

RAPPORT

Rapportage Grondwatermodellering Groene Rivier Well

Technische Achtergrondrapportage

Klant: Waterschap Limburg

Referentie: 241212_BJ1000_W3433-
2_Grondwatermodellering_C03

Status: Definitief/C03

Datum: 12 december 2024

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Netherlands
Water & Maritime
Trade register number: 56515154

Telefoon: +31 88 348 70 00
Email: info@rhdhv.com
Website: royalhaskoningdhv.com

Titel document: Rapportage Grondwatermodellering Groene Rivier Well
Ondertitel: Technische Achtergrondrapportage
Referentie: 241212_BJ1000_W3433-2_Grondwatermodellering_C03
Uw kenmerk: Well
Status: Definitief/C03
Datum: 12 december 2024
Projectnaam: Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well
Projectnummer: BJ1000
Auteur(s): Eline Steinbusch, Han Vermue

Opgesteld door: Eline Steinbusch

Gecontroleerd door: Han Vermue

Datum: 31-10-2024

Goedgekeurd door: Roel van de Laar

Datum: 31-10-2024

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 mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), 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 en kader	1
1.1	Het project gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well	1
1.2	Doelstelling en kaders	2
1.3	Inrichtingsituaties	3
1.3.1	Huidige situatie	3
1.3.2	Referentiesituatie	3
1.3.3	Ontwerp	4
1.4	Projectaanpak	6
1.5	Definities en leeswijzer	7
2	Watersysteemanalyse	9
2.1	Het oppervlaktewatersysteem	9
2.2	Geologie	12
2.2.1	Regionale en lokale ondergrond	12
2.2.2	Breuken	13
2.3	Grondwaterstanden en stroming	14
2.4	Deelgebieden	18
2.4.1	Wellse Molenbeek en Broekgraaf	18
2.4.2	Deelgebied Papenbeekse Broeklossing	20
2.4.3	Deelgebied Kasteel	20
2.4.4	Deelgebied de Band	22
2.4.5	Deelgebied 't Leuken en Reindersmeer	23
3	Modelopbouw	24
3.1	Model algemeen	24
3.1.1	Software	24
3.1.2	Type modellen en basis	24
3.1.3	Modelgebied en gridgrootte	24
3.1.4	Rand- en beginvoorwaarden	25
3.2	Grondwataanvulling en onverzadigde zone modellering	26
3.2.1	GxG model	26
3.2.2	Berekening	26
3.2.3	Hoogwater	26
3.3	Geohydrologische lagenschematisatie	27
3.3.1	REGIS en Geotop	27
3.3.2	Leapfrog	30
3.3.3	Basismodel modellagen workflow	32
3.4	Topsysteem	36
3.5	Maas	36
3.5.1	GxG model	36

3.5.2	Hoogwater	38
3.6	Primaire en secundaire watergangen	39
3.7	Tertiaire ontwatering	40
3.8	Buisdrainage	41
3.9	Ontwatering binnendijks en buitendijks in hoogwatersituatie	42
3.10	Grondwateronttrekkingen	43
3.11	Breuken	44
4	Kalibratie en validatie	45
4.1	Kalibratiestrategie	45
4.2	Kalibratieset GxG-model	45
4.3	Kalibratieset en validatieperiode hoogwatermodel	46
4.4	GxG model	47
4.4.1	Basismodelrun – BASIS2	47
4.4.2	Kalibratieslag 1 – BASIS3	53
4.5	Hoogwatermodel	56
4.5.1	Uitgangsmodel	56
4.5.2	Kalibratie aanpassingen hoogwatermodel	61
4.5.2.1	Uitzetten Metaswap	61
4.5.2.2	Bergingscoëfficiënt laag 1 op 0 gezet	61
4.5.2.3	Infiltratiefactor Maas op 1 gezet	62
4.5.2.4	Maaiveldafstroming niveau verhoogd in bepaalde gebieden	62
4.5.2.5	Drainage buitendijks bij De Band verwijderd	63
4.5.2.6	Papenbeekse Broeklossing en Wellse Molenbeek (deels) uitgezet	64
4.5.2.7	Buisdrainage uitgezet	64
4.5.3	Resultaat kalibratie	65
4.5.4	Resultaat validatie	71
4.5.5	Resumé	76
5	Referentiesituatie	77
5.1	Modelaanpassingen	77
5.2	Resultaten	77
5.2.1	GxG	77
5.2.2	Hoogwater	81
6	Ontwerp	86
6.1	Modelaanpassingen	86
6.1.1	Oppervlaktewatersysteem Groene Rivier	86
6.1.2	Binnendijks oppervlaktewatersysteem	87
6.1.3	Laagopbouw en maaiveld	87
6.1.4	Landgebruik	88

6.1.5	Buisdrainage en damwanden	88
6.2	Resultaten	89
6.2.1	Effecten bij GxG situatie	89
6.2.2	Effecten bij hoogwater	94
6.2.3	Effecten Voorlopig Ontwerp 2	99

Tabellen

Tabel 1-1	Definitietabel	8
Tabel 3-1	Geohydrologische parameterisatie sedimenten	32
Tabel 3-2	Lagenmodel met leapfroglagen erin verwerkt (laag 2 t/m 16)	34
Tabel 4-1	Analyse afwijkingen validatieset	50
Tabel 6-1	Berekende kwelhoeveelheid met het grondwatermodel voor het ontwerp	99

Figuren

Figuur 1-1	Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well – Voorlopig Ontwerp 1	1
Figuur 1-2	Overzichtskaart met toponiemen en huidig watersysteem van Wellse Molenbeek, Papenbeekse Broeklossing en Kleine Broekgraaf	2
Figuur 1-3	Locatie van vergraving en nieuwe bodem- en maaiveldhoogte na vergraving door Maaspark Well (Waterschap Limburg, 11 januari 2024)	4
Figuur 1-4	Voorlopig Ontwerp 1 (VO1)	5
Figuur 1-5	Voorlopig Ontwerp 2 (VO2)	6
Figuur 1-6	Weergave stappen en producten grondwatermodellering	7
Figuur 2-1	Watersysteem inclusief hoogtekkaart en duiding Maasterrassen (stippellijn)	9
Figuur 2-2	Oppervlaktewatersysteem in de omgeving van Well.	10
Figuur 2-3	Water op maaiveld binnen dijkkring winter 2023/2024	11
Figuur 2-4	Doorsnede van het dijktracé uit REGIS II v2.2.	12
Figuur 2-5	Doorsnede door het geotechnisch Leapfrog ondergrondmodel.	13
Figuur 2-6	Doorsnede van westoever Maas tot het noorden van Well.	14
Figuur 2-7	Breuken in het onderzoeksgebied.	14
Figuur 2-8	De modelberekende isohypsen van de gemiddelde grondwaterstanden situatie 2011 (Royal Haskoning, 19 juli 2011).	15
Figuur 2-9	Gemiddelde grondwaterstand bij peilbuizen en in het model over de periode 2013 - 2020	16
Figuur 2-10	Berekende grondwaterstand t.o.v. NAP gedurende hoogwater	17
Figuur 2-11	Uittredende kwel ten tijde van hoogwater juli 2021	17

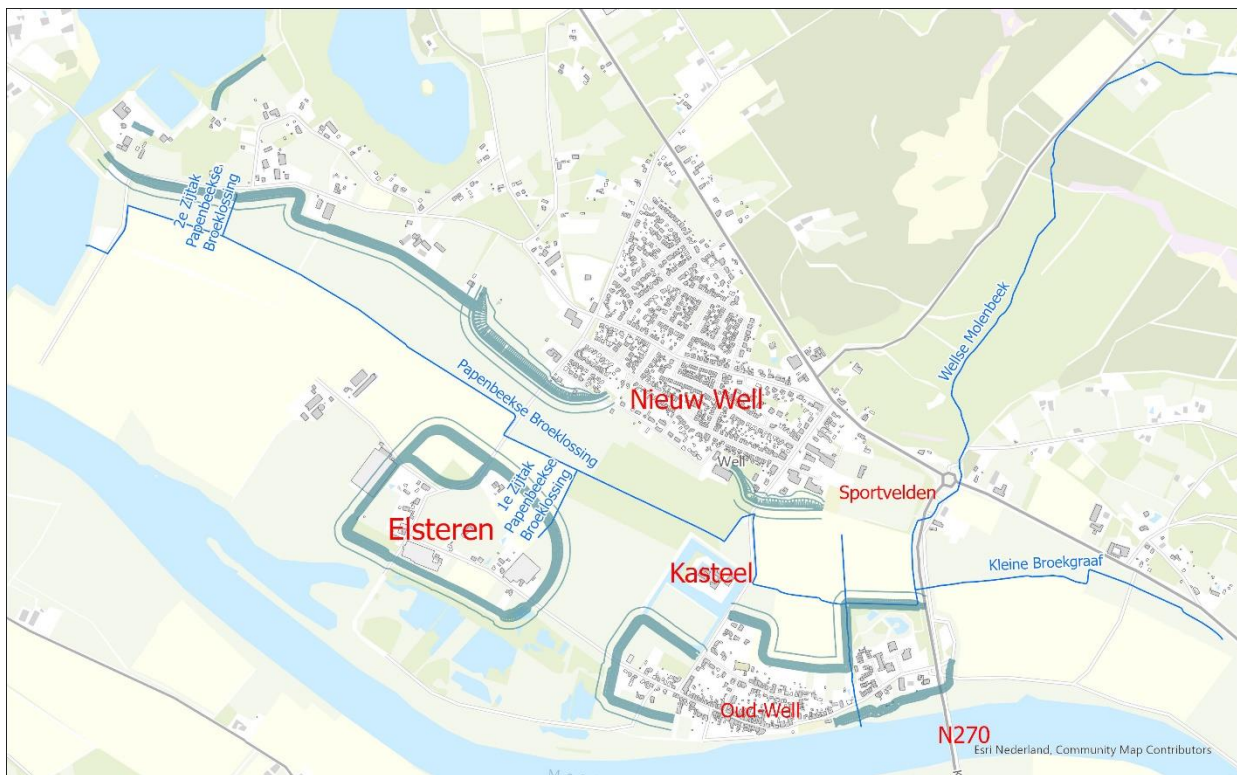
Figuur 2-12 Grondwaterstandsverloop in peilbuis B60-03 (rood) tijdens hoogwater op de Maas in juli 2021 (groen)	18
Figuur 2-13 Huidige watersysteem met de indicatieve ligging van de nieuwe dijken	19
Figuur 2-14 Hoogteligging en inschatting stroomgebied o.b.v. hoogteligging	20
Figuur 2-15 Watersysteem ter plaatse van Kasteel met BOB van duikers	21
Figuur 2-16 BOB duiker onder de weg Elsteren in de Bandse Graaf	22
Figuur 2-17 Foto september 2016	23
Figuur 2-18 Foto Mei 2015	23
Figuur 3-1 Modelextent met interessegebied	25
Figuur 3-2 Beregeningslocaties met beregeningsputten	26
Figuur 3-3 Laagopbouw, doorsnede is zichtbaar in figuur rechtsonder	28
Figuur 3-4 REGIS-lagen bij doorsnede door o.a. Maasduinen (zie inzetfiguur rechtsonder)	28
Figuur 3-5 Breuken in het interessegebied	29
Figuur 3-6 Geotop stratigrafie	29
Figuur 3-7 Geotop lithoklassen	30
Figuur 3-8 De donkere lijn geeft het gebied aan waar Geotop is vervangen door informatie vanuit het Leapfrog model	30
Figuur 3-9 Weergave aanvullend gezette boringen en sonderingen ten behoeve van project	31
Figuur 3-10 Voorbeeld van veen- en kleilagen in het Leapfrogmodel.	32
Figuur 3-11 Doorsnede door het projectgebied. In groen de Leapfrog zandlaag, in turquoise de klei-zandlagen, in donkergroen de kleilagen en in bruin de veenlagen.	36
Figuur 3-12 Beschikbare gegevens ISG	37
Figuur 3-13 Stationaire rivierpeilen in m+NAP bij Well	38
Figuur 3-14 gemodelleerde Maaswaterstand voor effect	39
Figuur 3-15 Ligging en peil van de primaire en secundaire waterlopen overgenomen vanuit het Ibrahim 3.0 model	40
Figuur 3-16 Ligging en peil van de tertiaire ontwatering overgenomen vanuit het Ibrahim 3.0 model	41
Figuur 3-17 Percelen met buisdrainage en het ontwateringsniveau t.o.v. maaiveld.	42
Figuur 3-18 Drainageniveau's verwerkt in de overland flow (OLF) in het model.	43
<i>Figuur 3-19 Onttrekkingen binnen modelgebied. Grijs=WML, oranje =Duitsland en blauw=Glastuinbouw</i>	44
Figuur 3-20 Breuken binnen modelgebied. In paars de hoofdbreuken, in roze de nevenbreuken	44
Figuur 4-1 Peilbuizen gebruikt voor kalibratie van het GxG-model	46
Figuur 4-2 Peilbuizen gebruikt voor kalibratie van het hoogwatermodel	47
Figuur 4-3 Berekende gemiddelde grondwaterstand t.o.v. maaiveld	48
Figuur 4-4 Weergave stationair kalibratieresultaat basismodelrun (kalibratieset)	49

Figuur 4-5 Kalibratieresultaat en berekend verhang (elke isohyps geeft een gelijke grondwaterstand aan met intervallen van 50 cm)	49
Figuur 4-6 Kalibratie & validatieset basismodelrun	50
Figuur 4-7 Kalibratieresultaat GHG basismodelrun	51
Figuur 4-8 Kalibratieresultaat GVG basismodelrun	52
Figuur 4-9 Kalibratieresultaat GLG basismodelrun	52
Figuur 4-10 Stationaire verschil kalibratieslag 1 en basismodelrun	53
Figuur 4-11 GHG t.o.v. NAP voor het BASIS3 model	54
Figuur 4-12 GVG t.o.v. NAP voor het BASIS3 model	55
Figuur 4-13 GLG t.o.v. NAP voor het BASIS3 model	56
Figuur 4-14 Locaties en naamgeving peilbuizen gebruikt voor beoordeling hoogwatermodel	57
Figuur 4-15 Vergelijking basismodel en metingen B60-01_1	58
Figuur 4-16 Vergelijking basismodel en metingen B60-03_1	58
Figuur 4-17 Vergelijking basismodel en metingen BER-WEL-02_1	59
Figuur 4-18 Vergelijking basismodel en metingen BER-WEL-01_1	59
Figuur 4-19 Vergelijking basismodel en metingen B60-06_1	60
Figuur 4-20 Vergelijking basismodel en metingen B52E1771_1	60
Figuur 4-21 In het donkere gebied is de storage in laag 1 op 0 gezet.	62
Figuur 4-22 Aanpassing OLF. In het paarse gebied is de OLF met 2 meter verhoogd, in het zwarte gebied met 20 cm.	63
Figuur 4-23 In het donkere gebied is de drainage van de plassen uitgezet.	63
Figuur 4-24 In het blauwe gebied zijn de Papenbeekse Broeklossing en enkele aantakkingen (donkere lijnen) uitgezet. Ook is in het blauwe gebied de buisdrainage uitgezet	64
Figuur 4-25 In het oranje gebied is de buisdrainage, zichtbaar in groen en blauw, uitgezet.	65
Figuur 4-26 Kalibratieresultaat (KAL-21) voor peilbuis B60-01	66
Figuur 4-27 Kalibratieresultaat (KAL-21) voor peilbuis B60-03	67
Figuur 4-28 Kalibratieresultaat (KAL-21) voor peilbuis BER-WEL-02	68
Figuur 4-29 Kalibratieresultaat (KAL-21) voor peilbuis BER-WEL-01	69
Figuur 4-30 Kalibratieresultaat (KAL-21) voor peilbuis B60-06	70
Figuur 4-31 Kalibratieresultaten (KAL-19 en KAL-21) voor peilbuis BER-WEL-01	70
Figuur 4-32 Validatieresultaat voor peilbuis B60-01	71
Figuur 4-33 Validatieresultaat voor peilbuis B60-03	72
Figuur 4-34 Validatieresultaat voor peilbuis BER-WEL-02	72
Figuur 4-35 Validatieresultaat voor peilbuis BER-WEL-01	73
Figuur 4-36 Validatieresultaat voor peilbuis B60-01	74
Figuur 4-37 Validatieresultaat voor peilbuis B60-03	74
Figuur 4-38 Validatieresultaat voor BER-WEL-02	75

Figuur 4-39 Validatieresultaat voor BER-WEL-01	75
Figuur 5-1 Locatie van vergraving en nieuwe bodem- en maaiveldhoogte na vergraving door Maaspark Well	78
Figuur 5-2 Isohypsens gemiddelde grondwaterstand in de referentiesituatie	79
Figuur 5-3 GHG ten opzichte van maaiveld in referentiesituatie	80
Figuur 5-4 GLG ten opzichte van maaiveld in referentiesituatie	81
Figuur 5-5 Maximale grondwaterstand t.o.v. mv voor referentie WBN2075	82
Figuur 5-6 Maximale grondwaterstand t.o.v. mv in Elsteren voor referentie WBN2075	83
Figuur 5-7 Maximale grondwaterstand t.o.v. mv in oostelijk Oud-Well voor referentie WBN2075	84
Figuur 5-8 Grondwaterstand t.o.v. mv in westelijk Oud-Well voor WBN2075	85
Figuur 6-1 Landgebruik en watersysteem in ontwerp	86
Figuur 6-2 Drainageniveau ten tijde van maatgevend hoogwater in ontwerp	87
Figuur 6-3 Maaiveldhoogte in ontwerp	88
Figuur 6-4 Effect GHG t.o.v. NAP	89
Figuur 6-5 GHG ten opzichte van maaiveld voor het plan	90
Figuur 6-6 GHG ten opzichte van maaiveld voor het plan inclusief duiding van panden en agrarische percelen	91
Figuur 6-7 Effect GVG t.o.v. NAP	92
Figuur 6-8 Effect GLG t.o.v. NAP	93
Figuur 6-9 GLG ten opzichten maaiveld voor het plan	94
Figuur 6-10 Verschil in grondwaterstand t.o.v. mv tussen worst-case scenarioberekening en referentieberekening.	95
Figuur 6-11 Grondwaterstand t.o.v. mv voor worst-case WBN2075 situatie (SCEN6, 0 cm verlaging Maaspeil a.g.v. projectplan).	96
Figuur 6-12 Verschil in grondwaterstand t.o.v. mv in Elsteren (links) en maximale grondwaterstand t.o.v. mv in Elsteren (rechts)	97
Figuur 6-13 Verschil in grondwaterstand t.o.v. mv in Oud-Well (links) en maximale grondwaterstand t.o.v. mv in Oostelijk Oud Well (rechtsboven) en Westelijk Oud-Well (linksonder)	97
Figuur 6-14 Verschil in grondwaterstand t.o.v. mv in Nieuw-Well (boven) en maximale grondwaterstand t.o.v. mv in Nieuw-Well (onder)	98
Figuur 6-15 Grondwaterstand t.o.v. mv bij pand bij Knikkerdorp voor worst-case WBN2075 situatie (SCEN6, 0 cm verlaging Maaspeil a.g.v. projectplan).	99

Bijlagen

Literatuur



Figuur 1-2 Overzichtskaart met toponiemen en huidig watersysteem van Wellse Molenbeek, Papenbeekse Broeklossing en Kleine Broekgraaf

Ten opzichte van het huidige watersysteem springen de volgende maatregelen het meest in het oog die relevant zijn ten aanzien van grondwater:

- Het dempen en wijzigen van oppervlaktewateren, bijvoorbeeld de Wellse Molenbeek en Papenbeekse Broeklossing.
- Het realiseren van een kwelplas.
- Het afgraven van maaiveld op verscheidene locaties (niet weergegeven op kaart).
- Het reconstrueren van de Koninginnebrug (N270) waarbij een open verbinding ontstaat, waardoor de Maas via de uiterwaarden het gebied in kan stromen

De maatregelen zorgen voor zowel verschillen in reguliere als extreme (lees: hoogwater) omstandigheden.

1.2 Doelstelling en kaders

Het grondwatermodel is opgezet met als doel het betrouwbaar berekenen van de grondwatereffecten van het voorlopig ontwerp 1 (VO1) van de Groene Rivier Well. Het berekenen van effecten op het grondwater is benodigd om de invloed van het ontwerp op de omgeving inzichtelijk te maken. Deze inzichten worden opgenomen in de MER.

De volgende kaders zijn relevant als uitgangspunten:

1. Welke effecten moeten in beeld gebracht worden?
2. Wanneer noemen we het model betrouwbaar?
3. Welke referentiesituatie is relevant?
4. Hoe ziet het voorlopig ontwerp eruit en welke parameters zijn belangrijk?

Ad 1.

Het grondwatermodel wordt opgezet om de effecten op de omgeving ten aanzien van grondwaterstanden in beeld te brengen zowel in normale omstandigheden als hoogwater. Het grondwatermodel zal ook gebruikt worden om de orde van grootte van de kwel in de dijkringen in beeld te brengen.

Het resultaat van de grondwatermodellering geeft een ruimtelijke reikwijdte weer van de effecten van het ontwerp. Op minimaal detailniveau van 25 bij 25 meter niveau worden effecten vanaf 5 cm weergegeven voor GxG (GLG¹, GVG², GHG³). De effecten worden vervolgens gebruikt bij het toetsen van effecten op bestaand landgebruik en doelstellingen.

Ad 2.

We noemen het model betrouwbaar als de opbouw en het resultaat van het model herleidbaar, verklaarbaar en representatief is. We rapporteren de modelstructuur door middel van deze technische rapportage zodat het model en het resultaat herleidbaar en verklaarbaar is. We kalibreren het model op basis van meetdata en bouwen het model op met behulp van de laatste inzichten qua data en systeemkennis zodat het model representatief is. Deze opzet leidt tot een onderbouwing die gebruikt kan worden voor projectbesluit en/of vergunningverlening.

Ad 3.

De referentiesituatie betreft de situatie waartegen de effecten van het ontwerp worden afgezet. Relevant zijn bijvoorbeeld het gehanteerde Maaspeil, grondwateraanvullingsperiode en de inrichting van het gebied. Dit gaat bijvoorbeeld over welk uitgangspunt gekozen wordt t.a.v. Maaspark Well en Energielandgoed Wells Meer. De ruimtelijke situatie ten aanzien van de referentie is aanvullend geduid in 1.3.

Ad 4.

Het vaststellen van het ontwerp wat gemodelleerd wordt. Dit betreft het Voorlopig Ontwerp 1 (VO1). Belangrijke kenmerken van het VO1 zijn weergegeven in 1.3.

1.3 Inrichtingsituaties

1.3.1 Huidige situatie

De huidige situatie betreft de situatie in het veld zoals deze zich anno 2024 voordoet. In deze situatie is de dijkkring gesloten middels de N270 en keringen langs de Maas ter hoogte van Oud-Well en Elsteren. Zodoende blijft de Maas dus gedurende hoogwater buiten het gebied. De lokale ontwatering wordt gevormd door de Papenbeekse Broekklossing en Wellse Molenbeek. Deze situatie is nader beschreven in hoofdstuk 0.

1.3.2 Referentiesituatie

Ruimtelijke inrichting

De referentie qua inrichting is de huidige situatie + de autonome ontwikkelingen die vastgelegd zijn in projectplannen of besluiten en daarmee een (juridische) werkelijkheid vormen. Relevante autonome ontwikkelingen in dit kader betreffen:

- Maaspark Well
- Energielandgoed Wells Meer

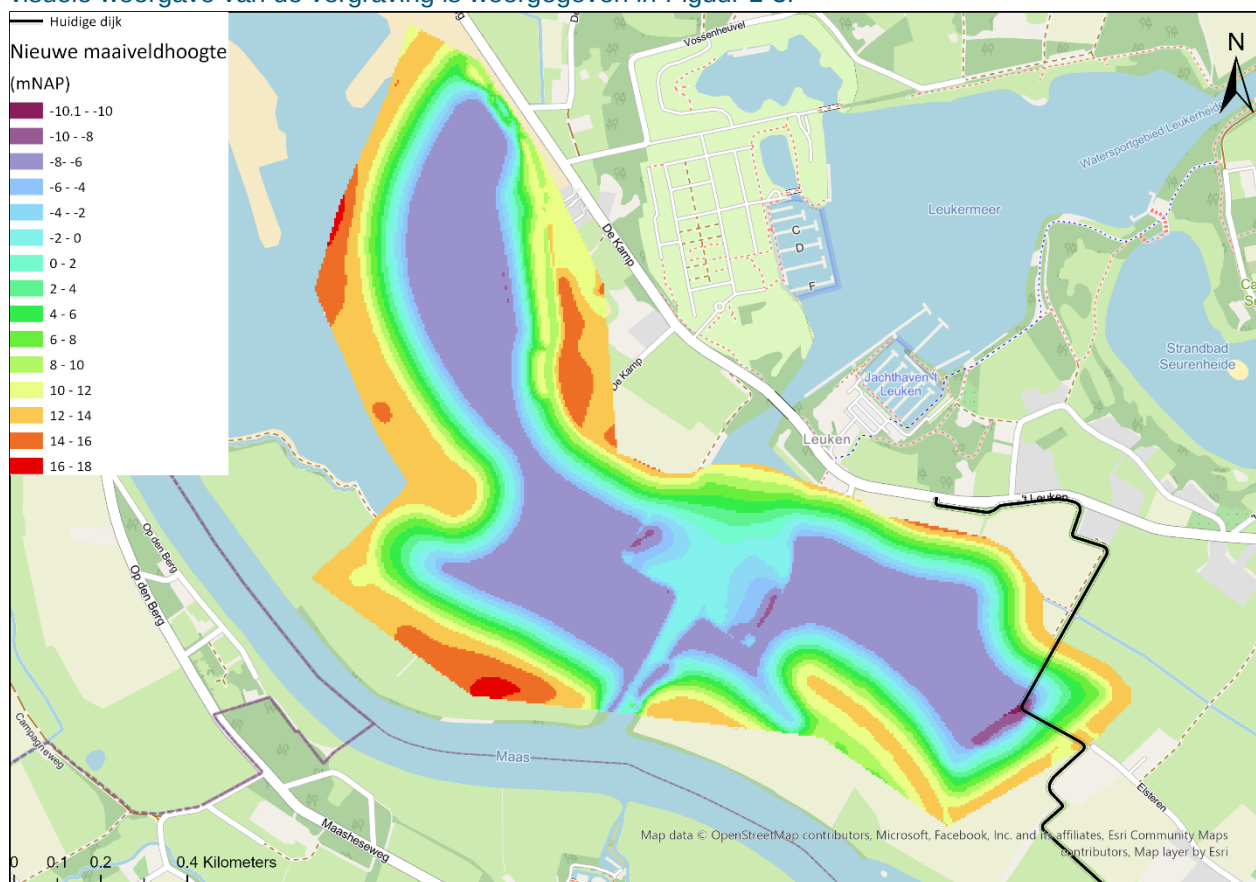
¹ GLG = Gemiddeld Laagste Grondwaterstand

² GVG = Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand

³ GHG = Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand

De projectbesluiten zijn bestudeerd en van de vastgestelde maatregelen is beoordeeld of deze significante effecten zouden veroorzaken op het projectgebied. Voor Maaspark Well is beoordeeld dat dit het geval is, mede op basis van de inzichten vanuit de opgestelde MER voor Maaspark Well (Royal Haskoning, 19 juli 2011). Voor het energielandgoed is beoordeeld dat de vergunde maatregelen geen significante invloed hebben op het projectgebied. De maatregelen betreffen het dempen en verleggen van een aantal watergangen relatief ver van het projectgebied af. Aangezien de belangrijkste drainerende watergang (Wellse Molenbeek) intact blijft en geen gewijzigd peil krijgt, is beoordeeld dat dit geen significant effect heeft ten aanzien van de doelen van deze grondwatermodellering en daarom niet opgenomen in de referentiesituatie.

Voor Maaspark Well is afstemming geweest met Maaspark Well en de eindsituatie is opgehaald. Een visuele weergave van de vergraving is weergegeven in Figuur 1-3.



Figuur 1-3 Locatie van vergraving en nieuwe bodem- en maaiveldhoogte na vergraving door Maaspark Well (Waterschap Limburg, 11 januari 2024)

1.3.3 Ontwerp

Het Voorlopig Ontwerp 1 (VO1) is hetgeen is gemodelleerd als het ontwerp. Kenmerken van VO1:

- Ondergrond volgend afgraven van het maaiveld in de Groene Rivier
- Afgravingen ter plaatse van de Band
- Uitstroom van de Wellse Molenbeek in de kwelgeul
- Aanbrengen van drempels in de kwelgeul teneinde peilen te handhaven
- Openen dijkkring door het realiseren van een brug voor de N270 en deels opheffen bestaande keringen
- Kernen Elsteren en Oud-Well omringen door deels nieuwe of gereconstrueerde keringen

- Grotendeels dempen Wellse Molenbeek en Papenbeekse Broeklossing in projectgebied
- Wijziging van landgebruik in projectgebied als gevolg van ingrepen.

In Figuur 1-4 is de inrichtingskaart van VO1 weergegeven waarop bovenstaande ingrepen zijn verwerkt. De ingrepen en de totstandkoming en afwegingen daaromtrent zijn in andere documenten toegelicht, waaronder de MER (RHDHV, in ontwikkeling).



Figuur 1-4 Voorlopig Ontwerp 1 (VO1)

De implementatie en details van het ontwerp in de grondwatermodellering zijn nader toegelicht in hoofdstuk 6.

Ter referentie is ook het Voorlopig Ontwerp 2 ten tijde van schrijven weergegeven in Figuur 1-5.



Figuur 1-5 Voorlopig Ontwerp 2 (VO2)

Een belangrijk onderscheid voor het watersysteem betreft de uitstroom van de Wellse Molenbeek direct naar de Maas in plaats van in de kwelgeul.

1.4 Projectaanpak

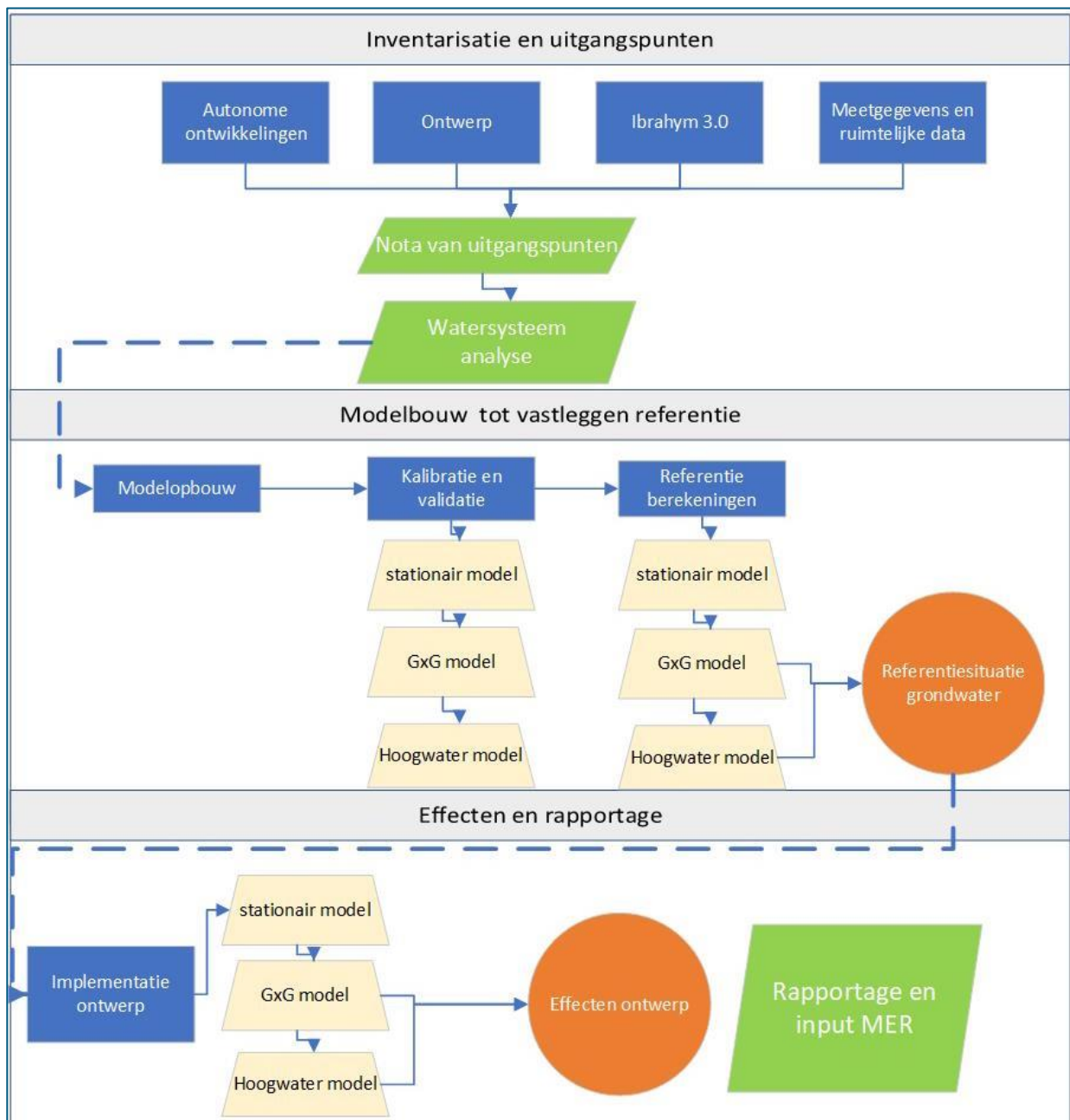
In Figuur 1-6 is op hoofdniveau weergegeven welke stappen nodig zijn om uiteindelijk de doelen van de grondwatermodellering te verwezenlijken. Als eerste stap is een uitgangspuntennotitie en watersysteemanalyse opgesteld. In de uitgangspuntennotitie (RHDHV, 9 februari 2024) is afgestemd hoe en op welke manier het model opgebouwd en geschikt wordt gemaakt voor de toepassing. Dit gaat bijvoorbeeld over de verfijning van het model en de te gebruiken data. De watersysteemanalyse geeft inzicht in het bestaande watersysteem en geeft zodoende houvast bij het modelleren. De uitgangspuntennotitie en watersysteemanalyse zijn geïntegreerd in dit document waarmee dit document leesbaar is op zichzelf.

Vervolgens is de modelbouw gestart. Het regionale grondwatermodel Ibrahim 3.0 (Royal HaskoningDHV et al., 30 september 2023) is als basis gebruikt en verfijnd met, onder meer, lokale informatie ten aanzien van het watersysteem en ondergrond. Parallel hieraan is een oppervlaktewatermodel opgesteld welke wordt gebruikt om het grondwatermodel te voeden, onder meer qua peilen. Het grondwatermodel is gekalibreerd op bestaande meetdata, zodat vertrouwen wordt verkregen dat het model een juiste reflectie geeft van het systeemgedrag. Dit is gedaan voor zowel normale situaties als voor hoogwater.

Na kalibratie is de referentiesituatie van het model opgebouwd. Hierin zijn relevante autonome ontwikkelingen opgenomen en is het model doorgerekend zodat we de referentiesituatie kunnen vastleggen. Vervolgens is het ontwerp gemodelleerd en doorgerekend en zijn de verschillen in grondwaterstand tussen referentie en ontwerp in beeld gebracht.

In deze technische achtergrondrapportage zijn opbouw en keuzes alsmede resultaten vastgelegd.

(In blauw activiteiten, groen producten, oranje modeluitvoer)



Figuur 1-6 Weergave stappen en producten grondwatermodellering

1.5 Definities en leeswijzer

Tabel 1-1 Definitietabel

Term	Definitie
GxG model	Grondwatermodel wat langjarig is doorgerekend op dagelijkse tijdstappen. Dit model is gebruikt om de effecten onder normale omstandigheden in beeld te brengen.
Hoogwatermodel	Grondwatermodel wat is voortgebouwd is op het GxG model, maar specifiek aangepast zodanig dat de relevante grondwaterprocessen tijdens hoogwater goed zijn opgenomen. Dit model is gebruikt om de grondwatereffecten tijdens hoogwater in beeld te brengen
Plan of ontwerp	De voorziene nieuwe inrichting en beheersing van het watersysteem van het projectgebied
Het project	De ontwikkeling van VO1 en VO2 voor de gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well
Effect	Het verschil tussen de berekende grondwaterstand voor respectievelijk het ontwerp en de referentiesituatie waarbij een drempelwaarde van 5 centimeter is gehanteerd. Verschillen onder de 5 cm worden niet aangemerkt als effect.
Projectgebied	Het gebied waarvoor het ontwerp in een nieuwe inrichting voorziet
Interessegebied	Het projectgebied inclusief direct aangelegen gebied wat direct effecten ondervindt van het plan. Dit gebied is ook relevant omdat de modelprestatie in dit gebied van belang is voor het vertrouwen in het model
Modelgebied	Het gebied opgenomen in het model. Dit omvat een substantieel groter gebied wat benodigd is om de grondwaterstroming goed mee te nemen.
Ibrahym 3.0	Beheergebied dekkend regionaal grondwatermodel van Waterschap Limburg.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de watersysteemanalyse weergegeven welke nader ingaat op de huidige staat van het watersysteem en haar kenmerken. Hoofdstuk 3 geeft de modelopbouw weer en de keuzes en gevolgen daarvan. Hoofdstuk 4 beschrijft het kalibratie en validatieproces. In hoofdstuk 5 is de referentiesituatie zowel qua inrichting als grondwatersysteem weergegeven en in hoofdstuk 6 is tenslotte het ontwerp, de modellering daarvan en de resultaten besproken.

2 Watersysteemanalyse

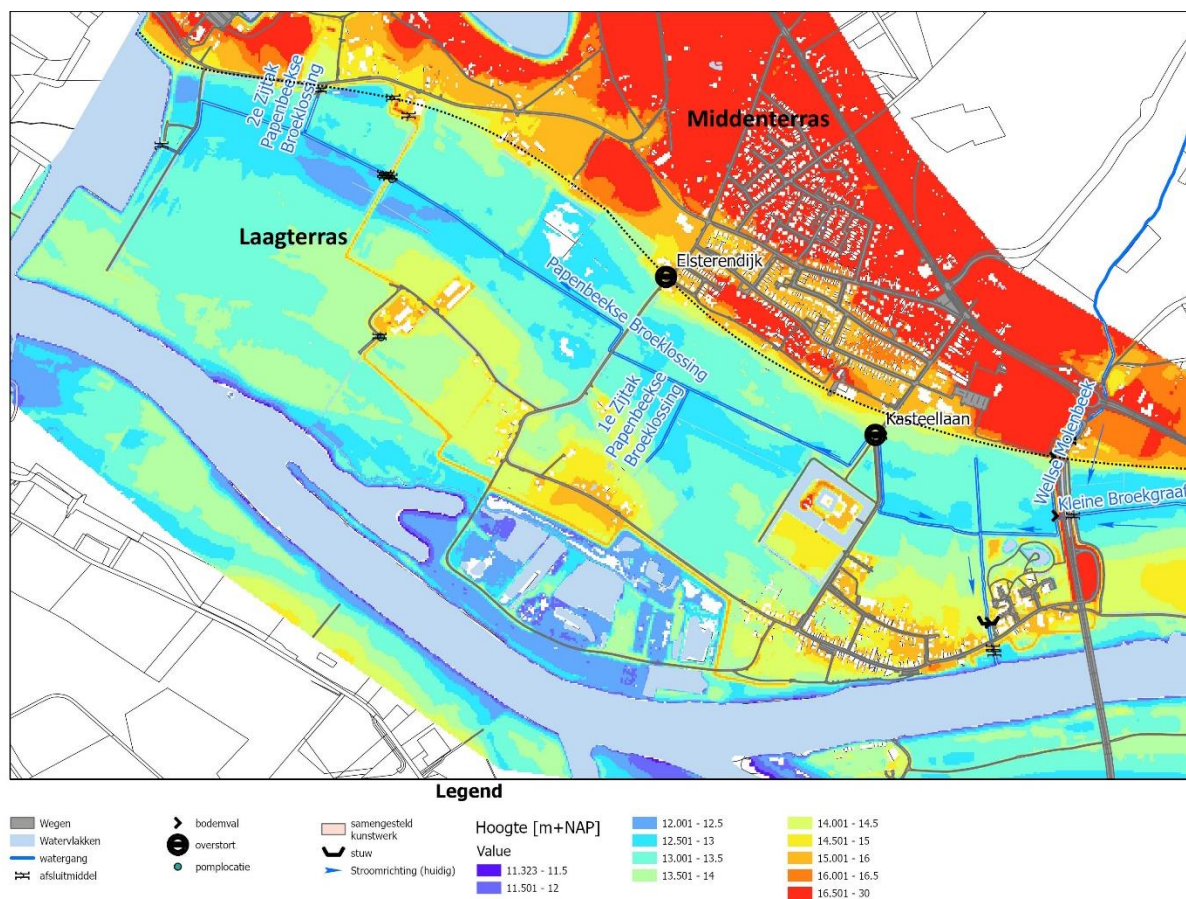
Deze beschrijving biedt inzicht in het watersysteem en haar kenmerken en daarmee kader en richting voor de modellering. De beschrijving is eerst op hoofdlijnen over het gehele watersysteem en vervolgens naar enkele subgebieden en onderwerpen opgedeeld.

