RAPPORT

Geohydrologisch onderzoek en maatregelenkaart De Maashorst

Eindrapport

Klant: Waterschap Aa en Maas

Referentie: BI1417-101-100-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0003

Status: Definitief/1

Datum: 6 maart 2023

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Larixplein 1
5616 VB Eindhoven
Water & Maritime
Trade register number: 56515154

+31 88 348 42 50 **T**
reception.ein-la@nl.rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document:	Geohydrologisch onderzoek en maatregelenkaart De Maashorst
Ondertitel:	Geohydrologisch onderzoek Maashorst
Referentie:	BI1417-101-100-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0003
Status:	1/Definitief
Datum:	6 maart 2023
Projectnaam:	Geohydrologisch onderzoek en maatregelenkaart De Maashorst
Projectnummer:	BI1417-101-100
Auteur(s):	Hank Vermulst, Anouk Horn

Opgesteld door:	Hank Vermulst, Anouk Horn
Gecontroleerd door:	Paul Aalders
Datum/paraaf:	
Goedgekeurd door:	Paul Aalders
Datum/paraaf:	

Classificatie
Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1 Inleiding 1
1.1 Doelstelling 1
1.2 Projectgebied 1
1.3 Leeswijzer 2

2 Gebiedsbeschrijving 4
2.1 Begrenzing van het projectgebied 4
2.2 Geomorfologie en ligging breuken 5
2.3 Geohydrologische opbouw 10
2.4 Oppervlaktewatersysteem 11
2.5 Bodem 13
2.6 Landgebruik 15

3 Opzet van het grond- en oppervlaktewatermodel 17
3.1 Oppervlaktewatermodel 17
3.1.1 Algemene opzet 17
3.1.2 Controle klepstanden stuwen en laterals 19
3.1.3 Aanpassingen klepstanden en rijplaatstuwen na 2019 20
3.2 Grondwatermodel 23
3.2.1 Opzet model 23
3.2.2 Schematisatie breuken 25
3.2.3 Grondwateraanvulling en onverzadigde zone modellering 25
3.2.4 Overige aanpassingen ten opzichte van het basismodel GRAM3.0 26

4 Gevoeligheidsanalyse en kalibratie van het grondwatermodel 32
4.1 Peilbuisgegevens 32
4.2 Nadere analyse ligging breuken 34
4.2.1 Algemeen 34
4.2.2 Analyse op basis van GRAM3.0 34
4.2.3 Aanvullende berekeningen met grondwatermodel Maashorst 36
4.2.4 Verdere detaillering tracékeuze Raambreuk 39
4.3 Gevoeligheidsanalyse 40
4.4 Aanvullende kalibratie 45
4.4.1 Aanpak 45
4.4.2 Initieel model voorafgaand aan automatische kalibratie 48
4.4.3 Eerste optimalisatieronde met iPEST 49
4.4.4 Tweede optimalisatieronde met iPEST 51

5 Historische analyse 55
5.1 Algemeen 55

5.2 Tijdlijn belangrijkste ontwikkelingen Maashorst en gevolgen voor het watersysteem 55
5.3 Inschatting effecten op basis van peilbuisgegevens 63
5.4 Berekende hydrologische effecten op representatieve locaties in deelgebieden 67
5.4.1 Aanpak 67
5.4.2 Situatie omstreeks 1900 67
5.4.3 Situatie omstreeks 1930 69
5.4.4 Situatie omstreeks 1955 71
5.4.5 Situatie omstreeks 1985 72
5.4.6 Situatie omstreeks 2020 74
5.5 Doorrekening hydrologische effecten van opeenvolgende ontwikkelingen in een peilbuis 77
5.5.1 Algemeen 77
5.5.2 Deelgebied Herperduin 77
5.5.3 Deelgebied Maashorst-oost 78
5.5.4 Deelgebied Maashorst-centraal 79
5.5.5 Deelgebied Slabroek westelijk van de Raambreuk 80
5.5.6 Deelgebied Slabroek oostelijk van de Raambreuk 80

6 Effectbepaling maatregelen en onderbouwing maatregelenkaarten 82

6.1 Algemeen 82
6.2 Referentiesituatie 82
6.3 Effectbepaling en analyse verkennende maatregelen 84
6.3.1 Overzicht verkennende maatregelen 84
6.3.2 Verkennende maatregel 2a: Alle kavelsloten, greppels en buisdrainage in projectgebied verwijderen 85
6.3.3 Verkennende maatregel 2b: alle kavelsloten, greppels en buisdrainage op horst verwijderen (oostelijk van Raambreuk) 86
6.3.4 Verkennende maatregel 2c: alle hoofdwatergangen dempen en omvormen naar doorstroommoerassen 88
6.3.5 Verkennende maatregel 2d: alle hoofdwatergangen verondiepen tot maximaal 50 cm onder maaiveld 89
6.3.6 Verkennende maatregel 2e: alle ont- en afwatering dempen in het projectgebied Maashorst 90
6.3.7 Verkennende maatregel 2f: bestaande stuwen tot aan maaiveld opzetten 91
6.3.8 Verkennende maatregel 3a: 100% stedelijk gebied afkoppelen en ter plaatse infiltreren in het grondwater 92
6.3.9 Verkennende maatregel 4a: alle beregening stopzetten in projectgebied Maashorst 93
6.3.10 Verkennende maatregel 4b: alle beregening stopzetten ten oosten van de Raambreuk 94
6.3.11 Verkennende maatregel 5a: verwijderen van ont- en afwatering A50 95
6.3.12 Verkennende maatregel 6a: wateraanvoer van elders (0,5 m^3/s) en infiltreren met infiltratieputten 96
6.3.13 Verkennende maatregel 7a: omzetten van bos naar heide in het projectgebied Maashorst 97
6.3.14 Verkennende maatregel 7b: omzetten van landbouwpercelen binnen natuurnetwerk naar natuur in het projectgebied Maashorst 98
6.3.15 Samenvatting en afweging hydrologische effecten verkennende maatregelen 99
6.4 Uitwerking gecombineerde maatregelenpakketten 100
6.4.1 Algemeen 100

6.4.2 Maatregelenkaart voorkeursmaatregelen korte termijn 100
6.4.3 Maatregelenkaart voorkeursmaatregelen lange termijn 102

7 Conclusies en aanbevelingen 107
7.1 Conclusies 107
7.2 Aanbevelingen 108

8 Referenties 110

Bijlagen

Bijlage 1: Aanpassing stationaire grondwateraanvulling
Bijlage 2: Eerste versie gecombineerde maatregelenpakketten

1 Inleiding

1.1 Doelstelling

Waterschap Aa en Maas wil het grond- en oppervlaktewatersysteem op en rondom de Maashorst meer klimaatrobuust maken. Het streven is om in periodes met een overschot aan neerslag meer water op te slaan in het grondwater, in het oppervlaktewater en in de bodem (de accu zoveel mogelijk opladen). Hierdoor is in droge periodes meer water beschikbaar voor natuur en landbouw, met name in de beekdalen en laagtes in het gebied. Tevens kan het ervoor zorgen dat water in extreem natte situaties of bij hevige buien minder snel tot afvoer komt en wateroverlast voorkomen wordt.

Deze doelstelling, het meer klimaatrobuust maken van het gebied De Maashorst, wil het waterschap bereiken door:

- Gebiedsgericht extra water te conserveren en de grondwatervoorraad aan te vullen. Het streven is om de grondwaterstand op de horst en de aanliggende gebieden structureel zo ver als mogelijk te verhogen, door het nemen van slimme maatregelen op de juiste locatie.
- Optimalisatie van het peilbeheer op de horst en de aanliggende gebieden ter vermindering van de waterbehoefte en ter verbetering van de waterbeschikbaarheid voor natuur en landbouw, zowel in droge als natte perioden.

Vanuit het regionale grondwatermodel voor het beheergebied van Waterschap Aa en Maas (Model 3.0) is een verfijnd grondwatermodel opgezet, gekalibreerd en gevalideerd voor het gebied De Maashorst. Met dit grondwatermodel is een variantenstudie uitgevoerd en is een pakket aan maatregelen uitgewerkt en onderbouwd, waarmee aan bovengenoemde doelstellingen ten aanzien van het meer klimaatrobuust maken van De Maashorst wordt voldaan.

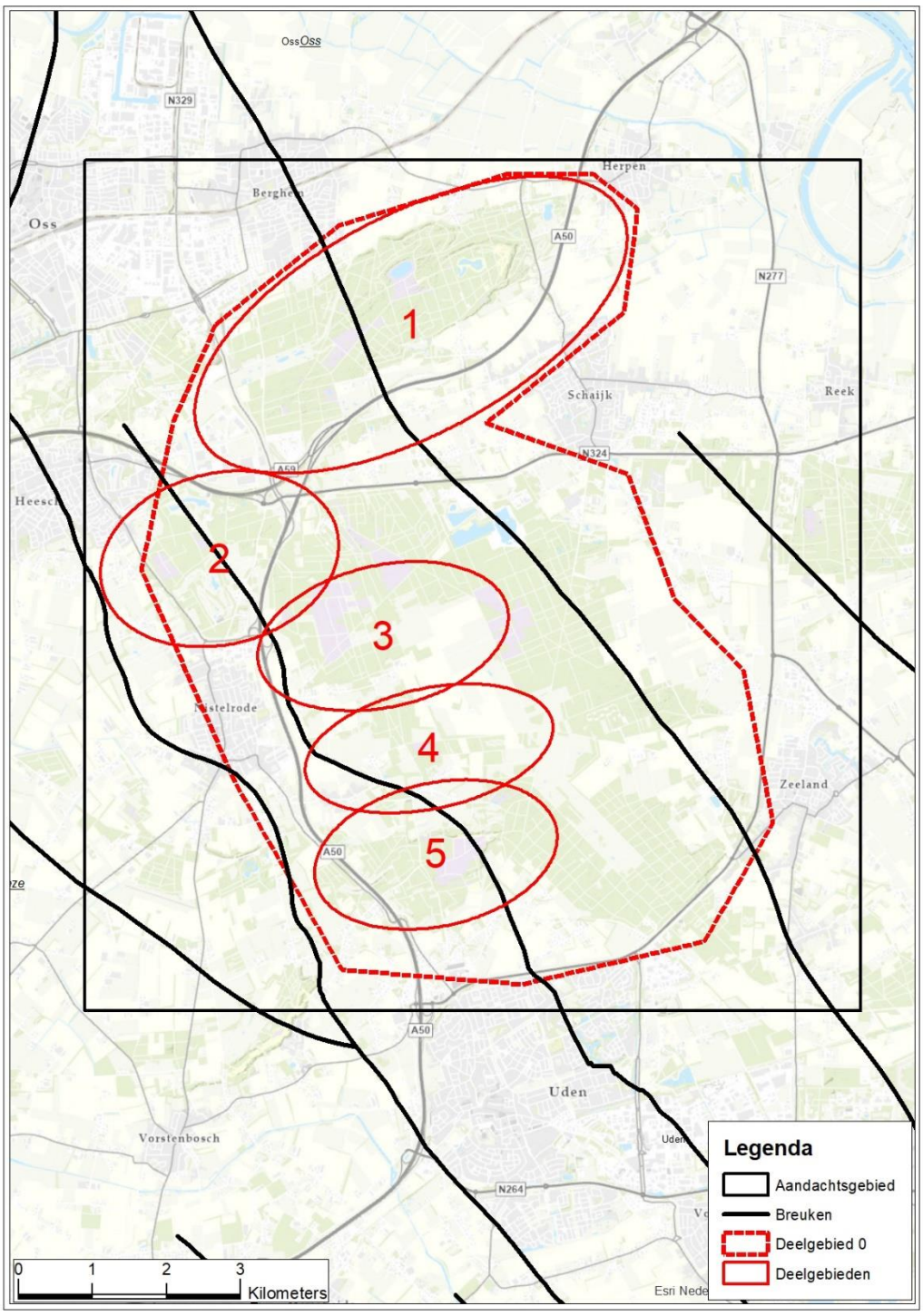
1.2 Projectgebied

Figuur 1.1 geeft de begrenzing van het projectgebied (aandachtsgebied) schematisch weer. Dit is het zwart weergegeven kader in Figuur 1.1.

Binnen het projectgebied zijn voor deze studie verder de volgende deelgebieden onderscheiden:

- Deelgebied 0: volledige begrenzing Maashorst en Herperduin.
- Deelgebied 1: Herperduin
- Deelgebied 2: Heesch
- Deelgebied 3: stroomgebied Palmven
- Deelgebied 4: stroomgebied Venloop
- Deelgebied 5: Koudenoord, Hengstheuvel en het Hultje
- Deelgebied 6: Overige gebieden binnen de begrenzing van Maashorst (onder andere GGOR Raamvallei).

Voor deelgebied 0 (volledige begrenzing Maashorst/Herperduin) is in Figuur 1.1 de exacte begrenzing weergegeven. Deelgebieden 1 tot en met 6 zijn niet exact begrensd en zijn in Figuur 1.1 globaal weergegeven als ellipsen.



Figuur 1.1: Globale begrenzing projectgebied en deelgebieden

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 van deze rapportage geeft een beschrijving van het gebied Maashorst. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de ligging en begrenzing van het gebied, de geomorfologie, de geohydrologie, het oppervlaktewatersysteem, de bodem en het landgebruik. Aan het eind van het hoofdstuk volgt een beknopte beschrijving van de kenmerkende onderdelen van het watersysteem aan de hand van een watersysteemkaart.

Hoofdstuk 3 behandelt de opzet van het grond- en oppervlaktewatermodel voor de Maashorst. Onder meer wordt ingegaan op de gebruikte basisdata, de aanvullend geïnventariseerde data, de modelschematisaties (gridgrootte, laagopbouw, tijdstap, interactie tussen grond- en oppervlaktewater), de gekozen randvoorwaarden en de doorgerekende situaties of rekenperiodes.

In hoofdstuk 4 beschrijven we de aanpak en resultaten van de gevoeligheidsanalyse en kalibratie van het model. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de nadere analyse van de ligging van de breuken (met name de Raambreuk), de gevoeligheidsanalyse die is uitgevoerd met het grondwatermodel en de aanvullende automatische kalibratie van het grondwatermodel.

In hoofdstuk 5 volgt een historische analyse van het gebied. Aan de hand van historische kaarten en bestaande rapporten volgt een beschrijving van de belangrijkste ontwikkelingen, die zich in de loop van de tijd in het gebied hebben voorgedaan en de gevolgen van deze ontwikkelingen voor het grond- en oppervlaktewatersysteem. Aan de hand van peilbuisgegevens is een eerste inschatting gemaakt van de effecten van de verschillende ontwikkelingen op het grondwaterregime. Vervolgens zijn de effecten van de belangrijkste opeenvolgende ontwikkelingen op grondwaterstanden, stijghoogten en kwel berekend met het grond- en oppervlaktewatermodel voor de Maashorst.

Hoofdstuk 6 gaat in op de variantenstudie en de afleiding en onderbouwing van de maatregelenkaarten. Op basis van de resultaten van de historische analyse is in overleg met de projectgroep en klankbordgroep een groslijst van potentiële, verkennende maatregelen opgesteld. Voor deze verkennende maatregelen zijn met het grond- en oppervlaktewatermodel de effecten op het grond- en oppervlaktewaterregime berekend. De potentiële, verkennende maatregelen zijn soms extreem ingesteld. Dit is gedaan om te zien wat het theoretisch maximale effect of bereik van een bepaalde maatregel is en niet met het voornemen om de maatregel op die manier uit te voeren. Een voorbeeld daarvan is dat er is doorgerekend wat de omvorming van naald naar loofhout en bos naar heide voor effect heeft. Opgemerkt wordt dat het niet het streven is deze maatregel daadwerkelijk uit te voeren. Wel heeft het als doel inzicht te krijgen welke maatregelen veel of weinig bijdragen. Tevens zeggen de potentiële maatregelen niets over de kwaliteit van het natuurgebied an sich maar enkel over de grondwaterstanden in het gebied.

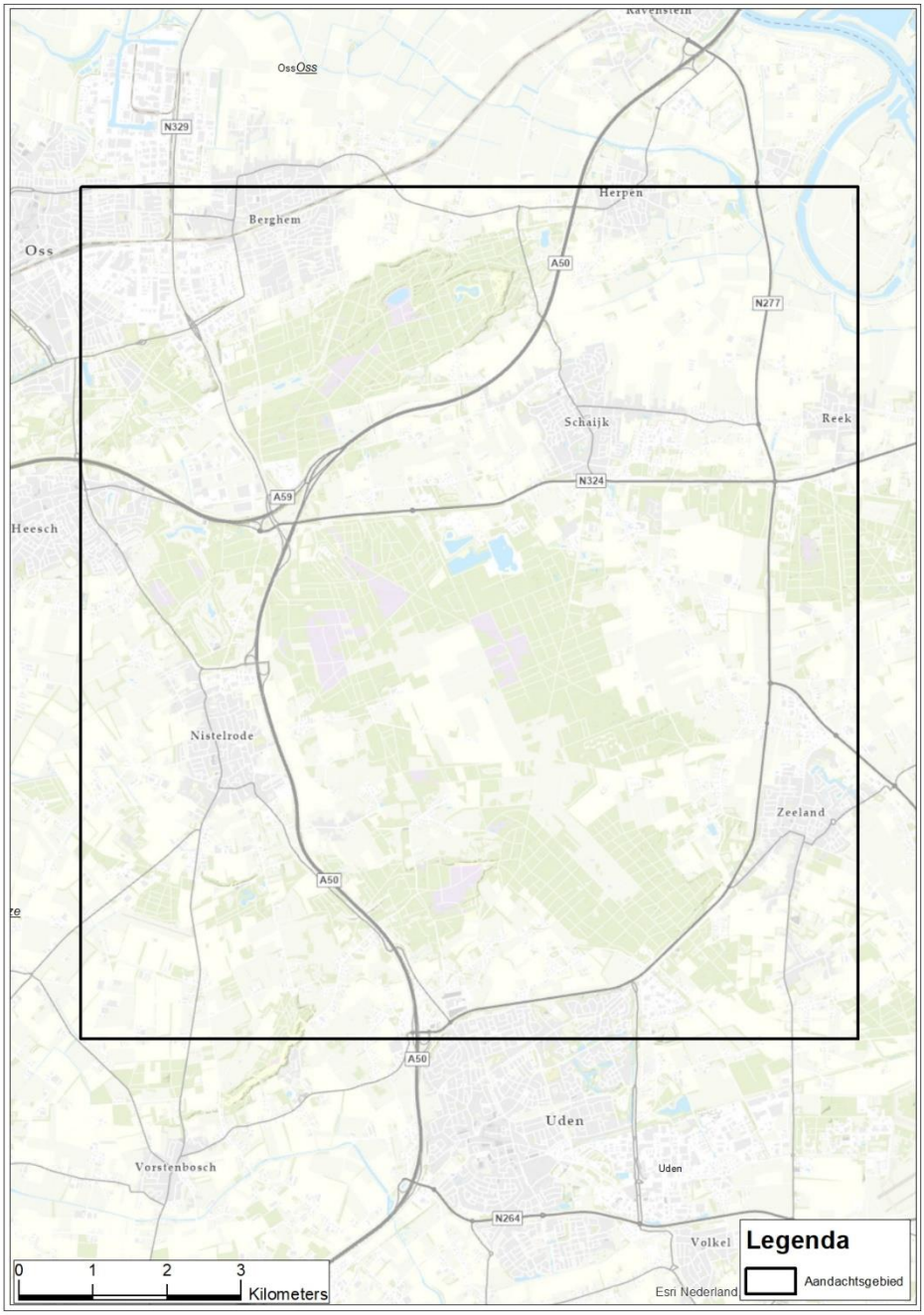
Na afweging van de hydrologische effecten van de afzonderlijke, verkennende maatregelen zijn gecombineerde maatregelenscenario’s samengesteld voor de korte, middellange en lange termijn. Deze gecombineerde scenario’s zijn ook doorgerekend met het grond- en oppervlaktewatermodel. Op basis van de berekende hydrologische effecten zijn als laatste stap twee maatregelenkaarten afgeleid, één met maatregelen voor de korte termijn en één met maatregelen voor de lange termijn. Met het grond- en oppervlaktewatermodel zijn de hydrologische effecten berekend voor zowel het korte termijn als het lange termijn maatregelenpakket.

Tot slot volgen in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Begrenzing van het projectgebied

Het gebied de Maashorst ligt tussen de stedelijke kernen Uden, Zeeland, Oss en Nistelrode. In het noorden zorgen de A50 en de N324 een fysieke onderbreking tussen gebied Herperduin en Centraal Maashorst. Figuur 2.1 geeft de begrenzing van het gebied weer.



Figuur 2.1: Begrenzing projectgebied

Om -in overleg met de stakeholders- te komen tot een voldoende gebiedsspecifieke uitwerking van maatregelen, zijn in deze studie binnen het projectgebied de volgende deelgebieden onderscheiden:

- Deelgebied 1: Herperduin
- Deelgebied 2: Heesch
- Deelgebied 3: stroomgebied Palmven
- Deelgebied 4: stroomgebied Venloop
- Deelgebied 5: Koudenoord, Hengstheuvel en het Hultje
- Deelgebied 6: Overige gebieden binnen de begrenzing van Maashorst (onder andere GGOR Raamvallei).

De ligging van deze deelgebieden is globaal weergegeven in Figuur 1.1.

2.2 Geomorfologie en ligging breuken

De geomorfologie van De Maashorst wordt bepaald door verschillende breuken in de ondergrond. Het vormt onderdeel van de Peelhorst, een tectonisch stijgingsgebied tussen de Centrale- of Roerdalslenk aan de zuidwestzijde en de Venloslenk of Venloschol aan de noordoostzijde. Figuur 2.2 geeft een overzicht van de verschillende breuken in het gebied.

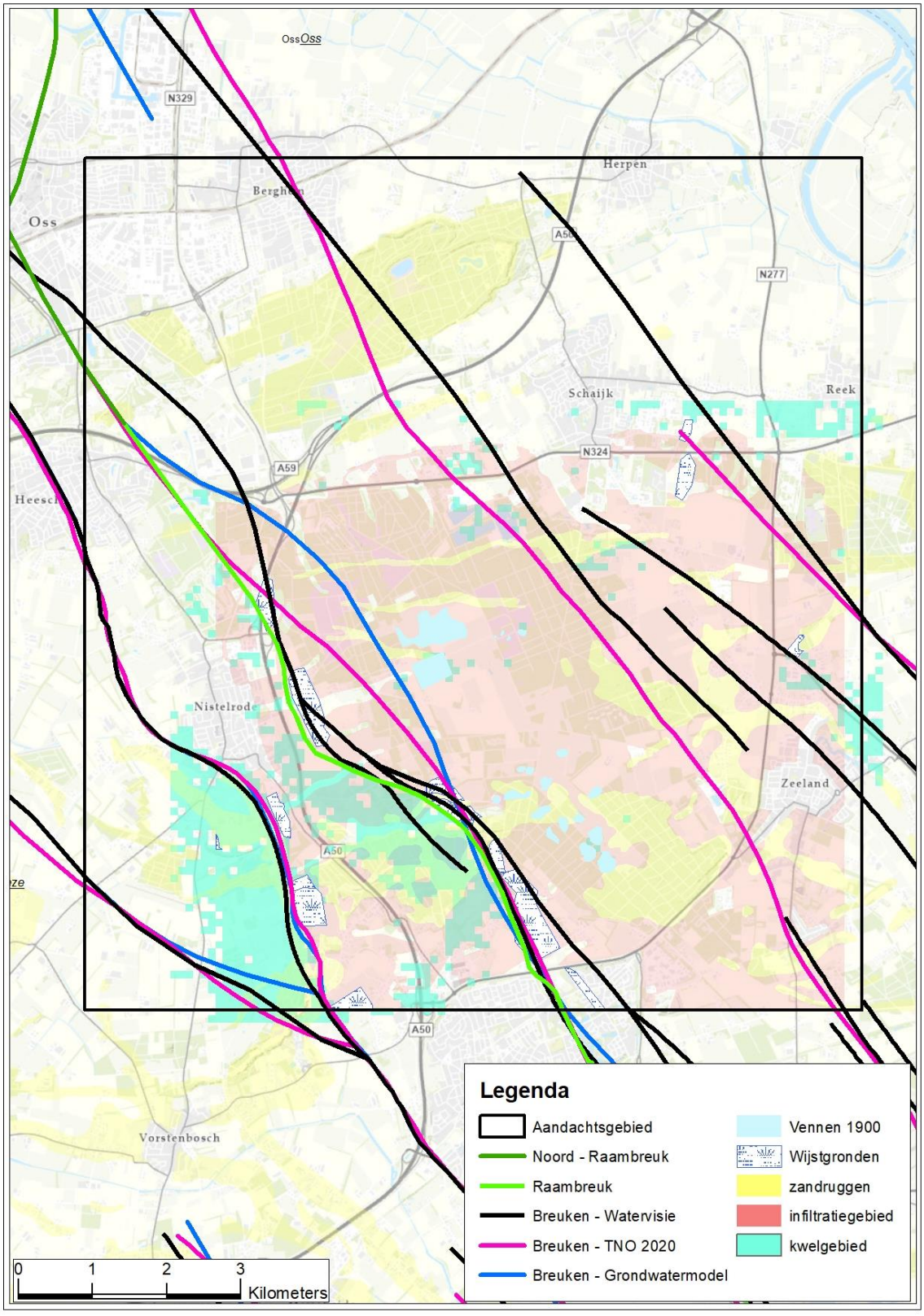
De Peelrandbreuk vormt de scherpe overgang tussen de Peelhorst en de Centrale Slenk; de Tegelenbreuk vormt de overgang tussen de Peelhorst en de Venloslenk. De Peelrandbreuk ligt één tot twee kilometer ten westen van De Maashorst. De Tegelenbreuk ligt op 3 à 4 kilometer ten noordoosten van De Maashorst. De ligging van deze breuken is relatief eenduidig bekend. Tussen de Peelrandbreuk en de Tegelenbreuk komen binnen de Maashorst diverse andere breuken voor.

Aan de oostzijde van de Maashorst ligt van zuidoost naar noordwest een naamloze breuk. Deze is conform informatie van H3O-Roerdalslenk opgenomen in het grondwatermodel Maashorst (roze lijn in Figuur 2.2). Deze naamloze breuk is alleen ontwikkeld in de diepere watervoerende pakketten (Formatie van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda) en heeft een beperkte horizontale weerstand van 50 d.

Aan de westzijde van de Maashorst liggen verschillende, deels vertakte breuken. De belangrijkste, hier voorkomende breuk is de zogenoemde Raambreuk. De ligging van de Raambreuk is niet eenduidig bekend. Figuur 2.2 geeft de ligging van de breuken weer op basis van de volgende 3 informatiebronnen:

- De ligging van de breuken zoals aangenomen in de Watervisie Maashorst (Royal Haskoning, 2008) en andere studies in het verleden (zwarte lijnen), gebaseerd op oudere geologische kaarten van TNO.
- De ligging van de breuken zoals opgenomen in REGIS II v2.2 en het huidige regionale grondwatermodel voor WS Aa en Maas Model 3.0 (blauwe lijnen).
- De ligging van de breuken volgens laatste informatie vanuit H3O-Roerdalslenk (Vernes et al., 2018) (roze lijnen).

Met name voor de breuken in het westelijke deel van de Maashorst (Raambreuk en eventuele andere breuken) geven de drie informatiebronnen verschillende (tracé-)varianten.



Figuur 2.2: Ligging breuken in het gebied:

- *volgens Watervisie Maashorst en oudere geologische kaarten TNO (grijze lijnen)*
- *volgens REGIS II v2.2 en overgenomen in Model 3.0 (blauwe lijnen)*
- *volgens H3O-Roerdalslenk (roze lijnen)*
- *Raambreuk zoals opgenomen in het grondwatermodel Maashorst (groene lijnen: Raambreuk en Noord-Raambreuk)*

De eerste informatiebron, gebruikt in de Watervisie Maashorst en gebaseerd op de oudere geologische kaarten van TNO (zwarte lijnen in Figuur 2.2), geeft een groot aantal breuken weer in het projectgebied. In het westelijk deel van de Maashorst loopt van zuid naar noord de Raambreuk. Volgens de oudere geologische kaarten van TNO heeft deze breuk naar het zuiden toe enkele vertakkingen. In het zuidwestelijk deel van De Maashorst en verder naar het zuiden, binnen de bebouwde kom van Uden, wordt uitgegaan van twee parallel aan elkaar lopende breuken, die lokaal ook wel worden aangeduid als Mellebreuk en Hoevense Breuk. In het oostelijk deel van de Maashorst gaan de oudere geologische kaarten van TNO uit van een drietal deels parallel aan elkaar lopende breuken. Geen van deze breuken is volledig van zuid naar noord ontwikkeld.

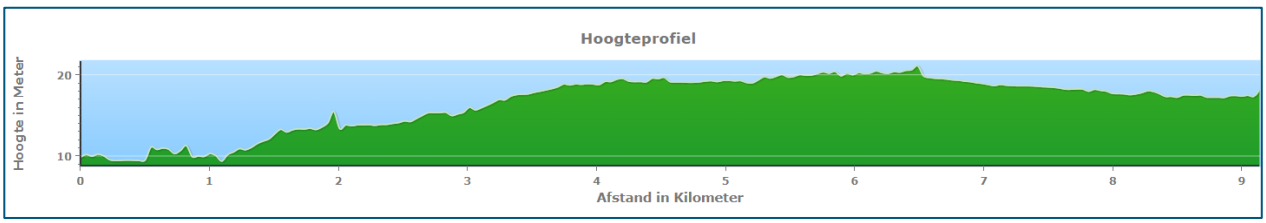
REGIS II v2.2, dat de basis vormt voor het huidige regionale grondwatermodel voor WS Aa en Maas (GRAM3.0) gaat in het gebied tussen de Peelrandbreuk en de Tegelenbreuk uit van één breuk in het westelijk deel van de Maashorst (zie blauwe lijn in Figuur 2.2). Deze breuk ligt in de directe omgeving van de Raambreuk, maar heeft een andere ligging en oriëntatie dan de vertakte breuken zoals opgenomen in de oudere geologische kaarten van TNO.

In het kader van het project H3O-Roerdalslenk heeft TNO een nadere inventarisatie uitgevoerd van de geohydrologie van de Roerdalslenk (Vernes et al., 2018). In deze studie wordt uitgegaan van een westelijke breuk nabij de Raambreuk en een oostelijke breuk, iets ten westen van de oostelijke breuken uit de oudere geologische kaarten. De breuken volgens H3O-Roerdalslenk zijn in Figuur 2.2 met roze lijnen weergegeven. Voor de westelijke breuk wordt uitgegaan van één doorlopende en niet vertakte breuk, met een ligging en oriëntatie die net weer afwijkt van de andere twee informatiebronnen.

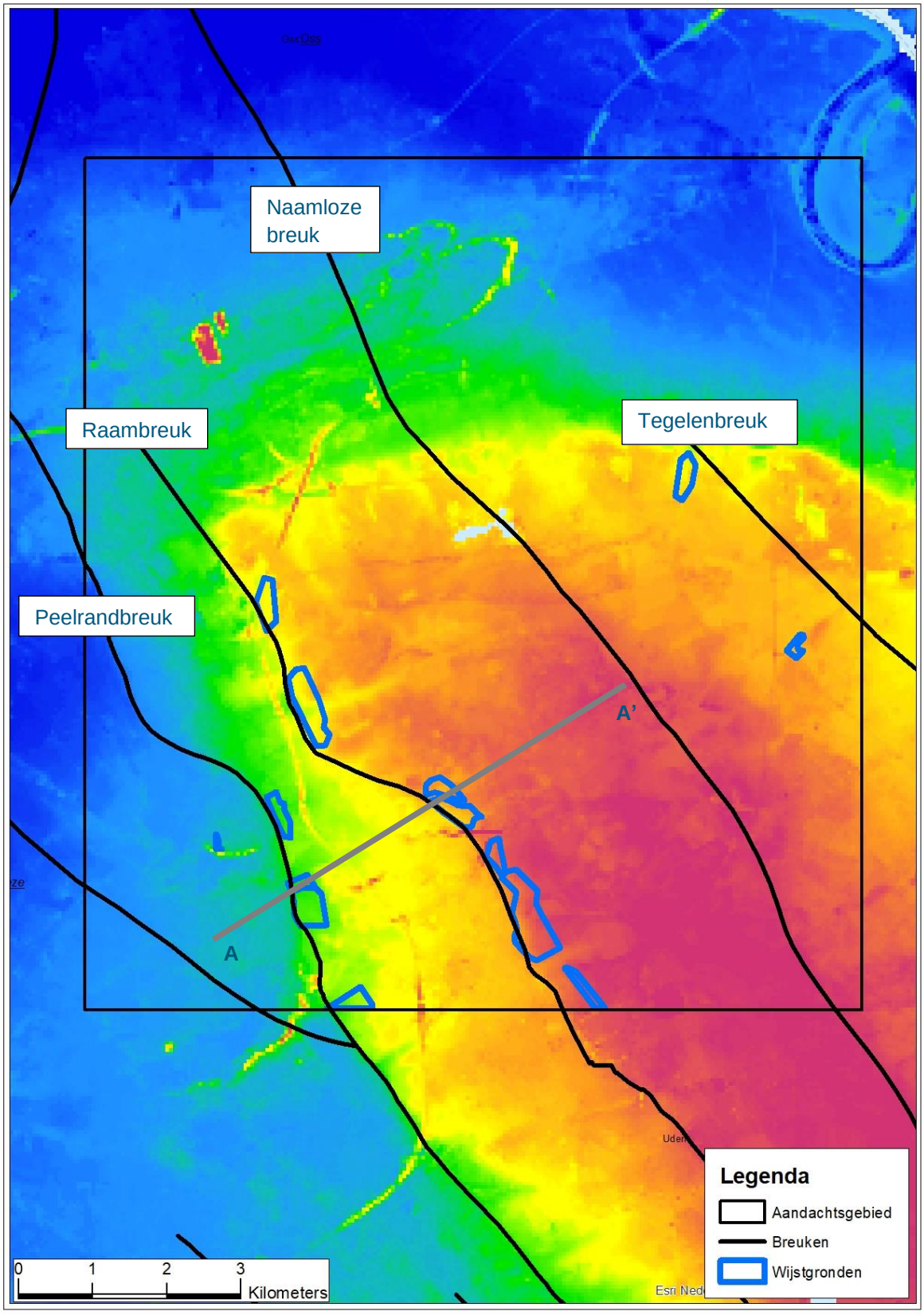
Op basis van analyse van gemeten stijghoogten, gedetailleerde historische bodemkaarten en de nu bekende ligging van kwelzones is gekozen om voor deze studie en het detail-grondwatermodel Maashorst aanvullend op de Peelrandbreuk, de Tegelenbreuk en de naamloze breuk aan de oostzijde van de Maashorst alleen uit te gaan van een niet-vertakte Raambreuk in het westelijke deel van het projectgebied. Deze volgt het tracé van één van de vertakkingen van de Raambreuk zoals opgenomen in de oudere geologische kaarten van TNO. De Raambreuk zoals aangenomen in deze studie en geschematiseerd in het detailgrondwatermodel Maashorst zijn in Figuur 2.2 als groene lijnen weergegeven (Raambreuk en Noord-Raambreuk). Paragraaf 4.2 gaat in op de nadere analyse van de ligging van de breuken.

Figuur 2.4 geeft het projectgebied De Maashorst weer, met daarin het verloop van de maaiveldhoogte en de aangenomen ligging van de Peelrandbreuk, de Raambreuk, de naamloze breuk (oostzijde Maashorst) en de Tegelenbreuk.

Figuur 2.3 hieronder geeft een hoogteprofiel weer van zuidwest naar noordoost door de Maashorst. De ligging van het profiel is weergegeven in Figuur 2.4. De maaiveldhoogte varieert van ongeveer 10 m +NAP in de nabijheid van de Peelrandbreuk tot ruim 20 m +NAP op de hogere delen van de Maashorst.

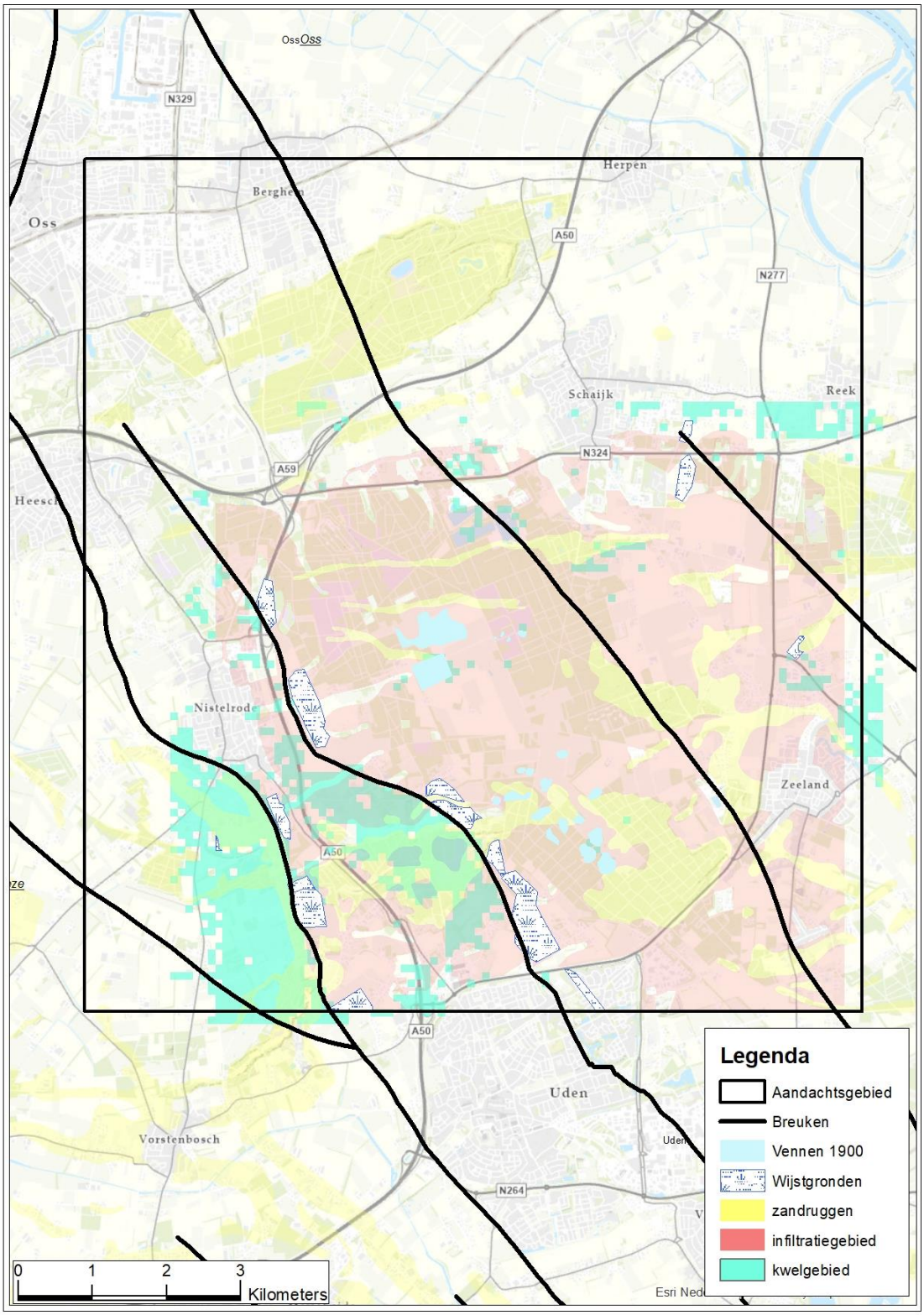


Figuur 2.3: Verloop maaiveldhoogte [m NAP] door de Maashorst (ligging weergegeven in Figuur 2.4)



Figuur 2.4: Maaiveldhoogte in en rond de Maashorst en ligging breuken

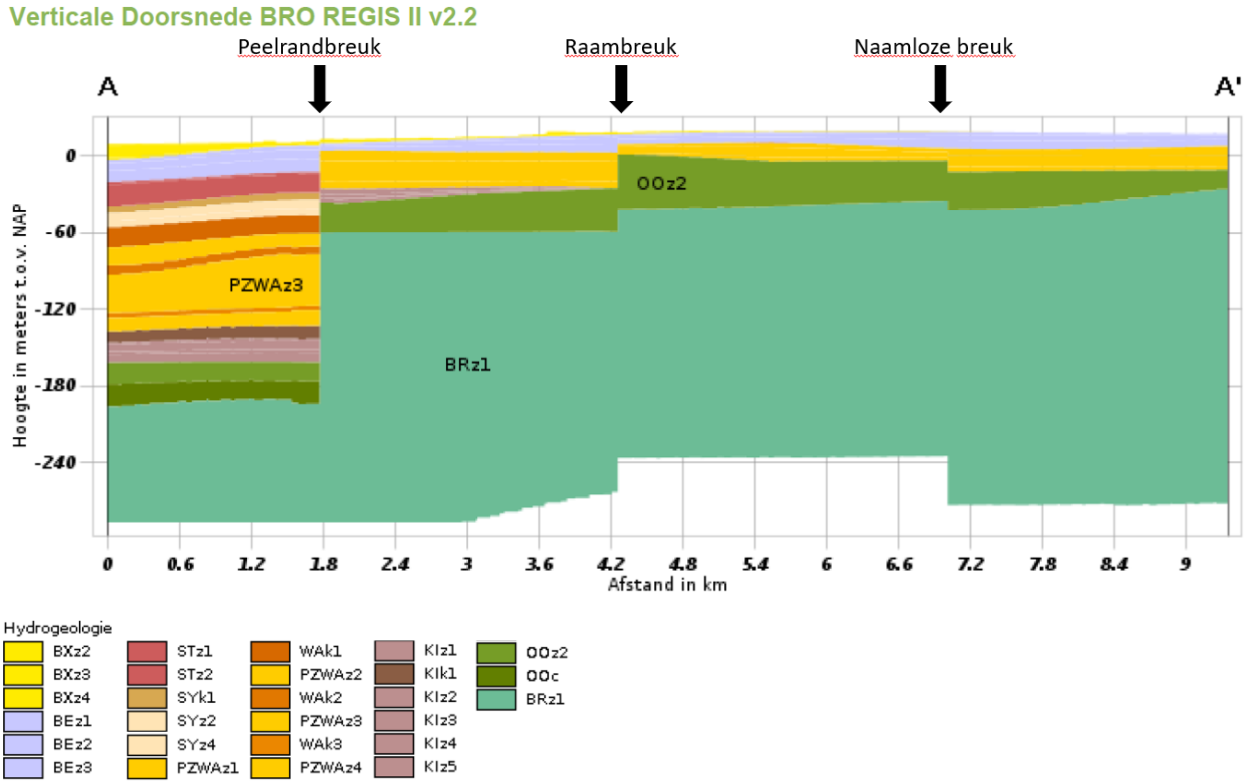
In het kader van de studie Watervisie Maashorst (Royal Haskoning, 2008) zijn de kwelgebieden, infiltratiegebieden en wijstgronden op kaart gezet. Figuur 2.5 geeft deze watersysteemkenmerken weer.



Figuur 2.5: Watersysteemkaart Maashorst, met ligging breuken, wijstgronden, kwelgebieden, infiltratiegebieden en voormalige vennen

2.3 Geohydrologische opbouw

De breuken zijn een belangrijke factor in het ontstaan van het natuurgebied de Maashorst. Door de tectonische beweging, waarbij de slenk zakt en de horst opgeheven wordt, is een verticale verschuiving van de afzettingen ontstaan. Door de tektonische beweging liggen afzettingen, die in dezelfde periode zijn afgezet, aan beide kanten van de breuk niet meer op gelijke diepte. Figuur 2.6 geeft dit weer. Op de Peelhorst (en dus ook de Maashorst) heeft de opheffing van het gebied gezorgd voor erosie, waardoor de jongste afzettingen deels of geheel zijn verdwenen. De Formatie van Boxtel is in het gebied van de Maashorst slechts zeer dun van opbouw en lokaal zelfs afwezig, waardoor de grofzandige afzettingen van de Formatie van Beegden aan de oppervlakte liggen.



Figuur 1.6: Regionale bodemopbouw (doorsnede REGIS 2.2)

Bij de Peelrandbreuk bedraagt de verticale verschuiving ruim 100 m, zie Figuur 2.6. Bij de Raambreuk en de naamloze breuk aan de oostzijde van de Maashorst is sprake van een verschuiving van 20 à 30 m.

Ten westen van de Peelrandbreuk bestaan de bovenste 10 tot 20 m van de ondergrond uit de fijnzandige afzettingen van de Formatie van Boxtel, met daarin ook voorkomens van Brabantse leem. Daaronder liggen de grofzandige rivierafzettingen van de Formaties van Beegden en Sterksel. Nog dieper, op ongeveer 70-75 m onder maaiveld, ligt een afwisseling van klei- en zandafzettingen bestaande uit de Formaties van Peize-Waalre. Daaronder ligt de Kiezeloölietformatie en op een diepte van 160-170 m onder maaiveld liggen de slecht doorlatende marien afgezette Formaties van Oosterhout en Breda.

Ten oosten van de Peelrandbreuk en dus ook onder de Maashorst zijn de watervoerende pakketten aanzienlijk dunner. De fijnzandige Formatie van Boxtel is slechts enkele meters dik en komt lokaal niet voor. Direct daaronder ligt een pakket van 10 tot 20 m grofzandige afzettingen van de Formatie van Beegden. Ook de Formaties van Peize-Waalre en de Kiezeloölietformatie zijn veel minder dik dan in de

Centrale Slenk. De slecht doorlatende formaties van Oosterhout en Breda liggen op een diepte van 40 tot 45 meter onder maaiveld. Ten oosten van de Raambreuk zijn de watervoerende pakketten nog dunner en liggen de slecht doorlatende Formaties van Oosterhout en Breda nog ondieper, op slechts 20 tot 30 meter onder maaiveld.

Ter plaatse van de breuken kan op verschillende manieren een belemmering van de grondwaterstroming ontstaan:

1. Door de verticale verschuiving kan in horizontale richting onderbreking van watervoerende pakketten ontstaan, bijvoorbeeld als een watervoerend pakket aan de ene zijde van de breuk overgaat in een slecht doorlatende laag aan de andere zijde van de breuk.
2. Door verticale verschuiving kunnen kleilagen in de ondergrond zorgen voor versmering, waardoor een verticale barrière wordt gevormd voor het grondwater.
3. Door scheefstelling van lagen kan het voorkomen dat de dikte van de watervoerende lagen in de richting van de breuk afneemt, waardoor een toeknijpingseffect ontstaat voor het grondwater dat ind e richting van de breuk afstroomt.

Ter plaatse van de Peelrandbreuk heeft de sterke verschuiving van de afzettingen en versmering als gevolg van schuivende kleilagen (bovengenoemde punten 1 en 2) gezorgd voor een flinke hydrologische barrière. Het grondwater, dat van de horst naar de slenk afstroomt, wordt direct ten oosten van de breuk naar de oppervlakte gedrukt. In de zone direct bovenstrooms (ten oosten) van de breuk komt op grote schaal kwel van ijzerrijk grondwater voor. Dit verschijnsel wordt wijst genoemd en zorgt in deze zone voor permanent hoge grondwaterstanden en leidt tot het voorkomen van vegetatie die typerend is voor gebufferde en voedselarme omstandigheden. Direct ten westen van de breuk, aan de laaggelegen kant, ligt de grondwaterstand veel dieper, in het algemeen meer dan één meter beneden maaiveld.

Ter plaatse van de Raambreuk is de verticale verschuiving van de lagen aanzienlijk minder. Ondanks de afwezigheid van dikke kleilagen heeft er waarschijnlijk wel enige versmering plaatsgevonden (door leemlagen en dunnere kleilagen). De afzettingen ten oosten van de Raambreuk zijn scheefgesteld, waarbij de slechtdoorlatende Formaties van Oosterhout en Breda direct ten oosten van de breuk veel ondieper liggen dan verder naar het oosten, zie Figuur 2.6. Dit zorgt ervoor dat het grondwater, dat vanaf het oosten in de richting van de breuk stroomt, wordt belemmerd door het steeds dunner wordende watervoerende pakket (toeknijpingseffect, punt 3 hierboven). Dit zorgt ervoor dat ook ten oosten van de Raambreuk lokaal wijst voorkomt.

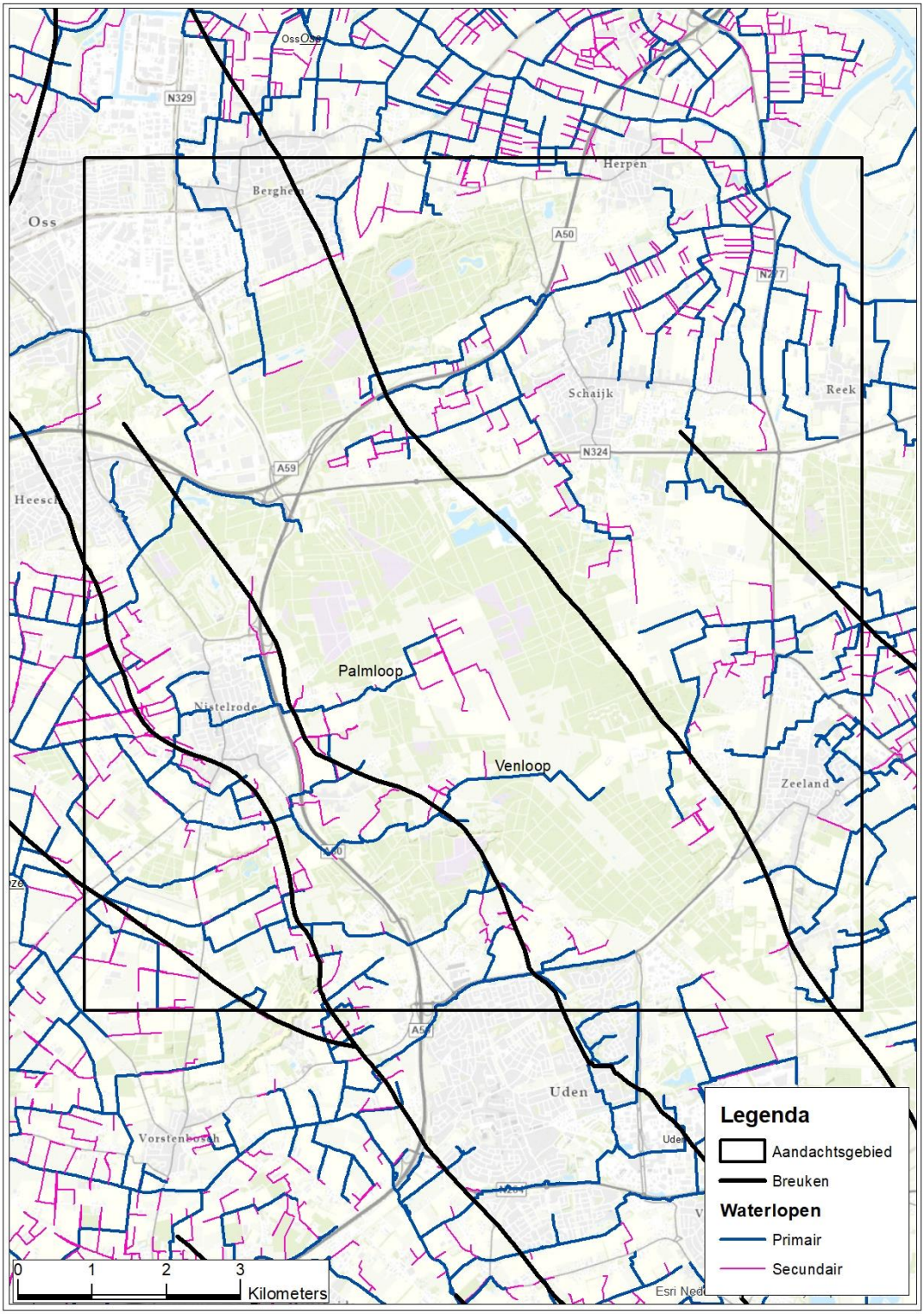
De naamloze breuk aan de oostzijde van de Maashorst heeft geen significante barrièrewerking voor het grondwater. De naamloze breuk heeft slechts een beperkt effect op het grondwater, dat hier nagenoeg onbelemmerd in noordoostelijke afstroomt. De breuk is opgenomen in het grondwatermodel voor Maashorst, maar is alleen geschematiseerd in de diepere watervoerende pakketten (Formaties van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda) en heeft een relatief beperkte horizontale weerstand gekregen van 50 d.

2.4 Oppervlaktewatersysteem

Figuur 2.7 geeft de watergangen in en rondom de Maashorst weer. In het oostelijke deel van de Maashorst, ten oosten van de Raambreuk, komen relatief weinig watergangen voor. In dit oostelijke deel van de Maashorst liggen alleen de Palmvenloop en de Venloop, die allebei in westelijke richting afstromen naar de Centrale Slenk en daarbij zowel de Raambreuk als de Peelrandbreuk passeren. Westelijk van de Raambreuk komen diverse andere watergangen voor.

Figuur 2.7 laat ook duidelijk zien dat het bosgebied in het oostelijk deel van de Maashorst de waterscheiding vormt. Ten westen hiervan stromen alle watergangen in de richting van de Centrale Slenk, ten oosten ervan stromen alle watergangen in noordoostelijke richting naar de Venloslenk. Het bosgebied

op de waterscheiding is het droogste deel van de Maashorst en heeft in de huidige situatie relatief diepe grondwaterstanden. Door de grondwateraanvulling te vergroten en afwatering via greppels en rabatten te verminderen is hier relatief veel extra water vast te houden.



Figuur 2.7: Waterlopen in en rondom de Maashorst

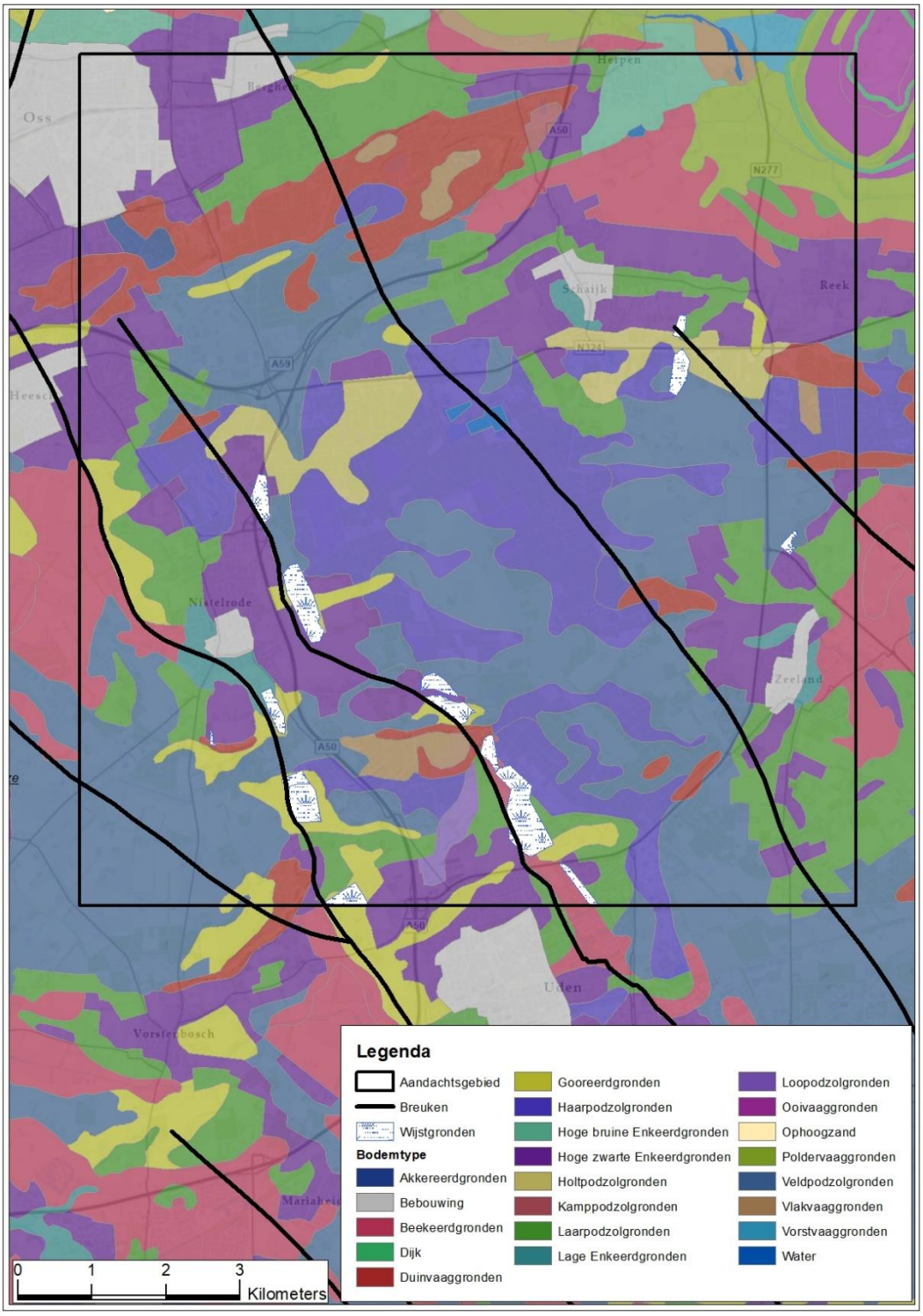
2.5 Bodem

Figuur 2.8 geeft een overzicht van de bodemtypen in de Maashorst. De bodems in de Maashorst zijn te classificeren in drie hoofdgroepen, de podzolgronden, eerdgronden en de vaaggronden. Voor het bepalen van de schematisatie van de breuken in het grondwatermodel is eveneens gebruik gemaakt van meer gedetailleerde bodemkarteringen uit de jaren vijftig en zestig van de 20e eeuw. In paragraaf 3.2 wordt hier verder op in gegaan.

Podzolgronden zijn ontstaan in zandgronden met infiltratie van neerslagwater. Door de infiltratie van neerslagwater zijn organische stof, mineralen en nutriënten uitgespoeld naar de ondergrond. In podzolprofielen komen daardoor vaak zogenoemde inspoelingshorizonten voor. Dit zijn dunne lagen in de ondergrond, waarin ijzer of organische stof zijn opgehoopt na uitspoeling. In de Maashorst komen veldpodzolen vooral voor in het centrale deel, bestaande uit landbouwgronden en voormalige landbouwgronden. In de hooggelegen bosgebieden hieromheen komen vooral haarpodzolen voor.

Eerdgronden zijn gronden met een dikke, donkere of bruine toplaag bestaande uit zand met een hoog gehalte aan organische stof. Enkeerdgronden zijn ontstaan door het eeuwenlang opbrengen van (met mest verzadigde) heideplaggen (potstalsysteem). Enkeerdgronden komen in de Maashorst vooral voor in de hoge delen van het deelgebied Hengstheuvel (ten westen van de Raambreuk). Beekeerdgronden en gooreerdgronden zijn ontstaan in beekdalen (of wijstzones) met kwel. Deze kwel zorgde voor permanent natte omstandigheden, waardoor organische stof zich kon ophopen in de toplaag van de bodem. De kwel voorkwam bovendien de uitspoeling van organische stof naar de ondergrond. Onder de eerdlaag hebben beekeerd- en gooreerdgronden vaak een ondergrond bestaande uit wit of grijs gekleurd zand, het gevolg van een hoog gehalte aan gereduceerd ijzer. De permanent hoge grondwaterstanden voorkwamen de oxidatie van dit ijzer. Beekeerdgronden komen vooral voor in de laagste delen van de beekdalen en wijstzones. Gooreerdgronden liggen iets hoger in het landschap, vaak tegen de flanken van de beekdalen. In de Maashorst treffen we beekeerd- en gooreerdgronden vooral aan in de beekdalen en wijstzones in het deelgebied Hengstheuvel.

