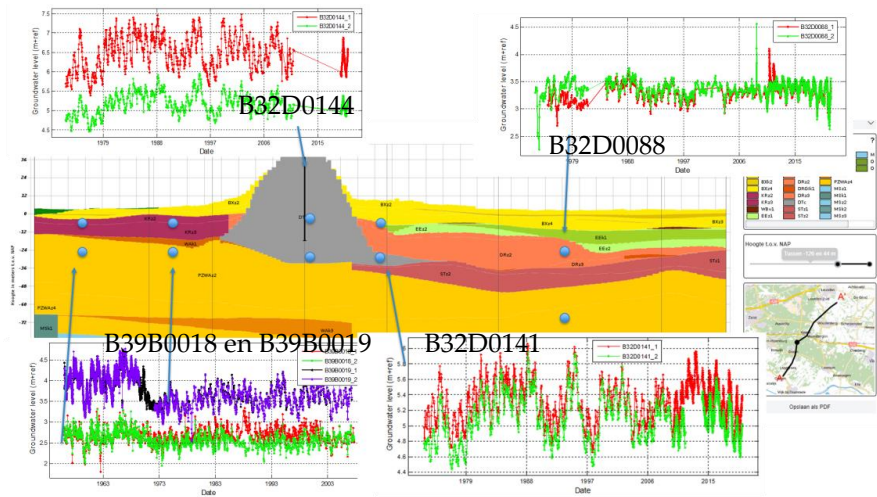
Figuur 48 links: achterwaartse stroombanen vanaf de onderkant modellaag 2 (blauw), intrekgebied van winningen (geel) en de winlocaties (zwarte puntjes).

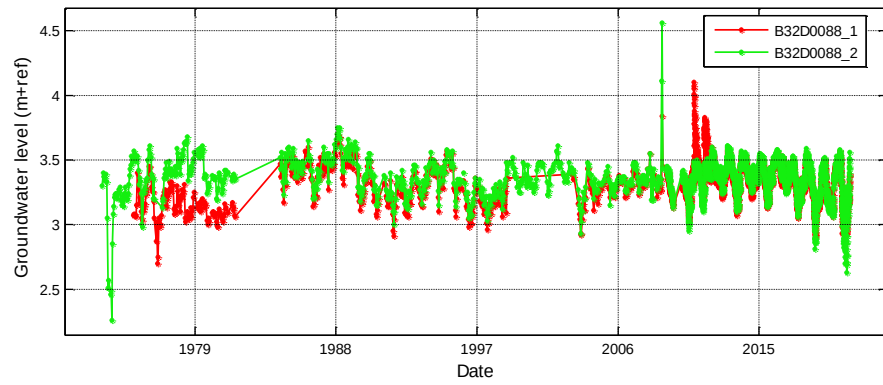
Figuur 49 rechts: stroomgebieden gedefinieerd op basis van de stroombanen. In groen zijn de natuurgebieden weergegeven met potentie voor natte natuur.

Historische langjarige grondwaterreeksen (ingezoomd)