2.1 Het oppervlaktewatersysteem

Gemiddelde situatie

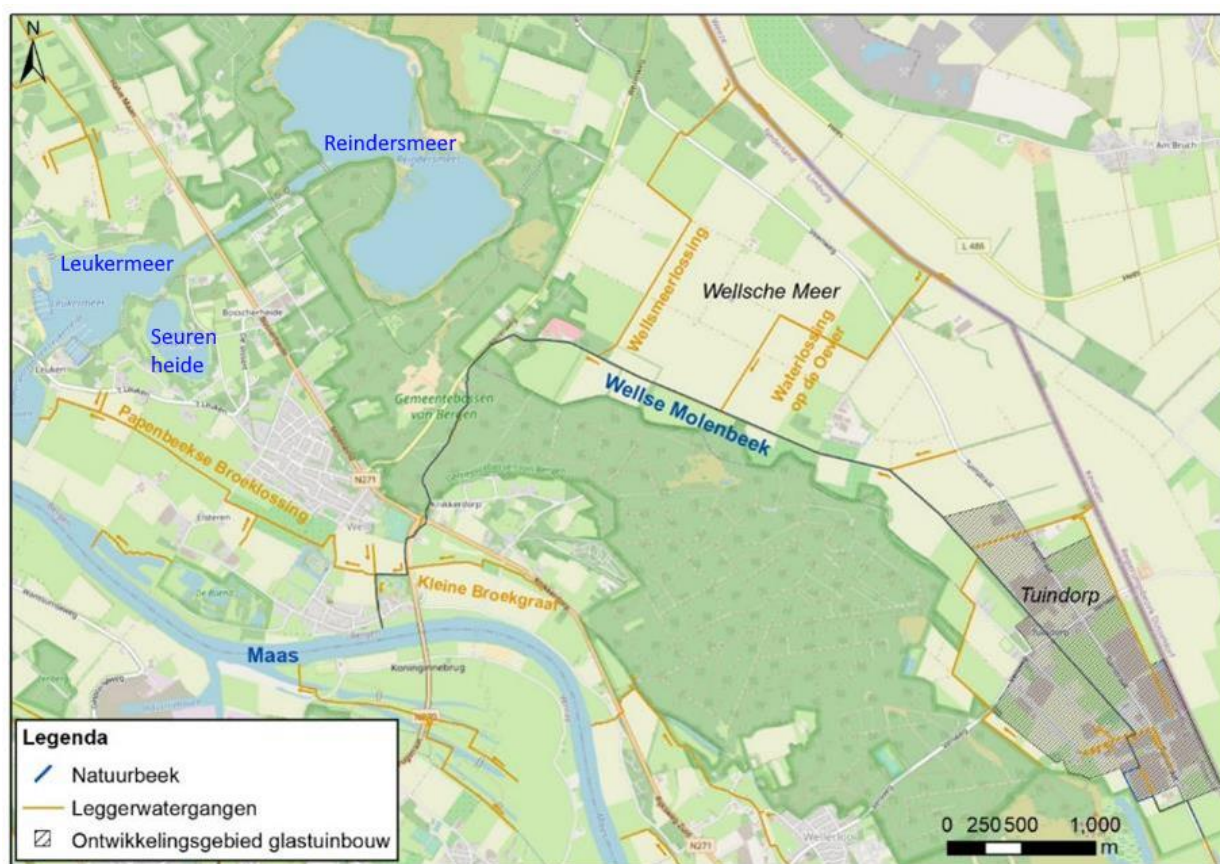
Het oppervlaktewatersysteem in de omgeving van Well valt te verdelen in verschillende deelsystemen. Een hele belangrijke en bepalende factor is natuurlijk de Maas. De Maas is op dit traject gestuwd en het peil fluctueert hier bij 'normale' waterstanden tussen de 11,10 en 11,25 m+NAP. In de periode 2010 tot 2015 is naar een hoger stuwpeil in het betreffende stuwvak overgegaan (het huidige peil van 11,10 tot 11,25). Vóór deze periode was dit 25 centimeter lager.

In de huidige situatie kan de Maas bij hoogwater niet tussen Nieuw-Well en Oud-Well stromen, vanwege het wegtalud van de N270, wat als kering dient. Na de voorgenomen gebiedsontwikkeling zou dit wel mogelijk moeten zijn. Uit de betrekkinglijnen van Maas (versie 2021-2022) blijkt dat de Maas bij het meetpunt Well dorp gemiddeld 2x per jaar een waterstand van 13,15 m+NAP bereikt en eens per 5 jaar een waterstand van 14,44 m+NAP bereikt. Op basis van het huidige maaiveld in het verlengde van de restgeul bij de Kleine Broekgraaf (ca. 13,85 m+NAP) en deze huidige gemiddelde waterstanden kan dan worden afgeleid dat de aanwezige restgeul in een situatie zonder dijk ongeveer eens per 3 jaar zou overstromen.



Figuur 2-1 Watersysteem inclusief hoogtekaart en duiding Maasterrassen (stippellijn)

Op de locatie waar de groene rivier is voorzien, ter plaatse van de oude restgeul van de Maas, ligt nu de Papienbeekse Broeklossing (Figuur 2-2). De naam “Broeklossing” geeft al aan dat deze watergang gegraven is om de hier aanwezige natte gronden te ontwateren. Deze broeklossing ligt hier grotendeels op het laagste punt in de dalvormige laagte die hier door vroegere lopen van de Maas is achtergelaten. Hetzelfde geldt voor de Kleine Broekgraaf ten oosten van de N270. Deze watergangen liggen hier op een tactische locatie om zo efficiënt mogelijk de natte gronden te ontwateren en geschikt te maken ten behoeve van landbouw. Hierdoor voeren deze watergangen in de huidige situatie ook grondwater (kwel) af, wat ook aan de vegetatie te zien is.



Figuur 2-2 Oppervlaktewatersysteem in de omgeving van Well.

De Wellse Molenbeek heeft volgens het Provinciaal Waterprogramma de status Natuurbeek. Deze status komt voort uit het feit dat deze ‘beek’ deels door het Natuurnetwerk Limburg en het Natura 2000-gebied de Maasduinen loopt. De Wellse Molenbeek is echter van origine helemaal geen natuurlijke beek, maar een gegraven watergang die vermoedelijk in eerste instantie gegraven is om een watermolen aan te drijven. Naast de aandrijvende functie voor de Wellse watermolen kreeg de Wellse Molenbeek later ook een steeds belangrijkere functie voor de ontginning van de woeste gronden achter de Maasduinen. Dit gebied, wat op kaarten aangeduid staat als het Wellsche Meer, is van oudsher een nat gebied. Water kon hier moeilijk weg vanwege de slechtdoorlatende bodem en insluiting van het gebied door de hoger gelegen Maasduinen. Om dit gebied te ontwateren en geschikt te maken voor landbouw, kon de Wellse Molenbeek worden gebruikt die toch al door de Maasduinen heen gegraven was. Vanaf het begin van de 20^e eeuw is het gebied grotendeels in landbouwkundig gebruik en lijkt het patroon aan watergangen sterk op de huidige situatie (Figuur 2-2). De waterafvoer van de Wellse Molenbeek werd over tijd steeds minder, waardoor deze bovenstrooms grote delen van het jaar droogvalt.

De aanvoer vanaf het hogere middenterras naar het laagterras blijft doorgaans beperkt tot grofweg het winterhalfjaar. Benedenstrooms, op het laagterras, is de beek wel jaarrond watervoerend aangezien de grondwatervoeding hier sterker is.

Tot slot zijn de grote waterplassen Reindersmeer, Seurensheide en Leukermeer kenmerkende elementen in het landschap. Deze plassen zijn gegraven ten behoeve van zand- en grindwinning. Zij hebben geen grote invloed op de hierboven beschreven watergangen van het oppervlaktewatersysteem, maar ze hebben wel een veelal drainerende werking op het grondwatersysteem, zoals ook te zien is aan de lokaal afbuigende isohypsen in Figuur 2-8.

Hoogwater en nattere periodes

In een hoogwatersituatie wordt het gebied op het laagterras qua afwatering ingesloten door de hoge Maasstand. Vrije afwatering vindt dan niet meer plaats en waterstanden binnendijs lopen op met ook potentie tot het onder lopen van maaiveld. Ook in zeer natte tijden zoals de winter van 2023/2024 kan dit gebeuren (Figuur 2-3). De afvoercapaciteit van de lokale watergangen is dan onvoldoende om dit te voorkomen. Bij hoogwater op de Maas en wateroverlast binnendijs worden noodpompen geplaatst in Oud-Well op de Wellse Molenbeek en nabij Elsteren op de Papenbeekse Broeklossing om wateroverlast te beperken. Het waterniveau wordt dan grofweg beheerst op maximaal 13.25 m+NAP.

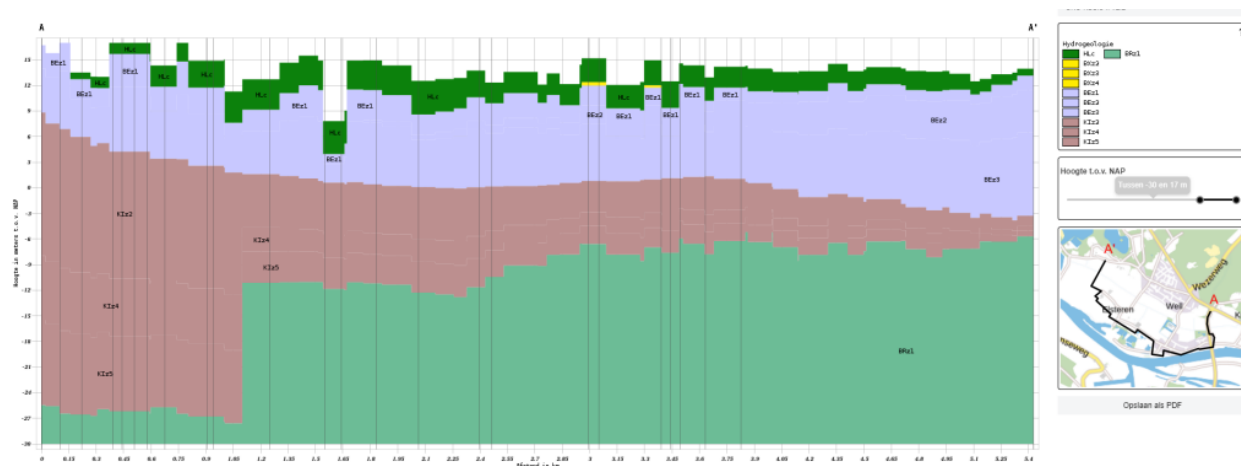


Figuur 2-3 Water op maaiveld binnen dijkkring winter 2023/2024

2.2 Geologie

2.2.1 Regionale en lokale ondergrond

In grote lijnen bevindt zich in het projectgebied een holocene deklaag op een afzetting van Beegden, met daaronder de Kiezeloöliet Formatie en Formatie van Breda. Figuur 2-4 is een doorsnede REGIS II v2.2 van het (huidige) dijktraject 60-1, met links Well en rechts Elsteren.



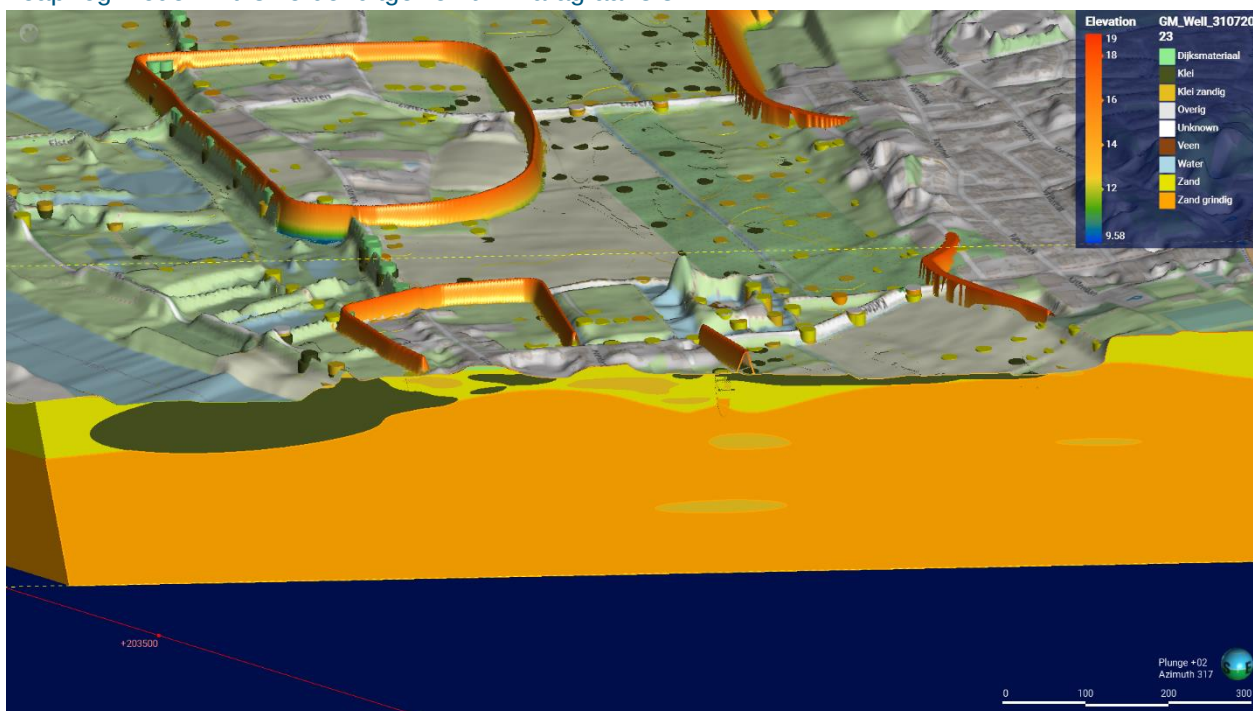
Figuur 2-4 Doorsnede van het dijktracé uit REGIS II v2.2.

Over het gehele traject zijn aan het maaiveld holocene afzettingen (donkergroen) aanwezig, bestaande uit kleiig materiaal, veen en zand, met een dikte van 2 tot 3 meter. Daaronder ligt, vanaf ca. 12m+NAP tot aan een diepte variërend van 3m+NAP (Well) tot -3m+NAP (Elsteren) de formatie van Beegden (paars), die voornamelijk bestaat uit relatief grof zand en grind. De formatie van Beegden betreft een fluviatile afzetting (Maas). Heel lokaal komt tussen de holocene afzettingen en de formatie van Beegden nog de zandige formatie van Bortel (geel) voor. Onder de formatie van Beegden ligt de Kiezeloöliet formatie (bruin), met grof zand en grind, tot aan ca. -9m+NAP maar lokaal ook -20m+NAP. Deze fluviatile afzetting is afkomstig van voorlopers van Maas en Rijn. Onder het Kiezeloöliet bevindt zich de kalkhoudende formatie van Breda (groen).

De Holocene deklaag is enkele meters dik en aanwezig in het lage Maasterras. Voorbij de steilrand bij Well, noordelijk op het middenterras, is deze niet meer aanwezig. De Holocene deklaag kan belangrijk zijn voor de demping van de effecten in het watervoerend pakket. De Beegden en Kiezeloöliet zijn beide zeer goed doorlatende formaties (beide bestaan uit grof zand en grind) en vormen samen het voornaamste watervoerende pakket in dit gebied. De formatie van Breda is vaak slecht doorlatend en zeer dik en vormt daarmee de hydrologische basis van het gebied. De formatie van Breda is afgezet gedurende mariene condities en bestaat uit zeer fijn tot matig fijn zand en is meer dan 100 meter dik in het rondom het projectgebied.

In het kader van het dijkversterkingsproject zijn tientallen boringen gezet. Deze zijn met het geotechnisch ondergrondmodel Leapfrog verwerkt. Leapfrog wordt gebruikt om ondergrondmodellen voor geotechnische berekeningen zoals stabiliteits- en pipingberekeningen te maken. Op basis van de boringen is een ondergrondmodel voor het dijkversterkingsgebied gemaakt, waarbij onderscheid is gemaakt tussen klei, klei zandig, zand, zand grindig en veen. Een doorsnede door het ondergrondmodel is weergegeven in Figuur 2-5. De boringen en het ondergrondmodel beslaan zowel de Holocene deklaag als (een deel van) de Formatie van Beegden.

Uit het model blijkt dat meerdere klei- en veenlagen in het gebied voorkomen. De klei en veenlagen zullen lokaal invloed hebben op het gedrag van het grondwatersysteem ter plaatse. In het grondwatermodel wordt waar mogelijk de Holocene deklaag en een deel van de Formatie van Beegden vervangen door het Leapfrog model. Dit is verder uitgewerkt in Paragraaf 3.3.2.



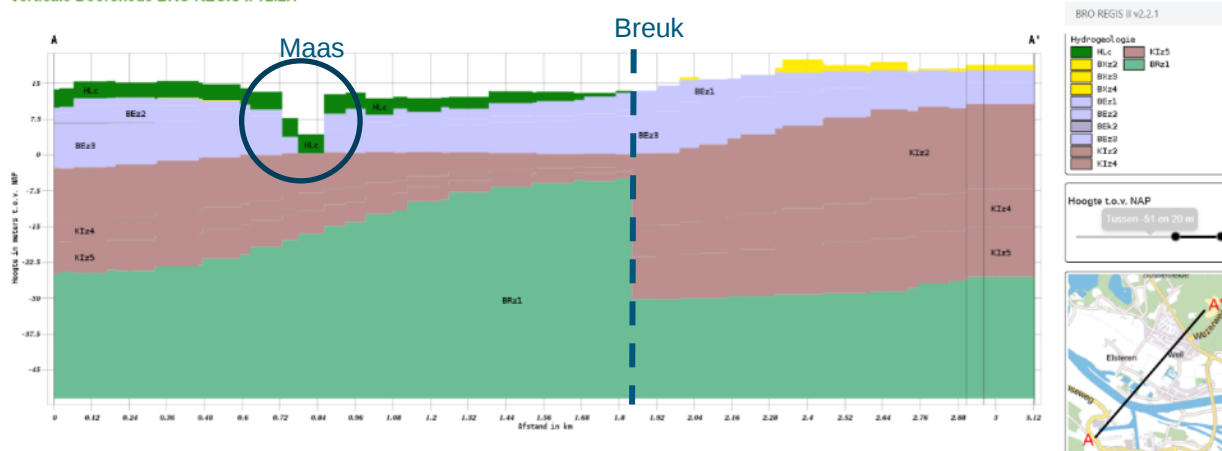
Figuur 2-5 Doorsnede door het geotechnisch Leapfrog ondergrondmodel.

2.2.2 Breuken

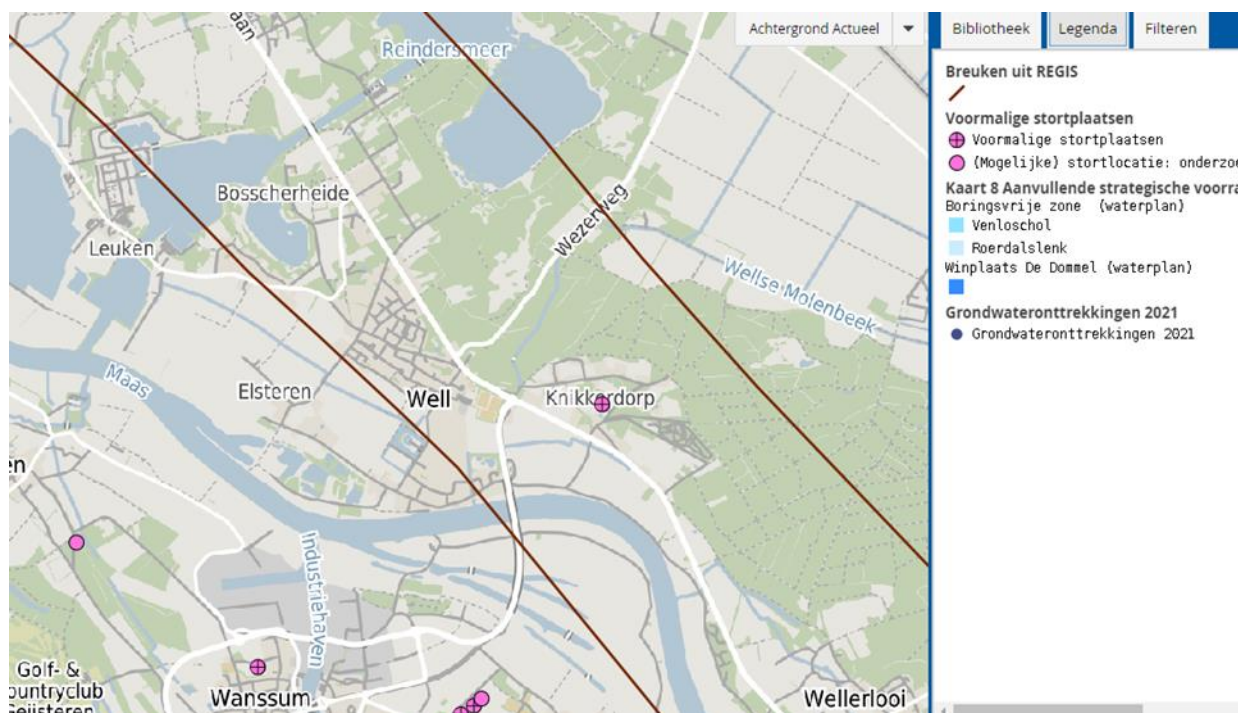
Figuur 2-6 geeft een dwarsdoorsnede van de westoever van de Maas tot het middenteras noordelijk van Well weer. De Maas is ook aangegeven in deze figuur⁴. De Maas doorsnijdt de Beegden formatie. De dikte van de Kiezelooliet formatie neemt vanaf de Maas gezien af richting Well, waarna deze daarna weer vrij abrupt dikker wordt. Dit wordt veroorzaakt door een breuk, zie ook Figuur 2-7. Deze breuk kruist ter plaatse van Well de Maas. De precieze gevolgen van deze breuk voor de grondwaterstroming zijn onduidelijk.

⁴ In het figuur is een deklaag ter plaatse van de Maas weergegeven. Dit zal ter plaatse niet het geval zijn als gevolg van de eroderende invloed van de Maas. Deze laag is uiteindelijk ook niet opgenomen in het model ter plaatse van de Maas.

Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2.1



Figuur 2-6 Doorsnede van westoever Maas tot het noorden van Well.



Figuur 2-7 Breuken in het onderzoeksgebied.

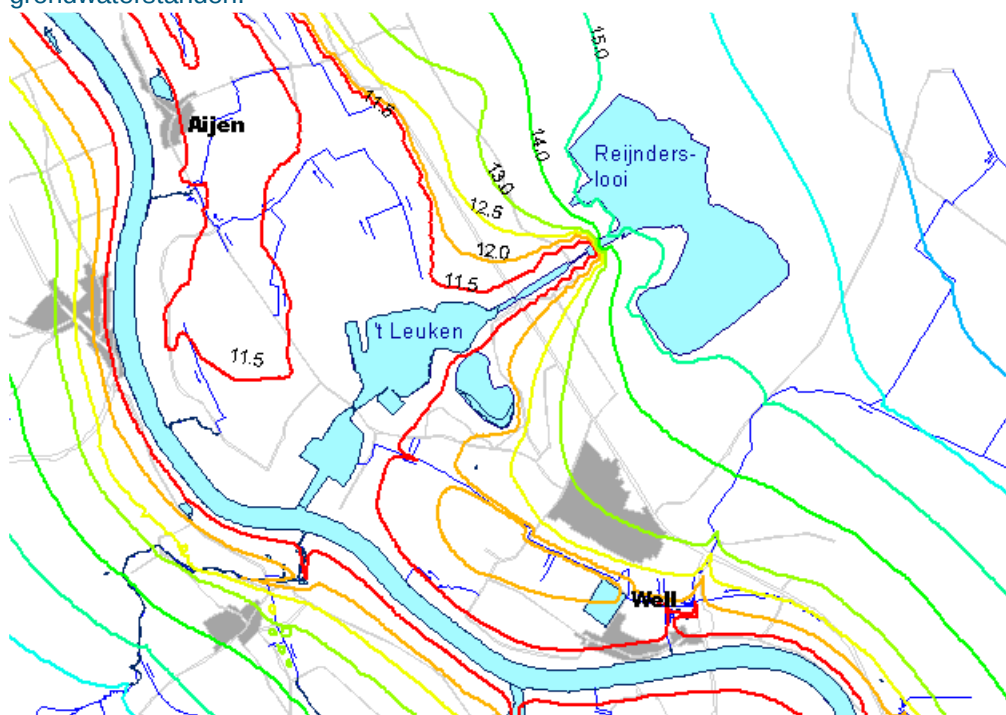
2.3 Grondwaterstanden en stroming

In het project 'Gebiedsontwikkeling Maaspark Well' zijn modelberekeningen gedaan, waarbij de grondwaterstanden in de huidige situatie ook zijn berekend. De berekende, gemiddelde, isohypsen zijn weergegeven in Figuur 2-8. De grondwaterstroming is grotendeels richting de Maas gericht, of naar waterlopen/plassen die aan de Maas aangetakt zijn. Een voorbeeld hiervan is 't Leuken en de watergang naar Reijnderslooi. In deze situatie was het Maaspeil nog 25 cm lager dan nu.

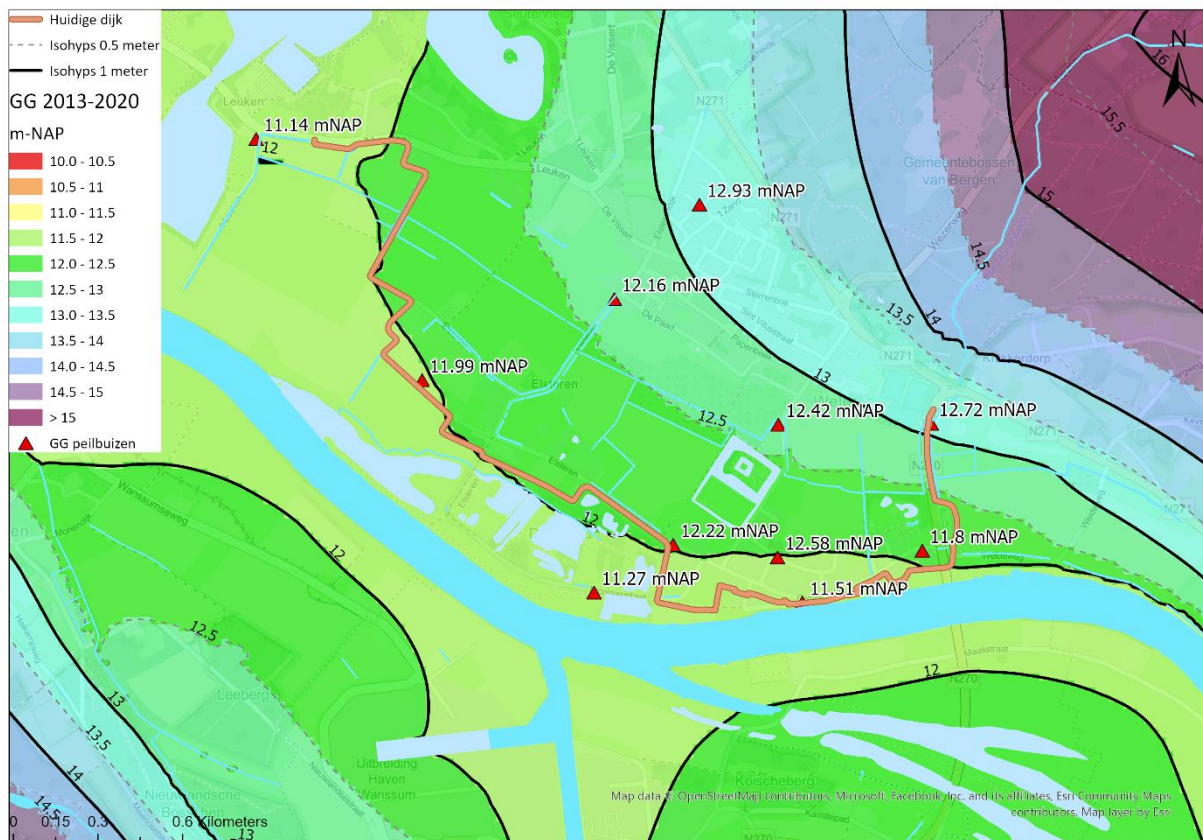
In het projectgebied is de drainerende werking van de Papenbeekse Broeklossing zichtbaar aan de oranje isohypsen die ter plaatse sterk afbuigt naar deze watergang. De Wellse Molenbeek draineerde beperkt in de gemiddelde situatie. Gemiddelde grondwaterstanden ter hoogte van Nieuw Well waren berekend op

grofweg 13 m+NAP. Ter plaatse van Oud-Well was dit 12 m+NAP. Ter hoogte van Elsteren was dit grofweg 12,5 m NAP.

Figuur 2-9 geeft de huidige gemiddelde grondwaterstandssituatie berekend met het model in deze studie weer, waarbij het Maaspeil voor het grootste deel van de periode 25 cm hoger is. De isohypsen komen grotendeels overeen met Figuur 2-8. De gemiddelde grondwaterstroming is richting de Maas of aan de Maas aangetakte plassen. Wel zijn de grondwaterstanden in de huidige situatie hoger door de verhoging van het Maaspeil. Ook heeft de Papenbeekse Broeklossing een minder sterk drainerende werking. Meer bovenstrooms is wel een drainerende werking van de Wellse Molenbeek zichtbaar. Daar buigen de isohypsen naar de beek toe. De peilbuismetingen in het figuur komen vrij goed overeen met de berekende grondwaterstanden.

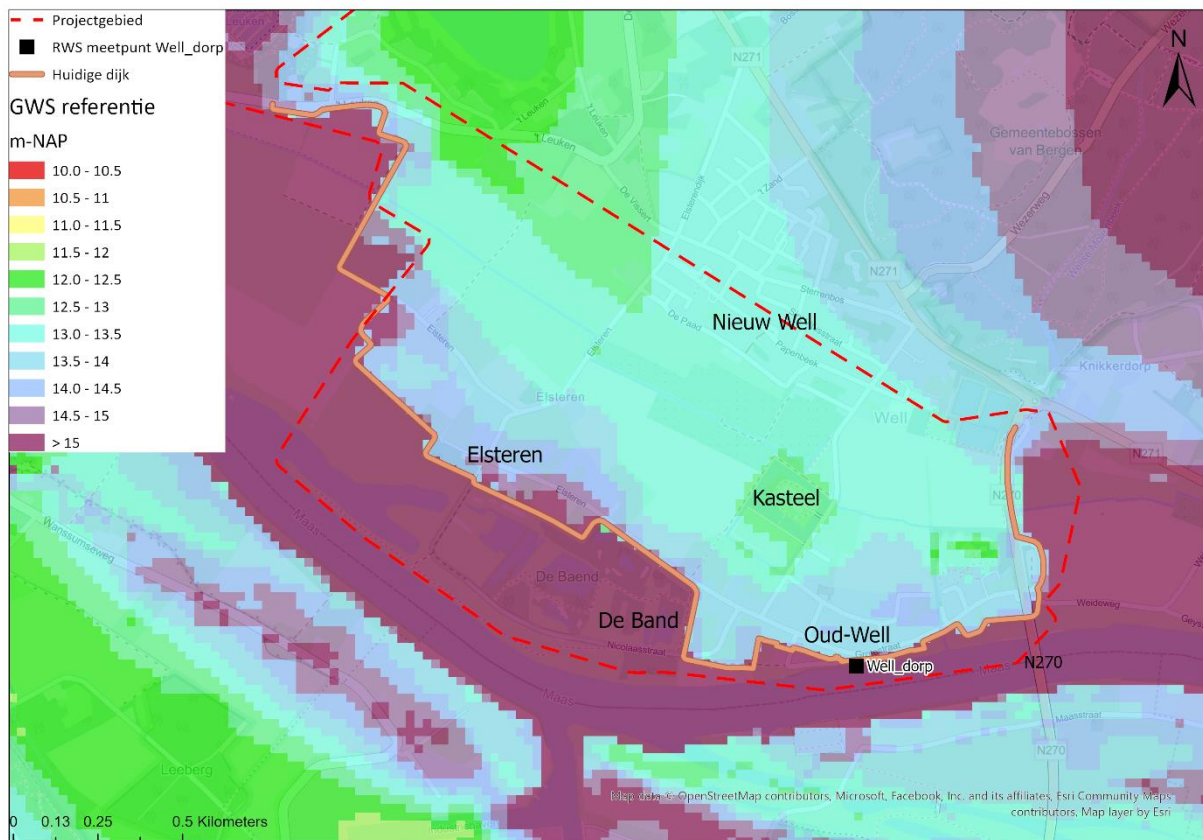


Figuur 2-8 De modelberekende isohypsen van de gemiddelde grondwaterstanden situatie 2011 (Royal Haskoning, 19 juli 2011).



Figuur 2-9 Gemiddelde grondwaterstand bij peilbuizen en in het model over de periode 2013 - 2020

Ten tijde van hoogwatergebeurtenissen op de Maas draait de stromingsrichting om (Figuur 2-10). De Maas bereikt dan dusdanig hoge standen dat dit leidt tot een omgekeerde grondwaterstroming. Het oppervlaktewater van de Maas infiltreert in de bodem en stroomt het gebied via de grond in. In nabijgelegen laagtes treedt het grondwater als kwel uit. De gepresenteerde grondwaterstanden treden op bij een maatgevend Maas hoogwater (5.2.2).



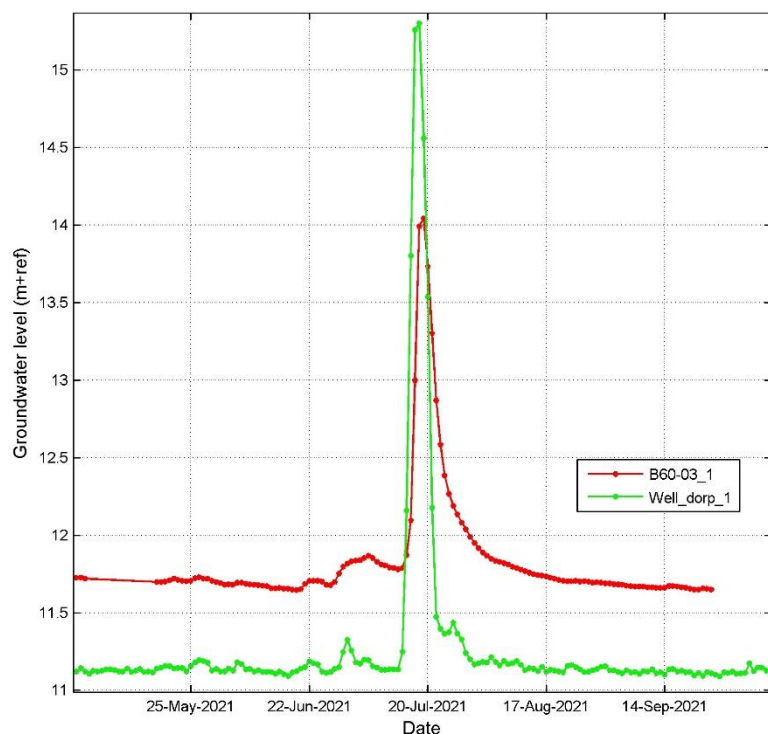
Figuur 2-10 Berekende grondwaterstand t.o.v. NAP gedurende hoogwater

In bijvoorbeeld juli 2021 bedroeg de Maas waterstand maximaal ruim 15 m+NAP. Deze hoogwatergebeurtenis had een relatief korte tijdsduur. Gedurende de hoogwatergebeurtenis is een luchtfoto gemaakt waarop zichtbaar is dat sprake is van kwel in lage binnendijkse delen zoals te zien in Figuur 2-11.



Figuur 2-11 Uittredende kwel ten tijde van hoogwater juli 2021

Het grondwater reageerde ondanks de relatief korte tijdsduur van de gebeurtenis ook vrij scherp op de hoge maasstand, zoals bijvoorbeeld te zien is aan het grondwaterstandsverloop van de binnendijs gelegen peilbuis B60-03 (Figuur 2-12). De locatie van de peilbuizen is weergegeven in Figuur 4-1.



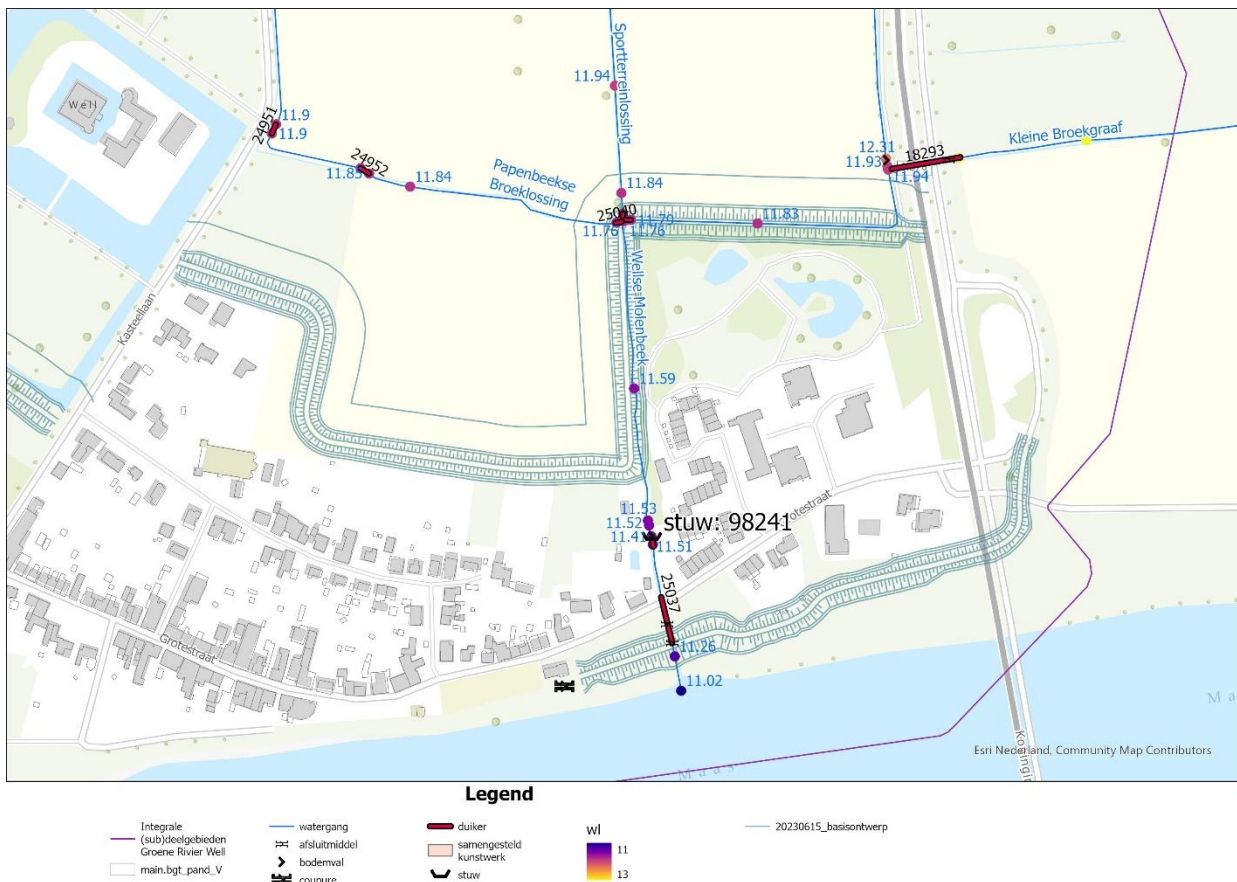
Figuur 2-12 Grondwaterstandsverloop in peilbuis B60-03 (rood) tijdens hoogwater op de Maas in juli 2021 (groen)

De scherpe reactie van het grondwatersverloop geeft een indruk van de goed doorlatende ondergrond.

2.4 Deelgebieden

2.4.1 Wellse Molenbeek en Broekgraaf

De Wellse Molenbeek 'ontspringt' op het hogere middenterras en watert het gebied bij Wells Meer en Tuindorp af. Via de bossen van de Maasduinen stroomt de Wellse Molenbeek vervolgens richting het projectgebied. Ter hoogte van de N271 stroomt de Wellse Molenbeek via enkele bodemvallen en duikers het projectgebied in. De Wellse Molenbeek vervalt hier enkele meters over een traject van grofweg 500 meter. Net na een bodemval stroomt de Kleine Broekgraaf uit in de Wellse Molenbeek.



Figuur 2-13 Huidige watersysteem met de indicatieve ligging van de nieuwe dijken

De Wellse Molenbeek stroomt verder naar het zuiden om via stuw 98214 uit te stromen in de Maas. De stuw staat voor zowel zomer als winter ingesteld op een peil van 11,35 m NAP. De direct bovenstrooms gelegen bodemval heeft een hoogte van 11,50 m NAP. Het peil van de Wellse Molenbeek bij de uitstroom van de Kleine Broekgraaf is grofweg 11,90 m NAP als gevolg van bodemligging en tussenliggende kunstwerken tussen deze locatie en stuw 98214⁵. Naar het westen is een scheiding met het watersysteem van de Papenbeekse Broeklossing aanwezig door een hoger gelegen duiker (kenmerk: 24950) onder de Kasteellaan. De Binnenonderkant Buis (BOB) van de duiker ligt op 12,34 m NAP. Onder reguliere omstandigheden staan de watersystemen van Wellse Molenbeek en Papenbeekse Broeklossing daardoor niet met elkaar in verbinding. De afvoer van de Wellse Molenbeek bedragen resp. enkele tientallen liters per seconde (zomer) tot ruim 300 l/s (winter)⁵.

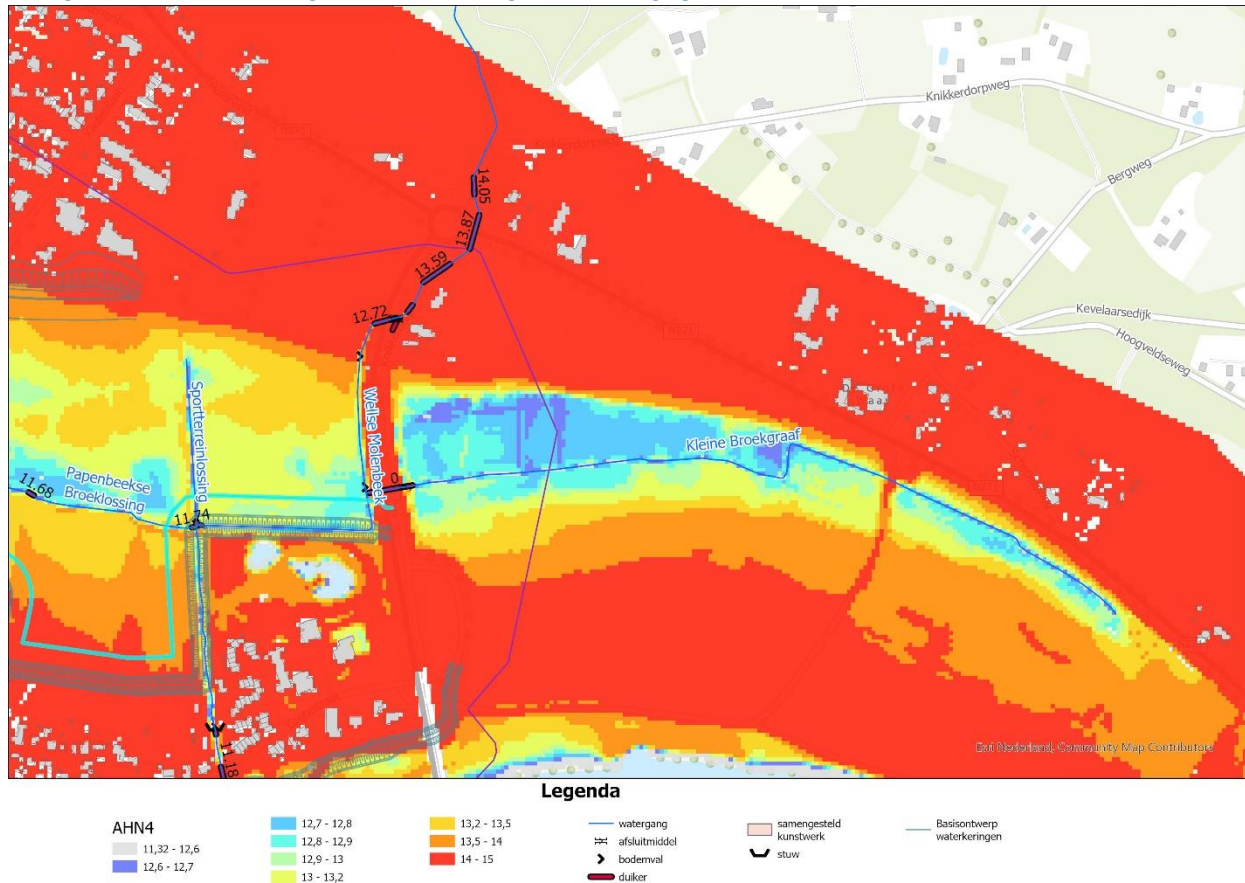
De Kleine Broekgraaf ontwaterd een stroomgebied af ten oosten van de N270 op de Wellse Molenbeek. De uitmonding van de Kleine Broekgraaf vindt plaats via duiker 18293 door het landhoofd van de Koninginnebrug van de N270. Aan de westzijde van het landhoofd en duiker 18293 stroomt de Kleine Broekgraaf uit in de Wellse Molenbeek. De hoogteligging van duiker 18293 is niet direct ingemeten, de bodemhoogtes voor en na de duiker zijn resp. 12,05 en 11,76 m NAP. Het peil van de Wellse Molenbeek staat hier onder invloed van de benedenstrooms gelegen schotbalkstuw 98241.