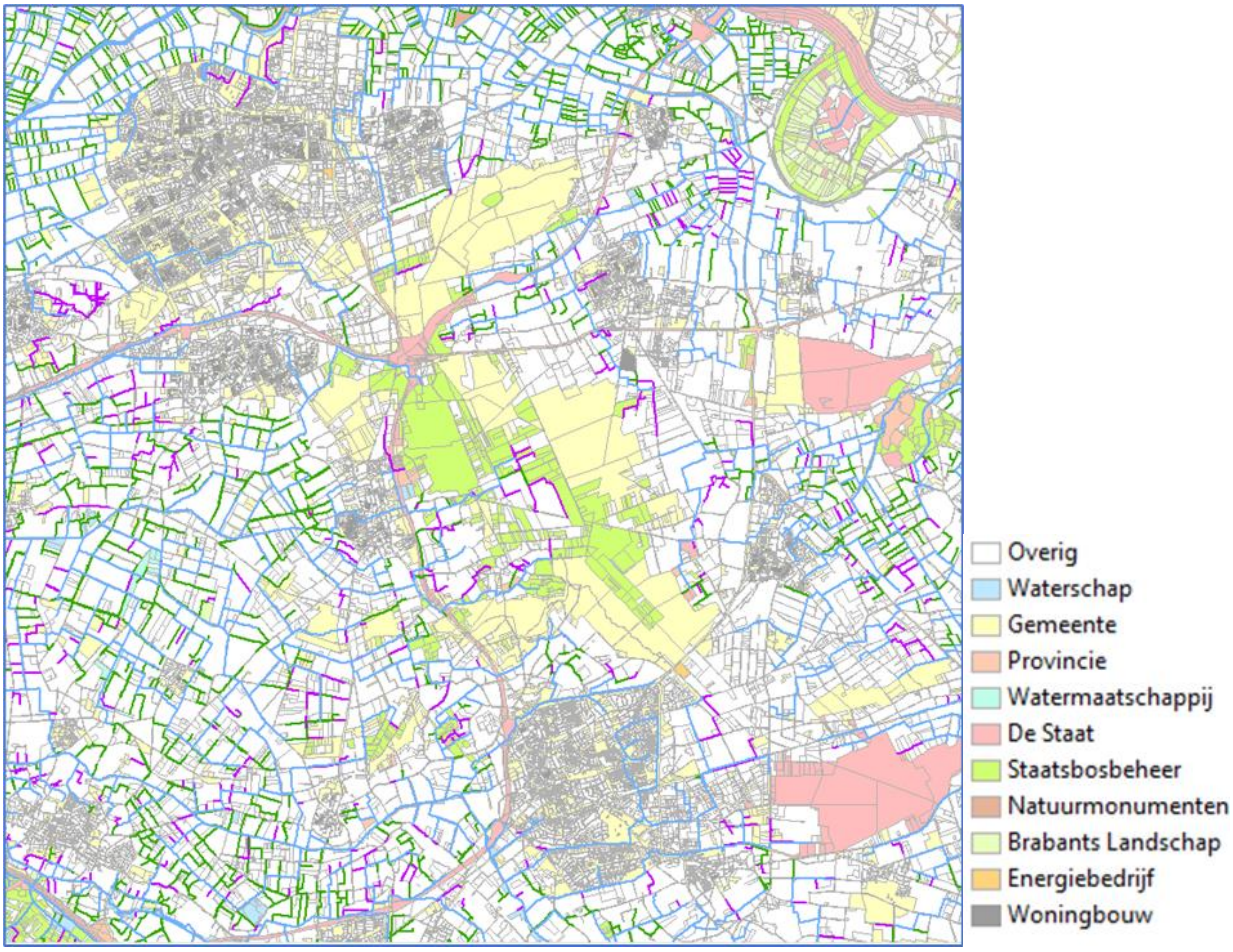
Vaaggronden zijn bodems, waarin zich nog niet of nauwelijks bodemvorming heeft voorgedaan. In de Maashorst komen duinvaaggronden voor in een voormalig stuifduinencomplex in het noordelijk deel van het gebied (deelgebied Heesch).



Figuur 2.8: Bodemtypen Maashorst

2.6 Landgebruik

Vrijwel het gehele projectgebied De Maashorst vormt onderdeel van het Natuurnetwerk Brabant (NNB). Het grootste deel van het gebied is aangekocht als natuurgebied en is in beheer bij Staatsbosbeheer, de gemeente Maashorst, gemeente Oss en Gemeente Bernheze, zie figuur 2.9. Alleen in het centrale deel ligt nog een aantal percelen in agrarisch eigendom (circa 130Ha).

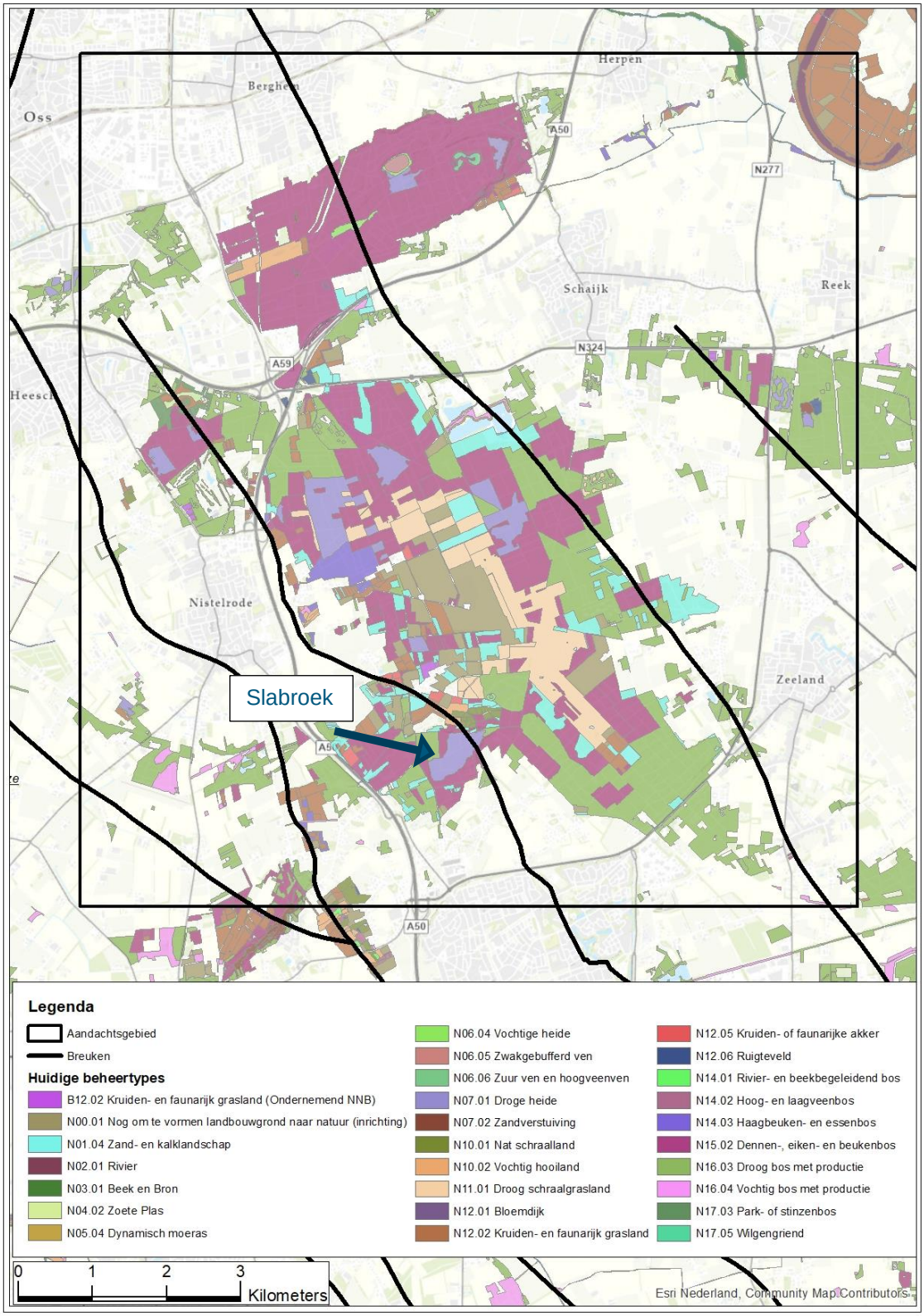


Figuur 2.9: Eigendommenkaart De Maashorst

Figuur 2.10 geeft de natuurbeheertypen weer. Het overgrote deel van de Maashorst heeft droge beheertypes, waarvan N15.02 (Dennen-, eiken- en beukenbos) en N16.03 (Droog bos met productie) de meeste voorkomende zijn. Ten zuiden van Slabroek zijn ook nattere beheertypes toegekend, zoals N06.045 (Vochtige heide) en N10.02 (Vochtig hooiland).

In het midden van de Maashorst is een gebied met nog om te vormen landbouwgebied (N00.01). Dit is in de huidige situatie nog landbouwgebied (zie ook Figuur 2.8). Ook rondom Slabroek zijn verschillende landbouwpercelen te vinden.

Voor vrijwel het gehele gebied De Maashorst is het ambitie-beheertype Zand- en Kalklandschap toegekend (N01.04). Streven is om de bestaande natte, grondwaterafhankelijke flora en fauna zoveel te behouden en zo duurzaam mogelijk in stand te houden. Verder is het streven om het hydrologisch systeem zo ver mogelijk te herstellen, zodat een robuuste, relatief beheer- en onderhoudsarme vorm van natuur ontstaat (proces natuur).



Figuur 2.10: Natuurbeheertypen De Maashorst

3 Opzet van het grond- en oppervlaktewatermodel

3.1 Oppervlaktewatermodel

3.1.1 Algemene opzet

Ten behoeve van de studie is een oppervlaktewatermodel in SOBEK opgezet, specifiek voor het projectgebied. Het oppervlaktewatermodel dient om de oppervlaktewaterpeilen te berekenen, die randvoorwaarde vormen voor het grondwatermodel. Tevens is het oppervlaktewatermodel ingezet om de effecten van verschillende maatregelen op het oppervlaktewaterregime te berekenen.

Basis voor het oppervlaktewatermodel voor de Maashorst zijn de (vier) regionale stroomgebiedsmodellen, die Waterschap Aa en Maas eerder heeft opgezet en toegepast voor onder meer de integrale toetsingen aan de NBW-normen. Het projectgebied Maashorst vormt de waterscheiding tussen verschillende stroomgebieden. Het is daarom niet verwonderlijk dat het projectgebied de Maashorst deels wordt bedekt door alle vier de regionale stroomgebiedsmodellen. Tabel 3-1 geeft de namen van deze vier stroomgebiedsmodellen weer, alsmede de modelversies en -cases die zijn gebruikt als basis voor het oppervlaktewatermodel Maashorst.

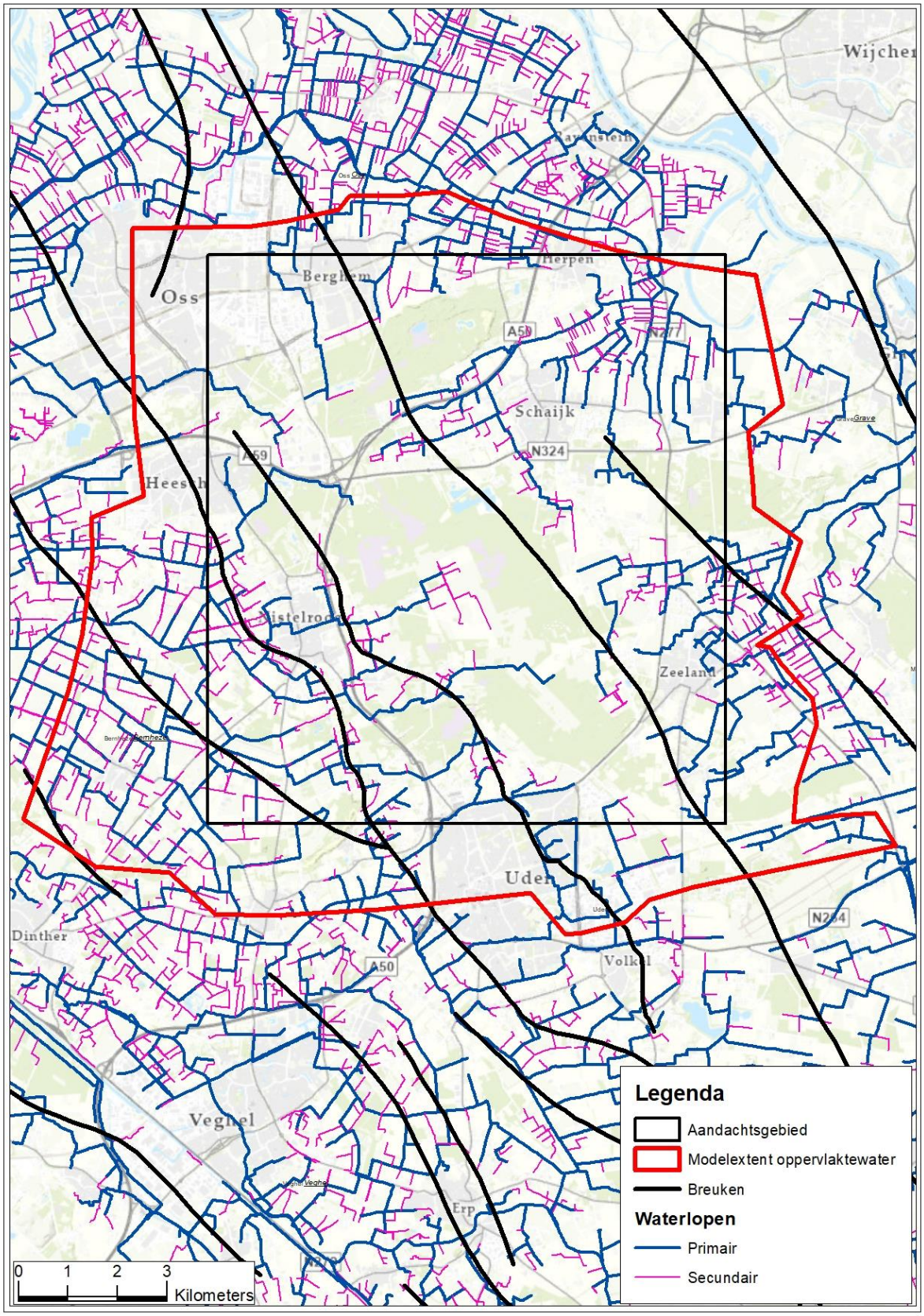
Tabel 3.1: Stroomgebiedsmodellen WS Aa en Maas en referentiecases

Stroomgebied		Wintersituatie	Zomersituatie
Raam	*LIT*	RAAMSTA.LIT	RAAMSTA.LIT
	Case	*versie 4.11 Gemiddelde winter*	*versie 4.11 Gemiddelde zomer*
Hertogswetering	*LIT*	*HERSTA*	*HERSTA*
	Case	*Hertogswetering_winter*	*Hertogswetering_zomer*
Groote Wetering	*LIT*	GROOWETS.LIT	GROOWETS.LIT
	Case	*'v2.91_gemiddelde winter'*	*v2.91_gemiddelde zomer'*
Leijgraaf	*LIT*	LEIJGRST.LIT	LEIJGRST.LIT
	Case	*'20211018Leijgraaf__Gemiddelde winter'*	*'20211018Leijgraaf__gemiddelde zomer '*

Als eerste stap in de opbouw van het oppervlaktewatermodel voor De Maashorst zijn de vier stroomgebiedsmodellen samengevoegd. De modelbegrenzing is vaak benedenstrooms een stuw genomen zodat de randvoorwaarde geen invloed heeft op het model.

Figuur 3.1 geeft de begrenzing van het oppervlaktewatermodel Maashorst weer. Deze begrenzing omvat het gehele projectgebied Maashorst (eveneens weergegeven in Figuur 3.1). Binnen de modelbegrenzing zijn alle A-watergangen in het model opgenomen.

Het oppervlaktewatermodel Maashorst is -evenals de vier stroomgebiedsmodellen- gebaseerd op de modelcode Sobek 2.16.003. Na het samenvoegen van de modellen is een controle uitgevoerd op de klepstanden van de stuwen in het model en de laterals (debieten die als zij-instroom in het model worden gebracht). De waarden zoals opgenomen in het samengevoegde model zijn getoetst aan de laatst beschikbare data en bij het waterschap aanwezige veldkennis. Paragraaf 3.1.2 gaat hier verder op in.



Figuur 3.1 Modelbegrenzing oppervlaktewatermodel Maashorst

Naar aanleiding van de droogte in 2018 en 2019 zijn in het gebied de klepstanden van een aantal stuwen verhoogd. Tevens zijn op verschillende plaatsen vaste stuwen gerealiseerd met behulp van rijplaten. De aangepaste klepstanden en de rijplaatstuwen zijn opgenomen in het oppervlaktewatermodel voor de Maashorst. Paragraaf 3.1.3 gaat hier verder op in.

De aangepaste klepstanden en rijplaatstuwen worden alleen meegenomen in het doorrekenen van de huidige situatie en de verschillende maatregelen-varianten. De modelkalibratie is voor het overgrote deel uitgevoerd voor de situatie vóór 2019 en is daarom gebaseerd op de versie zonder aangepaste klepstanden en rijplaatstuwen.

3.1.2 Controle klepstanden stuwen en laterals

De klepstanden van de stuwen zijn door het waterschap aangeleverd voor de kalibratieperiode. Deze zijn gecontroleerd in het model en waar nodig aangepast. Onderstaande Tabel 3-2 geeft een overzicht van de stuwen waarvoor de klepstanden in het model zijn aangepast. In de tabel zijn de ID's van de stuwen en de aangepaste klepstanden opgenomen.

Tabel 3.2: Stuwen met aangepaste klepstanden ten opzichte van basismodel

ID	Aangepaste klepstand zomerperiode (m t.o.v. NAP)	Aangepaste klepstand winterperiode (m t.o.v. NAP)
AS204CIA	8.06	8.06
AS204FE	9.85	9.8
AS204FG	10.18	12.02
AS204FI	10.26	10.2
AS204FK	12.45	12.4
AS204FN	14.58	14.58
AS204FP	17.25	17.25
AS204FQ	16.24	16.24
AS204H	7.8	7.6
AS204HC	13.3	13.3
AS204HD	14.53	14.35
AS204I	8.2	8.05
AS204J	9.3	9.2
AS204MD	15.44	15.44
AS204O13,57	13.46	13.46
AS204OA	14.64	14.5
AS204UDD	17.77	17.77
AS204UDF	19.4	19.4
CAaS211HIA	16.01	16.01
CAaS211HKB	18.13	18.04

Verder zijn op verschillende locaties zogenoemde laterals (zij-instroompunten) verplaatst of zijn op bestaande laterals debieten toegevoegd als deze op nul stonden om een kleine stroming te krijgen op de

watergang. Dit is nodig om te zorgen dat watergangen niet per definitie droog staan door het ontbreken van een debiet op de watergang. Onderstaande tabel 3.3 geeft een overzicht van de laterals die zijn aangepast in het model.

Tabel 3.3: Overzicht aanpassingen laterals in oppervlaktewatermodel Maashorst

ID	Type	maatregel	waarde
CAaCONN8970	connection node	flow op-gezet	0.0001
CAaCONN12987	connection node	flow op-gezet	0.0001
A2040910L	lateral	verplaatst	
A2040010L	lateral	verplaatst	
D1055010L	lateral	verplaatst	
D1052010L	lateral	verplaatst	
D1052110L	lateral	verplaatst	
D1051010L	lateral	verplaatst	
DCONN4131	connection node	type gewijzigd met flow	0.0001
extra1	lateral	toegevoegd	0.0001
CAaCONN1889	connection node	flow op-gezet	
BCONN6059	connection node	type gewijzigd met flow	0.0001
B1041630L	lateral	verplaatst	
BCONN2681	connection node	type gewijzigd met flow	0.0001
BCONN7752	connection node	type gewijzigd met flow	0.0001
DCONN5384	connection node	type gewijzigd met flow	0.0001
D1054010L	lateral	verplaatst	
D1055410L	lateral	verplaatst	
CAa2112740L	lateral	verplaatst	
A2040510L	lateral	verplaatst	

3.1.3 Aanpassingen klepstanden en rijplaatstuwen na 2019

Naar aanleiding van de droge zomers in 2018 en 2019 zijn voor veel stuwen de klepstanden verhoogd. Tevens zijn op verschillende plaatsen rijplaten verticaal in de watergang geplaatst, om een vaste overlaat te creëren, waarmee meer water vastgehouden kan worden (zogenoemde rijplaatstuwen). Beide ingrepen (aanpassing klepstanden en aanleg rijplaatstuwen) zijn verwerkt in het oppervlaktewatermodel dat wordt ingezet voor het doorrekenen van de huidige situatie en de varianten. De modelkalibratie is voor het overgrote deel uitgevoerd voor de situatie vóór 2019 en is daarom gebaseerd op de versie zonder aangepaste klepstanden en rijplaatstuwen.

Aanpassingen klepstanden vanaf 2019

Tabel 3.4 geeft een overzicht van de stuwen, waar in 2019 de klepstand is verhoogd.

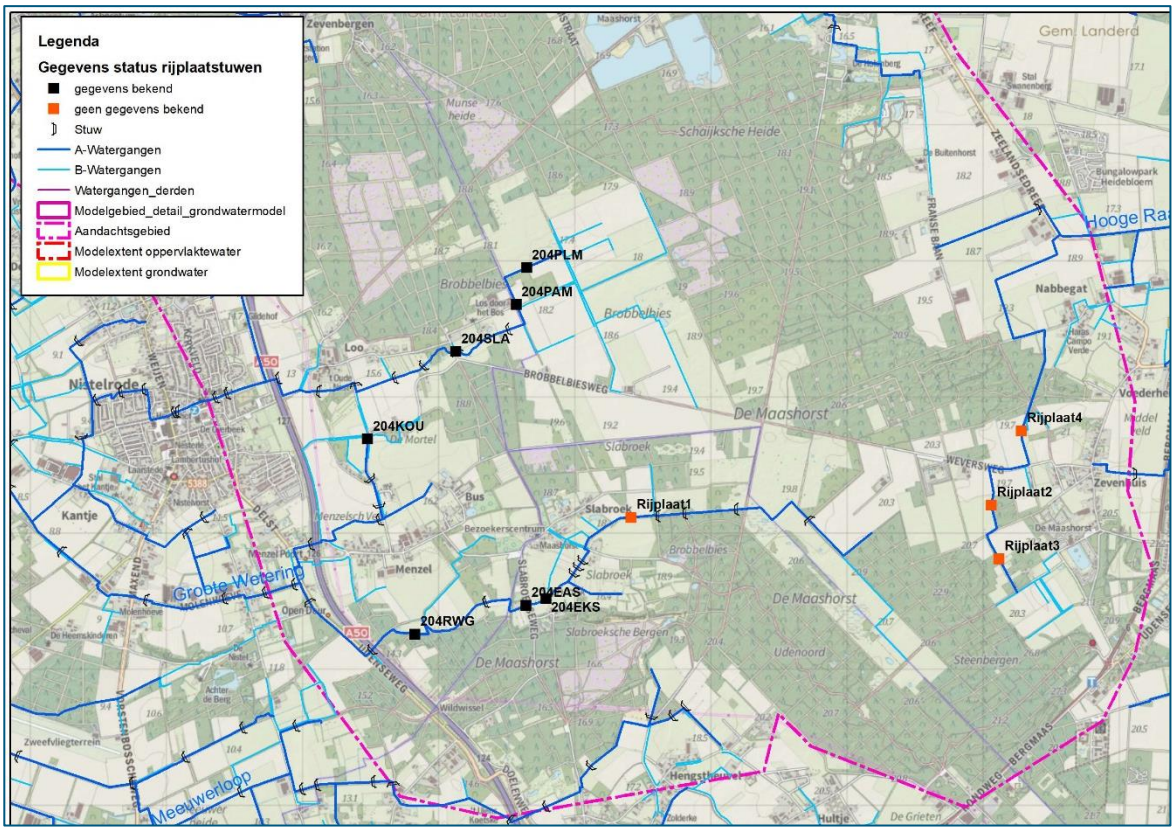
Tabel 3.4: Overzicht stuwen met aanpassing klepstand vanaf 2019

ID	Klepstand na 2019 (m + NAP)	Opmerking	Gemodelleerde stand (m + NAP) Zomersituatie	Wintersituatie
AS204CIA	8.4	Sinds 2020	8.4	
AS204FC	8.52	Sinds 2019 ook in winter op 8,52	8.52	8.52
AS204FD	9.35	Sinds 2018 ook in de winter	9.35	9.35
AS204FE	9.95		9.95	
AS204FG	10,3/10,4		10.35	
AS204FI	10.3	Sinds 2018 ook in de winter 10,3	10.3	10.3
AS204FK	10.8		10.8	
AS204FL	13.5	Terug gezet naar 13,26 in maart 2020	13.26	13.26
AS204FN	14.94		14.94	
AS204FP	17.28		17.28	
AS204FQ	16.84		16.84	
AS204H	7.85	Sinds 2017 7,85	7.85	
AS204HC	13.42		13.42	
AS204HD	14.8		14.8	
AS204HK	15.4		15.4	
AS204HM	16.87		16.87	
AS204I	8.25		8.25	
AS204J	9.28	Sinds 2019 ook in winter op 9,28	9.28	9.28
AS204M	11.95		11.95	
AS204MD	15.7		15.7	
AS204N	12.92		12.92	
AS204O13,57	13.57		13.57	
AS204OA	14.86		14.86	
AS204Q	17.25		17.25	
AS204UDD	17.83		17.83	
AS204UDF	19.6	Sinds april 2020	19.6	
CAaS211HIA	15.52	Sinds 2020 lager	15.52	
CAaS211HKB	18.14		18.14	

Rijplaatstuwen

Op verscheidene locaties in het projectgebied zijn rijplaten in het natte profiel van de watergang gedrukt waarbij er een V-vormige uitsparing is gemaakt waar het water overheen kan stromen. Deze zogeheten

rijplaatstuwen houden het water vast, wat anders makkelijker zou wegstromen. Deze constructies zijn geplaatst om op extra plekken water vast te houden en hebben als voordeel dat ze makkelijk te verwijderen en goedkoop zijn in vergelijking met betonnen stuwconstructies. In Figuur 3.2 zijn de rijplaatstuwen in leggerwatergangen weergegeven.



Figuur 3.2: Locaties van rijplaatstuwen in leggerwatergangen

In Tabel 3.5 zijn voor de rijplaatstuwen, waarvoor dit bekend is op basis van inmetingen, de dimensies en hoogtes weergegeven (doorstroomhoogte, hoogte constructie, breedte en breedte V-vorm). De stuwen zijn als universal weir opgenomen in het model, waarbij de breedte is gebaseerd op de kolom 'Breedte V-vorm' en de hoogte op het verschil tussen 'doorstroomhoogte' en 'hoogte constructie'.

Tabel 3.5 Meetgegevens voor rijplaatstuwen

Code	doorstroomhoogte	hoogte constructie	Breedte	Breedte V-vorm
204PLM	16.9	17.15	2.62	0.73
204PAM	17.16	17.38	3.44	0.73
204SLA	16.09	16.3	3.82	0.73
204EKS	15.06	15.26	4.58	0.73
204EAS	15.16	15.35	2.78	0.73
204RWG	13.62	13.86	2.43	0.73
204KOU	15.78	16	2.42	0.73

Voor de rijplaatstuwen waarvoor geen meetgegevens voorhanden, zijn in het oppervlaktewatermodel aannames gedaan. De aannames voor wat betreft dimensies en hoogtes zoals opgenomen in het model zijn voor de betreffende rijplaatstuwen weergegeven in Tabel 3.6.

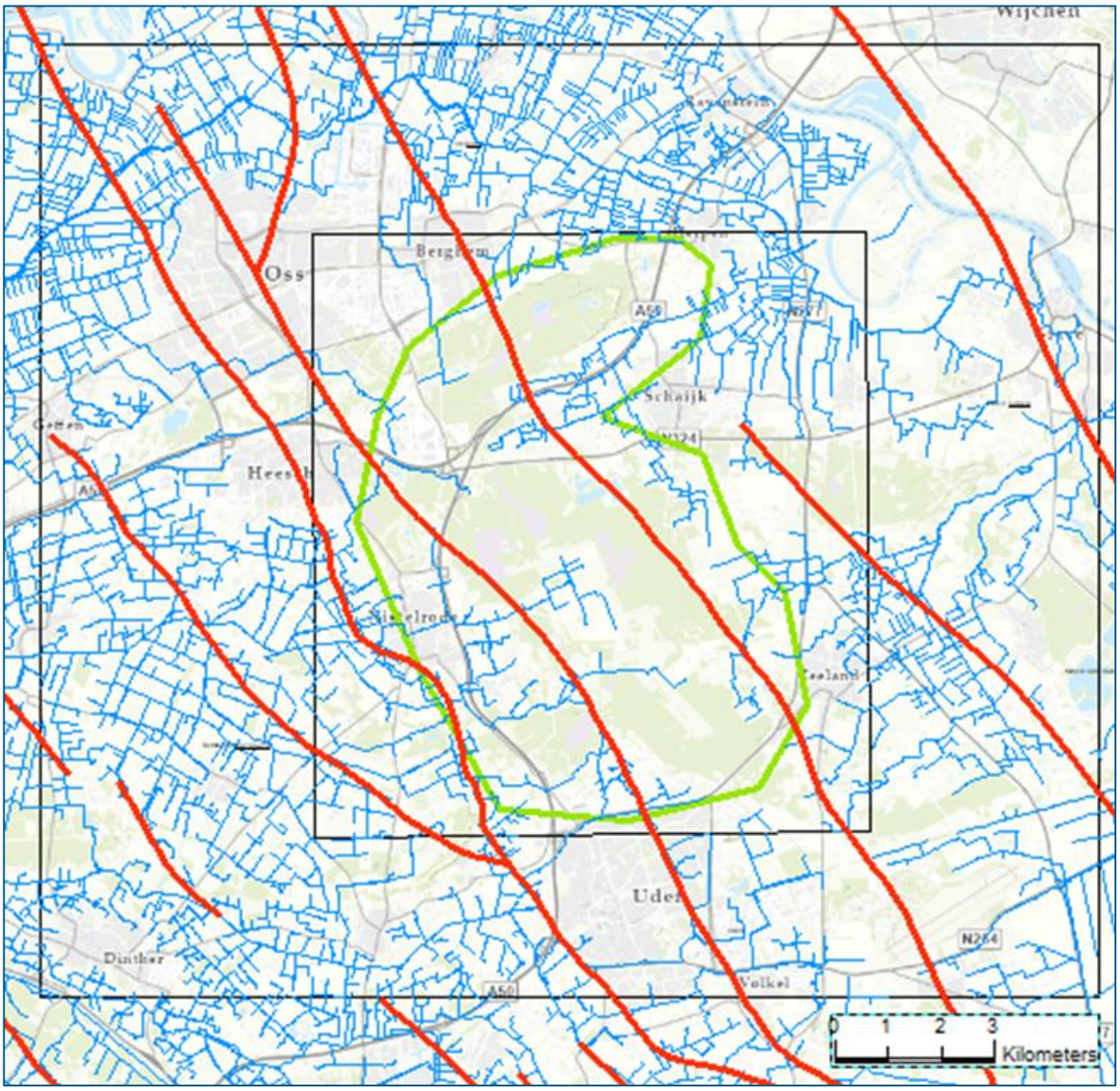
Tabel 3.6: Aannames ten aanzien van hoogtes en dimensies voor rijplaatstuwen zonder meetgegevens

Code	doorstroomhoogte	hoogte constructie	Breedte	Breedte V-vorm
Rijplaat1	18.10	18.30	n.v.t.	0.73
Rijplaat2	19.80	20.00	n.v.t.	0.73
Rijplaat3	20.00	20.20	n.v.t.	0.73
Rijplaat4	19.10	19.30	n.v.t.	0.73

3.2 Grondwatermodel

3.2.1 Opzet model

Vanuit het regionale grondwatermodel voor Waterschap Aa en Maas, versie 3.0 (GRAM3.0) is een tweetal uitsnedemodellen gemaakt voor de Maashorst: een groot model met het projectgebied met daaromheen een buffer om rekening te houden met eventuele uitstralingseffecten vanuit het projectgebied en een kleiner model voor het projectgebied. De lagenschematisatie van beide modellen komt overeen met die van GRAM3.0 (Bos-Burgering & Hunink, 2021). Figuur 3.3 geeft de begrenzingen van beide modellen weer.



Figuur 3.3: Begrenzingen grondwatermodellen Maashorst: groot model op 100x100 m en model voor projectgebied op 25x25 m. Tevens weergegeven de breuken (in rood)

Het grote model is opgebouwd uit gridcellen van 100x100 m en heeft een modelextent voor de volgende RD-coördinaten:

X:160000, 180000
Y:406000, 424000

Op de randen van het grote model zijn per modellaag de berekende grondwaterstanden en stijghoogten vanuit GRAM3.0 opgelegd. Om te voorkomen dat de effectberekeningen binnen het projectgebied worden beïnvloed door de opgelegde stijghoogtes en grondwaterstanden op de rand, ligt de grens van het grote model overal minimaal 3x de spreidingslengte λ (√kDc) buiten de begrenzing van het projectgebied. Omdat de spreidingslengte in de Centrale Slenk veel groter is dan die op de Peelhorst, is het grote model aan de zijde van de Centrale Slenk ruimer begrensd dan aan de zijde van de Peelhorst.

Het kleinere model voor het projectgebied is opgebouwd uit gridcellen van 25x25 m en heeft een modelextent voor de volgende RD-coördinaten:

X:165175, 175660
Y:409000, 420500

De stijghoogten op de randen van het kleinere model voor het projectgebied worden berekend door het grote model. Dat betekent dat iedere berekening met het kleinere model voor het projectgebied vooraf gegaan wordt door een berekening met het grotere model (voor dezelfde situatie of variant).

Alle grondwatermodelberekeningen zijn uitgevoerd met iMODFLOW en MetaSWAP versie 5.3.

Ten opzichte van GRAM3.0 is in de grondwatermodellen voor Maashorst de schematisatie van de breuken aangepast. Paragraaf 3.2.2 gaat in op de schematisatiekeuze voor de breuken. Daarna wordt ingegaan op de grondwateraanvulling en onverzadigde zone modellering (paragraaf 3.2.3). Ten slotte wordt in paragraaf 3.2.3 ingegaan op de overige wijzigingen en updates die zijn uitgevoerd ten opzichte van het basismodel GRAM3.0.

3.2.2 Schematisatie breuken

Tussen de Peelrandbreuk en de Tegelenbreuk komen binnen de Maashorst diverse andere breuken voor. Er is geen eenduidig inzicht in de ligging van deze tussenliggende breuken en de effecten ervan op de grondwaterstroming. In paragraaf 2.2 is de ligging van de breuken volgens verschillende informatie-bronnen besproken.

Op basis van analyse van gemeten stijghoogten, gedetailleerde historische bodemkaarten en de nu bekende ligging van kwelzones is gekozen om voor deze studie en het grondwatermodel Maashorst aanvullend op de Peelrandbreuk, de Tegelenbreuk en de naamloze breuk in het oostelijk deel van de Maashorst alleen uit te gaan van een niet-vertakte Raambreuk in het westelijke deel van het projectgebied. Deze volgt het tracé van één van de vertakkingen van de Raambreuk zoals opgenomen in de oudere geologische kaarten van TNO. De Raambreuk zoals opgenomen in het grondwatermodel Maashorst is in Figuur 2.2 als groene lijn weergegeven. Paragraaf 4.2 gaat in op de nadere analyse van de ligging van de breuken.

3.2.3 Grondwateraanvulling en onverzadigde zone modellering

Stationaire modellering
In de stationaire modelberekeningen is uitgegaan van de gemiddelde grondwateraanvulling over de jaren 2010 t/m 2019, zoals eerder toegepast voor de optimalisatie van GRAM3.0 (Bos-Burgering & Hunink, 2021).
Tijdsafhankelijke grondwateraanvulling en onverzadigde zone (MetaSWAP)
De grondwateraanvulling voor de tijdsafhankelijke modelberekeningen is berekend met MetaSWAP voor de weerjaren 2010 tot en met 2020. Hiervoor is gebruik gemaakt van de beschikbare meteoreeks voor 2010 t/m 2020 (grids met neerslag en referentieverdamping). De eerste drie jaren (2010 t/m 2012) dienen als inspeelperiode. De overige jaren (2013 t/m 2020) zijn gebruikt om per doorgerekende situatie of variant de GHG, GVG en GLG (gemiddelde hoogste grondwaterstand, gemiddelde voorjaars-grondwaterstand en gemiddeld laagste grondwaterstand) te berekenen.

Om de MetaSWAP-berekeningen vanaf 2010 te kunnen starten met een correcte bodemvochtverdeling, is gerekend met een zogenoemde “warme start”. Dit houdt in dat de berekende bodemvochtverdeling aan het eind van een MetaSWAP-berekening voor de periode 2002 tot en met 2009 is opgelegd als beginconditie voor de MetaSWAP-berekeningen vanaf 2010.

De ruimtelijke schematisatie van MetaSWAP is grotendeels overgenomen vanuit GRAM3.0:

- Het landgebruik is gebaseerd op de Basisregistratie percelen van 2019 (BRP2019). Figuur 3-4 hieronder geeft een overzicht van het landgebruik binnen het projectgebied Maashorst.
- Voor de schematisatie van de bodemfysische karakteristieken (pF-curves en kh-relaties) is uitgegaan van de indeling in bodemfysische eenheden (BOFEK-codes) zoals eerder toegepast voor GRAM3.0.

Enkele aanpassingen hierop volgen hieronder in paragraaf 3.2.3.

3.2.4 Overige aanpassingen ten opzichte van het basismodel GRAM3.0

Ten opzichte van GRAM3.0 zijn in de schematisatie van de grondwatermodellen voor Maashorst, voorafgaand aan de kalibratie en validatie, de volgende aanpassingen doorgevoerd:

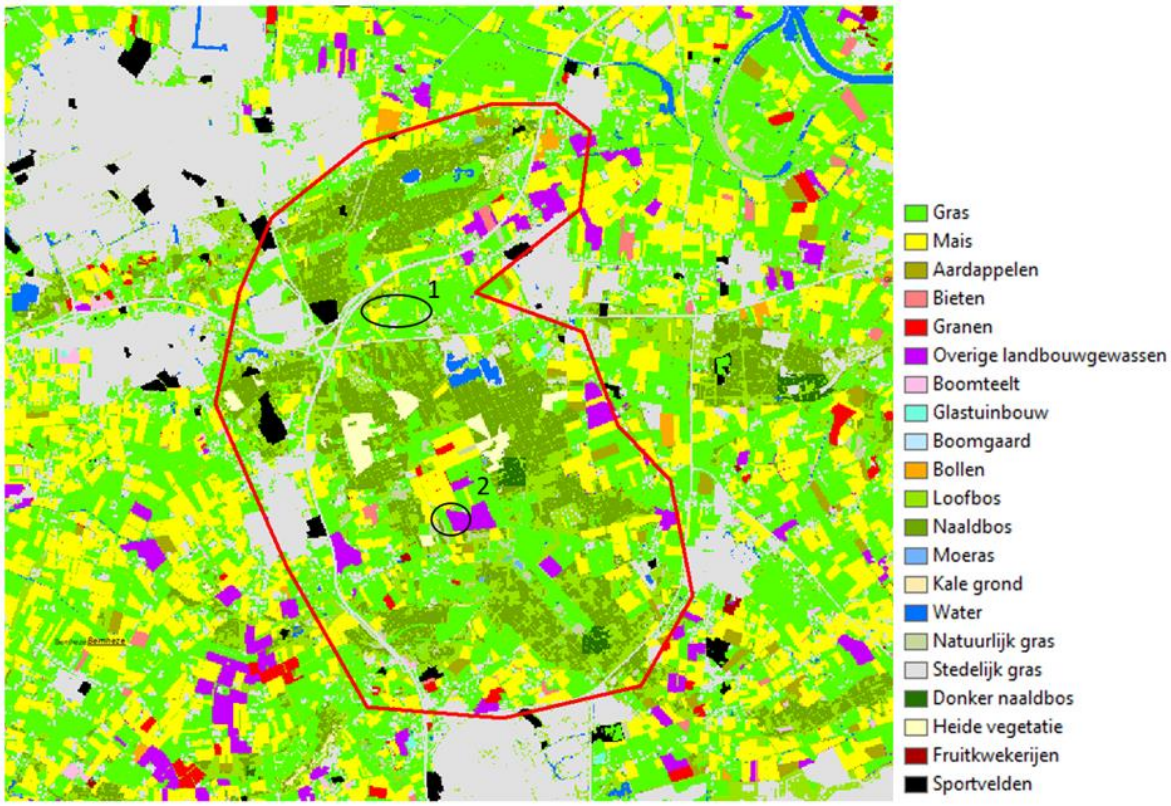
- Wijzigingen landgebruik.
- Aanpassing locaties met beregening.
- Aanpassing terugkeerfrequentie beregeningsgift
- Zandwinplas.
- Oppervlaktewater en topsysteem.
- Correctie grondwateraanvulling stationair model.

Wijzigingen landgebruik
Voor het landgebruik is evenals in GRAM3.0 uitgegaan van BRP2019. Voor twee locaties is bekend dat het landgebruik inmiddels is omgezet naar intensieve teelt (aardbeien/prei/wortelen). Deze twee locaties zijn hieronder weergegeven in Figuur 3.4. In het grondwatermodel Maashorst is voor deze locaties in plaats van het BRP2019 uitgegaan van het landgebruikstype “overige landbouw”. In MetaSWAP is voor deze percelen uitgegaan van een aangepaste worteldiepte.

Voor het overige is uitgegaan van het landgebruik volgens BRP2019, zie Figuur 3.4.

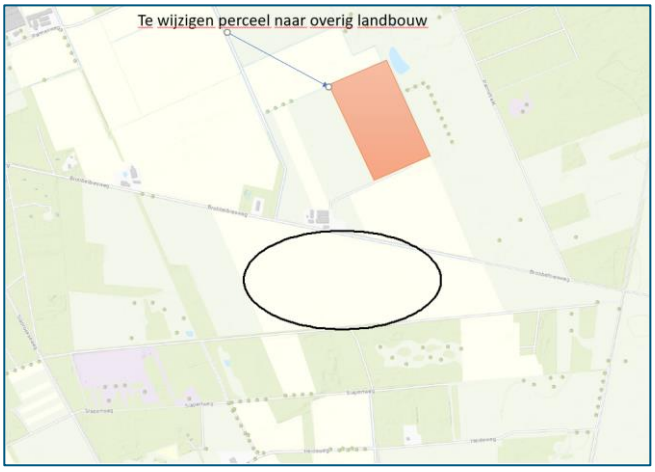
Figuren 3.5 en 3.6 geven de concreet aangepaste percelen met intensieve teelt in meer detail weer.

Aanpassing terugkeerfrequentie beregeningsgift
De hoeveelheid beregeningsgift per gift is hetzelfde gehouden als in GRAM3.0. De terugkeerfrequentie is verminderd met ongeveer 40%. Dit betekent bijvoorbeeld bij grasland niet na 10 dagen opnieuw wordt beregend, maar pas na 14 dagen.



Figuur 3.4. Landgebruik zoals opgenomen in grondwatermodel Maashorst. Bron: BRP2019. In twee omcirkelde locaties is intensieve teelt aanwezig (o.m. aardbeien). Hier is het landgebruik volgens BRP2019 aangepast.

Figuur 3.5: Perceel met intensieve teelt omgezet naar "overig landbouw" binnen gebied 1

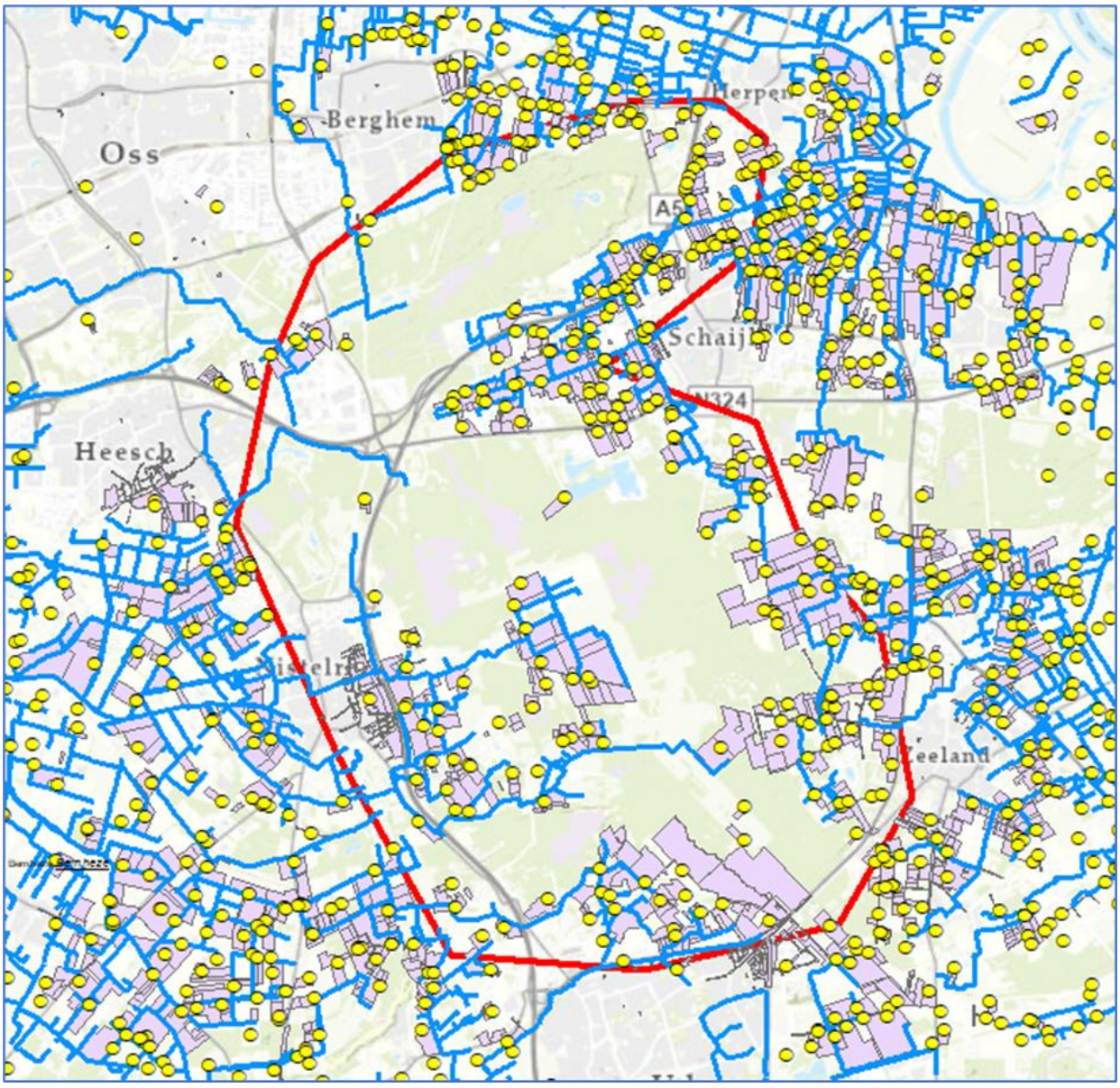


Figuur 3.6: Perceel met intensieve teelt omgezet naar "overig landbouw" binnen gebied 2

Aanpassing locaties beregening

Ten opzichte van GRAM3.0 zijn de percelen met mogelijke beregening uit grondwater aangepast. Hiervoor is door WS Aa en Maas een handmatige analyse uitgevoerd, waarbij de percelen waar in GRAM3.0 beregening werd verondersteld zijn getoetst aan veldkennis en zijn vergeleken met de ligging van de beregeningsputten.

Het resultaat van de analyse is weergegeven in Figuur 3-7. Deze kaart geeft de percelen weer, waar in het grondwatermodel Maashorst mogelijke beregening uit grondwater wordt verondersteld.



Figuur 3.7: Percelen waar in grondwatermodel Maashorst mogelijkheid voor beregening uit grondwater wordt verondersteld (paars). Geel: locaties beregeningsputten

Zandwinplas

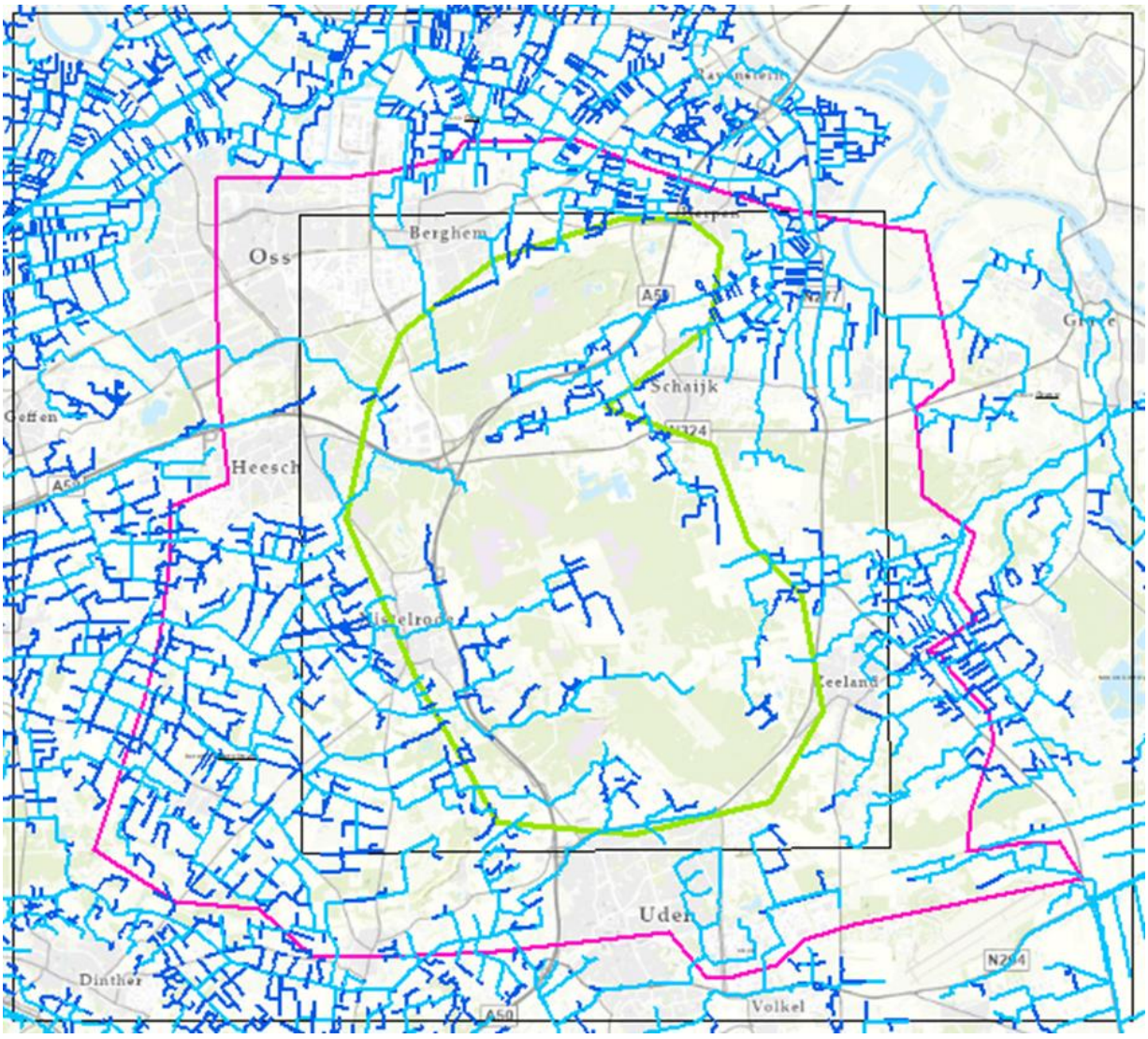
In het noordelijk deel van het projectgebied Maashorst, ten zuidwesten van Schaijk, ligt een zandwinplas zie Figuur 3.4. Deze zijn niet opgenomen in het GRAM3.0 model en zijn alsnog opgenomen in de schematisatie van het grondwatermodel Maashorst. Aangenomen is dat de plas insnijdt tot en met

modellaag 4. Ter plaatse van de plas is de kD-waarde van modellagen 1 tot en met 4 verhoogd tot 1000 m^2/d. Tevens is de veronderstelde dikte van modellagen 1 t/m 3 gereduceerd tot 10 cm. De verticale weerstanden van modellagen 1 t/m 3 is gereduceerd tot 0,1 d. Door deze aanpassingen in de schematisatie berekent het model ter plaatse van de plas een vrijwel vlakke grondwaterspiegel, die vrij kan meebewegen met het grondwaterregime van het omliggende gebied.

Oppervlaktewater en topsysteem.

Primaire, secundaire en tertiaire watergangen

Figuur 3.8 geeft alle primaire en secundaire watergangen weer, die zijn opgenomen in de schematisatie van het grondwatermodel. Binnen de extent van het oppervlaktewatermodel (zie Figuur 3.8) zijn waterstanden die voorkomen in de zomer en winter berekend met het SOBEK-model en vervolgens toegekend aan het grondwatermodel. De conversie van het SOBEK-model naar grondwatermodelinvoer (conductance, bodemhoogte, peil) vond plaats met de iMOD-batchfuncties IMPORTSOBEK en ISGGRID.



Figuur 3.8: Primaire en secundaire watergangen opgenomen in de schematisatie van het grondwatermodel Maashorst

Voor de primaire en secundaire watergangen buiten de modelextent van het SOBEK-model zijn de zomer- en winterpeilen overgenomen uit GRAM3.0. Ook de peilen en conductances van de tertiaire watergangen zijn integraal overgenomen uit GRAM3.0.

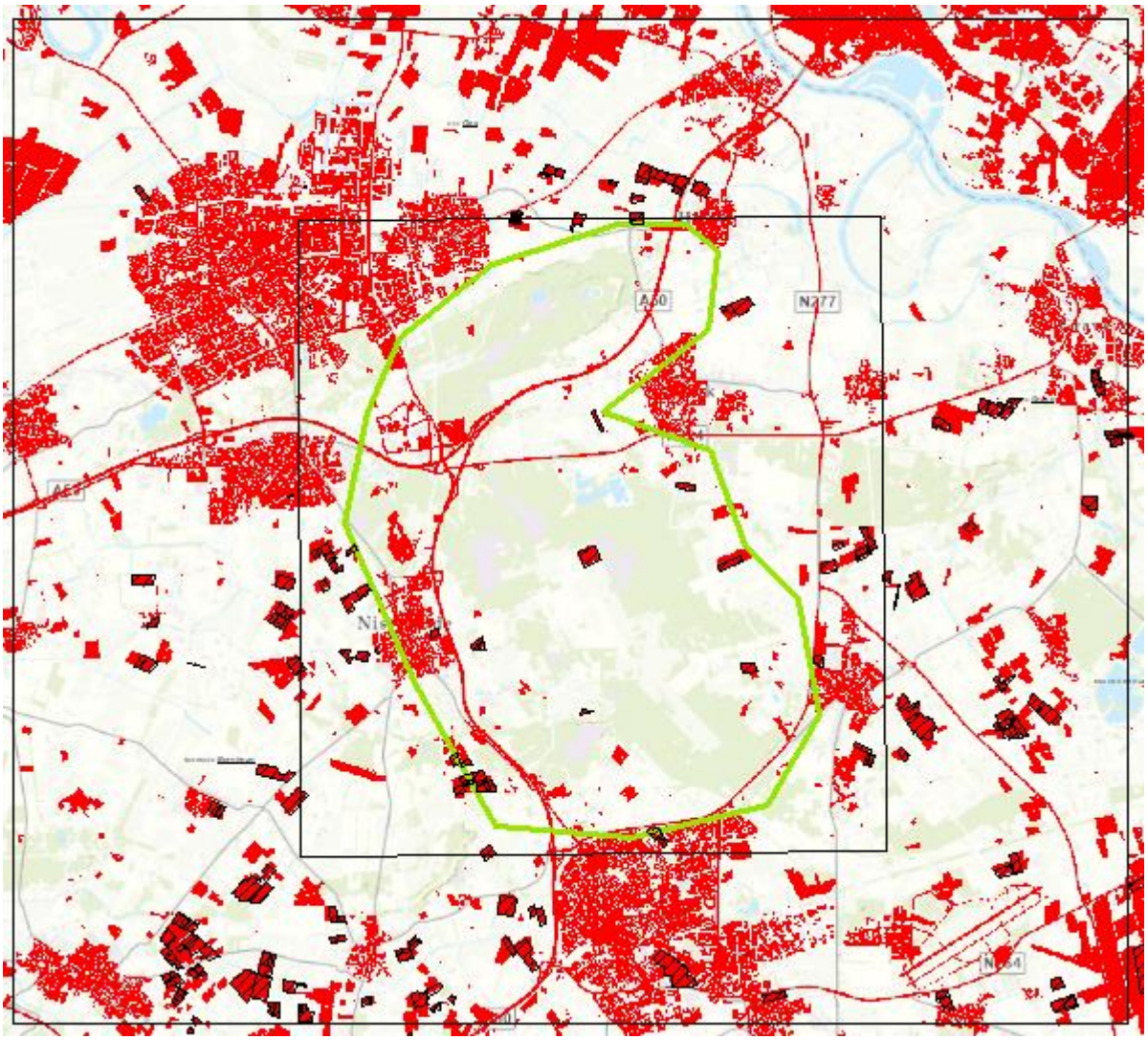
Tot enkele jaren geleden was centraal in het Maashorstgebied een onderbemaling aanwezig. Deze is inmiddels stopgezet en daarom niet in de schematisatie van het grondwatermodel opgenomen.

We leiden de conductances van de watergangen zijn afgeleid op 25x25 m modelgrid. Voor de primaire watergangen is uitgegaan van een intreeweerstand van 1 dag, voor de secundaire watergangen van 2 dagen. Voor de opschaling van de conductances naar 100x100 m gridcellen is gebruik gemaakt van de Formule van de Lange, zoals geïmplementeerd in iMOD.

In het grondwatermodel is aangenomen dat de primaire, secundaire en tertiaire watergangen alleen kunnen draineren. Omdat er nergens in het Maashorstgebied wateraanvoer mogelijk is, is verondersteld dat er geen infiltratie vanuit de watergangen optreedt. In het grondwatermodel is de infiltratiefactor van alle watergangen op 0 gesteld.