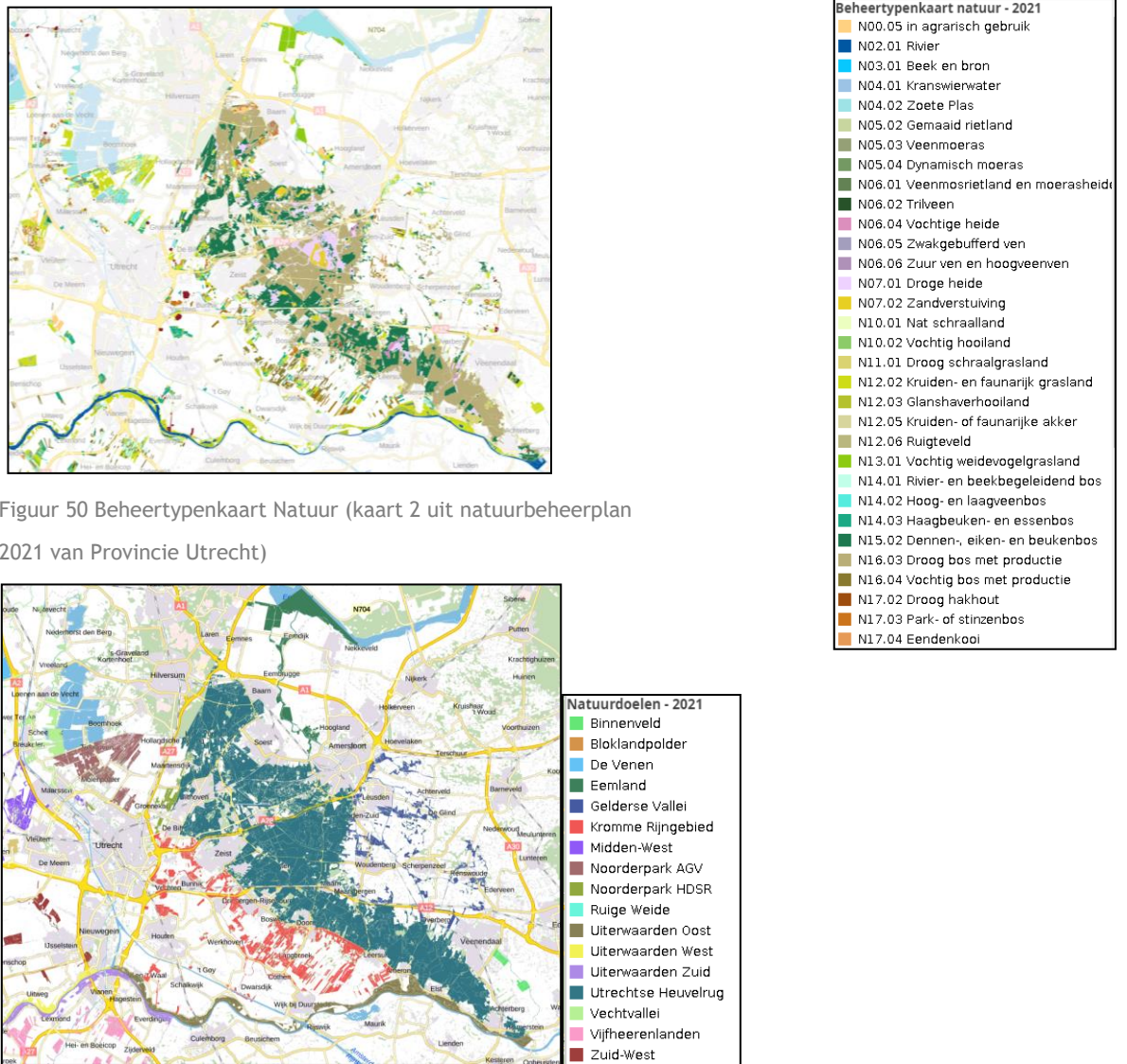


Waterbalans over 2015 en 2018, in mm/mnd

	2015						2018					
	Rand mm/mnd	Storage mm/mnd	Onttrek- king mm/mnd	Riv_in mm/mnd	Riv_uit mm/mnd	grond- water aanvulling mm/mnd	Rand mm/mnd	Storage mm/mnd	Onttrek- king mm/mnd	Riv_in mm/mnd	Riv_uit mm/mnd	grond- water aanvulling mm/mnd
Voet												
januari	15	1	-8	13	-110	90	16	1	-8	12	-120	99
februari	14	5	-7	14	-77	51	15	10	-8	16	-57	23
maart	16	10	-8	21	-54	14	16	4	-8	23	-42	8
april	14	0	-7	30	-47	9	14	0	-8	32	-40	3
mei	14	6	-8	39	-30	-21	14	7	-8	39	-44	-7
juni	13	6	-7	45	-26	-29	13	6	-8	44	-27	-27
juli	12	-1	-8	52	-31	-24	13	10	-8	62	-22	-54
augustus	12	-2	-8	36	-52	14	12	-2	-8	55	-27	-29
september	11	-5	-7	21	-70	51	11	-2	-8	36	-39	3
oktober	13	12	-8	23	-50	10	12	10	-8	35	-33	-15
november	12	-13	-7	17	-85	77	11	-3	-8	26	-42	15
december	15	4	-8	13	-110	85	11	-14	-8	18	-83	76
Flank												
januari	3	-17	-6	3	-64	81	2	-18	-6	3	-74	93
februari	3	-2	-5	3	-47	48	3	7	-6	4	-40	31
maart	5	10	-6	5	-36	22	5	10	-6	6	-26	11
april	5	6	-6	7	-30	17	5	8	-6	7	-22	8
mei	6	16	-6	9	-16	-9	6	12	-6	8	-22	3
juni	7	15	-6	11	-11	-15	6	14	-6	10	-12	-12
juli	7	14	-6	14	-9	-17	7	20	-6	16	-8	-26
augustus	7	2	-6	10	-16	4	7	9	-6	16	-7	-17
september	5	-8	-6	5	-36	40	6	3	-6	11	-10	-4
oktober	6	8	-6	6	-26	12	6	10	-6	10	-12	-8
november	5	-14	-6	5	-39	49	6	1	-6	8	-16	7
december	3	-15	-6	3	-67	82	4	-17	-6	5	-40	54
Plateau												
januari	-17	-13	-5	0	-1	36	-15	-23	-5	0	-2	45
februari	-17	-13	-4	0	-1	35	-17	-14	-4	0	-1	36
maart	-21	-7	-5	0	-1	33	-22	-3	-5	0	-1	31
april	-22	-3	-4	0	-1	30	-22	1	-5	0	-1	26
mei	-25	5	-5	0	-1	25	-23	4	-5	0	-1	25
juni	-25	8	-4	0	0	21	-23	8	-5	0	0	21
juli	-26	11	-5	0	0	20	-25	12	-5	0	0	20
augustus	-25	10	-5	0	0	20	-25	12	-5	0	0	19
september	-21	3	-4	0	0	22	-23	11	-5	0	0	17
oktober	-22	5	-5	0	0	21	-24	11	-5	0	0	17
november	-20	2	-4	0	-1	23	-22	11	-5	0	0	16
december	-17	-16	-5	0	-1	39	-19	6	-5	0	0	18
Totale jaarbals	Rand	Storage	Onttrek- king	Riv_in	Riv_uit	Netto grond- water aanvulling	Rand	Storage	Onttrek- king	Riv_in	Riv_uit	Netto grond- water aanvulling
voet m3/j	2.8E+07	3.8E+06	-1.5E+07	5.6E+07	-1.3E+08	5.6E+07	2.7E+07	4.4E+06	-1.7E+07	6.9E+07	-9.9E+07	1.6E+07
voet mm/j	161	22	-90	323	-741	327	158	26	-100	399	-574	95
flank m3/j	1.9E+07	4.4E+06	-2.2E+07	2.5E+07	-1.2E+08	9.7E+07	2.0E+07	1.9E+07	-2.3E+07	3.2E+07	-9.0E+07	4.3E+07
flank mm/j	62	14	-71	81	-397	314	65	61	-74	103	-290	140
plateau m3/j	-4.2E+07	-7.8E+05	-8.8E+06	5.1E+05	-1.4E+06	5.3E+07	-4.2E+07	5.7E+06	-9.1E+06	6.2E+05	-1.2E+06	4.7E+07
plateau mm/j	-258	-5	-54	3	-9	325	-261	35	-56	4	-7	289