De Kleine Broekgraaf heeft een lengte van ongeveer 1 km en loopt qua bodemhoogte op van 12,10 m NAP net ten oosten van duiker 18293 naar 12,55 m NAP aan het oostelijke uiteinde. De huidige peilen

⁵ Debieten zijn op basis van modelberekeningen cf. werkwijze hydrologie van Waterschap Limburg

van de Kleine Broekgraaf zijn met behulp van satellietdata en lokale foto's (o.b.v. globespotter / street smart) grof af te leiden. De peilen liggen in de orde van ~12,30 m NAP.

In Figuur 2-14 is een hoogtekkaart van het gebied weergegeven.



Figuur 2-14 Hoogteligging en inschatting stroomgebied o.b.v. hoogteligging

De Kleine Broekgraaf is gelegen in het dal van het stroomgebied. De laagste delen van het stroomgebied zijn 12,60 tot 12,70 m NAP.

2.4.2 Deelgebied Popenbeekse Broeklossing

De Popenbeekse Broeklossing begint aan het westelijke eind van duiker 24950 ten westen van de Kasteellaan. Op deze locatie is ook een overstortconstructie aanwezig waar rioolwater kan overstorten op de lossing. Vanuit deze locatie stroomt de Popenbeekse Broeklossing naar het noordwesten over een traject van grofweg 2500 meter in de richting van de zandwinning van Maaspark Well waar de watergang uitstroomt in deze tak van de Maas.

Op dit traject takken een aantal greppels en kleinere leggerwatergangen aan op deze watergang, waaronder die van het kasteel. In de Popenbeekse Broeklossing zijn geen peilregulerende kunstwerken gelegen. De peilen in de watergang variëren van 11,70 tot 12,20 m NAP. De afvoeren van de Popenbeekse Broeklossing bedragen resp. enkele tientallen liters per seconde (zomer) tot 275 l/s (winter).

2.4.3 Deelgebied Kasteel

Het oppervlaktewater rond het kasteel bestaat uit een tweetal grachten, de binnen- en buitengracht. De binnengracht betreft een geïsoleerde waterpartij waarvoor een streefpeil van 12,70 - 12,85 m NAP geldt. Indien dit peil te ver wegzakt dan is dit een bedreiging voor de fundering van de gebouwen nabij de

binnengracht. Om het streefpeil te behouden wordt momenteel grondwater opgepompt en toegevoegd aan de binnengracht. Dit oppompen vindt nagenoeg continu plaats. De buitengracht is middels een duiker verbonden aan het lokale watersysteem. De duiker verbindt de buitengracht met een greppel die in verbinding staat met de Papenbeekse Broeklossing. In Figuur 2-15 is het lokale watersysteem weergegeven inclusief de ingemeten data ten aanzien van duikers. Hieruit blijkt dat de buitengracht grofweg zal afwateren vanaf een niveau van 12.65 m NAP (a.g.v. duiker). De binnengracht wordt op peil gehouden door de grondwateronttrekking op een minimaal peil van 12.85 m NAP.



Figuur 2-15 Watersysteem ter plaatse van Kasteel met BOB van duikers

De bodemhoogte van de binnen en buitengracht is ingemeten (Coenradie, 2021). De (harde⁶) bodem van de binnengracht is grofweg gelegen op 11 tot 11.70 m NAP. De harde bodem van de buitengracht is gelegen op 10.80 tot 11.50 m NAP. In de buitengracht is slib aanwezig met een dikte van grofweg 50 tot 90 cm.

⁶ Hiermee wordt bedoeld het niet gesedimenteerde deel, maar daar waar de bodem onderdeel is van de ondergelegen formatie doorgaans

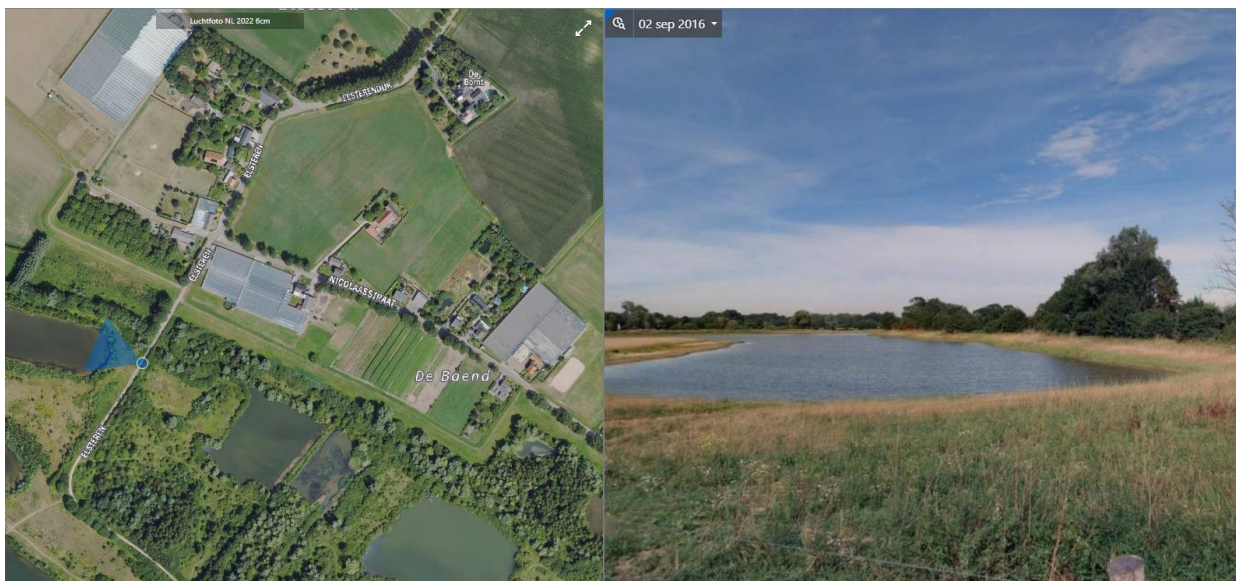
2.4.4 Deelgebied de Band

Het deelgebied de Band is gelegen tegen de Maas aan en bestaat uit een aantal voormalige kleiwinputten die momenteel plassen vormen. In en buiten de Band is de waterloop de Bandse Graaf gelegen. De Bandse Graaf is in het gebied gelegen welke in ieder geval op 1 plaats verbonden is met een dergelijke plas. Voor de overige plassen is niet duidelijk hoe dit precies hydraulisch communiceert. Een duiker verbindt het de Bandse Graaf in de Band zelf met het westelijke deel van de waterloop. De duiker heeft een BOB van ~11.35 m NAP. Direct ten westen van de duiker heeft het profiel van de Bandse Graaf een bodemhoogte van 11.45 m NAP. Ten oosten van de duiker loopt de bodemhoogte op naar 11.68 m NAP. De Band bestaat uit verschillende plassen.



Figuur 2-16 BOB duiker onder de weg Elsteren in de Bandse Graaf

De Bandse Graaf stroomt ten westen van de Band uit in de Maasarm. Deze maasarm is tussen voorjaar 2015 en najaar 2016 gerealiseerd. Voorheen was dit gebied in agrarisch gebruik blijkt uit foto's beschikbaar in Globespotter.



Figuur 2-17 Foto september 2016



Figuur 2-18 Foto Mei 2015

2.4.5 Deelgebied 't Leuken en Reindersmeer

De plassen 't Leuken, Seurensheide en Reindersmeer vormen grote waterplassen gelegen ten noordwesten van het projectgebied. 't Leuken is een plas die in open verbinding staat met de Maas en bijgevolg ook dit peil voert (11.15 m NAP). Het Reindersmeer is een apart waterlichaam wat gescheiden is van 't Leuken door een sluis. Het peil van het Reindersmeer is 15.10 m NAP (RHDHV, 19 juli 2011). Seurensheide betreft een geïsoleerde plas ten oosten van 't Leuken. Het peil hiervan is onbekend.

3 Modelopbouw

In dit hoofdstuk is beschreven hoe het model is opgebouwd en welke bronnen en basisdata zijn gebruikt. De modelopbouw is erop gericht om een projectspecifiek model op te bouwen welke de huidige of recent historische situatie representeert.

3.1 Model algemeen

3.1.1 Software

De modelleersoftware die gebruikt wordt is gelijk aan het welke gebruikt wordt het basismodel (Ibrahym 3.0). Ibrahym 3.0 rekent met iMOD software van Deltares. iMOD geldt in een groot deel van Nederland als de standaard voor grond-watermodellen. iMOD is open source en wordt continu doorontwikkeld door Deltares en partners. Het modelinstrumentarium maakt voor het rekenhart gebruik van Modflow 6, ontwikkeld door de United States Geological Survey (USGS). Zowel iMOD als Modflow 6 zijn up to date met de laatste inzichten en technieken gebruikt binnen de geohydrologische modelleer wereld en hiermee state of the art.

Er wordt gerekend met de (bij de start van het project) meest actuele versie van iMOD en Ibrahym. Dat betekent concreet dat is gerekend met:

- Ibrahym: IBR versie 3.0.1
- iMod: iMod versie 5.6.1
- MetaSWAP: versie 5.6

3.1.2 Type modellen en basis

Twee typen modellen zijn opgesteld in deze studie, te weten het **GxG model** en het **hoogwatermodel**.

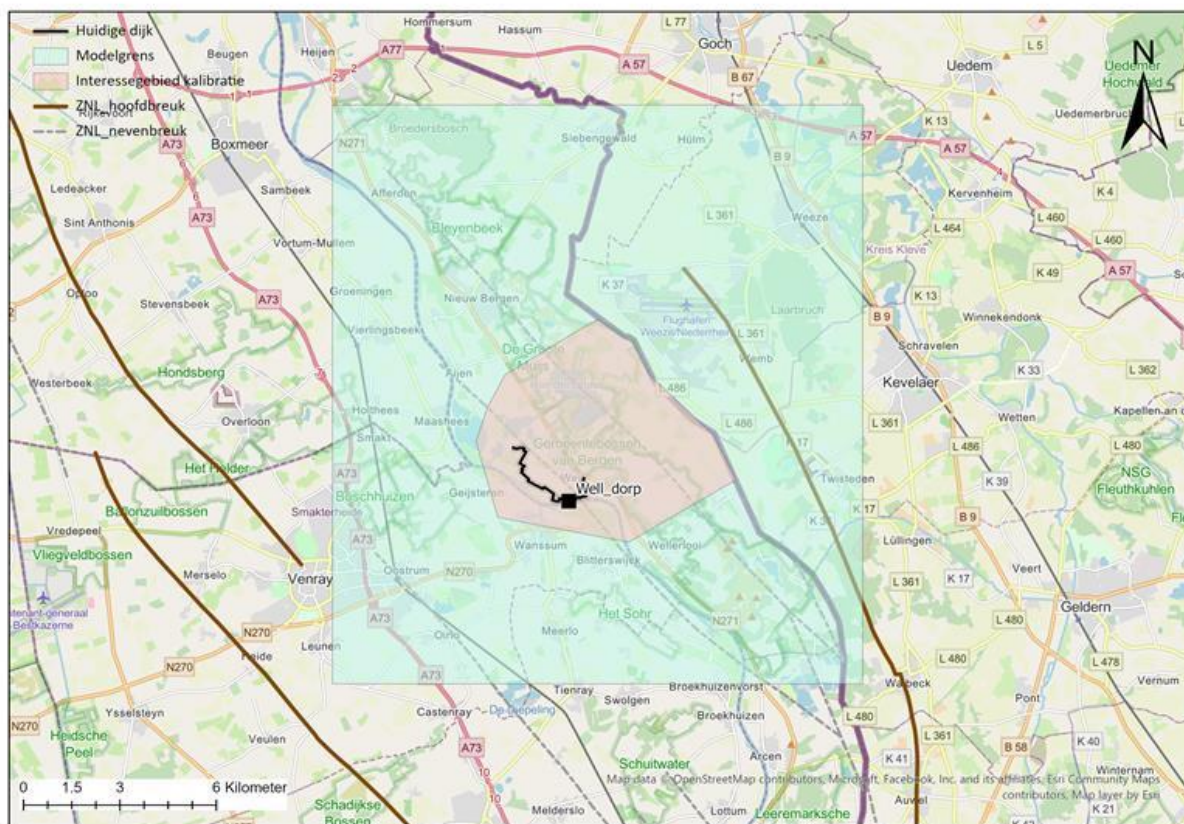
Het GxG model betreft het model wat voor een langere periode wordt tijdsafhankelijk doorgerekend met tijdstappen van 1 dag. Dit model is gebruikt uiteindelijk voor het berekenen van effecten bij langjarig gemiddelde omstandigheden en voor het afleiden van de GxG. De basis van het GxG model is Ibrahym 3.0 (RHDHV, Sweco & WL, 30 November 2023):

- f:\IBRAHYM\IBRV3.0.1

Het hoogwatermodel is gebaseerd op het GxG model. Dit model is verfijnd, aanvullend gekalibreerd en doorgerekend voor een hoogwaterevent. Tijdens hoogwatersituaties vinden namelijk processen plaats die tijdens gemiddelde situaties niet voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn het overstromen van bepaalde stukken land en het niet kunnen afwateren van binnendijkse waterlopen.

3.1.3 Modelgebied en gridgrootte

Het modelgebied is zo gekozen dat de randvoorwaarden (vast opgelegde randstijghoogten) geen effect op het interessegebied hebben. Aan de westzijde van het gebied vormt de Maas een natuurlijke rand. Oostelijk van het interessegebied is een ondoorlaatbare breuk gelegen. Beide natuurlijke randen zijn opgenomen in het modelgebied zodat de daadwerkelijk gekozen randvoorwaarden geen invloed hebben op de berekende grondwaterstanden in het projectgebied. Aan noord- en zuidzijde is het modelgebied zodanig ver van het projectgebied gekozen dat het de Maas, of door de Maas beïnvloede plassen omvat. Het model- en interessegebied zijn opgenomen in Figuur 3-1, waarbij het interessegebied het gebied is waar in de kalibratie op gefocust wordt.



Figuur 3-1 Modelextent met interessegebied

3.1.4 Rand- en beginvoorwaarden

De modelranden zijn als volgt verwerkt:

- Modelranden stijghoogten uit Ibrahim 3.0 doorrekening;
- Tijdsafhankelijk rekenen met Constant Head (CHD) rand.
- CHD op elke 14^e en 28^e dag van de maand

Voor de tijdsafhankelijke berekening wordt de stationair berekende grondwaterstand als beginvoorwaarde genomen. Een aantal inspeeljaren zullen ertoe leiden dat deze keuze geen effect heeft op de afgeleide resultaten (m.a.w. de gekozen GxG periode begint niet bij het eerste jaar van de rekenperiode).

De hoogwaterberekening wordt net als het GxG-model tijdsafhankelijk doorgerekend (tijdstap een dag). De beginvoorwaarde wordt overgenomen uit het GxG model voor de eerste dag.

3.2 Grondwateraanvulling en onverzadigde zone modellering

3.2.1 GxG model

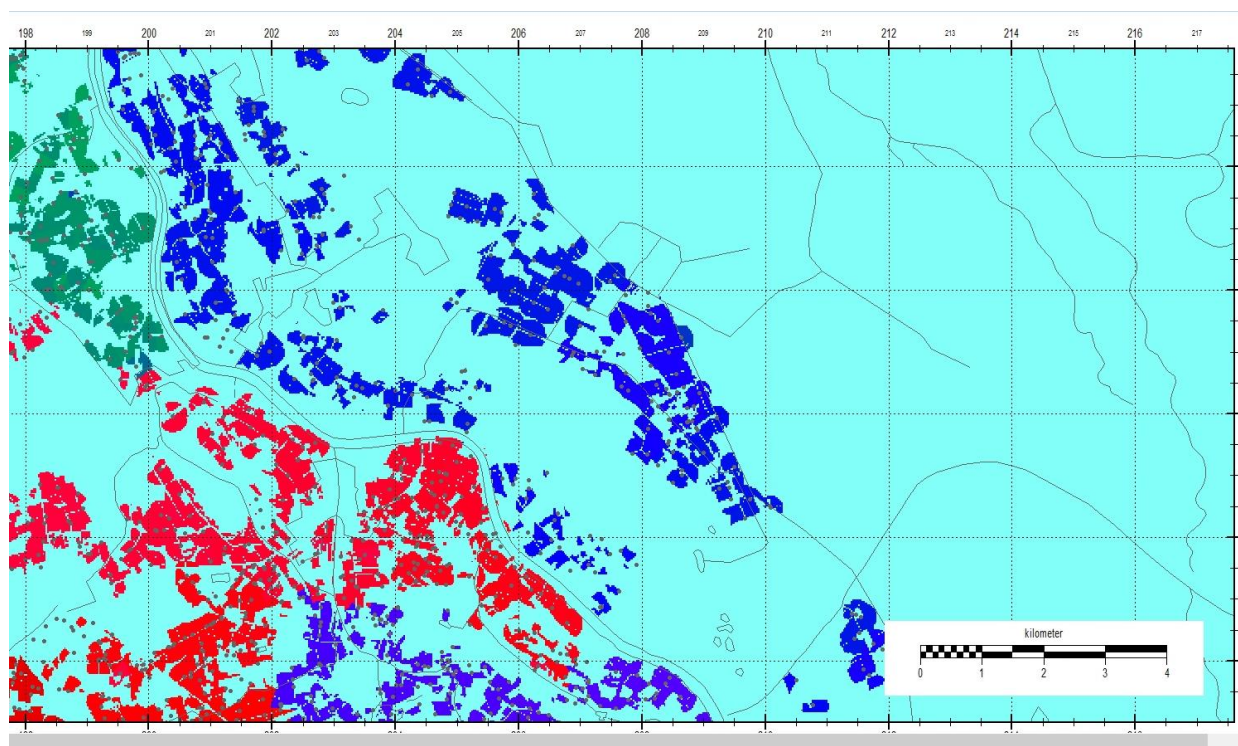
Voor het GxG model zijn de jaren 2005 t/m 2021 doorgerekend met MetaSWAP gebruikt, zoals beschikbaar in Ibrahym 3.0. Landgebruik (gebaseerd op LGN7) en bodemkaart zijn overgenomen conform Ibrahym 3.

Voor de stationaire modelberekening (stationaire kalibratieperiode) is de beschikbare gemiddelde grondwateraanvulling van de standaard doorgerekende periode van Ibrahym3 genomen (2005 – 2021).

3.2.2 Berekening

In het model wordt rekening gehouden met berekening. Dit gaat als volgt:

- Voor de gekleurde percelen, zoals weergegeven in Figuur 3-2 is in Ibrahym 3.0 verondersteld dat berekening uit grondwater mogelijk is;
- De beregende percelen zijn bepaald door Wageningen Environment Research (WEnR) via rekenregels.
- Deze methodiek en toepassing zijn opgenomen in Ibrahym 3.0 en onaangepast overgenomen.



Figuur 3-2 Beregeningslocaties met beregeningsputten

3.2.3 Hoogwater

Tijdens hoogwater komen specifieke omstandigheden voor, waardoor de door MetaSWAP geregelde freatische bergingscoëfficiënt niet goed past bij het systeemgedrag. Deze MetaSWAP- bergingscoëfficiënt zorgt voor een vertraging in de reactie van het grondwater op bijvoorbeeld regen. In normale situaties is dit ook het geval, maar tijdens hoogwatersituaties niet. Gebieden kunnen dan heel snel onder water lopen en de freatische berging snel tot zo goed als nul reduceren.

Het onderlopen van een gebied en het stijgen van het Maaspeil zorgen dan voor een bijna directe reactie van de grondwaterstand. Dit blijkt ook uit de gemeten grondwaterstanden bij bijvoorbeeld peilbuis B60-03 (Figuur 2-12). De werking van MetaSWAP zoals opgenomen in Ibrahim 3.0 sluit dan niet goed aan bij hetgeen in de praktijk zich voordoet.

Om toch de systeemwerking in een betreffende situatie tot zijn recht te laten komen in het model is MetaSWAP in de hoogwaterberekening uitgezet. De grondwateraanvulling heeft een vaste waarde van 1 mm/dag. De freatische bergingscoëfficiënt voor het dijkversterkingsgebied is op nul gezet, waardoor een stijging van het Maaspeil ook direct doorwerkt in de freatische grondwaterstand.

3.3 Geohydrologische lagenschematisatie

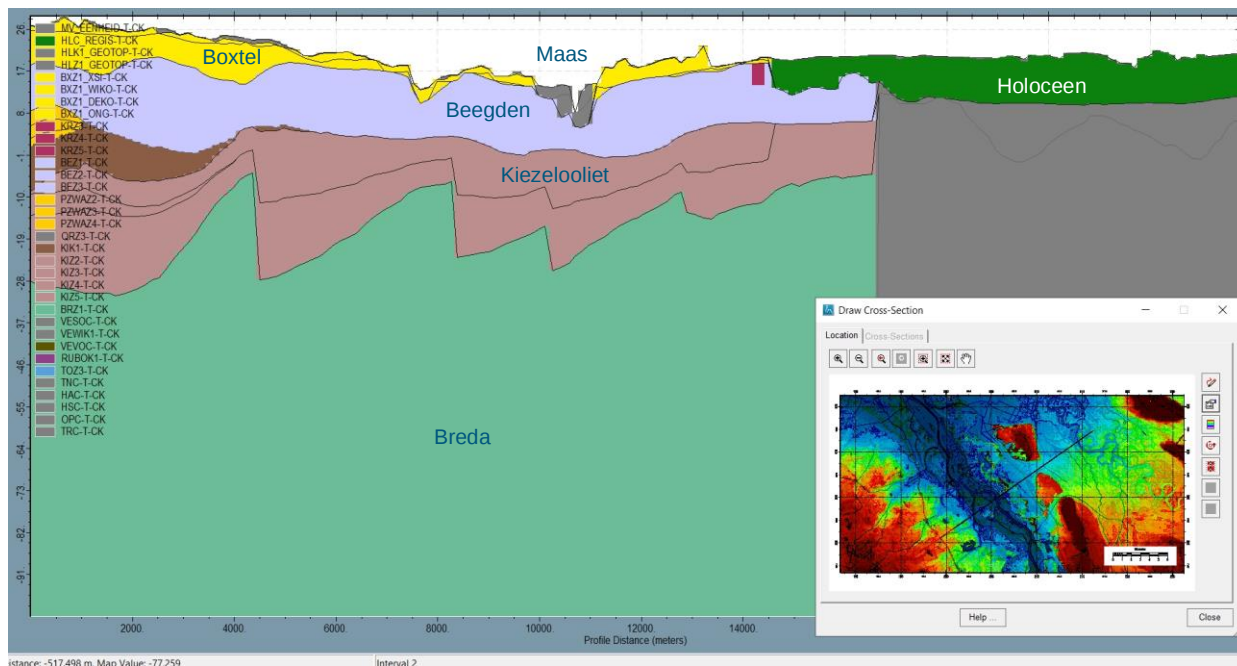
In Ibrahim 3.0 zijn verschillende gebieden onderscheiden op basis van hydrogeologische kenmerken. Voorbeelden van gebieden zijn de Roerdalslenk en de Peelhorst. Op basis van deze gebieden zijn andere basis-laagschematisaties gemaakt, omdat grote verschillen in laagopbouw in de verschillende gebieden voorkomen. In het projectgebied komt alleen 'zone 1' voor, de Venloslenk.

Binnen de Ibrahim 3.0 workflow wordt het lagenmodel opgebouwd vanuit REGIS 2.2 en Geotop. In het project is veel aanvullende informatie beschikbaar gekomen in de vorm van boringen. Deze zijn verwerkt in een 'Leapfrog' model. Het Leapfrog model is een ruimtelijke interpretatie van het voorkomen van verschillende type grondsoorten (zand, grind, klei, veen, etc.).

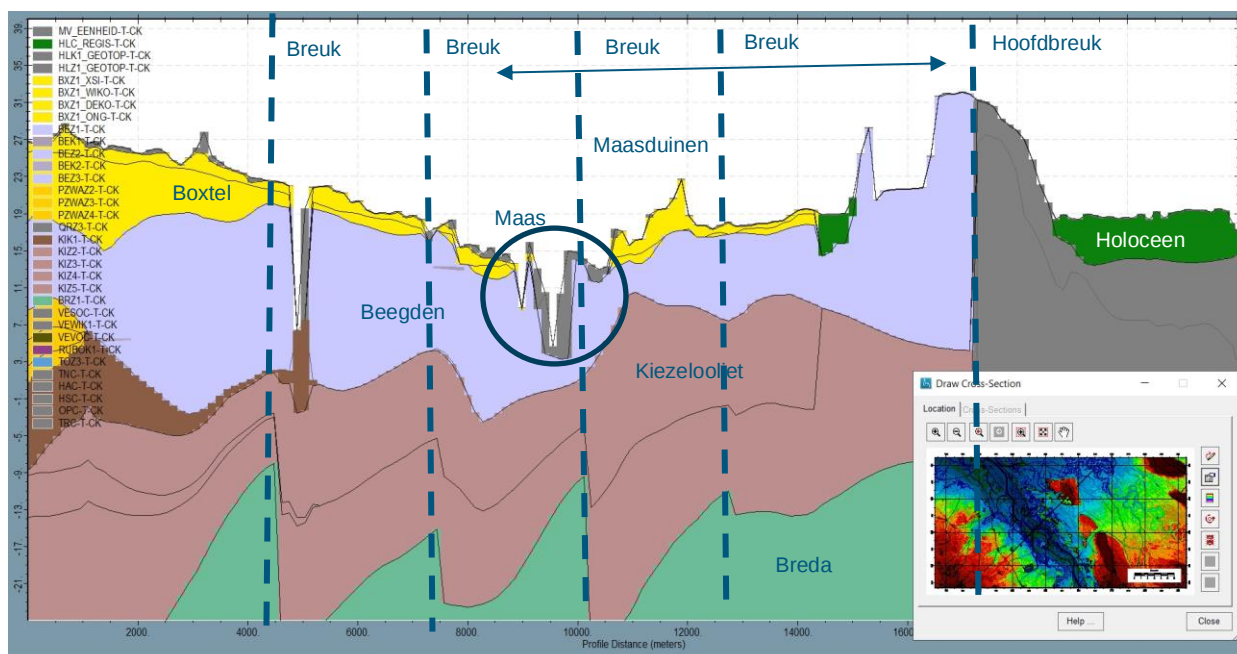
De lagenschematisatie voor dit projectspecifieke model is gebaseerd op de REGIS2.2-Geotop workflow vanuit Ibrahim 3.0 verfijnd met de Leapfrog schematisatie voor het projectgebied.

3.3.1 REGIS en Geotop

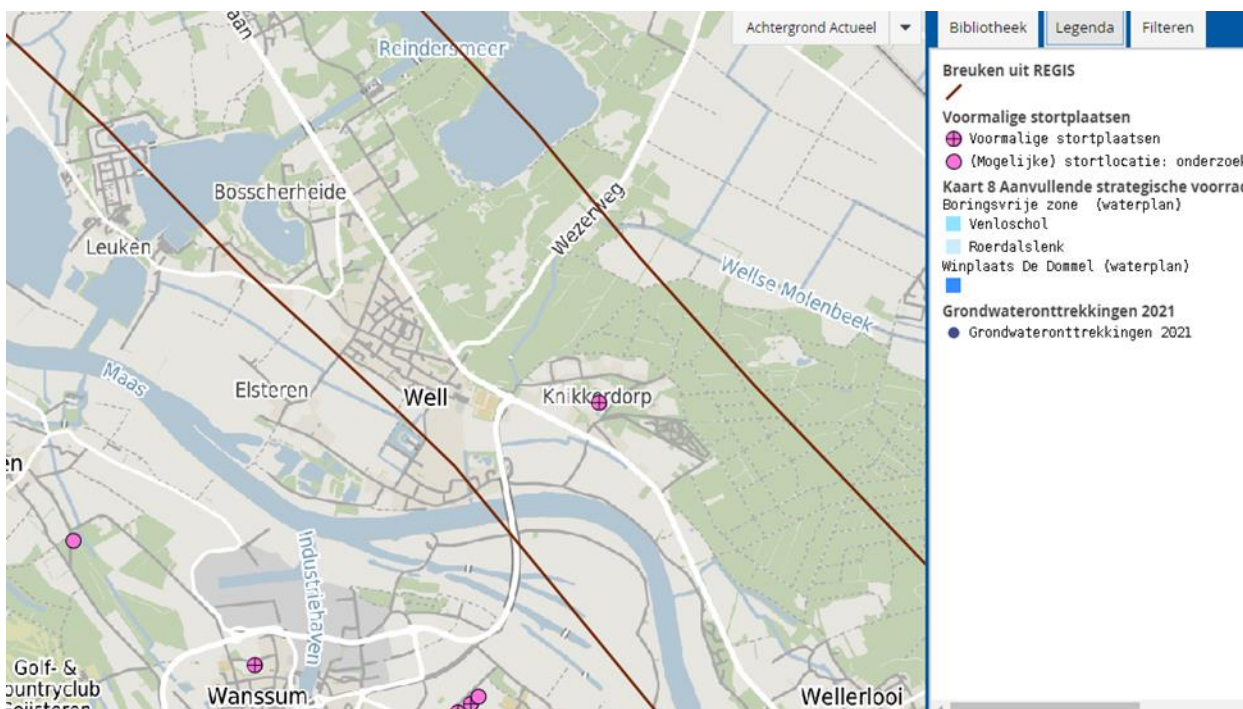
De basismodelopbouw voor het modelgebied is zichtbaar in Figuur 3-3, bestaande uit REGIS en Geotop. Boven de Bortel formatie bevindt zich een dunne laag 'MV_eenheid' en Geotop. Onder de Bortel formatie bevinden zich de afzettingen van Beegden, met daaronder de Kiezeloöiet formatie en formatie van Breda. Ook komen breuken in het gebied voor, zie Figuur 3-4 en Figuur 3-5 en paragraaf 3.11. Deze hebben in Ibrahim3 veelal weinig invloed op stijghoogten, maar zijn wel belangrijk om in het achterhoofd te houden. De Maasduinen liggen ten noordoosten van het projectgebied. Deze zijn ook duidelijk zichtbaar als een bult in de REGIS-lagen, zie Figuur 3-4. In Duitsland loopt REGIS voor een deel door. Daarbuiten is REGIS niet beschikbaar, maar is een geohydrologisch model van Duitsland gebruikt. Dit is in Figuur 3-4 zichtbaar als grijze kleur. Dit betekent niet dat er geen doorlaatvermogen of weerstanden hier voorkomen, maar op de overgang kan wel een discontinuïteit voorkomen.



Figuur 3-3 Laagopbouw, doorsnede is zichtbaar in figuur rechtsonder

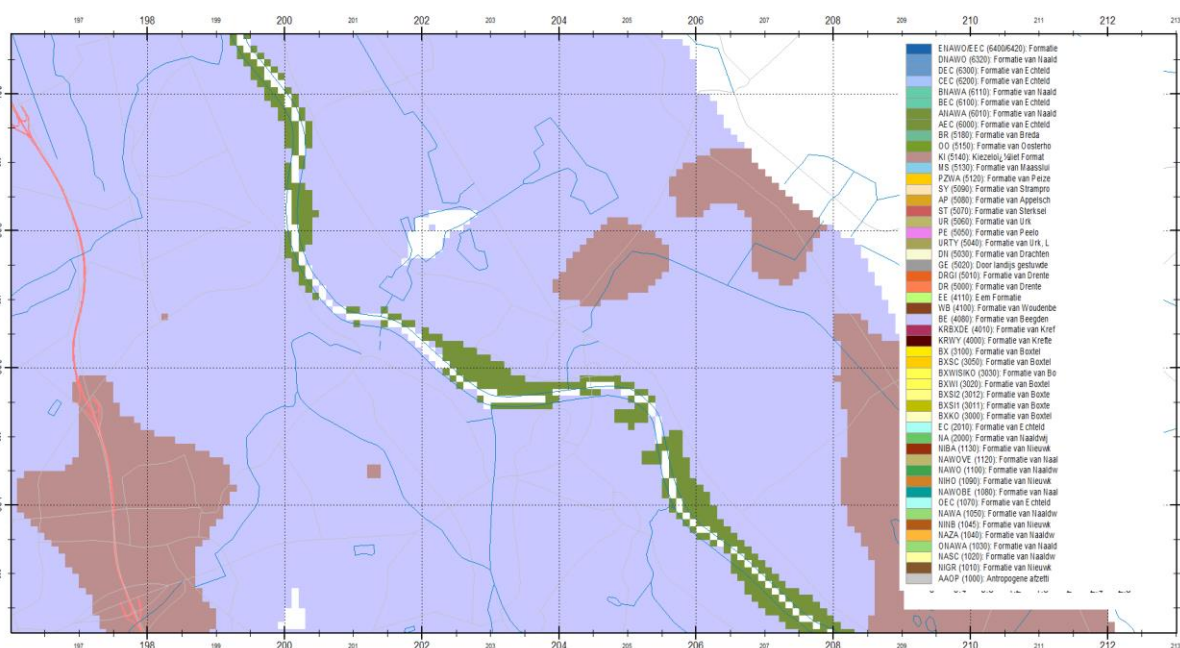


Figuur 3-4 REGIS-lagen bij doorsnede door o.a. Maasduinen (zie inzetfiguur rechtsonder)

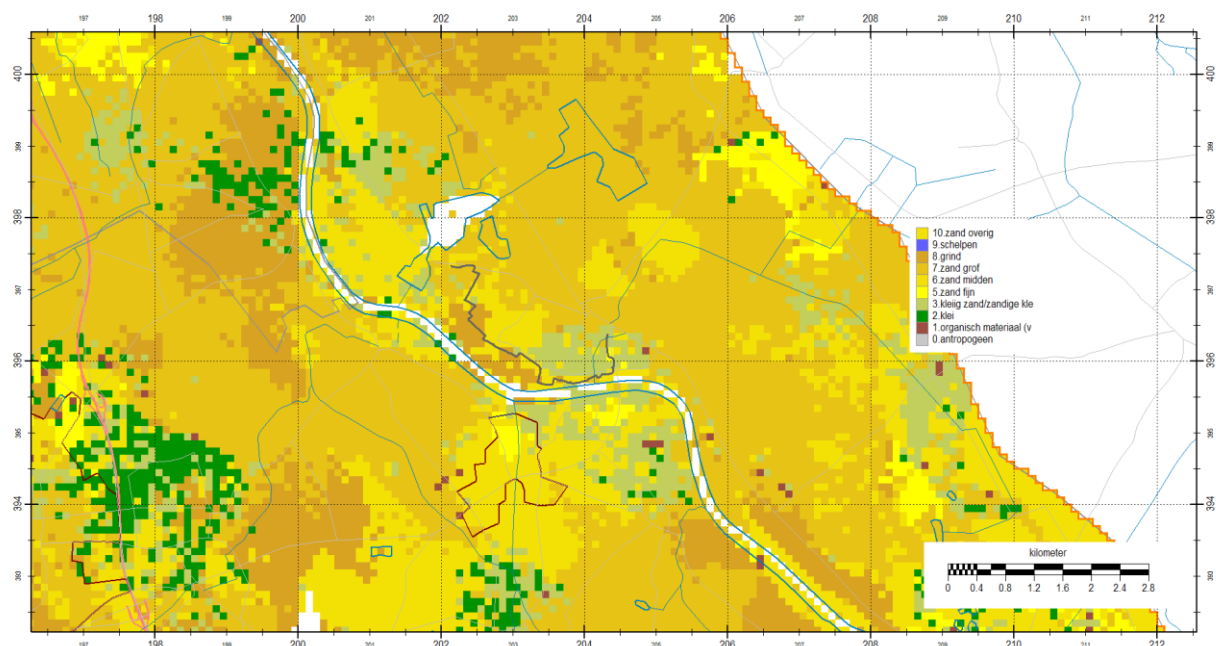


Figuur 3-5 Breuken in het interessegebied

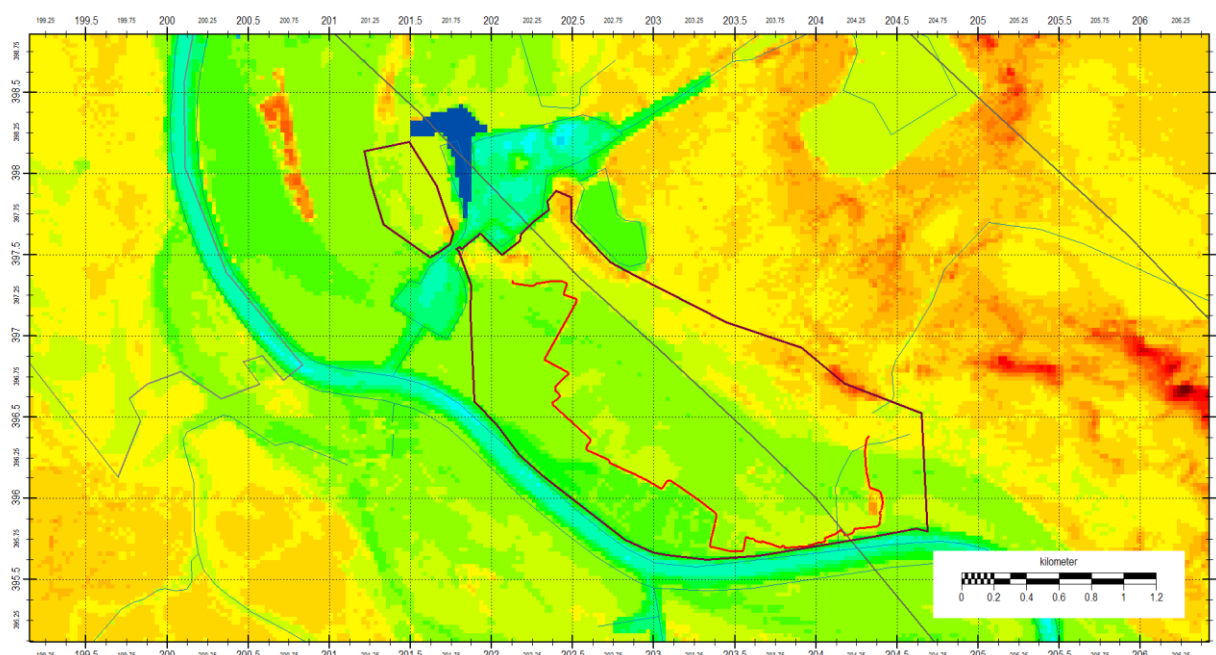
In Ibrahym 3.0 is Geotop v01r4 toegepast voor de opbouw van de bovenste modellagen. De stratigrafie en lithoklassen van Geotop zijn zichtbaar in respectievelijk Figuur 3-6 en Figuur 3-7. Geotop is in een bepaald gebied voor het grootste deel vervangen worden door de Leapfrog lagen. Dit is weergegeven in Figuur 3-8.



Figuur 3-6 Geotop stratigrafie



Figuur 3-7 Geotop lithoklassen



Figuur 3-8 De donkere lijn geeft het gebied aan waar Geotop is vervangen door informatie vanuit het Leapfrog model

3.3.2 Leapfrog

In Ibrahym3 is het mogelijk om eigen lagen oftewel 'User Defined' lagen in te brengen. In het project zijn vele aanvullende boringen gezet, waarmee een 3D-bodemmodel is gebouwd, in de software Leapfrog (RHDHV, 16 september 2024). Dit 3D-model is gebruikt om in het projectgebied en de directe omgeving de laagopbouw te verfijnen. In Figuur 3-9 is een overzicht weergegeven van locaties waar in het kader van dit project aanvullende informatie is verkregen.



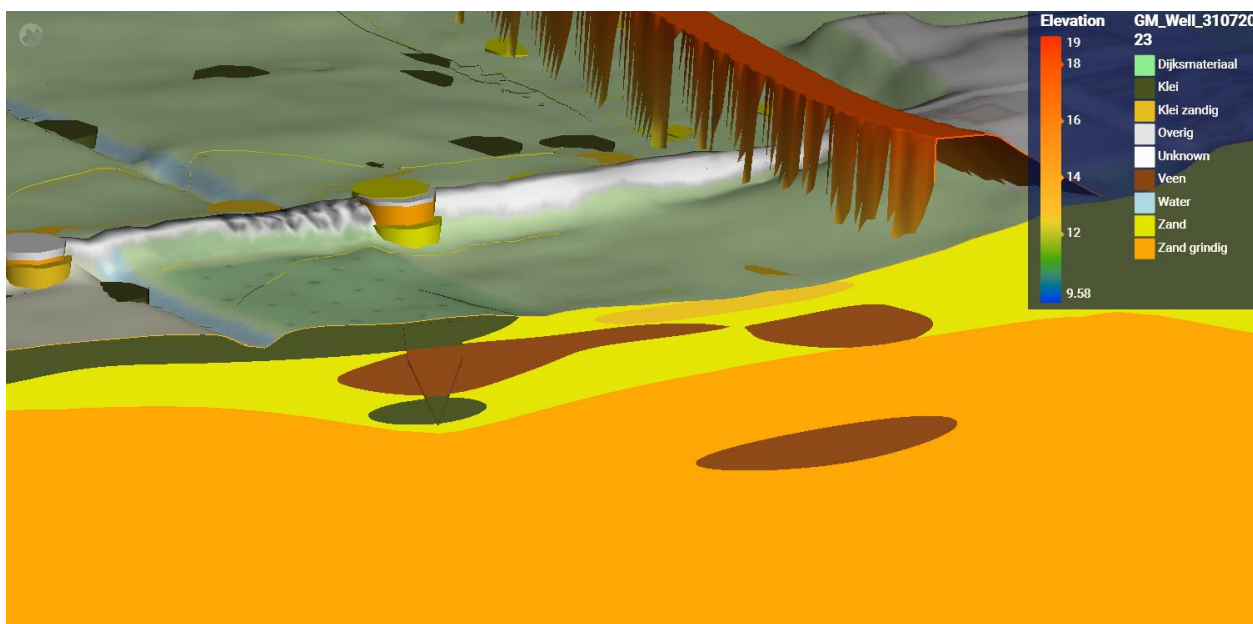
Figuur 3-9 Weergave aanvullend gezette boringen en sonderingen ten behoeve van project

Vervolgens kan dit ingebouwd worden in het model. Dit biedt een detaillering van de verbreiding van bepaalde sedimenten (klei, veen, zand, etc.). De geohydrologische parameters (K_h en K_v) zijn via kentallen toegekend (Bot, 2016). Een voorbeeld van een doorsnede door het Leapfrogmodel is te vinden in Figuur 2-5.