Buisdrainage

De percelen met buisdrainage zijn overgenomen uit GRAM3.0. Aanvullend zijn percelen met buisdrainage toegevoegd, die eerder zijn geïnventariseerd door Waterschap Aa en Maas. Figuur 3.9 geeft alle buisdrainage weer, die is opgenomen in het grondwatermodel Maashorst. Het betreft behalve buisdrainage van landbouwpercelen ook drainage in bebouwd gebied en van grotere wegen. De rood weergegeven locaties zijn overgenomen vanuit GRAM3.0. De zwart omlijnde percelen zijn later toegevoegd op basis van de veldinventarisatie die eerder is uitgevoerd door Waterschap Aa en Maas.



Figuur 3.9: Percelen en locaties met buisdrainage opgenomen in het grondwatermodel Maashorst. Rood: overgenomen uit GRAM 3.0. Zwart omlijnd: gebaseerd op veldinventarisatie door Waterschap Aa en Maas.

Correctie grondwateraanvulling stationair model

Uit de eerste testberekeningen met de grondwatermodellen voor Maashorst bleek dat de stationaire berekeningen op de Maashorst resulteerden in structureel hogere grondwaterstanden dan het gemiddelde van de tijdsafhankelijke berekeningen. Dit is voorafgaand aan de kalibratie van de modellen opgelost door de stationaire grondwateraanvulling opnieuw te berekenen als het gemiddelde van de tijdsafhankelijke grondwateraanvullingen over de periode 2010 t/m 2020.

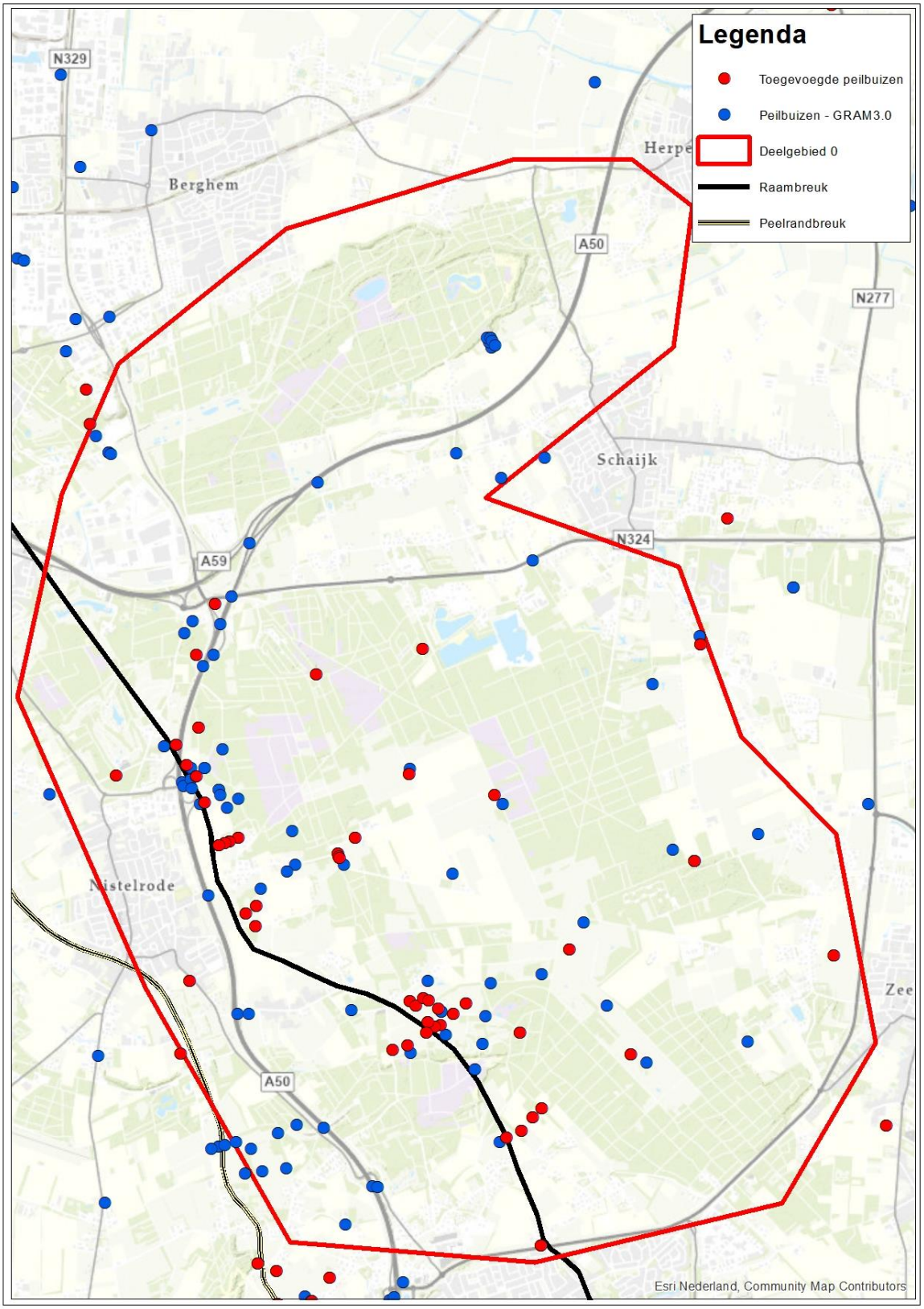
4 Gevoeligheidsanalyse en kalibratie van het grondwatermodel

4.1 Peilbuisgegevens

Voor de kalibratie van het grondwatermodel Maashorst is gebruik gemaakt van de selectie peilbuizen die eerder is gebruikt voor de kalibratie van GRAM3.0. Deze kalibratieset is eerder door Deltares samengesteld door middel van tijdreeksanalyse (Bos-Burgering & Hunink, 2021).

Ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse en aanvullende kalibratie is de kalibratieset van GRAM3.0 uitgebreid met andere beschikbare peilbuizen binnen het projectgebied. Er zijn alleen peilbuizen toegevoegd, die na controle volledig en betrouwbaar genoeg bleken.

Figuur 4.1 geeft een overzicht van de peilbuizen die gebruikt zijn voor de gevoeligheidsanalyse en aanvullende kalibratie van het grondwatermodel Maashorst. In blauw zijn de peilbuizen weergegeven die al waren opgenomen in de oorspronkelijke ijkset voor GRAM3.0. In rood zijn de peilbuizen weergegeven die ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse en aanvullende kalibratie van het grondwatermodel Maashorst zijn toegevoegd.



Figuur 4.1: Overzicht peilbuizen gebruikt voor kalibratie en gevoeligheidsanalyse. Blauw: peilbuizen van de oorspronkelijke ijkset voor GRAM3.0. Rood: extra peilbuizen die zijn toegevoegd ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse en aanvullende kalibratie van het grondwatermodel Maashorst

4.2 Nadere analyse ligging breuken

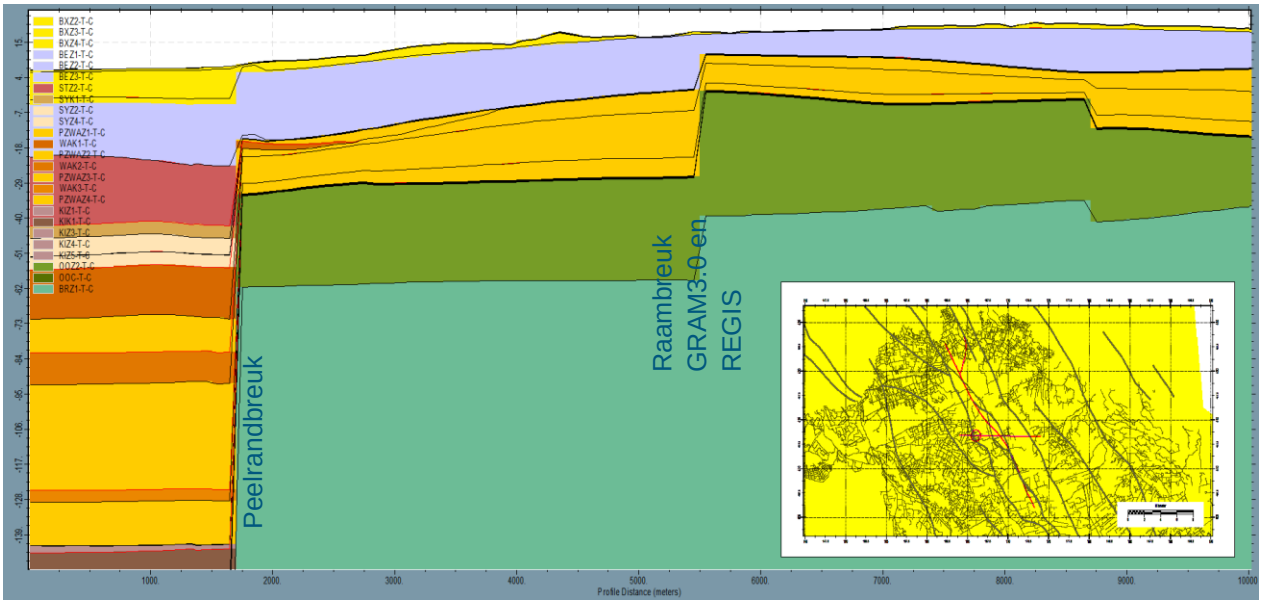
4.2.1 Algemeen

De Peelrandbreuk vormt de scherpe overgang tussen de Peelhorst en de Centrale Slenk; de Tegelenbreuk vormt de overgang tussen de Peelhorst en de Venloslenk. De Peelrandbreuk ligt één tot twee kilometer ten westen van De Maashorst. De Tegelenbreuk ligt op 3 à 4 kilometer ten noordoosten van De Maashorst. De ligging van deze breuken is relatief eenduidig bekend. Tussen de Peelrandbreuk en de Tegelenbreuk komen binnen de Maashorst één of meerdere andere breuken voor: de Raambreuk en eventueel één of meerdere andere breuken.

Voorafgaand aan de kalibratie van het grondwatermodel Maashorst is op basis van metingen, historische bodemkarteringen en verkennende berekeningen met het grondwatermodel de meest plausibele locatie van de tussenliggende breuken vastgesteld.

4.2.2 Analyse op basis van GRAM3.0

In het regionale grondwatermodel voor Waterschap Aa en Maas (GRAM3.0) is aanvullend op de Peelrandbreuk en de Tegelenbreuk de Raambreuk opgenomen op de locatie waar deze is opgenomen in REGISII v2.2. Figuur 4.2 geeft in een dwarsdoorsnede de geohydrologische opbouw van de Maashorst weer conform REGISII v2.2. In GRAM3.0 is de Raambreuk niet actief verondersteld in de Formaties van Boxtel en Beegden. De Raambreuk is alleen actief verondersteld in de lagen hieronder, de Formaties van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda. In deze modellagen is in GRAM3.0 uitgegaan van een horizontale weerstand van de Raambreuk van 500 dagen.



Figuur 4.2: Geohydrologische doorsnede van west naar oost door de Maashorst (conform REGISII v2.2)

Figuur 4.3 hieronder geeft voor het projectgebied de ligging van de Peelrandbreuk, de Tegelenbreuk en de naamloze breuk in het oostelijk deel van de Maashorst weer, alsmede de ligging van de breuken in het westelijk deel van de Maashorst, op basis van de volgende 3 informatiebronnen:

- De ligging van de breuken zoals aangenomen in de Watervisie Maashorst (Royal Haskoning, 2008) en andere studies in het verleden (grijze lijnen), gebaseerd op oudere geologische kaarten van TNO.

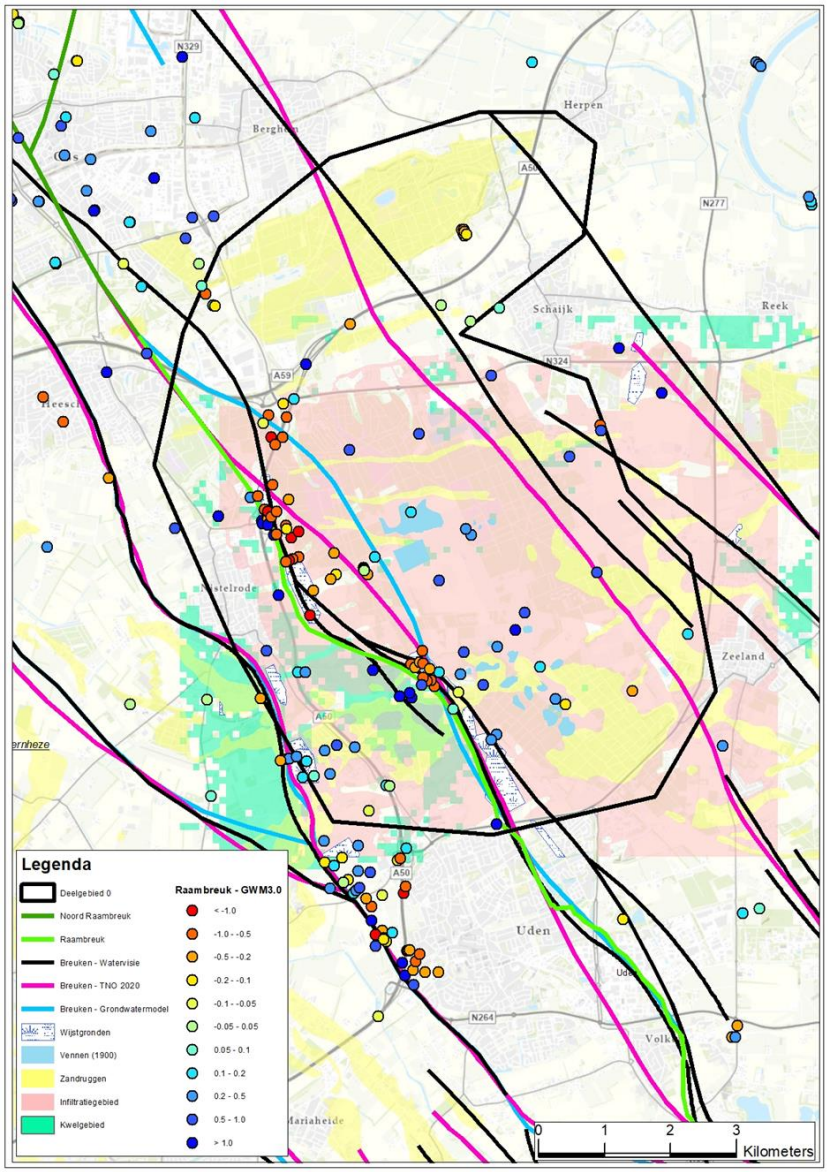
- De ligging van de breuken zoals opgenomen in REGIS II v2.2 en het regionale grondwatermodel voor WS Aa en Maas, GRAM3.0 (blauwe lijnen).
- De ligging van de breuken volgens laatste H3O-Roerdalslenk (roze lijnen).

Voor een nadere toelichting op deze drie gegevensbronnen wordt verwezen naar paragraaf 2.2.

In Figuur 4.3 geeft ook het kalibratieresultaat van GRAM3.0 weer; verschillen tussen de berekende grondwaterstanden en stijghoogten en de gemeten waarden.

Het regionale grondwatermodel GRAM 3.0 heeft grote afwijkingen tussen berekende en gemeten waarden in de zone met de verschillende tracévarianten van de Raambreuk. In het gebied ten oosten van de Raambreuk volgens de Watervisie en ten westen van de Raambreuk volgens REGISII v2.2 rekent GRAM3.0 veel te lage grondwaterstanden en stijghoogten uit. De berekende grondwaterstanden en stijghoogten liggen hier enkele decimeters tot ruim meer dan één meter lager dan de gemeten waarden. Ten westen van de Raambreuk volgens de Watervisie liggen de berekende grondwaterstanden en stijghoogten juist hoger dan de gemeten waarden (enkele decimeters tot lokaal meer dan één meter).

Op basis van het kalibratieresultaat van GRAM3.0 lijkt van de drie varianten voor de Raambreuk zoals weergegeven in Figuur 4.3, de variant zoals opgenomen in de Watervisie de meest plausibele. Deze markeert namelijk een duidelijke sprong in gemeten grondwaterstanden en stijghoogten en ook in de afwijkingen tussen berekende en gemeten waarden (kalibratieresultaat GRAM3.0).



Figuur 4.3: Verschillende locaties Raambreuk en kalibratieresultaat GRAM3.0:

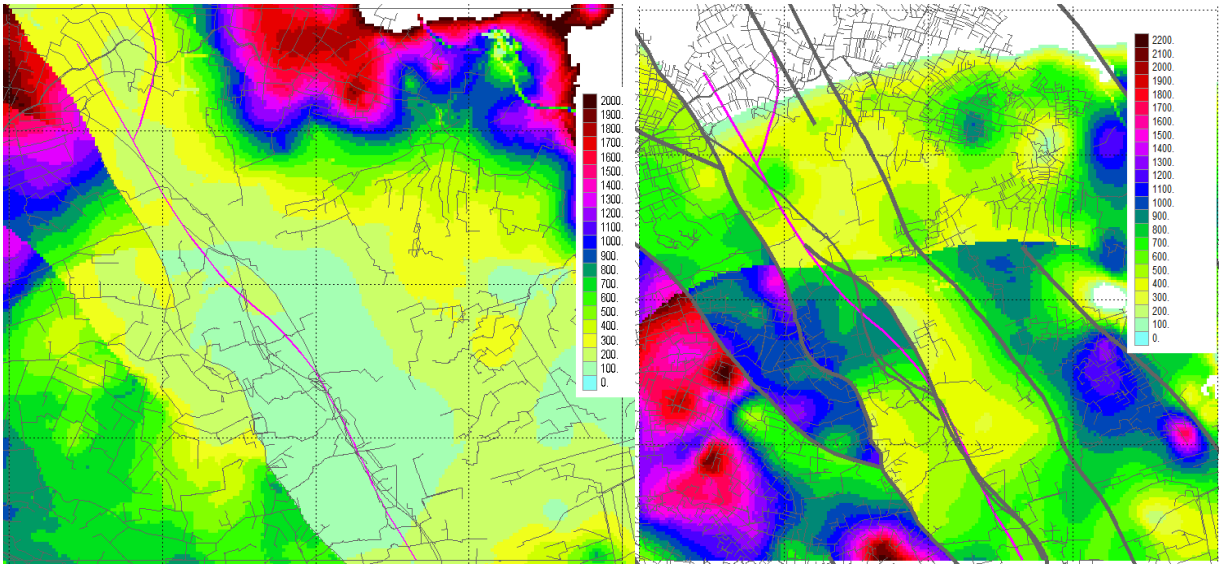
- *volgens Watervisie Maashorst en oudere geologische kaarten TNO (grijze lijnen)*
- *volgens REGIS II v2.2 en overgenomen in GRAM3.0 (blauwe lijnen)*
- *volgens H3O-Roerdalslenk (roze lijnen)*
- *Raambreuk zoals opgenomen in het grondwatermodel Maashorst (groene lijnen: Raambreuk en Noord-Raambreuk)*

4.2.3 Aanvullende berekeningen met grondwatermodel Maashorst

Om te komen tot de meest aannemelijke schematisatie van de Raambreuk zijn met het grondwatermodel Maashorst vier varianten voor de Raambreuk doorgerekend en zijn per variant de afwijkingen tussen de berekende en gemeten grondwaterstanden en stijghoogten in beeld gebracht. In deze berekeningen met het grondwatermodel Maashorst is gerekend met dezelfde doorlatendheden als in GRAM3.0.

Met name voor de Formatie van Beegden wijken de doorlatendheden flink af van REGISII v2.2. In het Brabant-model waren de doorlatendheden van deze formatie ter plaatse van de Maashorst al flink verlaagd ten opzichte van REGIS. In de kalibratie van GRAM3.0 (Bos-Burgering & Hunink, 2021) zijn deze ten opzichte van het Brabant-model nog weer verder verlaagd. Figuur 4-4 geeft het verschil in doorlaatvermogen (kD) van de Formatie van Beegden weer, volgens GRAM3.0 (links) en REGISII v2.2

(rechts). In GRAM3.0 varieert de kD van Beegden in de zone met de verschillende tracévarianten van de Raambreuk tussen 100 en 200 m^2/d. REGISII v2.2 laat veel hogere waarden zien en ook veel meer ruimtelijke variatie: 300 tot lokaal 1000 m^2/d.



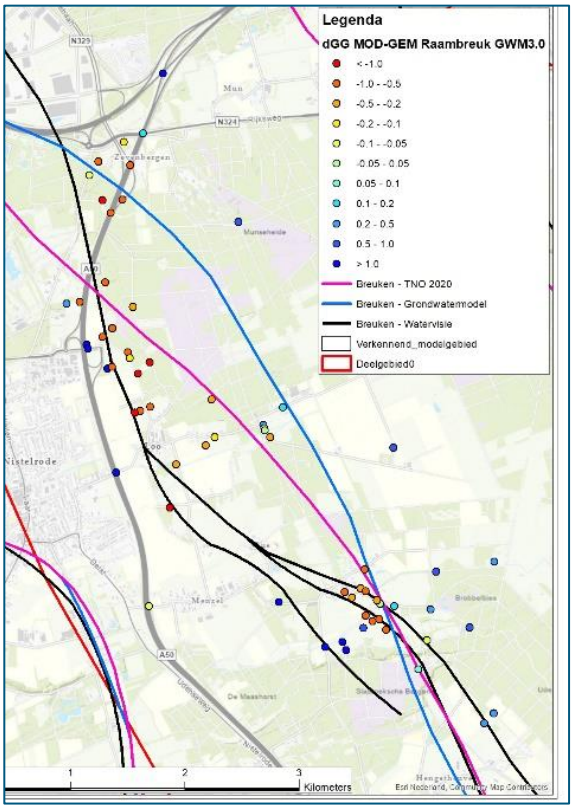
Figuur 4.4: Transmissiviteit (kD) formatie van Beegden: GRAM 3.0 (links) vs. REGIS II v2.2 (rechts)

Figuur 4.5 laat de resultaten zien van berekeningen met het grondwatermodel Maashorst voor de volgende vier varianten voor schematisatie van de Raambreuk:

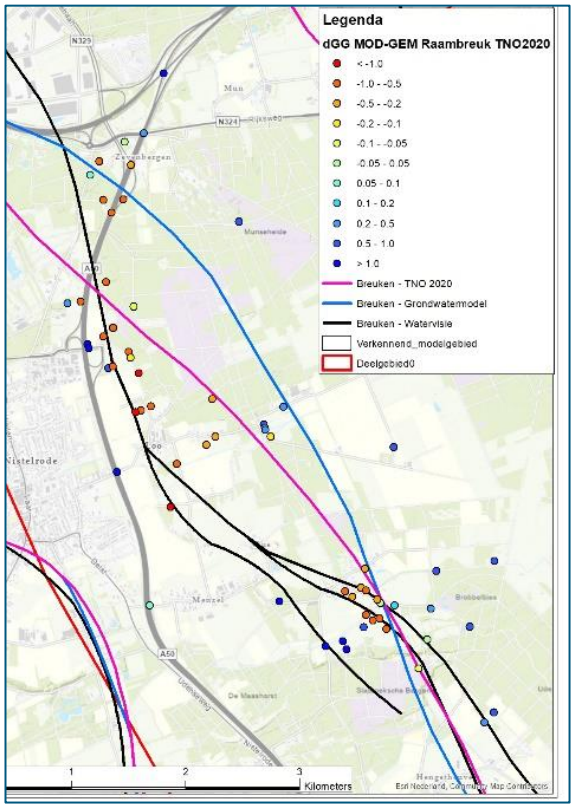
a. Tracé zoals opgenomen in GRAM3.0 en REGISII v2.2, breuk alleen ontwikkeld in Formaties van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda, horizontale weerstand 500 d.
b. Tracé volgens H3O Roerdalslenk (Vernes et al., 2018), breuk alleen ontwikkeld in Formaties van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda, horizontale weerstand 500 d.
c. Tracé volgens Watervisie Maashorst (Royal Haskoning, 2008), breuk alleen ontwikkeld in Formaties van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda, horizontale weerstand 500 d.
d. Tracé volgens Watervisie Maashorst (Royal Haskoning, 2008), breuk ontwikkeld in Formaties van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda en eveneens in de Formatie van Beegden, horizontale weerstand 500 d.

Midden op de Maashorst, oostelijk van de Raambreuk zoals opgenomen in REGISII v2.2 en GRAM3.0, worden de grondwaterstanden en stijghoogten redelijk goed berekend. Varianten a en b laten met name in de zone tussen de Raambreuk volgens de Watervisie en de Raambreuk volgens REGISII v2.2 flinke afwijkingen zien; de grondwaterstanden en stijghoogten worden hier enkele decimeters tot meer dan één meter te laag berekend. Variant c, waarin wordt uitgegaan van de Raambreuk met het tracé zoals opgenomen in de Watervisie Maashorst, geeft van de 4 varianten de geringste afwijkingen tussen berekende en gemeten waarden. In eerdergenoemde zone tussen de Raambreuk volgens de Watervisie en de Raambreuk volgens REGIS komen de berekende grondwaterstanden en stijghoogten aanzienlijk beter overeen met de metingen. Variant d, waarin het tracé uit de Watervisie wordt doorgerekend met ook een horizontale weerstand in de Beegden-formatie (variant d), leidt in dezelfde zone tot aanzienlijk te hoog berekende grondwaterstanden en stijghoogten.

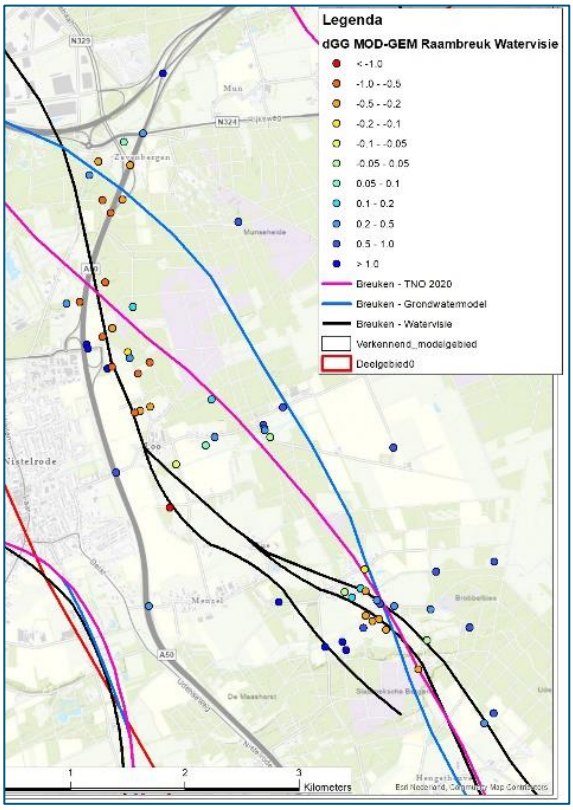
Ook op basis van de 4 gevoeligheidsberekeningen met het grondwatermodel Maashorst (Figuur 4.5) lijkt de variant voor de Raambreuk zoals opgenomen in de Watervisie de meest plausibele. Het model rekent in deze variant (c) ter plaatse van de Raambreuk ook de sprong in stijghoogten, die ook uit de metingen blijkt.



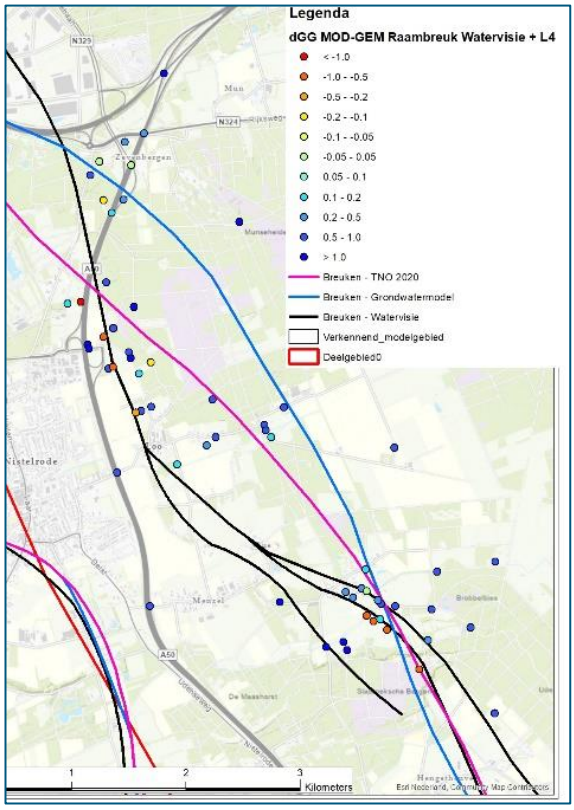
a. REGISII v2.2 en GRAM3.0



b. H3O-Roerdalslenk



c. Watervisie Maashorst

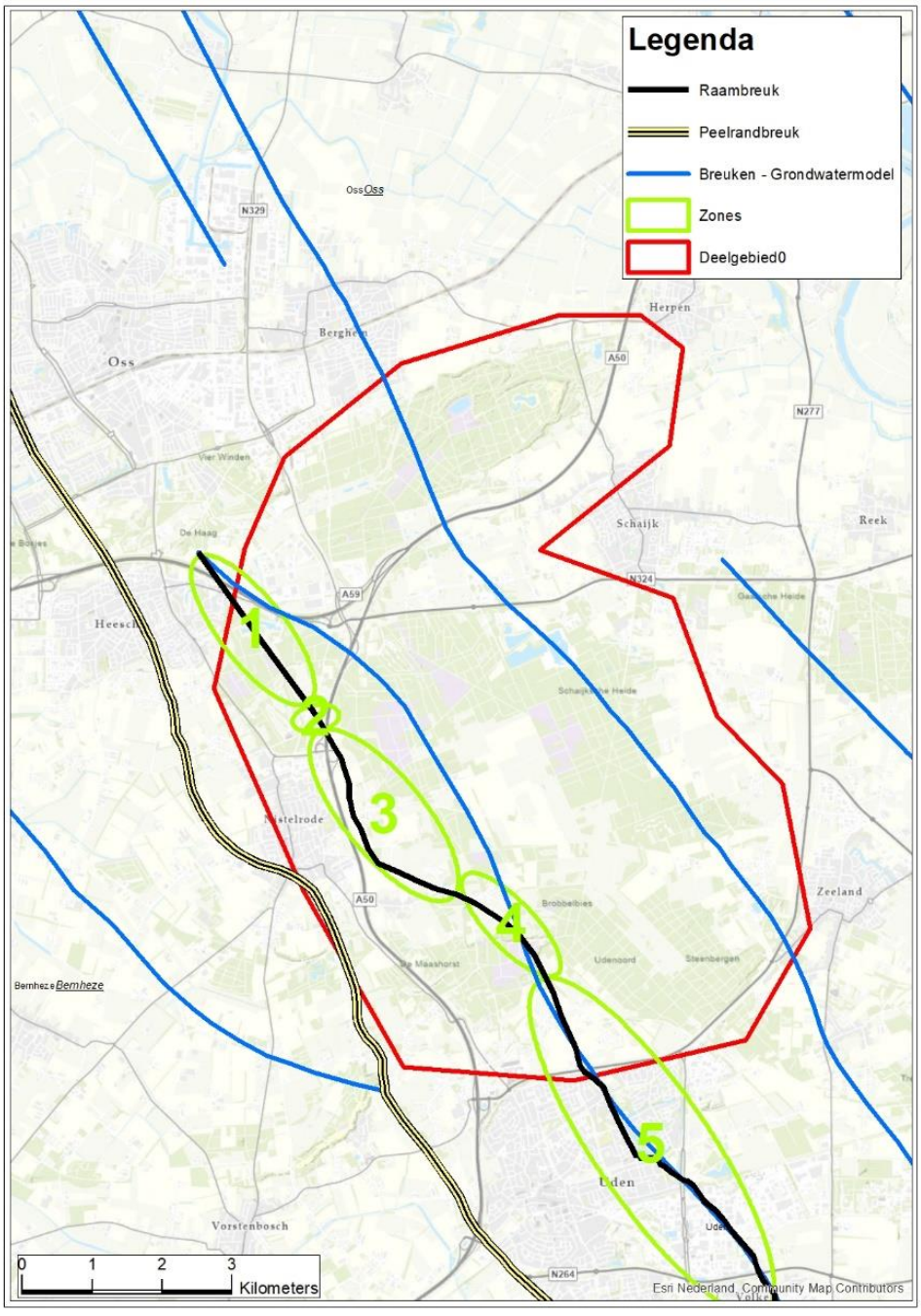


d. Watervisie Maashorst ook in Beegdenformatie

Figuur 4.5: Resultaten gevoeligheidsberekening locaties en schematisatiekeuzes Raambreuk

4.2.4 Verdere detaillering tracékeuze Raambreuk

Uit eerdere berekeningen blijkt het model waarin de Raambreuk is geschematiseerd op de locatie zoals opgenomen in de Watervisie Maashorst de gemeten sprong in grondwaterstanden en stijghoogten het best reproduceert. Op basis van peilbuisgegevens en oude bodemkaarten is het tracé van de Raambreuk in detail verder aangepast. Figuur 4.6 hieronder laat het tracé van de Raambreuk conform de Watervisie Maashorst (Royal Haskoning, 2008) met daarin 5 onderscheiden zones. Per zone is de meest plausibele ligging van de Raambreuk in meer detail bepaald.



Figuur 4.6: Tracé Raambreuk volgens Watervisie Maashorst met onderscheiden zones voor nadere vaststelling ligging

In zones 2 en 4 laten de peilbuizen ter plaatse van de breuk een verschil in gemeten stijghoogten zien van ongeveer 2 meter. Het tracé van de Raambreuk is hier steeds halverwege tussen de peilbuizen aan weerszijden van de sprong gekozen. Figuur 4.7 links geeft ter illustratie de locatiekeuze van de Raambreuk op basis van de gemeten stijghoogtesprong zien voor zone 2. Voor zone 4 is een vergelijkbare aanpak gevolgd.

In zones 3 en 5 is de Raambreuk nader gelocaliseerd op basis van historische bodemkaarten van Uden en de ruilverkaveling Midden-Maasland (opgevraagd uit het archief van de WUR). Deze bodemkaarten laten in de directe nabijheid van de Raambreuk een zone zien met wijstgronden. De Raambreuk is hier op de (zuid-)westelijke begrenzing van deze wijstpercelen gelegd. Figuur 4.7 rechts geeft ter illustratie de nadere locatiekeuze van de Raambreuk binnen zone 5 weer. Binnen zone 3 is een vergelijkbare aanpak gevolgd.

In zone 1 was geen extra informatie beschikbaar om het tracé van de Raambreuk in meer detail vast te stellen. Hier is het tracé zoals opgenomen in de Watervisie gehandhaafd.

Figuur 4.7: Nadere detaillering tracé Raambreuk. Links: zone 2 op basis van gemeten sprong in grondwaterstanden/stijghoogten. Rechts: zone 5 op basis van historische bodemkaart.

4.3 Gevoeligheidsanalyse

Met het grondwatermodel Maashorst is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om na te gaan in hoeverre aanpassingen aan de weerstand van de Raambreuk (in de Formatie van Beegden[1]) en het doorlaatvermogen (kD) van de Formatie van Beegden, in combinatie met de nader bepaalde locatie van

[1] *in de formaties van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda heeft de Raambreuk een horizontale weerstand van 5000 d*

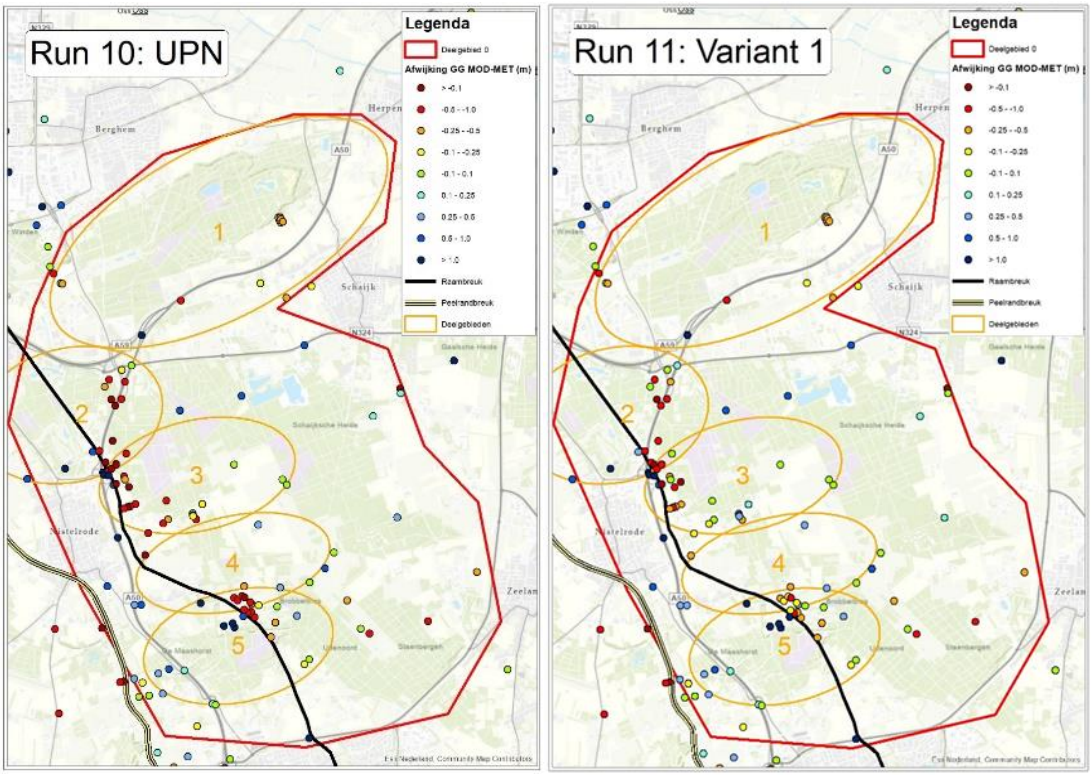
de Raambreuk resulteren in een verbetering van het ijkresultaat. De gevoeligheidsberekeningen zijn tijdsafhankelijk uitgevoerd, waarbij de gemiddelde (tijdsafhankelijk) berekende grondwaterstanden per peilbuis zijn vergeleken met het langjarig gemiddelde van de gemeten grondwaterstanden.

Tabel 4.1 hieronder geeft een overzicht van de uitgevoerde gevoeligheidsberekeningen.

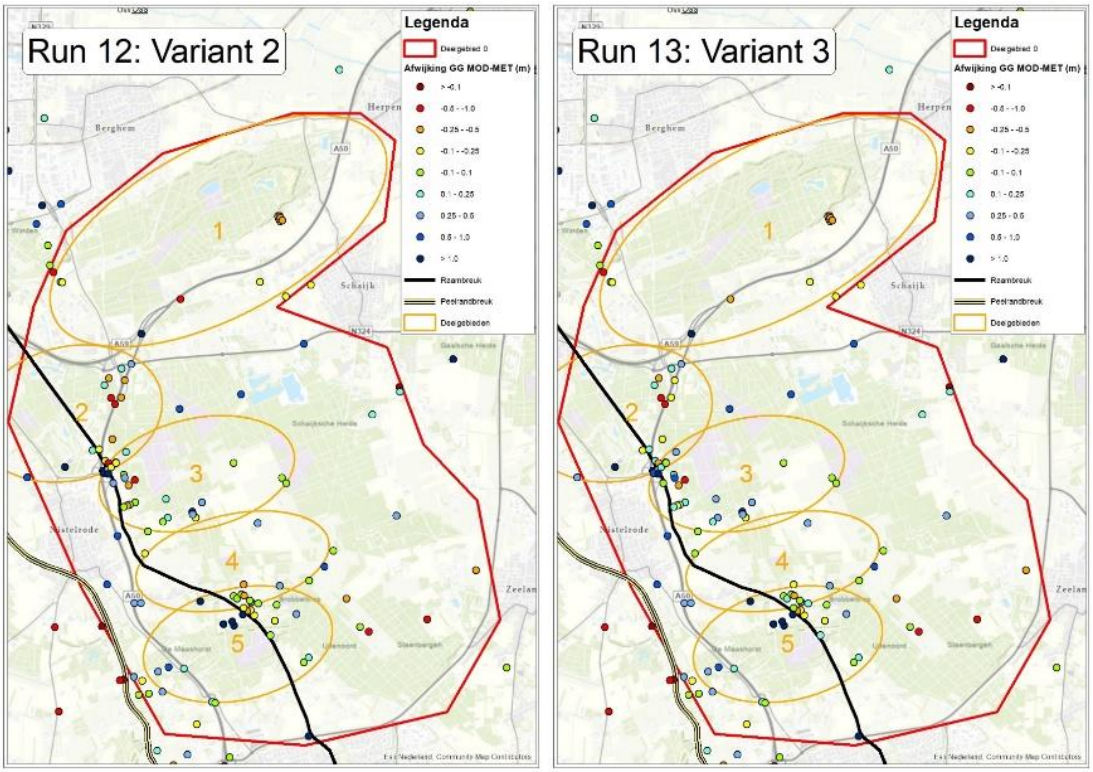
Tabel 4.1: Overzicht uitgevoerde gevoeligheidsberekeningen

Gevoeligheids-berekening	Locatie Raambreuk	Weerstand Raambreuk in Formatie van Beegden (d)	Doorlaatvermogen (kD) Formatie van Beegden	Doel
Variant 0	Gram 3.0	0	Conform GRAM3.0	Referentiesituatie
Variant 1	Aangepaste locatie, zie paragraaf 4.2	0	Conform GRAM3.0	Effect aanpassing locatie (waarschijnlijk onvoldoende)
Variant 2	Aangepaste locatie, zie paragraaf 4.2	100	Conform GRAM3.0	Effect weerstand breuk in Formatie van Beegden op 100 d
Variant 3	Aangepaste locatie, zie paragraaf 4.2	500	Conform GRAM3.0	Effect weerstand breuk in Formatie van Beegden op 500 d
Variant 4	Aangepaste locatie, zie paragraaf 4.2	500	Conform Brabantmodel (GWM2.0)	Effect k-waarde op grondwaterstand
Variant 5	Aangepaste locatie, zie paragraaf 4.2	500	Conform REGIS 2.2	Effect k-waarde op grondwaterstand

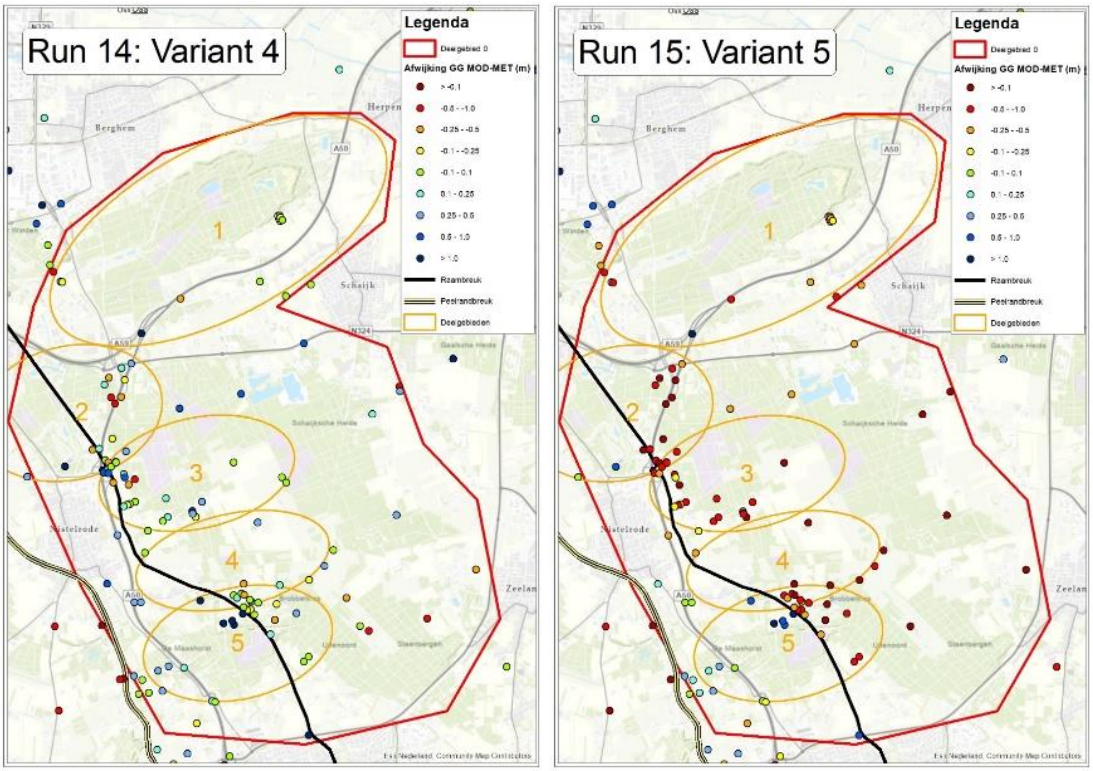
Figuren 4.8, 4.9 en 4.10 geven de resultaten van deze gevoeligheidsberekeningen in kaartvorm weer.



Figuur 4.8: Resultaat gevoeligheidsberekeningen 0 (links) en variant 1 (rechts)



Figuur 4.9: Resultaat gevoeligheidsberekeningen 2 (links) en variant 3 (rechts)



Figuur 4.10: Resultaat gevoeligheidsberekeningen 4 (links) en variant 5 (rechts)

Hieronder worden de resultaten van de gevoeligheidsberekeningen in tabelvorm weergegeven. Tabel 4.2 geeft per variant en per deelgebied de gemiddelde afwijkingen weer tussen de berekende en gemeten

grondwaterstanden/stijghoogten (gemiddelde over de peilbuizen in het deelgebied). Tabel 4.3 geeft de gemiddeld absolute afwijkingen weer.

Tabel 4.2: Gemiddelde afwijking (m) tussen berekende en gemeten grondwaterstanden voor alle gevoeligheidsberekeningen per deelgebied (NB: gemiddelde berekend over de peilbuizen per deelgebied)

Gebied	GRAM3.0	Variant 0	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5
Totale gebied Maashorst	-0.12	-0.17	0.007	0.10	0.14	0.11	-0.62
Maashorst ten oosten Raambreuk	-0.38	-0.44	-0.22	-0.07	-0.001	-0.01	-0.82
Maashorst ten westen Raambreuk	0.85	0.82	0.82	0.72	0.64	0.56	0.10

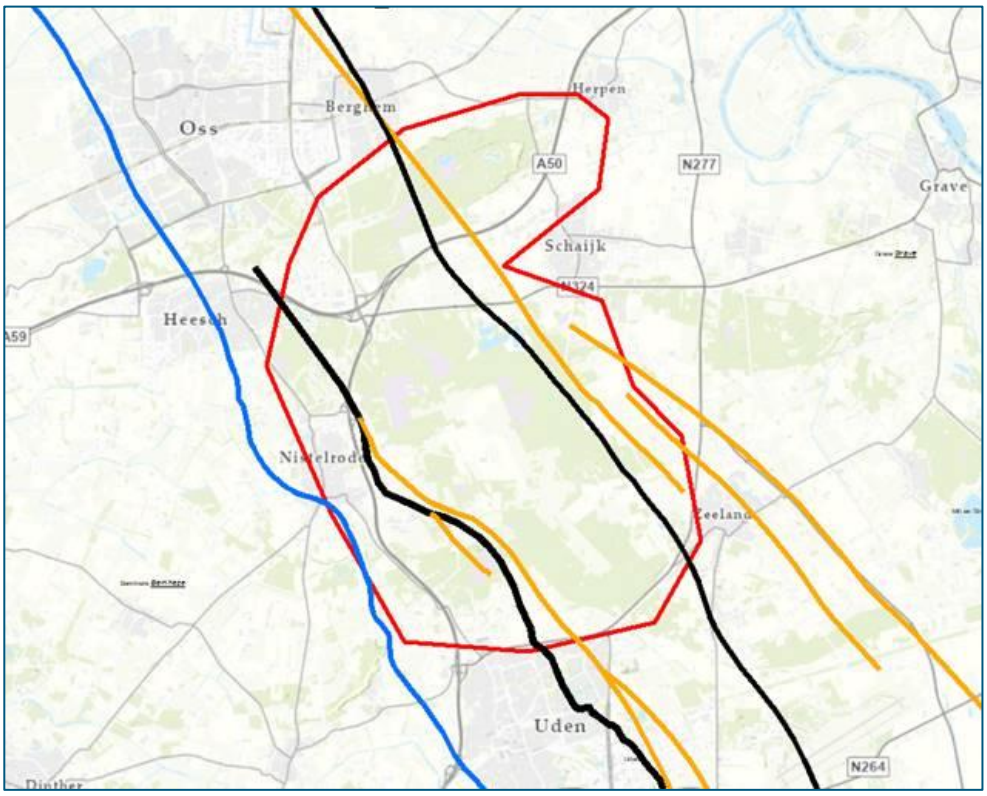
Tabel 4.3: Gemiddeld absolute afwijking (m) tussen berekende en gemeten grondwaterstanden voor alle gevoeligheidsberekeningen per deelgebied (NB: gemiddelde berekend over de peilbuizen per deelgebied)

Gebied	GRAM3.0	Variant 0	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5
Totale gebied Maashorst	0.61	0.63	0.49	0.41	0.40	0.37	0.76
Maashorst ten oosten Raambreuk	0.55	0.58	0.40	0.32	0.33	0.30	0.84
Maashorst ten westen Raambreuk	0.84	0.82	0.81	0.72	0.65	0.60	0.49

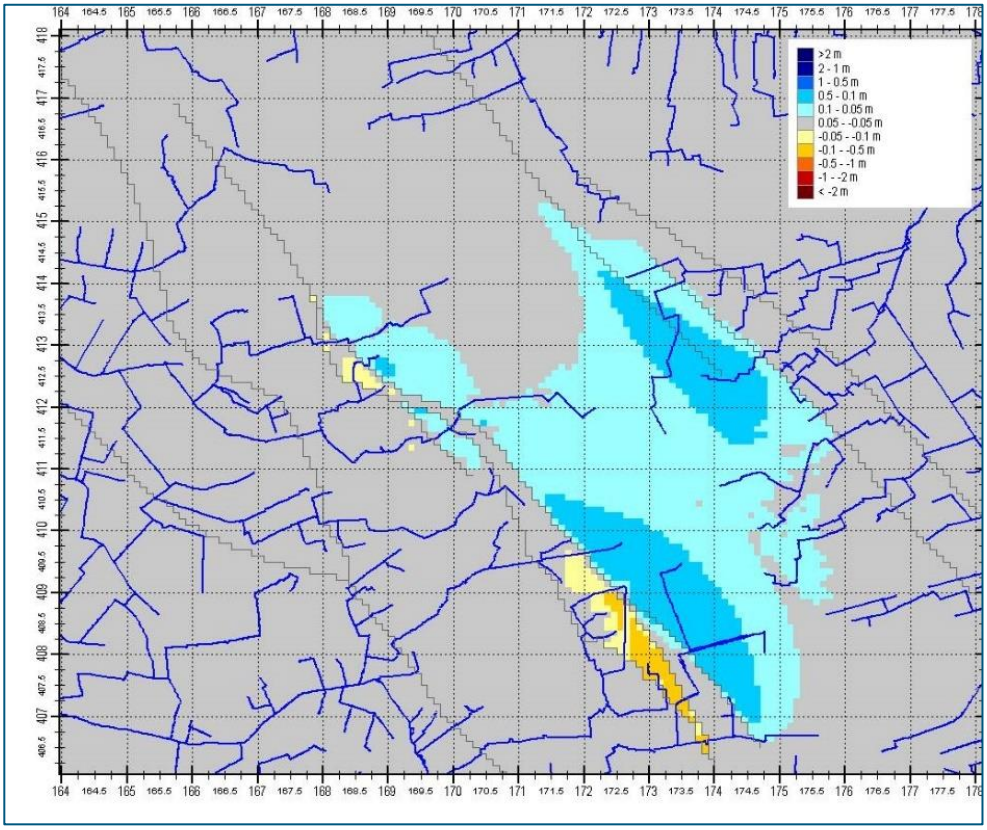
Van de doorgerekende varianten in de gevoeligheidsanalyse geven varianten 3 en 4 duidelijk de beste resultaten. Uitgaande van deze varianten is een nadere automatische kalibratie m.b.v. iPEST uitgevoerd, zie paragraaf 4.4. Uitgangspunt voor deze kalibratie is de locatie van de Raambreuk zoals vastgesteld in paragraaf 4.2. Verdere optimalisatie is uitgevoerd op de horizontale weerstand van de Raambreuk en het doorlaatvermogen (kD) in het gebied ten oosten van de Raambreuk. Wanneer de verschillen tussen gemeten en berekende grondwaterstanden minder is dan 20 cm wordt het model geaccepteerd.

Als laatste stap in de gevoeligheidsanalyse is het effect van een aantal kleinere breuken in het gebied van de Maashorst onderzocht. Het gaat om de breuken die als oranje lijnen zijn weergegeven in onderstaande figuur 4.11. In deze laatste gevoeligheidsberekening zijn de kleinere breuken in het model opgenomen, waarbij deze alleen actief zijn verondersteld in de modellagen onder de Formatie van Beegden (Formaties van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda), met een horizontale weerstand van 50 d.

Figuur 4.12 geeft het resultaat van de laatste gevoeligheidsberekening weer, in de vorm van een verschilberekening. Het schematiseren van de kleinere breuken (in modellagen onder Beegden, horizontale weerstand 50 d) zorgt in het gebied ten oosten van de Raambreuk gemiddeld voor 5 à 10 cm hogere grondwaterstanden. Besloten is om de kleinere breuken op te nemen in het grondwatermodel Maashorst.



Figuur 4.11: Kleinere breuken in het Maashorstgebied (oranje lijnen). Zwarte lijnen: Raambreuk (links) en naamloze breuk (rechts). Blauwe lijn: Peelrandbreuk



Figuur 4.12: Effect op berekende grondwaterstand a.g.v. inbrengen kleine breuken in schematisatie grondwatermodel Maashorst

4.4 Aanvullende kalibratie

4.4.1 Aanpak

Algemeen
Aansluitend op de gevoeligheidsanalyse (paragraaf 4.3) is een geautomatiseerde kalibratie uitgevoerd voor het grondwatermodel Maashorst. Deze is uitgevoerd met de module iPEST, de module voor geautomatiseerde kalibratie volgens het algoritme van Marquardt-Levenberg, die is ontwikkeld binnen iMOD. Uitgangspunt voor de automatische kalibratie is het grondwatermodel met de locatie van de Raambreuk zoals vastgesteld in paragraaf 4.2 en de kleinere breuken zoals weergegeven in figuur 4.11 (weerstand 50 dagen voor alle modellagen onder de Formatie van Beegden). Verdere optimalisatie is uitgevoerd voor de horizontale weerstand van de Raambreuk en het doorlaatvermogen (kD) van de modellagen in het gebied ten oosten van de Raambreuk.

IJkset
Voor de kalibratie van het grondwatermodel Maashorst is gebruik gemaakt van de selectie peilbuizen die eerder is gebruikt voor de kalibratie van GRAM3.0. Deze kalibratieset is eerder door Deltares samengesteld door middel van tijdreeksanalyse (Bos-Burgering & Hunink, 2021). Ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse en aanvullende kalibratie is de kalibratieset van GRAM3.0 uitgebreid met andere beschikbare peilbuizen binnen het projectgebied. Er zijn alleen peilbuizen toegevoegd, die na controle volledig en betrouwbaar genoeg bleken.

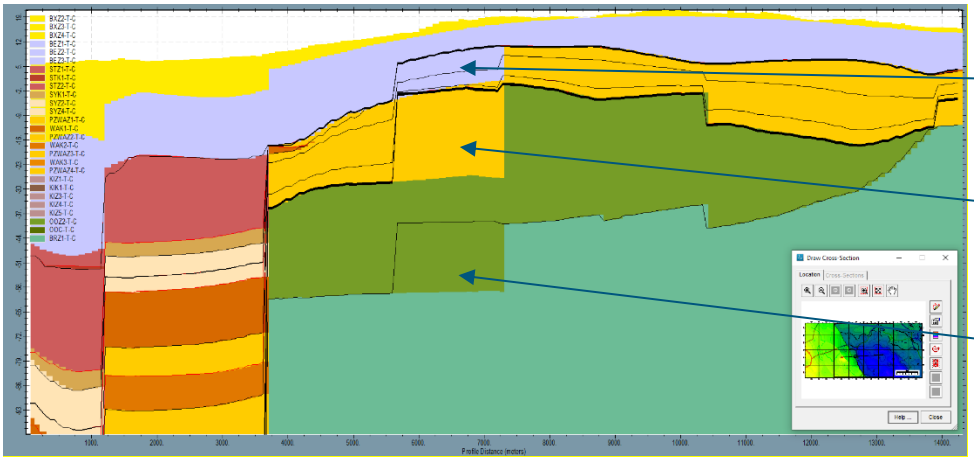
Figuur 4.1 geeft een overzicht van de peilbuizen die zijn gebruikt voor de aanvullende kalibratie van het grondwatermodel Maashorst.

Correctie grondwateraanvulling stationaire model
Uit de eerste testberekeningen met het grondwatermodel voor Maashorst bleek dat de stationaire berekeningen resulteerden in structureel hogere grondwaterstanden dan het gemiddelde van de tijdsafhankelijke berekeningen. Omdat de automatische kalibratie uitgaat van stationaire modelberekeningen, is dit voorafgaand aan de kalibratie gecorrigeerd.

De stationaire grondwateraanvulling is opnieuw berekend als het gemiddelde van de tijdsafhankelijke grondwateraanvullingen over de periode 2010 t/m 2020. Hierdoor komen de stationair berekende grondwaterstanden beter overeen met het gemiddelde van de tijdsafhankelijk berekende grondwaterstanden, zie ook Bijlage 1.

Aanpassing lagenmodel
Voorafgaand aan de aanvullende kalibratie met iPEST is het lagenmodel van het grondwatermodel Maashorst aangepast voor de verplaatsing van de ligging van de Raambreuk. Ten opzichte van GRAM3.0 en het initiële grondwatermodel Maashorst is de Raambreuk een stuk naar het westen verschoven. In de zone die in GRAM3.0 ten westen van de Raambreuk lag en nu -op basis van voortschrijdende inzichten- ten oosten ervan, is het lagenmodel gecorrigeerd. In deze zone zijn de onderkant van de Formatie van Beegden en de boven- en onderkant van de Formaties van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda verhoogd (met een constante waarde).

Figuur 4.13 geeft de correctie van het lagenmodel voor de verschuiving van de Raambreuk weer.