Bijlage C Vertaalslag natuur

Figuur 50 en Figuur 51 geven respectievelijk de beheertypekaart en de ambitiekaart uit het natuurbeheerplan 2021 van de provincie Utrecht weer.



Figuur 50 Beheertypenkaart Natuur (kaart 2 uit natuurbeheerplan 2021 van Provincie Utrecht)

Figuur 51 Deelgebieden uit het natuurbeheerplan 2021 van Provincie Utrecht. Ieder deelgebied heeft zijn eigen ambities en daarbij behorende prioritaire beheertypen.

Methodiek bepalen opgave

In overleg met de Provincie is een methodiek opgesteld om de opgave voor natuurterreinen, opgenomen in het Natuurbeheerplan, te bepalen.

Toets huidige beheertypen

De huidige beheertypen (NBP 2021) worden met het Waternoodinstrumentarium getoetst voor de grondwatersituatie in 2050. Deze toets geeft aan of de grondwatercondities geschikt zijn voor het vastgelegde beheertype. Op het resultaat worden 2 bewerkingsslagen uitgevoerd:

- Waar, op de Utrechtse Heuvelrug, de grondwaterstand te diep onder maaiveld is (> 3.5 m onder maaiveld), maar het beheertype wel grondwaterafhankelijke eisen heeft, wordt het resultaat vervangen door de code: “droge natuur (vernattingspotentie buiten bereik of geen doel)”.
- Indien elders de grondwaterstand te diep onder maaiveld is voor een bepaald beheertype, wordt aangegeven in welke mate de droogtestress beperkt moet worden of de GVG verhoogd moet worden om wel tot juiste condities voor het beheertype te komen.

Toets ambitie-beheertypen

In het natuurbeheerplan zijn de prioriteiten per deelgebied (zie [Figuur 51](#)) vastgesteld door de Provincie. Binnen deelgebieden verschillen de grondwatercondities meestal sterk. Dit betekent dat ook de mogelijkheden voor natuur verschilt. De werkwijze is als volgt. Eerst wordt nagegaan of natuurbeheertypen van prioriteit 1 gerealiseerd kunnen worden op specifieke locaties op basis van abiotische omstandigheden (of mogelijkheden om deze te creëren), dan van prioriteit 2, etc.. Dit wil uiteraard niet zeggen dat alle laagbeoordeelde beheertypen per definitie moeten worden omgevormd naar beheertypen met een hogere prioriteit.

Een voorbeeld van de omvorming van bestaande natuur in het deelgebied Utrechtse Heuvelrug is de inrichting van kruiden- en faunairijk grasland (prioriteit 3) tot vochtig hooiland (prioriteit 2) of nat schraalland (prioriteit 1). Het overgrote deel van de natuurgraslanden bestaat op dit moment uit kruiden- en faunairijk grasland. Dit type grasland heeft relatief lage natuurwaarden. De ambitiekaart maakt omvorming naar vochtig hooiland of nat schraalland mogelijk als dat op een specifieke locatie gerealiseerd kan worden, bijvoorbeeld via hydrologische maatregelen in combinatie met het afgraven van de voedselrijke bovengrond. [Tabel 6](#) geeft aan welke natuurbeheertypen in de verschillende deelgebieden gewenst zijn en met welke prioriteit.

Tabel 6 Overzicht van de ambitie-beheertypen die vallen onder de prioriteiten 1 t/m 4 van de 7 deelgebieden in het projectgebied met daarbij de eisen aan het watersysteem volgens het Waternoodinstrument.

TYPE	OMSCHRIJF	Eisen vanuit Waternoodinstrumentarium*						Deelgebieden met de natuurprioriteiten								
		GVG_B2	GVG_A2	GLG_B2	GLG_A2	DSTRESS	DSTRESS	Binnen	Eem	Gelderse	Kromme	Noorder	Vecht	Utrechtse	Prioriteit	
		[cm-mv]	[cm-mv]	[cm-mv]	[cm-mv]	b2 [d]	a2 [d]	veld	land	vallei	Rijn	park	vallei	Heuvelrug	Totaal	
N06.01	'Veenmosrietland en moerasheid'	38	50	30	60			1				1			1	
N06.02	'Trilveen'	3	10	20	45			1				1			1	
N06.05	'Zwakgebufferd ven'	25	40	40	80					1				1	1	
N06.04	'Vochtige heide'	35	50			28	35			1				1	1	
N10.01	'Nat schraalland'	38	50			28	35	1	1	1	1	1	1	1	1	
N13.01	'Vochtig weidevogelgrasland'	45	55			5	20		1				1		1	
N05.01	'Moeras'	45	60	65	90			2	2	2	2	2	2		2	
N06.06	'Zuur ven of hoogveenven'	25	40	30	60					2				2	2	
N10.02	'Vochtig hooiland'	45	60			38	45	2	2	2	2	2	2	2	2	
N12.03	'Glanshaverhooiland'					38	45		2		2		2		2	
N07.01	'Droge heide'									2				2	2	
N07.02	'Zandverstuiving'													2	2	
N11.01	'Droog schraalland'									2	2	2		2	2	
N14.02	'Hoog- en laagveenbos'	28	40	50	70							3	3		3	
N12.02	'Kruiden- en faunarijk grasland'					38	45	3	3	4	4	3		3	3	
N14.01	'Rivier- en beekbegeleidend bos'					28	40	3	3	3	3				3	
N14.03	'Haagbeuken- en essenbos'					25	40				3		3	3	3	
N12.05	'Kruiden- en faunarijke akker'					48	55			1	3	3		3	3	
N15.02	'Dennen-, eiken- en beukenbos'							3	3	3	3	3		3	3	