Een tekortkoming van het Leapfrog model is dat het alleen de bovenkant (top) van bijvoorbeeld de bovenste kleilaag en de onderkant (bot) van de onderste kleilaag kan exporteren. Als tussen die top en bot ook nog bijvoorbeeld zandlagen voorkomen, dan blijkt dit niet uit de top en bot van de geëxporteerde laag. Ook komt het voor dat door de manier van inter- en extrapoleren de top van een laag boven het daadwerkelijke maaiveld uitkwam. Daarom zijn de Leapfroglagen op de volgende manier verwerkt:

- De bovenkant van alle Leapfroglagen is het maaiveld uit het model.
- De onderkant van de Leapfroglagen is de bovenkant van de laag 'zand grindig'. We nemen aan dat bij 'zand grindig' de Formatie van Beegden begint.
- De lagen worden volgens deze volgorde verwerkt:
 - o De eerder bepaalde boven- en onderkant van de Leapfroglagen (in het model LPF_HLC genoemd)
 - o 'Klei zand'
 - o 'Klei'
 - o 'Veen'

Deze volgorde zorgt ervoor dat de belangrijkste lagen, namelijk de weerstandslagen, als laatste worden ingebracht. De weerstandslagen komen vaak als lenzen tussen de zand- en klei zandlagen voor, zie ook Figuur 3-10.



Figuur 3-10 Voorbeeld van veen- en kleilenzen in het Leapfrogmodel.

De eerst verwerkte laag wordt vervangen op locaties waar een later verwerkte laag ook voorkomt. Op deze manier wordt zoveel mogelijk de waardevolle informatie meegenomen. In Tabel 3-1 is de geohydrologische parameterisatie van de betreffende types weergegeven. De weergegeven waarden zijn gebaseerd op Bot (2016).

Tabel 3-1 Geohydrologische parameterisatie sedimenten

Sediment	k_h	k_v
Klei	-	0.05
Klei zand	-	0.01
Veen	-	0.01
Zand	30	-

3.3.3 Basismodel modellagen workflow

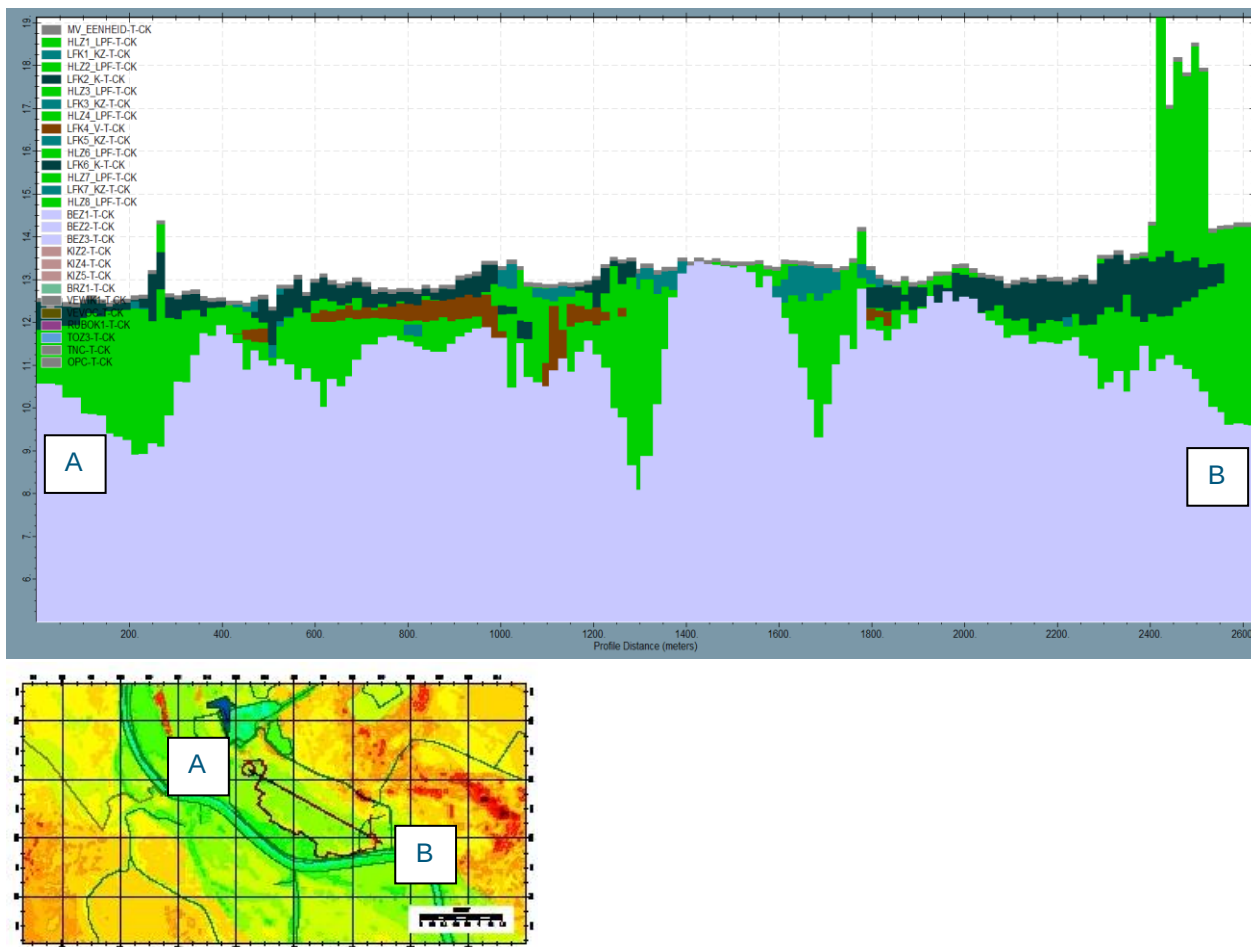
Tabel 3-2 geeft de opbouw van de modellagen weer met verwerking van de Leapfroglagen erin. In de onderstaande tabel in de kolom “schema” staat aan welke modellaag de formatielagen worden toegekend. De kolom “nummer” is alleen nodig om de volgorde van de formaties te bepalen. De lagen *aquitard* zijn scheidende lagen en hebben qua nummering in “schema” ook een negatief getal gekregen. Laag 2 t/m 16 zijn de door ons ingebrachte Leapfroglagen. In het model zijn deze verwerkt in de Geomodifier met UDL-method 3, ‘*replace by code and stratigraphy*’. De kolom ‘*Gemiddelde Doorlatendheid*’ geeft de uitkomst van de betreffende laag neer ten aanzien van de doorlatendheid. Dit houdt in dat een bepaalde REGISlaag wordt opgegeven, die waar de Leapfroglaag voorkomt in zijn geheel vervangen wordt door de Leapfroglaag. In dit geval is dat HLC uit REGIS. De Leapfroglaag kan ook een deel van de onderliggende Formatie van Boxtel of Formatie van Beegden vervangen, als de Leapfroglaag daar voorkomt.

Figuur 3-11 geeft een doorsnede door het projectgebied weer, met daarop zichtbaar de ingebrachte Leapfroglagen.

Tabel 3-2 Lagenmodel met leapfroglagen erin verwerkt (laag 2 t/m 16)

Nummer	Naam	Type	Percentage	Schema	Gemiddelde doorlatendheid [m ² /dag]
1	MV_eenheid	Complex	100	1	7,69213
2	HLz1_LPF	Aquifer	24,17	1	3,65138
3	LFk1_KZ	Aquitard	0,01	-1	0,05
4	HLz2_LPF	Aquifer	0,01	2	30
5	LFk2_K	Aquitard	0,09	-2	0,01
6	HLz3_LPF	Aquifer	0,04	3	30
7	LFk3_KZ	Aquitard	0,02	-3	0,05
8	HLz4_LPF	Aquifer	0,03	4	30
9	LFk4_V	Aquitard	0,13	-4	0,01
10	HLz5_LPF	Aquifer	0,02	5	30
11	LFk5_KZ	Aquitard	0,06	-5	0,05
12	HLz6_LPF	Aquifer	0,04	6	30
13	LFk6_K	Aquitard	0,44	-6	0,01
14	HLz7_LPF	Aquifer	0,35	7	30
15	LFk7_KZ	Aquitard	0,2	-7	0,05
16	HLz8_LPF	Aquifer	0,29	8	30
17	HLk1_geotop	Complex	8,18	-8	1,3049
18	HLz1_geotop	Complex	3,13	-8	13,9211
19	BXz1_xsi	Complex	2,59	9	1,68466
20	BXz1_wiko	Complex	28,01	9	1,80865
21	BXz1_deko	Complex	17,38	9	6,86665
22	BXz1_ong	Complex	39,9	9	7,17723
23	bxz3	Aquifer	0,01	9	6,11
24	bxz4	Aquifer	0,01	9	5,7225
25	krz3	Aquifer	7,05	9	78,6948
26	krz4	Aquifer	7,23	9	77,2045
27	krz5	Aquifer	7,26	9	74,2317
28	bez1	Aquifer	48,49	9	92,6211
29	bek1	Aquitard	3,35	-9	0,02626
30	bez2	Aquifer	48,49	10	95,8548
31	bek2	Aquitard	0,32	-10	0,02137
32	bez3	Aquifer	71,41	11	84,9145
33	urz1	Aquifer	0,32	11	55
34	wak1	Aquitard	1,36	-11	0,00376

Nummer	Naam	Type	Percentage	Schema	Gemiddelde doorlatendheid [m ² /dag]
35	pzwaz2	Aquifer	1,62	12	39,4924
36	pzwaz3	Aquifer	2,54	12	31,4435
37	qrz3	Aquifer	20,74	12	27
38	pzwaz4	Aquifer	2,08	12	30,2883
39	kiz1	Aquifer	1,41	12	34,2625
40	kik1	Aquitard	8,23	-12	0,001
41	kiz2	Aquifer	67,29	13	26,2703
42	kiz3	Aquifer	40,82	13	30,3748
43	kiz4	Aquifer	78,51	13	30,7137
44	kiz5	Aquifer	78,52	13	29,877
45	brz1	Aquifer	78,53	13	4,68177
46	brk1	Aquitard	1,05	-13	0,002
47	vesoc	Complex	8,29	14	0,63179
48	vewik1	Aquitard	78,53	-14	0,001
49	vevoc	Complex	78,53	15	0,60702
50	ruz2	Aquifer	1,51	15	1,47076
51	rubok1	Aquitard	78,53	-15	0,0086
52	toz3	Aquifer	77	16	1,80762
53	tnc	Complex	78,53	16	0,43524
54	hac	Complex	0,73	16	0,40158
55	hsc	Complex	0,36	16	0,2
56	opc	Complex	77,6	16	0,36733
57	trc	Complex	21,47	16	1



Figuur 3-11 Doorsnede door het projectgebied. In groen de Leapfrog zandlaag, in turquoise de klei-zandlagen, in donkergroen de kleilagen en in bruin de veenlagen.

3.4 Topsysteem

Het topsysteem bestaat uit een aantal verschillende onderdelen, te weten;

- De Maas
- Primaire en secundaire waterlopen
- Tertiaire waterlopen en buisdrainage

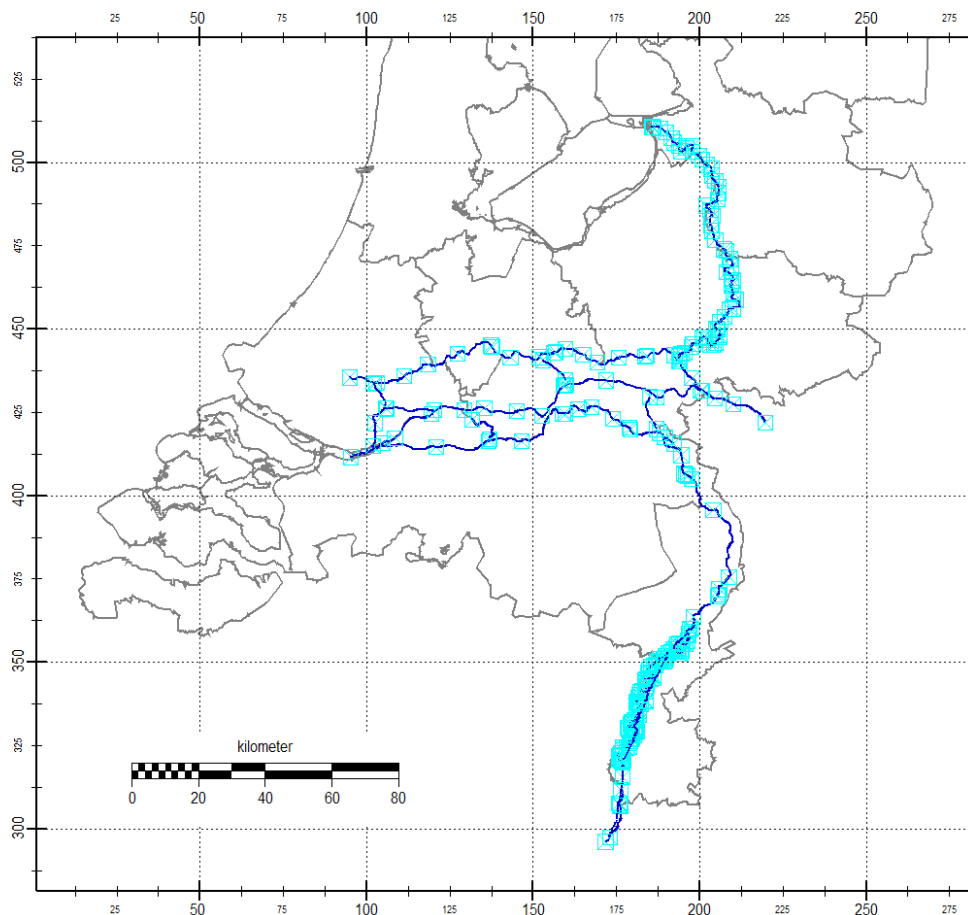
Veelal is aangesloten bij de bestaande workflows en data in gebruik bij Ibrahym 3.0. Voor de primaire en secundaire watergangen is een projectspecifiek Sobek model opgesteld waarin projectdata is opgenomen en wat we specifiek toetsen voor dit project. Dit model levert informatie ten aanzien van peilen relevant voor het grondwatermodel.

3.5 Maas

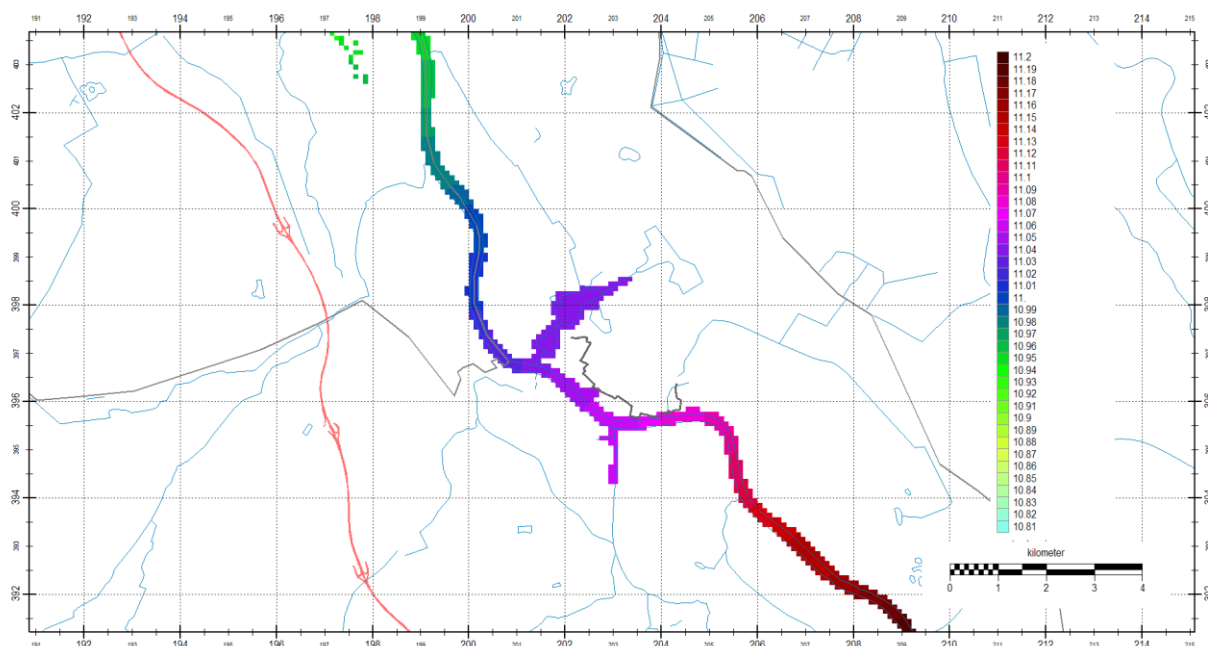
3.5.1 GxG model

De Maas zit in het model in de ISG-module. Deze ISG bevat bodemprofielen, weerstanden en waterstanden van de Rijn, Maas, Waal, Nederrijn, Lek (Rijntakken) en IJssel. Figuur 3-12 geeft de beschikbare gegevens weer. Vlak bij de dijkversterkingslocatie bevindt zich een Rijkswaterstaat meetpunt, *Well dorp*.

Tussen de meetreeksen wordt met behulp van betrekkinglijnen de waterstanden geïnterpoleerd. De meetreeksen bevatten gegevens over de periode 1-1-1990 tot en met 1-10-2022. Voor stationaire berekeningen zijn stationaire grids beschikbaar, waarbij op de Maas rekening wordt gehouden met de aanwezige stuwpanden. Figuur 3-13 geeft als voorbeeld bij Well de stationaire rivierpeilen weer.



Figuur 3-12 Beschikbare gegevens ISG



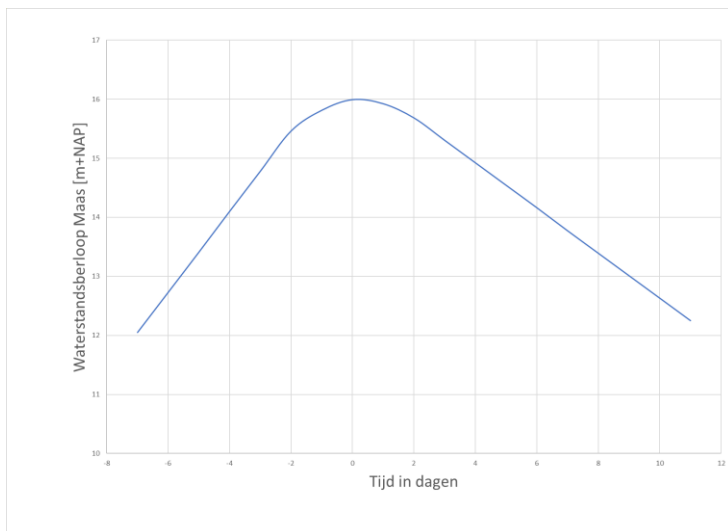
Figuur 3-13 Stationaire rivierpeilen in m+NAP bij Well

3.5.2 Hoogwater

Voor dit project is de ISG aangepast. Het invloedsgebied van de Maas wordt anders (door het project en door de ontwikkeling Maaspark well), waardoor bodemprofielen en waterstanden ook zullen veranderen.

Voor kalibratie- en validatieberekeningen tijdens hoogwater zijn 'half-stationaire' berekeningen met de peilen van februari en juli 2021 gebruikt. In deze berekeningen wordt elke dag opnieuw input vanuit de ISG aangeroepen. In februari 2021 waren op de Maas ook relatief hoge peilen. In juli 2021 waren overstromingen in grote delen van Limburg. De ISG Grote Rivieren loopt t/m mei 2023. Het hoogwater zit dus in de ISG en kan dus gebruikt worden voor kalibratie. Voor kalibratie van het hoogwatermodel gebruiken we februari 2021. Juli 2021 wijkt op meerdere vlakken namelijk behoorlijk af. Dit hoogwater vond plaats in de zomer en de afvoer en waterhoogtes waren tot dan toe nog niet waargenomen in de Maas. Daarom is deze situatie niet representatief ten opzichte van de ontwerp hoogwatergolf. De gebeurtenis van juli 2021 wordt wel als validatie doorgerekend.

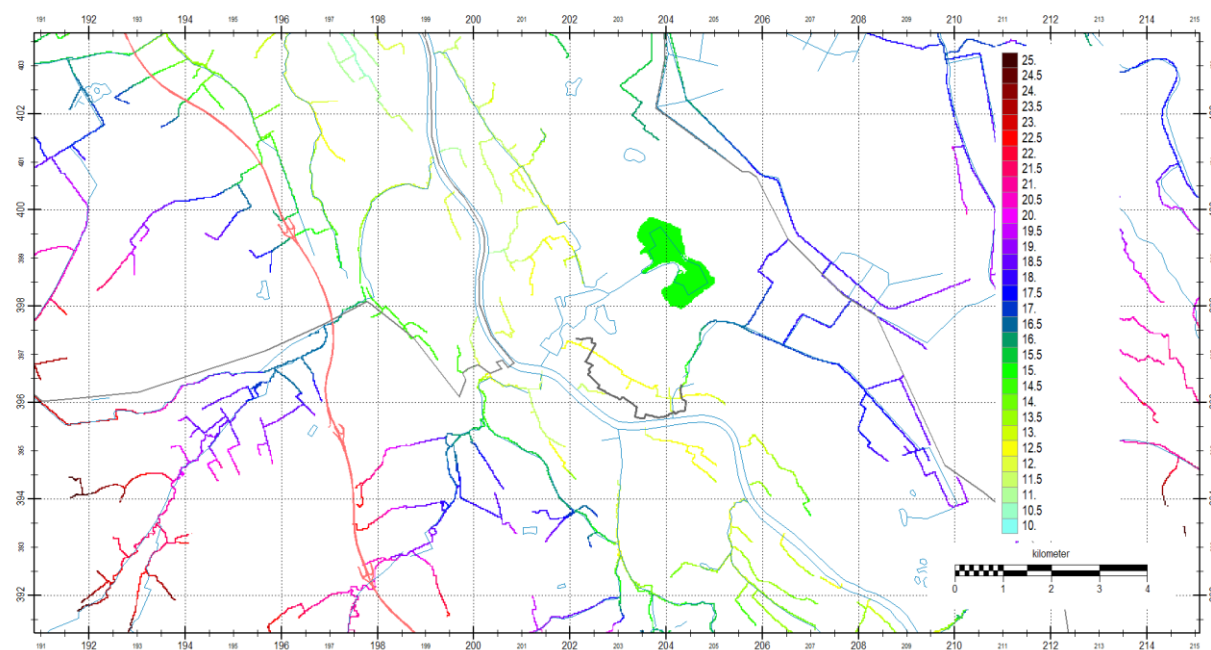
Het in beeld brengen van de effecten van het ontwerp is gedaan met behulp van een maatgevende 'WBN'- Maasgolf voor het zichtjaar 2075 (Figuur 3-14). In het project zijn ook berekeningen uitgevoerd met minder hoge maasgolven. Deze zijn niet gerapporteerd in verband met gelijktijdigheid van het uitvoeren van betreffende berekeningen en afronden van deze rapportage. De resultaten zijn dus wel beschikbaar bij het Waterschap.

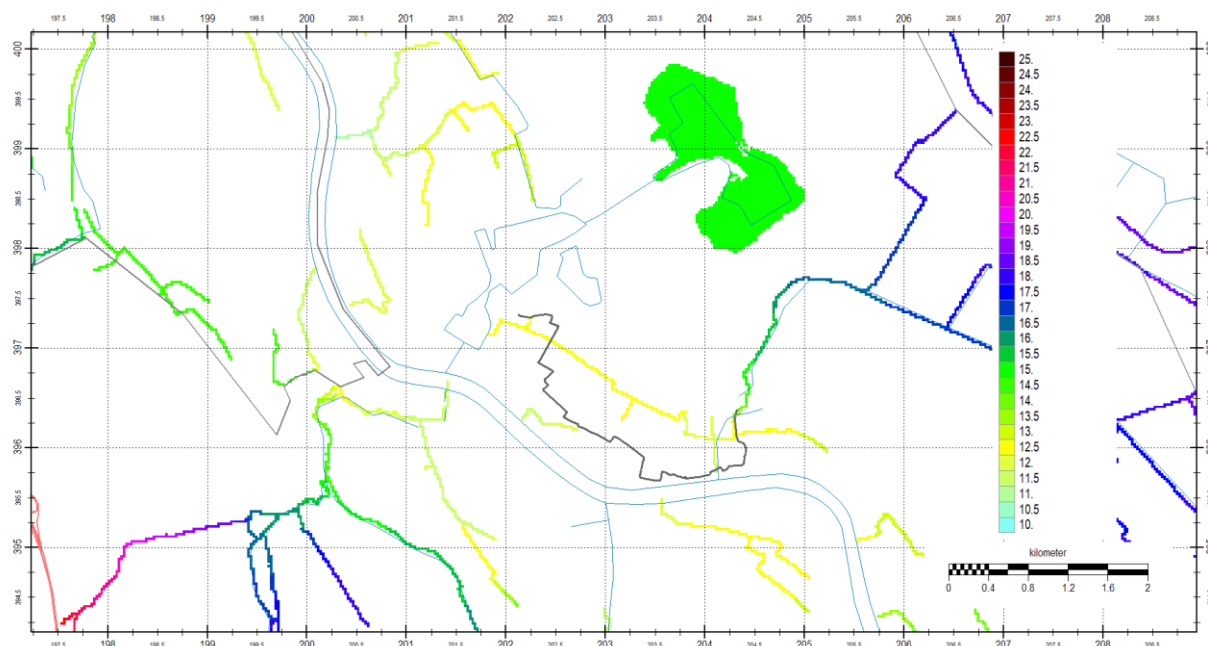


Figuur 3-14 gemodelleerde Maaswaterstand voor effect

3.6 Primaire en secundaire watergangen

De parameters van primaire en secundaire waterlopen worden in het projectgebied overgenomen van het oppervlaktewatermodel (Royal HaskoningDHV, in ontwikkeling) ontwikkeld voor dit project. Buiten het projectgebied wordt dit overgenomen van Ibrahim 3.0 (Figuur 3-15).



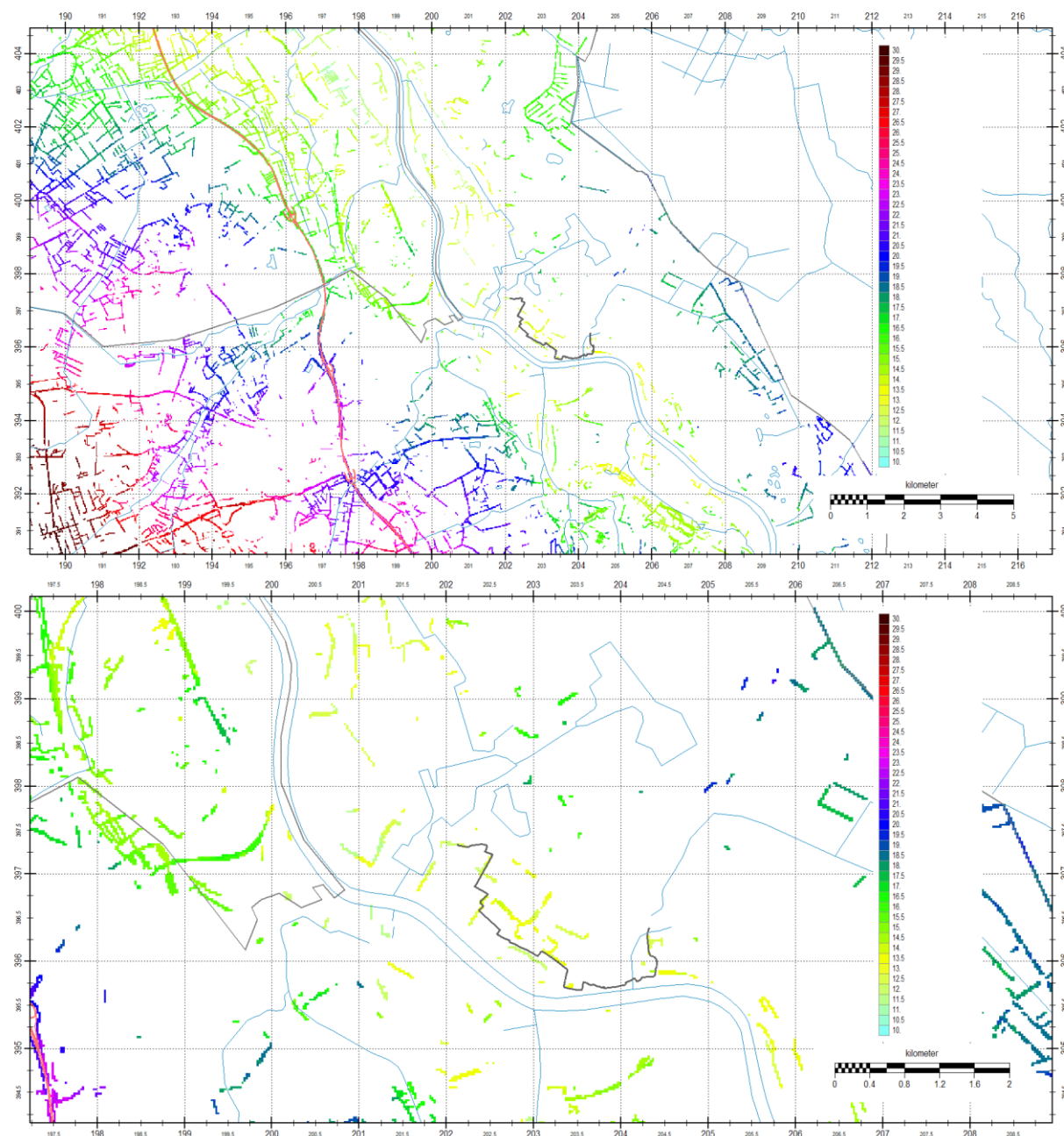


Figuur 3-15 Ligging en peil van de primaire en secundaire waterlopen overgenomen vanuit het Ibrahim 3.0 model

Het aangeleverde Sobek model (*NomqhBOS.lit*) van het oppervlaktewatersysteem is gecontroleerd en waar nodig verbeterd. De gewijzigde resultaten ten aanzien van peilen zijn vervolgens in het grondwatermodel verwerkt. In het ontwerp zal de ligging van watergangen ook veranderen, deze verandering is ook doorgevoerd in het grondwatermodel inclusief de beoogde peilen. Voor de verscheidene situaties (referentie, ontwerp) zijn zomer en wintermodellen ontwikkeld die zijn gebruikt voor de voeding van het grondwatermodel. Voor de hoogwaterberekening zijn geen specifieke peilen aangedragen, maar is een drainageniveau vanuit de gebiedskennis opgenomen (13.25, 2.1&3.9).

3.7 Tertiaire ontwatering

In Ibrahim 3.0 is de tertiaire ontwatering geschematiseerd aan de hand van de informatie vastgelegd in de Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT, zie Figuur 3-16). Mogelijk dat de ligging van sommige watergangen nog aangepast moeten worden als gevolg van de projectplannen. We controleren dit met de informatie van de watersysteemanalyse. We hanteren de uitgangspunten van Ibrahim 3.0 t.a.v. conductances.



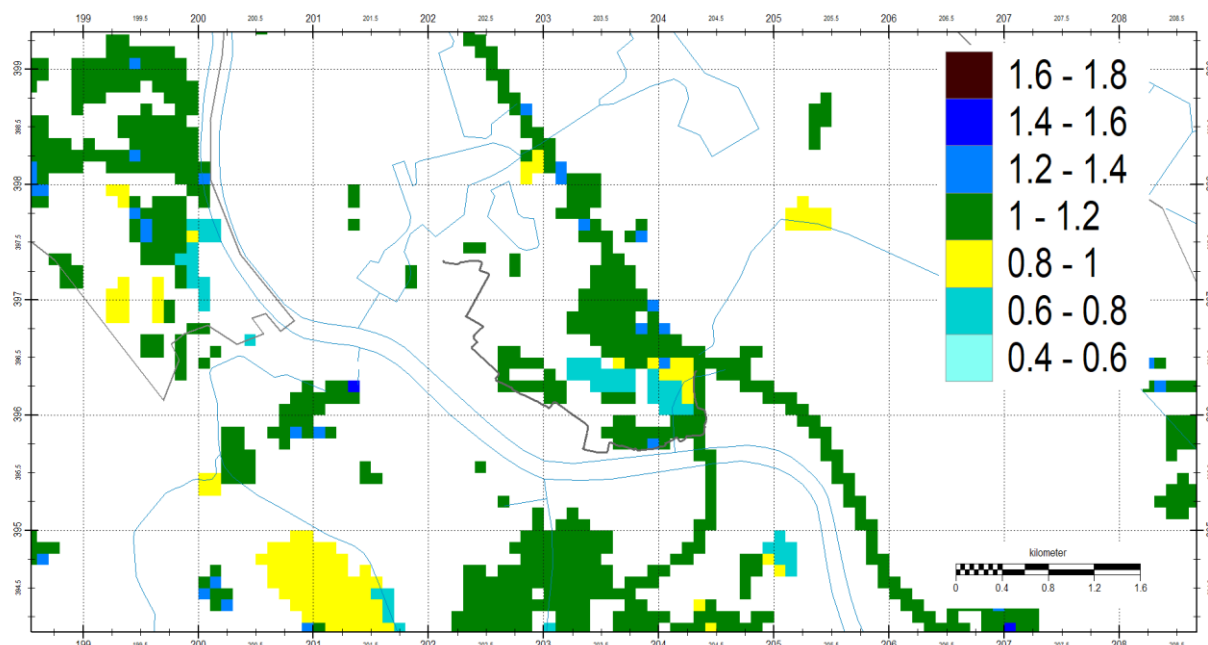
Figuur 3-16 Ligging en peil van de tertiaire ontwatering overgenomen vanuit het Ibrahim 3.0 model

3.8 Buisdrainage

Als basis voor buisdrainage zijn de percelen uit Ibrahim 3.0, zie Figuur 3-17. Voor het stedelijk gebied geldt dat de ontwateringsdiepte 0.8 – 1.4 meter beneden maaiveld ligt. Binnen het interessegebied is hoofdzakelijk buisdrainage-ontwatering op 1 – 1.2 m onder maaiveld geschematiseerd.

Bij eventuele peilgestuurde drainage is bijna nooit bekend op welk peil deze ingesteld staat en vanaf wanneer en voor welke periode de peilgestuurde drainage actief is. Daarom wordt deze niet als peilgestuurde drainage meegenomen, maar als traditionele drainage.

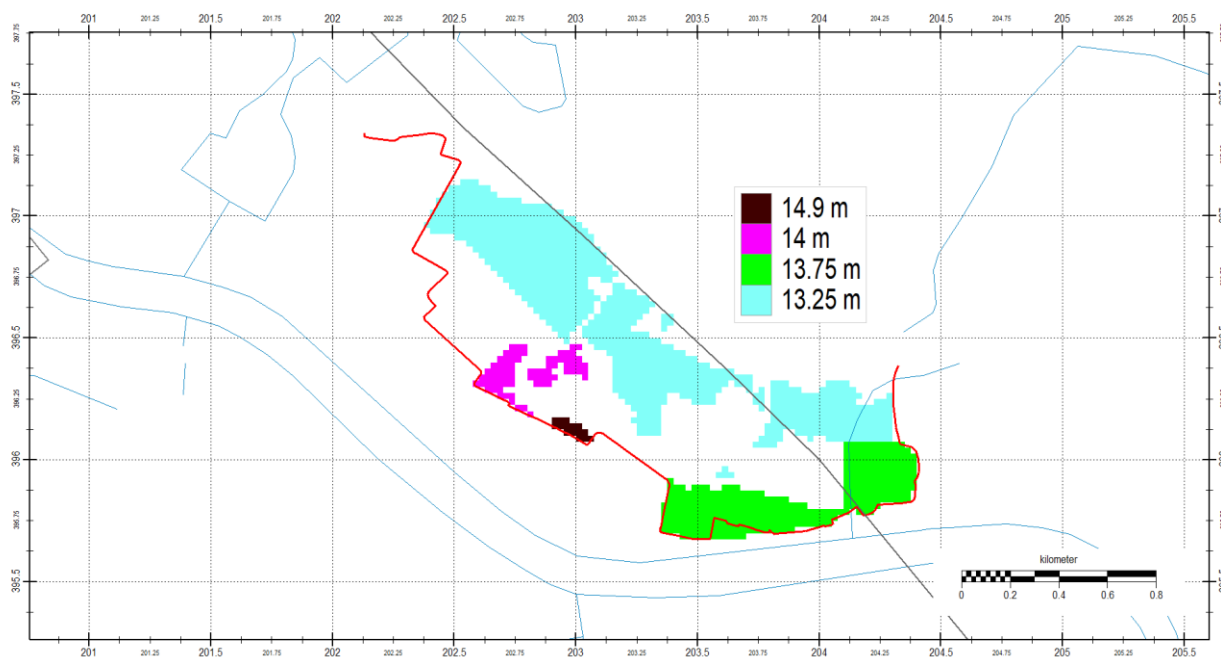
Locaties en diepte van ontwatering zijn gecontroleerd op basis van plausibiliteit van de locatie en eventueel gecorrigeerd indien het drainageniveau bijvoorbeeld niet aansluit op het peil in de waterlopen.



Figuur 3-17 Percelen met buisdrainage en het ontwateringsniveau t.o.v. maaiveld.

3.9 Ontwatering binnendijs en buitendijs in hoogwatersituatie

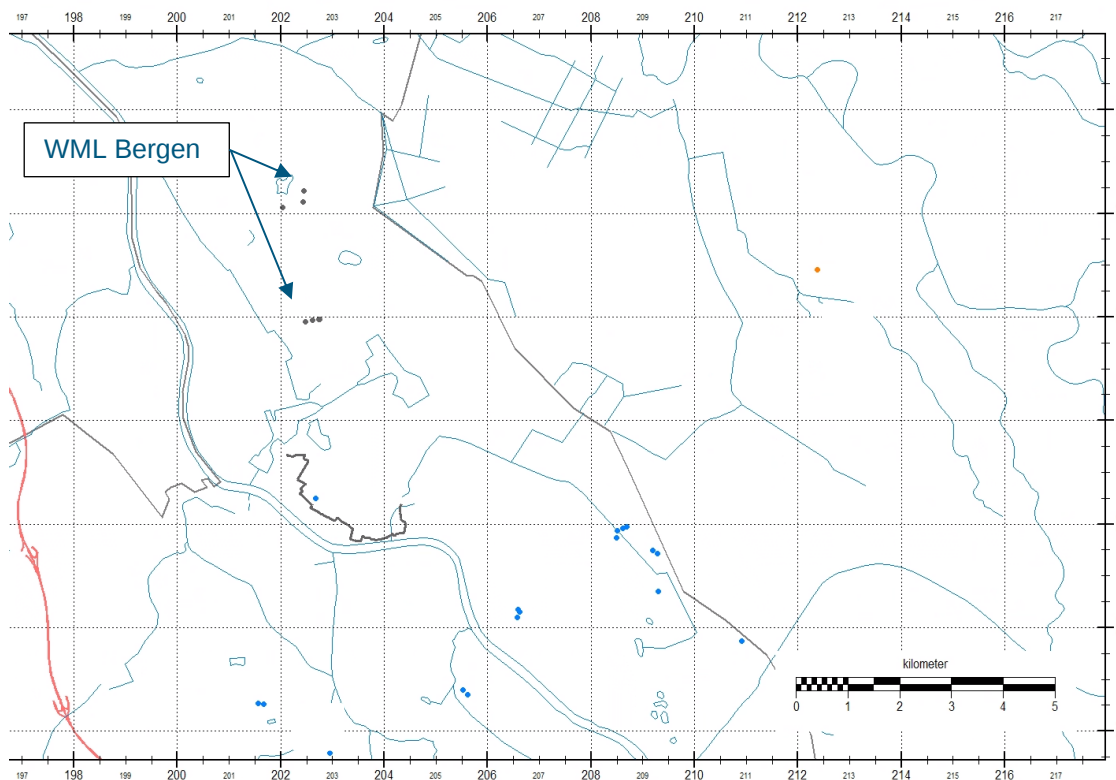
In hoogwatersituaties is de afvoer van primaire, secundaire en tertiaire watergangen vaak ook verhoogd en wordt mogelijk ook gepompt a.g.v. buitenwaterstanden. Deze combinatie kan leiden tot andere binnendijkse peilen. Uit inventarisatie blijkt dat de Papenbeekse Broeklossing en Wellse Molenbeek in hoogwatersituaties niet meer vrij kan afwateren. Deze is daarom in het model uitgezet. Vanaf een binnendijks waterniveau van 13.25 m+NAP in Papenbeekse broeklossing en/of Wellse Molenbeek wordt water afgepompt naar de Maas. Dit is als zodanig verwerkt in het hoogwatermodel. Ook bleek uit luchtfoto's dat binnendijs in bepaalde gebieden water op maaiveld komt te staan. Daarnaast zijn er gebieden waar water juist op een bepaald niveau afgevoerd wordt. Deze gebieden zijn in het model in de overland flow (OLF) verwerkt, zie Figuur 3-18. In het figuur is te zien welk minimaal niveau aan de OLF wordt toegekend, waardoor geen drainage plaatsvindt onder dat niveau. Boven dat niveau kan het water uittreden aan maaiveld indien dit ter plaatse lager is.



Figuur 3-18 Drainageniveau's verwerkt in de overland flow (OLF) in het model.

3.10 Grondwateronttrekkingen

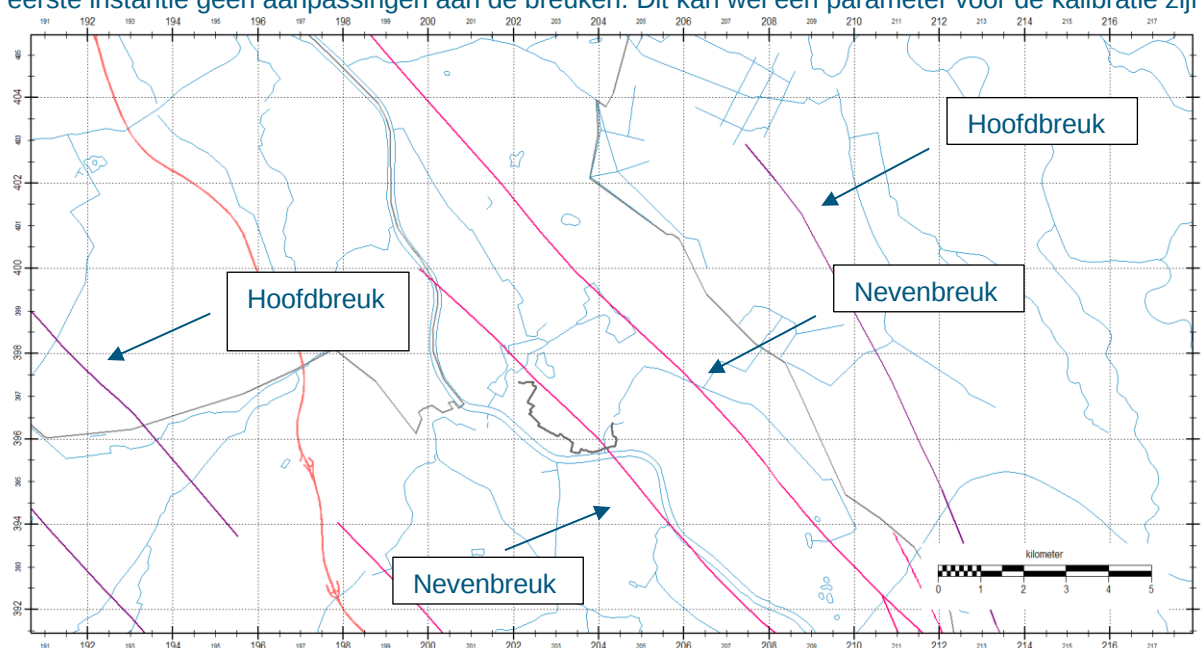
In het modelgebied komen glastuinbouwonttrekkingen (blauwe bolletjes, modellaag 4) en winning Bergen van WML (grijze bolletjes, modellagen 4, 13, 14, 15 en 16) voor, zie *Figuur 3-19*. Winning Bergen onttrekt gemiddeld in totaal ongeveer 500.000 m³ per jaar, waarvan 57.000 m³ ondiep (laag 4). Een deel hiervan wordt weer geïnfiltreerd, ongeveer 35.000 m³ gemiddeld. Verder is er nog een winning in Duitsland, de oranje bol. De winningen en de schematisatie daarvan zijn overgenomen uit Ibrahym 3.0.