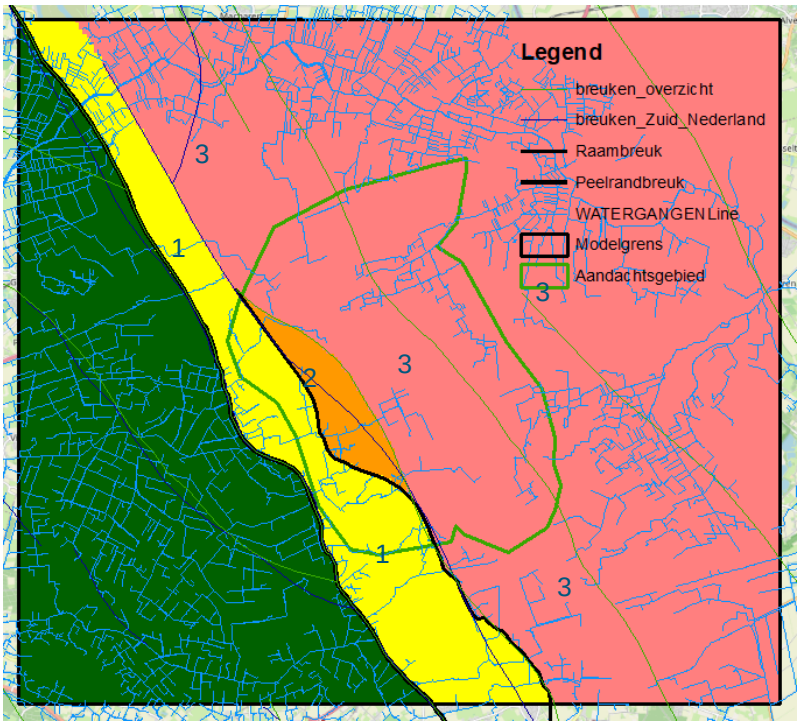
Figuur 4.13: Correctie lagenmodel voor verschuiving Raambreuk

Zonering

Voor het optimaliseren van de doorlatendheden van de ondergrond zijn de volgende drie zones onderscheiden:

- Zone 1: Tussen Peelrandbreuk en Raambreuk
- Zone 2: Tussen de nieuwe ligging van de Raambreuk en de oorspronkelijke ligging in GRAM3.0 en REGISII v2.2.
- Zone 3: Gebied ten oosten van Raambreuk.

8Figuur 4.14 geeft de begrenzing van deze zones weer. Per zone heeft de optimalisatie anders plaatsgevonden, op basis van de peilbuizen binnen de betreffende zone. Buiten de 3 zones, in het gebied ten westen van de Peelrandbreuk, is geen aanvullende optimalisatie van de doorlatendheden uitgevoerd. Hier zijn de doorlatendheden van GRAM3.0 gehandhaafd.



Figuur 4.14: Zones t.b.v. de automatische kalibratie grondwatermodel Maashorst

De automatische kalibratie in de onderscheiden zones 3 is gestart met de doorlaatvermogens (kD-waarden) van de Formaties van Beegden, Peize-Waalre en Oosterhout van het Brabantmodel. Omdat tussen deze drie formaties (Beegden, Peize-Waalre en Oosterhout) in het gebied Maashorst geen noemenswaardige verticale weerstand voorkomt, is besloten om de kD-waarden van genoemde formaties te optimaliseren met één factor. Dat betekent dat de kD-waarden van alle drie de formaties in dezelfde mate worden aangepast.

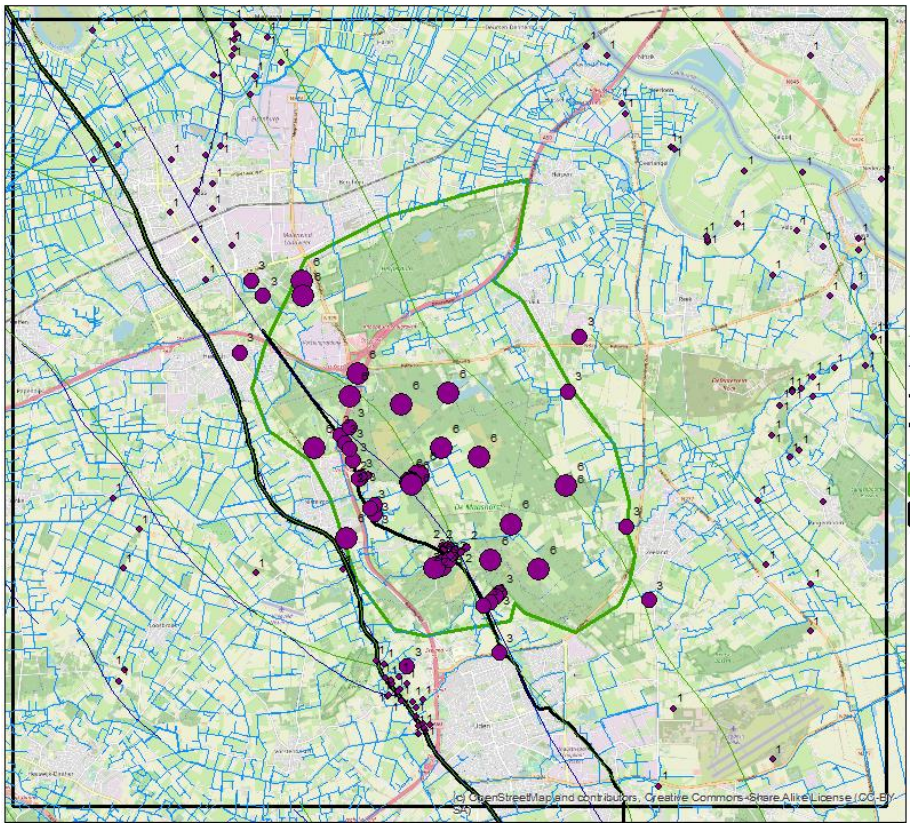
Weging peilbuizen t.b.v. automatische kalibratie

Om de automatische kalibratie zo goed mogelijk te focussen op de aandachtsgebieden binnen het grondwatermodel Maashorst (de gebieden waar de belangrijkste opgaven liggen en de meeste maatregelen nodig zijn), is aan een deel van de peilbuizen extra gewicht toegekend:

- De peilbuizen in de Formatie van Beegden hebben standaard een gewicht van 1 gekregen. In een aantal aandachtsgebieden is extra gewicht toegekend:
  - Weegfactor 6 in de zone tussen Peelrandbreuk en Raambreuk (beperkt aantal peilbuizen)
  - Weegfactor 6 in de zone bovenop Maashorst (beperkt aantal peilbuizen)
  - Weegfactor 3 in een smalle zone langs de Raambreuk. De weegfactor is hier verlaagd vanwege het relatief grote aantal peilbuizen.
  - Weegfactor 2 voor een dicht cluster peilbuizen in de omgeving van Slabroek. De weegfactor is hier extra verlaagd vanwege het grote aantal peilbuizen op korte afstand van elkaar.

  Figuur 4.15 heeft de toegepaste weegfactoren voor de peilbuizen in de Formatie van Beegden weer.

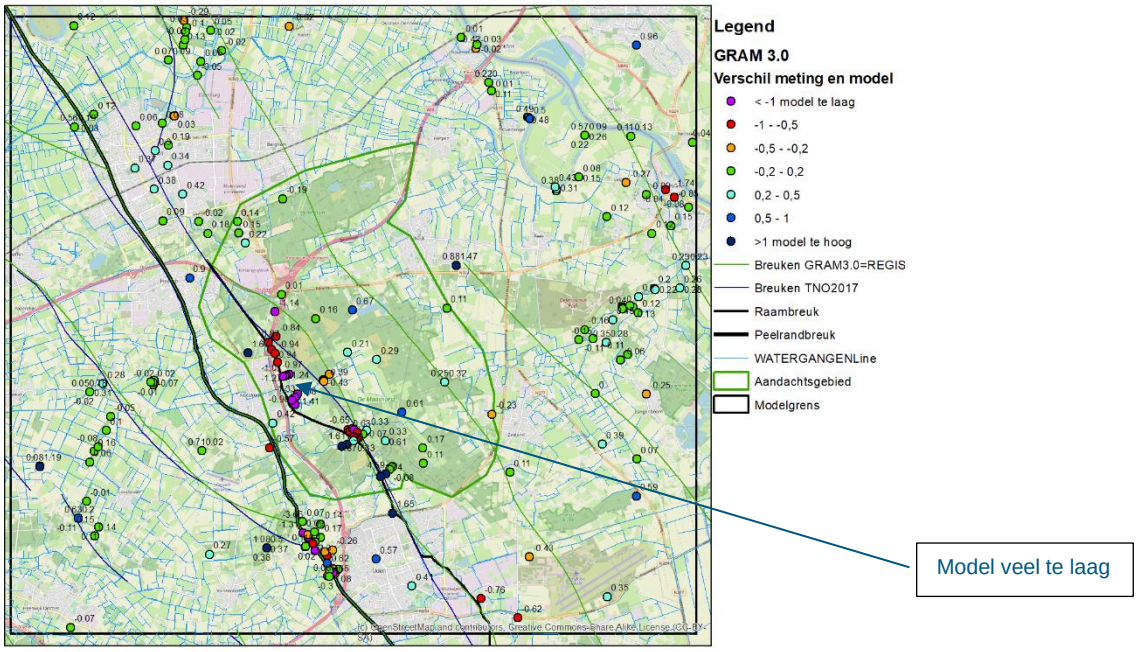
De peilbuizen met filter in de diepere lagen (Formaties van Peize-Waalre en Oosterhout) hebben dezelfde weegfactoren gekregen als in de eerdere automatische kalibratie van GRAM3.0. Deze weegfactoren variëren in het algemeen tussen 0,5 en 1.



Figuur 4.15: Toegepaste weegfactoren voor automatische iPEST-kalibratie voor de peilbuizen in de Formatie van Beegden

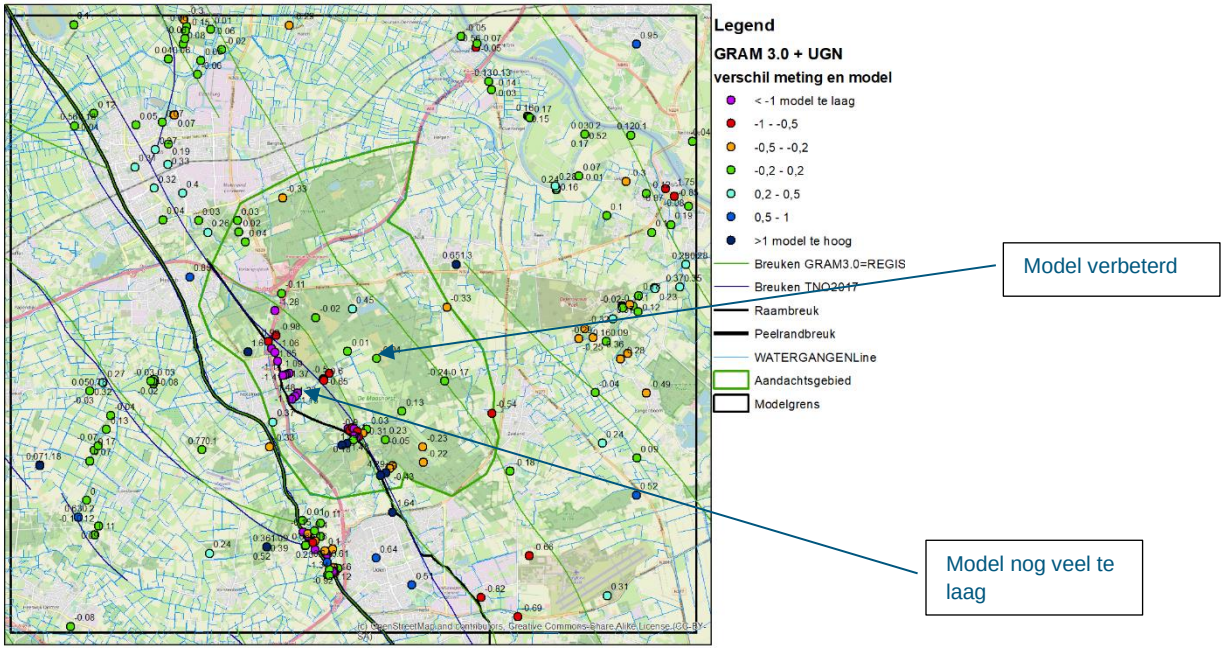
4.4.2 Initieel model voorafgaand aan automatische kalibratie

Figuur 4.16 geeft het ijkresultaat weer van GRAM3.0 voor het modelgebied Maashorst (volledige modelextent van het 100x100 m model). Met name in de zone ten westen van de Raambreuk (tracé zoals opgenomen in GRAM3.0) worden veel te lage grondwaterstanden en stijghoogten berekend.



Figuur 4.16: IJkresultaat GRAM3.0 voor modelextent grondwatermodel Maashorst

Figuur 4.17 geeft het ijkresultaat weer van het initiële grondwatermodel Maashorst, na doorvoeren van de aanpassingen in de modelinvoer zoals beschreven in hoofdstuk 3 en het aanpassen van de ligging van de Raambreuk. Midden op Maashorst zijn de resultaten verbeterd ten opzichte van GRAM3.0. In de zone langs de Raambreuk is het ijkresultaat nog steeds slecht en is verdere optimalisatie noodzakelijk.

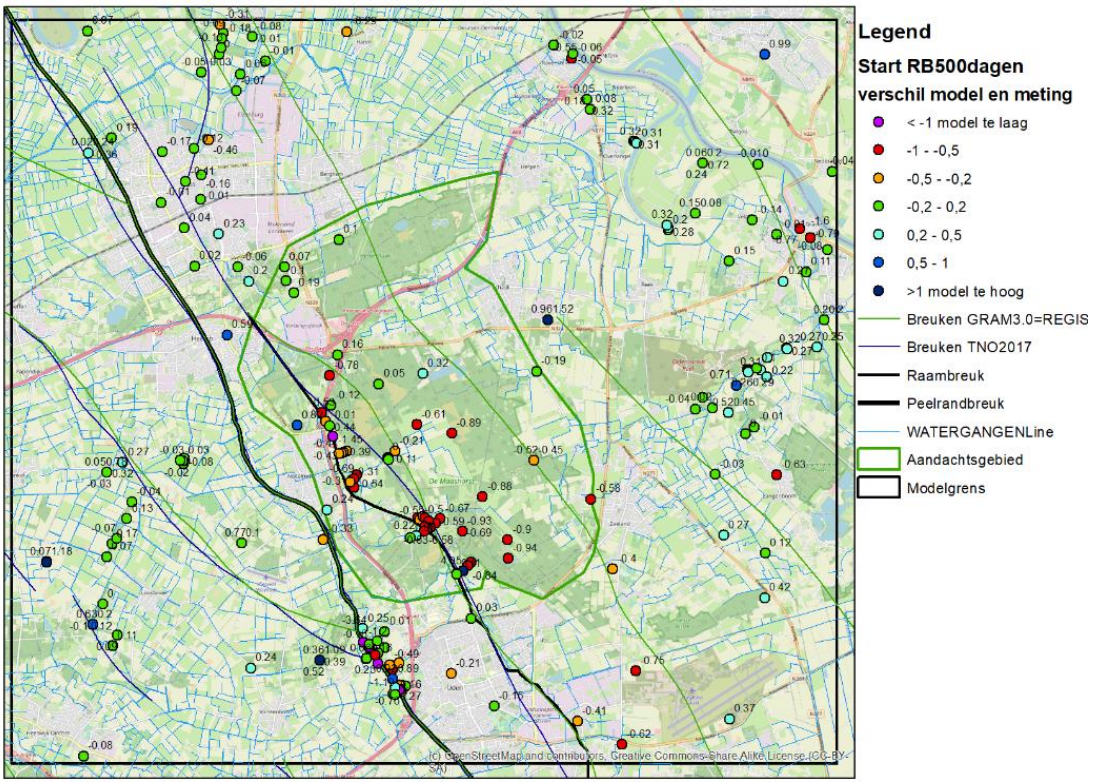


Figuur 4.17: IJkresultaat initieel model Maashorst met aanpassing invoer en ligging Raambreuk, voorafgaand aan kalibratie

4.4.3 Eerste optimalisatieronde met iPEST

Bij de start van de optimalisatieberekeningen met iPEST is het lagenmodel aangepast in de zone waar de Raambreuk is verschoven en is voor de Formaties van Beegden, Peize-Waalre en Oosterhout weer uitgegaan van de oorspronkelijke k-waarden van het Brabantmodel.

Figuur 4.18 geeft het ijkresultaat weer voor het grondwatermodel Maashorst voorafgaand aan de eerste optimalisatieronde met iPEST (aanpassing invoer, ligging Raambreuk, lagenmodel en k-waarden van het Brabantmodel). In deze initiële modelberekening is voor de Raambreuk uitgegaan van een horizontale weerstand van 500 d in de Formaties van Beegden, Peize-Waalre, Oosterhout en Breda.



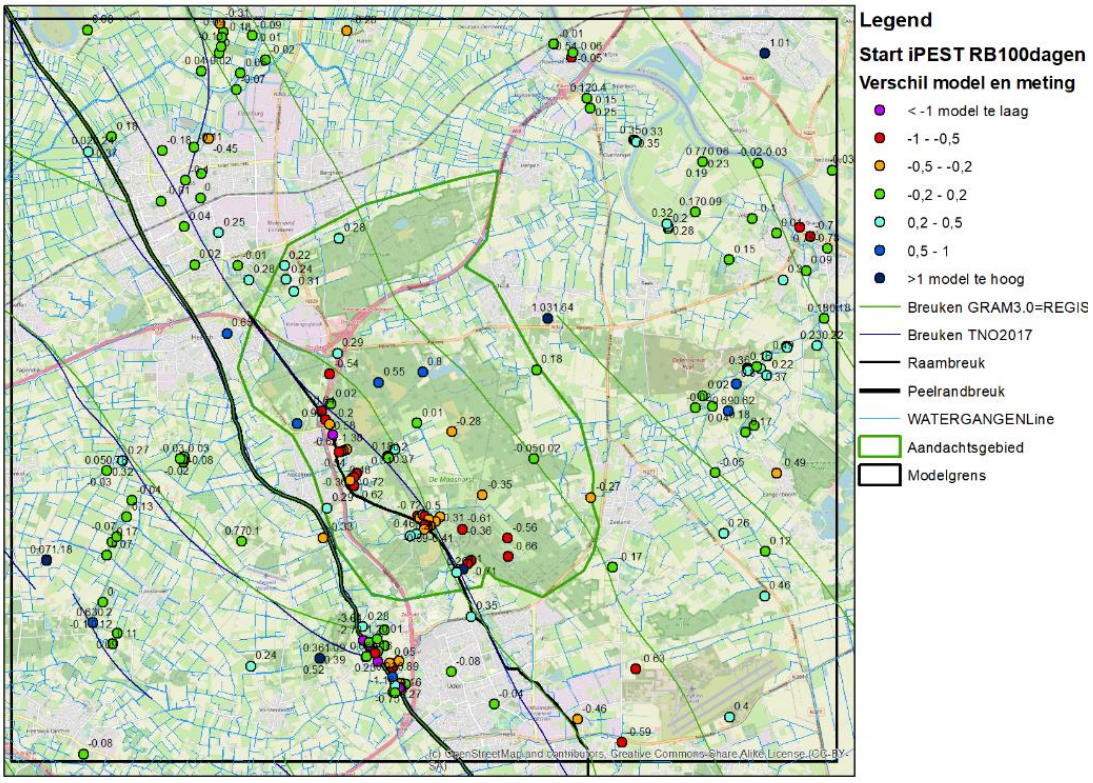
Figuur 4.18: IJkresultaat model Maashorst bij aanvang automatische kalibratie met iPEST (aanpassing ligging Raambreuk, aanpassing lagenmodel, k-waarden Brabantmodel en horizontale weerstand Raambreuk 500 d)

De eerste optimalisatieronde met iPEST bestond uit drie rekenrondes, elk met een andere aangenomen horizontale weerstand voor de Raambreuk in de Formatie van Beegden:

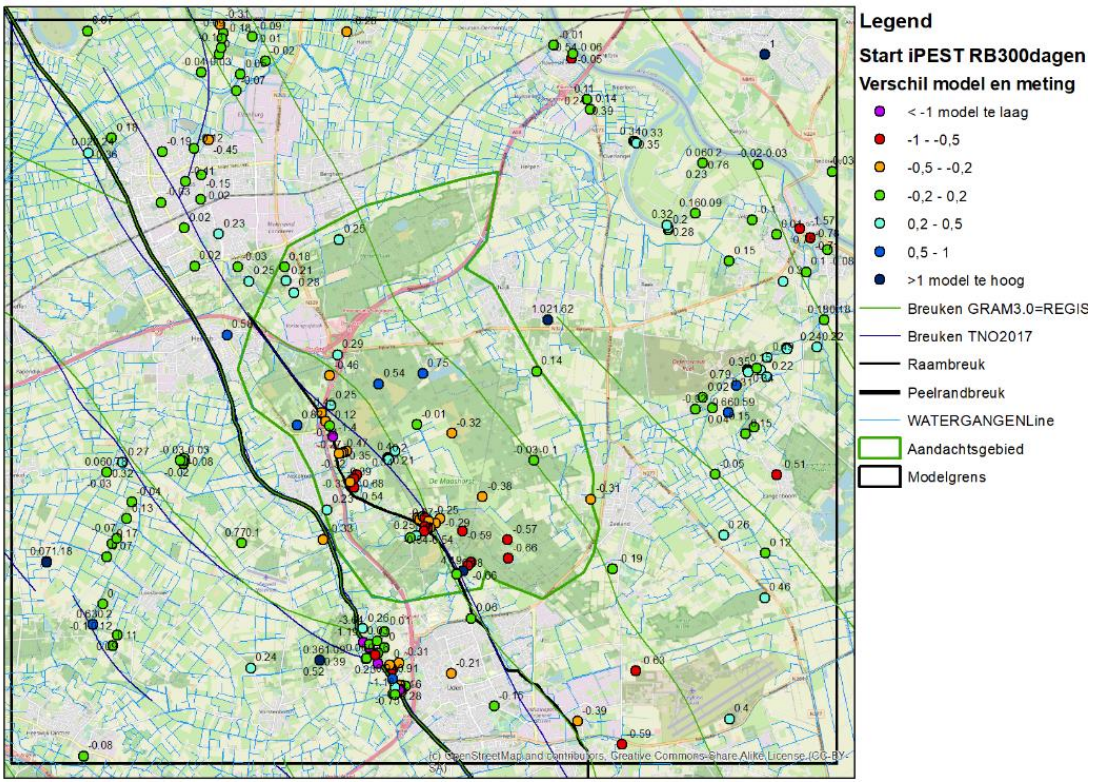
a. Horizontale weerstand Raambreuk in Formatie van Beegden 100 d
b. Horizontale weerstand Raambreuk in Formatie van Beegden 300 d
c. Horizontale weerstand Raambreuk in Formatie van Beegden 500 d

In elke rekenronde is voor de Raambreuk voor de diepere lagen (Formaties van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda) uitgegaan van een horizontale weerstand van 500 d.

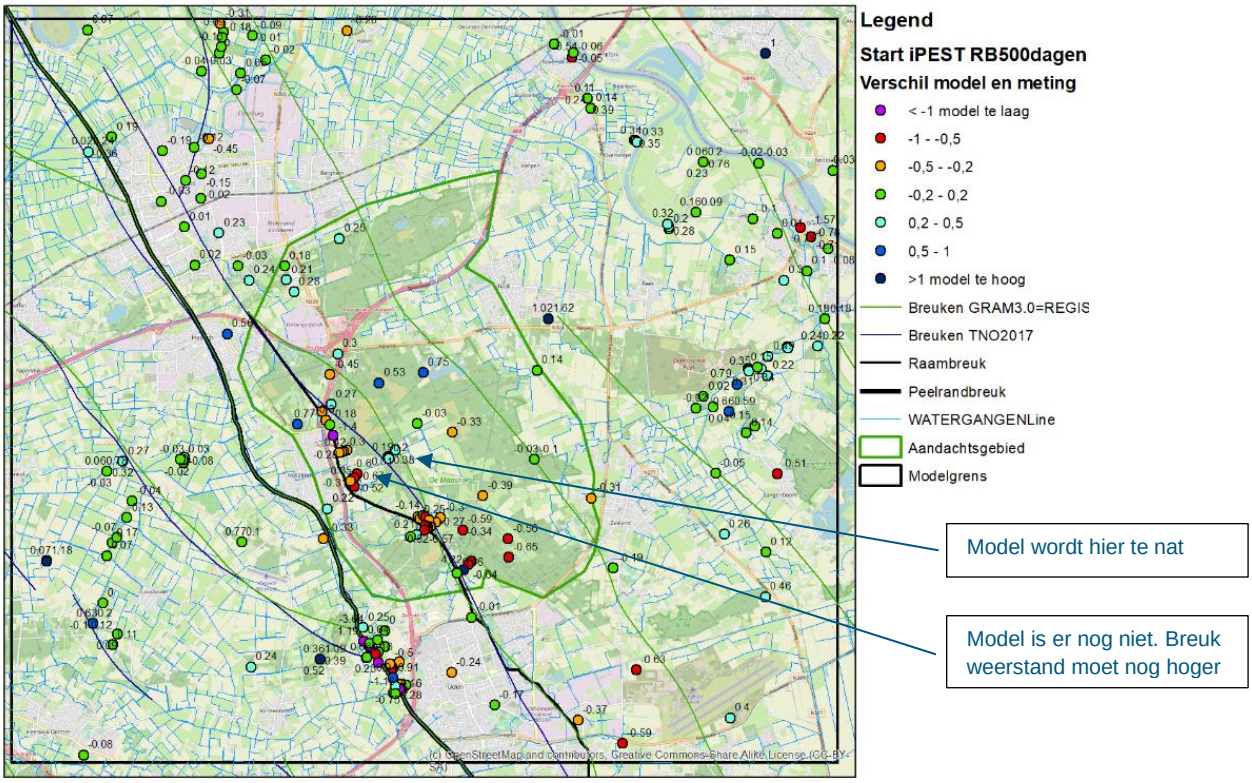
Het ijkresultaat van deze drie rekenrondes is weergegeven in figuren 4.19, 4.20 en 4.21.



Figuur 4.19: Resultaat iPEST run1a: horizontale weerstand Raambreuk 100 d in Formatie van Beegden, 500 d in diepere lagen



Figuur 4.20: Resultaat iPEST run1b: horizontale weerstand Raambreuk 300 d in Formatie van Beegden, 500 d in diepere lagen



Figuur 4.21: Resultaat iPEST run1c: horizontale weerstand Raambreuk 500 d in Formatie van Beegden, 500 d in diepere lagen

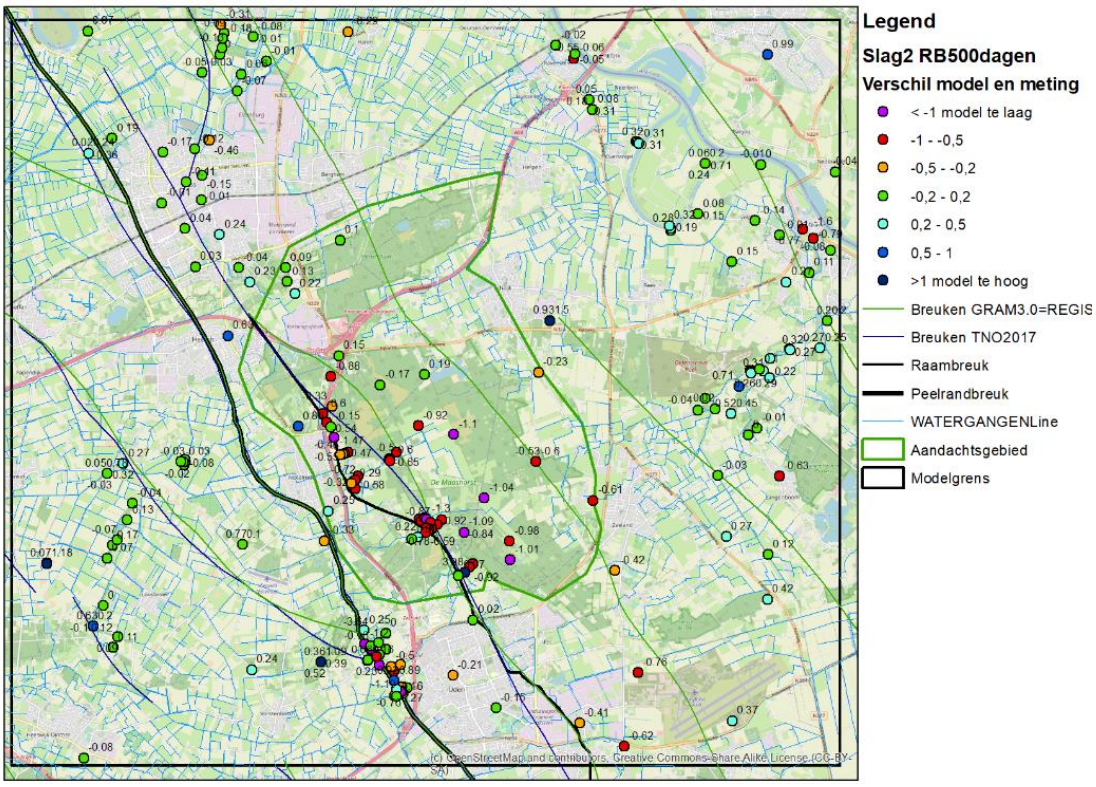
Van de drie rekenrondes geeft de derde (iPEST run 1c) het beste ijkresultaat. De stijghoogten ten oosten van de Raambreuk worden echter nog steeds aanzienlijk te laag berekend. Verdere aanpassing van het model en de eventueel verhoging van de weerstand van de Raambreuk is daarom nodig. Hiertoe is een tweede optimalisatieronde uitgevoerd met iPEST.

4.4.4 Tweede optimalisatieronde met iPEST

Uit de eerste optimalisatieronde met iPEST is gebleken dat de iPEST-routine leidt tot te sterke verlaging van de doorlatendheid in zone 2, de zone tussen de oorspronkelijke en nieuwe locatie van de Raambreuk. In een tweede optimalisatieronde met iPEST is het lagenmodel in zone 2 teruggebracht naar de oorspronkelijke versie. De aanpassing van het lagenmodel zoals weergegeven in Figuur 4.13 is ongedaan gemaakt. Aangenomen is dat de Beegdenformatie direct ten oosten van de Raambreuk nog steeds zijn oorspronkelijke dikte behoudt (hogere kD) en pas verder naar het oosten significant dunner wordt.

Tevens bleek in de eerste optimalisatieronde dat de weerstand van de Raambreuk in de Beegden-formatie eerder hoger dan lager dan 500 d zou moeten zijn. In de tweede optimalisatieronde is daarom het effect van eventuele verhoging van de weerstand van de Raambreuk in de Beegden-formatie onderzocht.

Figuur 4.22 geeft het ijkresultaat weer voor het grondwatermodel Maashorst voorafgaand aan de tweede optimalisatieronde met iPEST (aanpassing invoer, ligging Raambreuk, k-waarden van het Brabantmodel en lagenmodel teruggebracht naar oorspronkelijke versie). In deze initiële modelberekening is voor de Raambreuk uitgegaan van een horizontale weerstand van 500 d in de Formaties van Beegden, Peize-Waalre, Oosterhout en Breda.



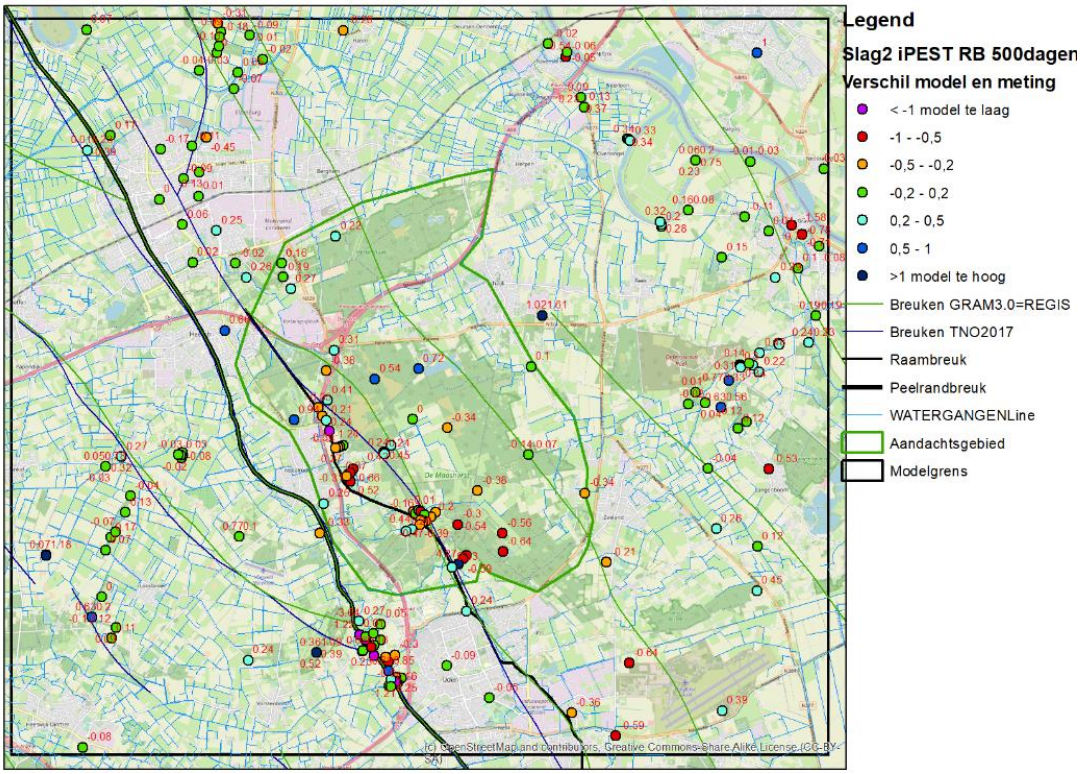
Figuur 4.22: IJkresultaat model Maashorst bij aanvang tweede ronde automatische kalibratie met iPEST (aanpassing ligging Raambreuk, k-waarden Brabantmodel, lagenmodel terug naar oorspronkelijke versie en horizontale weerstand Raambreuk 500 d)

De tweede optimalisatieronde met iPEST bestond uit wederom uit drie rekenrondes, elk met een andere aangenomen horizontale weerstand voor de Raambreuk in de Formaties van Beegden, Peize-Waalre, Oosterhout en Breda:

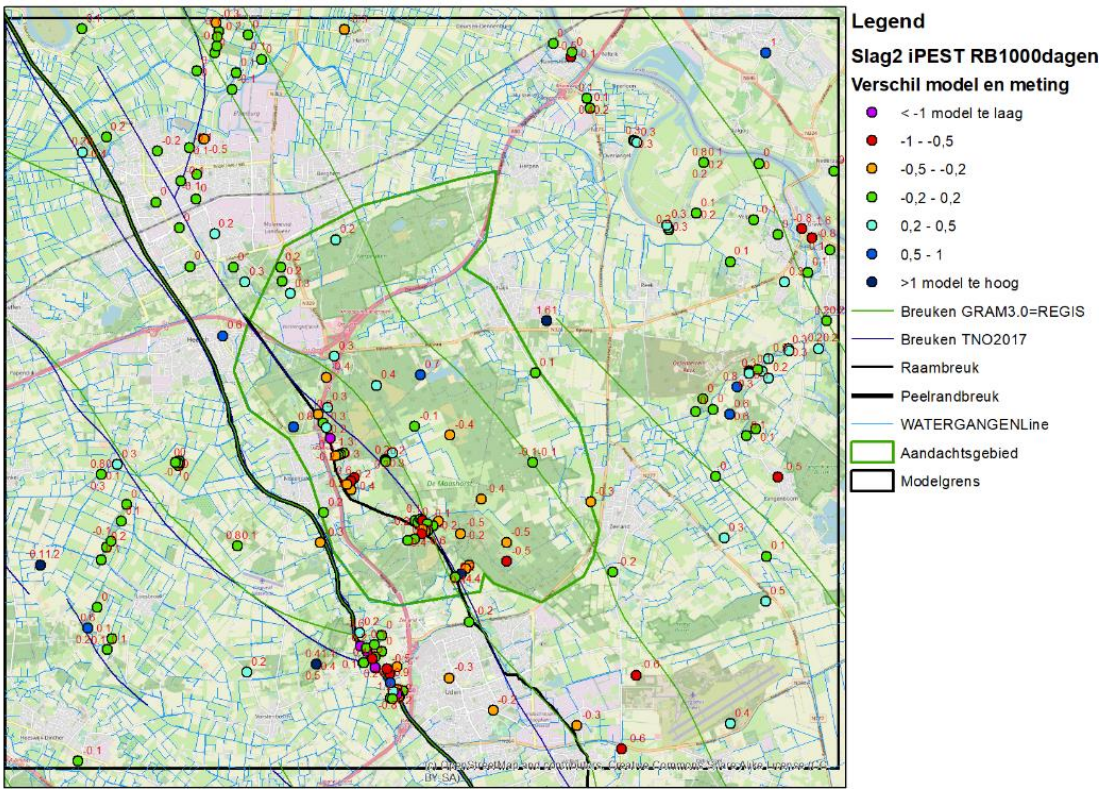
a. Horizontale weerstand Raambreuk 500 d
b. Horizontale weerstand Raambreuk 1000 d
c. Horizontale weerstand Raambreuk 5000 d

De horizontale weerstand van de Raambreuk voor de geologische formaties onder de Formatie van Beegden is steeds gelijk verondersteld aan die van de Formatie van Beegden. Een lagere weerstand in de diepere lagen dan in de ondiepere lagen zou niet logisch zijn.

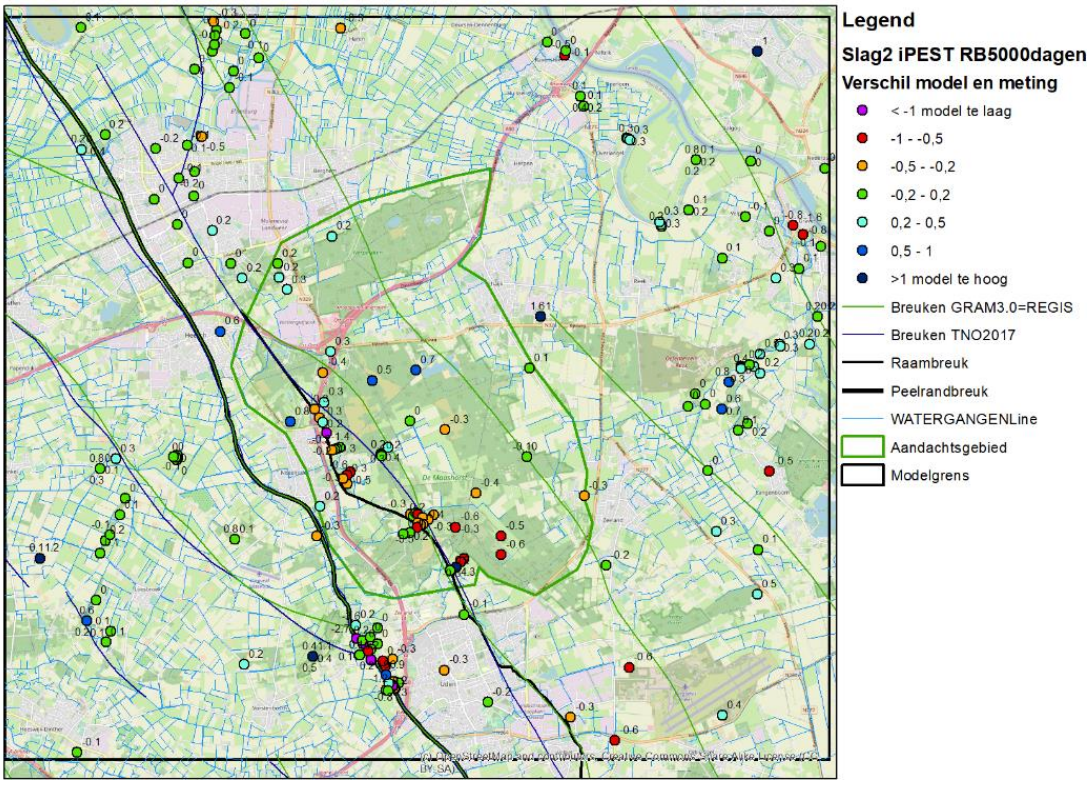
Het ijkresultaat van de drie rekenrondes van de tweede optimalisatieronde met iPEST is weergegeven in figuren 4.23, 4.24 en 4.25.



Figuur 4.23: Resultaat iPEST run2a: horizontale weerstand Raambreuk 500 d in Formatie van Beegden, 500 d in diepere lagen



Figuur 4.24: Resultaat iPEST run2b: horizontale weerstand Raambreuk 1000 d in Formatie van Beegden, 1000 d in diepere lagen



Figuur 4.25: Resultaat iPEST run2c: horizontale weerstand Raambreuk 5000 d in Formatie van Beegden, 5000 d in diepere lagen

Van de drie rekenrondes in de tweede optimalisatieronde geeft de tweede (iPEST run 2b) het beste ijkresultaat. Dit model, met een veronderstelde horizontale weerstand van de Raambreuk van 1000 d in de Formaties van Beegden, Peize-Waalre, Oosterhout en Breda, is vastgesteld als het eindresultaat van de modelkalibratie. Figuur 4.26 hieronder geeft de vergelijking weer van het ijkresultaat van de drie rekenrondes in de tweede optimalisatieronde, waarbij is ingezoomd op het gebied van de Maashorst.

Figuur 4.26: Resultaat iPEST runs 2a (links), 2b (midden) en 2c (rechts), ingezoomd op gebied Maashorst

5 Historische analyse

5.1 Algemeen

In paragraaf 5.2 volgt een beschrijving van de belangrijkste ontwikkelingen, die zich in de loop van de tijd in het gebied van de Maashorst hebben voorgedaan en de gevolgen hiervan voor het grond- en oppervlaktewaterregime. Deze beschrijving is opgesteld aan de hand van historische kaarten en eerder uitgevoerde studies.

Op basis van de beschikbare peilbuisgegevens is een eerste inschatting gemaakt van de effecten van de verschillende ontwikkelingen op het grondwaterregime. Paragraaf 5.3 gaat hier op in.

Vervolgens zijn de effecten van de belangrijkste opeenvolgende ontwikkelingen op grondwaterstanden, stijghoogten en kwel berekend met het grond- en oppervlaktewatermodel voor de Maashorst. De resultaten van deze historische doorrekening worden gepresenteerd en toegelicht in paragraaf 5.4.

5.2 Tijdlijn belangrijkste ontwikkelingen Maashorst en gevolgen voor het watersysteem

Figuur 5.1 geeft de historische kaart van 1815 weer.

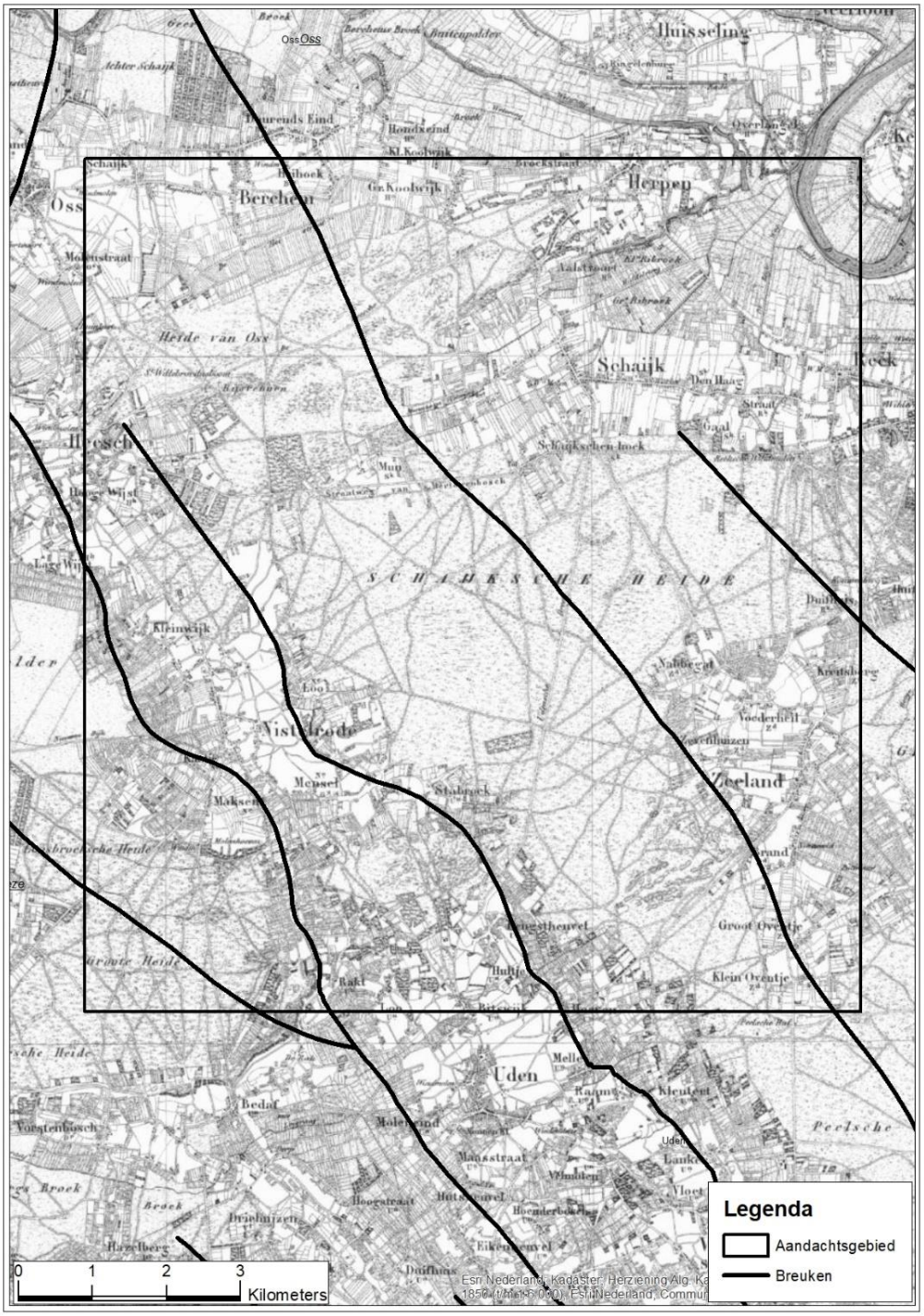
De Maashorst is een aaneengesloten heidegebied met daarin enkele laagtes en vennen. Aangezien het een grotendeels afvoerloos gebied was, is het waarschijnlijk een afwisseling geweest van droge, vochtige en natte heides. De enige ingetekende afwatering is de watergang die momenteel bekend is als de Venloop. Deze ontwaterde het gebied in westelijke richting en doorkruiste zowel de Raambreuk als de Peelrandbreuk, om verderop in de Centrale Slenk af te wateren naar het Aa-systeem. Hoewel de Maashorst geomorfologisch deel uit maakt van de Peelhorst, is er in het verleden (tenminste vanaf omstreeks 1800) geen hoogveen voorgekomen. De historische kaart van 1815 laat zien dat het veengebied van de Peel pas verder naar het zuidoosten en oosten lag, oostelijk van Zeeland.

Bebouwing was zeer beperkt aanwezig. Rondom de Maashorst lagen de kernen Nistelrode, Uden, Oss en Zeeland. In het gebied zelf lagen alleen de gehuchten Mensel en De Slapert. De Slapert is de oude naam van het plaatsje Slabroek.

Figuur 5.1: Historische kaart Maashorst (1815)

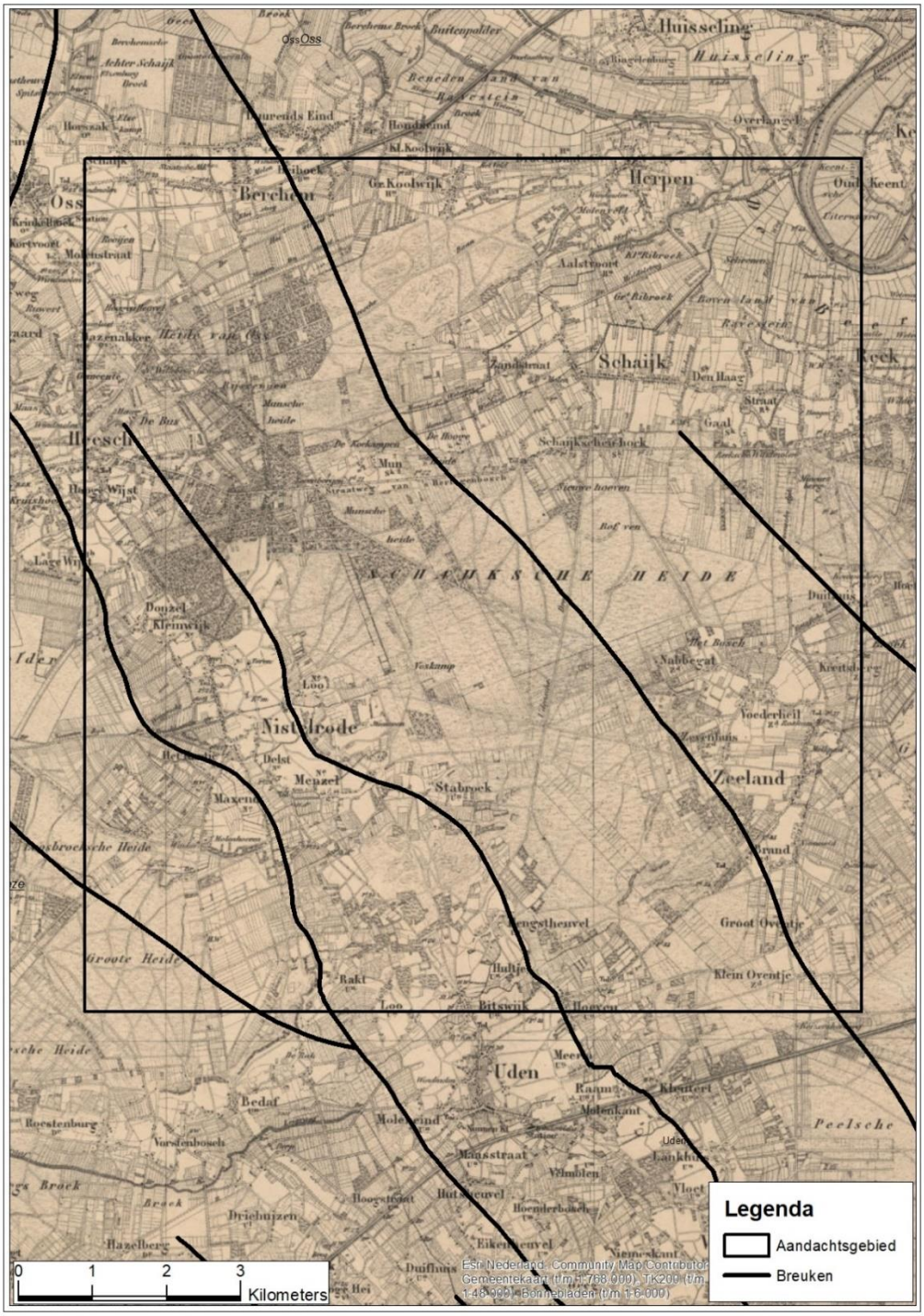
Figuur 5.2 geeft de historische kaart van 1850 weer. De verschillen ten opzichte van de kaart van 1815 zijn betrekkelijk gering. Nog steeds is de Maashorst incl. Herperduin een grotendeels leeg heidegebied, met zeer waarschijnlijk een afwisseling van droge, vochtige en natte heides en enkele vennen. Ten zuiden van Slabroek, (nu weergegeven als Stabroek) rondom de kernen Mensel, Nistelrode, ten noorden van Uden en ten noorden en zuiden van Herperduin zijn in de kaart landbouwpercelen ingetekend; een afwisseling van hooilanden en akkers. Zeer waarschijnlijk bestonden deze agrarische percelen in 1815 ook al (en waarschijnlijk ook al geruime tijd daarvoor) en is de kaart van 1850 gedetailleerder opgezet.

De weergegeven landbouwpercelen komen grotendeels overeen met de voorkomens van enkeerdgronden, beekeerdgronden en gooreerdgronden in en rondom De Maashorst (zie Figuur 2.6). Deze gronden zijn eeuwenlang bemest met plaggen afkomstig van het uitgestrekte heidegebied. De heide werd gebruikt als graasgebied voor schapen. In de winterperiode stonden de schapen en runderen in potstallen, waar heideplaggen werden gebruikt als strooisel voor de dieren. In het voorjaar werden de met mest verzadigde plaggen uitgereden over de akkers, waardoor hier in de loop der eeuwen een dikke toplaag is ontstaan, die rijk was aan organisch stof en nutriënten (zogenoemde eerdlaag).



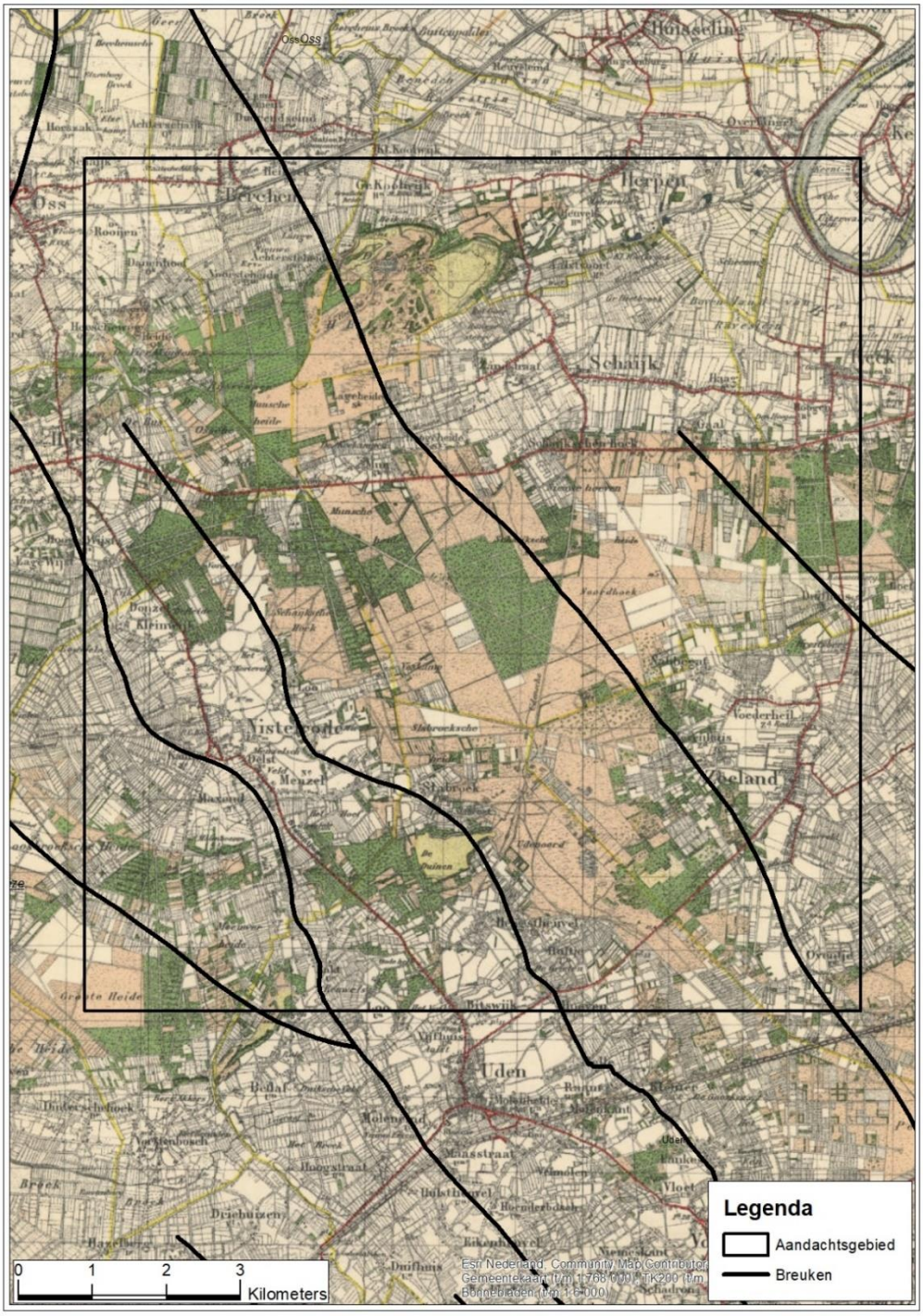
Figuur 5.2: Historische kaart De Maashorst, 1850

De volgende kaart, Figuur 5.3, geeft de situatie omstreeks 1900 weer. Nog steeds is de Maashorst voor het overgrote deel een aaneengesloten heidegebied, met een klein areaal aan akkers en hooilanden rond de woonkernen. De kaart laat echter ook zien dat de ontginning van het gebied is begonnen. Aan de noordzijde, ten noordoosten van Nistelrode en het oosten van Heesch (Herperduin) is een flink areaal productiebos ontstaan. Hetzelfde is het geval aan de oostzijde van de Maashorst. De rechte verkaveling van het centrale heidegebied en de aangelegde dreven verraden de start van de ontginningswerkzaamheden.



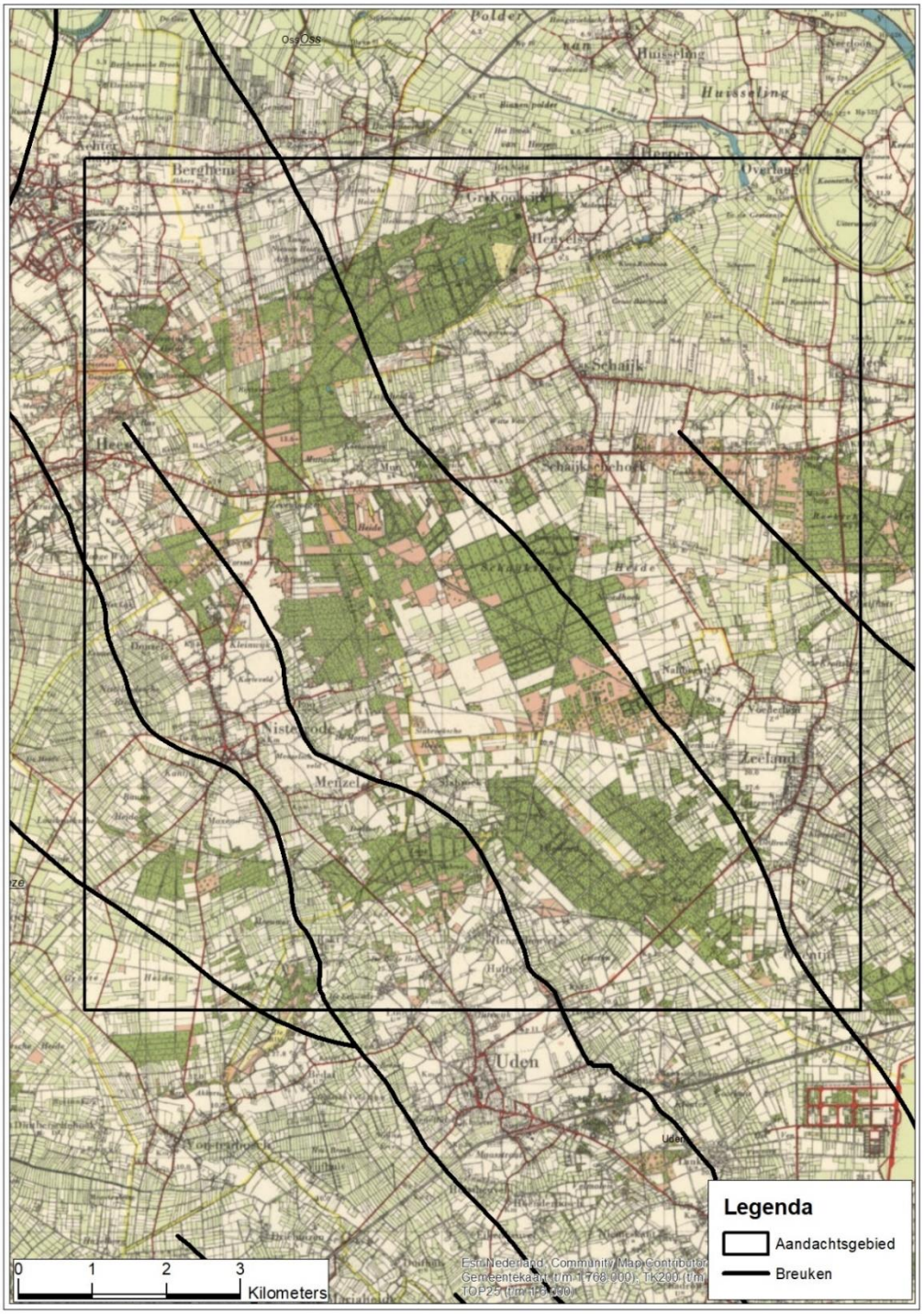
Figuur 5.3: Historische kaart De Maashorst, omstreeks 1900

Figuur 5.4 geeft de situatie omstreeks 1930 weer. Het areaal bos is flink toegenomen t.o.v. 1900. Dit geldt vooral voor de randgebieden van de Maashorst (o.a. Heesch), maar inmiddels is ook een flink areaal productiebos ontstaan in het centrale deel van De Maashorst en aan de westzijde van de Herperduin. Het centrale heidegebied wordt stapsgewijs ontgonnen en omgezet naar bouwland en grasland. De heide wordt geëgaliseerd, omgeploegd en bemest (organische mest maar met name kalk en kunstmest). Lokaal voorkomende slecht doorlatende bodemlagen (ijzeroer, inspoelingshorizonten) worden doorbroken door diepploegen. Het gebied wordt ontwaterd met rechte en relatief diepe kavelsloten. Omstreeks 1930 is nog slechts een klein deel van de heide omgezet naar landbouwgrond (niet meer dan 20%).