* "B2": minimale waarde voor goede ontwikkeling beheertype, "A2": waarde waaronder geen ontwikkeling van beheertype meer plaatsvindt
GVG: gemiddelde voorjaars grondwaterstand, GLG: gemiddelde laagste grondwaterstand, droogtestress: het aantal dagen waarna een plant stress van droogte ondervindt

Om na te gaan, waar, welke ambitie-beheertype per prioriteit uitvoerbaar is, is voor het detailniveau van deze studie een te gedetailleerde aanpak. Het is echter wel goed mogelijk om op basis van Tabel 6 een indeling te maken van de ambitie-beheertypen in drie klassen:

- Vochtige heide en graslanden: afhankelijk van ondiepe grondwaterstand in het voorjaar en beperkte droogtestress in de zomer;
- Moeras- en venachtigen: zeer sterk gerelateerd aan natte condities, zowel in het voorjaar als in de zomer;
- Overigen: minder sterke afhankelijkheid aan grondwatercondities.

Onder prioriteit 1 vallen alleen ambitie-beheertypen die vochtige grondwatercondities vergen. Het grondwatermodelinstrumentarium Azure heeft een onzekerheidsbandbreedte van 29 cm (+/- 27 cm). In dat licht zijn de verschillen tussen de GVG-waarden voor de verschillende vochtige heide en vochtige grassen zeer klein. Besloten is daarom om 1 ambitie-beheertype te toetsen, namelijk vochtig hooiland. Dit geeft als resultaat de locaties in het projectgebied waar aan de ondergrens voor potentiële natte natuur wordt voldaan. Op de plekken waar het grondwatersysteem nog niet geschikt is voor natte natuur, wordt aangegeven in welke mate het grondwatersysteem vernat moet worden om wel tot de juiste condities te komen. Dit geeft inzicht in welke locaties potentie bieden in samenspraak met maatregelen.

Locaties, waar aan de randvoorwaarden voor vochtig hooiland wordt voldaan en tevens de GLG hoger is dan 40 cm-mv, zijn een potentiële locatie voor de moeras- en venachtige ambitie-beheertypen.

Uitleg interpretatie ambitie beheertype kaart aan de hand van de Laagte van Pijnenburg

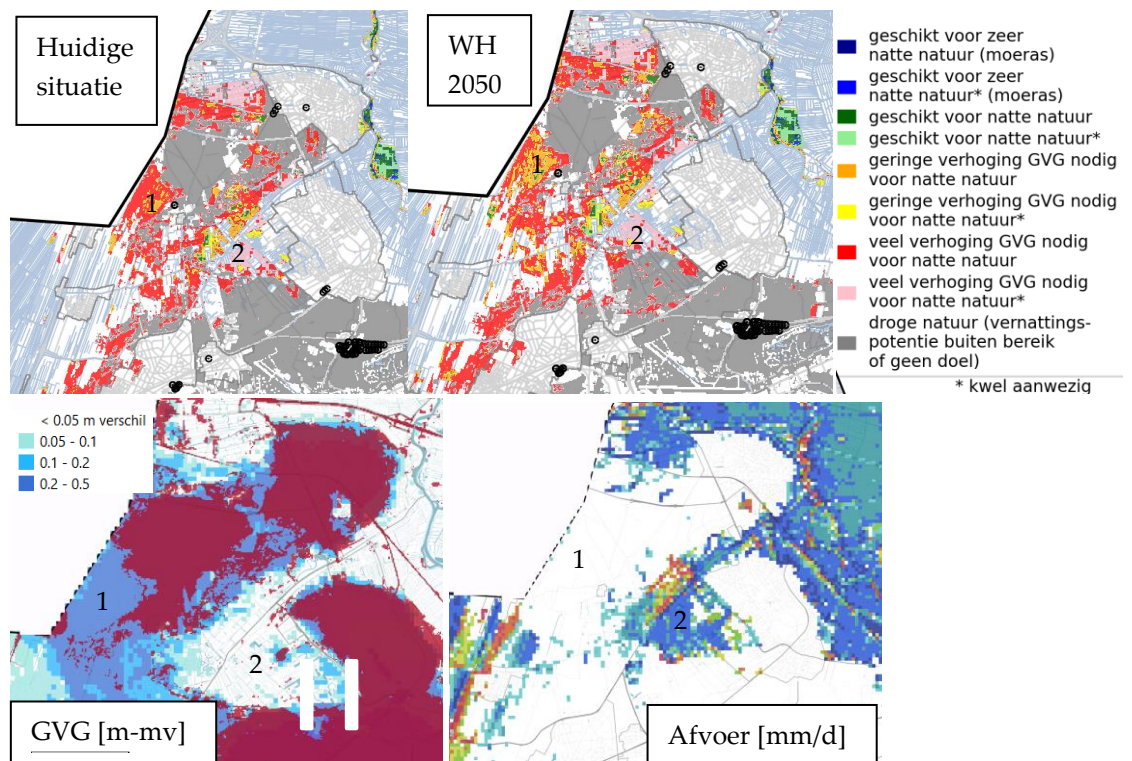
Figuur 52 geeft 4 ingezoomde figuren voor de laagte van Pijnenburg weer.