Figuur 3-19 Onttrekkingen binnen modelgebied. Grijs=WML, oranje=Duitsland en blauw=Glastuinbouw

3.11 Breuken

Het huidige dijktraject wordt doorsneden door een nevenbreuk, zie Figuur 3-20. Ten noordoosten van het dijktraject ligt nog een nevenbreuk. Nevenbreuken hebben in het model geen weerstand. Hoofdbreuken hebben een weerstand van 100.000 dagen op alle dieptes (beginnend bij de Beegden Formatie). Wij doen in eerste instantie geen aanpassingen aan de breuken. Dit kan wel een parameter voor de kalibratie zijn.



Figuur 3-20 Breuken binnen modelgebied. In paars de hoofdbreuken, in roze de nevenbreuken

4 Kalibratie en validatie

4.1 Kalibratiestrategie

Gekozen is om allereerst het stationaire model op te bouwen, door te rekenen en af te zetten tegen de gemeten gemiddelde grondwaterstand. Deze *basismodelrun* vormt het vertrekpunt voor de kalibratieslagen. Het stationaire model wordt in eerste instantie getoetst of het gemiddelde gedrag gereflecteerd wordt door het model. Indien hieruit grote afwijkingen blijken wordt dit eerst geadresseerd totdat het gemiddelde gedrag goed wordt gereproduceerd. Vervolgens wordt een dynamische berekening uitgevoerd en worden de resultaten op het niveau van kenmerkende grondwaterstandsstatistieken vergeleken met metingen (GxG⁷). Indien nodig zijn kalibratieslagen uitgevoerd om de grondwaterprocessen beter te schematiseren en het kalibratieresultaat te verbeteren. Het gekalibreerde GxG model is als uitgangspunt genomen voor de hoogwaterberekeningen en dynamisch doorgerekend voor een hoogwatersituatie en gekalibreerd op het stijghoogteverloop gedurende een hoogwater. Voor het hoogwatermodel is het van belang dat het verloop van de grondwaterstand ten tijde van de hoogwatergolf betrouwbaar wordt berekend waarbij met name wordt gelet op een correcte berekening van de piekhoogte. De piekhoogte wordt namelijk uiteindelijk gebruikt voor de toetsing ten aanzien van bebouwing.

4.2 Kalibratieset GxG-model

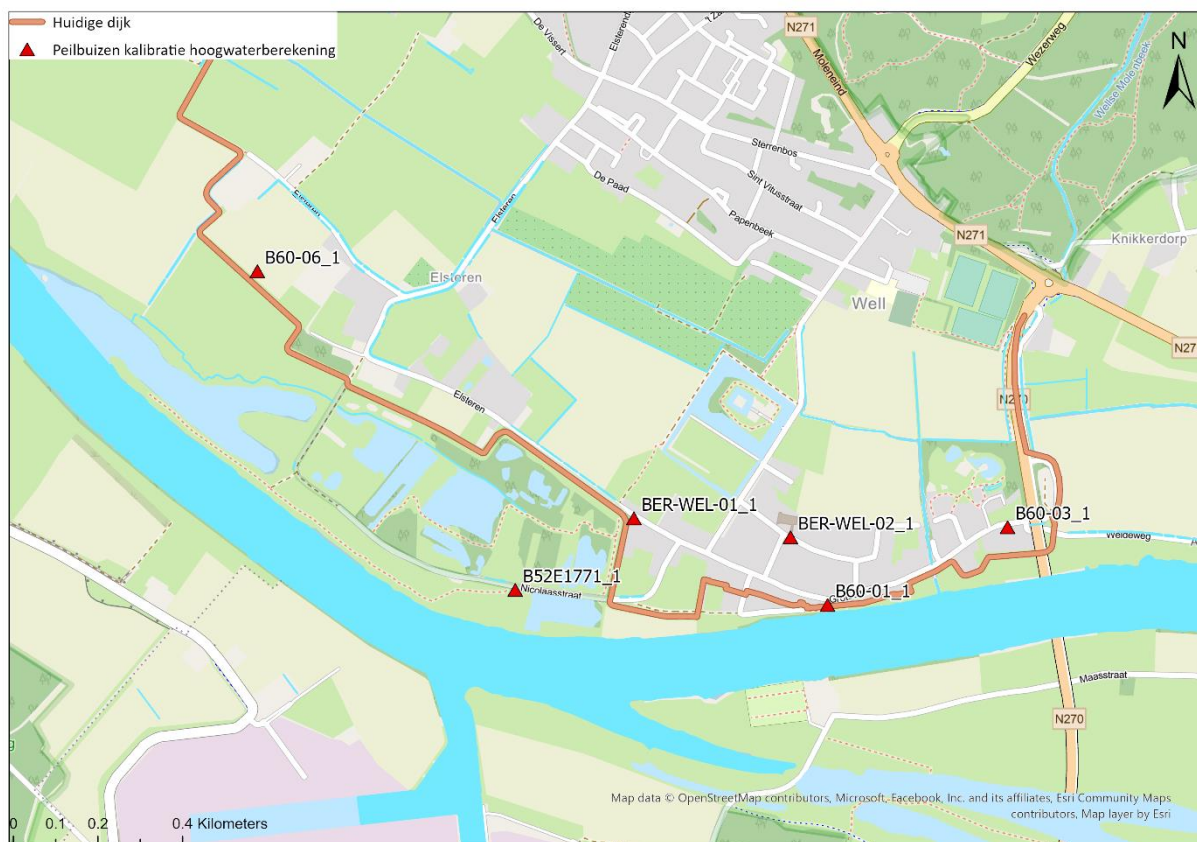
Vanuit Ibrahim 3.0 is een standaard kalibratie- en validatieset beschikbaar. Deze is op Figuur 4-1 weergegeven met rode driehoeken. De standaard kalibratieset is uitgebreid met peilbuizen die voor project dijkversterking Well zijn geplaatst. Deze peilbuizen zijn weergegeven met blauwe driehoeken.

Voor de extra peilbuizen zijn de GxG bepaald over de periode april 2018 t/m september 2023. De metingen zijn vaak pas beschikbaar vanaf 2018, of hebben voor die tijd onbetrouwbare metingen. De GxG van de kalibratieset van Ibrahim 3.0 zijn bepaald over de periode 2005 – 2017. Tussen de GxG-perioden zit dus een duidelijk verschil. Bij het beoordelen van de GxG-resultaten is daar rekening mee gehouden. In het model is namelijk de huidige situatie ingebracht, waarbij ook de verhoging van het Maaspeil in 2015 plaatsvindt. Daardoor kunnen de berekende GxG van zowel de Ibrahim 3.0 als de extra peilbuizen afwijken. Bij elke peilbuis is daarom, naast het berekenen van de GxG, ook gekeken naar de tijd-stijghoogtelijnen van model en meting. Daarbij is gekeken of de afwijkingen verklaard kunnen worden door de GxG-periode.

⁷ GHG = gemiddeld hoogste grondwaterstand, GLG = gemiddeld laagste grondwaterstand, GVG = gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand



Voor de kalibratie van het GxG-model is een andere kalibratieset aan peilbuizen gebruikt dan voor het hoogwatermodel. Voor het hoogwatermodel is het hoogwater van februari 2021 als kalibratieperiode genomen. De meeste peilbuizen hebben dan geen beschikbare data. Daarom is de kalibratieset voor het hoogwatermodel beperkter, zie Figuur 4-2. Voor het hoogwatermodel zijn twee extra validatieperiodes beschouwd, namelijk de hoogwaterevents van januari-februari 2020 en juli 2021. Dit is gedaan om te kijken of de aanpassingen van het hoogwatermodel ook gelden tijdens andere hoogwaterperiodes. Dit is belangrijk, omdat dan aannemelijker is dat het hoogwatermodel ook geschikt is om WBN-waterstanden door te rekenen.

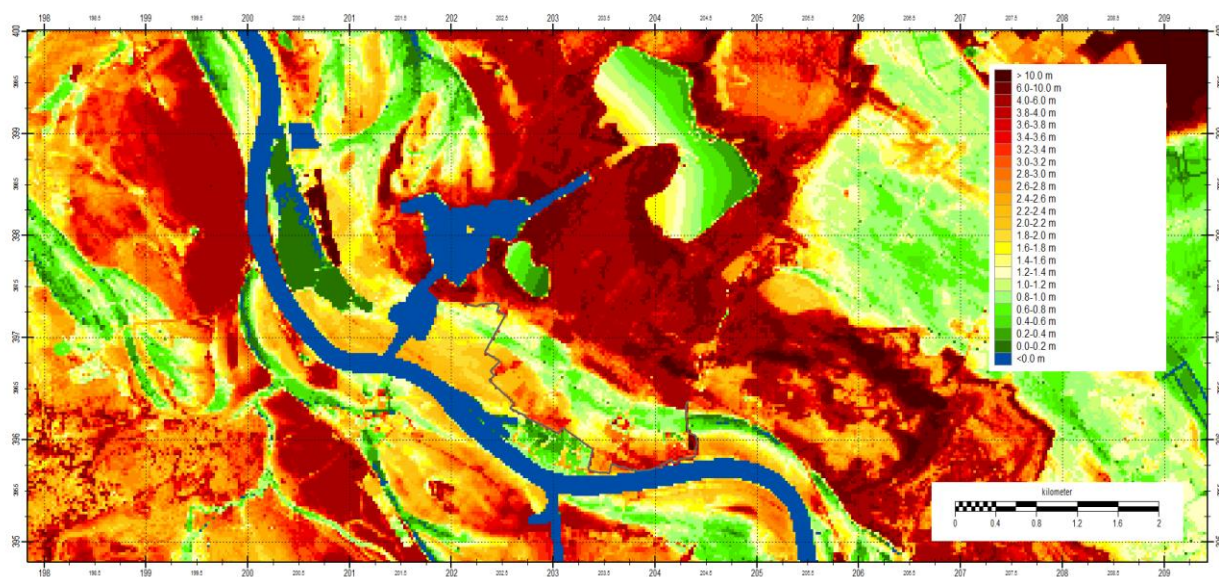


Figuur 4-2 Peilbuizen gebruikt voor kalibratie van het hoogwatermodel

4.4 GxG model

4.4.1 Basismodelrun – BASIS2

De basismodelrun is in het model BASIS2 genoemd (BASIS1 betreft het verfijnde model qua rekengrid, maar verder geen aanvullende schematisering bijvoorbeeld qua peilen of ondergrond). In Figuur 4-3 is de berekende gemiddelde grondwaterstand van BASIS2 weergegeven.

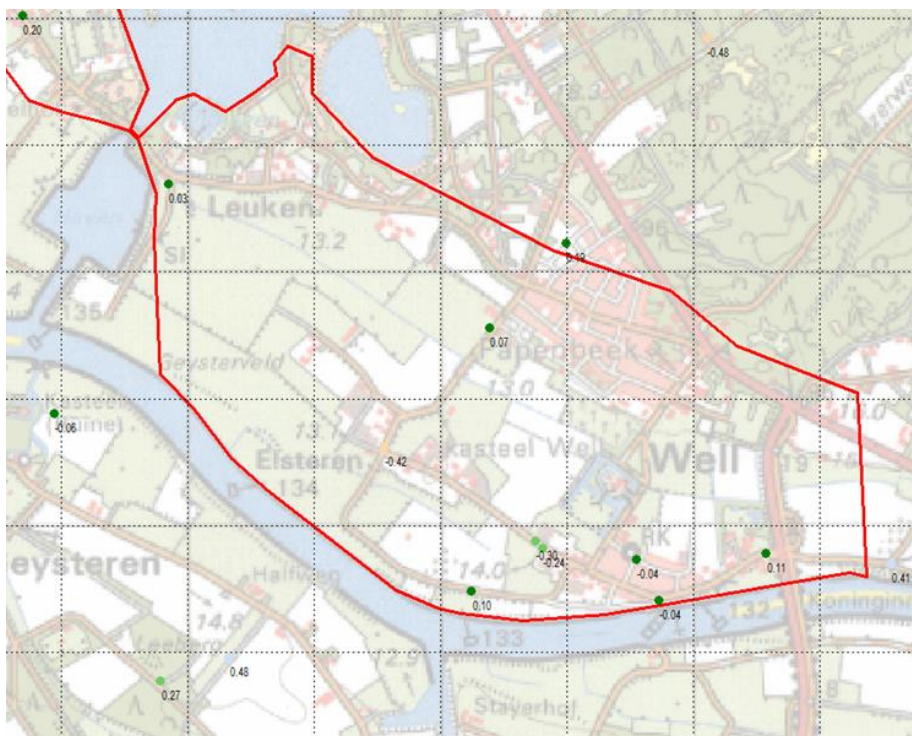


Figuur 4-3 Berekende gemiddelde grondwaterstand t.o.v. maaiveld

De Maas en voorhaven komen terug als oppervlaktewateren met de blauwe kleur. Ook de droge Maasduinen zijn goed zichtbaar alsmede de nattere gebieden in de vorm van de Band, Groene rivier en het bovenstroomse stroomgebied van de Wellse Molenbeek. De hogere koppen in het projectgebied van de nederzettingen van Oud Well en Elsteren zijn ook goed herkenbaar. Grotendeels komt uit het berekende beeld het verwachte systeemgedrag naar voren. Uitzonderingen daarop zijn het Reindersmeer en Seurensheide kleuren niet blauw als oppervlaktewater wat opvallend is. Daarnaast valt op dat een verschil in grondwaterstand ten opzichte van maaiveld bestaat over deze twee oppervlaktewateren (het ene deel is 'natter' dan het andere). Dit kan het gevolg zijn van verschil in bodemhoogte of doordat het oppervlaktewater niet correct is geschematiseerd (waardoor verhang over water ontstaat). Voor het berekenen van de effecten in het projectgebied zal dit vermoedelijk geen grote gevolgen hebben door de wat grotere afstand tot het projectgebied. Het kan echter zo zijn dat de hoeveelheid kwelstroming en nalevering minder nauwkeurig is.

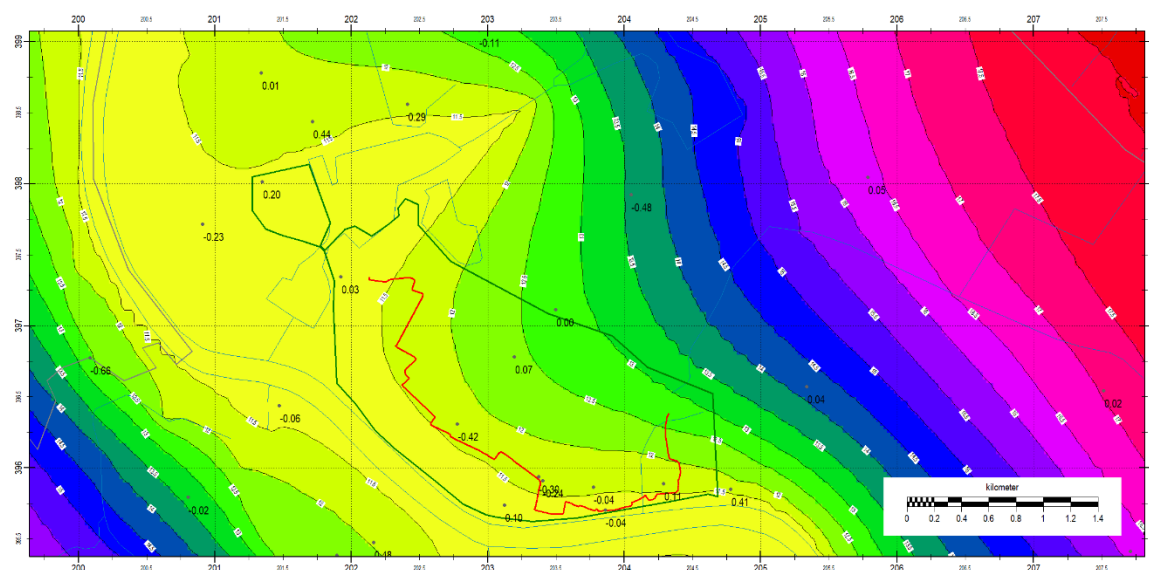
In Figuur 4-4 is het stationaire resultaat van de basismodelrun weergegeven ten opzichte van meetgegevens. Dit figuur geeft dus op de puntlocaties van de metingen weer hoe het stationaire modelresultaat vergelijkt met de gemiddelde waarde afgeleid uit meetgegevens⁸.

⁸ Eventueel nog wel gecorrigeerd op invloed van gewijzigd peilbeheer op de Maas



Figuur 4-4 Weergave stationair kalibratieresultaat basismodelrun (kalibratieset)

De stationaire afwijkingen tussen berekend en gemeten in het projectgebied (golfweg de rode lijn) zijn veelal tussen de 0 en 10 cm met grotere afwijkingen nabij de Band in de orde van 24 tot 42 cm te laag berekend. De modelafwijking is daarmee betrekkelijk klein. Rondom het projectgebied worden afwijkingen in dezelfde bandbreedte berekend, waarmee er vertrouwen is dat het model de processen die belangrijk zijn in gemiddelde situaties goed representeert.



Figuur 4-5 Kalibratieresultaat en berekend verhang (elke isohyps geeft een gelijke grondwaterstand aan met intervallen van 50 cm)

In Figuur 4-5 is het berekende verhang afgezet tegen het kalibratieresultaat. Op locaties met veel verhang is een grotere afwijking minder kwalijk dan op een locatie met weinig verhang. Y

In Figuur 4-5 is te zien dat op de locaties waar veel verhang is het kalibratieresultaat toch behoorlijk goede resultaten laat zien, veelal afwijkingen kleiner dan 10 cm. Eén peilbuis laat een grotere afwijking zien (48 cm). Het berekende verhang is hier echter groot, te zien aan de kort op elkaar gelegen isohypsen. Een kleine wijziging in het berekende verhang kan daardoor voor een groot verschil in berekende afwijking zorgen. Dit wordt daarmee niet als zorgwekkend beschouwd, ook gezien de andere goede resultaten.

De validatieset laat grotere afwijkingen zien (Figuur 4-6). De validatieset betreft een set aan meetreeksen die minder data bevatten en als gevolg daarvan nadere analyse vragen voordat een betrouwbare beoordeling op basis van deze peilbuizen plaats kan vinden.



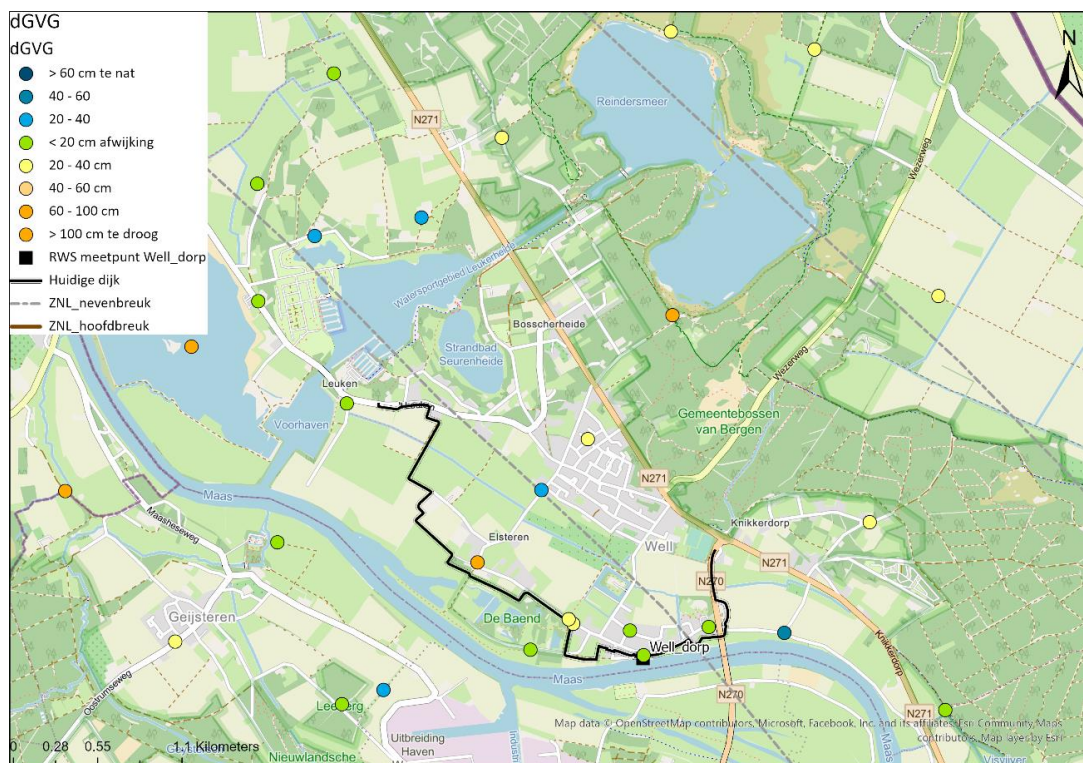
Figuur 4-6 Kalibratie & validatieset basismodelrun

Het model berekend ogenschijnlijk te lage grondwaterstanden rondom de Band. Het gekozen drainageniveau voor de gehele Band (11,70 m+NAP) op basis van de uitwaterende duiker is mogelijk aan de lage kant. Aanvullend is geconstateerd dat de buisdrainage soms onder het gemodelleerde oppervlaktewaterpeil draineert als gevolg van het gekozen drainagepeil. Daarnaast lijken de berekende grondwaterstanden ter plaatse van het Reindersmeer en Seurensheide aan de lage kant.

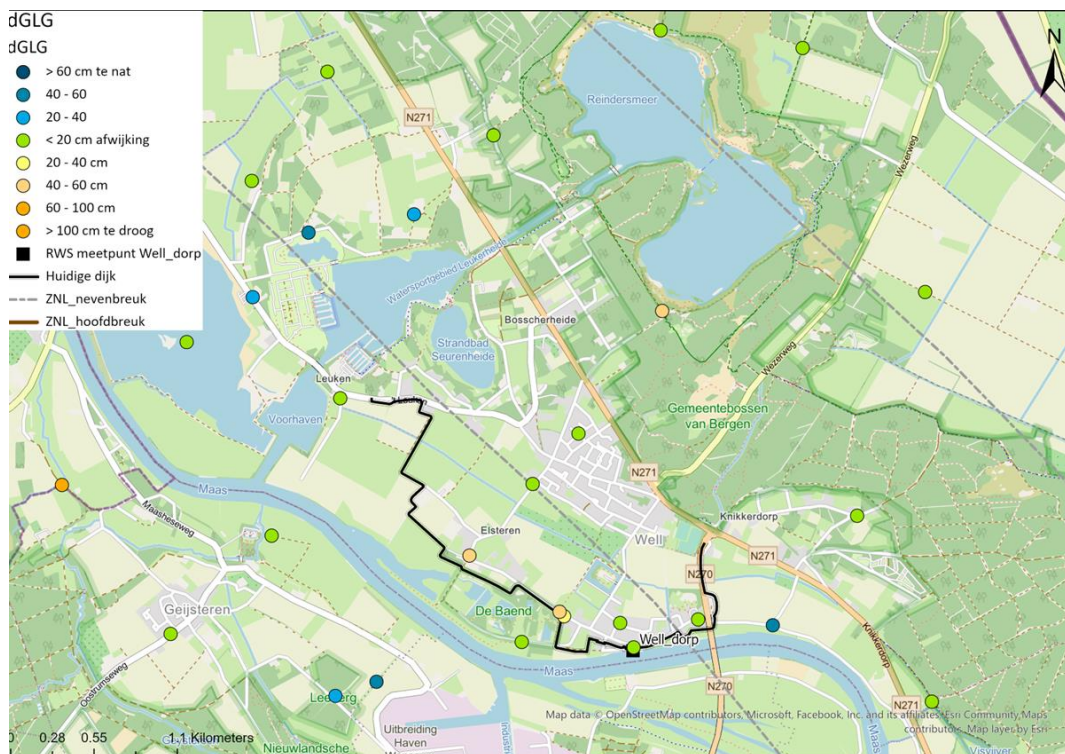
Tabel 4-1 Analyse afwijkingen validatieset

Peilbuis	SET	Locatie	Resultaat BASIS2	Toelichting
B52E1808	Validatie	Broekgraaf	-0.37	Meetperiode 1991-2003. Waardes bepaald op laatste 3 jaar vanaf 2000. Meer winters dan zomers erin. Verhoging maaspeil naderhand mogelijk verklarend. Meetwaarde NAP 12.58, grofweg 50 cm opbolling t.o.v. Broekgraaf. Maaiveld 13.13 ter plaatse.
B52E1743	Validatie	Nieuw Well	-0.28	<1 jaar meting gebruikt voor waarde. Mogelijk grondwateraanvulling kleiner in model t.o.v. dit jaar (2000 was relatief nat).
B52E1577	Validatie	De Band – Maas	-0.72	Meetgegevens in periode feb 2000- jan 2003. Gemeten grondwaterstand ~12 m NAP. Lijkt hoog t.o.v. grondwaterstandsverloop. Detail, zitten wel twee hoogwaters in. Basishoogte in grafiek lijkt ~11.80 – 12 m NAP.

12 december 2024



Figuur 4-8 Kalibratieresultaat GVG basismodelrun



Figuur 4-9 Kalibratieresultaat GLG basismodelrun

Resumé basismodelrun

Geconstateerd is naar aanleiding van de basismodelrun dat het model een goede representatie van de systeemwerking geeft en in grote lijnen goed vergelijkt met de gemeten grondwaterstanden. De systeemwerking van droge en natte gebieden wordt door het model goed weergegeven.

Aandachtspunten die zijn geconstateerd betreffende:

- Systeemwerking Reindersmeer en Seurensheide
- Buisdrainageniveau soms onder oppervlaktewaterpeil
- Drainageniveau de Band vermoedelijk aan de lage kant.

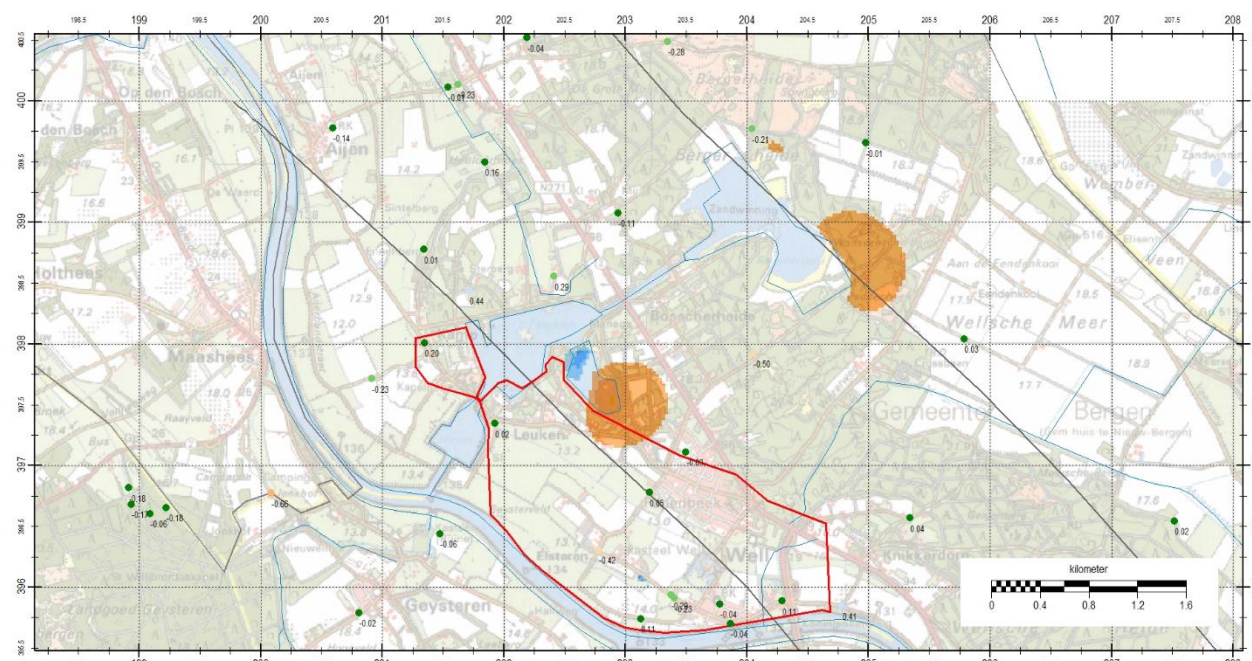
4.4.2 Kalibratieslag 1 – BASIS3

In kalibratieslag 1 zijn de aandachtspunten van de basismodelrun geadresseerd:

- Horizontale doorlatendheid k_h Seurensheide verhoogd naar 1000 m/dag
- Conductance Reindersmeer verhoogd van 62.5 naar 125
- Drainageniveau de Band verhoogd van 11.68 naar 11.90 m+NAP
- Buisdrainage aangepast zodat dit aansluit op oppervlaktewaterpeil

Ter plaatse van Reindersmeer en Seurensheide zijn aanpassingen doorgevoerd die het systeemgedrag moeten bevorderen en moeten voorkomen dat er verschil in grondwaterstand op verschillende delen van de oppervlaktewateren ontstaat. Door de verschillende wijze van schematiseren (in RIV of DRN package) is dit voor het ene oppervlaktewater anders gemodelleerd dan de andere.

In Figuur 4-10 is het stationaire verschil weergegeven tussen het resultaat van deze kalibratieslag en de basismodelrun.



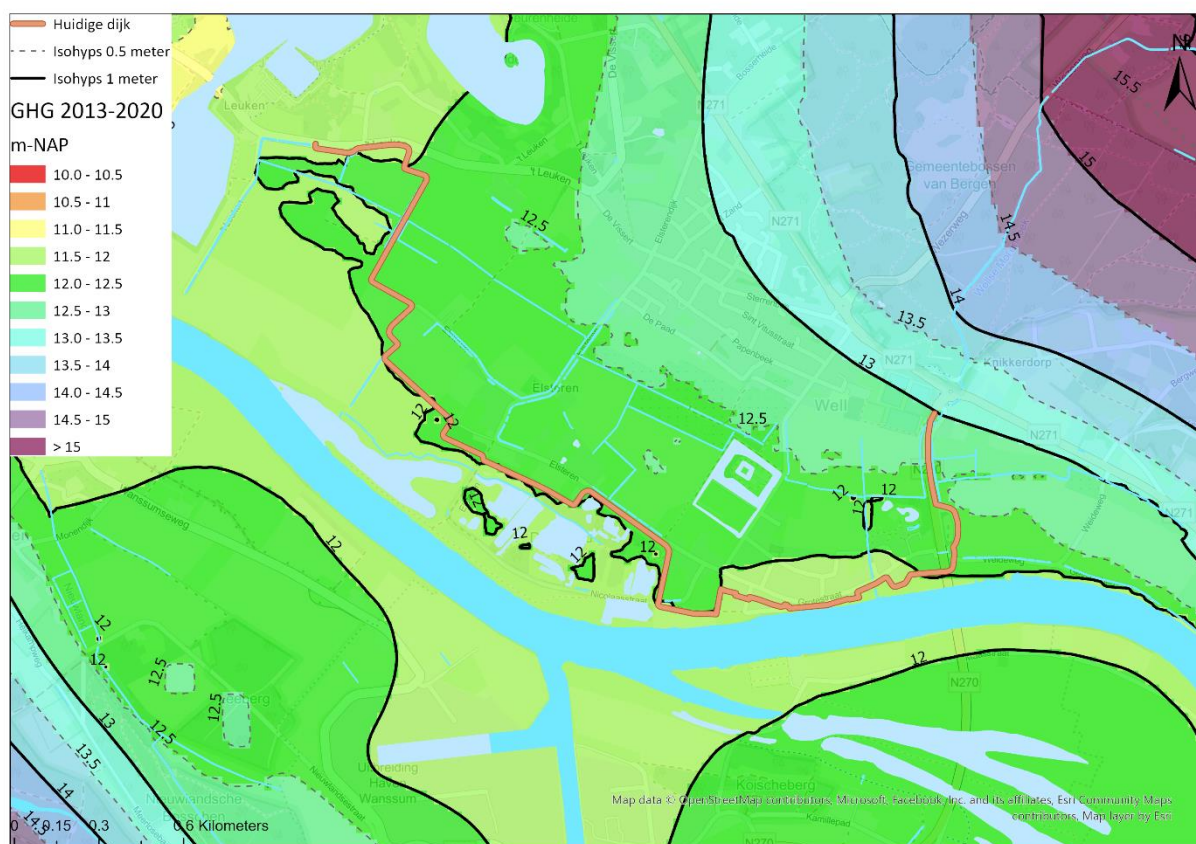
Figuur 4-10 Stationaire verschil kalibratieslag 1 en basismodelrun

De stationaire verschillen zijn beperkt. Ter plaatse van Seurensheide en Reindersmeer is de invloed van de aanpassing weergegeven, waardoor het systeemgedrag beter tot zijn recht komt.

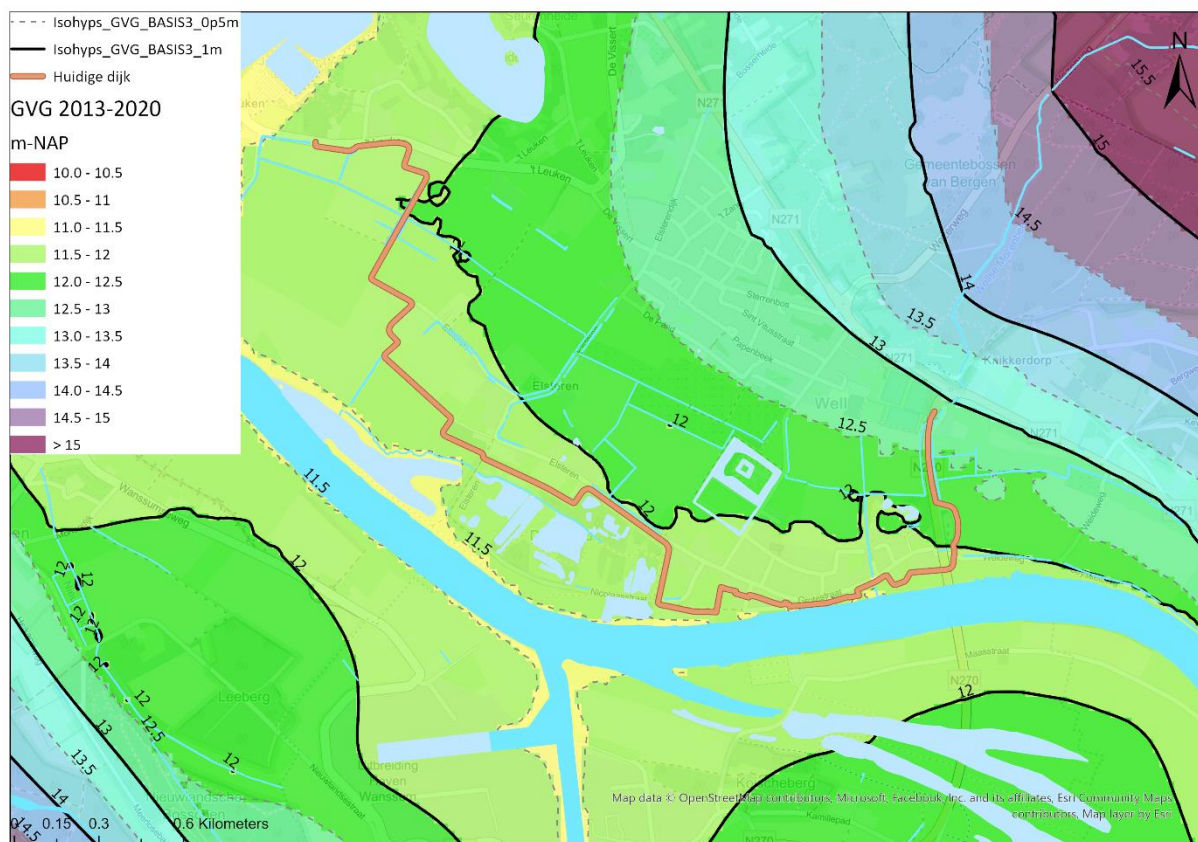
Resumé

De GxG van de BASIS3 berekening zijn zichtbaar in Figuur 4-11 (GHG), Figuur 4-12 (GVG) en Figuur 4-13 (GLG). In de GxG zijn de verschillen ten opzichte van Figuur 4-7, Figuur 4-8 en Figuur 4-9 zeer beperkt. Alleen zeer lokaal zijn verschillen in berekende GxG zichtbaar. Daarom zijn de afwijkingen in Figuur 4-7 t/m Figuur 4-9 ook representatief voor de BASIS3 berekening.

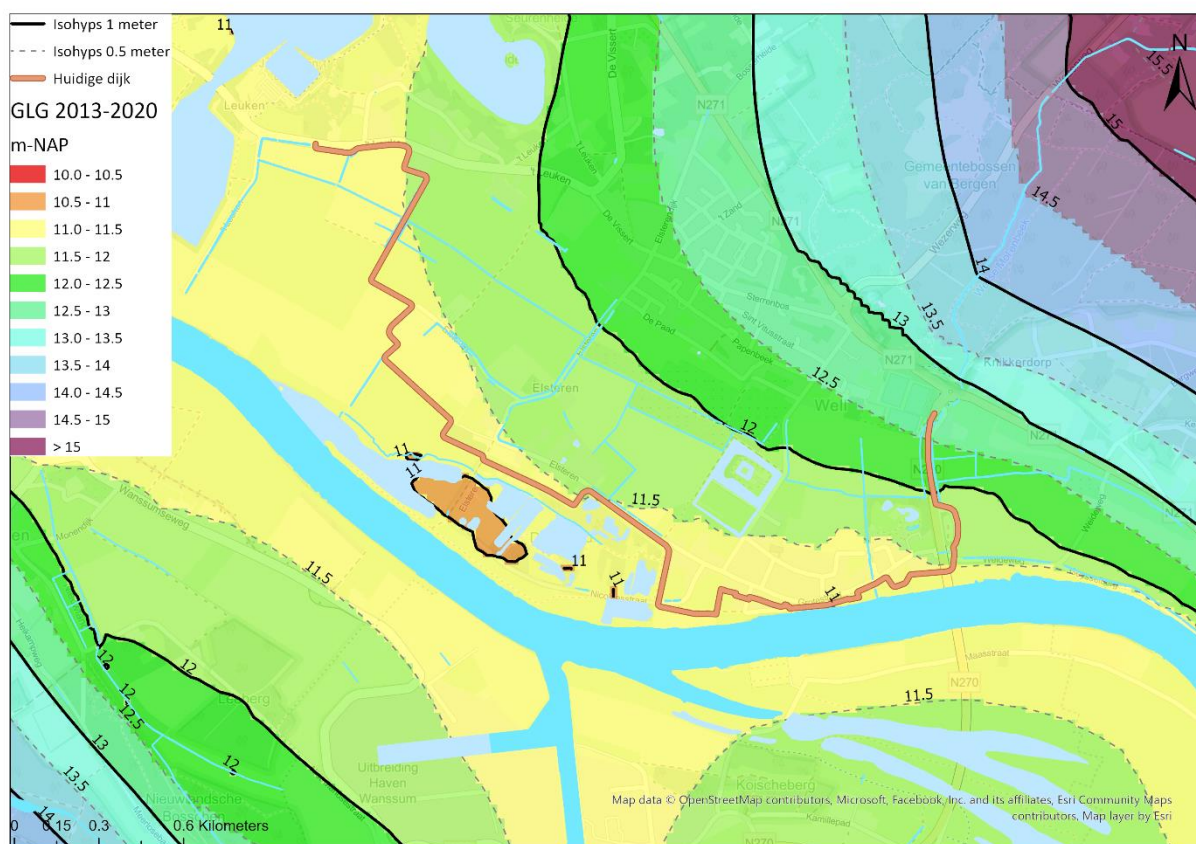
Het verschil tussen de GHG en GLG is een groot deel van het gebied tussen de 0.5 – 1 meter verschil. In alle drie de GxG situaties werkt de Molenbeek drainerend. Dit is te zien aan de isohypsen, die afbuigen richting de beek. Het effect van de Papenbeekse Broekklossing lijkt beperkt. In de zomer valt deze vaker droog op dit moment.



Figuur 4-11 GHG t.o.v. NAP voor het BASIS3 model



Figuur 4-12 GVG t.o.v. NAP voor het BASIS3 model



Figuur 4-13 GLG t.o.v. NAP voor het BASIS3 model

Het BASIS3 model is uiteindelijk gebruikt voor de verdere studie.