Figuur 5.4: Historische kaart De Maashorst, omstreeks 1930

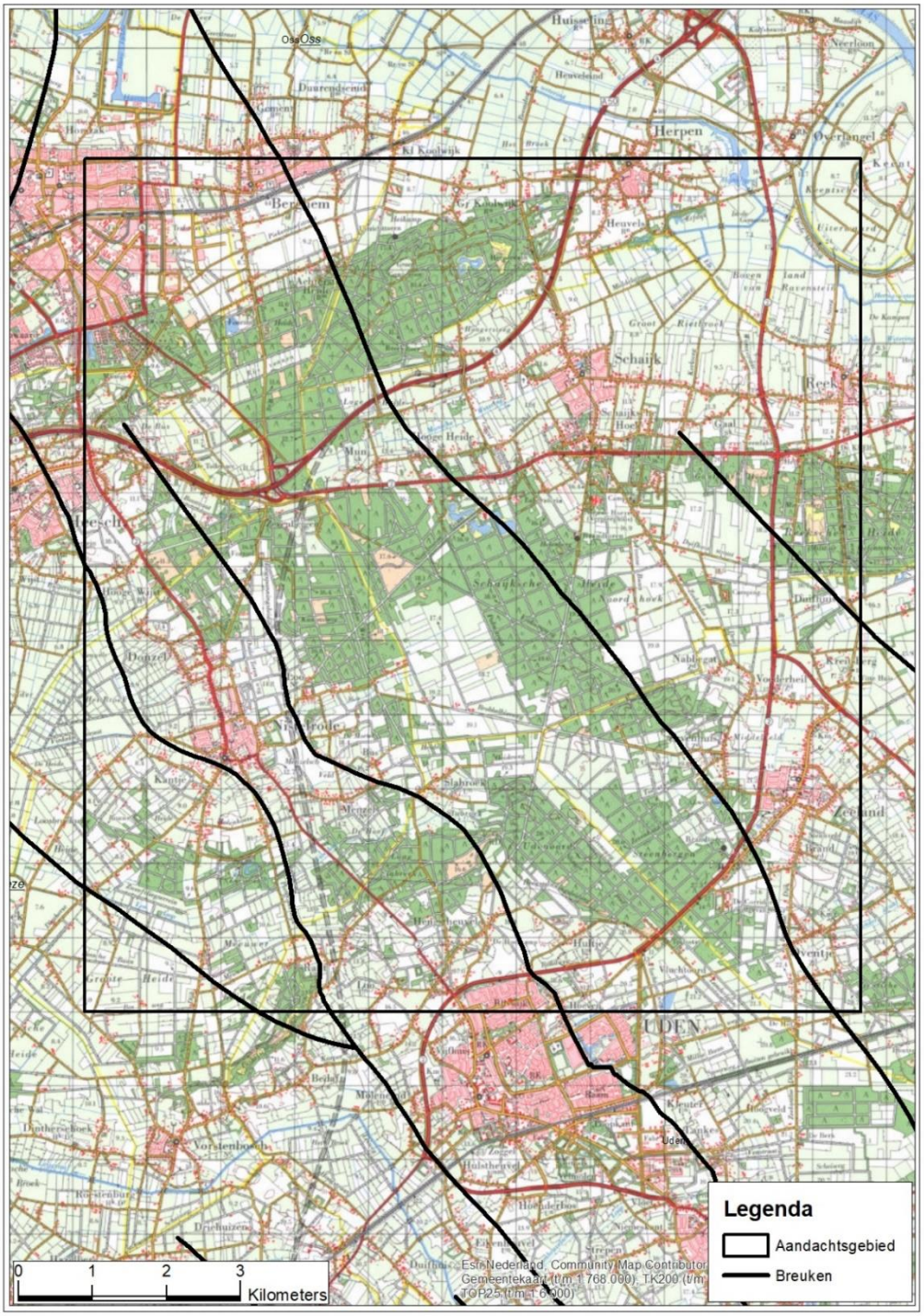
Tussen 1930 en 1955 vordert de ontginning van het centrale heidegebied gestaag. Omstreeks 1955 is vrijwel het gehele heidegebied ontgonnen en omgezet naar landbouwgrond (bouwland en grasland), zie Figuur 5.5. Heide komt alleen nog voor in de vorm van geïsoleerde percelen, ingeklemd tussen het ontgonnen landbouwgebied en de productiebossen.



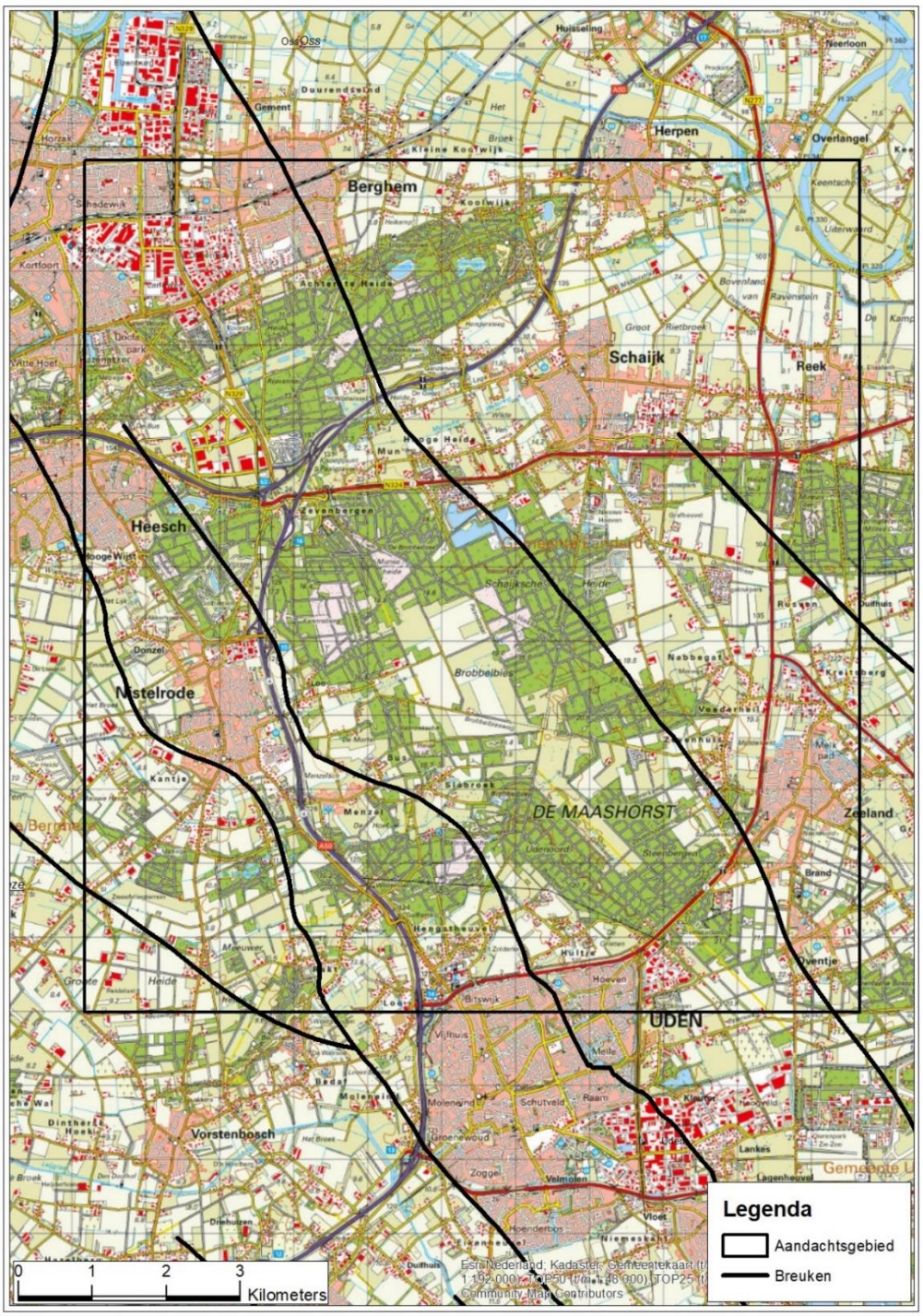
Figuur 5.5: Historische kaart De Maashorst, omstreeks 1955

Het bosgebied blijft enkele decennia groeien tot de jaren ’60. Vanaf de jaren ’60 is het bosgebied redelijk constant gebleven. In 1978 wordt in het noordoosten van de Maashorst gestart met een zandwinning en maakt het laatste stukje heide in het noordwesten (Munse heide) plaatst voor bos. Figuur 5.6 geeft de

situatie omstreeks 1980 weer. In de jaren ’70 wordt het landbouwgebied in het centrale gebied van de Maashorst ontwaterd met enkele sloten. Vooral rondom het Palmven zijn deze ontwateringsmaatregelen pas laat gerealiseerd en pas eind jaren ’80 afgerond. Deze ontwatering ligt nog steeds in het gebied. Ook is duidelijk de komst van de A50 weergegeven tussen Herperduin en het centrale deel van de Maashorst.



Figuur 5.6: Maashorst, situatie omstreeks 1980



Figuur 5.7: Maashorst, huidige situatie omstreeks 2020

Figuur 5.7 geeft de actuele topografie van het gebied weer. De weergegeven verhouding tussen bos, heide en landbouwgrond komt op het oog sterk overeen met die van 1980. In de tussentijd, met name vanaf ongeveer 2000, is echter een groot deel van het ontgonnen landbouwareaal aangekocht als nieuwe natuur. Waar mogelijk is de ontwatering ondieper gemaakt. De aangekochte voormalige landbouwgronden maken nu deel uit van een grotere aaneengesloten begrazingseenheid. Door mestgiften achterwege te laten en begrazing toe te passen, vindt zeer geleidelijke verschraling van het gebied plaats.

Vanaf ongeveer 2000 is Staatsbosbeheer bezig met een geleidelijke omvorming van het productiebos naar een meer open loofbostype. Sinds 2008 is verder een reeks vernattingsmaatregelen uitgevoerd, in lijn met de in 2008 opgestelde Watervisie Maashorst. Maatregelen waren onder meer:

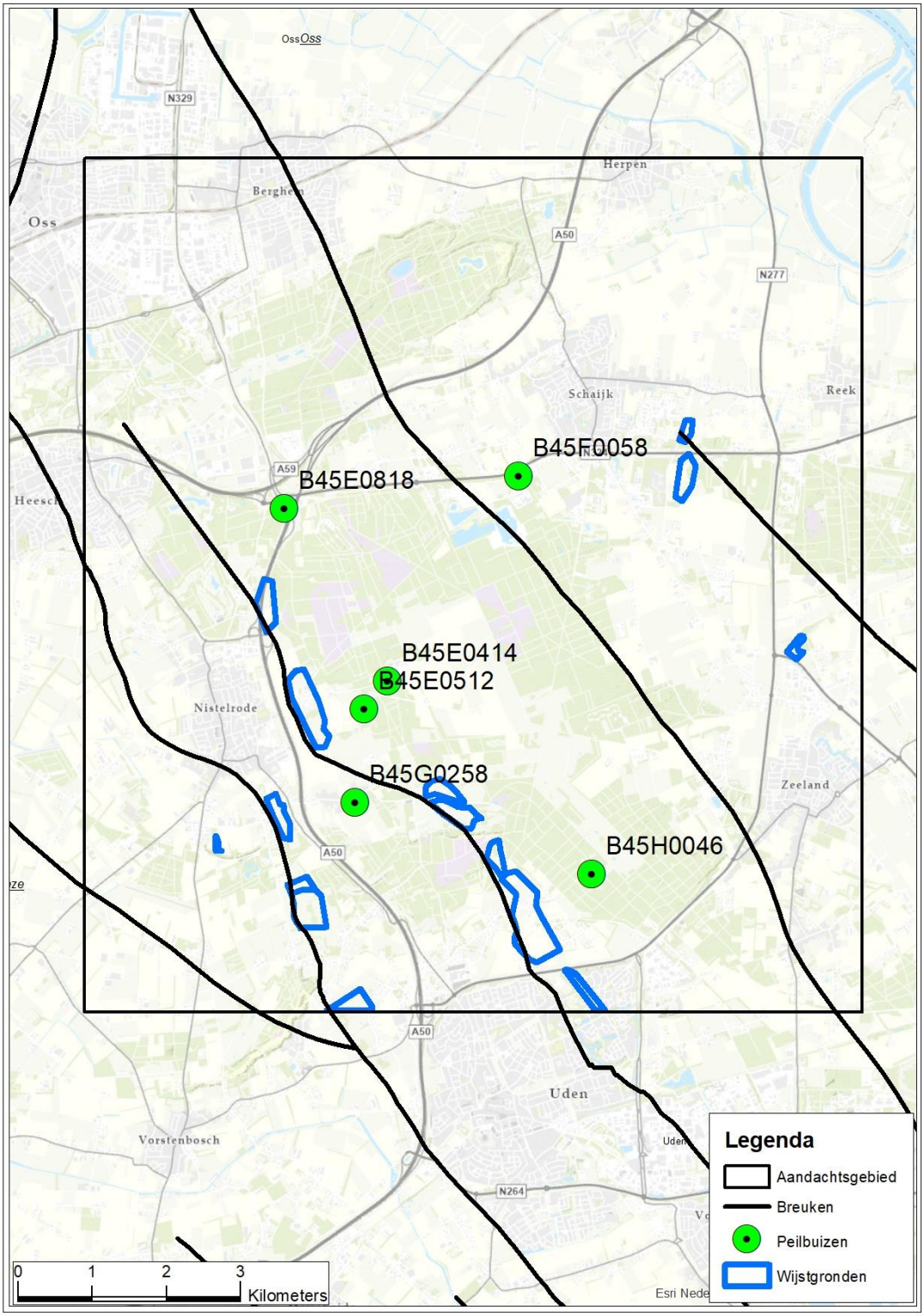
- Het dempen van watergangen en sloten, met name in het voormalige landbouwontginningsgebied.
- Het verder omvormen van bos (naaldbos naar loofbos, meer open bos).
- Het verondiepen van de Venloop.
- Het halfnatuurlijk inrichten van de Groote Wetering.
- Het lokaal herstellen van Vennen en herstellen van de cascade van vennen en slecht afvoerende laagtes in het zuidoostelijk deel van De Maashorst (ten oosten van Hengstheuvel).
- Lokaal beter zichtbaar maken van percelen met wijst, met name in de zone ten oosten van de Raambreuk.

De jaren 2018 tot en met 2020 gaven een aaneenschakeling van twee droge zomers (2018 en 2019) en een zeer droog voorjaar (2020). Deze structureel droge periode heeft laten zien dat de uitgevoerde vernattingsmaatregelen niet hebben kunnen voorkomen dat het hydrologisch systeem alsnog vrijwel tot stilstand kwam. Aan het eind van de droogteperiode was er in de bekende wijstpercelen vrijwel geen sprake meer van kwel (Ettema, 2020).

5.3 Inschatting effecten op basis van peilbuisgegevens

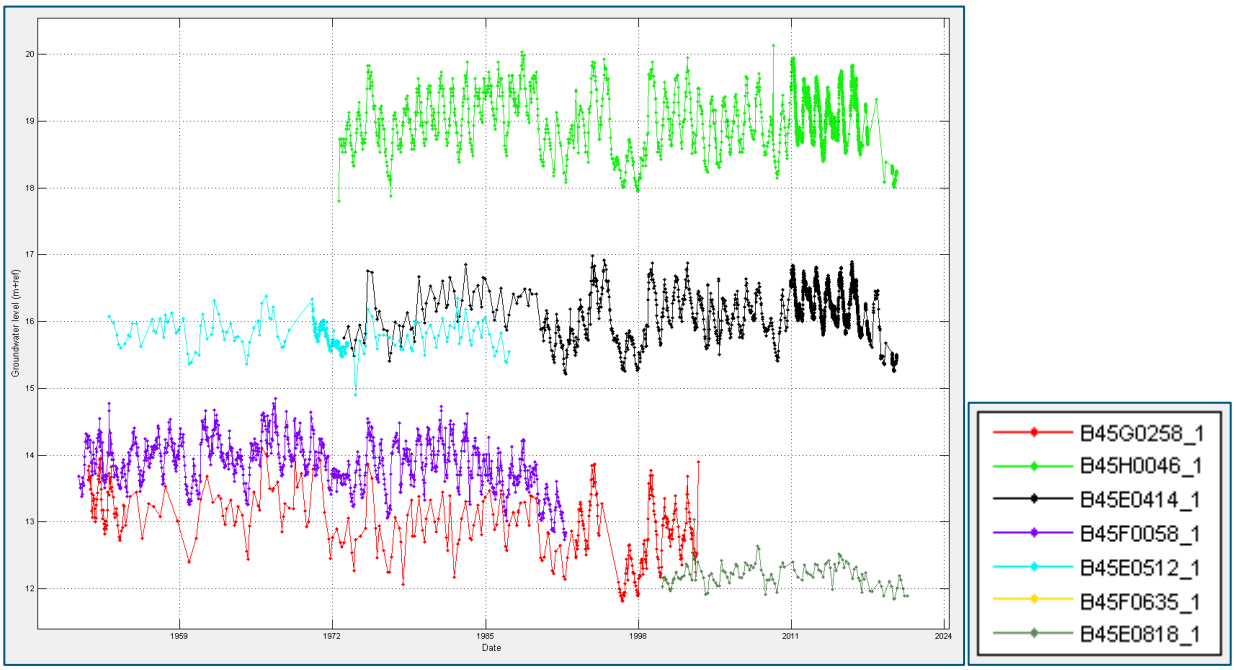
In De Maashorst zijn in totaal 6 peilbuizen beschikbaar met een relatief lange meetreeks, vanaf omstreeks 1950. Figuur 5.8 geeft de locaties van deze peilbuizen weer.

Het hydrologisch effect van de eerdere ontwikkelingen in het gebied (omzetting naar bos en ontginningswerkzaamheden tussen 1900 en 1950) is dus niet te achterhalen uit gemeten grondwaterstanden en stijghoogten. Deze zijn nader geanalyseerd met het grondwatermodel, zie paragraaf 5.4.



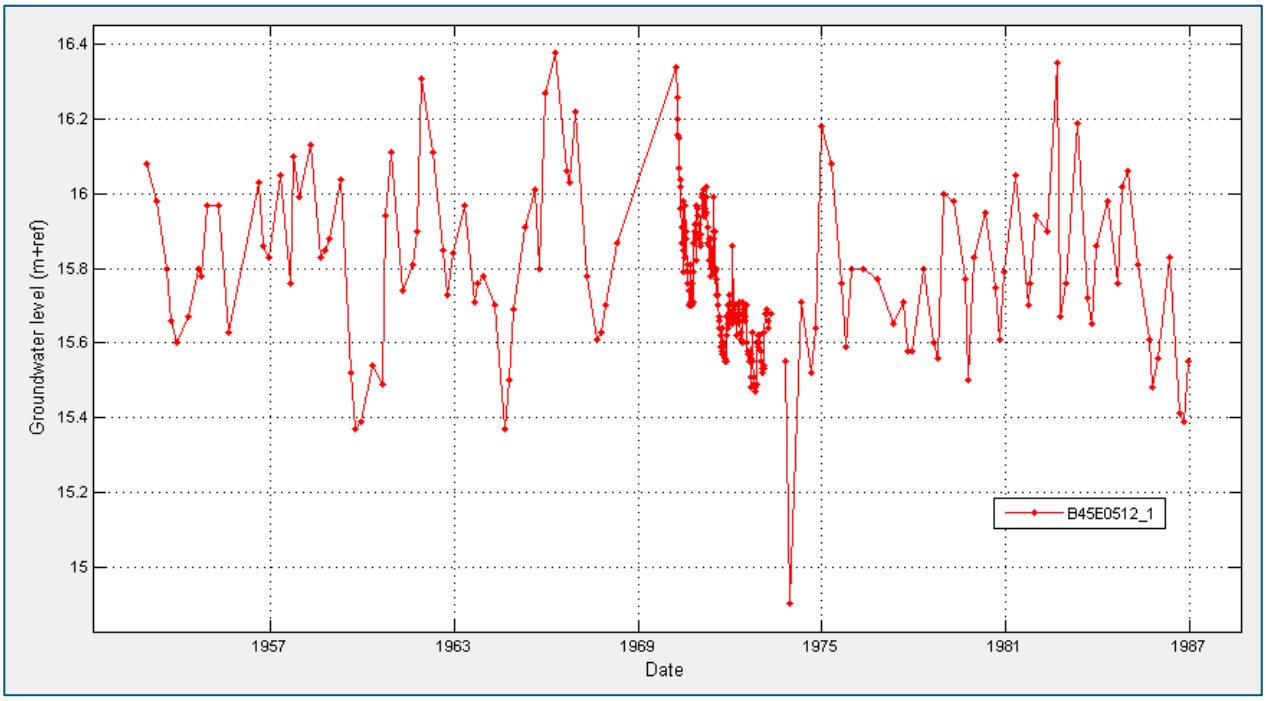
Figuur 5.8: Locatie 6 peilbuizen met relatief lange meetreeksen (vanaf jaren '50)

Figuur 5.9 geeft de meetreeksen van deze 6 peilbuizen weer.

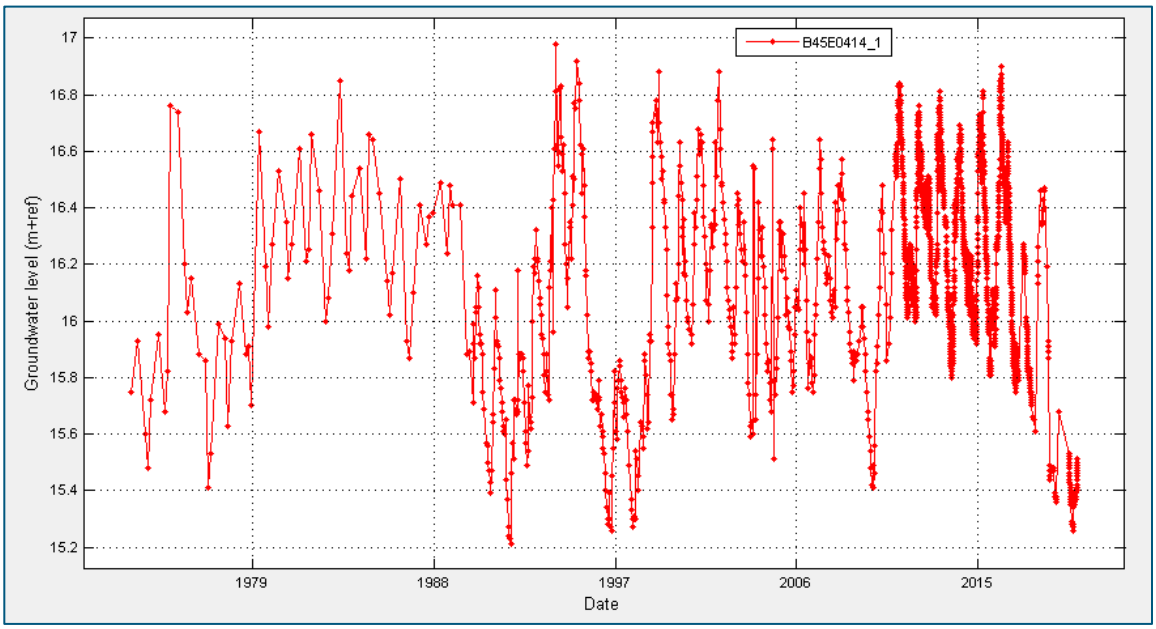


Figuur 5.9: Beschikbare lange meetreeksen grondwaterstanden en stijghoogten De Maashorst

In de jaren ’70 worden enkele ontwateringssloten gegraven voor het landbouwgebied in het midden van de Maashorst. Deze hoofdwaterlopen lopen langs de peilbuizen B45E0512 en B45E0414 de Maashorst uit. In peilbuis B45E0512 (zie Figuur 5.10) is een duidelijke daling zichtbaar in begin jaren ’70. In peilbuis B45E0414 (zie Figuur 5.11) is alleen te zien dat de jaren ’70 een lager peil hebben dan de jaren ’80. Of de aanleg van ontwatering hiervan de oorzaak is, is niet eenduidig vast te stellen.

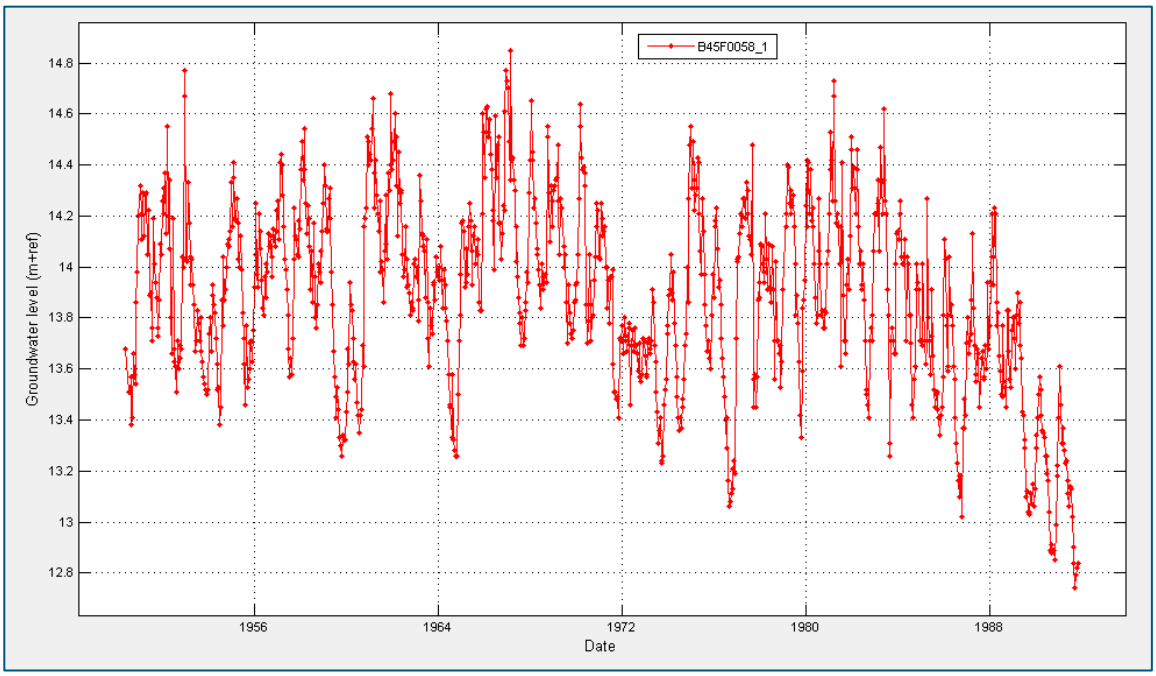


Figuur 5.10: Meetreeks peilbuis B45E0512



Figuur 5.11: Meetreeks peilbuis B45E0414

In het noordoosten van de Maashorst ligt een zandafgraving. Hier is in de jaren ’70 begonnen met het afgraven van zand. Peilbuis B45F0058 geeft duidelijk lager gemeten grondwaterstanden weer in de periode tussen 1971 en 1976. Aangezien de peilbuis -geredeneerd vanuit de grondwaterstroming- stroomafwaarts van de zandwinplas ligt, zijn deze tijdelijke verlagingen zeer waarschijnlijk niet het gevolg van de zandwinplas. De periode 1971 tot en met 1976 is in zijn totaliteit een droge periode; met name de perioden juli 1971 tot en met maart 1972 en juli 1975 tot en met oktober 1976 waren bijzonder droog. Dit is duidelijk terug te zien in de metingen van peilbuis B45F0058 maar bijvoorbeeld ook in peilbuis B45E0512 (Figuur 5.10).



Figuur 5.12: Meetreeks peilbuis B45F0058 (gelegen in noordoostelijk deel van de Maashorst)

5.4 Berekende hydrologische effecten op representatieve locaties in deelgebieden

5.4.1 Aanpak

De verschillende stadia in de historische analyse zijn tijdsafhankelijk doorgerekend met het grondwatermodel, voor dezelfde reeks weerjaren als waarvoor de aanvullende kalibratie is uitgevoerd: 2010 tot en met 2020. In werkelijkheid is voortdurend sprake geweest van langjarige variaties in neerslag en verdamping: opeenvolging natte jaren in de jaren ’60, reeks drogere jaren in de jaren ’70, extreem natte periode 1998 t/m 2002, et cetera. Door steeds uit te gaan van dezelfde reeks weerjaren (2010 t/m 2020) komt het effect van deze langjarige variaties in neerslag en verdamping niet terug in de rekenresultaten van de historische analyse en geven we zo zuiver mogelijk inzicht in de effecten van de veranderingen in het landgebruik, de inrichting en het hydrologische systeem.

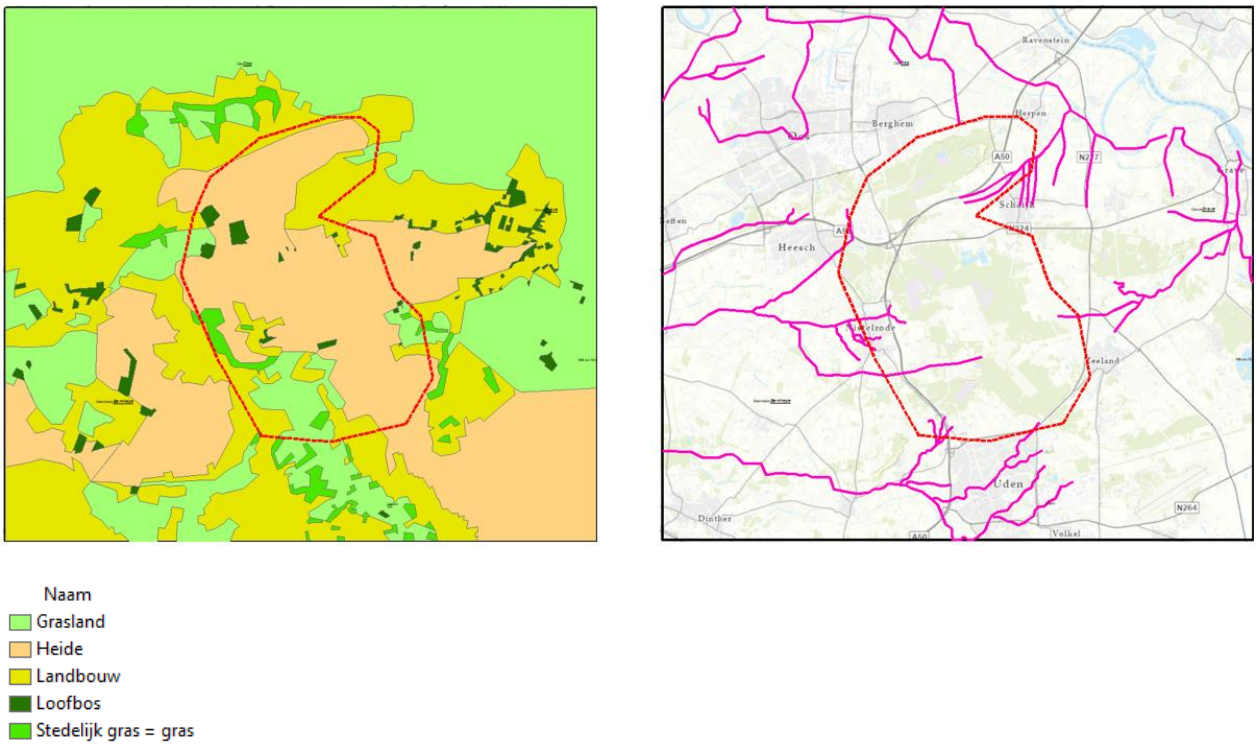
De volgende stadia zijn doorgerekend:

- Situatie omstreeks 1900 (paragraaf 5.4.2);
- Situatie omstreeks 1930 (paragraaf 5.4.3);
- Situatie omstreeks 1955 (paragraaf 5.4.4);
- Situatie omstreeks 1985 (paragraaf 5.4.5);
- Situatie omstreeks 2020 (paragraaf 5.4.6).

5.4.2 Situatie omstreeks 1900

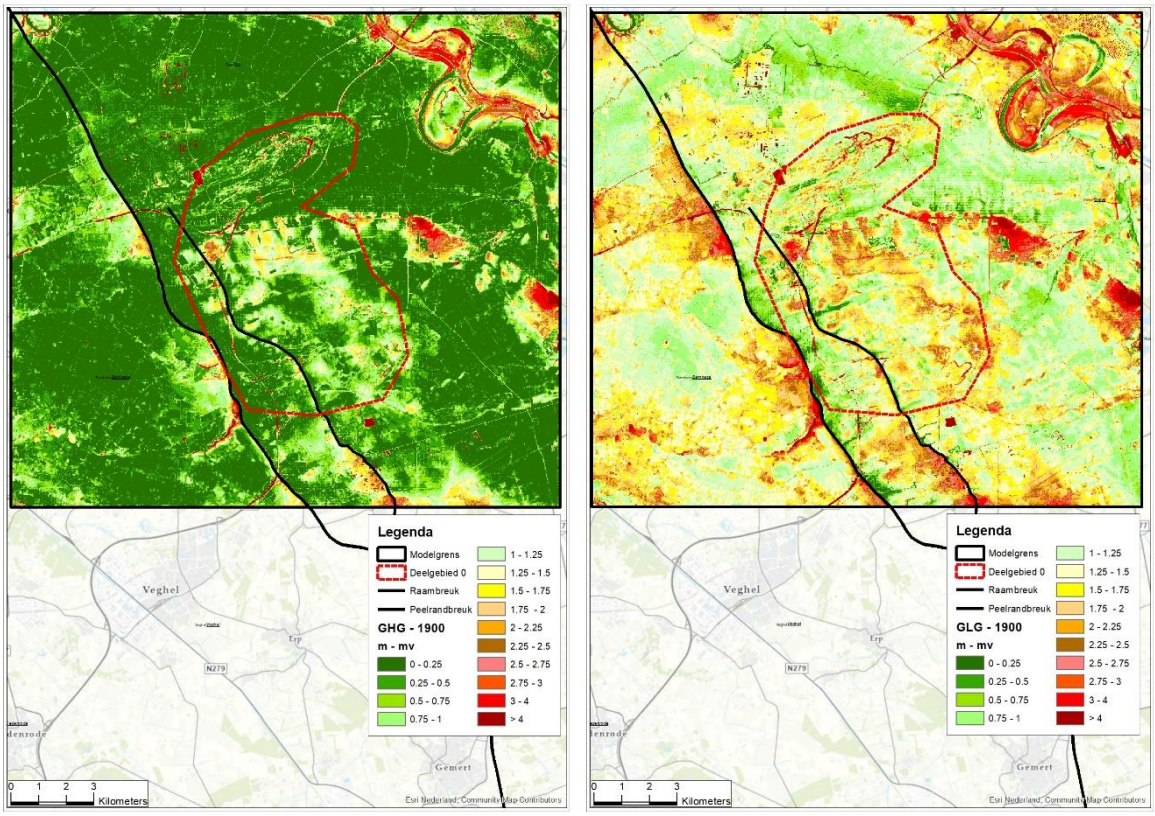
De situatie omstreeks 1900, zoals weergegeven in Figuur 5.3 is in het grondwatermodel geschematiseerd door aanpassingen in het landgebruik en de ligging van waterlopen. Figuur 5.13 geeft voor de situatie omstreeks 1900 de schematisatie van het landgebruik en de waterlopen weer. Verder zijn in de doorrekening de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Geen beregening;
- Geen buisdrainage en detailontwatering;
- Geen zandwinplas;
- Geen grondwateronttrekkingen;
- Geen stedelijke riolering;
- Alle landbouwgebieden bestaan uit 50% gras, 25 % granen en 25 % bieten;
- Waterlopen hebben een peil 30 cm onder maaiveld en een bodemhoogte van 70 cm onder maaiveld.



Figuur 5.13: Schematisatie landgebruik en waterlopen in doorrekening situatie omstreeks 1900

Figuur 5.14 geeft de berekende GHG en GLG weer. De GHG ligt in grote delen van het gebied tussen 0 en 25 cm beneden maaiveld. Alleen in de hogere delen van de Maashorst, vooral ten oosten van de Raambreuk en in Herperduin ligt de GHG dieper, lokaal tot meer dan één meter onder maaiveld. De GLG varieert van ongeveer 1,5 meter onder maaiveld in de lagere delen tot 2 à 3 meter onder maaiveld in de drogere delen. Ten opzichte van de huidige situatie liggen de GHG en GLG in de situatie omstreeks 1900 ongeveer 50 cm tot meer dan één meter hoger.



Figuur 5.14: Berekende GHG en GLG voor de situatie omstreeks 1900

5.4.3 Situatie omstreeks 1930

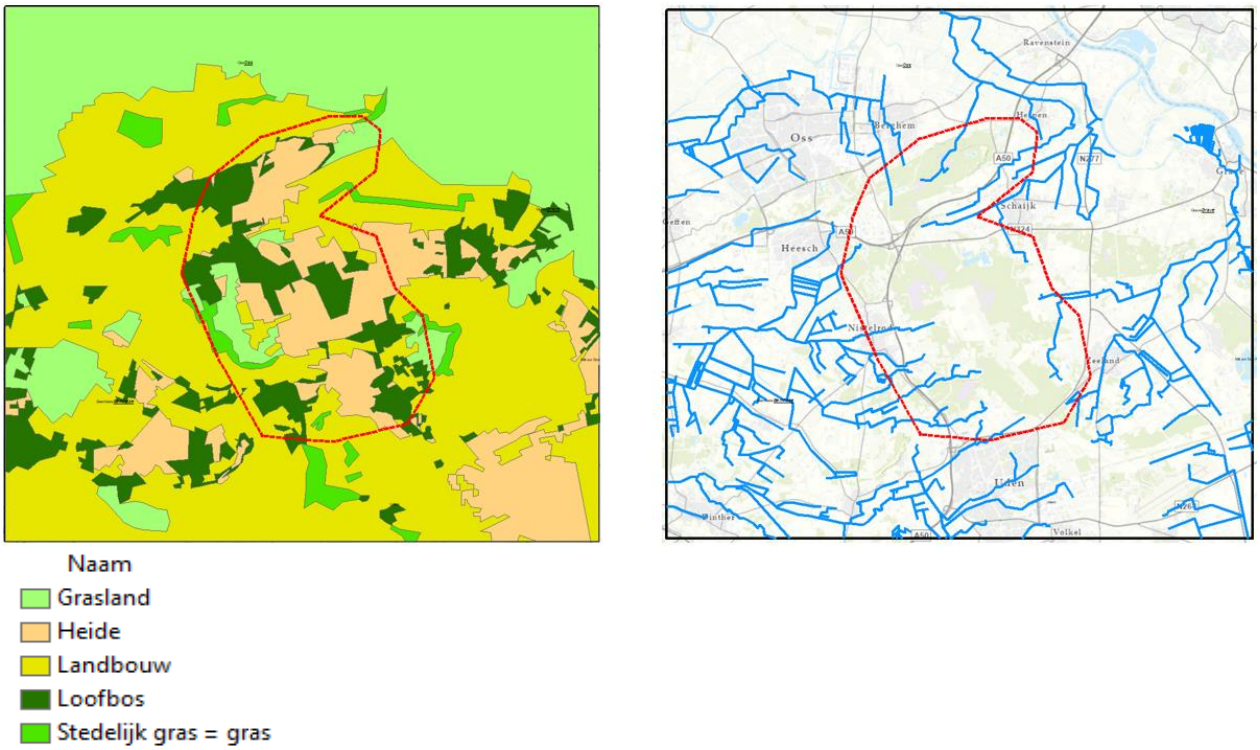
De situatie omstreeks 1930, zoals weergegeven in Figuur 5.4 is in het grondwatermodel geschematiseerd door aanpassingen in het landgebruik en de ligging van waterlopen. Figuur 5.15 geeft voor de situatie omstreeks 1930 de schematisatie van het landgebruik en de waterlopen weer. Verder zijn in de doorrekening de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Geen beregening;
- Geen buisdrainage en detailontwatering;
- Geen zandwinplas;
- Geen grondwateronttrekkingen;
- Geen stedelijke riolering;
- Landbouwgebieden bestaan uit 50% gras, 25 % granen en 25 % bieten;
- Waterlopen hebben een peil van 30 cm en een bodemhoogte van 70 cm onder maaiveld.

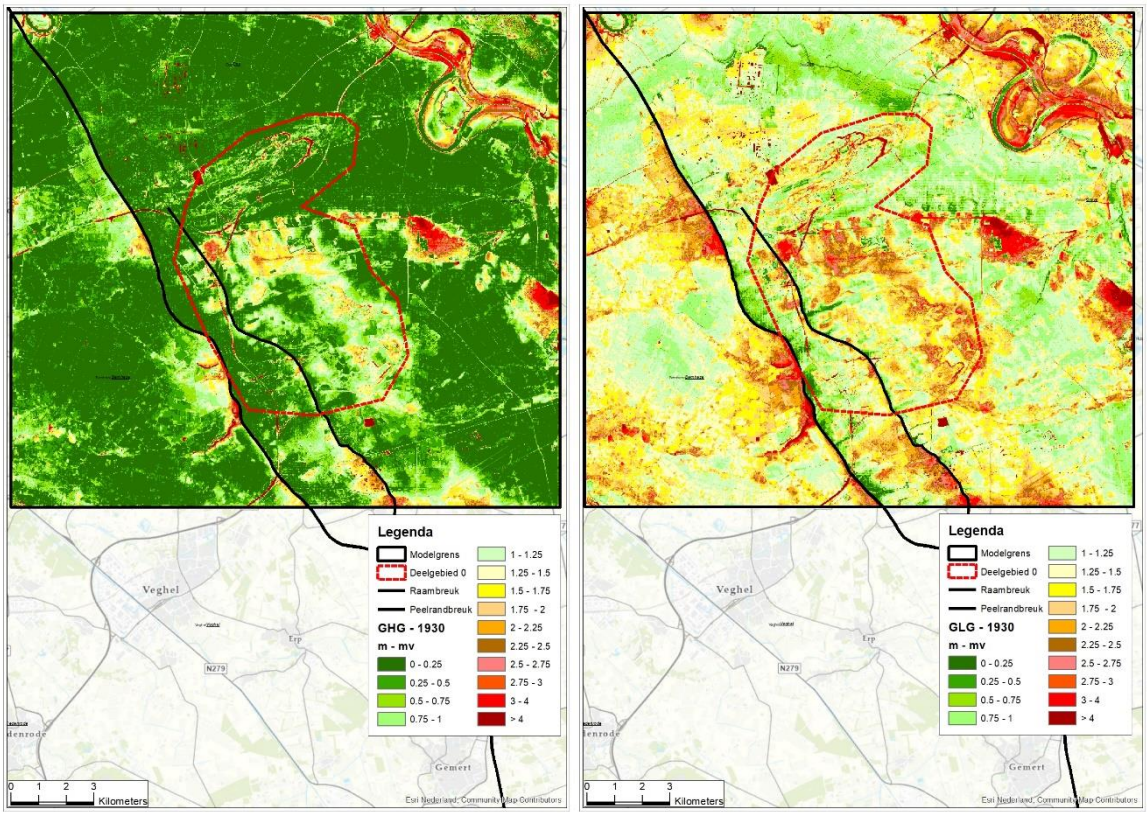
Figuur 5.16 geeft de berekende GHG en GLG weer. Voor de meeste gebieden komt het grondwaterregime ongeveer overeen met dat van de situatie omstreeks 1900. De GHG ligt in grote delen van het gebied tussen 0 en 25 cm beneden maaiveld. Alleen in de hogere delen van de Maashorst, vooral ten oosten van de Raambreuk en in Herperduin ligt de GHG dieper, lokaal tot meer dan één meter onder maaiveld. De GLG varieert van ongeveer 1,5 meter onder maaiveld in de lagere delen tot 2 à 3 meter onder maaiveld in de drogere delen.

De situatie omstreeks 1930 markeert het begin van de grootschalige ontginning van de heidegebieden op de Maashorst. Op de locaties waar heide omgevormd is naar bos zakken zowel de GHG als de GLG enkele decimeters tot 50 cm ten opzichte van de situatie omstreeks 1900. Ten westen van de

Peelrandbreuk is ten opzichte van de situatie 1900 een groot aantal watergangen bijgekomen. Deze zorgen hier voor verlagingen van de GHG en de GLG.



Figuur 5.15: Schematisatie landgebruik en waterlopen in doorrekening situatie omstreeks 1930

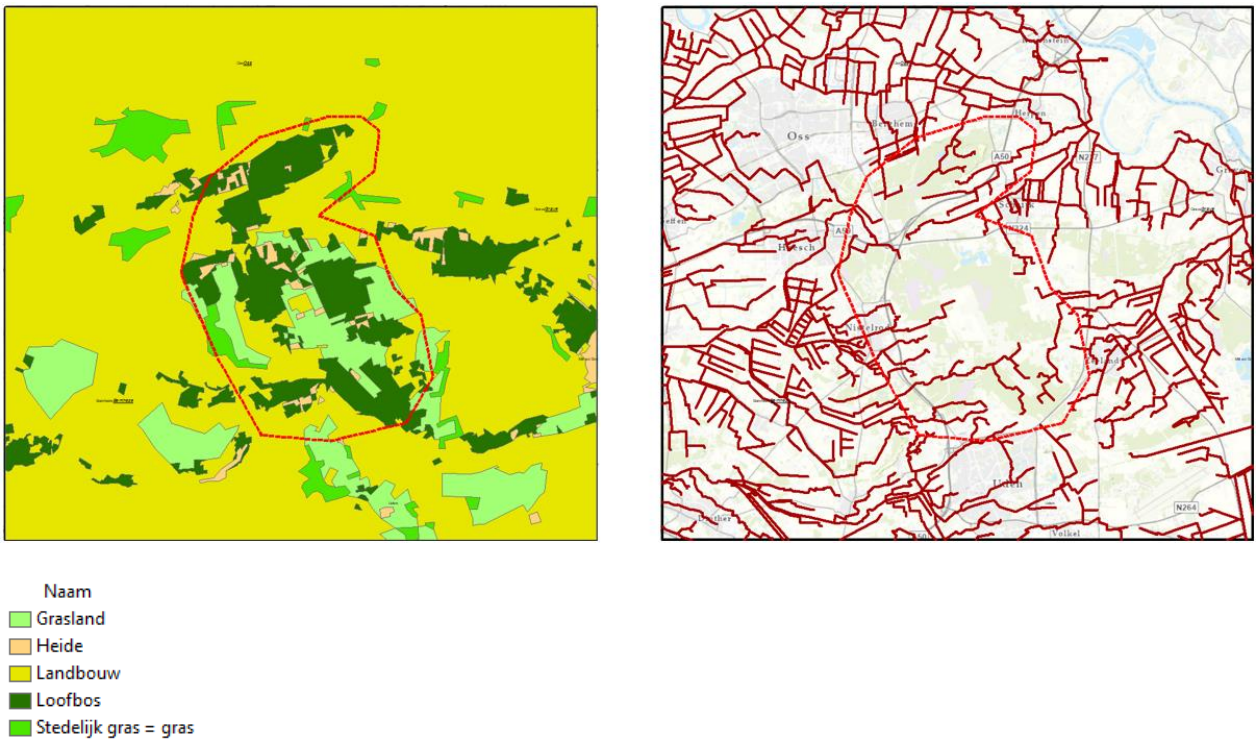


Figuur 5.16: Berekende GHG en GLG voor de situatie omstreeks 1930

5.4.4 Situatie omstreeks 1955

De situatie omstreeks 1955, zoals weergegeven in Figuur 5.5 is in het grondwatermodel geschematiseerd door aanpassingen in het landgebruik en de ligging van waterlopen. Figuur 5.17 geeft voor de situatie omstreeks 1955 de schematisatie van het landgebruik en de waterlopen weer. Verder zijn in de doorrekening de volgende uitgangspunten gehanteerd:

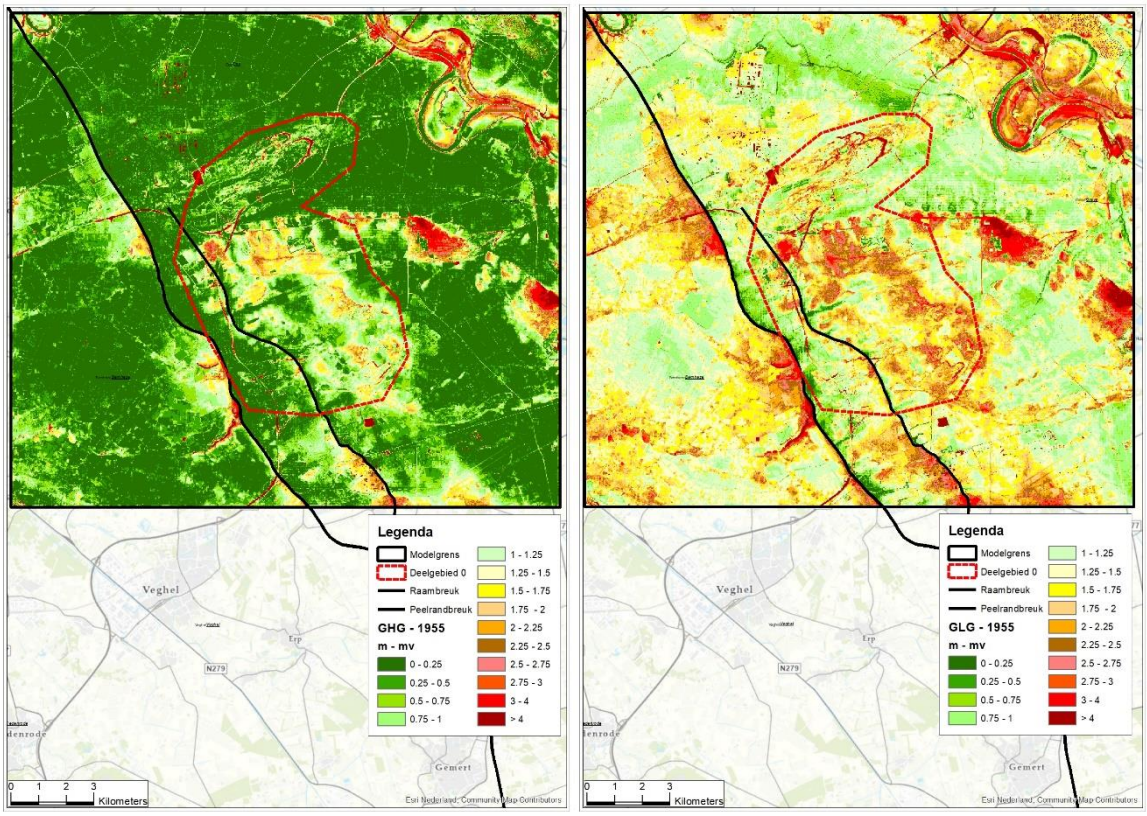
- Geen beregening;
- Geen buisdrainage en detailontwatering;
- Geen zandwinplas;
- Geen grondwateronttrekkingen;
- Geen stedelijke riolering;
- Landbouwgebieden bestaan uit 33% gras, 33 % granen en 33 % bieten;
- Waterlopen hebben een peil van 50 cm onder maaiveld en een bodemhoogte van 90 cm onder maaiveld.



Figuur 5.17: Schematisatie landgebruik en waterlopen in doorrekening situatie omstreeks 1955

Figuur 5.18 geeft de berekende GHG en GLG weer. Voor een groot aantal gebieden komt het grondwaterregime ongeveer overeen met dat van de situaties omstreeks 1900 en 1930. De GHG ligt in grote delen van het gebied tussen 0 en 25 cm beneden maaiveld. Alleen in de hogere delen van de Maashorst, vooral ten oosten van de Raambreuk en in Herperduin ligt de GHG dieper, lokaal tot meer dan één meter onder maaiveld. De GLG varieert van ongeveer 1,5 meter onder maaiveld in de lagere delen tot 2 à 3 meter onder maaiveld in de drogere delen.

In het kader van de grootschalige ontginning heeft in deze periode vooral bebossing plaatsgevonden van de hogere delen van de Maashorst en het Herperduin. Ten opzichte van de situatie omstreeks 1930 wordt hier een verdere daling van de grondwaterstanden berekend van ongeveer 50 cm op de Maashorst en tot maximaal 20 cm in het Herperduin.



Figuur 5.18: Berekende GHG en GLG voor de situatie omstreeks 1955

5.4.5 Situatie omstreeks 1985

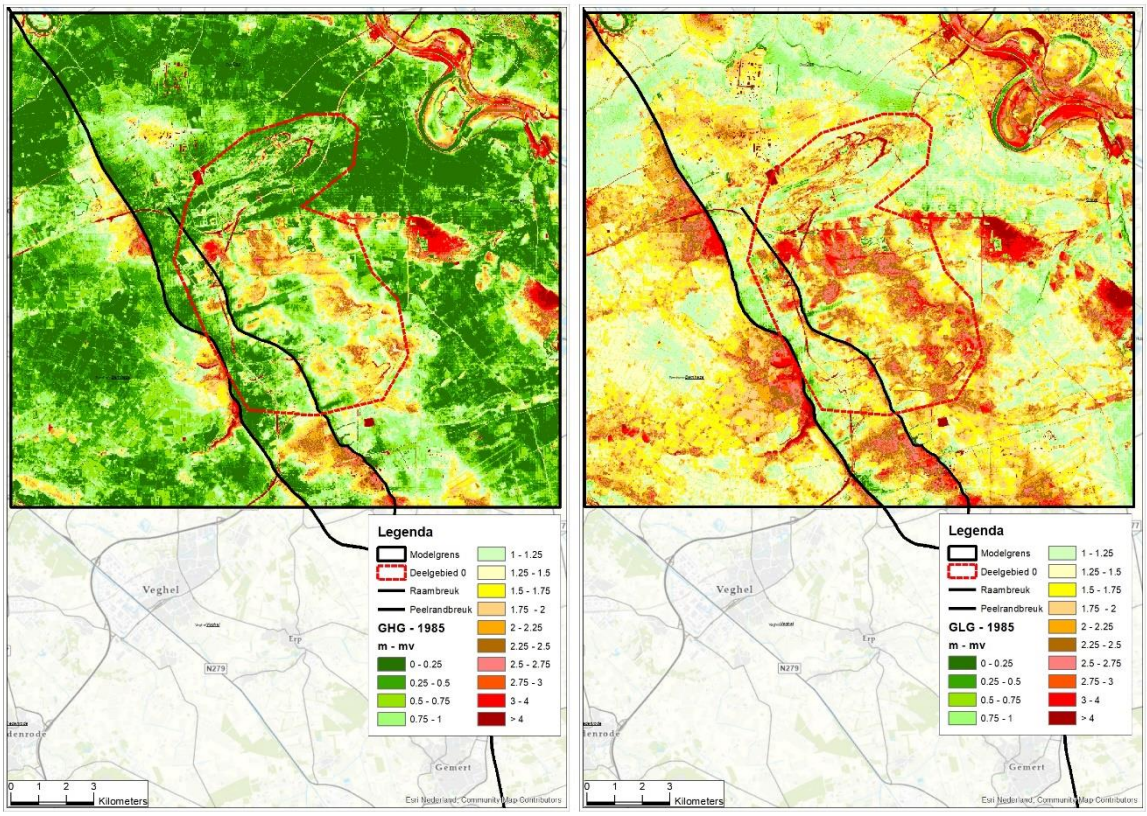
De situatie omstreeks 1985, zoals weergegeven in Figuur 5.6 is in het grondwatermodel geschematiseerd door aanpassingen in het landgebruik en de ligging van waterlopen. Figuur 5.19 geeft voor de situatie omstreeks 1985 de schematisatie van het landgebruik en de waterlopen weer. Verder zijn in de doorrekening de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Er vindt beregening vanuit grondwater plaats met de helft van de capaciteit die in de huidige situatie aanwezig is;
- Buisdrainage en detailontwatering zijn aanwezig zoals in de huidige situatie (omstreeks 2020);
- De zandwinplas is aanwezig, conform de huidige situatie;
- Grondwateronttrekkingen komen overeen met de huidige situatie;
- Stedelijke riolering overeenkomstig de huidige situatie;
- Landbouwgebieden bestaan uit 33% gras, 33 % maïs en 33 % bieten;
- Waterlopen hebben een peil 100 cm onder maaiveld en een bodemhoogte van 140 cm onder maaiveld.

Figuur 5.20 geeft de berekende GHG en GLG weer. In de meeste delen van de Maashorst ligt de berekende GHG tussen 50 en 75 cm onder maaiveld. In de drogere delen van de Maashorst en het Herperduin ligt de GHG in het algemeen tussen 2 en 3 meter onder maaiveld. De berekende GLG ligt in grote delen van het gebied tussen 1,5 en 2 meter onder maaiveld en in genoemde drogere delen 3 meter onder maaiveld of dieper.

Ten opzichte van de situatie omstreeks 1955 zijn aanzienlijke grondwaterstandsverlagingen opgetreden, vooral door diepere ontwatering (diepere watergangen) en de grootschalige aanleg van buisdrainage en (in mindere mate) door beregening, zandwinning en grondwateronttrekkingen. De verlagingseffecten zijn het sterkst voor de GHG; de berekende GHG zakt tussen 1955 en 1985 met gemiddeld 50 cm. De berekende verlagingen van de GLG zijn minder, gemiddeld ongeveer 20 cm. Dit komt omdat diepere ontwatering en drainage vooral een verlagend effect heeft in periodes met neerslagoverschot (winterhalfjaar en GHG). In de zomerperiode (GLG) is het drainerende effect ervan aanzienlijk minder.