- Ter plaatse van het cijfer 1 in de figuren, is een geringe toename voor de potentie van natte natuur berekend (van rood/oranje naar overwegend oranje in de bovenste 2 figuren). Dit komt door een toename van de voorjaarsgrondwaterstand (GVG) met circa 0.25 m (zie figuur linksonder).

- Ter plaatse van het cijfer 2 treedt geen potentieverandering op, want de GVG neemt ook niet toe. Ter plaatse is namelijk oppervlaktewater aanwezig waar het water uit-treedt, de afvoer uit het gebied neemt wel toe.

Om ook bij cijfer 2 tot een betere potentie voor natte natuur te komen is het noodzakelijk om het uittreden van grondwater en dus de afvoer uit het gebied te verminderen. In dat geval leidt de toename van de neerslag als gevolg van het WH2050-scenario wel tot een toename van de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en tot betere grondwatercondities voor natte natuur.

Opvallend is ook dat in een redelijk groot deel van het gebied de GVG dieper is dan 2 m-mv. Dit komt mede omdat het een hellend gebied is. Om tot betere condities voor natte natuur te komen, zijn dan veel grotere effecten nodig dan een orde van grootte van 0.25 m grondwaterstandstijging. Het is daarom niet realistisch om het gehele gebied aan te passen naar natte natuur.



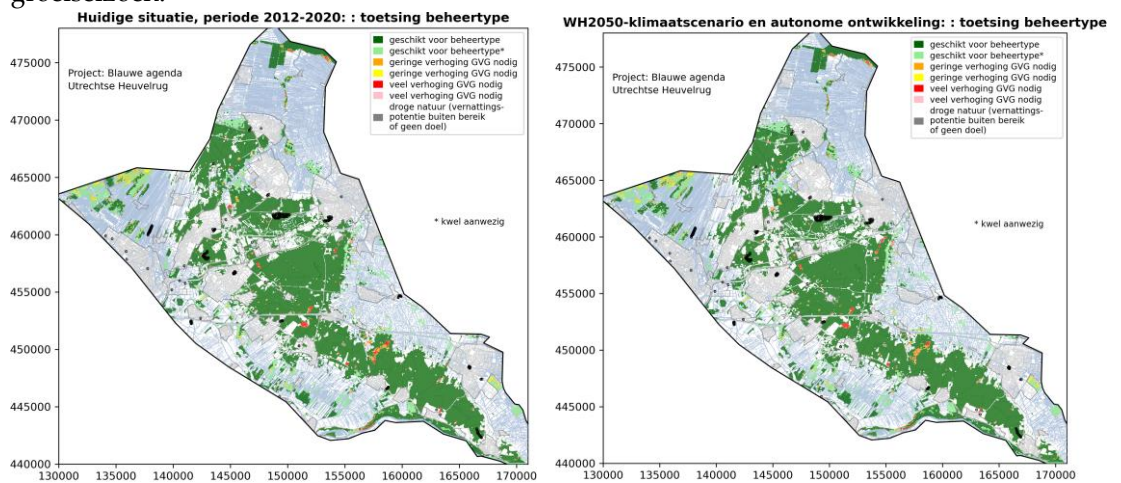
Figuur 52.4 kaartjes voor het gebied de laagte van Pijnenburg. Linksboven: potentie natte natuur huidige situatie. Rechtsboven: potentie natte natuur 2050 (WH2050-scenario). Linksonder: toename van de GVG als gevolg van WH2050 (ten opzichte van de huidige situatie). De rode kleur geeft gebied aan waar GVG dieper is dan 2 m-mv. Rechtsonder: afvoer gemiddeld per jaar huidige situatie door oppervlaktewater-systeem.