4.5 Hoogwatermodel

4.5.1 Uitgangsmodel

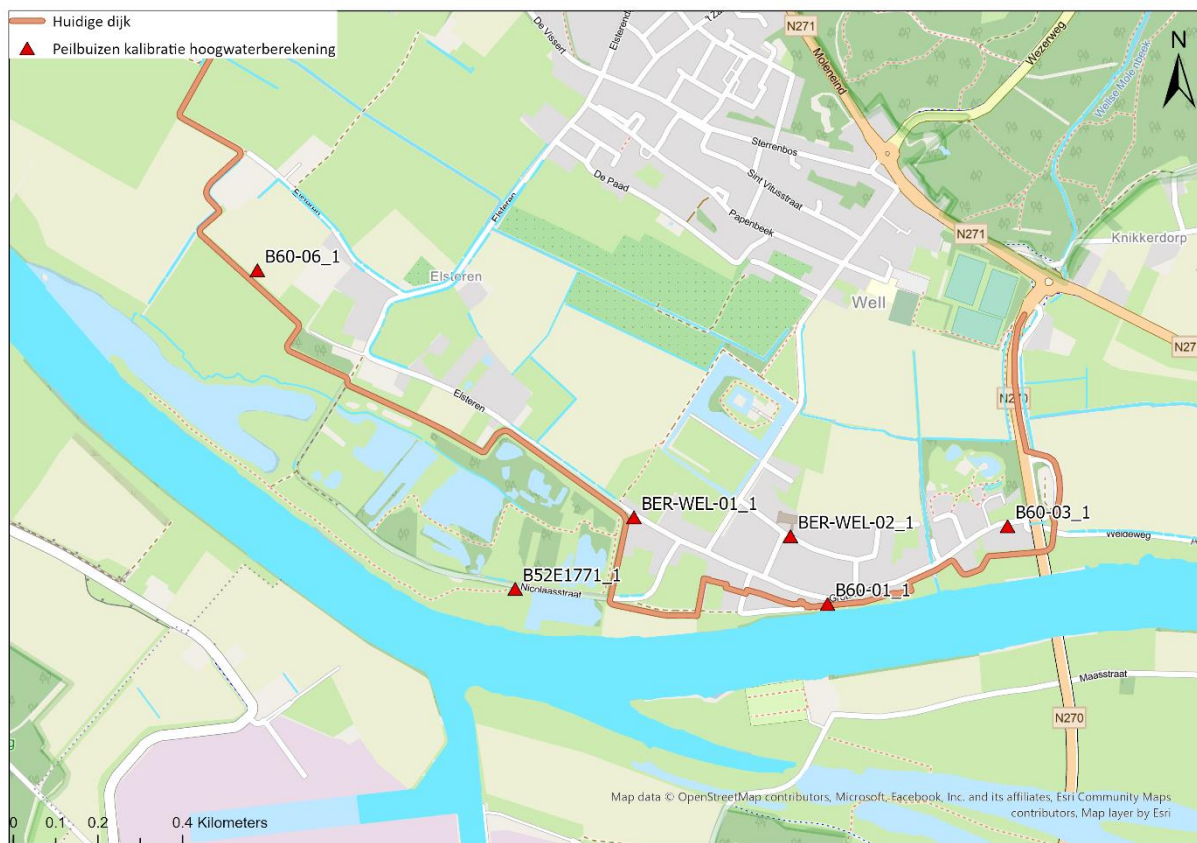
Het uitgangsmodel van het hoogwatermodel is het BASIS3 model, beschreven in paragraaf 4.4. Tijdens de kalibratie van het hoogwatermodel kijken we voornamelijk naar zes peilbuizen, hieronder in Figuur 4-14 weergegeven. Het basismodel geeft tijdens hoogwater grote afwijkingen van de gemeten stijghoogten, zowel qua aanloop, piekhoogte als daling van de piek. Het aantal bruikbare peilbuizen is maar beperkt, vanwege meerdere redenen. Voornaamste reden is dat de periode van metingen niet overeenkomt met de kalibratie- of validatieperiode. De kalibratieperiode is het hoogwater van februari 2021, de validatieperiode het hoogwater van juli 2021 en van het voorjaar van 2020. Andere redenen zijn dat peilbuizen lange perioden zonder metingen hebben, dat de metingen onregelmatige patronen vertonen of peilbuizen die bij elkaar in de buurt liggen afwijkende patronen meten.

Figuur 4-15 t/m Figuur 4-20 geven voor de zes peilbuizen in Figuur 4-14 de berekende (BASIS3) en gemeten stijghoogten weer. Bij elke peilbuis valt hetzelfde op:

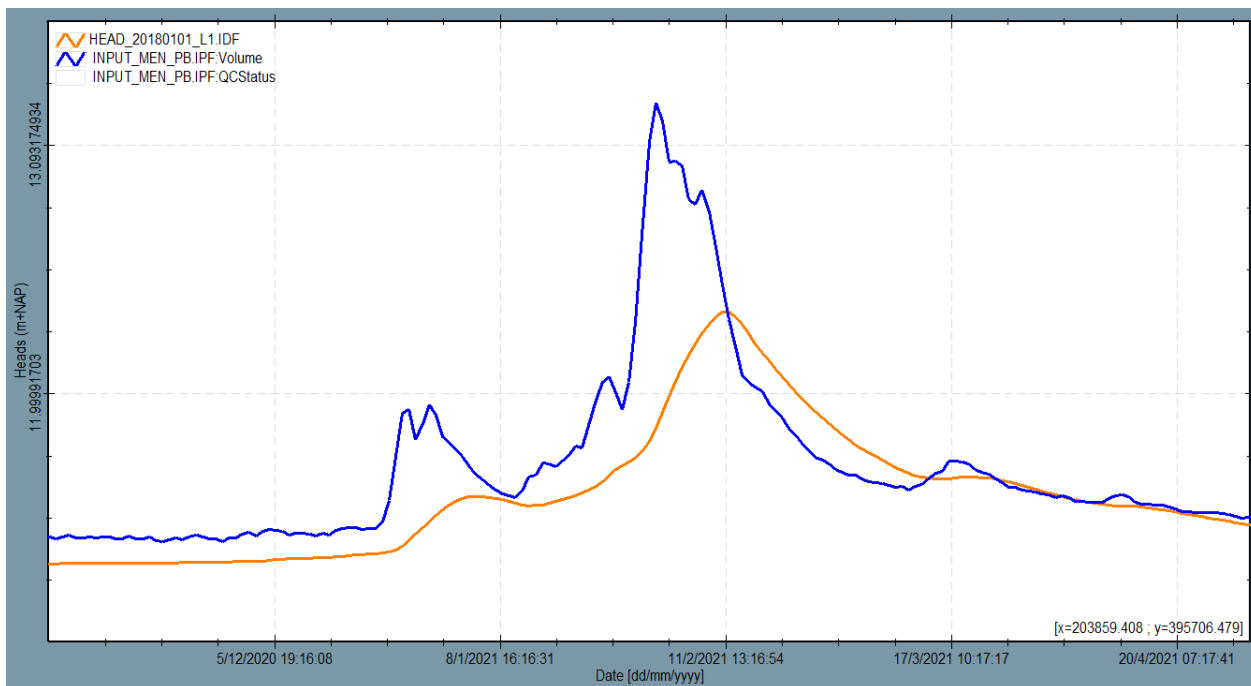
- Het model reageert te traag op de hoogwatergolf. De berekende piek ligt enkele dagen na de gemeten piek.
- De dynamiek van de gemeten stijghoogten is helemaal niet terug te zien in de berekende stijghoogten.

- De berekende stijghoogten voor en tijdens het hoogwater zijn vaak te laag. Na de hoogwaterpiek zakt het model meestal juist te langzaam weg.

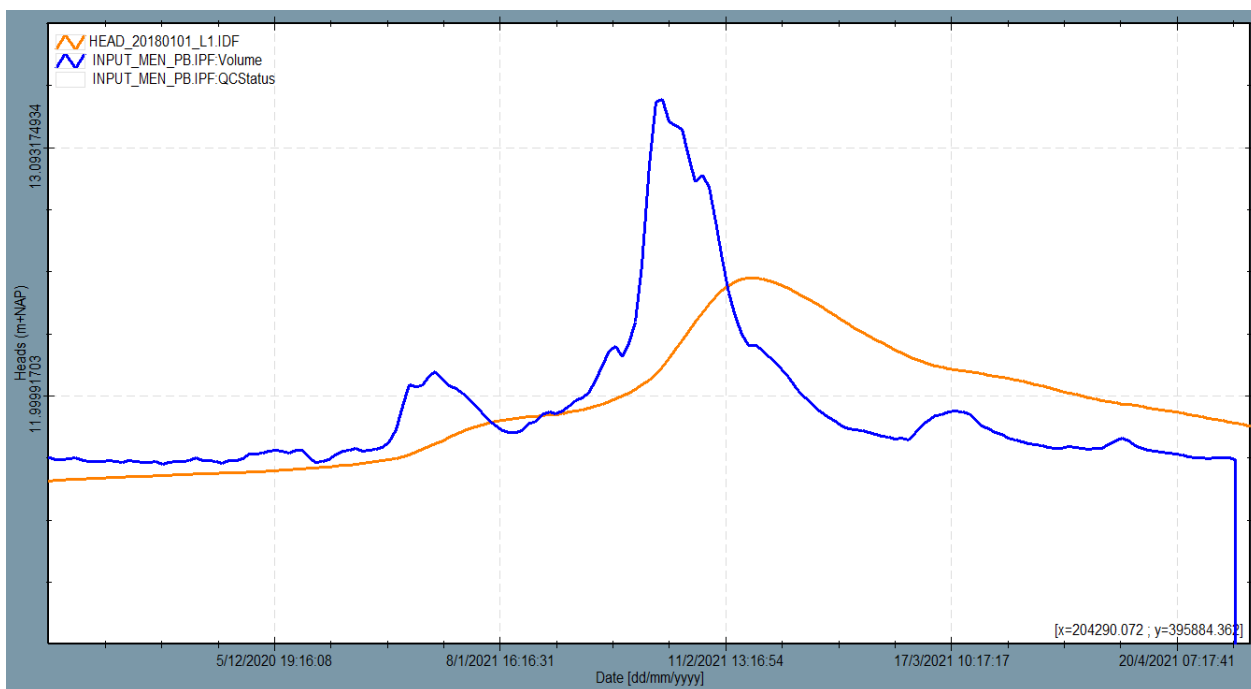
Uit de vergelijking van meting en model blijkt dat het grondwatermodel opgesteld voor gemiddelde situaties niet direct geschikt is voor hoogwatersituaties. Daarom is een apart hoogwatermodel gemaakt.



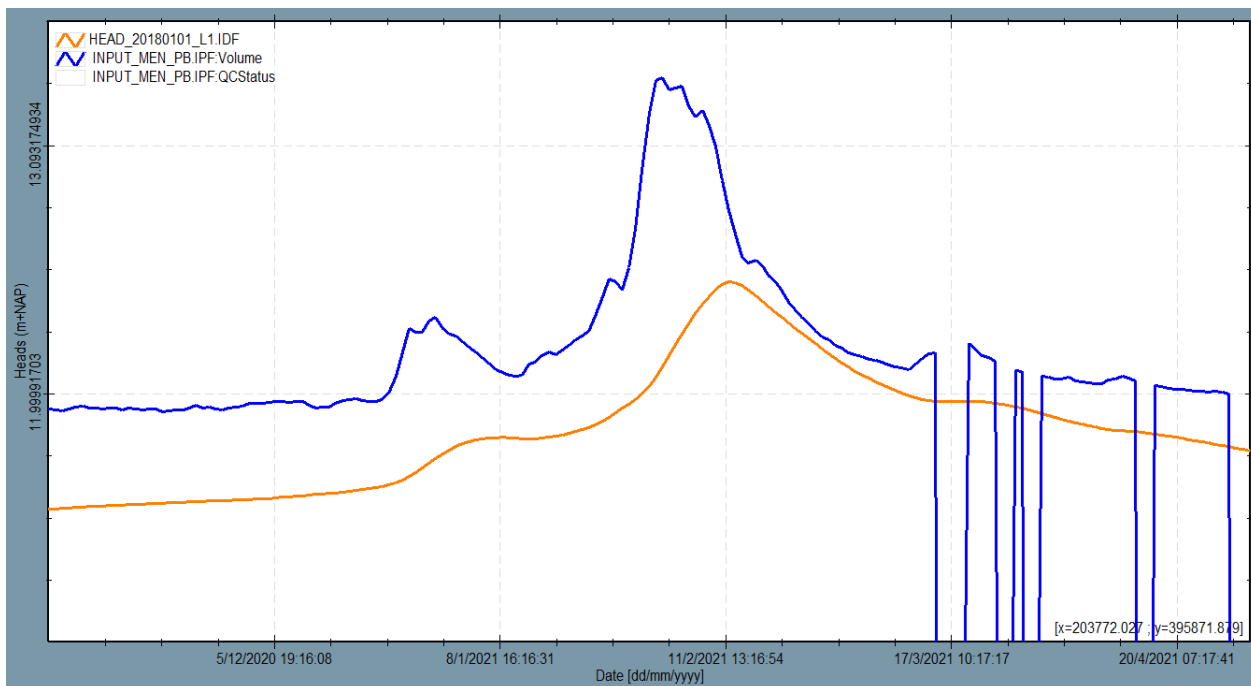
Figuur 4-14 Locaties en naamgeving peilbuizen gebruikt voor beoordeling hoogwatermodel



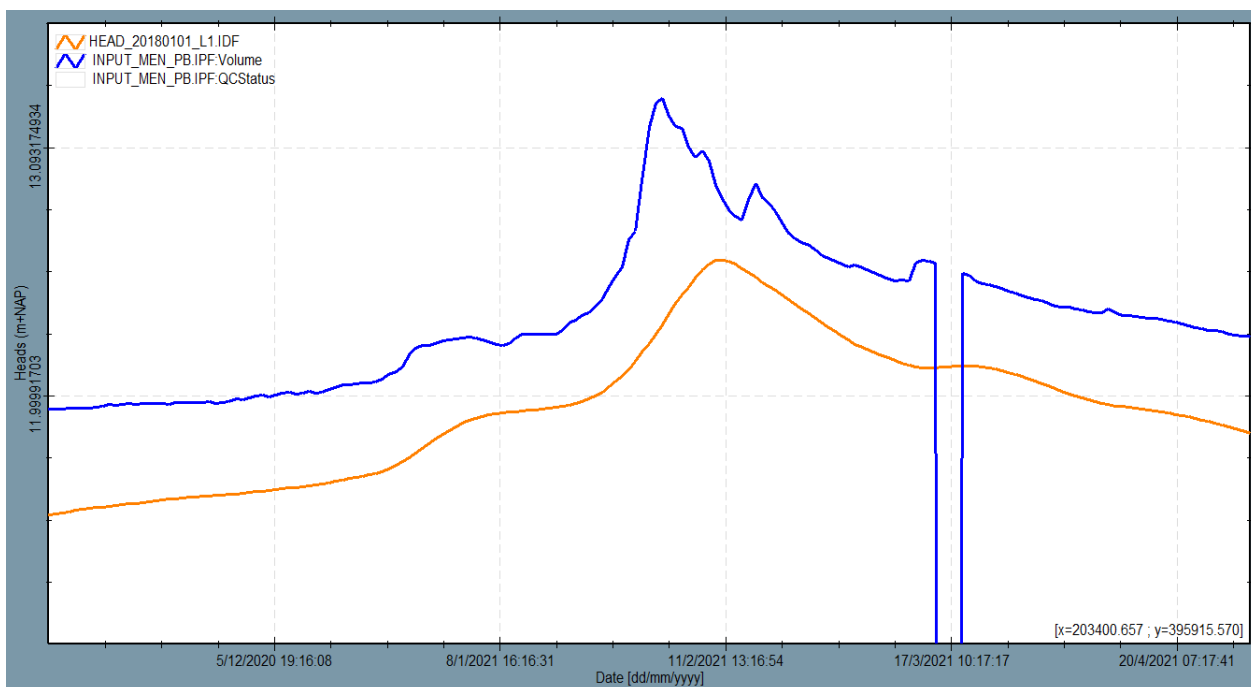
Figuur 4-15 Vergelijking basismodel en metingen B60-01_1



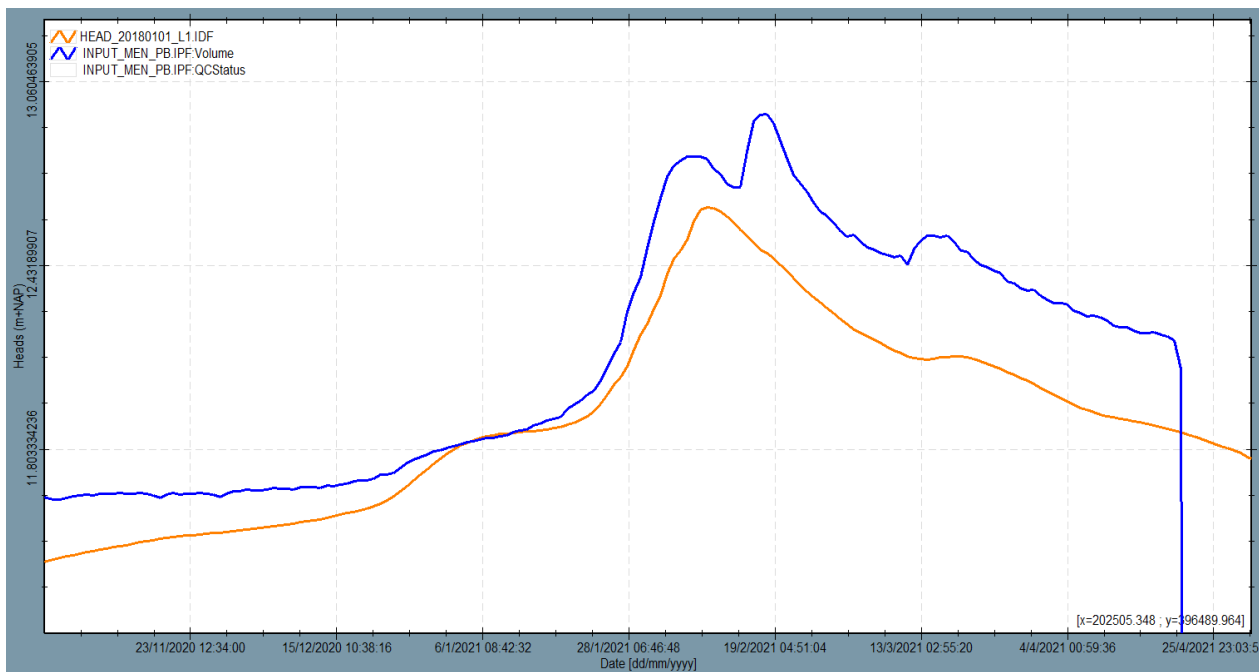
Figuur 4-16 Vergelijking basismodel en metingen B60-03_1



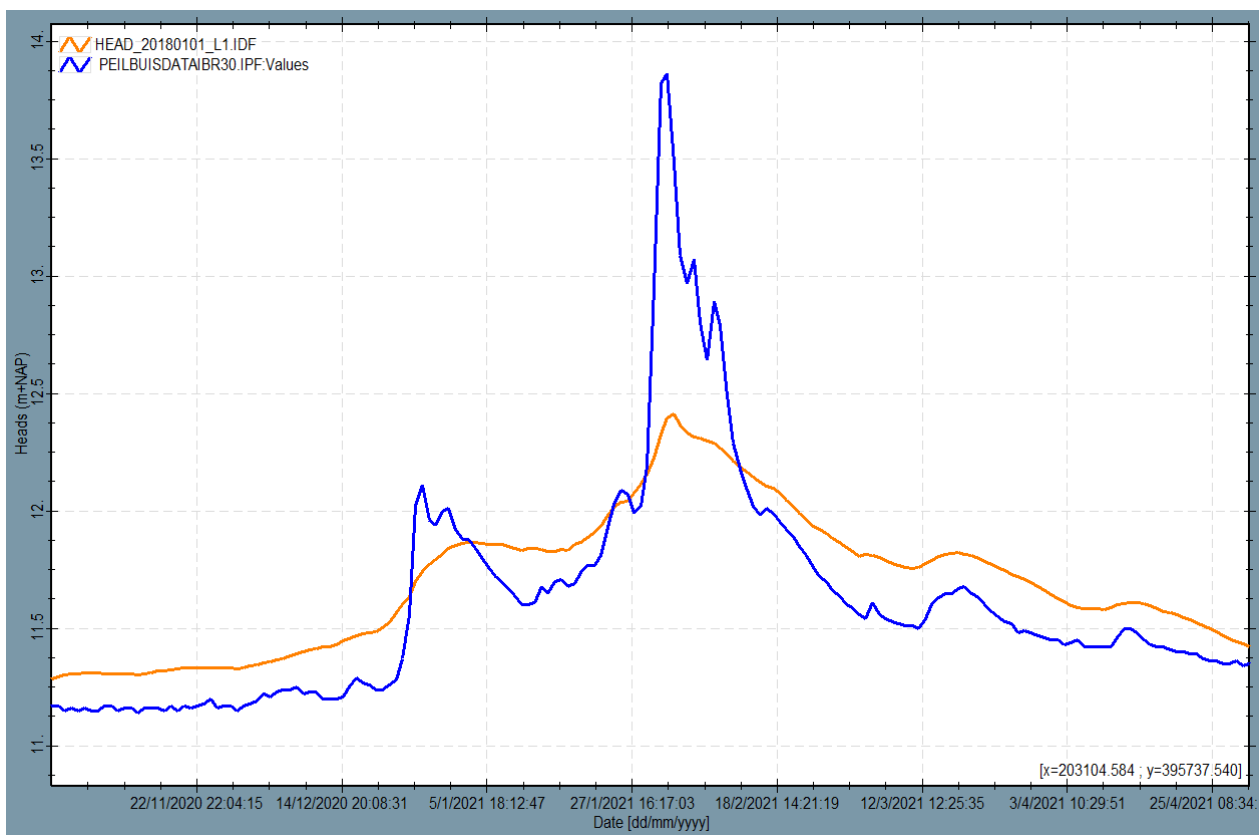
Figuur 4-17 Vergelijking basismodel en metingen BER-WEL-02_1



Figuur 4-18 Vergelijking basismodel en metingen BER-WEL-01_1



Figuur 4-19 Vergelijking basismodel en metingen B60-06_1



Figuur 4-20 Vergelijking basismodel en metingen B52E1771_1

4.5.2 Kalibratie aanpassingen hoogwatermodel

Het hoogwatermodel is gekalibreerd op het hoogwater van februari 2021. De volgende aanpassingen bleken nodig om een goed reagerend model te krijgen:

1. Uitzetten Metaswap
2. Bergingscoëfficiënt van modellaag 1 in bepaald gebied op 0 gezet
3. Infiltratiefactor van de Maas op 1 gezet
4. Overland flow verhoogd in bepaalde gebieden
5. Drainage buitendijks bij de Band verwijderd
6. Drainage Papenbeekse Broeklossing en Wellse Molenbeek (deels) uitgezet
7. Buisdrainage uitgezet
8. Definieren binnendijks drainageniveaus bij hoogwater Maas

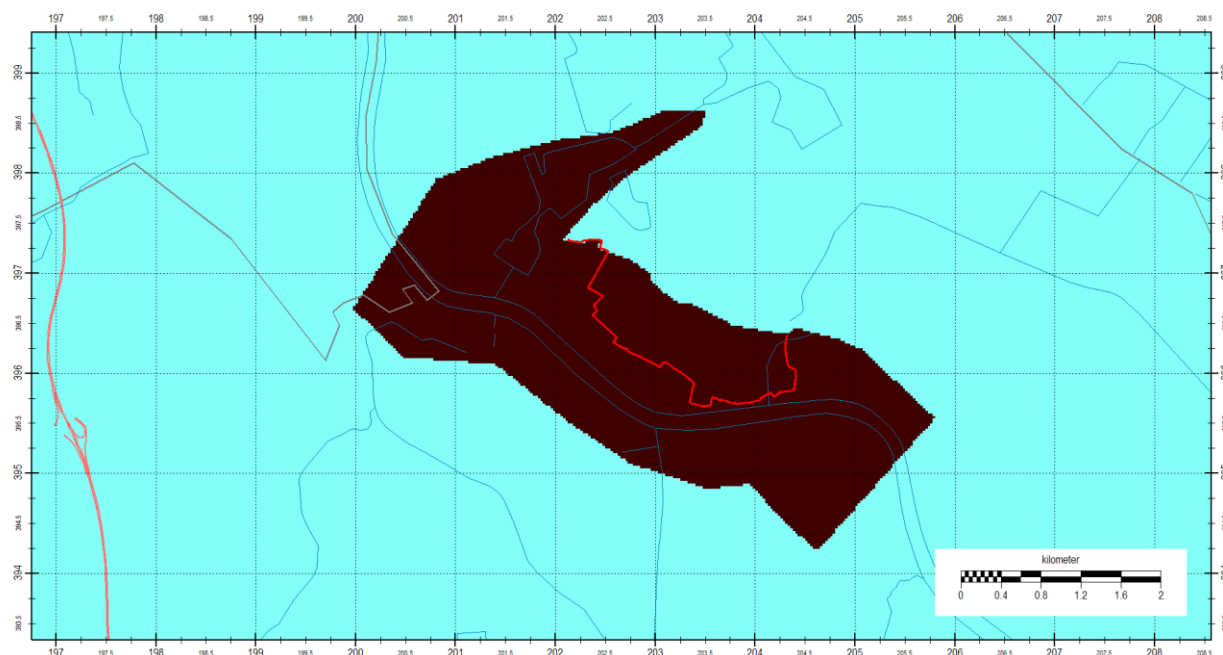
Deze aanpassingen zijn in onderstaande paragrafen besproken.

4.5.2.1 Uitzetten Metaswap

Een van de belangrijkste aanpassingen is het uitzetten van Metaswap. Metaswap regelt namelijk de freatische berging. Maar daardoor ontstaat een vertraging tussen het stijgen van het Maaspeil, het onderlopen van buitendijkse gebieden en het doorwerken van deze stijgingen in de grondwaterstand. De tijdstap waarmee gerekend wordt (1 dag) past niet bij de reactie van het grondwatersysteem. Uit de metingen blijkt dat deze vertraging zich voordoet op veel kleinere tijdspanne dan die ene dag. In hoogwatersituaties reageert de stijghoogte zo goed als direct op het Maaspeil. Daarom is Metaswap uitgezet en is de grondwateraanvulling constant gehouden op 1 mm/dag. Deze aanvulling beschrijft een natte situatie na. Dit is meestal het geval tijdens hoogwatersituaties. Uitzondering hierop was mogelijk het hoogwater van juli 2021.

4.5.2.2 Bergingscoëfficiënt laag 1 op 0 gezet

Een volgende belangrijke aanpassing is het aanpassen van de bergingscoëfficiënt van laag 1. Door het uitzetten van Metaswap wordt de freatische berging in het model geregeld door de *storage* parameter. Deze staat standaard op 0.3, waardoor de stijghoogte nog steeds traag reageert op stijgingen van het Maaspeil. Daarom is de storage in laag 1 in het donkere gebied in Figuur 4-21 op 0 gezet.



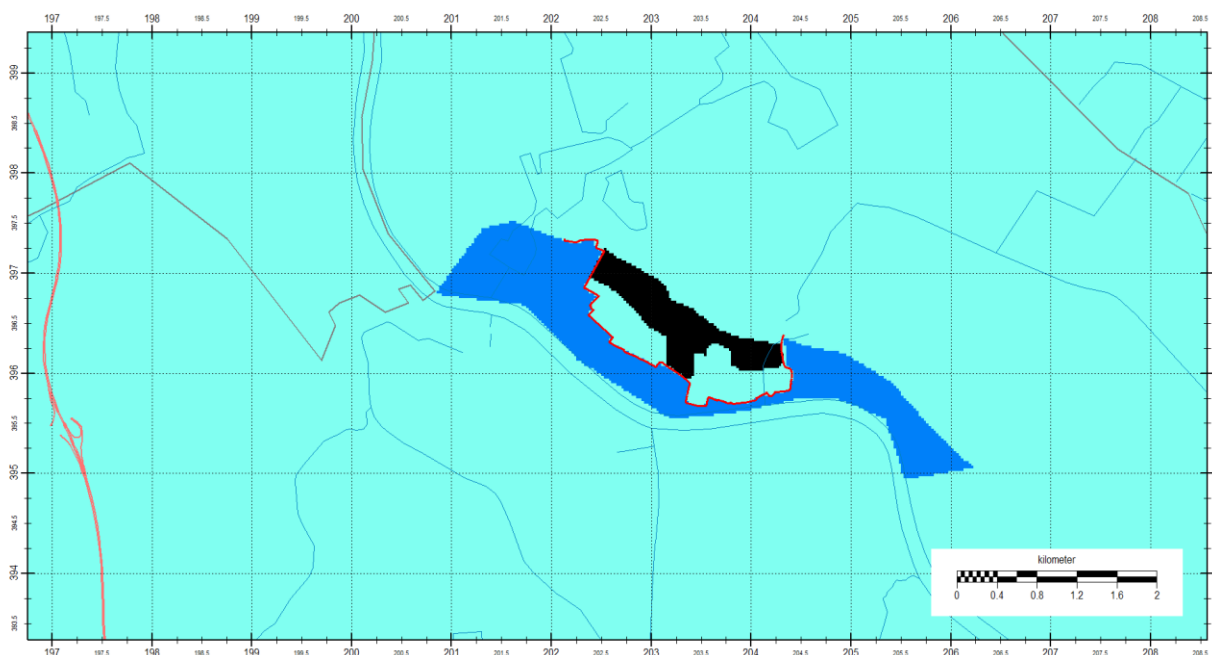
Figuur 4-21 In het donkere gebied is de storage in laag 1 op 0 gezet.

4.5.2.3 Infiltratiefactor Maas op 1 gezet

De volgende aanpassing om de reactie van de stijghoogte op het Maaspeil te verbeteren is aanpassing van de infiltratiefactor van de Maas. Deze is voor het relevante deel van Maas en uiterwaarden nabij het projectgebied op 1 ingesteld. Daardoor infiltreert de Maas even snel als dat deze draineert in hoogwatersituaties. Dit is gedaan om de reactie van het grondwater op een hoge Maasstand te versnellen.

4.5.2.4 Maaiveldafstroming niveau verhoogd in bepaalde gebieden

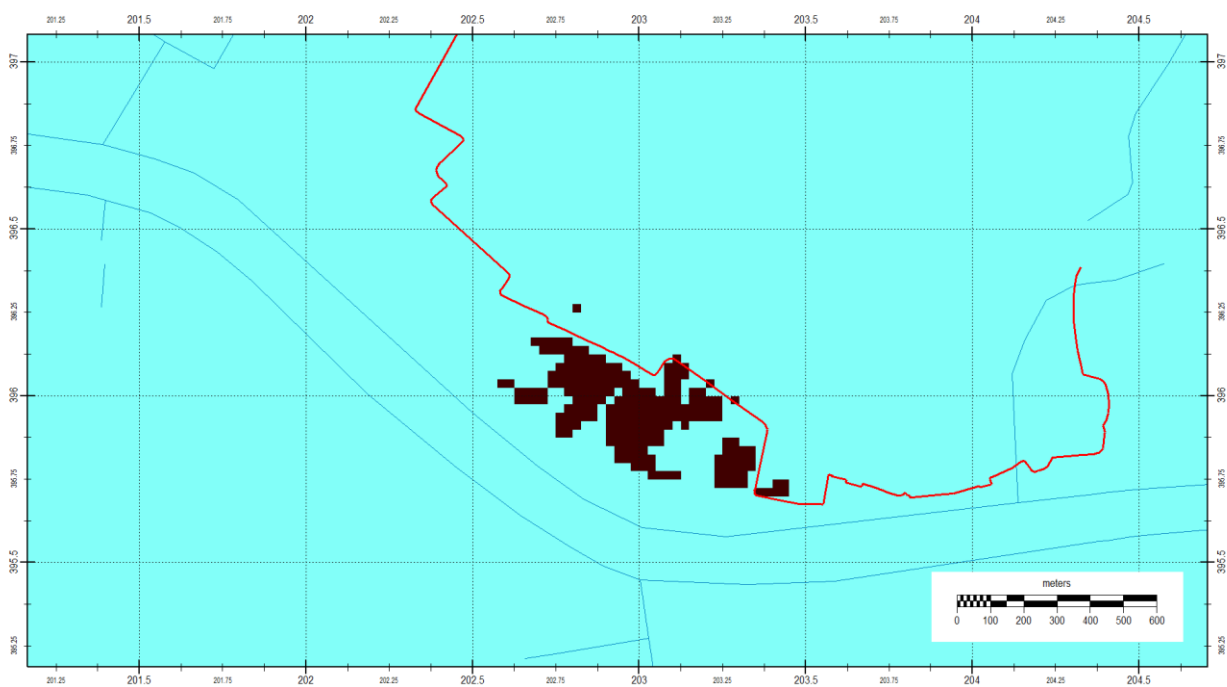
Stroming over maaiveld zorgt ervoor in het model voor dat water boven het maaiveldniveau wordt afgevoerd. In hoogwatersituaties staat echter water ver boven maaiveld in de buitendijkse en deels ook bij binnendijkse gebieden. In het model is dit aangepast door in de paarsblauwe gebieden dit niveau met 2 meter te verhogen. Daardoor wordt de Maaswaterstand hier goed meegenomen. Binnendijks is in het zwarte gebied de overland flow op 13.25 m+NAP gezet, tenzij het maaiveld hoger was. Dit gebied is ingeschat op basis van luchtfoto's, zie ook Figuur 2-3.



Figuur 4-22 Aanpassing OLF. In het paarse gebied is de OLF met 2 meter verhoogd, in het zwarte gebied met 20 cm.

4.5.2.5 Drainage buitendijks bij De Band verwijderd

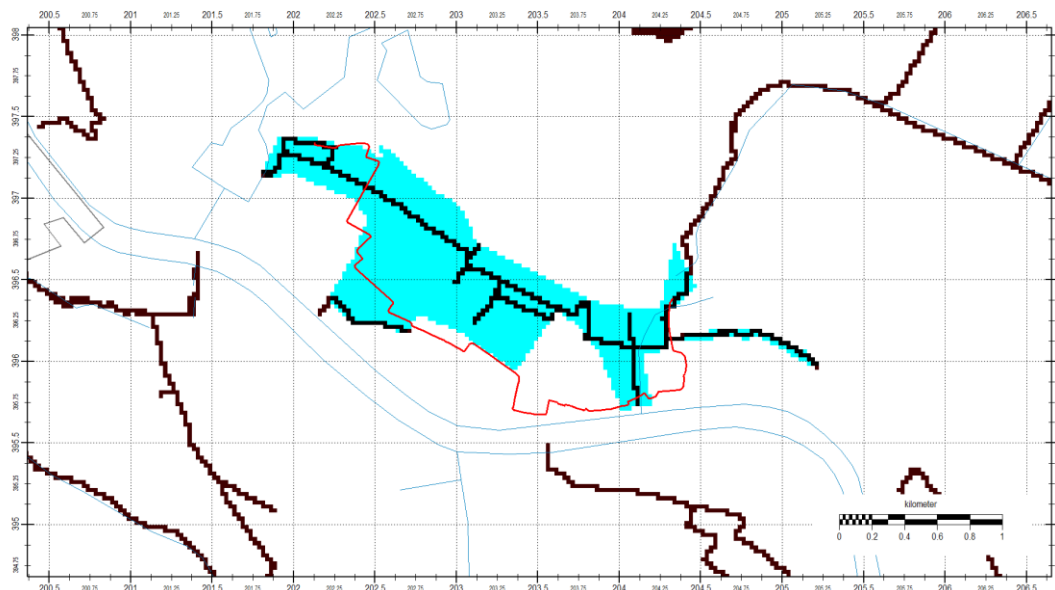
Bij De Band bevinden zich buitendijks een aantal plassen. Deze hebben in het basismodel een afwateringsniveau gekregen, maar tijdens hoogwater wateren deze plassen uiteraard niet af. Daarom is deze drainage verwijderd (uit de DRN gehaald) voor de plassen in Figuur 4-23.



Figuur 4-23 In het donkere gebied is de drainage van de plassen uitgezet.

4.5.2.6 Papenbeekse Broeklossing en Wellse Molenbeek (deels) uitgezet

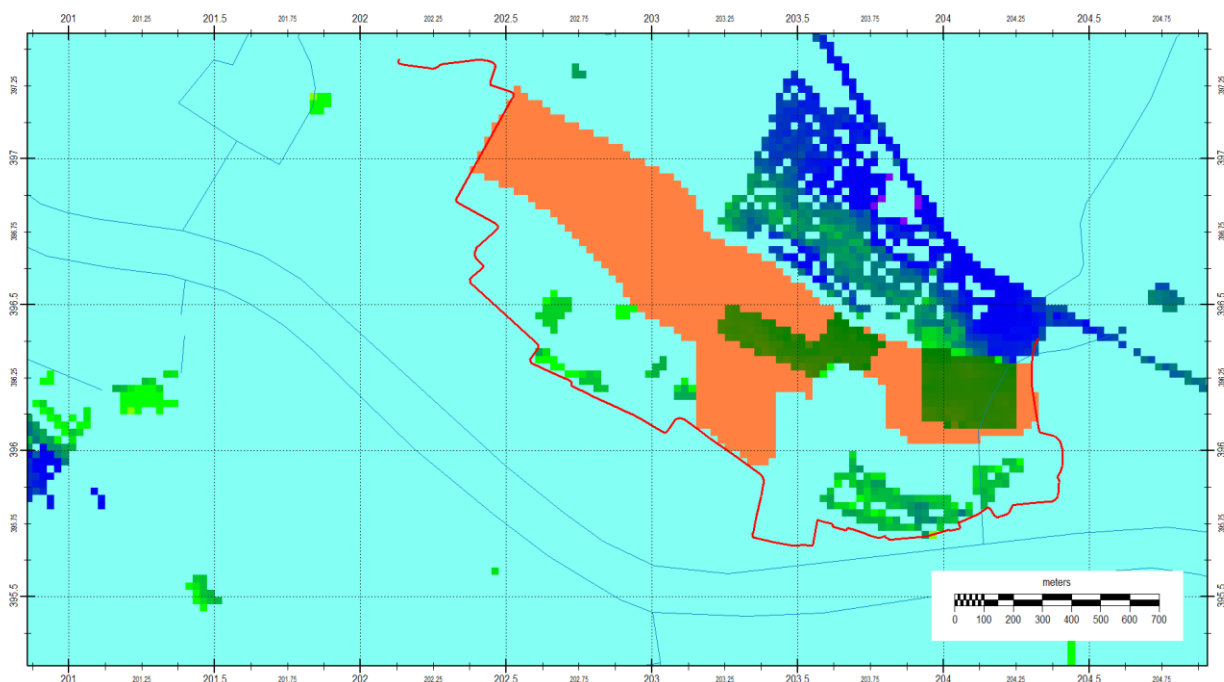
In hoogwatersituaties is het aannemelijk dat watergangen in het gebied hun water niet zonder meer kwijt kunnen (zie ook 2.1). De Maas, waar de Papenbeekse Broeklossing en Wellse Molenbeek normaal op afwateren, staat zo hoog dat hier niet op afgewaterd kan worden. Daarom zijn in het blauwe gebied in Figuur 4-24 de Papenbeekse Broeklossing en enkele aantakkingen (donkere lijnen) uitgezet. In deze situatie wordt op een niveau van 13.25 m+NAP afgepompt door noodpompen. Dit is gemodelleerd door het maaiveldafstromingsniveau in het hoogwatermodel hierop te corrigeren.



Figuur 4-24 In het blauwe gebied zijn de Papenbeekse Broeklossing en enkele aantakkingen (donkere lijnen) uitgezet. Ook is in het blauwe gebied de buisdrainage uitgezet

4.5.2.7 Buisdrainage uitgezet

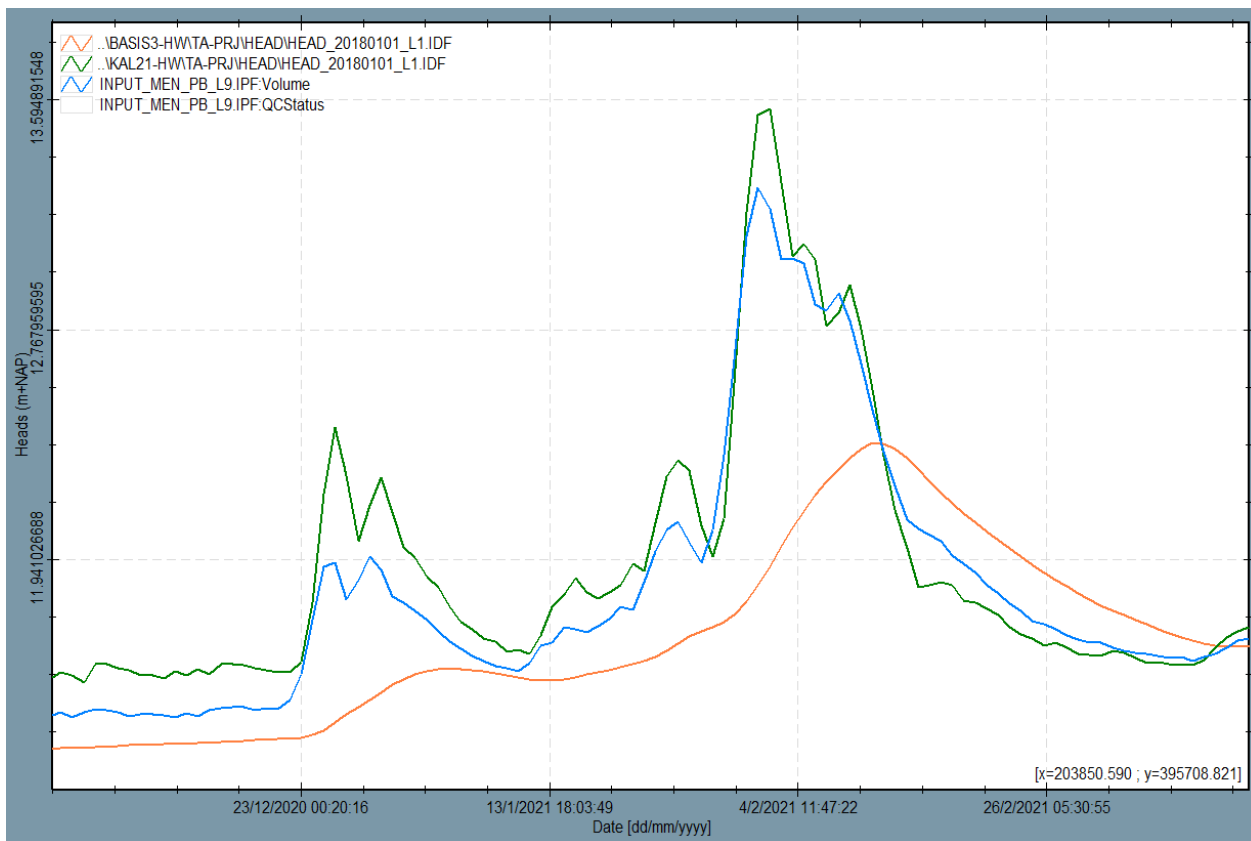
Net zoals de waterlopen kan ook de buisdrainage in hoogwatersituaties het water moeilijker kwijt. Daarom is, net zoals de waterlopen, in het oranje gebied in Figuur 4-25 de buisdrainage uitgezet. Ook is het niveau van de buisdrainage in Oud-Well, Elsteren en delen van Nieuw-Well verhoogd naar het bepaalde binnendijks drainageniveau, zie ook 3.9.