Figuur 5.19: Schematisatie landgebruik en waterlopen in doorrekening situatie omstreeks 1985

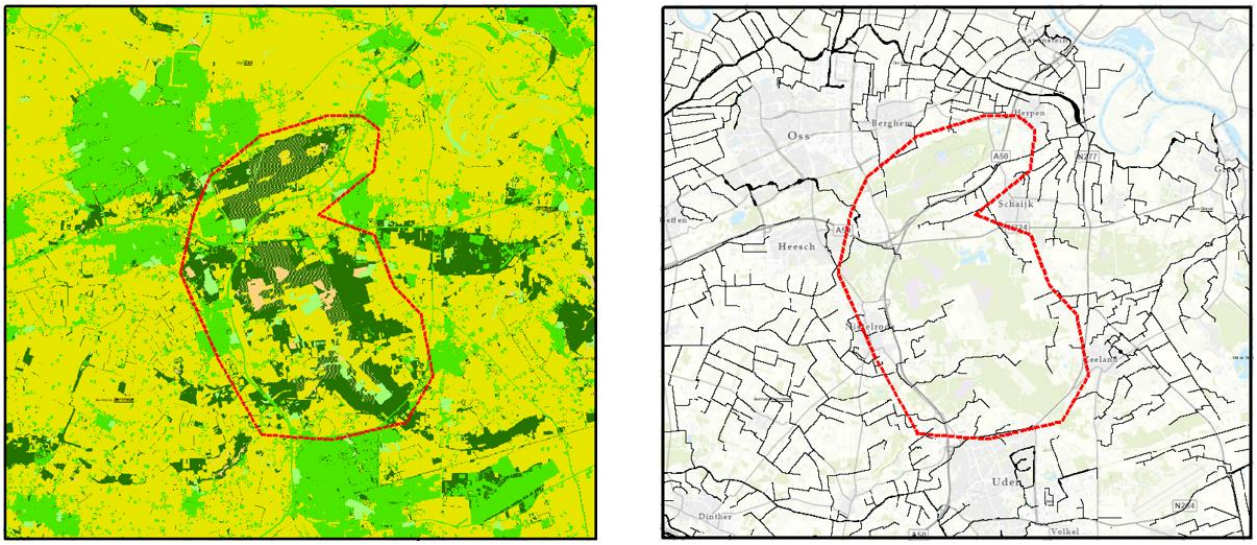


Figuur 5.20: Berekende GHG en GLG voor de situatie omstreeks 1985

5.4.6 Situatie omstreeks 2020

De modelschematisatie van de huidige situatie (omstreeks 2020, zoals weergegeven in Figuur 5.7) komt grotendeels overeen met die van het grondwatermodel waarvoor de aanvullende kalibratie is uitgevoerd. Figuur 5.21 geeft voor de huidige situatie de schematisatie van het landgebruik en de waterlopen weer. Verder zijn in de doorrekening de volgende uitgangspunten gehanteerd:

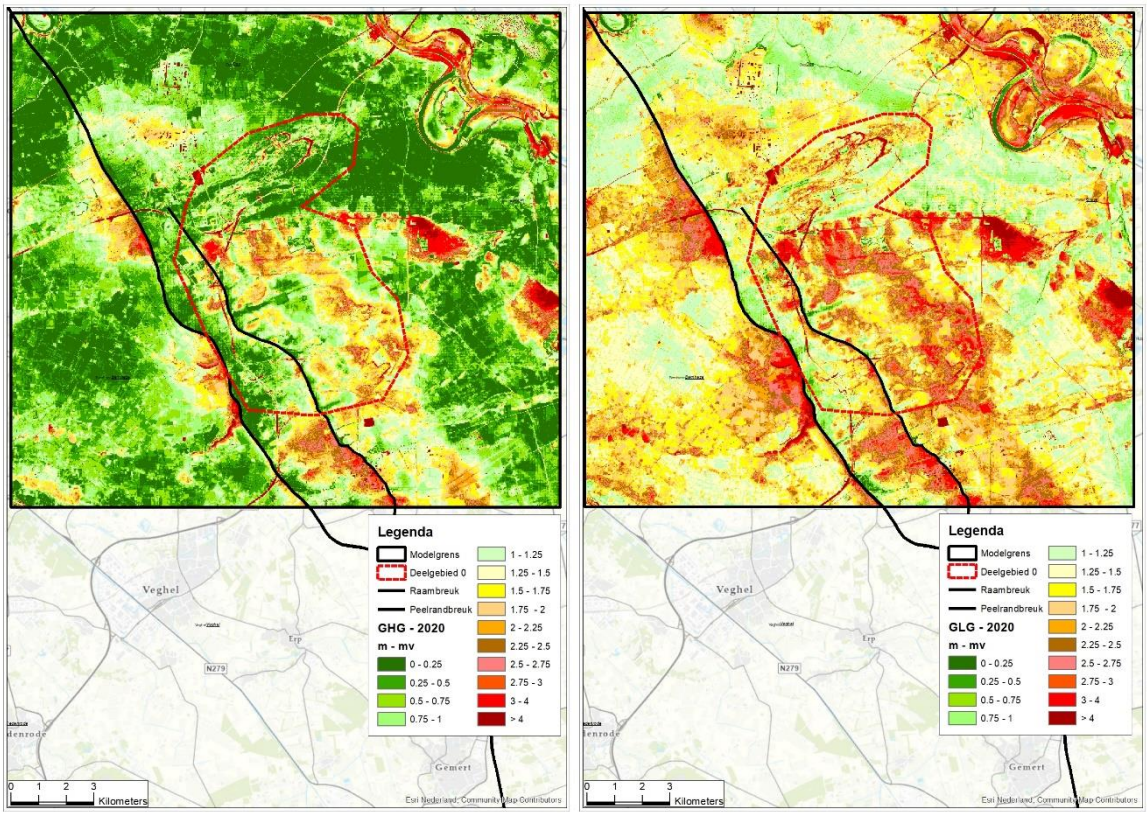
- Beregening met de huidige capaciteit;
- Buisdrainage en detailontwatering zoals aanwezig in de huidige situatie;
- Zandwinplas zoals aanwezig in de huidige situatie;
- Huidige grondwateronttrekkingen;
- Huidige stedelijke riolering;
- Landbouwgebieden bestaan voor 33% uit gras, 33 % uit maïs en 33 % bieten;
- Ten opzichte van de situatie 1985 heeft in een aanzienlijk deel van het bosareaal verdunning plaatsgevonden (omzetting naar open bostype);
- Waterlopen hebben een peil van 70 cm onder maaiveld en een bodemhoogte van 110 cm onder maaiveld.



Figuur 5.21: Schematisatie landgebruik en waterlopen in doorrekening situatie omstreeks2020

Figuur 5.22 geeft de berekende GHG en GLG weer. In de meeste delen van de Maashorst ligt de berekende GHG tussen 50 en 75 cm onder maaiveld. In de drogere delen van de Maashorst en het Herperduin ligt de GHG in het algemeen tussen 2 en 3 meter onder maaiveld. De berekende GLG ligt in grote delen van het gebied tussen 1,5 en 2 meter onder maaiveld en in genoemde drogere delen 3 meter onder maaiveld of dieper.

Sinds het einde van de jaren ’90 wordt gewerkt aan het tegengaan van de verdroging van de Maashorst, onder meer door het uitdunnen van het bosareaal, het dempen van verschillende watergangen en de omzetting van delen van het landbouwareaal naar nieuwe natuur, waarbij de aanwezige ont- en afwatering waar mogelijk is verwijderd of verondiept. Desondanks zijn de grondwaterstanden in flinke delen van het gebied nog verder gedaald ten opzichte van de situatie 1985. Tussen 1985 en 2020 heeft nog een aanzienlijke verstedelijking plaatsgevonden, zowel woningbouw als uitbreiding van bedrijventerreinen. Deze verstedelijking heeft vooral geresulteerd in verdere verlagingen van de GHG, gemiddeld ongeveer 50 cm in en nabij de stedelijke uitbreidingsgebieden. In de landbouwgebieden wordt juist een verdere daling van de GLG berekend, die vooral het gevolg is van de toegenomen beregening uit grondwater. De aanleg van de A50 ten westen van de Maashorst heeft een relatief beperkt effect gehad op de grondwaterstanden.

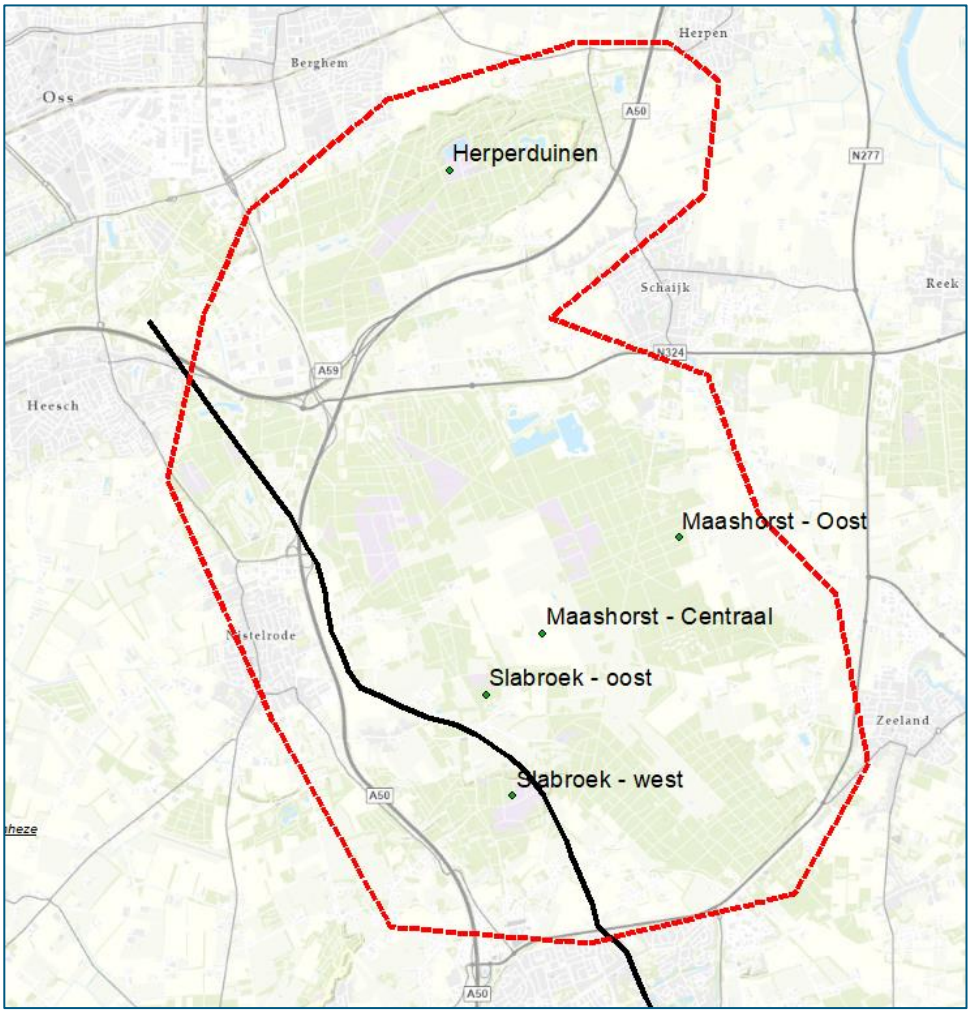


Figuur 5.22: Berekende GHG en GLG voor de situatie omstreeks 2020

5.5 Doorrekening hydrologische effecten van opeenvolgende ontwikkelingen in een peilbuis

5.5.1 Algemeen

In deze paragraaf presenteren we voor een aantal representatieve locaties in het gebied het berekende verloop van de grondwaterstanden over de verschillende onderscheiden stadia. Figuur 5.23 laat een overzichtskaart zien met 5 representatieve locaties, voor achtereenvolgens Herperduin, het oostelijk deel van de Maashorst, het centrale gebied van de Maashorst, het deelgebied Slabroek oostelijk van de Raambreuk en westelijk van de Raambreuk. Voor deze representatieve locaties is de opeenvolging van het berekende grondwaterregime van de 5 onderscheiden stadia weergegeven in één grafiek, waarbij per stadium de bandbreedte tussen de hoogste en laagste berekende grondwaterstand is ingetekend.

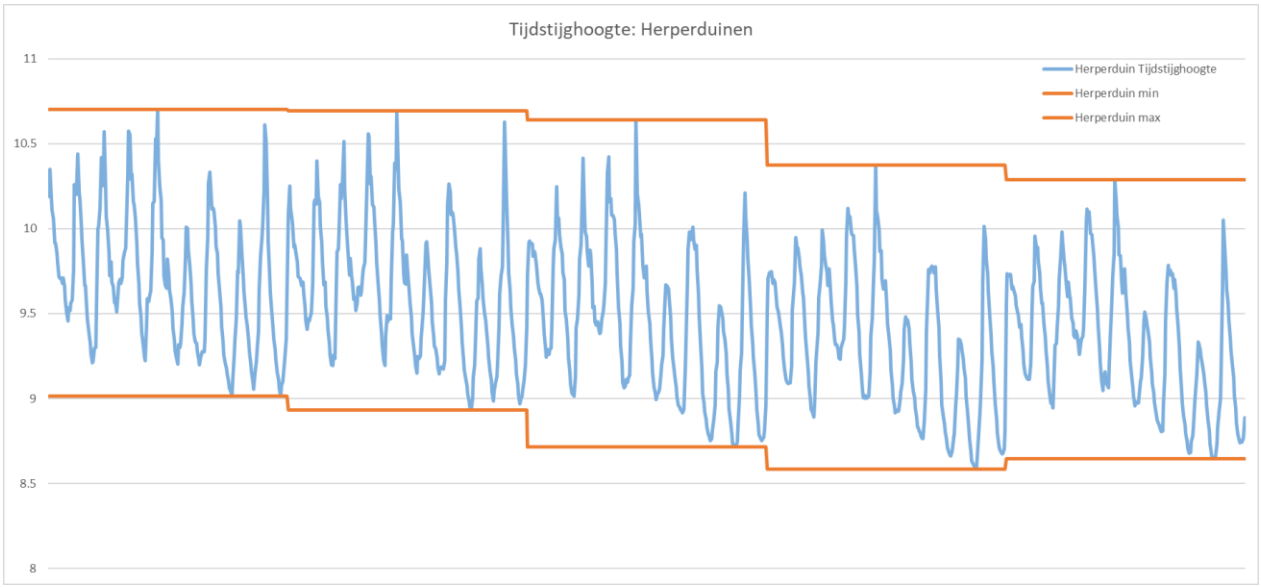


Figuur 5.23: Locaties tijdreeksanalyse historische berekeningen

5.5.2 Deelgebied Herperduin

Figuur 5.24 geeft voor de opeenvolgende stadia het berekende grondwaterregime weer voor Herperduin. De grafiek laat zien dat de grootste verlaging in de GHG heeft plaatsgevonden tussen 1955 en 1985. De GLG had de grootste daling tussen 1930 – 1955, maar is tussen 1985 juist weer gestegen. Door het drainerende effect van de ont- en afwatering rondom het Herperduin zijn de verlagingen van de GHG

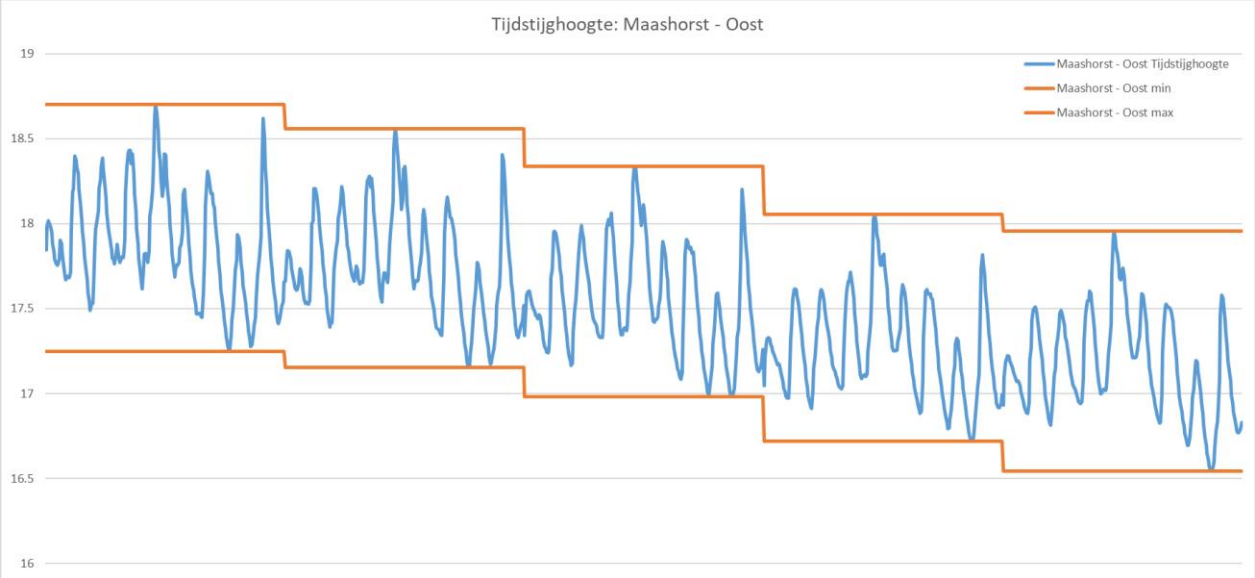
aanzienlijk sterker dan die van de GLG. De berekende stijging van de GLG tussen 1985 en 2020 is waarschijnlijk het gevolg van het uitdunnen en omzetten van het bosareaal.



Figuur 5.24: Berekend grondwaterregime opeenvolgende stadia in historische analyse, deelgebied Herperduin

5.5.3 Deelgebied Maashorst-oost

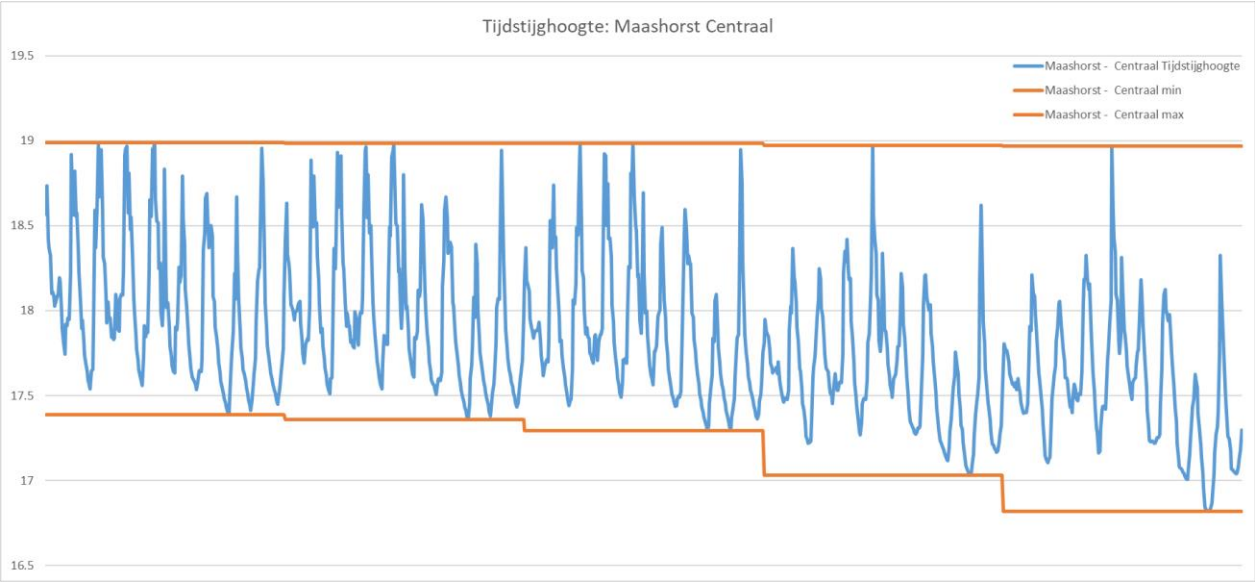
Figuur 5.25 geeft voor de opeenvolgende stadia het berekende grondwaterregime weer voor het oostelijk deel van de Maashorst. De grafiek laat zien dat de grondwaterstand in de GHG geleidelijk is gedaald over de jaren heen, waarbij de grootste verandering heeft plaatsgevonden tussen 1930 en 1955 en tussen 1955 en 1985. De GLG had de grootste daling tussen 1955 en 1985. In dit hooggelegen gebied zijn de berekende verlagingen vooral het gevolg van de omvorming van heide naar bos, de toegenomen beregening en het toegenomen areaal stedelijk gebied en in mindere mate door het drainerende effect van diepere waterlopen en extra buisdrainage en detailontwatering. Dit is terug te zien in de rekenresultaten. In tegenstelling tot de gebieden die wel flink beïnvloed worden door toegenomen drainage (Slabroek-west en Herperduin) zijn hier de berekende verlagingen van de GLG vrijwel even sterk als die van de GHG.



Figuur 5.25: Berekend grondwaterregime opeenvolgende stadia in historische analyse, deelgebied Maashorst– Oost

5.5.4 Deelgebied Maashorst-centraal

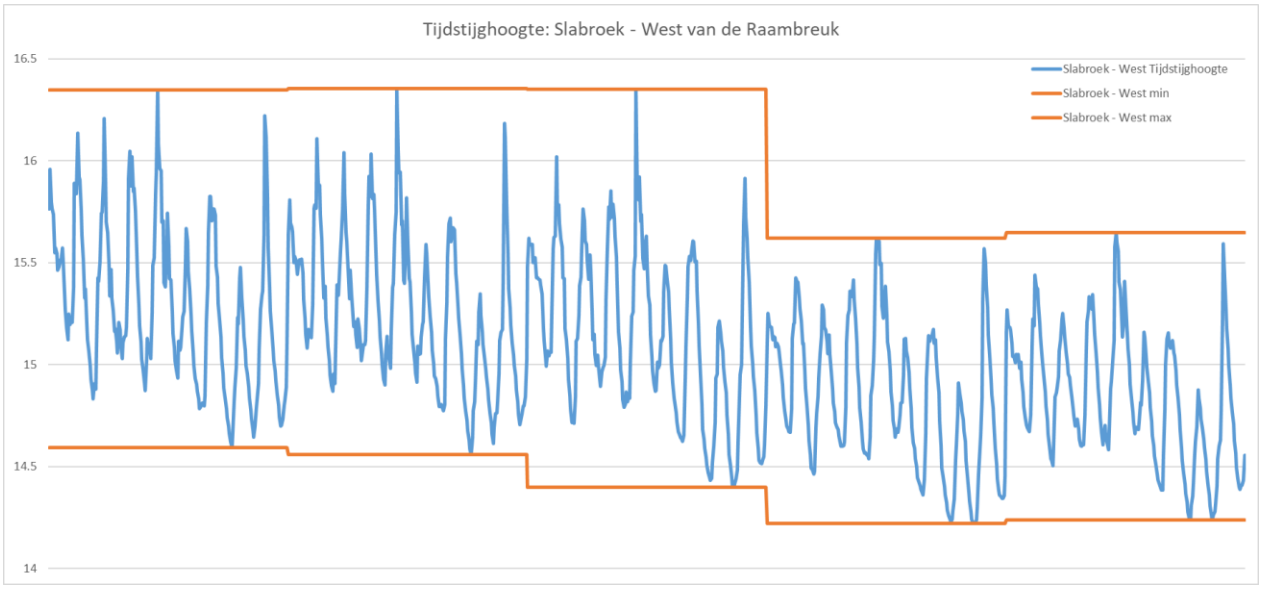
Figuur 5.26 geeft voor de opeenvolgende stadia het berekende grondwaterregime weer voor het centrale deel van de Maashorst. De grafiek laat zien dat de GHG geen verlaging laat zien. De GLG had de grootste daling tussen 1955 en 1985. Net als het oostelijk deel van de Maashorst is dit een hooggelegen gebied. Het grondwaterregime is hier in de loop van de tijd vooral beïnvloed door de omvorming van heide naar bos, de toegenomen beregening en de toegenomen grondwateronttrekkingen en veel minder door het drainerende effect van diepere waterlopen en extra buisdrainage en detailontwatering. Dit is terug te zien in de rekenresultaten. In tegenstelling tot de gebieden die wel flink beïnvloed worden door toegenomen drainage (Slabroek-west en Herperduin) treden hier vooral verlagingen op van de GLG en niet of nauwelijks voor de GHG.



Figuur 5.26: Berekend grondwaterregime opeenvolgende stadia in historische analyse, deelgebied Maashorst – Centraal

5.5.5 Deelgebied Slabroek westelijk van de Raambreuk

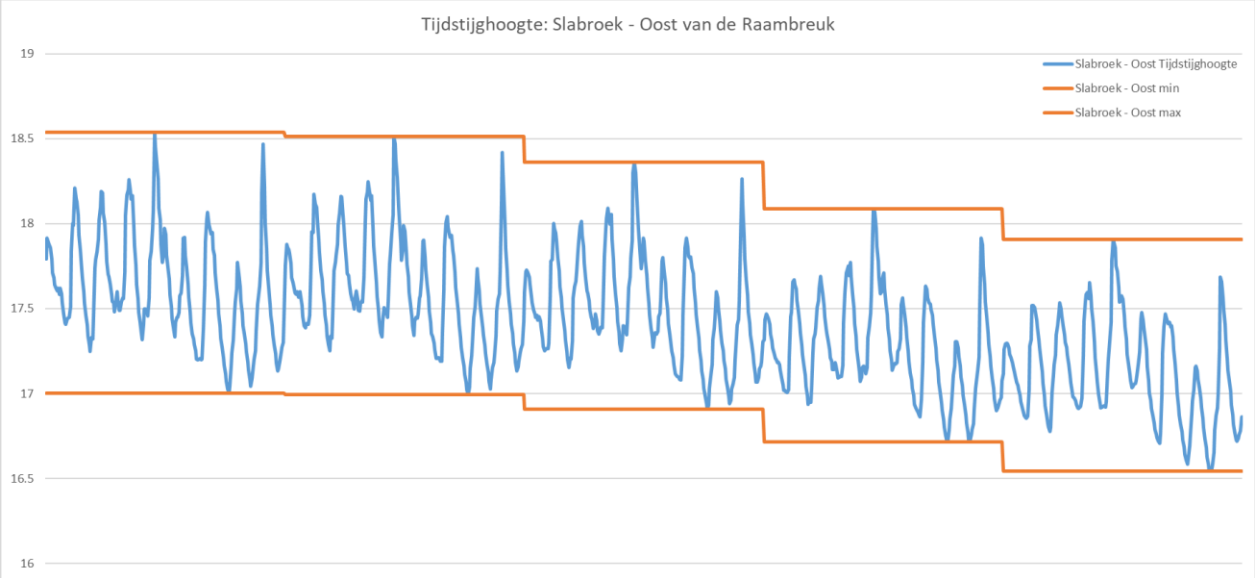
Figuur 5.27 geeft voor de opeenvolgende stadia het berekende grondwaterregime weer voor het deelgebied Slabroek ten westen van de Raambreuk. De grootste verlaging in de GHG heeft in dit deelgebied plaatsgevonden tussen 1955 en 1985. Deze is in dit natte gebied vooral het gevolg van de toegenomen ont- en afwatering. De verlaging van de GLG heeft geleidelijker plaatsgevonden en was het sterkst tussen 1930 en 1985. De veranderingen van het grondwaterregime zijn in dit deelgebied vooral veroorzaakt door de toegenomen ont- en afwatering. Daardoor zijn de verlagingen van de GHG aanzienlijk sterker dan die van de GLG. Tussen 1985 en 2020 heeft beperkte stijging van de GHG en GLG plaatsgevonden, die waarschijnlijk het gevolg is van uitgevoerde vernattingsmaatregelen (peilverhogingen, verondiepen en dempen van detailontwatering)



Figuur 5.27: Berekend grondwaterregime opeenvolgende stadia in historische analyse, deelgebied Slabroek ten westen van de Raambreuk

5.5.6 Deelgebied Slabroek oostelijk van de Raambreuk

Figuur 5.28 geeft voor de opeenvolgende stadia het berekende grondwaterregime weer voor het deelgebied Slabroek ten oosten van de Raambreuk. Verlagingen van de GHG en de GLG komen over de verschillende stadia redelijk overeen. Tussen 1900 en 1930 waren de verlagingen zeer beperkt. De sterkste verlagingen van de GHG en GLG worden berekend tussen 1955 en 1985. Tussen 1985 en 2020 hebben vernattingsmaatregelen plaatsgevonden (verhoging stuwpeilen en verondiepen en dempen van detailontwatering), maar onder meer door de toename van het stedelijk areaal en de toename van beregening worden per saldo nog steeds verlagingen van de GHG en GLG berekend.



Figuur 5.28: Berekend grondwaterregime opeenvolgende stadia in historische analyse, deelgebied Slabroek ten oosten van de Raambreuk

6 Effectbepaling maatregelen en onderbouwing maatregelenkaarten

6.1 Algemeen

Hoofdstuk 6 gaat in op de variantenstudie en de afleiding en onderbouwing van de maatregelenkaarten voor de Maashorst. Op basis van de resultaten van de historische analyse is in overleg met de projectgroep en klankbordgroep een groslijst van potentiële, verkennende maatregelen opgesteld. Voor deze verkennende maatregelen zijn met het grond- en oppervlaktewatermodel de effecten op het grond- en oppervlaktewaterregime berekend. De potentiële, verkennende maatregelen zijn soms extreem ingesteld. Dit is gedaan om te zien wat het theoretisch maximale effect of bereik van een bepaalde maatregel is en niet met als doel om de maatregel op die manier uit te voeren.

Na afweging van de hydrologische effecten van de afzonderlijke, verkennende maatregelen zijn gecombineerde maatregelenscenario's samengesteld voor de korte, middellange en lange termijn. Deze gecombineerde scenario's zijn ook doorgerekend met het grond- en oppervlaktewatermodel. Op basis van de berekende hydrologische effecten zijn als laatste stap twee maatregelenkaarten afgeleid, één met maatregelen voor de korte termijn en één met maatregelen voor de lange termijn. Met het grond- en oppervlaktewatermodel zijn de hydrologische effecten berekend voor zowel het korte termijn als het lange termijn maatregelenpakket.

In paragraaf 6.2 beschrijven we de hydrologische referentiesituatie, waarmee de verschillende maatregelen en maatregelenscenario's zijn vergeleken. Er is uitgegaan van de situatie omstreeks 2020, die op enkele punten afwijkt van de situatie, die is gebruikt voor de kalibratie van het grondwatermodel.

Paragraaf 6.3 gaat in op de effectbepaling en analyse van de verkennende maatregelen. Eerst presenteren we de hydrologische effecten van de afzonderlijk doorgerekende verkennende maatregelen. Aan het eind presenteren we een tabel met een samenvattend overzicht van de hydrologische effecten per verkennende maatregel.

In paragraaf 6.4 volgt de effectbepaling en analyse van drie gecombineerde maatregelenscenario's met maatregelen voor de korte, middellange en lange termijn.

Tot slot presenteren we in paragraaf 6.5 de twee maatregelenkaarten voor de korte en lange termijn en de hydrologische effecten van deze maatregelen.

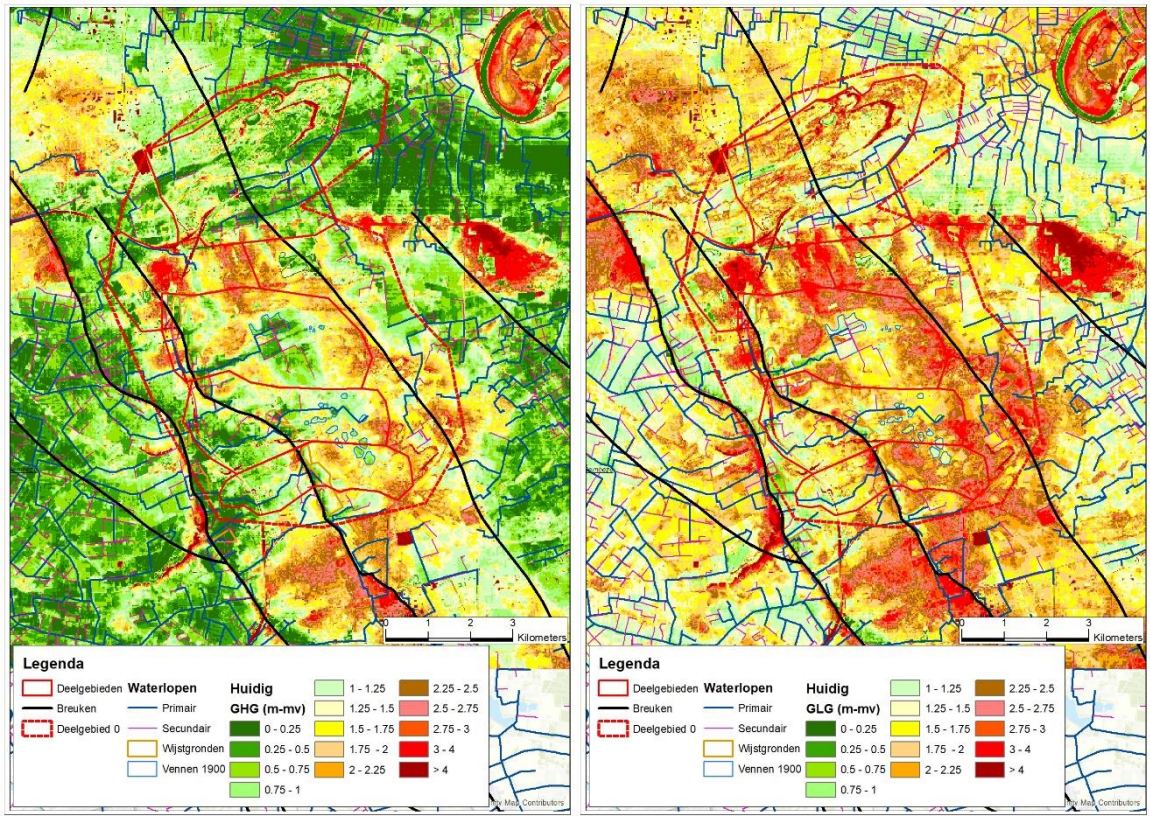
6.2 Referentiesituatie

Als referentiesituatie is voor alle verkennende maatregelen en gecombineerde maatregelenpakketten uitgegaan van de waterhuishoudkundige situatie omstreeks 2020. Deze referentiesituatie wijkt iets af van de situatie, waarop de kalibratie van het grond- en oppervlaktewatermodel is gebaseerd. Naar aanleiding van de droogte in 2018 zijn in verschillende watergangen in en rondom de Maashorst zogenoemde rijplaatstuwen geplaatst. Dit zijn stalen rijplaten, die haaks op de watergang verticaal in de bodem zijn gedrukt en die functioneren als vaste overlaat om in droge perioden zoveel mogelijk water vast te houden in het gebied. Tevens zijn voor verschillende stuwen in het gebied de stuwpeilen structureel verhoogd ten opzichte van de situatie vóór 2018.

Zowel de referentiesituatie als alle verkennende maatregelen en gecombineerde maatregelenpakketten zijn tijdsafhankelijk doorgerekend met het grondwatermodel met de neerslag- en verdampingsreeks van

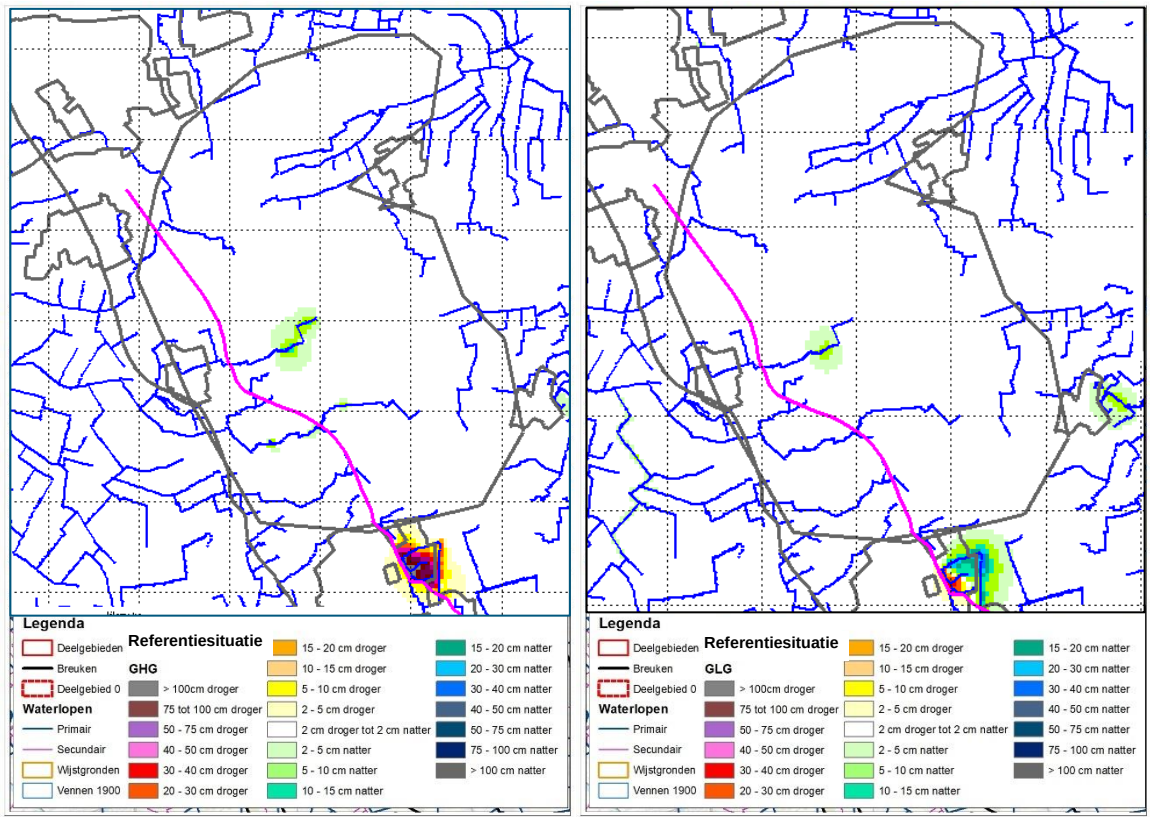
de weerjaren 2010 tot en met 2020. De eerste 3 doorgerekende jaren fungeren steeds als inspeelperiode voor het model. Op basis van de berekende grondwaterstanden voor de weerjaren 2013 tot en met 2020 zijn de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) bepaald.

Figuur 6.1 geeft voor het projectgebied de berekende GHG en GLG in de referentiesituatie (situatie omstreeks 2020) weer.



Figuur 6.1: Berekende GHG en GLG voor referentiesituatie voor alle doorgerekende maatregelen (situatie omstreeks 2020)

Figuur 6.2 geeft de berekende veranderingen weer van de GHG en GLG in de referentiesituatie (omstreeks 2020) ten opzichte van de situatie vóór 2018. De rijplaatstuwen en verhoogde stuwpeilen hebben lokaal in het gebied geleid tot beperkte verhogingen van de GHG en GLG.



Figuur 6.2: Berekende veranderingen GHG en GLG referentiesituatie (omstreeks 2020) ten opzichte van situatie vóór 2018

6.3 Effectbepaling en analyse verkennende maatregelen

6.3.1 Overzicht verkennende maatregelen

Samen met de projectgroep is een inventarisatie gemaakt van een aantal potentiële, verkennende maatregelen, die vervolgens zijn doorgerekend met het grond- en oppervlaktewatermodel. Alle verkennende maatregelen zijn gericht op structurele vernatting van de Maashorst. De verkennende maatregelen zijn soms in extreme vorm doorgevoerd en zijn daardoor meestal theoretisch van aard. Dit is gedaan om inzicht te verkrijgen in de reikwijdte van de afzonderlijke maatregelen, om na verdere analyse en afweging te komen tot realistische maatregelenpakketten voor de korte, middellange en lange termijn.

Onderstaande tabel 6.1 geeft een overzicht van alle doorgerekende verkennende maatregelen. In de volgende subparagrafen worden de hydrologische effecten per verkennende maatregel gepresenteerd en toegelicht.

Tabel 6.1: Overzicht doorgerekende verkennende maatregelen

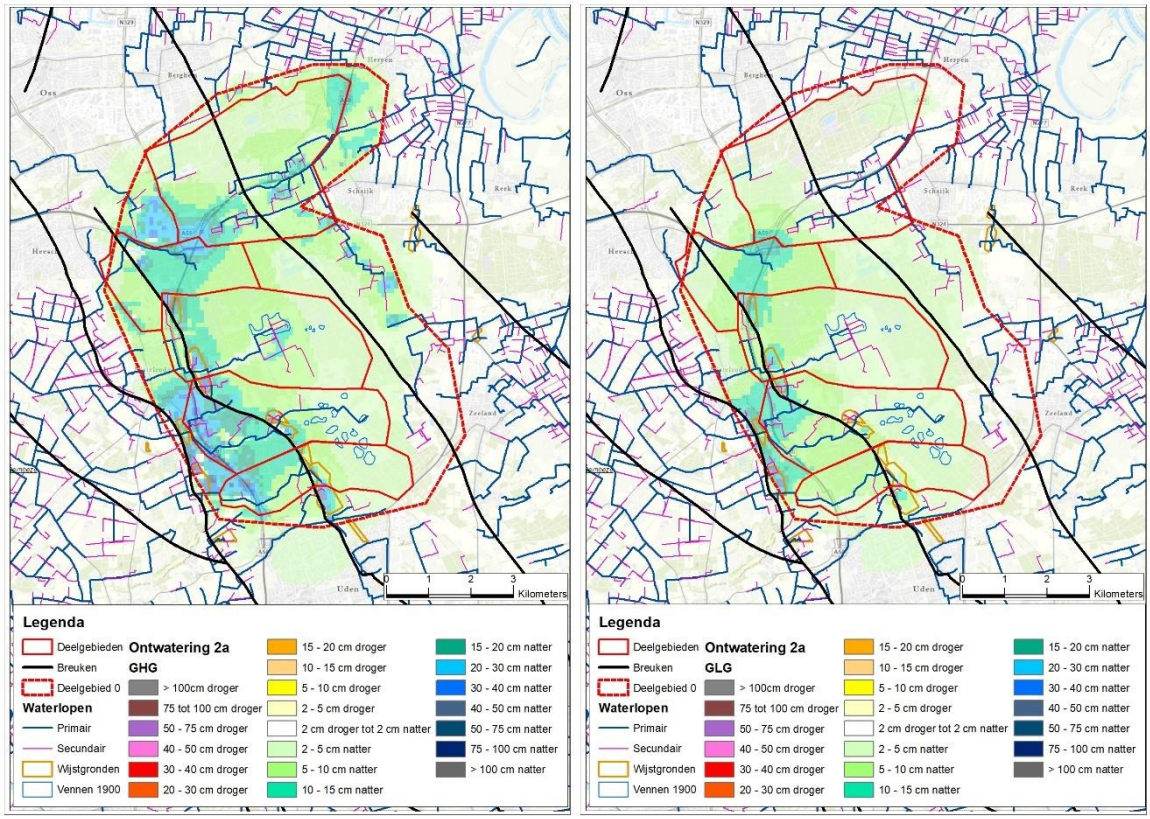
Nummer	Omschrijving verkennende maatregel
2a	Alle kavelsloten, greppels en buisdrainage in projectgebied verwijderen
2b	Alle kavelsloten, greppels en buisdrainage op horst verwijderen (oostelijk van Raambreuk)
2c	Alle hoofdwatergangen dempen en omvormen naar doorstroommoerassen
2d	Alle hoofdwatergangen verondiepen tot maximaal 50 cm onder maaiveld
2e	Alle ont- en afwatering Maashorst dempen of verwijderen
2f	Alle bestaande stuwen tot aan maaiveld opzetten
3a	Hemelwater van 100% van het stedelijk gebied afkoppelen en ter plaatse infiltreren in het grondwater
4a	Alle beregening uit grondwater stopzetten in projectgebied Maashorst
4b	Alle beregening uit grondwater stopzetten in het gebied ten oosten van de Raambreuk
5a	Verwijderen van de ont- en afwatering van de A50
6a	Water aanvoeren van elders (0,5 m^3/s) en infiltreren in centrale deel Maashorst met infiltratieputten
7a	Volledige bosareaal op de Maashorst omzetten naar heide
7b	Alle -als nieuwe natuur begrensde- agrarische percelen omzetten naar natuur (o.b.v. Ambitiekaart Natuur van de provincie Noord-Brabant)

6.3.2 Verkennende maatregel 2a: Alle kavelsloten, greppels en buisdrainage in projectgebied verwijderen

Figuur 6.3 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer als gevolg van het verwijderen van alle tertiaire ontwatering, zoals kavelsloten, greppels en buisdrainage in het projectgebied Maashorst, t.o.v. de referentiesituatie.

Het verwijderen van de tertiaire ontwatering heeft een groter effect op de GHG dan op de GLG. De sterkste grondwaterstandsverhogingen zijn te verwachten in het westelijk deel van het projectgebied Maashorst, met name in het deelgebied Slabroek ten westen van de Raambreuk en in de omgeving van het Palmven en het gebied ten westen van Heesch. Hier worden GHG-stijgingen berekend tot ongeveer 40 cm en GLG-stijgingen tot ongeveer 15 cm. Er worden ook GHG-verhogingen berekend in de ontwaterde landbouwgebieden rondom Schaijk (tot maximaal ongeveer 20 cm). Buiten het projectgebied worden nauwelijks verhogingen van de GHG en GLG berekend; lokaal is sprake van stijgingen tot 2 à 5 cm.

In de hogere delen van de Maashorst en het Herperduin zorgt het verwijderen van de tertiaire ontwatering slechts voor beperkte effecten op de grondwaterstanden. De berekende stijgingen van de GHG en GLG liggen hier veelal tussen 2 en 5 cm.

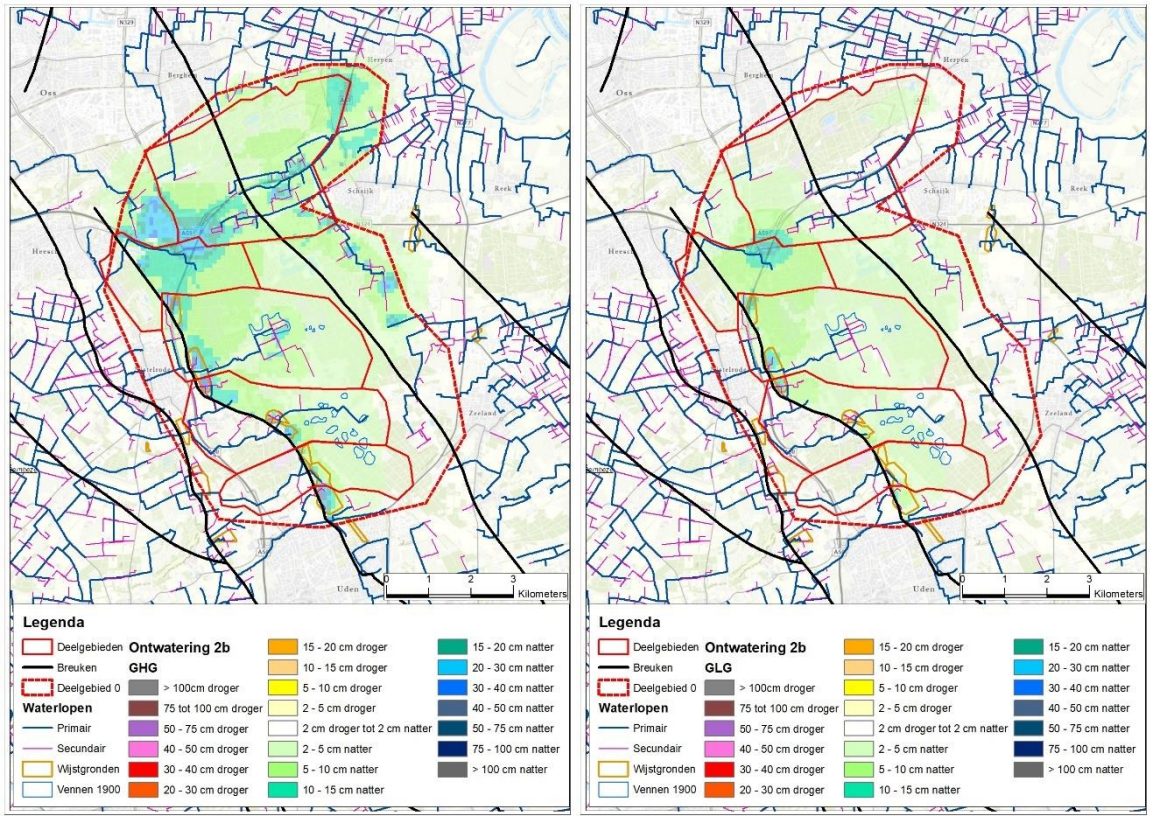


Figuur 6.3: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 2a (verwijderen tertiaire ontwatering) t.o.v. referentiesituatie

6.3.3 Verkennende maatregel 2b: alle kavelsloten, greppels en buisdrainage op horst verwijderen (oostelijk van Raambreuk)

Figuur 6.4 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG t.o.v. de referentiesituatie weer als gevolg van het verwijderen van alle tertiaire ontwatering, zoals kavelsloten, greppels en buisdrainage, in het oostelijk deel van de Maashorst (alleen het deelgebied ten oosten van de Raambreuk).

In het gebied ten oosten van de Raambreuk komen de berekende effecten grotendeels overeen met die van verkennende maatregel 2a. Ten westen van de Raambreuk worden nauwelijks grondwaterstandsverhogingen berekend.



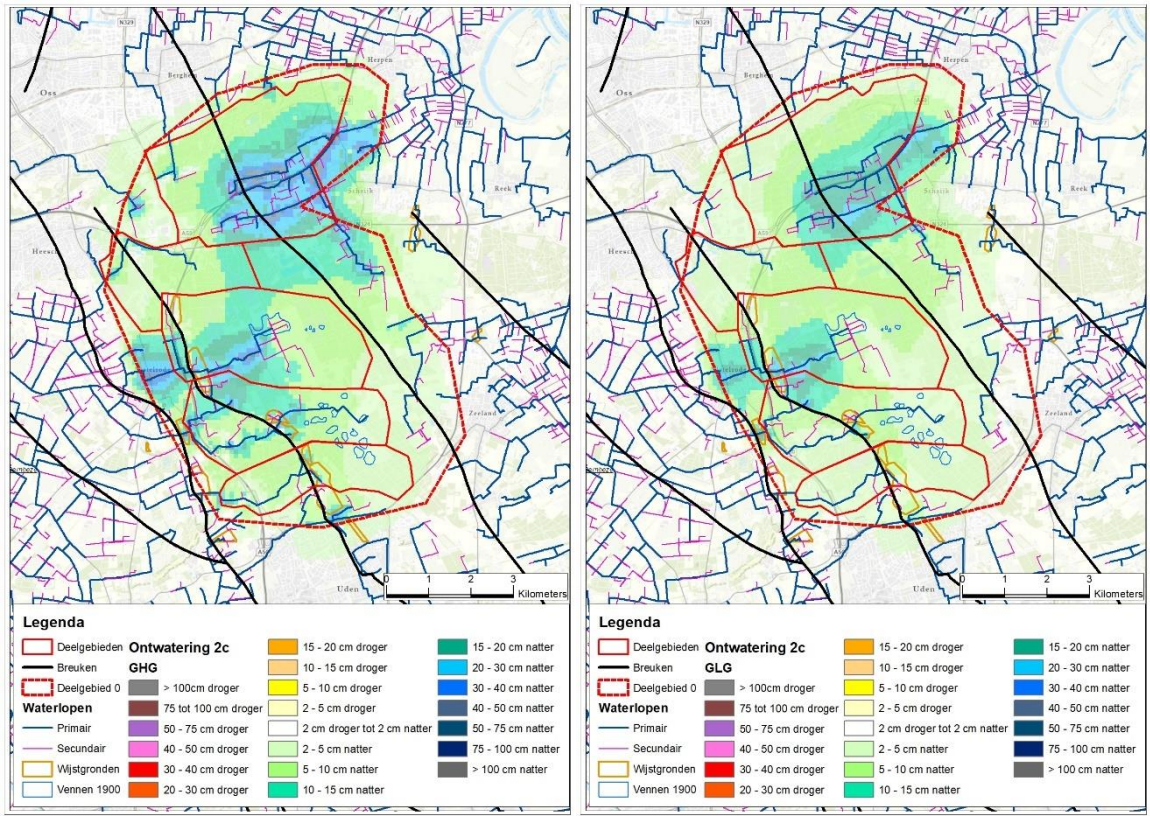
Figuur 6.4: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 2b (verwijderen tertiaire ontwatering in gebiedsdeel ten oosten van de Raambreuk) t.o.v. referentiesituatie

6.3.4 Verkennende maatregel 2c: alle hoofdwatergangen dempen en omvormen naar doorstroommoerassen

Figuur 6.5 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer t.o.v. de referentiesituatie, als gevolg van het dempen van alle hoofdwatergangen in het projectgebied Maashorst en het omvormen van de laagtes langs de hoofdwatergangen naar doorstroommoerassen.

Het dempen van de hoofdwatergangen heeft een groter effect op de GHG dan op de GLG. Het dempen van de meer noordelijk watergangen rondom Schaijk en de Palmvenloop zorgt voor verhogingen van de GHG en GLG van respectievelijk 30 - 40 cm en 15 - 20 cm. Bij de Venloop en de andere watergangen in het zuidelijk deel van het projectgebied worden minder sterke verhogingen berekend (10 à 15 cm voor de GHG en 5 à 10 cm voor de GLG).

Buiten het projectgebied worden nauwelijks verhogingen van de GHG en GLG berekend; lokaal is sprake van stijgingen tot 2 à 5 cm.



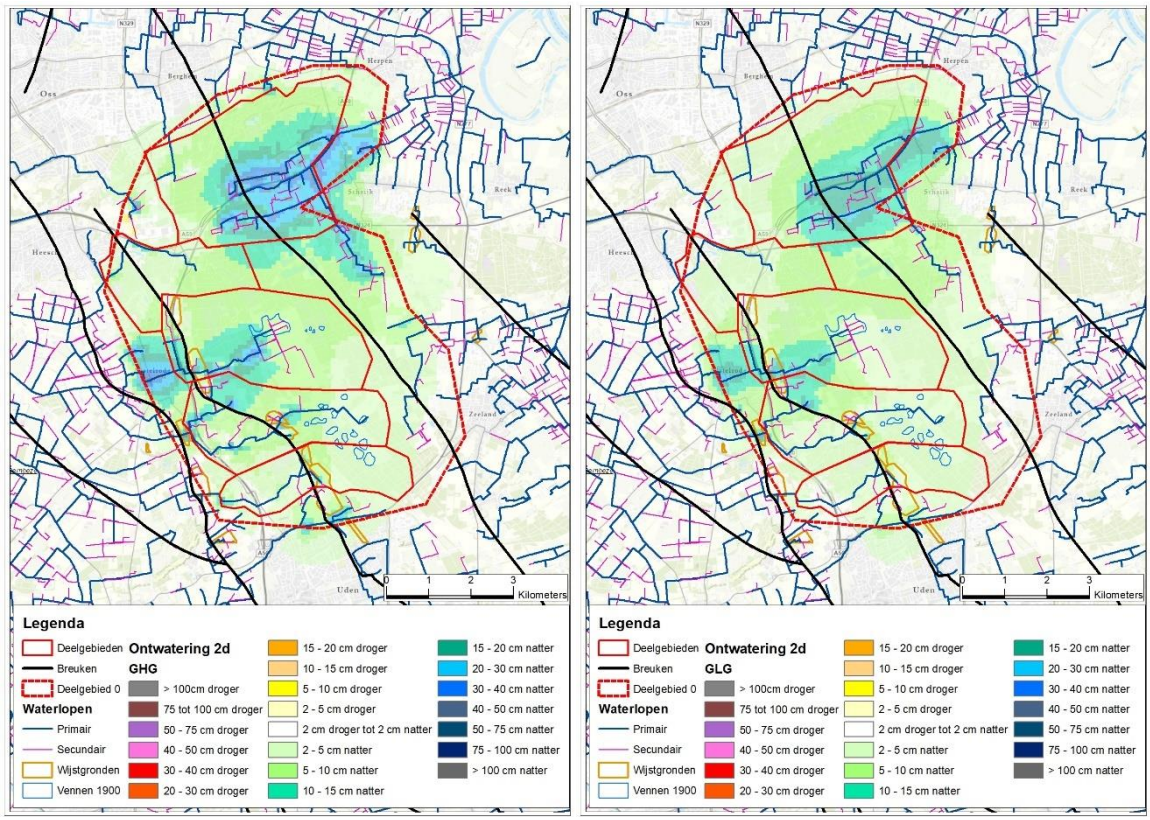
Figuur 6.5: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 2c (dempen hoofdwatergangen en omvormen naar doorstroommoerassen) t.o.v. referentiesituatie

6.3.5 Verkennende maatregel 2d: alle hoofdwatergangen verondiepen tot maximaal 50 cm onder maaiveld

Figuur 6.6 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer t.o.v. de referentiesituatie als gevolg van het verondiepen van alle hoofdwatergangen in het projectgebied Maashorst tot maximaal 50 cm onder maaiveld. Het verondiepen van de hoofdwatergangen is gesimuleerd door de waterstand jaarrond tot 50 cm beneden het maaiveld op te zetten.

Het verondiepen van de hoofdwatergangen heeft meer effect op de GHG dan op de GLG. In het noordelijk deel van het projectgebied, rondom Schaijk en de Palmvenloop worden verhogingen van de GHG en GLG berekend van respectievelijk 20 à 30 cm en 15 à 20 cm. Bij de Venloop en de andere watergangen in het zuidelijk deel van het projectgebied worden minder sterke verhogingen berekend (10 à 15 cm voor de GHG en 5 à 10 cm voor de GLG).

Buiten het projectgebied worden nauwelijks verhogingen van de GHG en GLG berekend; lokaal is sprake van stijgingen tot 2 à 5 cm.