Bijlage D Knelpuntenopgave

Natuur

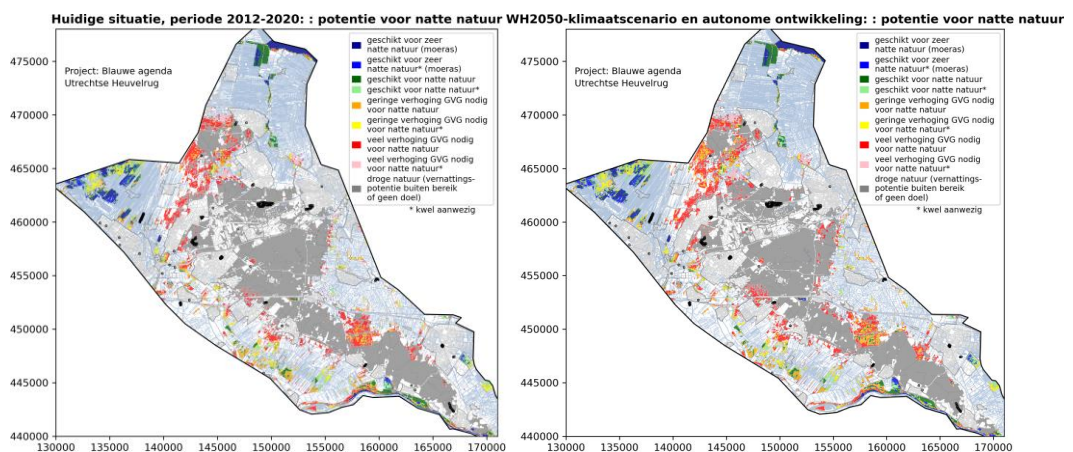
Huidig beheertype

Alleen zeer lokaal is het grondwatersysteem niet op orde voor het huidige beheertype, dit betreffen altijd locaties waar een nat beheertype is afgesproken en waar de grondwatersituatie daarvoor nog niet voldoet. Een groot deel van de hoger gelegen Utrechtse Heuvelrug komt ondanks diepe grondwaterstanden en mogelijke droogtestress in droge jaren als 'beheertype voldoet' uit de analyse omdat het natuurbeheertype geen eisen stelt aan de grondwaterstand of droogtestress (zie als voorbeeld N15.02 in Tabel 6, bijlage C). Het instrument toetst namelijk niet of er voldoende vocht in de bodem aanwezig is tijdens het groeiseizoen.



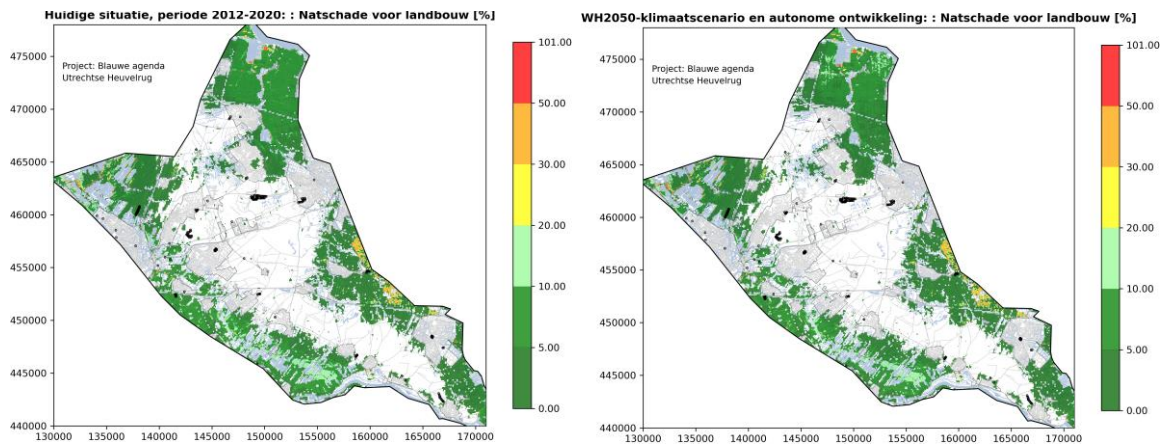
Figuur 53. Resultaat toetsing huidige beheertypen (jaar 2021). Links: huidige situatie, rechts: referentie 2050. Geringe verhoging GVG betekent dat de GVG tot 50 cm moet worden verhoogd of de droogtestress tot 9 dagen moet worden beperkt. Veel verhoging GVG nodig betekent dat de GVG 50-150 cm moet worden verhoogd en/ of de droogtestress 9-29 dagen moet worden beperkt.

Ambitie beheertype

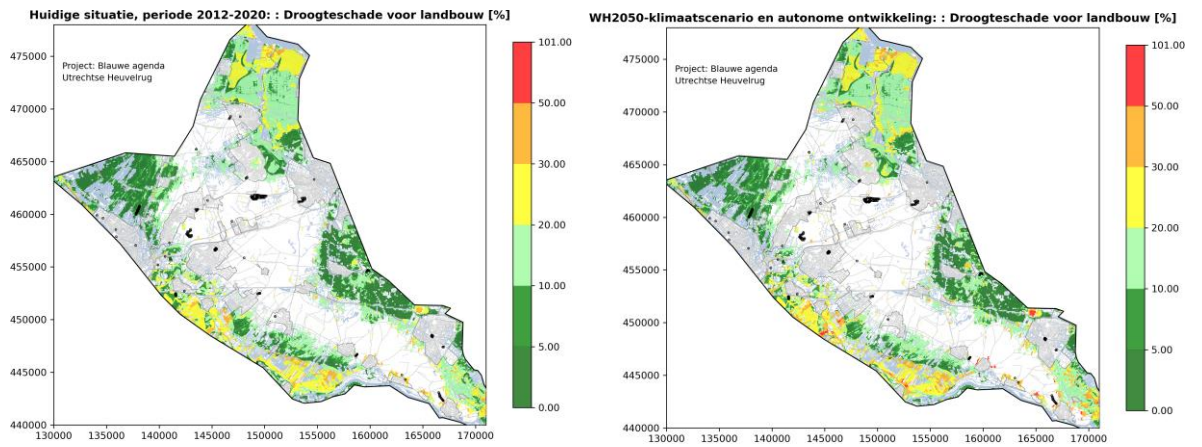


Figuur 54 Potentie voor natte natuur (Huidige situatie en WH 2050). Geringe vernatting betekent dat de GVG tot 50 cm moet worden verhoogd of de droogtestress tot 9 dagen moet worden beperkt. Veel vernatting betekent dat de GVG 50-150 cm moet worden verhoogd en/ of de droogtestress 9-29 dagen moet worden beperkt.