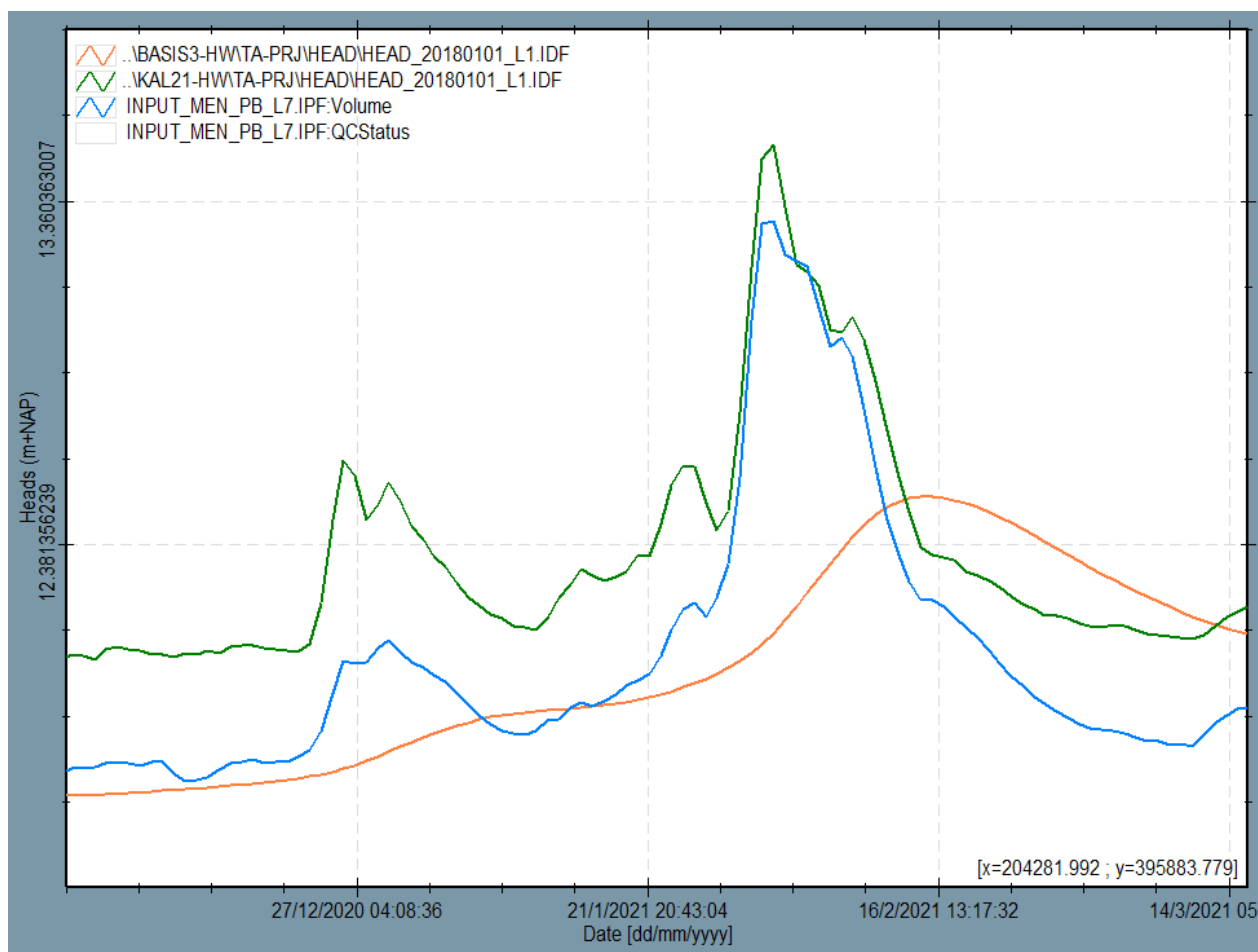
Figuur 4-25 In het oranje gebied is de buisdrainage, zichtbaar in groen en blauw, uitgezet.

4.5.3 Resultaat kalibratie

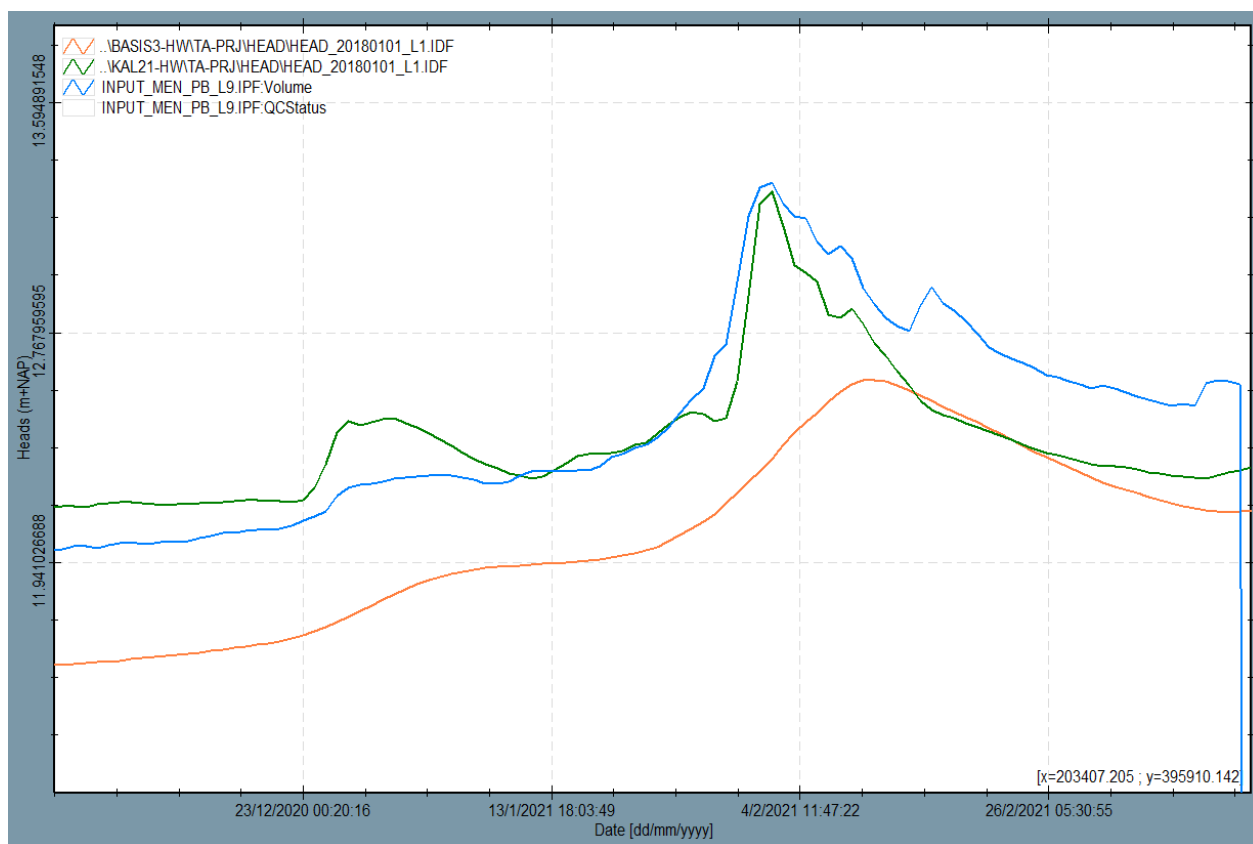
Het resultaat van de kalibratie is weergegeven in tot Figuur 4-26 tot Figuur 4-30. Het resultaat geeft weer dat het gekalibreerde grondwatermodel een grote verbetering betreft van het uitgangsmodel. Het verloop van de gemeten grondwaterstand wordt veel beter gereproduceerd door het model. De aanloop naar de hoogste grondwaterstanden en het moment van stijgen komt goed overeen met hetgeen gemeten is. In de eerste aanloop, voorafgaand aan het eerste lage piekje, is vaak een verschil in grondwaterstand te zien. Dit is het gevolg van de stationaire, relatief hoge, grondwateraanvulling en de hogere drainageniveaus die worden gehanteerd. Het piekniveau berekent met het model benadert het gemeten niveau redelijk tot goed voor de verschillende peilbuizen in het projectgebied. Enkel nabij Elsteren is de reactie van het grondwatermodel ten opzichte van metingen minder goed gebleken. In Figuur 4-31 is ook de reactie van een eerdere kalibratierun (19) weergegeven. Deze berekening is vergelijkbaar met de kalibratieberekening alleen ontbreekt de aanpassing beschreven in 4.5.2.5. Dit is goed terug te zien in de reactie van peilbuis BER-WEL-01. Deze peilbuis is gelegen net binnendijs tegen de Band aan. De reactie van deze peilbuis was in berekening KAL-19 nog ondermaats. De aanpassing heeft gezorgd voor een sterke verbetering ter plaatse en zodoende voor meer vertrouwen dat op deze locatie een juiste piek grondwaterstand berekend wordt.



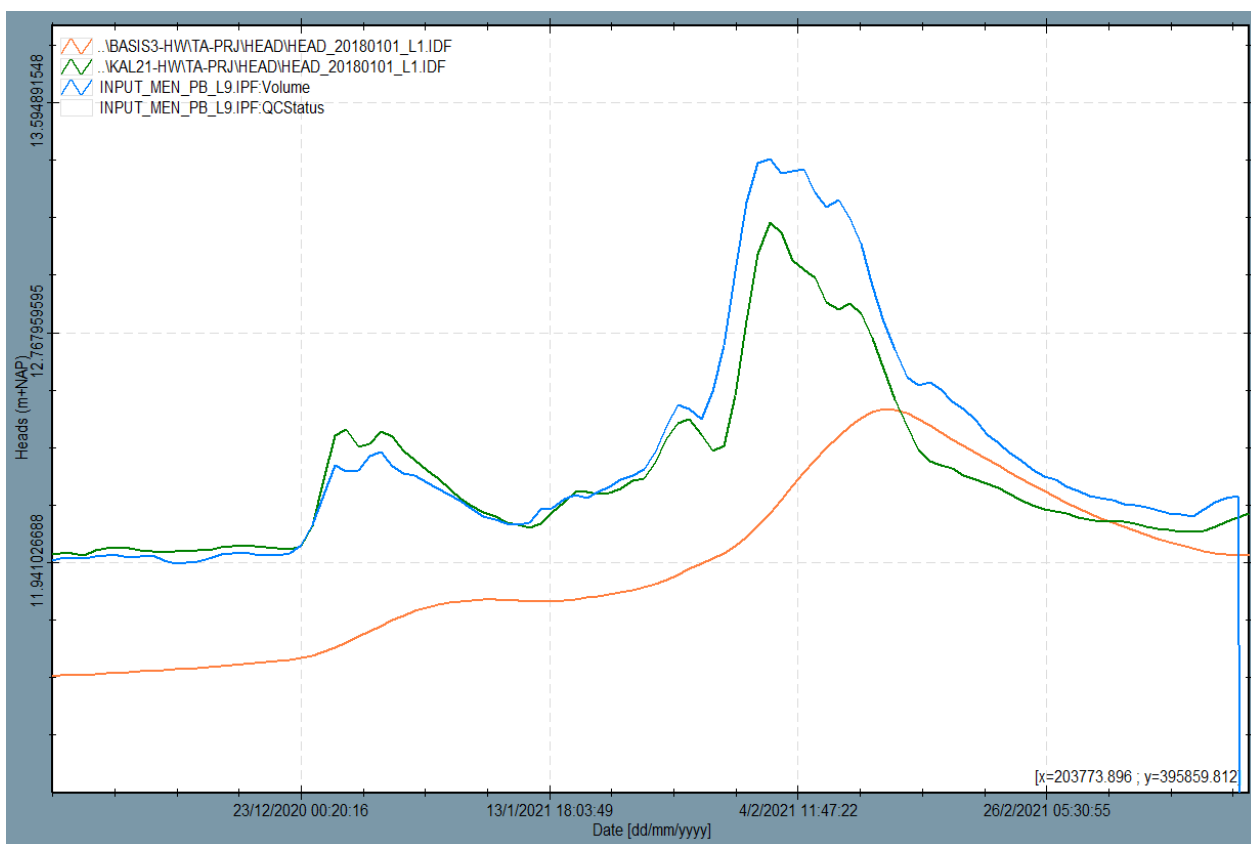
Figuur 4-26 Kalibratieresultaat (KAL-21) voor peilbuis B60-01



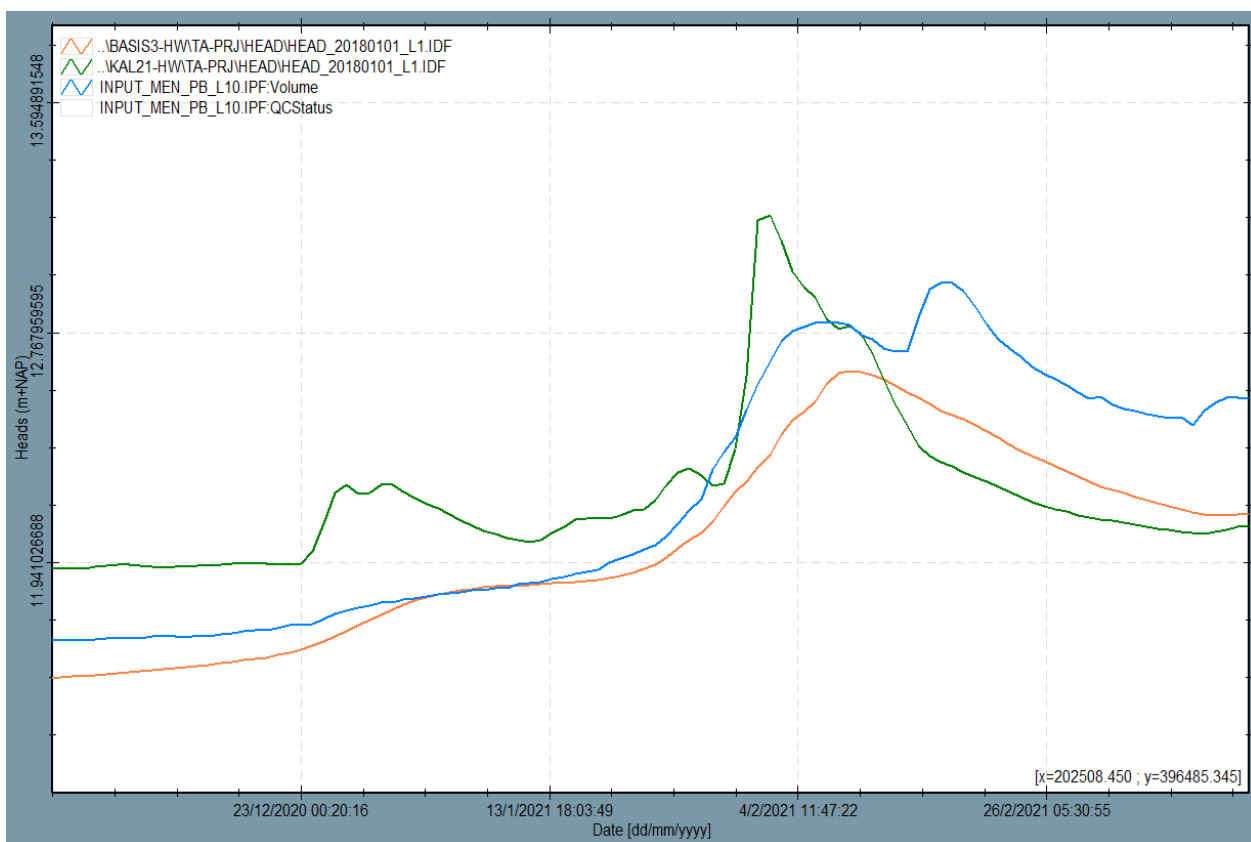
Figuur 4-27 Kalibratieresultaat (KAL-21) voor peilbuis B60-03



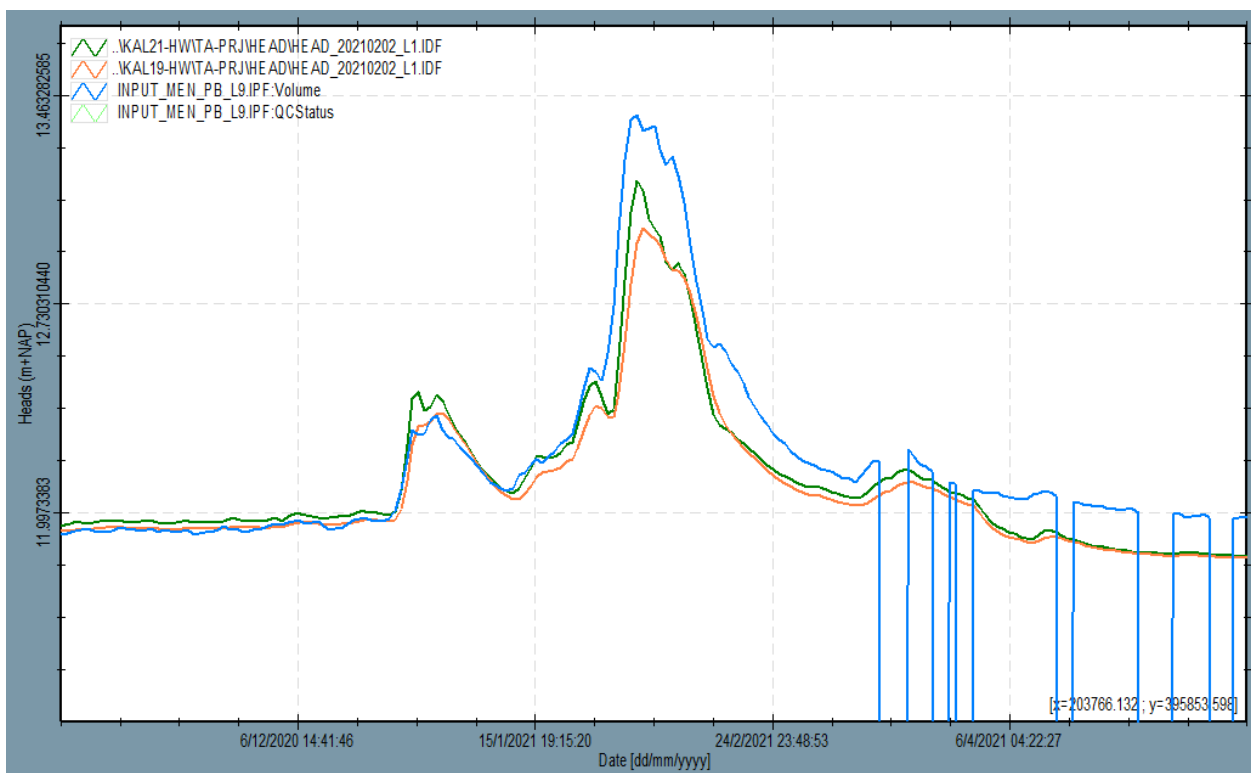
Figuur 4-28 Kalibratieresultaat (KAL-21) voor peilbuis BER-WEL-02



Figuur 4-29 Kalibratieresultaat (KAL-21) voor peilbuis BER-WEL-01



Figuur 4-30 Kalibratieresultaat (KAL-21) voor peilbuis B60-06



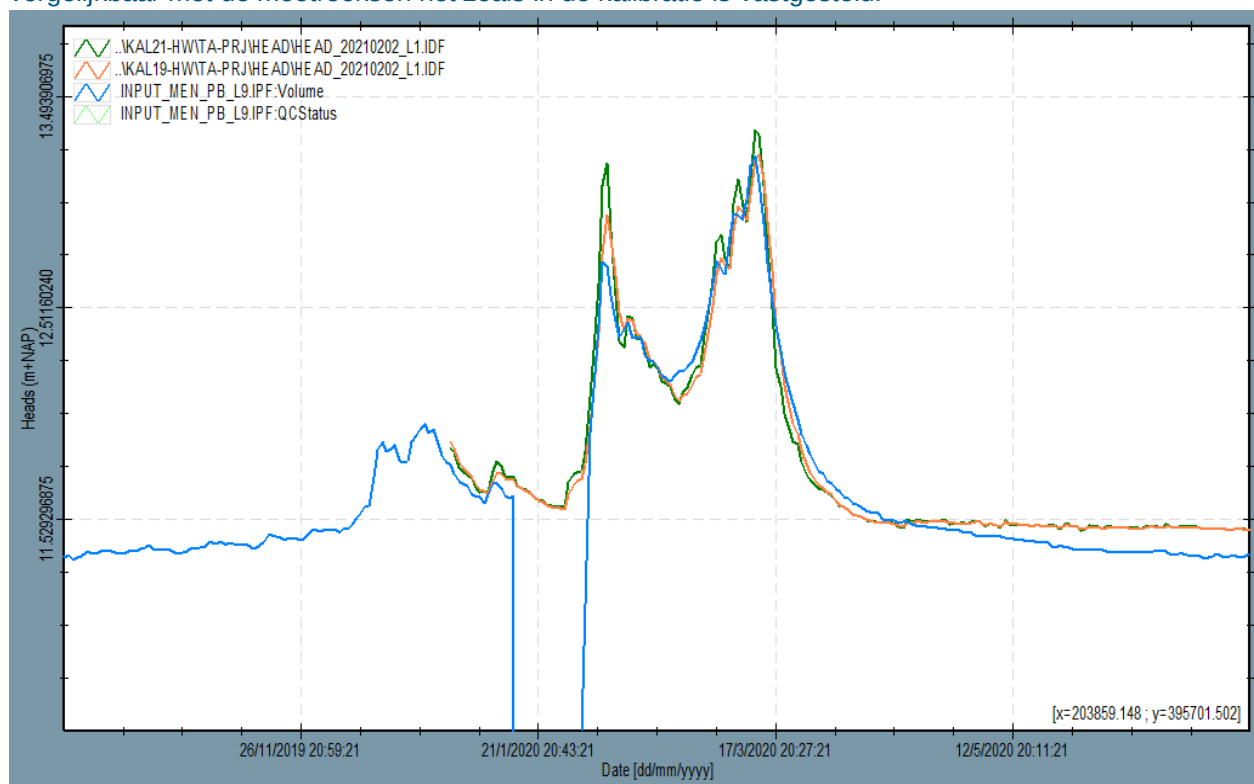
Figuur 4-31 Kalibratieresultaten (KAL-19 en KAL-21) voor peilbuis BER-WEL-01

4.5.4 Resultaat validatie

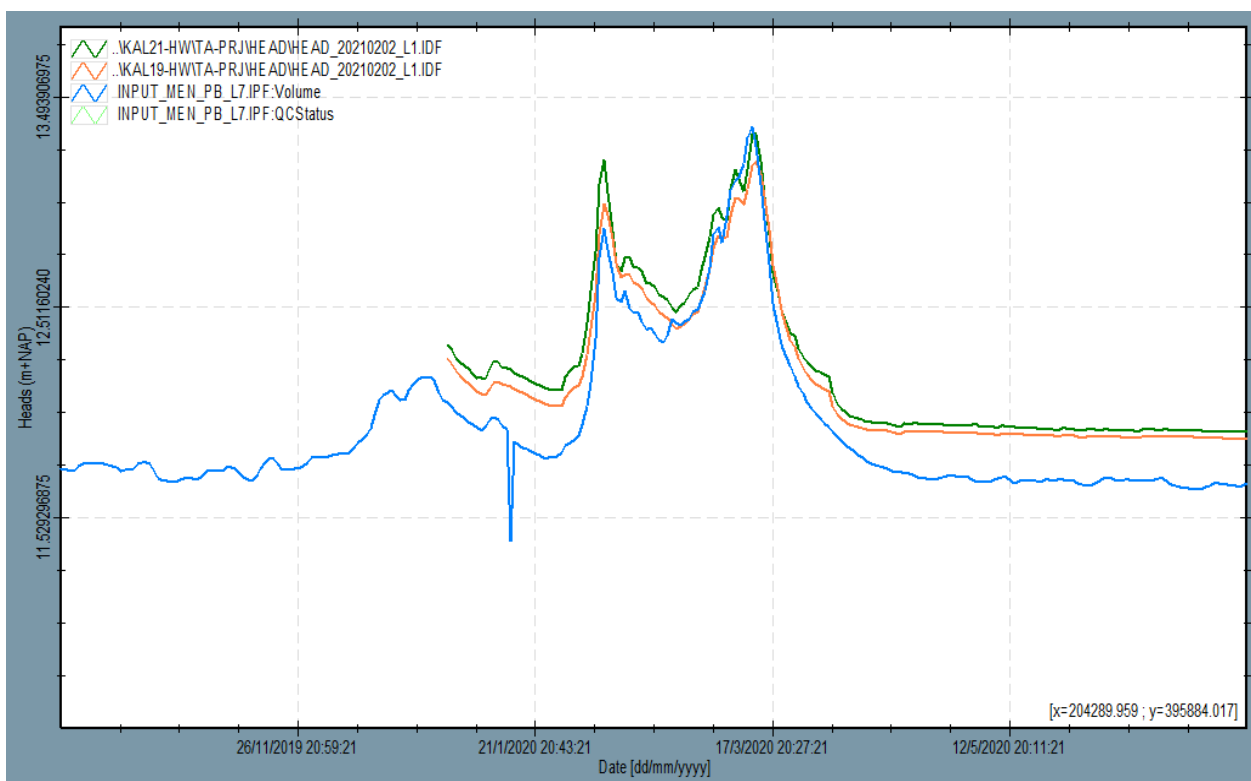
In de validatie zijn twee andere hoogwatergebeurtenissen waarvoor het resultaat van het gekalibreerde model is weergegeven in deze paragraaf.

Voorjaar 2020

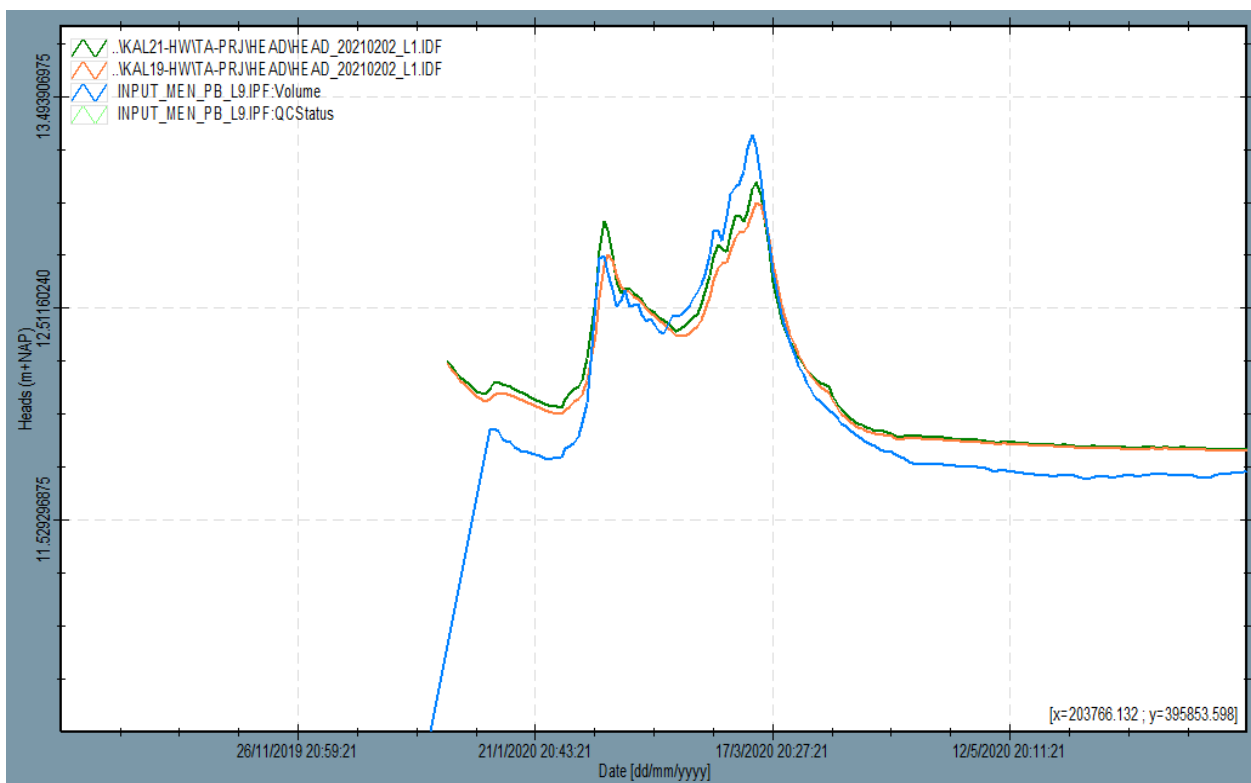
In Figuur 4-32 tot Figuur 4-35 is het validatieresultaat voor de hoogwatergebeurtenis van het voorjaar 2020 weergegeven voor peilbuizen met meetgegevens. Zoals te zien zijn de modelresultaten goed vergelijkbaar met de meetreeksen net zoals in de kalibratie is vastgesteld.



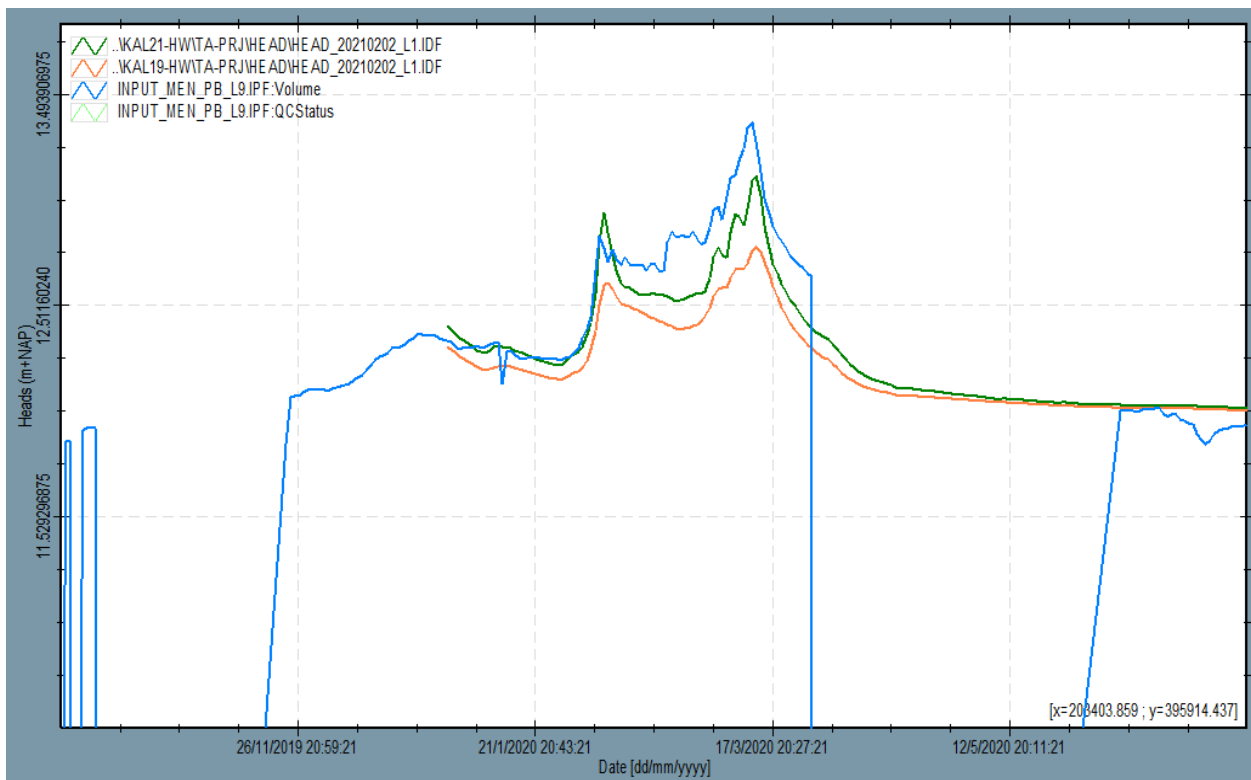
Figuur 4-32 Validatieresultaat voor peilbuis B60-01



Figuur 4-33 Validatieresultaat voor peilbuis B60-03



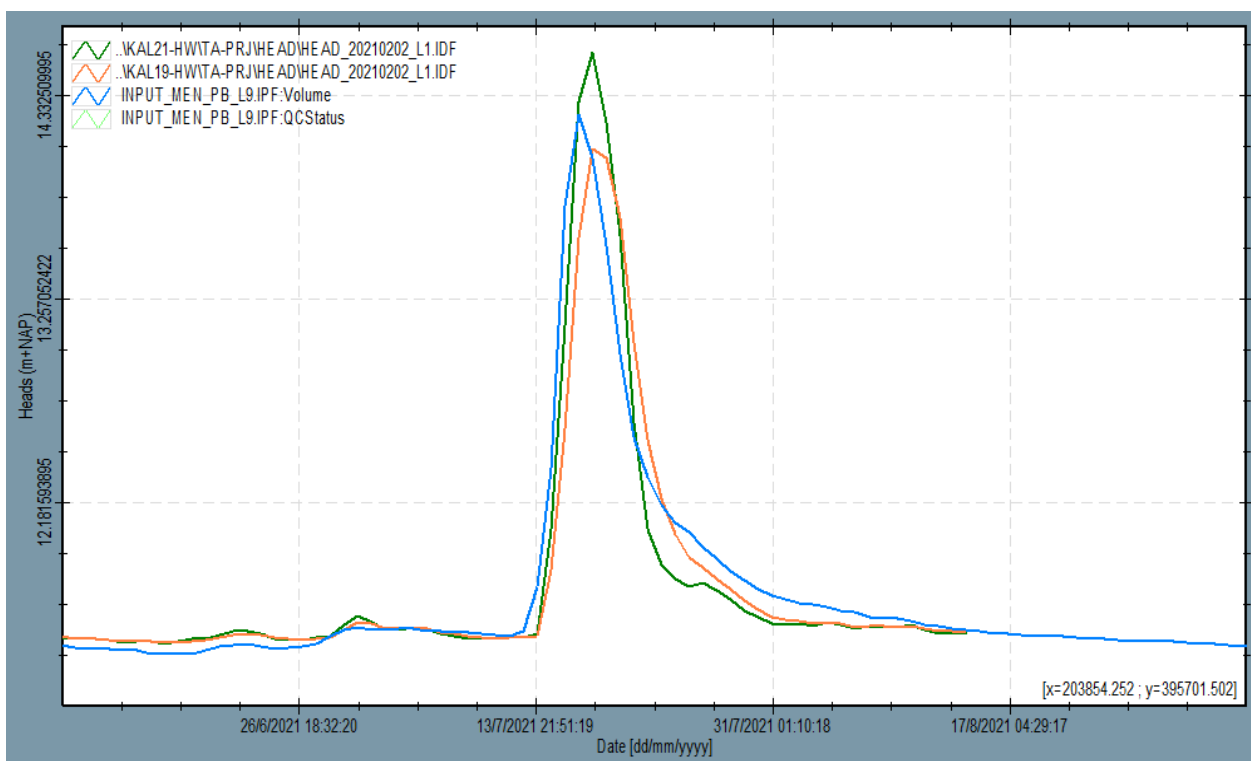
Figuur 4-34 Validatieresultaat voor peilbuis BER-WEL-02



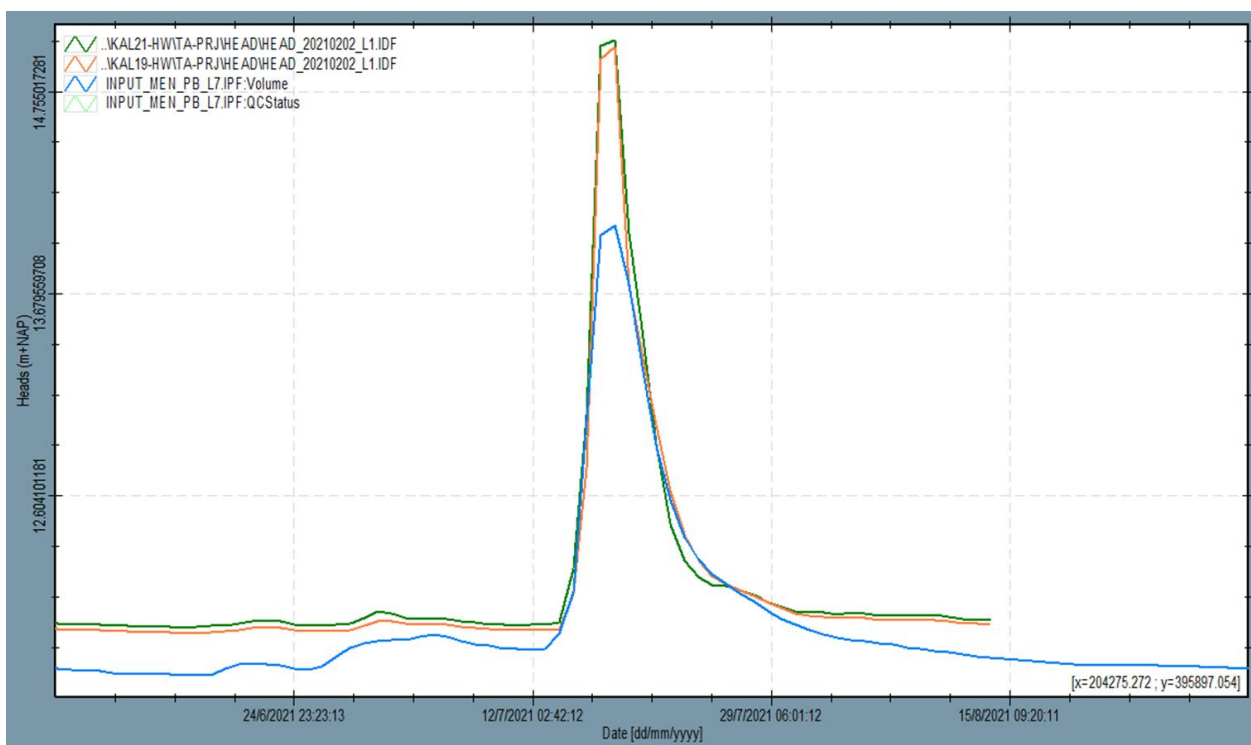
Figuur 4-35 Validatieresultaat voor peilbuis BER-WEL-01

Juli 2021

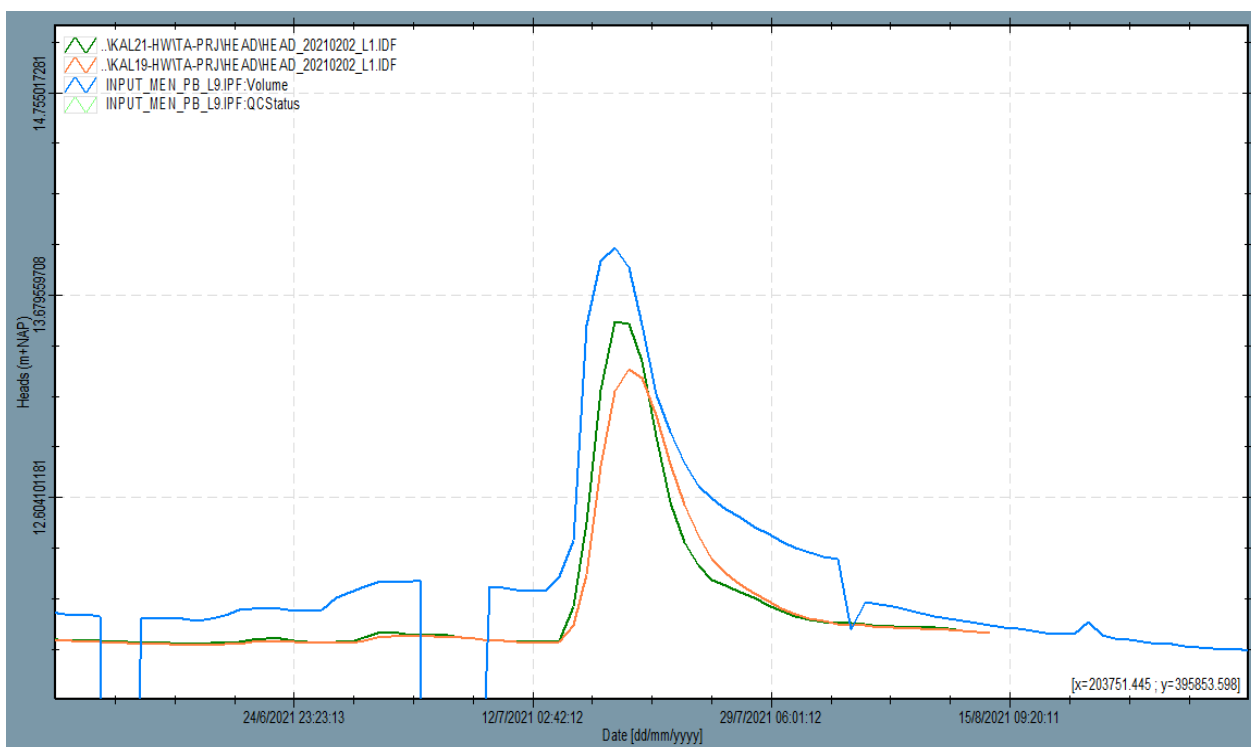
In Figuur 4-36 tot Figuur 4-39 is het validatieresultaat voor de hoogwatergebeurtenis van juli 2021 weergegeven voor peilbuizen met meetgegevens. Voor drie van de vier peilbuizen is het resultaat van het grondwatermodel qua verloop en piekstand redelijk tot goed. Afwijkingen van het piekniveau zijn in de orde van 20 tot 40 cm, maar het verloop wordt veelal goed berekend. Voor peilbuis B60-03 is een forse overschatting berekend van de werkelijk gemeten maximale grondwaterstand. De precieze achtergrond van deze afwijking is niet herleid. Mogelijk heeft dit te maken met dit specifieke zomerhoogwater. In het model is het binnendijkse drainageniveau relatief hoog ingesteld, als zijnde dat binnendijkse forse plasvorming ontstaat in bijvoorbeeld de groene rivier. Tijdens dit zomerhoogwater heeft zich dat niet in die mate voorgedaan als gevolg van de korte duur van het hoogwater en doordat dit in de zomer plaats heeft gevonden waardoor afvoer van de Wellse Molenbeek waarschijnlijk kleiner is geweest dan in de winter. Dit kan tot gevolg hebben gehad dat de stijging van de grondwaterspiegel enigszins geremd is doordat binnendijkse nog meer ruimte in het watersysteem (zowel grond- als oppervlaktewater) aanwezig was.



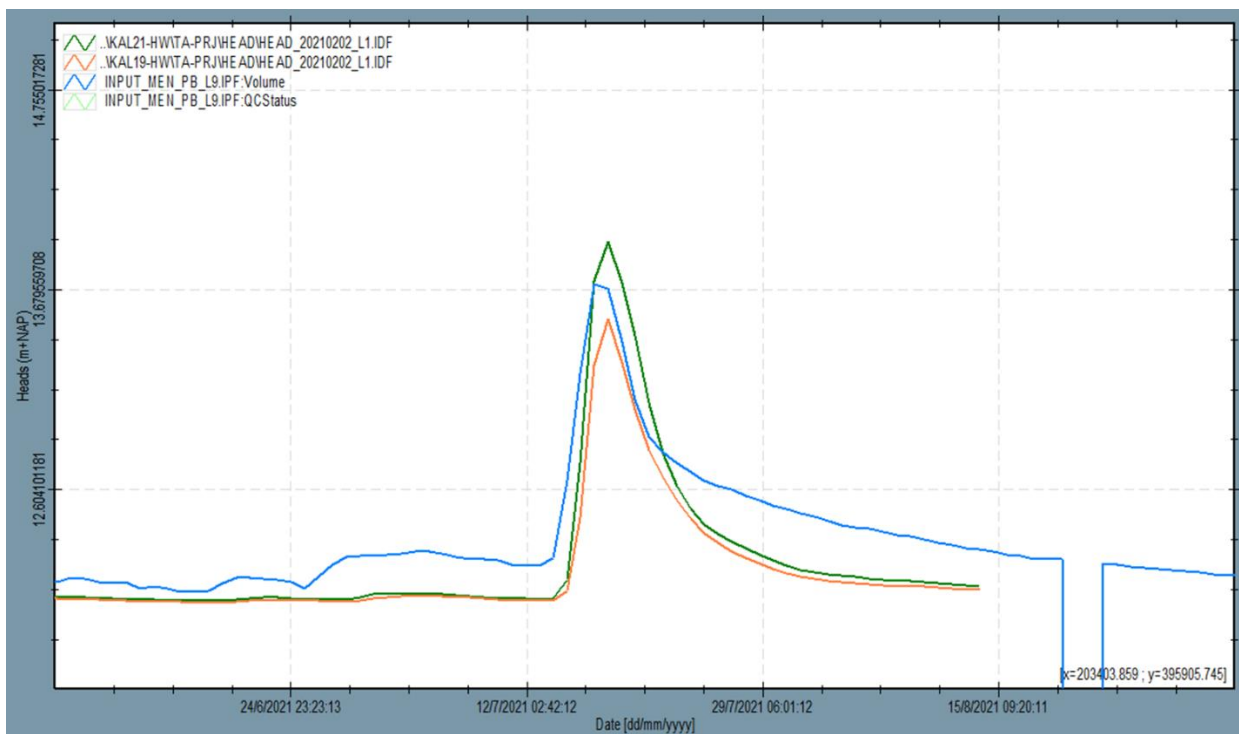
Figuur 4-36 Validatieresultaat voor peilbuis B60-01



Figuur 4-37 Validatieresultaat voor peilbuis B60-03



Figuur 4-38 Validatieresultaat voor BER-WEL-02



Figuur 4-39 Validatieresultaat voor BER-WEL-01

4.5.5 Resumé

Voor het project is een grondwatermodel opgezet, verfijnd en beperkt gekalibreerd welke voor gemiddelde situaties in staat is gebleken om systeemgedrag, GxG en gemiddelde grondwaterstanden redelijk tot goed te reproduceren.