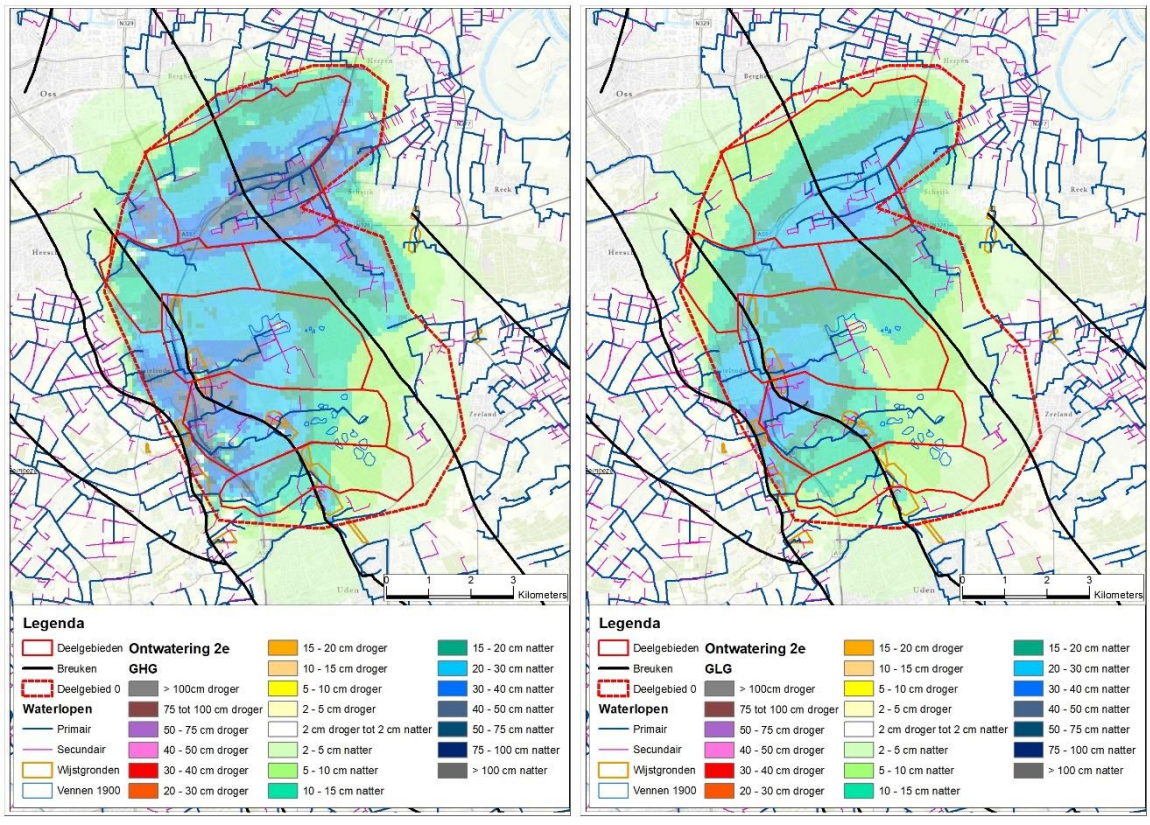
Figuur 6.6: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 2d (alle hoofdwatergangen verondiepen tot maximaal 50 cm onder maaiveld) t.o.v. referentiesituatie

6.3.6 Verkennende maatregel 2e: alle ont- en afwatering dempen in het projectgebied Maashorst

Dit scenario omvat het dempen van zowel alle hoofdwaterlopen (maatregel 2c) als alle overige ontwatering (maatregel 2a). Het berekende effect is groter dan beide losse maatregelen, doordat in de gecombineerde maatregelen geen enkele ontwatering meer aanwezig is. In de twee losse maatregelen is resp. nog primaire ontwatering of detailontwatering en buisdrainage aanwezig. Figuur 6.7 geeft de berekende effecten op de GHG en GLG weer.

Het dempen van alle ont- en afwatering heeft meer effect op de GHG dan op de GLG. In grote delen van het projectgebied, met name in de lagere delen, waar veel hoofdwatergangen en tertiaire ontwatering aanwezig zijn, worden forse grondwaterstandsverhogingen berekend. Voor wat betreft de GHG zijn verhogingen te verwachten van 2 tot 5 cm in het meest zuidoostelijke deel van de Maashorst tot meer dan 1 meter in de laagtes rondom de Palmvenloop, ten zuiden van Schaijk, rondom de Venloop en de andere hoofdwaterlopen in het zuidwestelijke deel van de Maashorst. De verhogingen van de GLG variëren tussen 2 tot 5 cm in het meest zuidoostelijke deel van de Maashorst tot maximaal ongeveer 50 cm in het gebied ten zuiden van Schaijk en rondom de Venloop.

De uitstraling van de grondwatereffecten naar de zone buiten het projectgebied blijven in het algemeen beperkt tot 2 à 5 cm. Alleen ten oosten van het projectgebied, rondom Schaijk, en ten noordwesten van het projectgebied, in een zone tussen Heesch en Berghem, treden grotere uitstralingseffecten op. Hier worden lokaal GHG-verhogingen tot maximaal 40 cm en GLG-verhogingen tot maximaal 30 cm berekend (buiten het projectgebied).

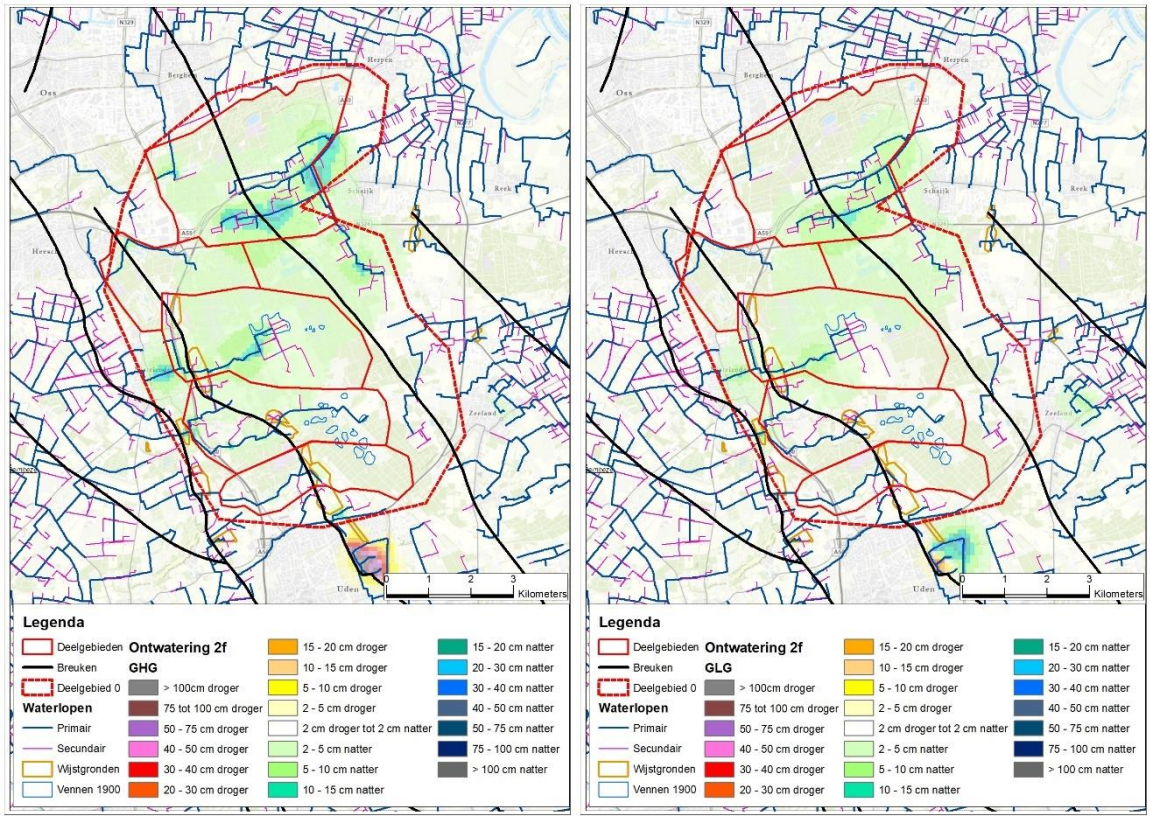


Figuur 6.7: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 2e (dempen alle ont- en afwatering) t.o.v. referentiesituatie

6.3.7 Verkennende maatregel 2f: bestaande stuwen tot aan maaiveld opzetten

Figuur 6.8 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer als gevolg van het opzetten van de bestaande stuwen tot aan maaiveldniveau in het projectgebied Maashorst, t.o.v. de referentiesituatie. Deze maatregel is in 2019 al gerealiseerd voor de Palmvenloop, rondom Heesch, de Venloop en het Hultje; deze peilverhogingen zijn al meegenomen in de referentiesituatie. Aanvullend worden in dit scenario ook de bestaande stuwen maximaal opgezet in de Munsche Wetering, het Straatsven en het gebied tussen de A50 en het Herperduin.

Het maximaal opzetten van de bestaande stuwen heeft meer effect op de GHG dan op de GLG. De berekende verhogingen van de GHG bedragen maximaal 15 tot 20 cm (m.n. bij de Munsche Wetering). De berekende verhogingen van de GLG bedragen maximaal 10 tot 15 cm. Buiten het projectgebied worden vrijwel geen verhogingen van de GHG en GLG berekend.



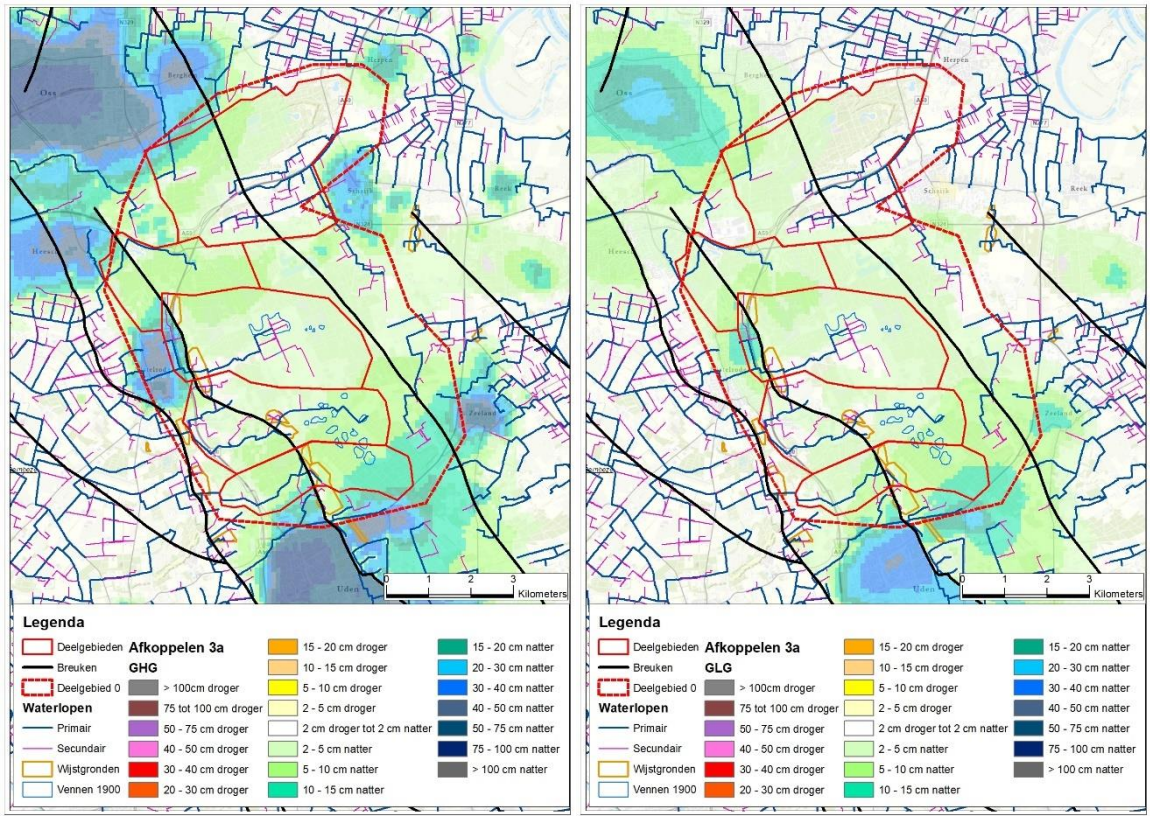
Figuur 6.8: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 2f (maximaal opzetten peil bestaande stuwen) t.o.v. referentiesituatie

6.3.8 Verkennende maatregel 3a: 100% stedelijk gebied afkoppelen en ter plaatse infiltreren in het grondwater

Figuur 6.9 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer als gevolg van het afkoppelen en ter plaatse infiltreren van al het hemelwater van al het stedelijk gebied rondom de Maashorst, t.o.v. de referentiesituatie. Het afkoppelen is gesimuleerd door het stedelijk oppervlak in de stedelijke kernen te verminderen, waardoor een groter gedeelte van de stad een natuurlijk karakter krijgt waar het hemelwater kan infiltreren. Het volledig afkoppelen van stedelijke kernen is nog niet een realistisch doel.

Het afkoppelen van stedelijk gebied heeft meer effect op de GHG dan op de GLG. In en direct rondom de bebouwde kernen Oss, Heesch, Nistelrode, Uden, Schaijk en Berghem worden GHG-verhogingen berekend tot maximaal 75 à 100 cm en GLG-verhogingen van maximaal 30 à 40 cm.

Het afkoppelen van het stedelijke gebied straalt uit tot ver buiten de stedelijke kernen en zorgt in vrijwel het gehele projectgebied Maashorst voor grondwaterstandsverhogingen. De verhogingen van de GHG bedragen vrijwel overal meer dan 5 cm, met uitzondering van de laagte rondom de Munsche Wetering ten zuiden van het Herperduin. In het zuidelijk deel van het projectgebied, ten noordoosten van Uden, worden zelfs GHG-verhogingen van 15 tot 30 cm berekend. De berekende GLG-verhogingen variëren tussen 2 à 5 cm in het centrale en noordelijke deel van het projectgebied tot maximaal 10 à 15 cm in de zuidelijke delen van het projectgebied.



Figuur 6.9: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 3a (afkoppelen stedelijk gebied 100%) t.o.v. referentiesituatie

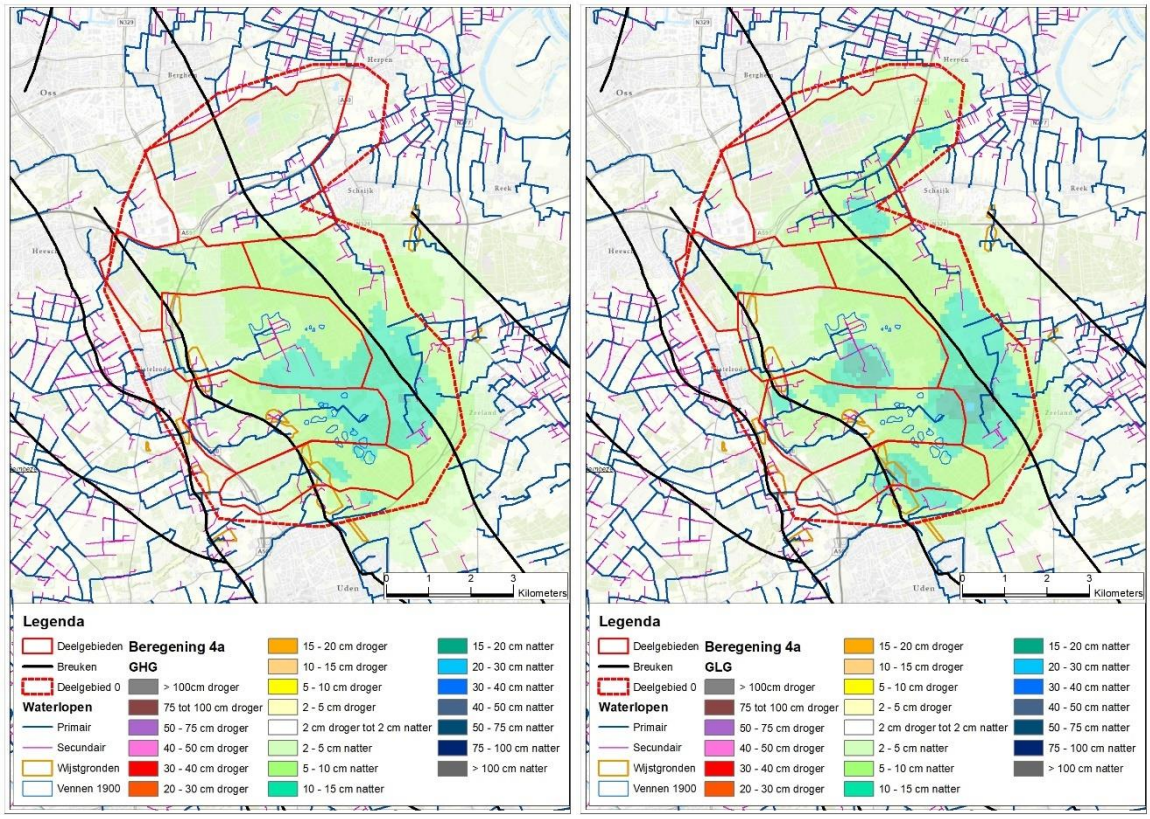
6.3.9 Verkennende maatregel 4a: alle beregening stopzetten in projectgebied Maashorst

Figuur 6.10 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer als gevolg van het stopzetten van de beregening in het gehele projectgebied (rood omkaderde lijn Figuur 6.10) de Maashorst, t.o.v. de referentiesituatie.

Het stopzetten van de beregening in het gehele projectgebied, dus ook buiten de NNB percelen, heeft meer effect op de GLG dan op de GHG. Beregening vindt alleen plaats in de zomermaanden, maar de grondwatereffecten werken vertraagd in het systeem door in de wintermaanden, waardoor er ook GHG-verhogingen worden berekend. De sterkste effecten worden berekend in het centrale, oostelijke en zuidoostelijke deel van het projectgebied. Hier bedragen de berekende verhogingen van de GLG maximaal 20 tot 30 cm en de GHG-verhogingen maximaal 10 tot 15 cm.

In Herperduin worden nauwelijks effecten berekend, omdat daar in de huidige situatie niet beregend wordt. De effecten ter plaatse van het landbouwareaal rondom Schaijk werken niet door tot in het Herperduin.

Buiten de begrenzing van het projectgebied leidt het stopzetten van beregening nauwelijks tot grondwatereffecten. Alleen ten zuiden van Schaijk worden buiten de begrenzing van het projectgebied grondwaterstandsverhogingen tot maximaal 10 cm berekend.



Figuur 6.10: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 4a (alle beregening stopzetten) t.o.v. referentiesituatie

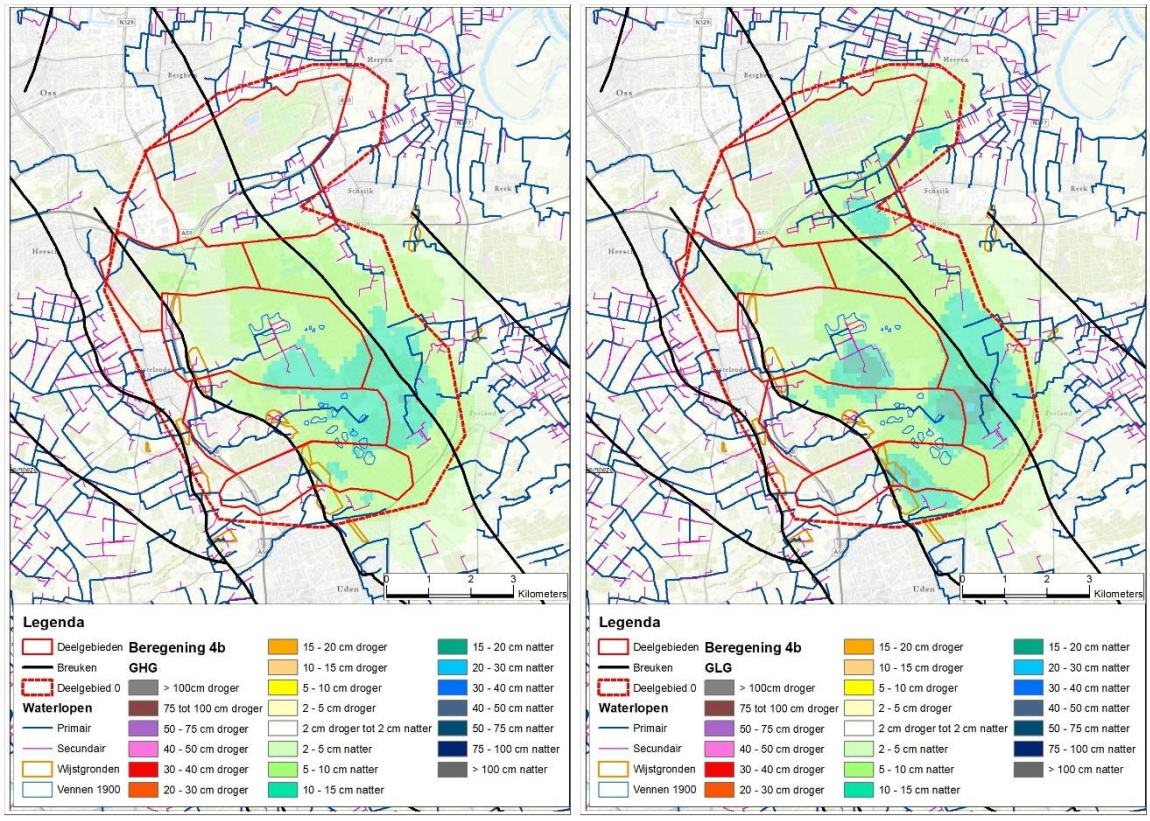
6.3.10 Verkennende maatregel 4b: alle beregening stopzetten ten oosten van de Raambreuk

Figuur 6.11 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer als gevolg van het stopzetten van de beregening in het projectgebied ten oosten van de Raambreuk, t.o.v. de referentiesituatie.

Het stopzetten van de beregening heeft meer effect op de GLG dan op de GHG. Beregening vindt alleen plaats in de zomermaanden, maar de grondwatereffecten werken vertraagd in het systeem door in de wintermaanden, waardoor er ook GHG-verhogingen worden berekend. De sterkste effecten worden berekend in het centrale, oostelijke en zuidoostelijke deel van het projectgebied. Hier bedragen de berekende verhogingen van de GLG maximaal 20 tot 30 cm en de GHG-verhogingen maximaal 10 tot 15 cm. Westelijk van de Raambreuk worden nauwelijks effecten berekend (aangezien in dit scenario de beregening daar wordt gehandhaafd).

In Herperduin worden nauwelijks effecten berekend, omdat daar in de huidige situatie niet beregend wordt. De effecten ter plaatse van het landbouwareaal rondom Schaijk werken niet door tot in het Herperduin. Het stopzetten van de beregening ten westen van Zeeland zorgt voor het grootste deel voor de verhoging van de grondwaterstanden in het NNB-gebied op de Maashorst.

Buiten de begrenzing van het projectgebied leidt het stopzetten van beregening nauwelijks tot grondwatereffecten. Alleen ten zuiden van Schaijk worden buiten de begrenzing van het projectgebied grondwaterstandsverhogingen tot maximaal 10 cm berekend.

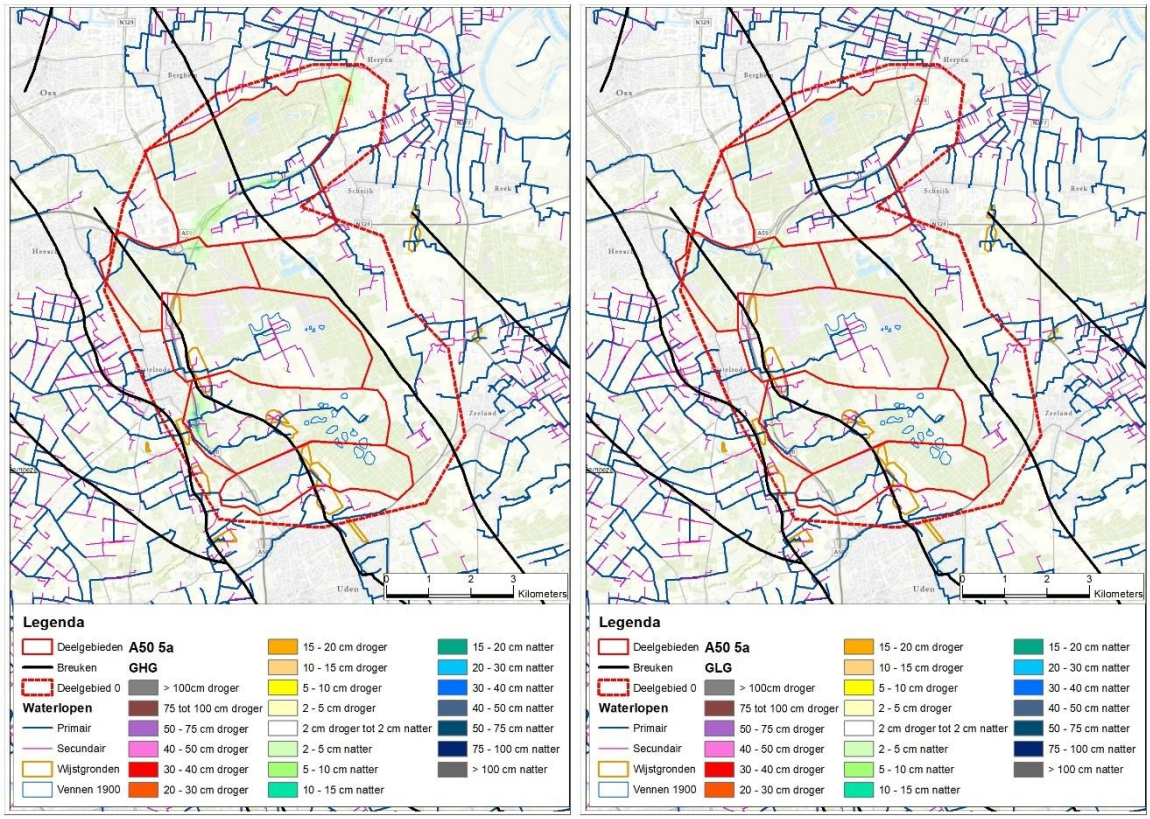


Figuur 6.11: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 4b (alle beregening stopzetten in het deelgebied ten oosten van de Raambreuk) t.o.v. referentiesituatie

6.3.11 Verkennende maatregel 5a: verwijderen van ont- en afwatering A50

Figuur 6.12 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer als gevolg van het verwijderen van de af- en ontwatering langs de A50, t.o.v. de referentiesituatie.

De grondwatereffecten als gevolg van deze maatregel zijn beperkt. Lokaal worden in de zone langs de A50 verhogingen van de GHG en GLG berekend van 2 tot 5 cm. De sterkste verhogingen worden berekend ten zuiden van Herperduin en bij de kruising van de Venloop met de A50. Tijdens de streekbijeenkomsten is aangegeven dat de A50 tussen Herperduin en de Maashorst diverse waterlopen doorsnijd waardoor er geen water meer naar Herperduin stroomt zoals voor de aanleg van de A50 wel het geval was. Uit historische analyse van kaart materiaal blijkt dat hier geen sprake van is. De waterlopen structuur is nagenoeg ongewijzigd gebleven voor en na aanleg van de A50. Er vond geen aanvoer plaats vanuit zuidelijk gebied. Een samenloop van activiteiten is wel van invloed geweest op een grotere afwatering van het gebied rondom de A50. In de jaren 70 is de A50 aangelegd. In diezelfde periode heeft ruilverkaveling plaats gevonden waardoor de meeste bestaande waterlopen groter en dieper zijn geworden waarbij de drooglegging is toegenomen zoals ook in de historische analyse wordt geconcludeerd.

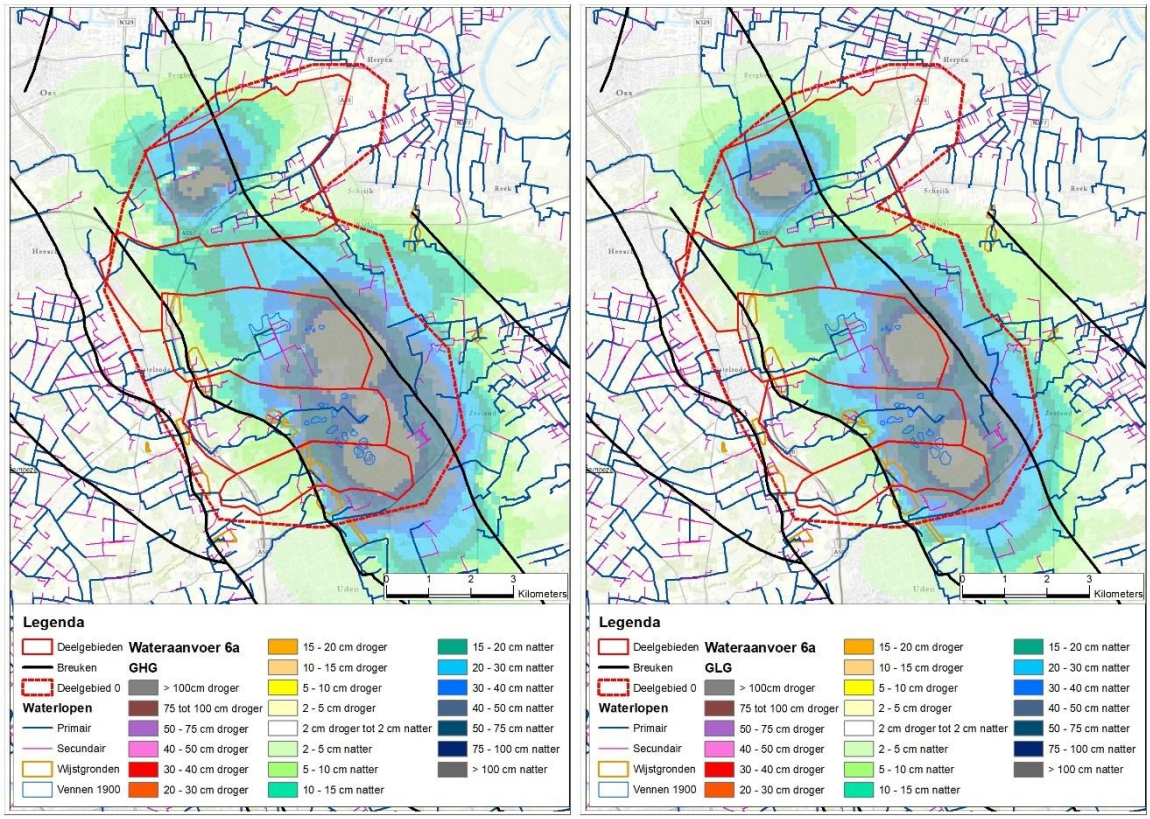


Figuur 6.12: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 5a (afwatering A50 dempen) t.o.v. referentiesituatie

6.3.12 Verkennende maatregel 6a: wateraanvoer van elders (0,5 m³/s) en infiltreren met infiltratieputten

Figuur 6.13 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG t.o.v. de referentiesituatie weer, als gevolg van het infiltreren van water van elders (0,5 m³/s) met infiltratieputten in het eerste watervoerende pakket. De infiltratielocaties liggen in het Herperduin en het centrale en zuidoostelijke deel van de Maashorst. Trainees van Waterschap Aa en Maas hebben parallel aan deze studie een rapport opgesteld waarbij in meer detail gekeken is naar mogelijkheden van wateraanvoer van elders, waarbij gekeken is naar verschillende hoeveelheden en infiltratiemogelijkheden. Hieruit is gebleken dat een infiltratiecapaciteit van 0,5 m³/s aan de hoge kant is, waardoor veel water niet in de bodem terecht komt maar afvloeit. Een halvering van de infiltratiecapaciteit (naar 0,25 m³/s) leidt tot vergelijkbare verhogingen blijkt uit dat onderzoek. Daarnaast lijken infiltratievelden een efficiënt en goedkopere manier te zijn om water de bodem in te krijgen.

Het infiltreren van water van elders heeft meer effect op de GHG dan op de GLG. Ten opzichte van de andere verkennende maatregelen zijn de effecten zeer fors. In een brede zone rondom de infiltratieputten worden verhogingen van meer dan 1 meter berekend, voor zowel de GHG als de GLG. Ook buiten de begrenzingen van het projectgebied worden forse grondwaterstandsverhogingen berekend. De infiltratie in het zuidoostelijke deel van de Maashorst zorgt binnen het bebouwde gebied van Uden tot GHG-verhogingen van maximaal 30 tot 40 cm en GLG-verhogingen van maximaal 20 tot 30 cm. In het bebouwde gebied van Oss worden als gevolg van de infiltratieputten in het Herperduin grondwaterstandsverhogingen van 2 tot 5 cm berekend. In het deelgebied ten westen van de Raambreuk blijven de grondwatereffecten relatief beperkt. Alleen in het zuidwestelijk deel van het projectgebied, rondom de Venloop en Slabroek, worden verhogingen van de GHG en GLG berekend tot maximaal 10 cm.



Figuur 6.13: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 6a (wateraanvoer van elders door infiltratieputten in het eerste watervoerende pakket), t.o.v. referentiesituatie

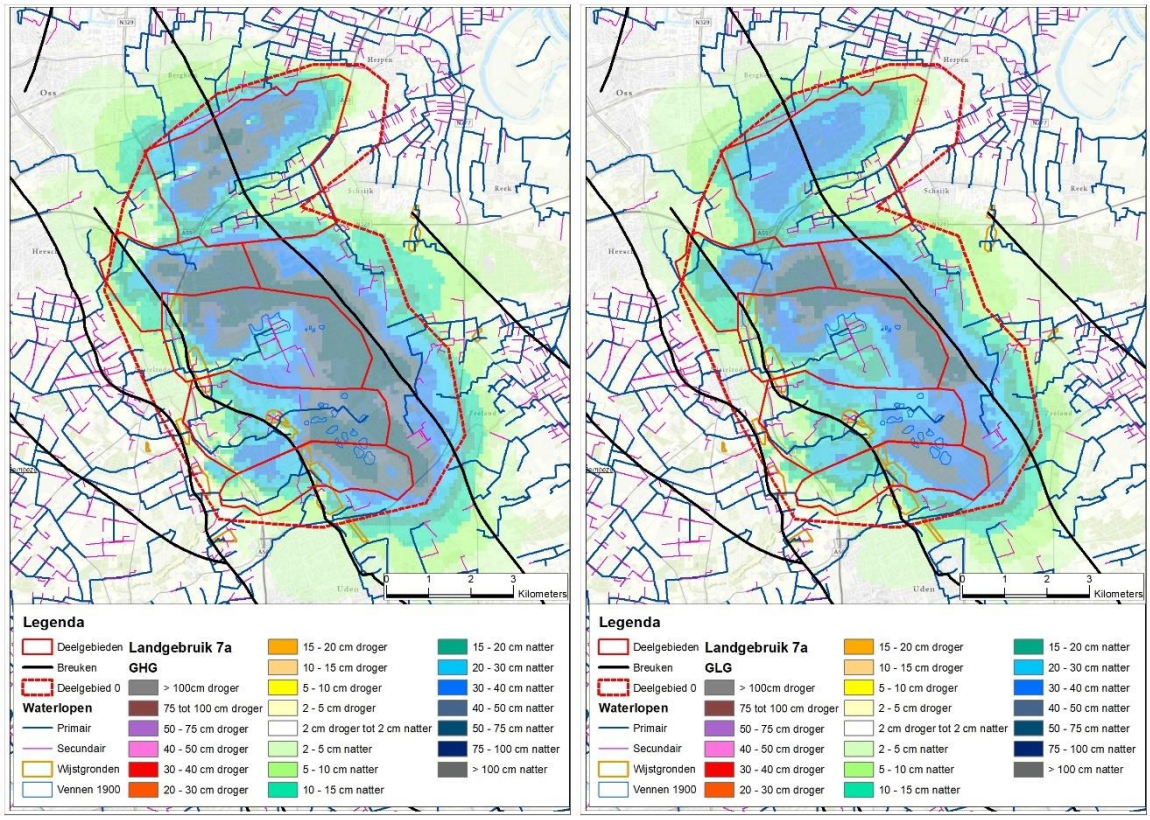
6.3.13 Verkennende maatregel 7a: omzetten van bos naar heide in het projectgebied Maashorst

Het grondwatermodel gaat niet goed om met het landgebruikstype heide. Voor deze maatregel geldt dus dat al het bos omzetten naar heide niet correct gegaan is. Het landgebruikstype heide wordt omgezet naar grasland. In deze maatregel wordt dus de omzetting van bos naar grasland doorgerekend. Dit is na de verkennende fase geconstateerd en is wel meegenomen in de uiteindelijk voorkeursmaatregelpakketten.

Figuur 6.14 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer als gevolg van het omzetten van het volledige areaal bos in het projectgebied Maashorst, t.o.v. van de referentiesituatie.

Het omzetten van bos heeft meer effect op de GHG dan op de GLG. Zowel voor de GHG als voor de GLG worden in grote delen van de Maashorst verhogingen tot maximaal 50 tot 70 cm berekend. In Herperduin wordt voor de GLG een verhoging van 30 tot 40 cm berekend.

Ook buiten de begrenzingen van het projectgebied worden forse grondwaterstandsverhogingen berekend. Vrijwel overal rondom het projectgebied worden (buiten het projectgebied) verhogingen van de GHG en GLG tot maximaal 10 à 15 cm berekend. Ten noordoosten van Uden zijn de uitstralingseffecten het sterkst; hier worden buiten het projectgebied GHG-verhogingen tot 20 à 30 cm en GLG-verhogingen tot 15 à 20 cm berekend.

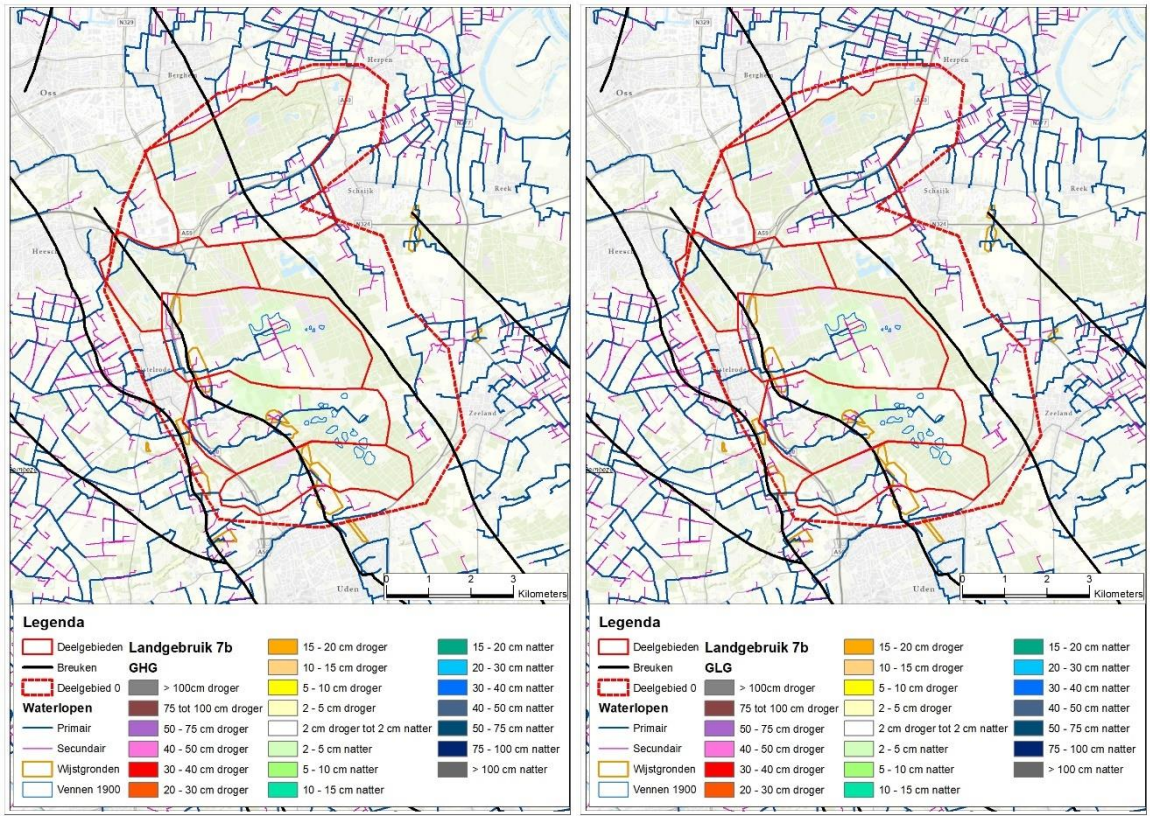


Figuur 6.14: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 7a (omzetting bos naar heide) t.o.v. referentiesituatie

6.3.14 Verkennende maatregel 7b: omzetten van landbouwpercelen binnen natuurnetwerk naar natuur in het projectgebied Maashorst

Figuur 6.15 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer als gevolg van de omzetting van landbouwpercelen naar natuur in het projectgebied Maashorst, t.o.v. van de referentiesituatie. Niet het volledige projectgebied heeft de ambitie om natuur te worden. Enkel de percelen waarvoor een natuurambitie is beschreven worden omgezet naar natuur. In verkennende maatregel 4a wordt de beregening in alle percelen in het projectgebied uitgezet. In maatregel 7b wordt slechts een gedeelte landbouwgrond omgezet en beregening uitgezet. In maatregel 4a worden de percelen ten westen van Schaijk en ten westen van Zeeland niet meer beregenend, terwijl in maatregel 7b de beregening in werking blijft.

De grondwatereffecten als gevolg van het omzetten van de nog resterende landbouwpercelen binnen het Natuurnetwerk Brabant (NNB) naar natuur zijn -ten opzichte van de andere verkennende maatregelen- gering. Lokaal, met name in het bovenstroomse deel van de Palmvenloop, worden verhogingen van de GHG en GLG berekend van 2 tot 5 cm. Dit effect komt hoofdzakelijk door het stopzetten van de beregening en het lokaal dempen van kavelsloten.



Figuur 6.15: Grondwaterstandsverandering GHG en GLG van verkennende maatregel 7b (omzetting resterende landbouwpercelen binnen NNB naar natuur) t.o.v. referentiesituatie

6.3.15 Samenvatting en afweging hydrologische effecten verkennende maatregelen

In de onderstaande Tabel 6.2 zijn de hydrologische effecten als gevolg van de verkennende maatregelen samengevat en afgewogen. Per verkennende maatregel zijn de hydrologische effecten samengevat in de volgende parameters:

- Gemiddelde verhoging GHG over projectgebied (m)
- Gemiddelde verhoging GLG over projectgebied (m)
- Hydrologische effecten binnen projectgebied in natte grondwaterafhankelijke natuur, wijstgebieden, vennen en natte laagtes:
    - Gemiddelde verandering kwel in wijstgebieden (mm/d)
    - Gemiddelde verandering GLG in wijstgebieden (m)
    - Gemiddelde verandering GLG in vennen en natte laagtes (m)

Tabel 6.2: Samenvatting en afweging hydrologische effecten verkennende maatregelen

		Gemiddelde verandering over gehele projectgebied (in m) van:		Hydrologische effecten in natte natuur, wijstgebieden, vennen en laagtes		
	Verkennende maatregel	GHG	GLG	verandering kwel wijstgebieden (mm/d)	verandering GLG wijstgebieden (m)	verandering GLG vennen en laagtes (m)
2a	Alle kavelsloten, greppels en buisdrainage in projectgebied verwijderen	0,08	0,04	0,0	0,09	0,03
2b	Alle kavelsloten, greppels en buisdrainage op horst verwijderen (oostelijk van Raambreuk)	0,05	0,03	0,0	0,05	0,02
2c	Alle hoofdwatergangen dempen en omvormen naar doorstroommoerassen.	0,10	0,07	0,0	0,07	0,05
2d	Alle hoofdwatergangen verondiepen tot maximaal 50 cm onder maaiveld.	0,09	0,06	0,0	0,05	0,04
2e	Alle ont- en afwatering Maashorst dempen/verwijderen (=2a+2c)	0,23	0,14	0,0	0,18	0,09
2f	In delen van de Maashorst stuwen plaatsen en deze tot aan maaiveld opzetten.	0,03	0,02	0,0	0,02	0,02
3a	100% stedelijk gebied afkoppelen en ter plaatse infiltreren in grondwater	0,06	0,04	0,0	0,03	0,04
4a	Alle beregening stopzetten in projectgebied Maashorst	0,05	0,06	2,5	0,05	0,09
4b	Alle beregening stopzetten op de Horst, gebied ten oosten van de Raambreuk	0,05	0,06	1,4	0,04	0,09
5a	Ont- en afwatering A50 uit model halen.	0,005	0,002	0,0	0,001	0,000
6a	Water aanvoeren van elders (0,5 m^3/s), infiltratieputten midden op de Maashorst en in Herperduin	0,37	0,32	6,2	0,12	0,55
7a	Al het bos omzetten naar heide	0,29	0,23	0,0	0,09	0,25
7b	Alle nog om te vormen agrarische percelen omzetten naar natuur (o.b.v. beheertypenkaart / ambitiekaart Natuur Provincie)	0,005	0,008	0,0	0,004	0,04

In de tabel is per maatregel is in de vorm van een kleurtint een indicatie van de effectiviteit weergegeven:

- Blauw: zeer effectief
- Lichtblauw: gemiddeld effectief
- Grijs: minder effectief.

De als zeer effectief en gemiddeld effectief beoordeelde maatregelen zijn verder opgenomen in de gecombineerde maatregelenpakketten voor de korte, middellange en lange termijn.

In het geval van de langere termijn maatregelpakketten zouden eventueel in vervolgtrajecten maatregelen met betrekking tot beregening van land- en tuinbouwgewassen binnen en buiten het projectgebied Maashorst bekeken kunnen worden.

6.4 Uitwerking gecombineerde maatregelenpakketten

6.4.1 Algemeen

In de gecombineerde maatregelenpakketten zijn alleen de verkennende maatregelen opgenomen, die in Tabel 6.2 als gemiddeld effectief of zeer effectief zijn beoordeeld. De eerste versie van de gecombineerde maatregelpakketten staat in bijlage 2. Na de doorrekening en analyse van de gecombineerde maatregelenpakketten voor de korte, middellange en lange termijn (zie bijlage 2) zijn de resultaten besproken met een procesgroep bestaande uit interne stakeholders van Waterschap Aa en Maas en met belanghebbenden uit het gebied, in de vorm van meerdere inloopavonden (zogenoemde meedenktafels).

Op basis van de reken- en analyseresultaten en de respons van de interne stakeholders en de belanghebbenden uit het gebied zijn de twee maatregelenkaarten afgeleid:

- Maatregelenkaart met voorkeursmaatregelenpakket voor de korte termijn (0 tot circa 2 jaar);
- Maatregelenkaart met voorkeursmaatregelenpakket voor de lange termijn (circa 2 tot 10 jaar).

Beide voorkeursmaatregelenpakketten zijn opnieuw doorgerekend met het grond- en oppervlaktewatermodel.

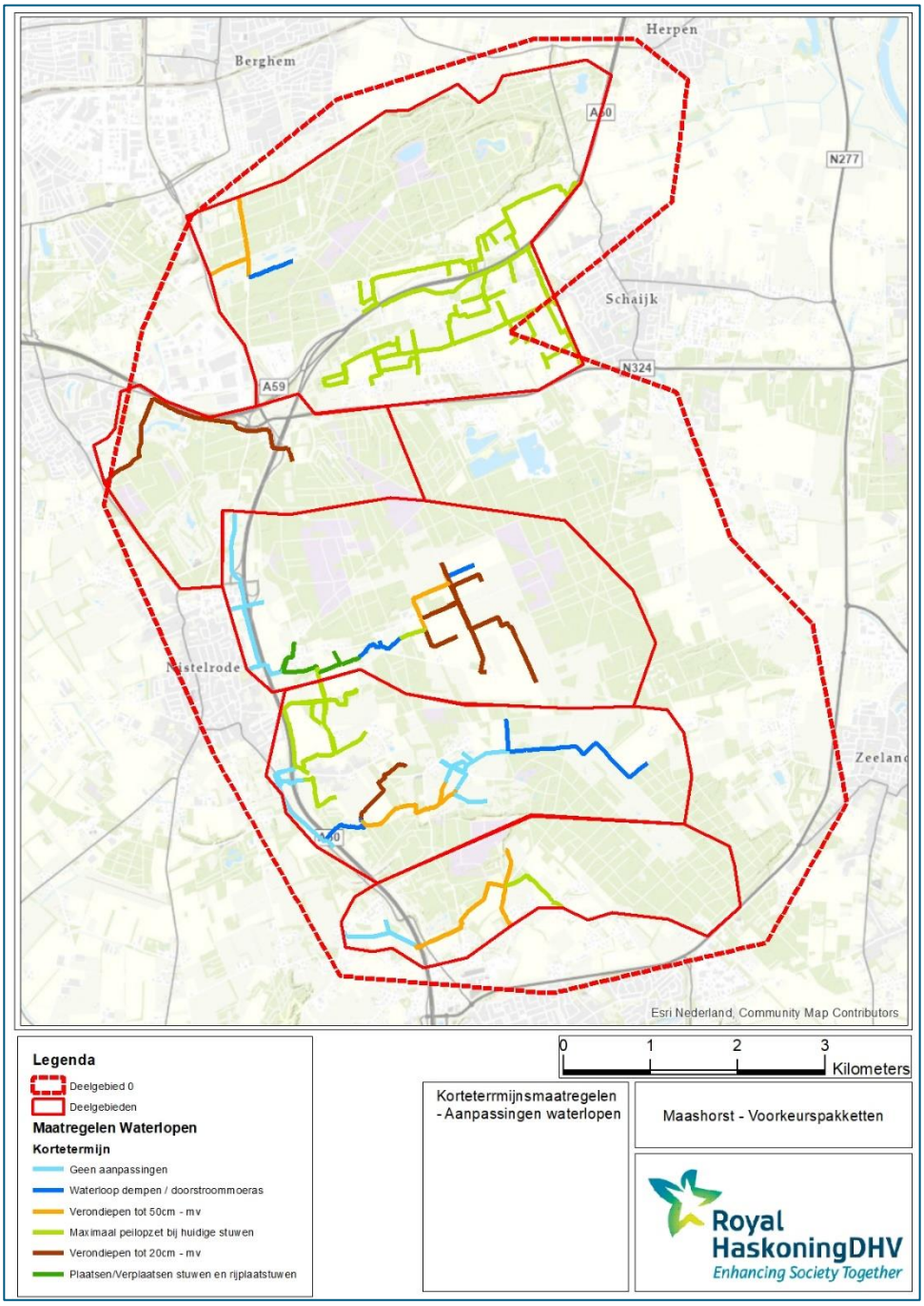
Een belangrijke factor in het onderscheid tussen de verschillende maatregelpakketten is de afhankelijkheid van derden in het uitvoeren van de maatregelen. De maatregelen die in het korte termijn maatregelpakket zitten, zijn vaak in beheer van het waterschap zelf of zijn maatregelen die al in projectplannen zijn opgenomen. Bij de lange termijn maatregelen is de uitvoering binnen de tijdhorizon vaak afhankelijk van meer onderzoek of inspraak van derden, waardoor dit vaak een langere doorlooptijd heeft dan de korte termijn maatregelen. Dit betekent niet dat lange termijn maatregelen niet eerder uitgevoerd kunnen worden.

6.4.2 Maatregelenkaart voorkeursmaatregelen korte termijn

Het voorkeursmaatregelenpakket voor de korte termijn omvat uitsluitend aanpassingen in het ont- en afwateringssysteem. Concreet betreft het de volgende maatregelen:

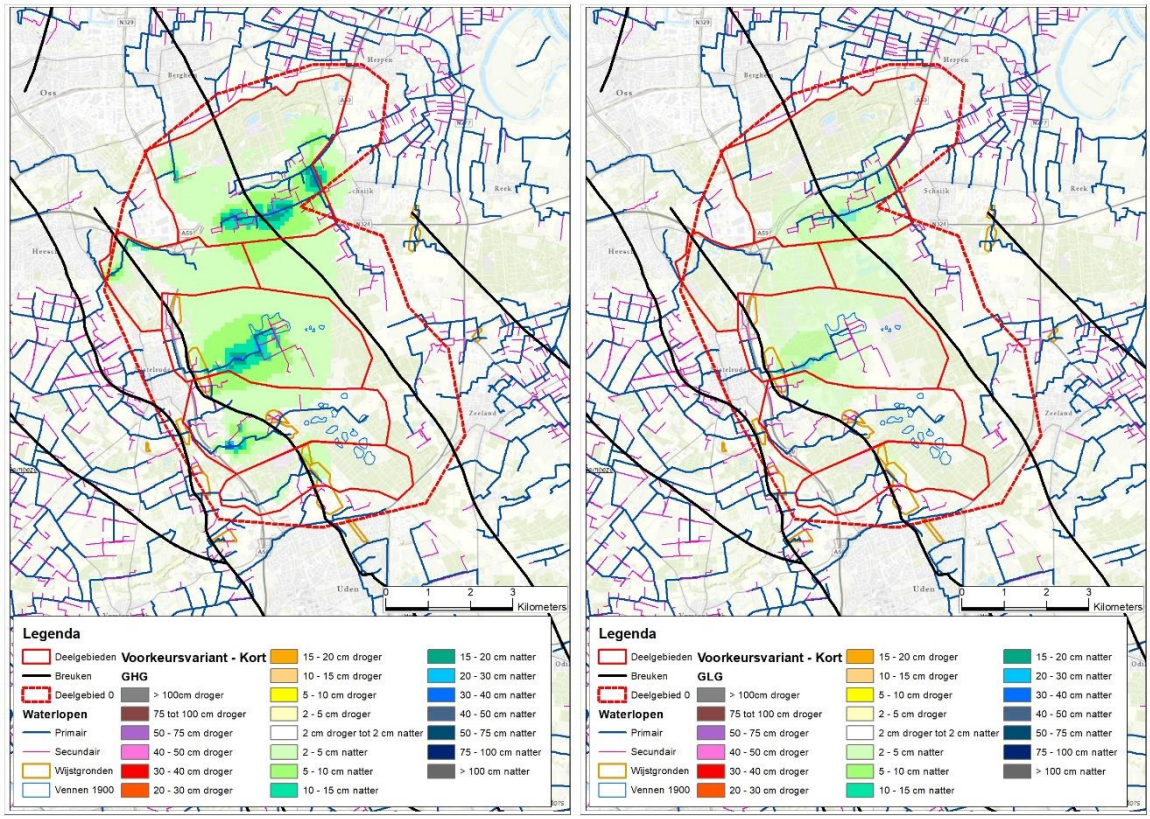
- Maximale peilopzet van de huidige stuwen en verplaatsen/plaatsen van de huidige stuwen
- Volledig dempen van een aantal hoofdwatergangen, waardoor doorstroommoerassen worden gecreëerd. Dit betreft een deeltraject van de Palmvenloop, een benedenstrooms stuk van de Venloop en vrijwel de gehele bovenloop van de Venloop.
- Verondiepen van een aantal watergangen tot maximaal 50 cm onder maaiveld.
- Verondiepen van een aantal watergangen tot maximaal 20 cm onder maaiveld. Dit wordt met name voorgesteld voor het bovenstroomse waterlopenstelsel van de Palmvenloop.
- Verplaatsen of plaatsen van stuwen en rijplaatstuwen.

Figuur 6.16 geeft het voorkeursmaatregelenpakket voor de korte termijn weer.



Figuur 6.16: Maatregelenkaart met voorkeurspakket maatregelen voor de korte termijn

Figuur 6.17 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG t.o.v. de referentiesituatie weer als gevolg van het voorkeursmaatregelenpakket voor de korte termijn. De meeste effecten worden berekend rondom de Palmvenloop, de Munsche Wetering (gebied ten westen van Schaijk) en de Venloop. Hier resulteert het voorkeursmaatregelenpakket voor de korte termijn in GHG-verhogingen van 20 tot 30 cm en GLG-verhogingen van 10 tot 20 cm. In de andere delen van het projectgebied blijven de verhogingen van de GHG en de GLG beperkt, in het algemeen tussen 2 en 10 cm voor de GHG en tussen 2 en 5 cm voor de GLG.



Figuur 6.17: Berekende veranderingen in GHG en GLG t.o.v. de referentiesituatie als gevolg van het voorkeursmaatregelenpakket voor de korte termijn

6.4.3 Maatregelenkaart voorkeursmaatregelen lange termijn

Figuur 6.18 geeft het voorkeursmaatregelenpakket voor de lange termijn weer.
Het voorkeursmaatregelenpakket voor de lange termijn omvat de volgende maatregelen:

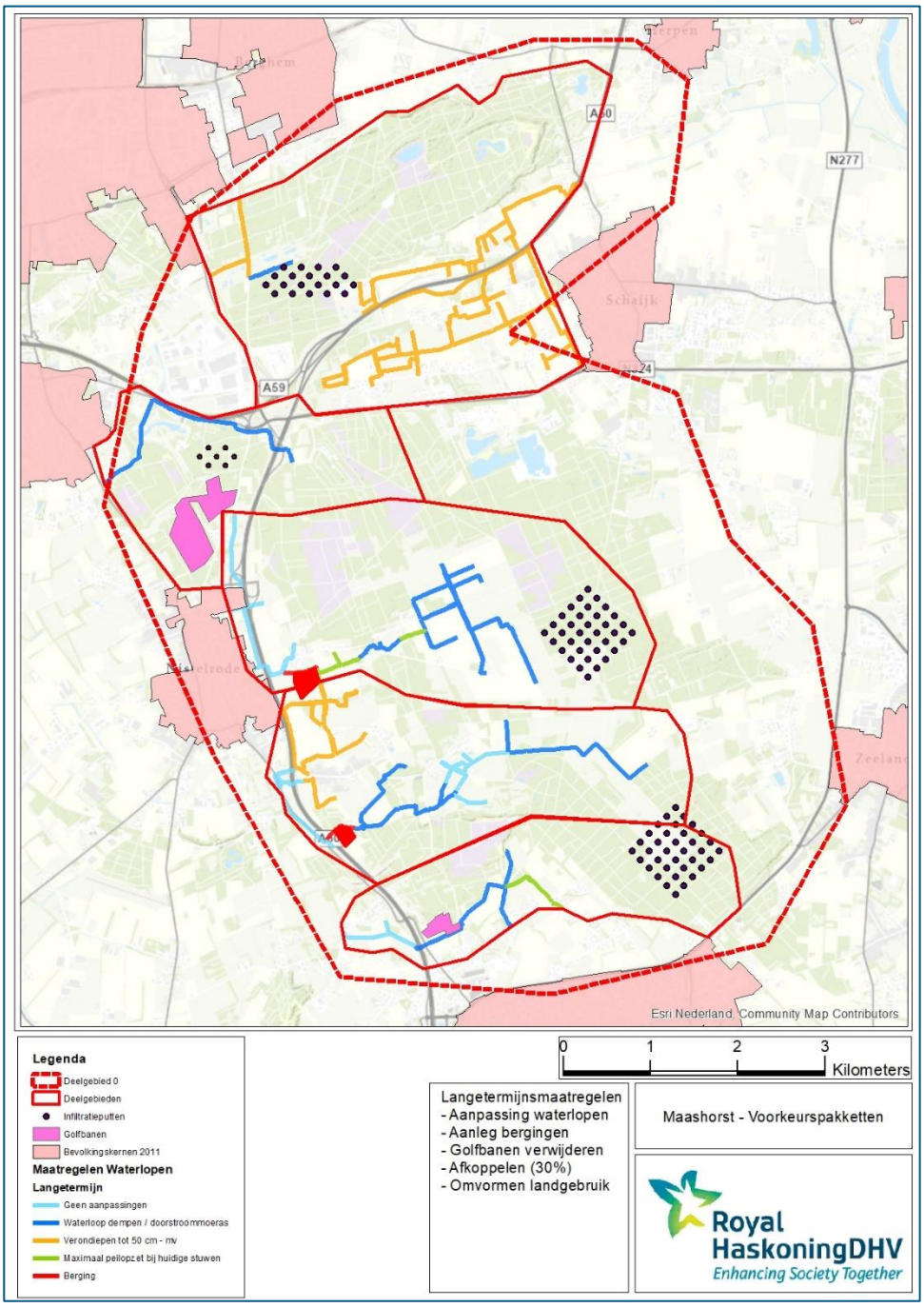
- Dempen van hoofdwatergangen:
  - Bovenstroomse stelsel van de Palmvenloop en een traject van de Palmvenloop verder stroomafwaarts;
  - De Venloop tussen de Peelrandbreuk en de Raambreuk en de bovenloop van de Venloop.
  - Een groot deel van de hoofdwaterlopen in het deelgebied Hengstheuvel.
  - Een hoofdwatergang ten zuiden van het knooppunt Paalgraven.
- Verondiepen watergangen tot maximaal 50 cm onder maaiveld. Dit geldt o.m. voor de Munsche Wetering en aangetakte watergangen en een aantal hoofdwatergangen direct ten oosten van de Peelrandbreuk, tussen de Palmvenloop en de Venloop.
- Stuwpeil maximaal opzetten voor een aantal bestaande stuwen in de hoofdwatergangen.
- Afkoppelen van 30% van het totale bebouwde areaal van de omliggende stedelijke kernen (Uden, Oss, Schaijk, Nistelrode, Heesch en Berghem).
- Aanpassen beregening van de golfbanen binnen het projectgebied.
- Aanleg van bergingslocaties met infiltrerende werking in de benedenstroomse delen van de Palmvenloop en Venloop.
- Omvormen van 50% van het huidige areaal naaldbos in het projectgebied Maashorst naar loofbos.
- Omvormen van 20% van het huidige bosareaal in het projectgebied Maashorst naar heide.