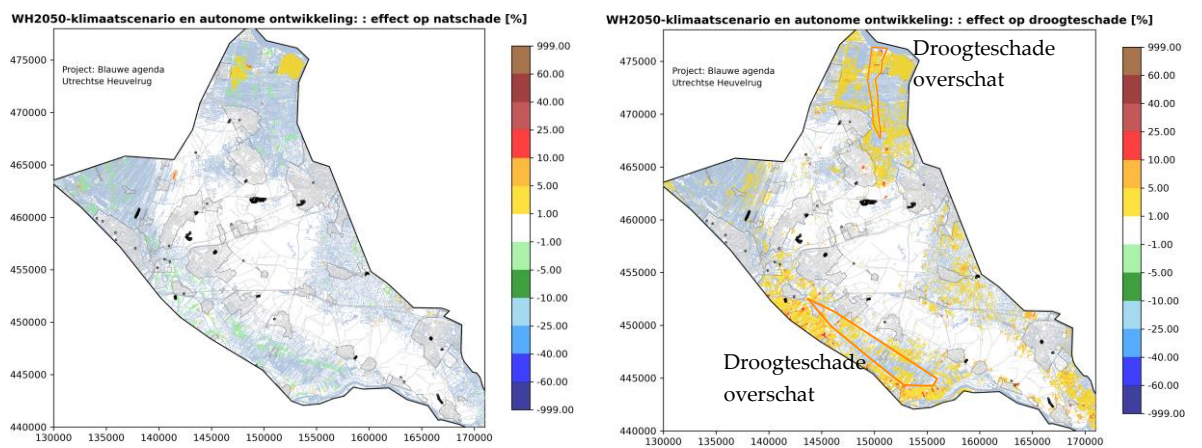
Landbouw



Figuur 55 Natschade in doelrealisatie [%] in de huidige situatie en de referentie situatie 2050

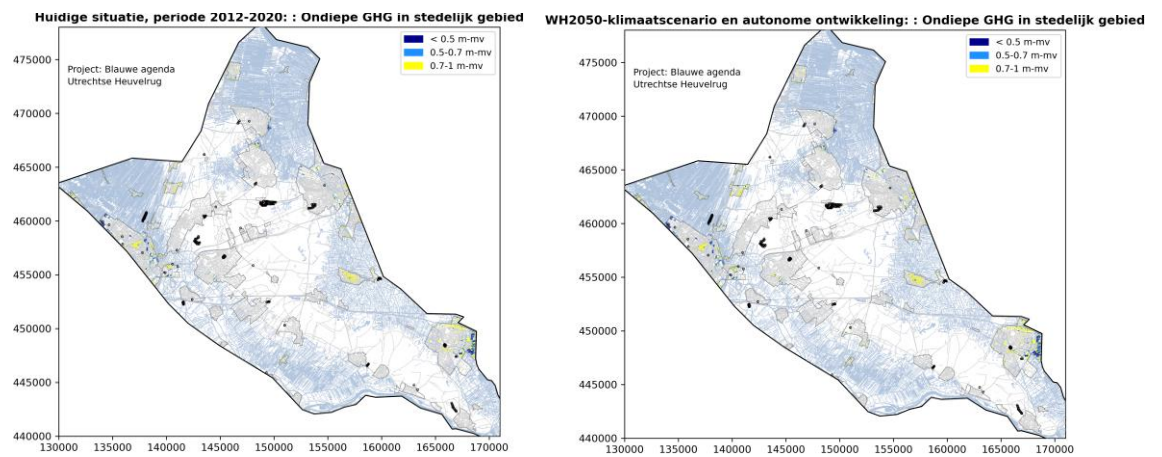


Figuur 56 Droogteschade in doelrealisatie [%] in de huidige situatie en de referentie situatie 2050.



Figuur 57 Effect van de referentie situatie WH2050 (tov huidige situatie) op de natschade (links) en effect van de referentie situatie WH2050 (tov huidige situatie) op de droogteschade (rechts).

Stedelijk gebied



Figuur 58 Locaties met risico op grondwateroverlast in de huidige situatie en de referentie situatie 2050

Bijlage E Overzicht bouwstenen

Nr.	Bouwsteentype	Model-som	Bouwsteen
1	Peil- / bodemverhoging (sterk drainerende) watergangen	Ja	1.1 In alle watergangen het peil, de bodemhoogte en/of de drainagebasis verhogen met 30 cm
		Ja	1.2 Peil en bodemhoogte aan de voet van de heuvelrug (kwelgebieden) verhogen met 30 cm
		Ja	1.3 Peil en bodemhoogte op de flanken verhogen met 50 cm
		Ja	1.4 Verhogen van de bodemhoogte en het waterpeil binnen en rondom de laagte van Pijnenburg en Leersumsche Veld met 50 cm
2	Dempen detailontwatering	Ja	2.1 Dempen van drainerende watergangen op vier individuele locaties
3	Verloofen naaldbos in infiltratiegebied	Ja	3.1 50% van het naaldbos op de top en de flank verloofen
		Ja	3.2 25% van het naaldbos op de top en de flank verloofen
		Ja	3.3 25% van het naaldbos omzetten naar zandvlakte + droge natuur (zelfde gebied als 3.2)
4	Afkoppelen stedelijk gebied in infiltratiegebied	Ja	4.1 100% afkoppelen van (en infiltreren in) stedelijk gebied op het plateau en de flank
		Ja	4.2 ~50% afkoppelen van (en infiltreren in) stedelijk gebied op het plateau en de flank
5	Infiltreren rivierwater	Ja	5.1 Infiltratie van 2 x 25 miljoen m ³ /jaar, in totaal 50 miljoen m ³ /jaar
		Ja	5.2 Infiltratie van 5 x 10 miljoen m ³ /jaar, in totaal 50 miljoen m ³ /jaar
6	Inzet effluent RWZI's	Ja	6.1 Infiltratie van 2.5 miljoen m ³ /jaar ten westen van de Soest
		Ja	6.2 Infiltratie van 2.5 miljoen m ³ /jaar ten zuidwesten van Veenendaal
7	Permanent beregeningsverbod	Ja	7.1 Beregening vanuit grondwater uitschakelen
8	Piekbuien (tot T=5) bergen in natuur om wateroverlast te voorkomen in stedelijk gebied	Ja	8.1 infiltratie van 17.500 m ³ water in 2 weken dat vanuit 2 stroomgebieden naar Amerongen stroomt (T=5 bui)
9	Gedeeltelijke vervanging drinkwater uit grondwater door oppervlaktewater	Ja	9.1 Alle drinkwater- en industriële winningen op de flank en het plateau met 15% beperken.
		Ja	9.2 Totale drinkwater- en industriële winning ~15% beperken door de ondiepe onttrekking bij Soestduin te halveren (-4.5 M m ³ /jaar)
		Ja	9.3 Totale drinkwaterwinningen binnen het gebied ~15% vergroten op 1 onttrekkingslocatie (diepte putten op -90 à -120mNAP) midden op de Heuvelrug)
11	Schoner water	Nee	Kansen om oppervlakte- en grondwaterkwaliteit te verbeteren, Verbeteren bodemstructuur en verhogen organisch stofgehalte in de bodem.

Voor een overzicht van waar de bouwstenen zijn toegepast, wordt verwezen naar paragraaf 5.2 in de rapportage of naar de digitale bijlage. Hieronder volgt een toelichting over de modelmatige aanpassingen in het model om de effecten van de bouwsteen te berekenen:

- Peil- en bodemverhoging: de bodemhoogte, winterpeil en zomerpeil zijn verhoogd met het gevraagde aantal centimeters. Daar waar het peil boven maaiveld komt, is het peil vastgezet op maaiveldhoogte en de bodemhoogte 50 cm onder maaiveld.
- Dempen detailontwatering: de te dempen watergangen zijn uit het model verwijderd.
- Verloofen naaldbos: het landgebruik is aangepast van naaldbos naar loofbos of droge natuur in de LGNkaart.
- Afkoppelen stedelijk gebied in infiltratiegebied: de infi_svat file van METASWAP is bij het begin van de berekening overschreven met een handmatig aangepaste file waarin afstroming van maaiveld naar het oppervlaktewatersysteem in stedelijk gebied is uitgezet. Bij 100% afkoppelen is dit voor al het stedelijke gebied gedaan op de flank en het plateau. Bij 50% afkoppelen is dit iedere 2^e modelcel met stedelijk gebied toegepast.
- Infiltreren rivierwater: in het model zijn op de infiltratielocaties putclusters in het model gebracht met filters in modellaag 3 en 5.
 - Voor infiltratie van 25 Mm³/j zijn twee infiltratievelden naast elkaar opgenomen. Ieder infiltratieveld beslaat 500 m bij 500 m en bevat 22 putlocaties.
 - Voor infiltratie van 10 Mm³/j is één infiltratieveld opgenomen. Het infiltratieveld beslaat 500 m bij 500 m en bestaat uit 22 putten.
- Inzet effluent RWZI's: voor infiltratie van 2.5 Mm³/jaar is één infiltratieveld opgenomen. Het infiltratieveld beslaat 250 m bij 500 m en bestaat uit 12 putten. Infiltratie vindt plaats in modellaag 3 en 5.
- Permanent beregeningsverbod: locaties met beregening vanuit het grondwater zijn verwijderd uit de file beregen.idf voor in de Metaswapfile binnen het projectgebied.
- Piekbuien bergen bij Amerongen. In het model zijn 2 putlocaties ingevoerd, onderaan de 2 stroomgebiedjes, vanwaar water over maaiveld naar Amerongen stroomt. De putten infiltreren 17.500 m³ (T=5 bui) in de eerste 2 weken van juli in het jaar 2018. Infiltratie vindt plaats in modellaag 3 en 7.
- Gedeeltelijk vervanging drinkwater uit grondwater door oppervlaktewater door het aanpassen van het windebiet:
 - Verminderen van onttrekkingen: dit is ingevoerd door het debiet van de putten te verminderen.
 - Toevoegen van onttrekking: 4.5 Mm³/j is verdeeld over 12 putten, met de filters in modellaag 8 en 9. De putten zijn gepositioneerd in een gebied van 250 m bij 500 m.