Het uitvoeren van de verkennende maatregel wateraanvoer (H 6.3.12) vergt veel extra onderzoek en valt niet binnen de tijdhorizon die aan de lange termijn maatregelen zijn gegeven. Wateraanvoer is een effectieve methode om de grondwaterstanden op de Maashorst te verhogen en daarom is door trainees van Waterschap Aa en Maas parallel meer gedetailleerd onderzoek uitgevoerd. Ondanks dit onderzoek zijn nog veel zaken onderbelicht en is gekozen deze maatregelen als een lange termijn maatregelpakket plus op te nemen in het rapport.

De verkennende maatregel wateraanvoer is met voortschrijdend inzicht aangepast.Het aanvoerdebiet is gehalveerd naar 0,25 m^3/s en is naar rato van de oppervlakte verdeeld over de 4 infiltratielocaties waar het in het eerste watervoerende pakket wordt ingebracht:

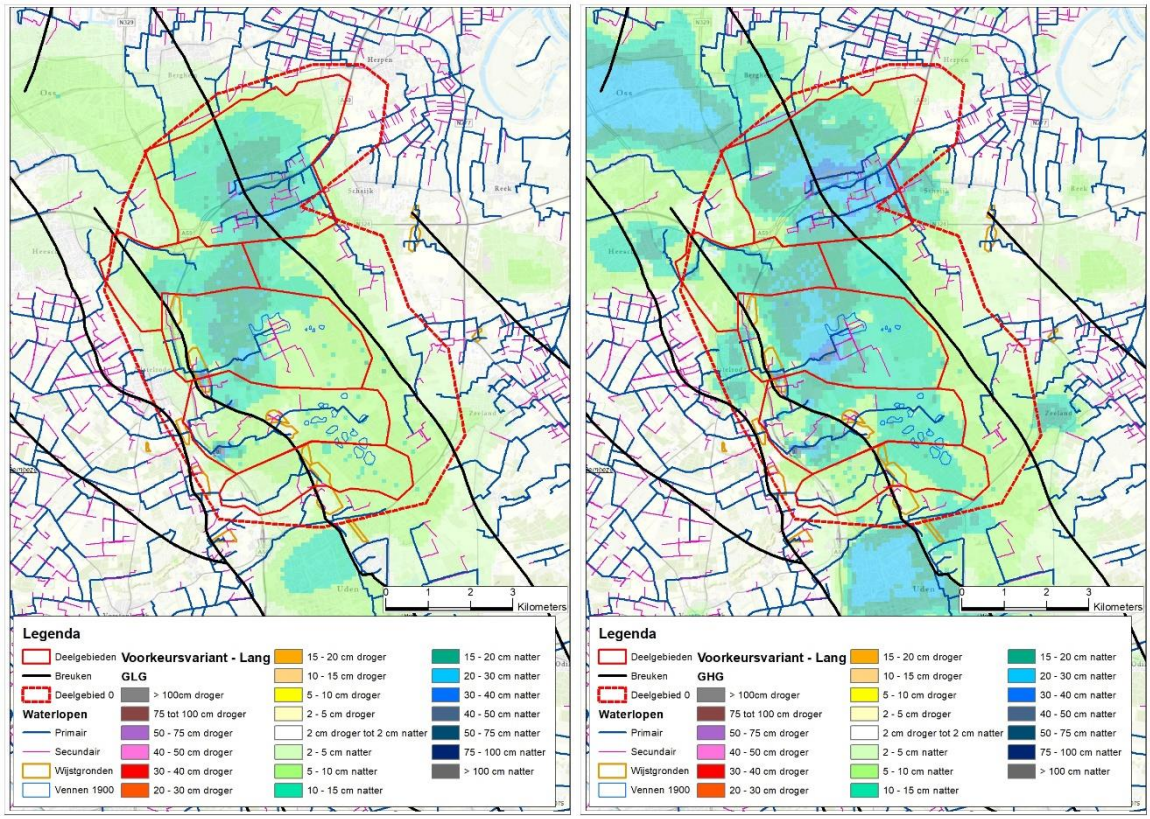
- een bosgebied in het zuidoosten van de Maashorst, in het oostelijk deel van het deelgebied Hengstheuvel;
- een bosgebied in het centrale deel van de Maashorst, ten oosten van de Palmvenloop;
- het Herperduin;
- het bosgebied Zevenbergen, ten zuidwesten van knooppunt Paalgraven.

Deze maatregel is aangegeven in het overzicht van lange termijnmaatregelen in Figuur 6.18. Vervolgens zijn er twee berekeningen van de lange termijn maatregelen doorgerekend, waarvan de resultaten van de eerst berekening zonder wateraanvoer en de tweede berekening met wateraanvoer weergegeven zijn in resp. Figuur 6.19 en Figuur 6.20.



Figuur 6.18: Maatregelenkaart met voorkeurspakket maatregelen voor de lange termijn

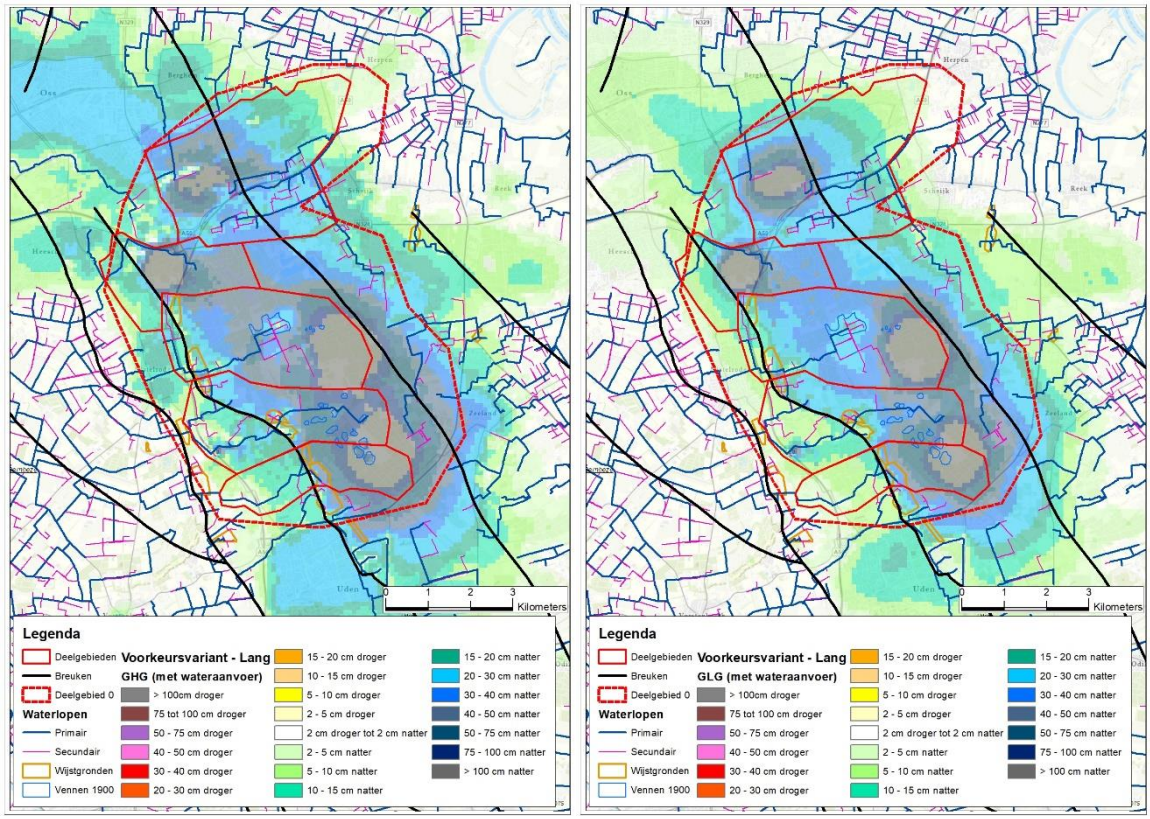
Figuur 6.19 geeft de resultaten van de lange termijn maatregelen zijn weer. De lange termijn maatregelen leiden in het grootste deel van het projectgebied tot GHG-verhogingen van 20 tot 50 cm en GLG-verhogingen van 10 tot 30 cm. De uitstralingseffecten buiten het projectgebied zijn sterk vergelijkbaar met de lange termijn maatregelen met infiltratie. Ten zuiden van het projectgebied (inclusief de bebouwing van Uden) en ten noordwesten van het projectgebied (inclusief een groot deel van de bebouwing van Oss en Heesch) worden GHG-verhogingen van 20 tot 50 cm berekend en GLG-verhogingen van 10 tot 40 cm. Elders zijn buiten het projectgebied GHG- en GLG-verhogingen te verwachten van enkele centimeters tot maximaal 20 cm.



Figuur 6.19: Berekende veranderingen in GHG en GLG t.o.v. de referentiesituatie als gevolg van het voorkeursmaatregelenpakket voor de lange termijn, zonder wateraanvoer en infiltratie in het eerste watervoerende pakket

Figuur 6.20 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG t.o.v. de referentiesituatie weer als gevolg van het voorkeursmaatregelenpakket voor de lange termijn met als extra aanvulling watervoer van 0,25 m^3/s. Rondom de infiltratievoorzieningen worden verhogingen van de GHG en GLG berekend van meer dan één meter. Buiten deze infiltratievoorzieningen leidt het voorkeursmaatregelenpakket voor de lange termijn in het grootste deel van het projectgebied Maashorst tot verhogingen van de GHG van meer dan 30 cm en GLG-verhogingen van meer dan 20 cm.

Ook buiten het projectgebied worden forse verhogingen van de GHG en de GLG berekend. Ten zuiden van het projectgebied (inclusief de bebouwing van Uden) en ten noordwesten van het projectgebied (inclusief een groot deel van de bebouwing van Oss en Heesch) worden GHG-verhogingen van 20 tot 50 cm berekend en GLG-verhogingen van 10 tot 40 cm. Elders zijn buiten het projectgebied GHG- en GLG-verhogingen te verwachten van enkele centimeters tot maximaal 20 cm.



Figuur 6.20: Berekende veranderingen in GHG en GLG t.o.v. de referentiesituatie als gevolg van het voorkeursmaatregelenpakket voor de lange termijn

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Grondwatermodel

Ten behoeve van het geohydrologisch onderzoek Maashorst is vanuit het regionale grondwatermodel voor Waterschap Aa en Maas (GRAM 3.0) een uitsnedemodel gemaakt voor de Maashorst en omgeving. Ook na verfijning van het rekengrid en toekenning van gebiedsspecifieke data voor wat betreft ont- en afwatering en landgebruik bleek het uitsnedemodel onvoldoende nauwkeurig voor de beoogde toepassing, namelijk het onderzoeken van de technische haalbaarheid van het structureel omhoog brengen van de grondwaterstanden in de Maashorst met verschillende ingrepen (o.m. waterconservering, omzetting en aanpassing landgebruik, verminderen grondwateronttrekkingen, afkoppelen hemelwaterafvoer in stedelijk gebied en wateraanvoer van elders in combinatie met infiltratie in de bodem).

Om te komen tot een voldoende betrouwbaar grondwatermodel, is als eerste stap de schematisatie van de breuken in het modelgebied verbeterd. De belangrijkste breuken voor het berekenen van het grondwaterregime op de Maashorst zijn de Peelrandbreuk in het westen, de Raambreuk in het westelijke deel van de Maashorst en een naamloze breuk die de oostelijke rand van de Maashorst markeert. Op basis van verschillende karteringen van deze breuken, sprongen in gemeten stijghoogten en een uitgebreide gevoeligheidsanalyse met het grondwatermodel is de meest aannemelijke ligging van de Raambreuk bepaald. Naast deze drie breuken komen in de Maashorst diverse andere breuken en verschuivingen van bodemlagen voor. Voor het grondwaterregime op de Maashorst en het bepalen van de hydrologische effecten van maatregelen zijn deze echter van ondergeschikt belang.

Aansluitend op de gevoeligheidsanalyse (paragraaf 4.3) is een geautomatiseerde kalibratie uitgevoerd voor het grondwatermodel Maashorst, m.b.v. de module iPEST. In de geautomatiseerde kalibratie zijn uitsluitend de horizontale doorlatendheid van de Raambreuk en het doorlaatvermogen van de belangrijkste watervoerende lagen ten oosten van de Raambreuk geoptimaliseerd. Na een aantal optimalisatieslagen met iPEST waren de afwijkingen van het grondwatermodel Maashorst t.o.v. de meetgegevens voldoende teruggebracht en is het grondwatermodel goedgekeurd en vastgesteld door de projectgroep.

Historische analyse

Met het grondwatermodel Maashorst is een historische analyse uitgevoerd van het grondwaterregime op de Maashorst. Op basis van historische topografische kaarten en andere beschikbare informatie is een aantal stadia in de ontwikkeling van het (grond) watersysteem van de Maashorst gereconstrueerd. Vervolgens is voor 5 stadia het grondwaterregime doorgerekend met het grondwatermodel. Hieruit blijkt dat de grondwaterstanden op de Maashorst tussen het begin van de 20^{e} eeuw en de huidige situatie - afhankelijk van locatie en seizoen- tussen enkele decimeters en bijna één meter zijn gezakt. De belangrijkste oorzaken hiervan zijn (1) de grootschalige omzetting van heide naar bos en landbouw, (2) grootschalige aanpassingen in de af- en ontwatering en (3) de toename van bebouwd gebied rondom de Maashorst. De sterkste grondwaterstandsverlagingen zijn opgetreden in de periode van (omstreeks) 1955 tot (omstreeks) 1985, als gevolg van de grootschalige ontginning van het gebied en de intensivering van de af- en ontwatering. Ook tussen de jaren ’80 van de vorige eeuw en de huidige situatie zijn nog forse verdere grondwaterstandsverlagingen opgetreden. Deze zijn voornamelijk het gevolg van de flinke toename van het verhard oppervlak aan de randen van de Maashorst, zowel voor woningbouw als voor de uitbreiding van bedrijventerreinen.

Maatregelpakketten
Na het uitvoeren van de historische analyse is op basis van berekeningen met het grondwatermodel stapsgewijs een tweetal maatregelenkaarten uitgewerkt met voorkeursmaatregelen voor de korte termijn (0 tot circa 2 jaar) en de lange termijn (circa 2 tot 10 jaar). Tijdens de uitwerkingsstappen zijn de resultaten van de berekeningen en analyses met het grondwatermodel meermalen afgestemd met een brede groep interne stakeholders van Waterschap Aa en Maas (procesgroep) en belanghebbenden in het gebied (in de vorm van meerdere zogenoemde meedenktafels). De opmerkingen en feedback van de interne stakeholders en belanghebbenden in het gebied zijn meegenomen in de uitwerking van de voorkeursmaatregelen.

Het voorkeursmaatregelenpakket voor de korte termijn bestaat voornamelijk uit ingrepen in de af- en ontwatering van het gebied (dempen van delen van hoofdwatergangen, verondiepen van watergangen en maximaal opzetten van bestaande stuwen in hoofdwatergangen). De korte termijn maatregelen zorgen lokaal voor grondwaterstandsverhogingen van enkele decimeters (20 tot 40 cm voor de GHG en 10 tot 20 cm voor de GLG), maar over het grootste deel van de Maashorst blijven de grondwaterstandsverhogingen beperkt tot minder dan 10 cm.

Het voorkeursmaatregelenpakket voor de lange termijn omvat naast de ingrepen in de af- en ontwatering (dempen of verondiepen van watergangen en maximaal opzetten van stuwpeilen) onder meer ook grootschalige omzetting van bos (naaldbos naar loofbos en bos naar heide) en afkoppelen van stedelijk gebied rondom de Maashorst (30%). De lange termijn maatregelen zorgen lokaal voor grondwaterstandsverhogingen van enkele decimeters (20 tot 50 cm voor de GHG en 10 tot 40 cm voor de GLG).

Wanneer het lange termijn maatregelpakket met wateraanvoer wordt uitgebreid, leidt dat tot verhogingen van de GHG en GLG van meer dan één meter rondom de infiltratielocaties en 20 à 40 cm in het grootste resterende deel van het projectgebied Maashorst. Ook buiten de begrenzing van het projectgebied worden verhogingen van de grondwaterstanden van enkele centimeters tot lokaal 40 à 50 cm berekend.

Het voorkeursmaatregelenpakket voor de langere termijn zorgt ervoor dat een deel van de historische verdroging van de Maashorst ongedaan wordt gemaakt. In en rondom de infiltratielocaties worden de grondwaterstanden mogelijk zelfs hoger dan de oorspronkelijk (omstreeks begin 20^{e} eeuw) voorgekomen grondwaterstanden.

Het voorkeursmaatregelenpakket voor de langere termijn zorgt voor verhogingen van 35 cm rondom de hoofdwaterlopen en in het overgrote gedeelte van de Maashorst voor verhogingen van meer dan 15 cm. Het kwantitatieve doel ten aanzien van het grondwaterregime die is opgenomen in het Grondwaterconvenant van de Provincie Noord-Brabant (structurele verhoging van de grondwaterstand van 35 cm of meer) wordt met het lange termijn maatregelenpakket *grotendeels* behaald.

Het lange termijn voorkeursmaatregelenpakket met wateraanvoer zorgt ervoor dat in en rondom de Maashorst *ruimschoots* wordt voldaan aan de kwantitatieve doelen ten aanzien van het grondwaterregime die zijn opgenomen in het Grondwaterconvenant van de Provincie Noord-Brabant

7.2 Aanbevelingen

Werk het voorkeursmaatregelenpakket voor de korte termijn verder uit tot één of meerdere Projectplannen Waterwet, waarbij de maatregelen concreter worden ingepast en afgestemd, onder meer op basis van mogelijke effecten naar omliggende functies (landbouw, bebouwing, grondwaterafhankelijke natuur).

Voor de voorkeursmaatregelen voor de langere termijn is verdere afweging en beoordeling gewenst en noodzakelijk. Aanbevolen wordt om met name de effecten naar de omliggende functies nader te kwantificeren en te beoordelen. Dit geldt vooral voor bebouwd gebied (zowel verspreide bebouwing binnen de Maashorst als de bebouwing buiten het projectgebied) en land- en tuinbouw.

Met name de maatregel water van elders aanvoeren en infiltreren op de Maashorst vergt nadere uitwerking, zowel voor kwantiteit (hoeveelheid wateraanvoer die gewenst of nodig is) als kwaliteit (kwaliteitseisen waaraan het aanvoerwater moet voldoen om infiltratie in de bodem mogelijk en acceptabel te maken en daarmee samenhangend de mogelijke bronnen en noodzakelijke zuiveringsmaatregelen of voorbewerkingen).

Aanbevolen wordt om het maatregelenpakket voor de langere termijn aan te vullen met maatregelen met betrekking tot beregening van land- en tuinbouwgewassen binnen en buiten het projectgebied Maashorst. Onderzoek daarbij tevens de kansen die wateraanvoer van elders kan bieden, in de vorm van vermindering van de beregeningsbehoefte en vervanging van de bron (gebruik van aanvoerwater met of zonder infiltratie in plaats van grondwateronttrekking).

Zorgvuldige monitoring en statische analyse van de hydrologische effecten van de korte termijn maatregelen. Enerzijds om eventuele effecten voor omliggende functies goed te kunnen kwantificeren, anderzijds om de effectiviteit van de maatregelen goed vast te stellen en waar nodig fijnregeling of aanpassing aan te brengen in de lange termijn maatregelen. Als de gemeten effecten substantieel afwijken van de prognoses van het grondwatermodel, is het aan te bevelen om tussentijds (na realisatie van de korte termijn maatregelen en vóór de uitvoering van de lange termijn maatregelen) het grondwatermodel te finetunen en de lange termijn maatregelen opnieuw door te rekenen.

8 Referenties

- Bos-Burgering, Lidiun & Joachim Hunink, 2021. Optimalisatie grondwatermodel instrumentarium Waterschap Aa en Maas. Deltares-rapport 1220765-020-BGS-0001. Deltares, 10 juni 2021.

- Ettema, Nico, 2020. Poelen, vennen en beken van De Maashorst. Macrofauna, flora en waterkwaliteit. In opdracht van Stichting Natuurorganisaties De Maashorst, 2020.

- Royal Haskoning, 2008. Watervisie Maashorst. Rapportnummer 9T0719/R00004/903359/BW/DenB. Royal Haskoning, ’s-Hertogenbosch. 11 juni 2008.

- Tracé zoals opgenomen in GRAM3.0 en REGISII v2.2, breuk alleen ontwikkeld in Formaties van Peize-Waalre, Oosterhout en Breda, horizontale weerstand 500 d.

- Vernes, R.W., Deckers, J., Bakker, M.A.J., Bogemans, F., De Ceukelaire, M., Doornenbal, J.C., Den Dulk, M., Dusar, M., van Haren, T.F.M., Heyvaert, V.M.A., Kiden, P., Kruisselbrink, A.F., Lanckacker, T., Mencovic, A., Meyvis, B., Munsterman, D.K., Reindersma, R., ten Veen, J.H., van de Ven, T.J.M., Walstra, J. en Witmans, N., 2018. Geologisch en hydrogeologisch 3D-model van het Cenozoïcum van de Belgisch-Nederlandse grensstreek van Midden-Brabant / De Kempen (H3O-De Kempen). TNO-rapport 2017 R11261 – VITO 2017/RMA/R/1348.

Bijlage 1: Aanpassing stationaire grondwateraanvulling

Aanpak

Stationaire berekeningen met GRAM 3.0 en het initiële grondwatermodel Maashorst resulteerden in het deelgebied Maashorst in te hoog berekende grondwaterstanden. De stationair berekende grondwaterstanden waren structureel hoger dan het gemiddelde van de tijdsafhankelijk berekende grondwaterstanden. Voorafgaand aan de kalibratie is dit verbeterd door:

- De stationaire grondwateraanvulling opnieuw af te leden, met verbeterde vergelijking, als gemiddelde grondwateraanvulling over periode 2010 t/m 2020. NB: de grondwateraanvulling is tijdsafhankelijk berekend inclusief de beregeningsgiften en is gemiddeld voor de periode van het stationaire model.
- De jaargemiddelde ontrekkingshoeveelheden voor beregening zijn als onttrekkingen in het stationaire model opgenomen.

De grondwateraanvulling is berekend met iMOD-batchfunctie **MSPNETRCH-Function:**

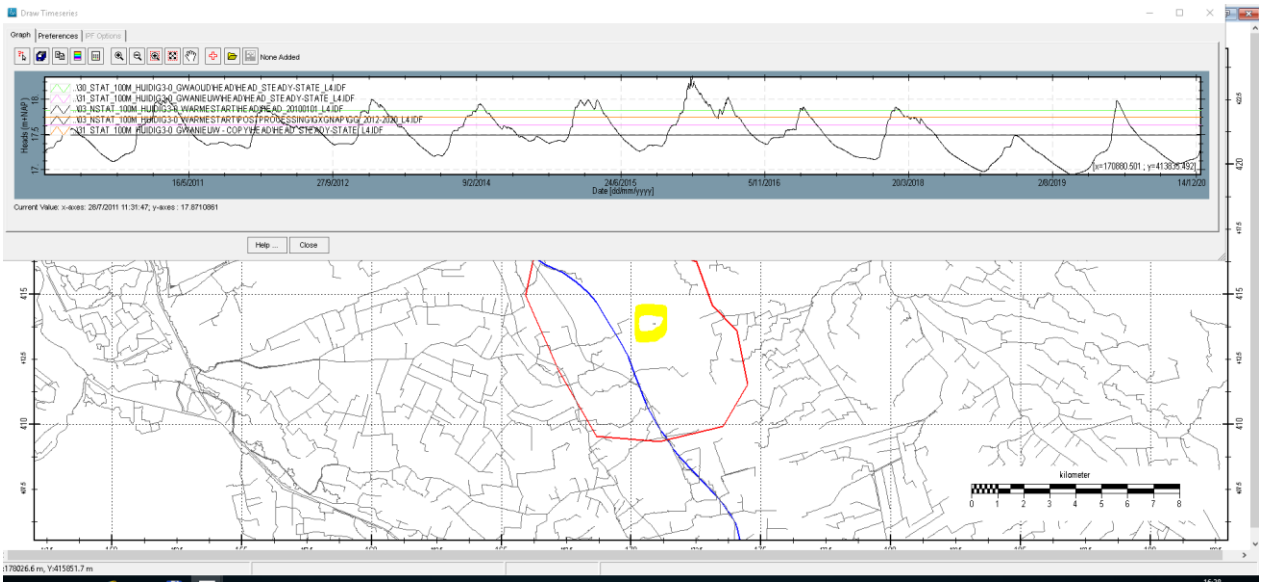
$$NetRCH = \Delta lvgmodf * sc1 - qmodf$$

Resultaat

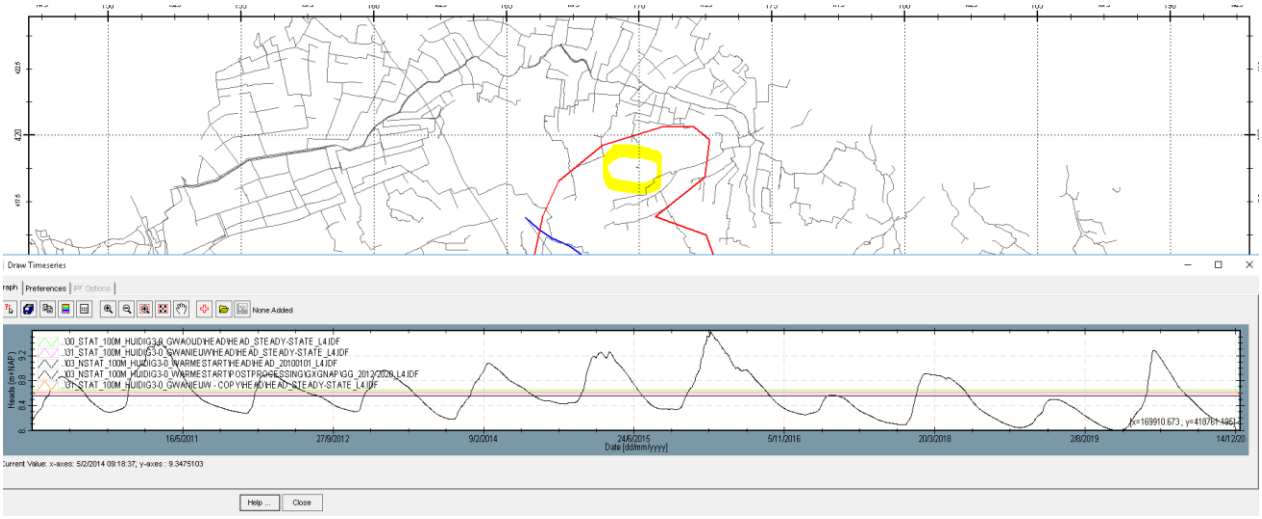
Het resultaat van de uitgevoerde correctie is weergegeven in de onderstaande figuren.

De figuren geven voor verschillende locaties in het modelgebied Maashorst het tijdsafhankelijk berekende verloop van de grondwaterstanden weer en verschillende gemiddelde waardes:

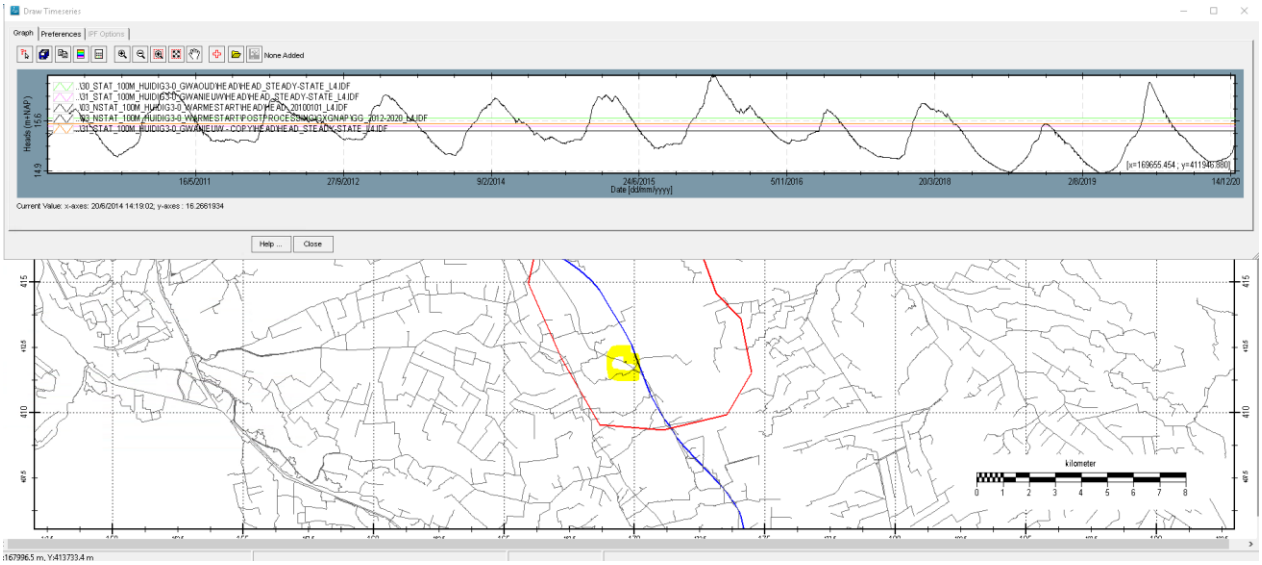
- Zwarte lijnen: Tijdverloop berekende grondwaterstanden tijdsafhankelijke berekening en gemiddelde grondwaterstand berekend als het gemiddelde van de tijdsafhankelijk berekende grondwaterstanden.
- Groene lijn: Stationair berekende grondwaterstand op basis van oorspronkelijke stationaire grondwateraanvulling in GRAM3.0.
- Oranje lijn: Stationair berekende grondwaterstand op basis van nieuwe grondwateraanvulling, zonder onttrekking t.b.v. beregening.
- Roze lijn: Stationair berekende grondwaterstand op basis van nieuwe grondwateraanvulling, met onttrekking t.b.v. beregening.



Figuur B1.1



Figuur B1.2



Figuur B1.3

Bijlage 2: Eerste versie gecombineerde maatregelenpakketten

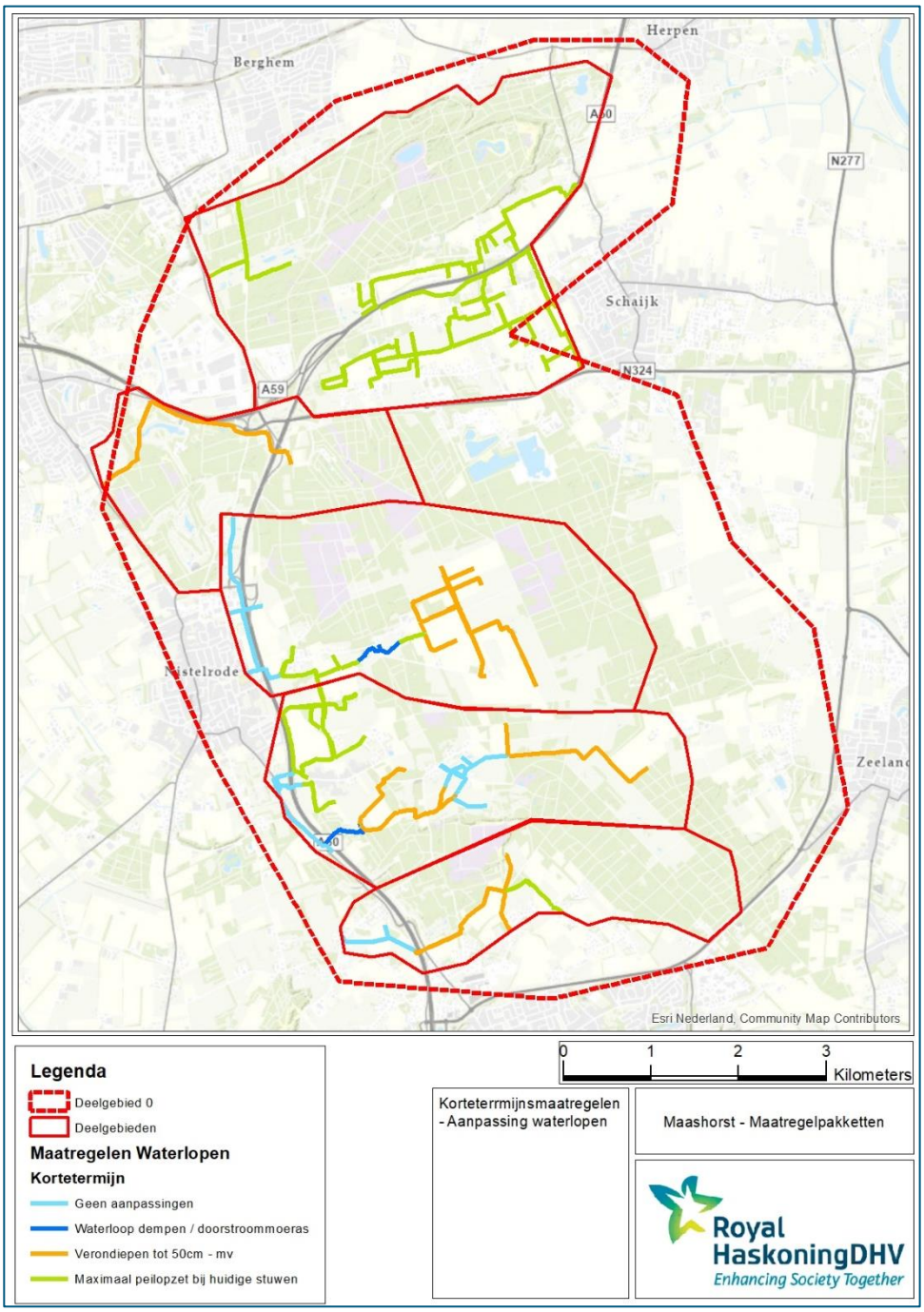
Gecombineerd maatregelenpakket korte termijn

Voor de korte termijn (0 tot 2 jaar) stellen we uitsluitend aanpassingen in het ont- en afwateringssysteem voor. Concreet betreft het de volgende maatregelen:

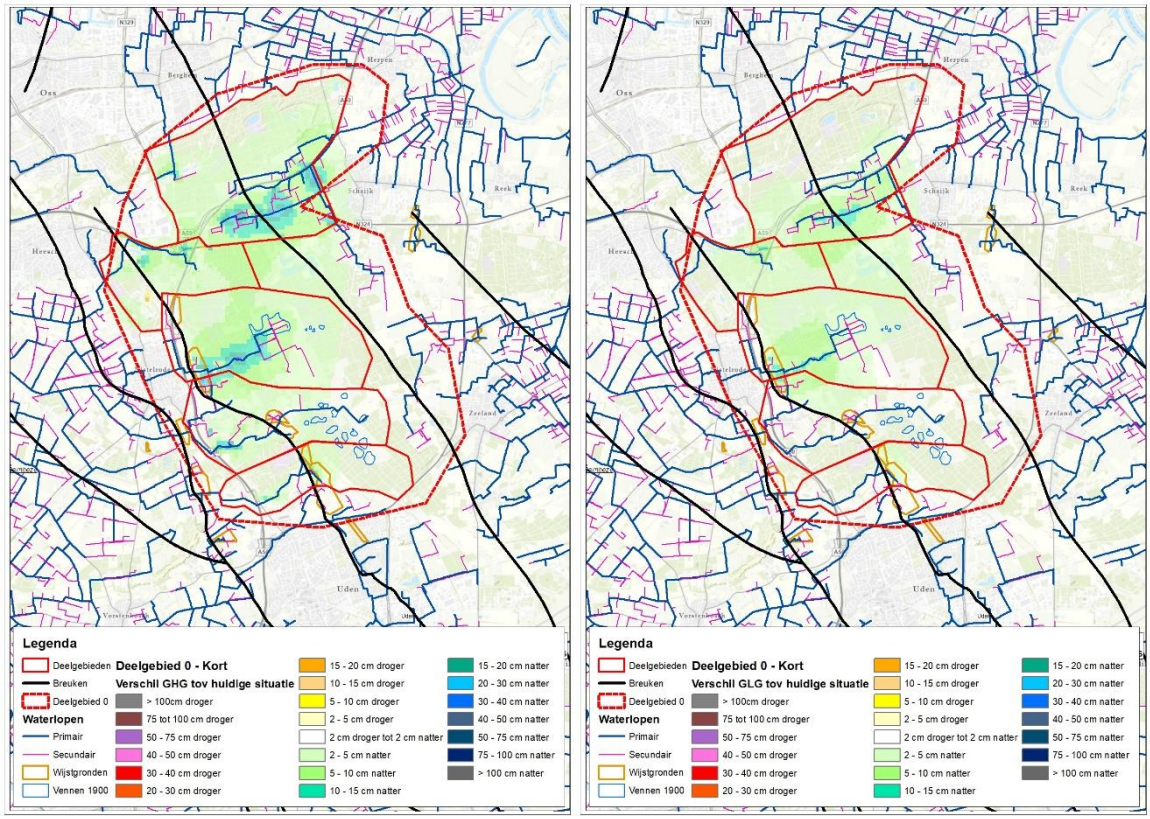
- Maximale peilopzet van de huidige stuwen en verplaatsen/plaatsen van een aantal stuwen
- Volledig dempen van een deeltraject van de Palmvenloop en een deeltraject van de Venloop, waardoor hier doorstroommoerassen worden gecreëerd.
- Verondieping van een groot aantal hoofdwatergangen tot maximaal 50 cm onder maaiveld.

Figuur B2.1 geeft de maatregelen van het korte termijn maatregelenpakket weer.

Figuur B2.2 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer als gevolg van het korte termijn maatregelenpakket t.o.v. de referentiesituatie. De meeste effecten worden berekend rondom de Palmvenloop en de Munsche Wetering (gebied ten westen van Schaijk). Hier resulteert het gecombineerde maatregelenpakket voor de korte termijn in GHG-verhogingen van 20 tot 30 cm en GLG-verhogingen van 10 tot 20 cm. In de andere delen van het projectgebied blijven de verhogingen van de GHG en de GLG beperkt, in het algemeen tussen 2 en 10 cm.



Figuur B2.1: Maatregelen in het gecombineerde maatregelenpakket voor de korte termijn



Figuur B2.2: Berekende veranderingen in GHG en GLG t.o.v. de referentiesituatie als gevolg van het gecombineerde maatregelenpakket voor de korte termijn

Gecombineerd maatregelenpakket voor de middellange termijn

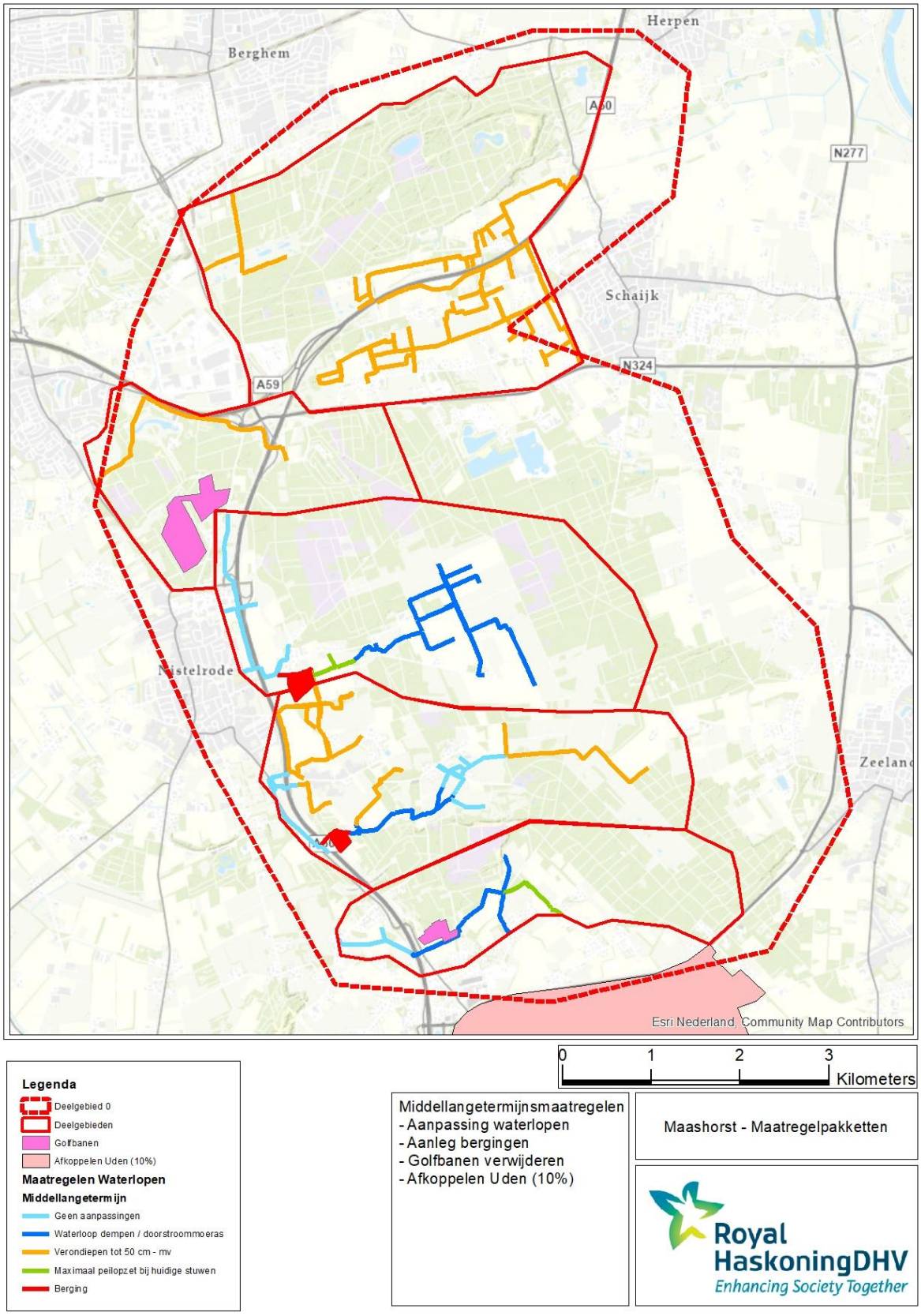
Figuur B2.3 geeft het gecombineerde maatregelenpakket voor de middellange termijn weer.

Voor de middellange termijn (2 tot 5 jaar) worden aanpassingen in het ont- en afwateringsstelsel voorgesteld die verdergaan dan de korte termijn maatregelen:

- Dempen van hoofdwatergangen: het gehele bovenstroomse stelsel van de Palmvenloop (bovenstrooms van de Raambreuk) wordt gedempt, evenals het traject van de Venloop en de hoofdwatergang door het gebied Hengstheuvel, tussen de Raambreuk en de Peelrandbreuk. Aan weerszijden van de gedempte trajecten ontstaan doorstroommoerassen.
- Verondiepen watergangen tot maximaal 50 cm onder maaiveld. Vrijwel alle andere hoofdwatergangen worden verondiept tot maximaal 50 cm onder maaiveld.

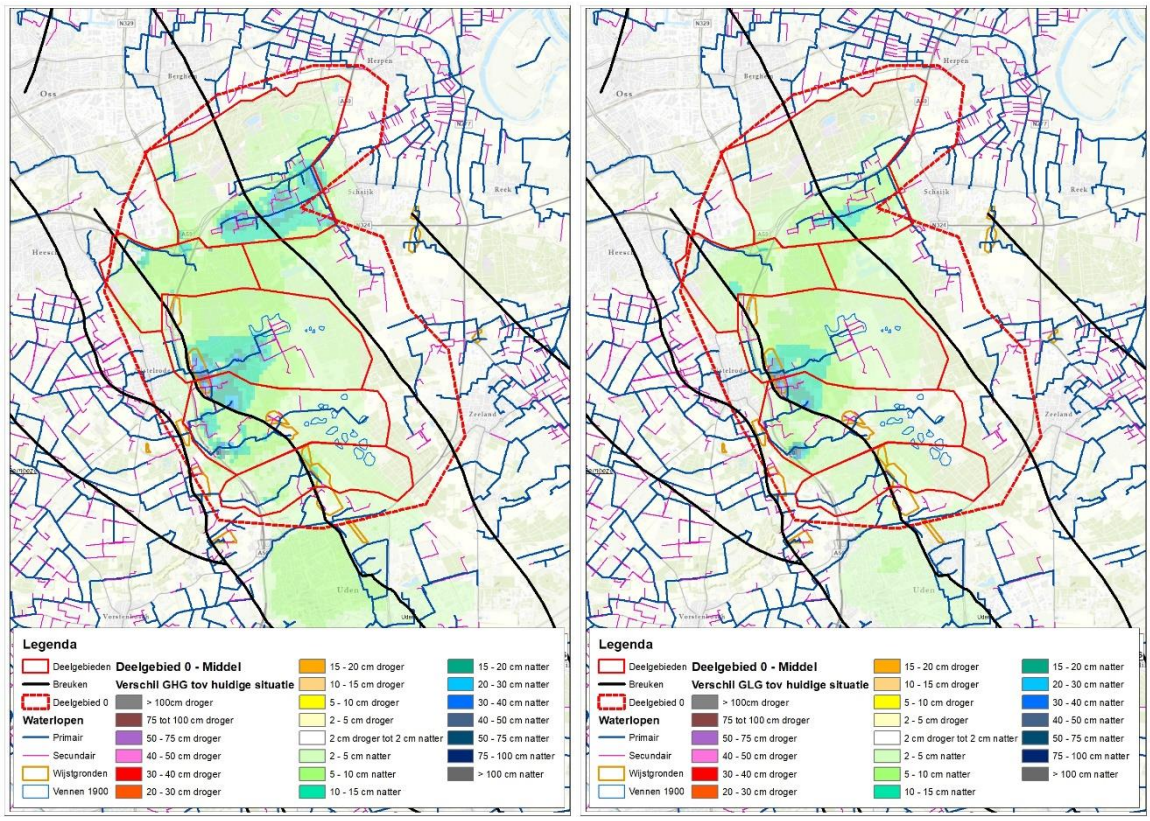
Aanvullend op deze aanpassingen aan de hoofdwatergangen omvat het gecombineerde maatregelenpakket voor de middellange termijn de volgende maatregelen:

- Afkoppelen van 10% van het areaal stedelijk gebied van Uden.
- Aanpassen beregening van de golfbanen binnen het projectgebied.
- Aanleg van bergingslocaties met infiltrerende werking (rode gebieden Figuur 6.18). Vanuit de overleggen met stakeholder en belanghebbenden is aangegeven dat op de locaties laagtes liggen die gebruikt kunnen worden als berging.



Figuur B2.3: Maatregelen in het gecombineerde maatregelenpakket voor de middellange termijn

Figuur B2.4 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer als gevolg van het middellange termijn maatregelenpakket t.o.v. de referentiesituatie. De meeste effecten worden berekend rondom de Palmvenloop en de Munsche Wetering (gebied ten westen van Schaijk) en -in mindere mate- rond de Venloop en het deelgebied Hengstheuvel. Nabij de Palmvenloop en de Munsche Wetering worden GHG-verhogingen van 20 tot 50 cm berekend en GLG-verhogingen van 10 tot 20 cm. Rondom de Venloop en in het deelgebied Hengstheuvel bedragen de berekende GHG-verhogingen 10 tot maximaal 20 cm en de GLG-verhogingen 5 tot maximaal 15 cm. In de overige delen van het projectgebied leidt het middellange termijn maatregelenpakket tot verhogingen van de GHG en GLG van enkele centimeters tot maximaal 10 cm.



Figuur B2.4: Berekende veranderingen in GHG en GLG t.o.v. de referentiesituatie als gevolg van het gecombineerde maatregelenpakket voor de middellange termijn

Gecombineerd maatregelenpakket voor de lange termijn

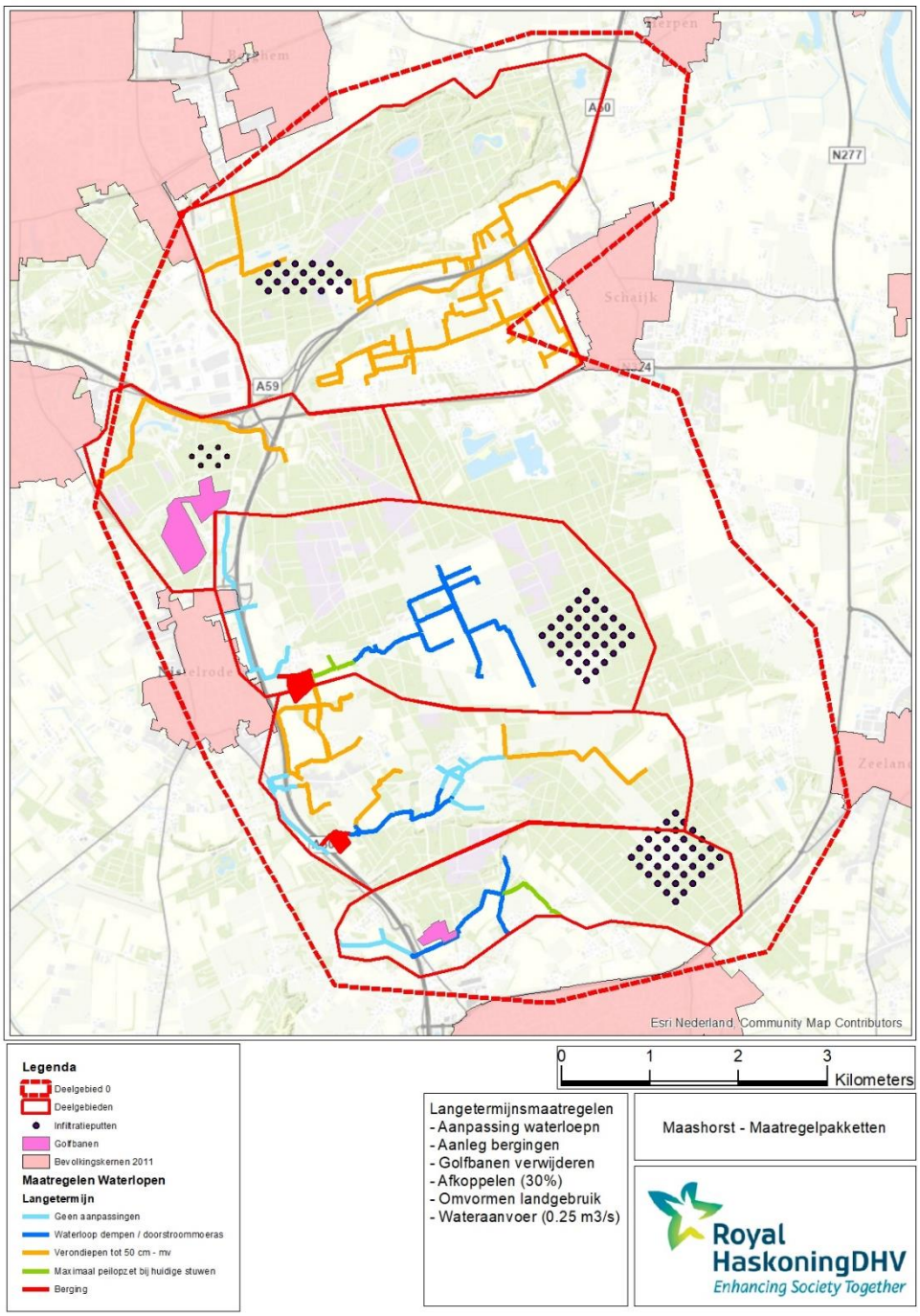
Figuur B2.5 geeft het gecombineerde maatregelenpakket voor de lange termijn weer.

Het gecombineerde maatregelenpakket voor de lange termijn omvat de volgende maatregelen:

- Dempen van hoofdwatergangen: het gehele bovenstroomse stelsel van de Palmvenloop (bovenstrooms van de Raambreuk) wordt gedempt, evenals het traject van de Venloop en de hoofdwatergang door het gebied Hengstheuvel, tussen de Raambreuk en de Peelrandbreuk. Aan weerszijden van de gedempte trajecten ontstaan doorstroommoerassen.
- Verondiepen watergangen tot maximaal 50 cm onder maaiveld. Vrijwel alle andere hoofdwatergangen wordt verondiept tot maximaal 50 cm onder maaiveld.
- Afkoppelen van 30% van het totale bebouwde areaal van de omliggende stedelijke kernen (Uden, Oss, Schaijk, Nistelrode, Heesch en Berghem).
- Aanpassen beregening van de golfbanen binnen het projectgebied.

- Aanleg van bergingslocaties met infiltrerende werking in de benedenstroomse delen van de Palmvenloop en Venloop.
- Omvormen van 50% van het huidige areaal naaldbos in het projectgebied Maashorst naar loofbos.
- Omvormen van 20% van het huidige bosareaal in het projectgebied Maashorst naar heide.
- Aanvoeren van 0,25 m^3/s water van elders en dit met infiltratieputten in het eerste watervoerende pakket brengen. Dit wordt voorgesteld voor de volgende 4 locaties:
  - een bosgebied in het zuidoosten van de Maashorst, in het oostelijk deel van het deelgebied Hengstheuvel;
  - een bosgebied in het centrale deel van de Maashorst, ten oosten van de Palmvenloop;
  - het Herperduin;
  - het bosgebied Zevenbergen, ten zuidwesten van knooppunt Paalgraven.

  Het aanvoerdebiet van 0,25 m^3/s is naar rato van de oppervlakte verdeeld over de 4 infiltratielocaties.

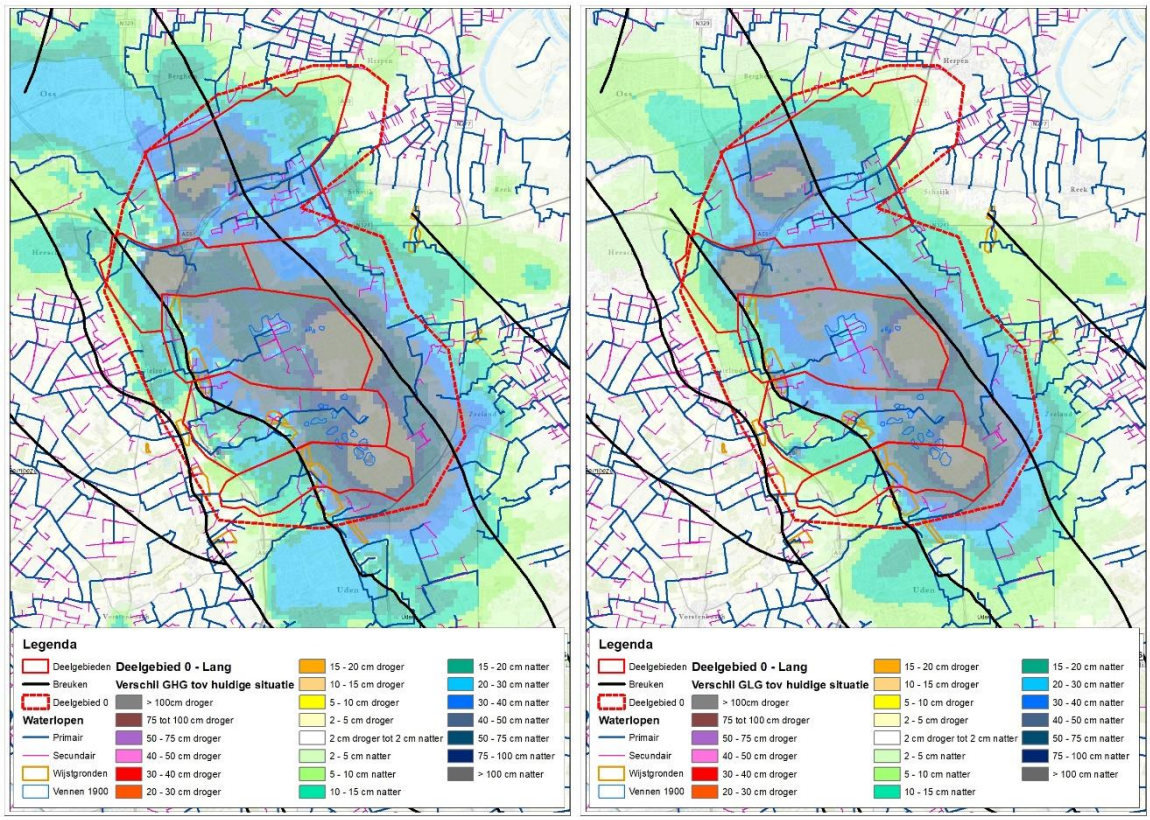


Figuur B2.5: Maatregelen in het gecombineerde maatregelenpakket voor de lange termijn

Figuur B2.6 geeft de berekende veranderingen in GHG en GLG weer als gevolg van het lange termijn maatregelenpakket t.o.v. de referentiesituatie. Rondom de infiltratievoorzieningen worden verhogingen van de GHG en GLG berekend van meer dan één meter. Buiten deze infiltratievoorzieningen leidt het gecombineerde maatregelenpakket voor de lange termijn in het grootste deel van het projectgebied Maashorst tot verhogingen van de GHG van meer dan 30 cm en GLG-verhogingen van meer dan 20 cm.

Ook buiten het projectgebied worden forse verhogingen van de GHG en de GLG berekend. Ten zuiden van het projectgebied (inclusief de bebouwing van Uden) en ten noordwesten van het projectgebied

(inclusief een groot deel van de bebouwing van Oss en Heesch) worden GHG-verhogingen van 20 tot 50 cm berekend en GLG-verhogingen van 10 tot 40 cm. Elders zijn buiten het projectgebied GHG- en GLG-verhogingen te verwachten van enkele centimeters tot maximaal 20 cm.



Figuur B2.6: Berekende veranderingen in GHG en GLG t.o.v. de referentiesituatie als gevolg van het gecombineerde maatregelenpakket voor de lange termijn