Het grondwatermodel is succesvol aangepast om als hulpmiddel te dienen in het beschrijven van grondwaterstanden ten tijde van hoogwatergebeurtenissen. Belangrijkste aandachtspunten in het geschikt maken van het grondwatermodel voor hoogwatergebeurtenissen zijn geweest:

- Freatische Bergingscoëfficiënt
- Drainageniveaus binnen- en buitendijks gedurende hoogwater.

Het model beschrijft het verloop en de piekniveaus gedurende hoogwatergebeurtenissen op een betrouwbare wijze zoals blijkt uit de resultaten voor de kalibratie en validatie.

5 Referentiesituatie

5.1 Modelaanpassingen

Het gekalibreerde model is aangepast door de ingrepen van het Maaspark Well te implementeren. Dit houdt in:

- Maaiveldhoogte aanpassen naar gelang de vergraving van Maaspark Well
- Workflow voor laagopbouw doorlopen met nieuwe maaiveldhoogtes waaruit nieuwe laagopbouw inclusief doorlatendheden en weerstanden ter plaatse van het Maaspark volgen.
- Maaspeil van toepassing verklaren ter plaatse van het Maaspark daar waar het maaiveld lager dan 11,20 m+NAP is. Dit is gedaan in zowel de ISG als RIV.
- Een hoogwatergolf passend bij de WBN2075 situatie is gemodelleerd, met een hoogwaterpiekstand van 15.99 m+NAP.
- In het binnendijks gebied zijn de drainageniveaus aangepast zodanig dat in het model niet direct al het water op maaiveld wordt afgevoerd. Voor Elsteren en Oud well zijn respectievelijk niveau's van 14 en 13.75 m+NAP als minimum drainageniveau aangehouden. Dat wil zeggen dat onder dit niveau inundatie van maaiveld in het grondwatermodel mogelijk is en niet direct wordt afgevoerd⁹.

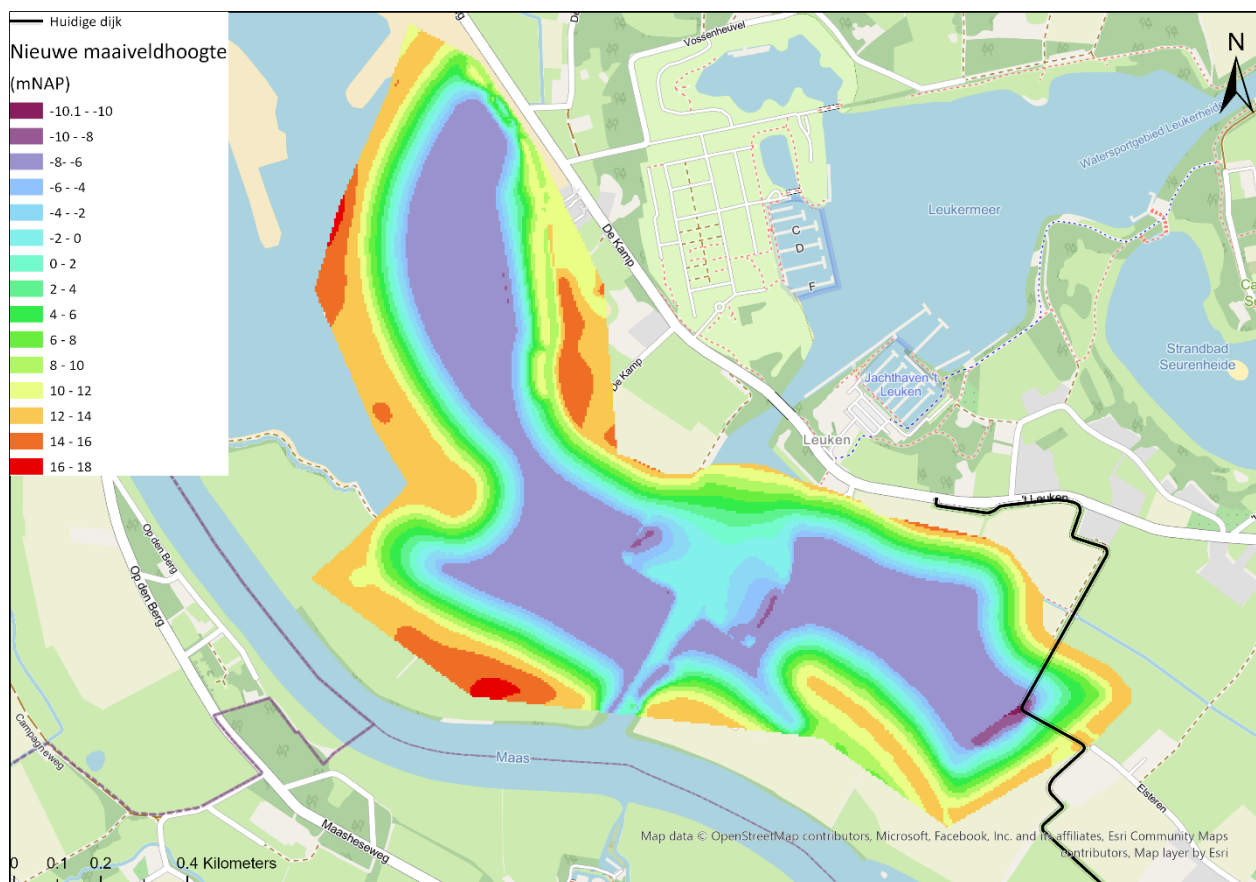
Dit model is vervolgens doorgerekend voor de GxG periode en de hoogwaterevents.

5.2 Resultaten

5.2.1 GxG

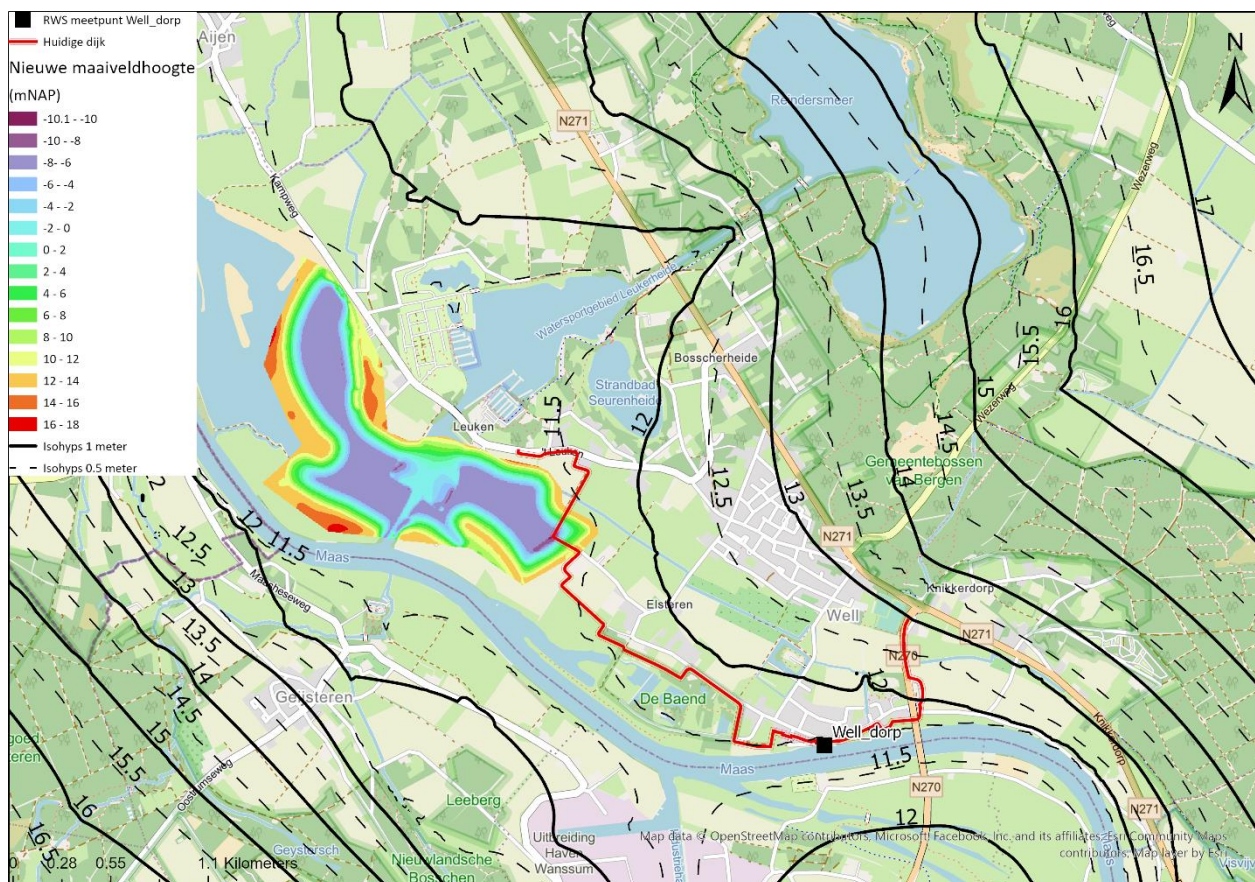
De autonome ontwikkeling die relevant is voor het projectgebied betreft het graven van Maaspark Well. Dit wordt gedaan voor zand- en grindwinning, net zoals bij de bovengenoemde plassen en meren het geval was. De vergraving concentreert zich rond de Voorhaven, zie Figuur 5-1. Het oranje gebied in Figuur 5-1 is grofweg het huidige maaiveld. Een groot deel van het maaiveld in het gebied wordt meer dan 20 meter afgegraven. Dit heeft invloed op de grondwaterstanden in het gebied. De nieuwgevormde plas gaat meebewegen met het Maaspeil, waardoor grondwaterstanden in de directe omgeving van de vergraving lager worden door de drainerende werking.

⁹ Dit is feitelijk niet een autonome ontwikkeling en had al in de huidige situatie model doorgevoerd dienen te worden maar werd pas later als problematisch ondervonden en aangepast.



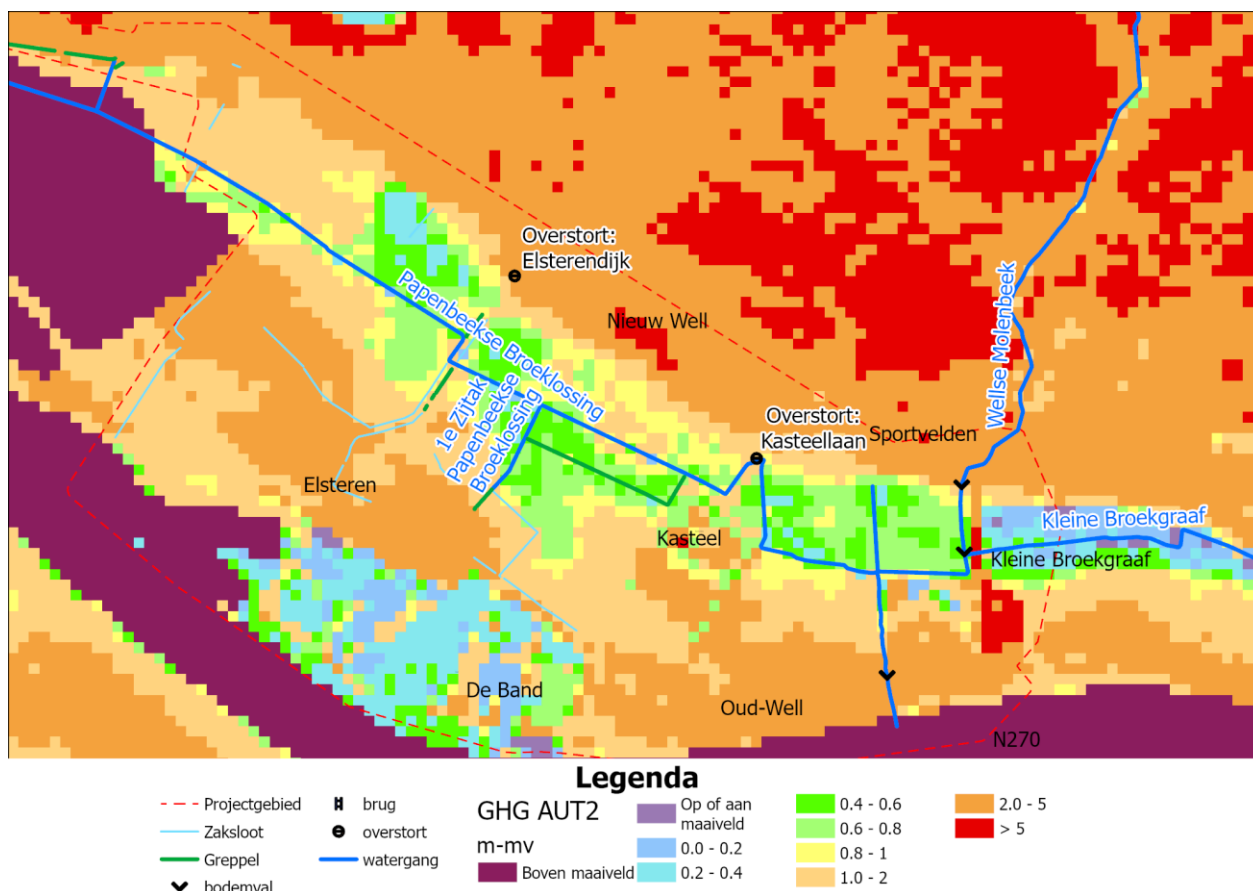
Figuur 5-1 Locatie van vergraving en nieuwe bodem- en maaiveldhoogte na vergraving door Maaspark Well

In Figuur 5-2 is een isohypsenkaart weergegeven voor de referentiesituatie, inclusief Maaspark Well, waaruit de grondwaterstroming is af te leiden. De isohypsen geven de lijnen weer van gelijke grondwaterstand. De isohypsen staan grotendeels haaks op de loop van de Maas wat een aanwijzing is voor de regionale drainerende werking van de Maas op het grondwater. De drainerende werking van de Voorhaven is goed te zien door het 'indeuken' van de isohypsen van 12 meter NAP. Ter plaatse van het projectgebied is de gemiddelde grondwaterstand tussen 11,5 en 12,5 m NAP.



Figuur 5-2 Isohypsen gemiddelde grondwaterstand in de referentiesituatie

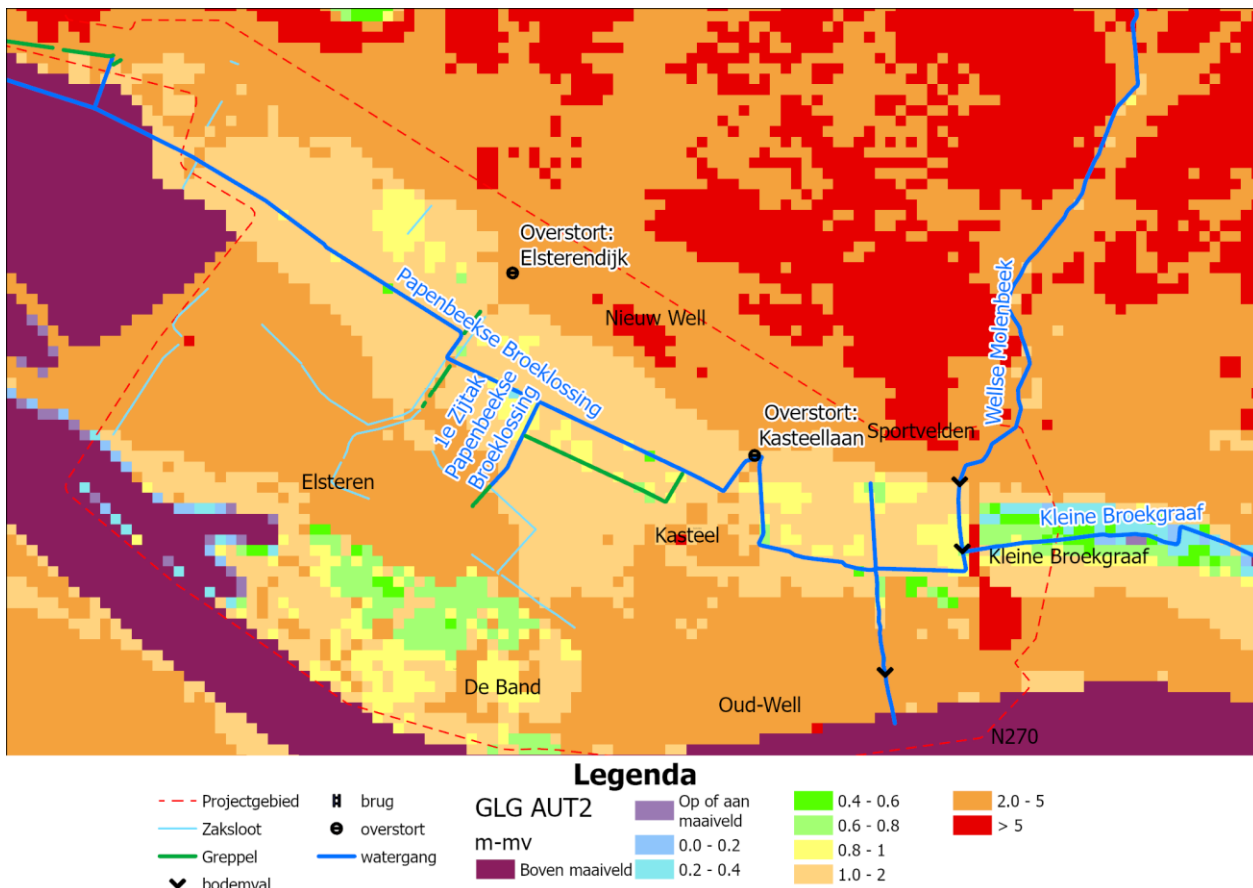
In Figuur 5-3 is de berekende GHG ten opzichte van maaiveld weergegeven voor de situatie met autonome ontwikkeling.



Figuur 5-3 GHG ten opzichte van maaiveld in referentiesituatie

De GHG in de lagere delen van het projectgebied wordt berekend in de orde van 40 tot 80 cm onder maaiveld, te herkennen aan de groene kleuren. Ten westen van de overstort Elsterendijk komen GHG standen van minder dan 40 cm onder maaiveld voor ter plaatse van een lokale laagte. Ter plaatse van de kernen Nieuw en Oud Well en Elsteren is de GHG dieper berekend dan 100 cm onder maaiveld. Ten oosten van het projectgebied rondom de Kleine Broekgraaf is de GHG zeer ondiep berekend variërend van plas-drassituatie tot grofweg 40 cm onder maaiveld. Wat daarnaast opvalt zijn de natte condities ter plaatse van de Band.

In Figuur 5-4 is de berekende GLG ten opzichte van maaiveld weergegeven voor de situatie met autonome ontwikkeling.

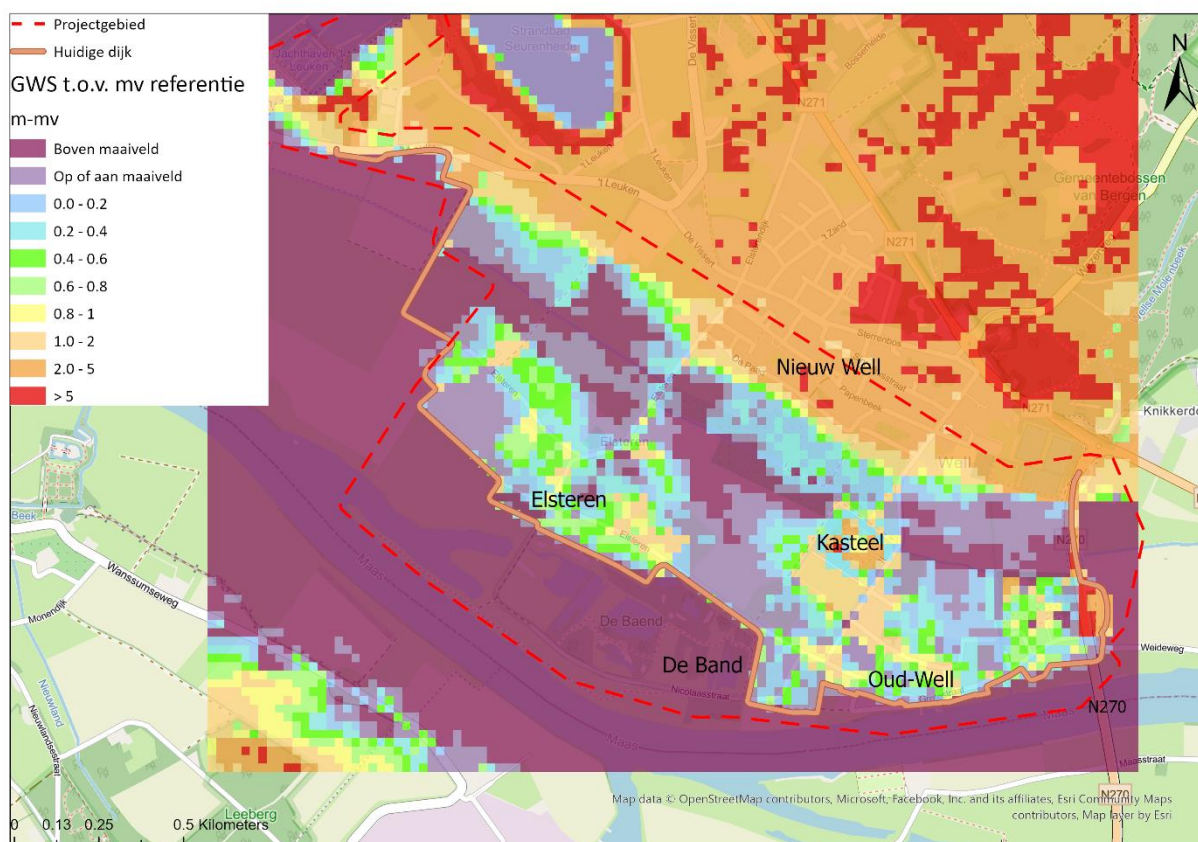


Figuur 5-4 GLG ten opzichte van maaiveld in referentiesituatie

Het contrast met de GHG is duidelijk zichtbaar door de drogere condities rondom Wellse Molenbeek en Papenbeekse Broeklossing, wat eigen is aan de GLG. Onder invloed van het goed doorlatende materiaal in de ondergrond, de relatief lage Maasstand en de negatieve grondwateraanvulling (doordat verdamping overheerst) zakt het grondwater in de zomer uit ten opzichte van de winter. De GLG wordt tussen 100 en 200 cm onder maaiveld berekend voor het overgrote deel van het gebied. Enkel De Band en de Kleine Broekgraaf komen nog naar voren als nattere gebieden. Lokaal zijn enkele nattere laagtes te herkennen nabij de sportvelden en direct nabij de Papenbeekse Broeklossing. De lokale drainagemiddelen zorgen echter voor afvoer van het grondwater waardoor het hier ter plaatse niet tot nattere condities leidt.

5.2.2 Hoogwater

Met het grondwatermodel zijn berekeningen gedaan om de grondwaterstanden tijdens een WBN2075 situatie te berekenen. Op de Maas is gerekend met een piekwaterstand van 15.99 meter. De grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld zijn weergegeven in Figuur 5-5.



Figuur 5-5 Maximale grondwaterstand t.o.v. mv voor referentie WBN2075

Tussen Nieuw-Well, Elsteren en Oud-Well ligt een gebied dat erg nat wordt. Dit is het gevolg van de hoge waterstand en het overstromen van lokale lage delen in deze situatie doordat de Wellse Molenbeek en Papenbeekse Broeklossing niet meer vrij kunnen afwateren. Deze waterlopen worden in deze situatie wel afgepompt vanaf een niveau van grofweg 13.25 m+NAP maar achterliggend gebied loopt dus wel deels onder als gevolg van toestroming en uittredend grondwater. Grote delen hebben een grondwaterstand boven of aan maaiveld, of net onder maaiveld. In Elsteren en Oud-Well zijn ook delen waar het grondwater aan of vlak onder maaiveld staat. Ter hoogte van Nieuw-Well zijn maximale grondwaterstanden relatief diep onder maaiveld als gevolg van de hogere maaiveldligging alsmede de grotere afstand tot de Maas ten opzichte van Elsteren en Oud-Well.

Pand

■ Panden

GWS t.o.v. mv referentie

m-mv

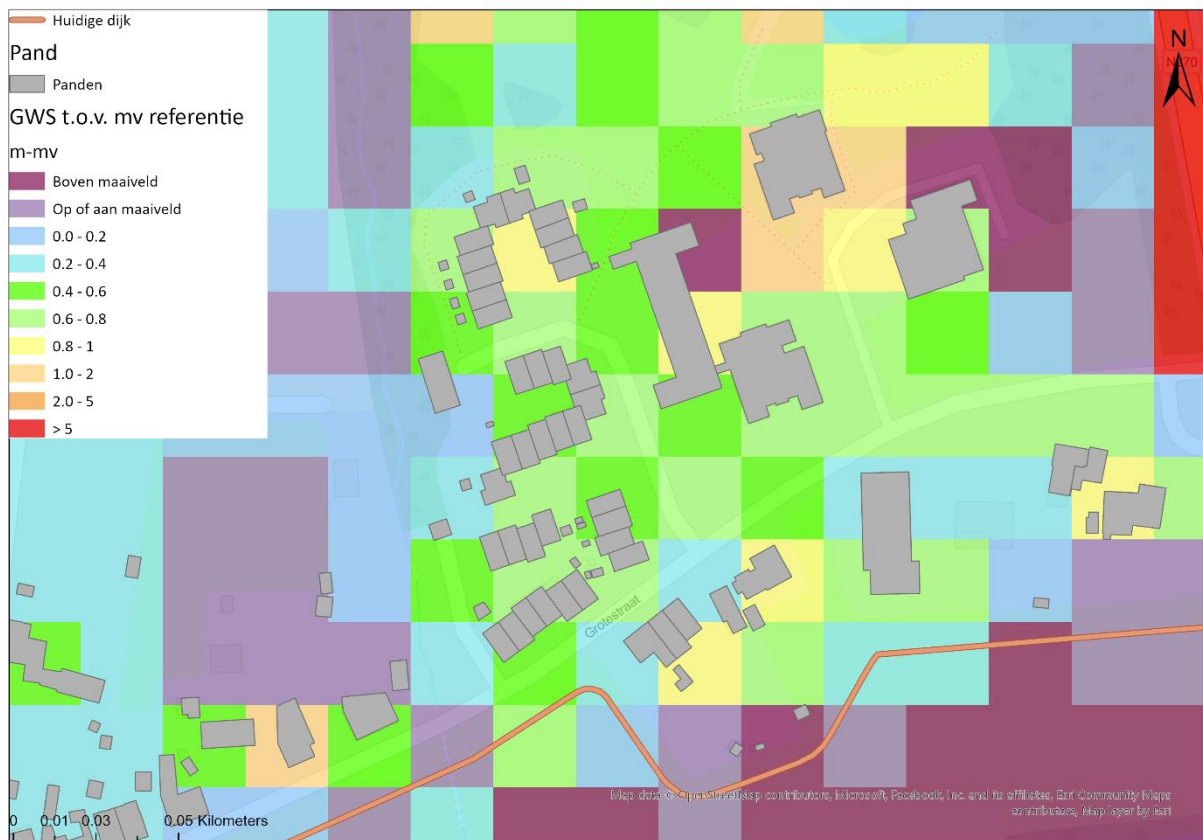
- Boven maaiveld
- Op of aan maaiveld
- 0.0 - 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.6
- 0.6 - 0.8
- 0.8 - 1
- 1.0 - 2
- 2.0 - 5
- > 5

0 0.04 0.09 0.17 Kilometers

Map data © openstreetmap contributors, Microsoft, Proximus, Inc. and affiliates, Esri, community maps contributors, Mapbox by Esri

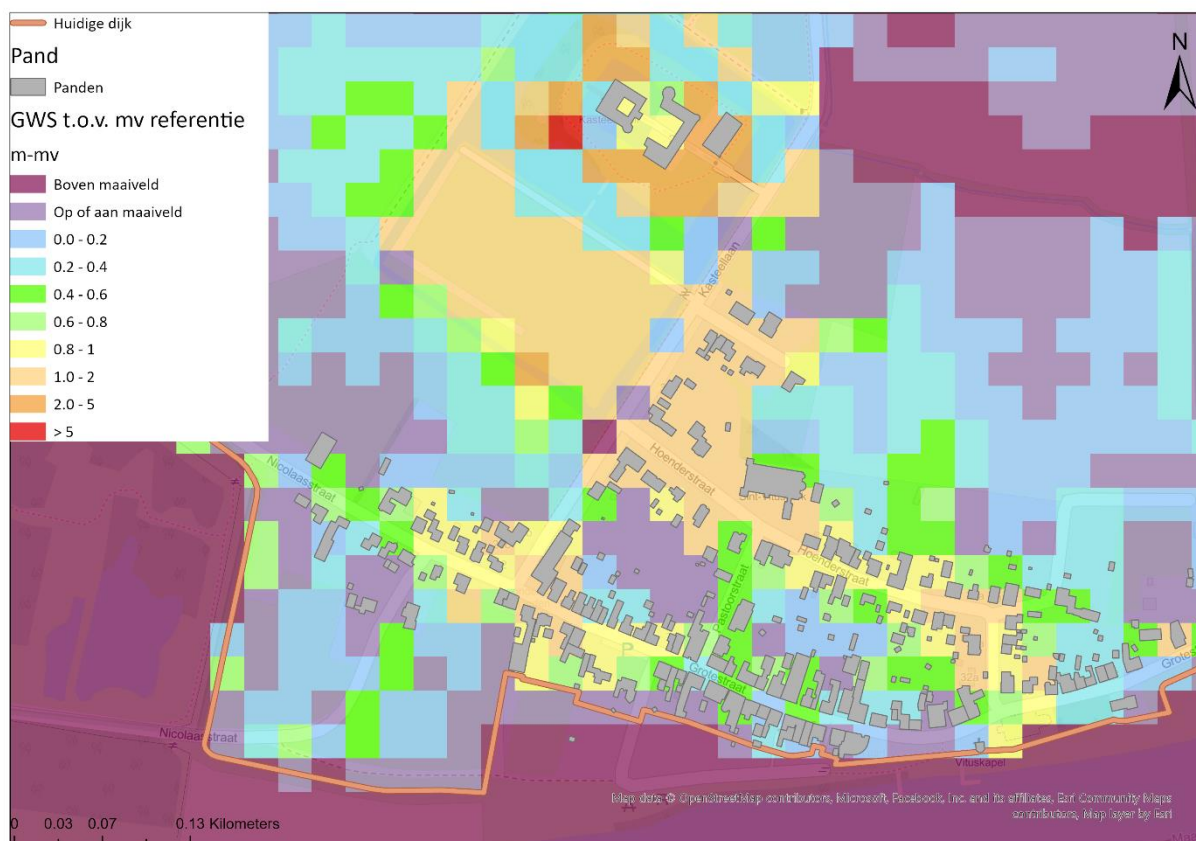
Figuur 5-8 en Figuur 5-7 geven dit voor Oud-Well weer. In oostelijk Oud-Well (Figuur 5-8) is de maximale grondwaterstand veelal in de orde van 40 tot 60 centimeter onder maaiveld berekend¹⁰. Lokaal is het nog natter berekend zoals bijvoorbeeld bij het Eldershof (noordoosthoek in Figuur 5-7). Hier wordt water op maaiveld berekend. Dit is een bekende locatie waar bij hoogwater gepompt wordt om de parkeergarage droog te houden.

83



Figuur 5-7 Maximale grondwaterstand t.o.v. mv in oostelijk Oud-Well voor referentie WBN2075

In westelijk Oud-Well (Figuur 5-8) zijn een aantal panden waar de maximale grondwaterstand binnen 1 m-mv is berekend, met name de panden grenzend nabij de Maas. Rondom de Hoenderstraat is voor de meeste panden een maximale grondwaterstand dieper dan 80 cm onder maaiveld berekend. Voor enkele panden is dit ondieper berekend. Rondom Grotestraat en Nicolaasstraat is dit veelal ondieper doordat met name de Maas hier meer nabij is.



Figuur 5-8 Grondwaterstand t.o.v. mv in westelijk Oud-Well voor WBN2075

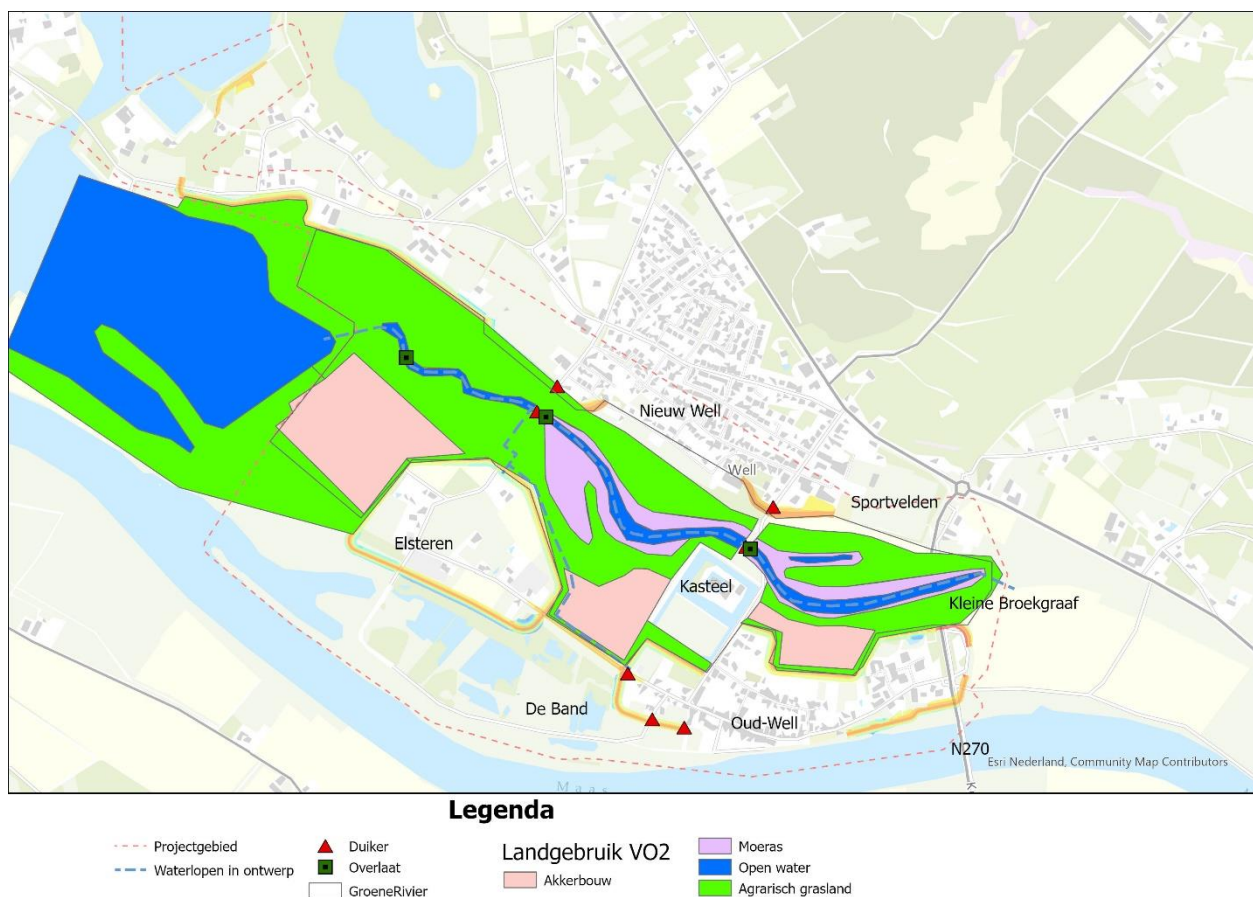
6 Ontwerp

6.1 Modelaanpassingen

Het VO1 bestaat uit een groot aantal ingrepen. In deze paragraaf is per onderdeel weergegeven hoe is omgegaan met het verwerken van de ingreep.

6.1.1 Oppervlaktewatersysteem Groene Rivier

Het huidige oppervlaktewatersysteem wordt gedempt. Dit is daarom in de modellering verwijderd. In het ontwerp worden een aantal waterlichamen en kunstwerken aangelegd ten behoeve van afwatering, natuur en peilbeheer. In Figuur 6-1 is het nieuwe watersysteem van de Groene Rivier en de kunstwerken weergegeven. Belangrijk om op te merken is dat de Wellse Molenbeek en Kleine Broekgraaf uitmonden in de kwelgeul. Het peil in de kwelgeul is daarmee ook van invloed op de Kleine Broekgraaf.



Figuur 6-1 Landgebruik en watersysteem in ontwerp

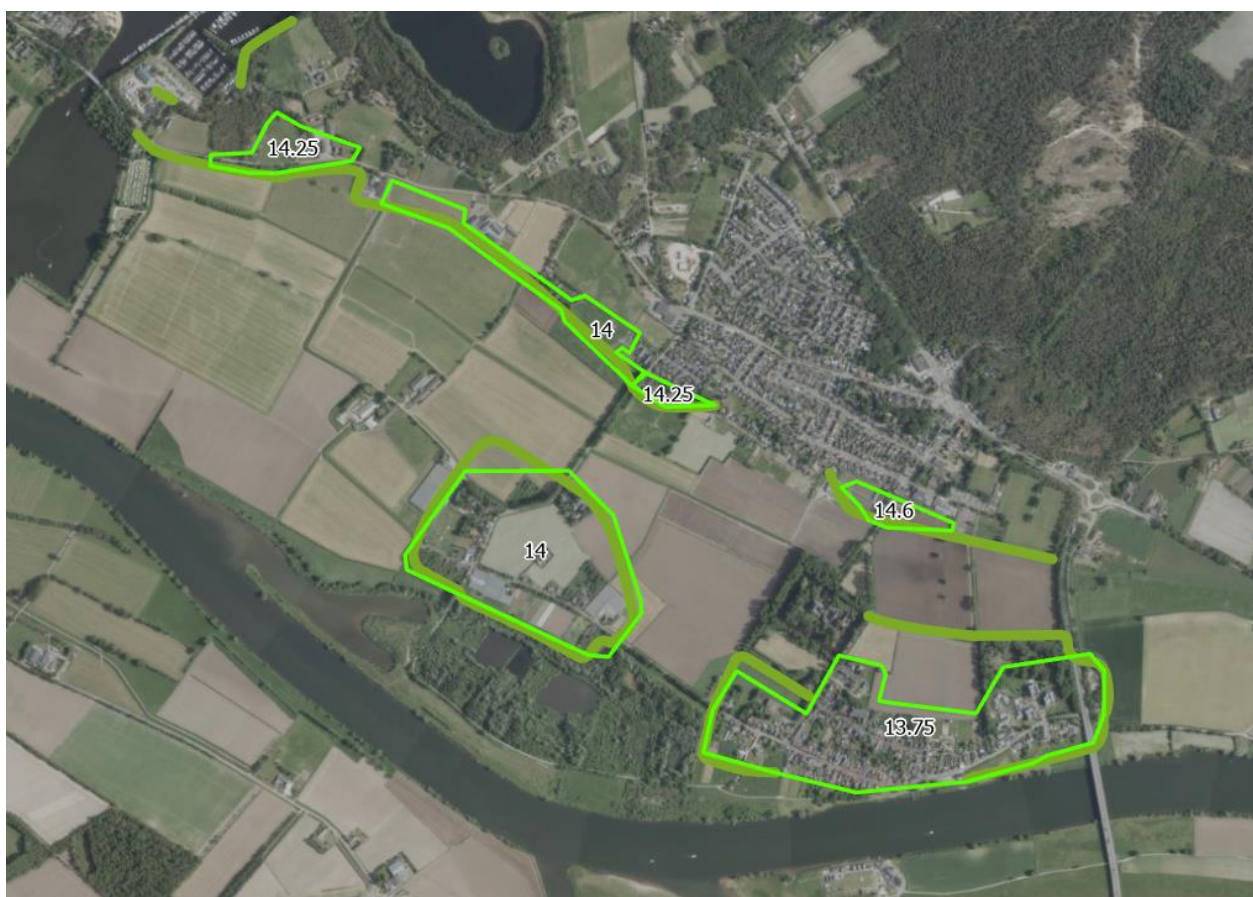
De kunstwerken worden niet expliciet opgenomen in de modellering, maar de resulterende peilen wel. De peilen zijn doorgerekend voor respectievelijk winter en zomersituatie in het oppervlaktewatermodel. De peilen van het oostelijk deel van de kwelgeul (knip is aanwezig ter hoogte van het kasteel bij de overlaat) zijn 12,60 m+NAP. Het westelijke deel van de kwelgeul heeft een peil van 12,50 m+NAP. De kwelbeek na de overlaat bij de Elsterendijk (ter hoogte van de overlaat ten noorden van Elsteren), heeft een peil in de orde van 12,0 m+NAP.

De kwelgeul en kwelbeek zijn in de RIV package gemodelleerd met de bovenstaande peilen en een weerstand van 1 dag. De conductance is bepaald door het nat oppervlak in de cel te delen door de weerstand.

De infiltratie van de kwelgeul is een specifiek aandachtspunt. De Wellse Molenbeek is grofweg het winterhalfjaar watervoerend. In het zomerhalfjaar voert deze veelal geen water en vult deze de kwelgeul dus niet aan. Dit is gemodelleerd door de infiltratie enkel in het winterhalfjaar op te nemen. De infiltratiefactor is dan 0.5. In het zomerhalfjaar infiltreert de kwelplas niet vanaf het opgegeven peil, oftewel de infiltratiefactor is 0.

6.1.2 Binnendijs oppervlaktewatersysteem

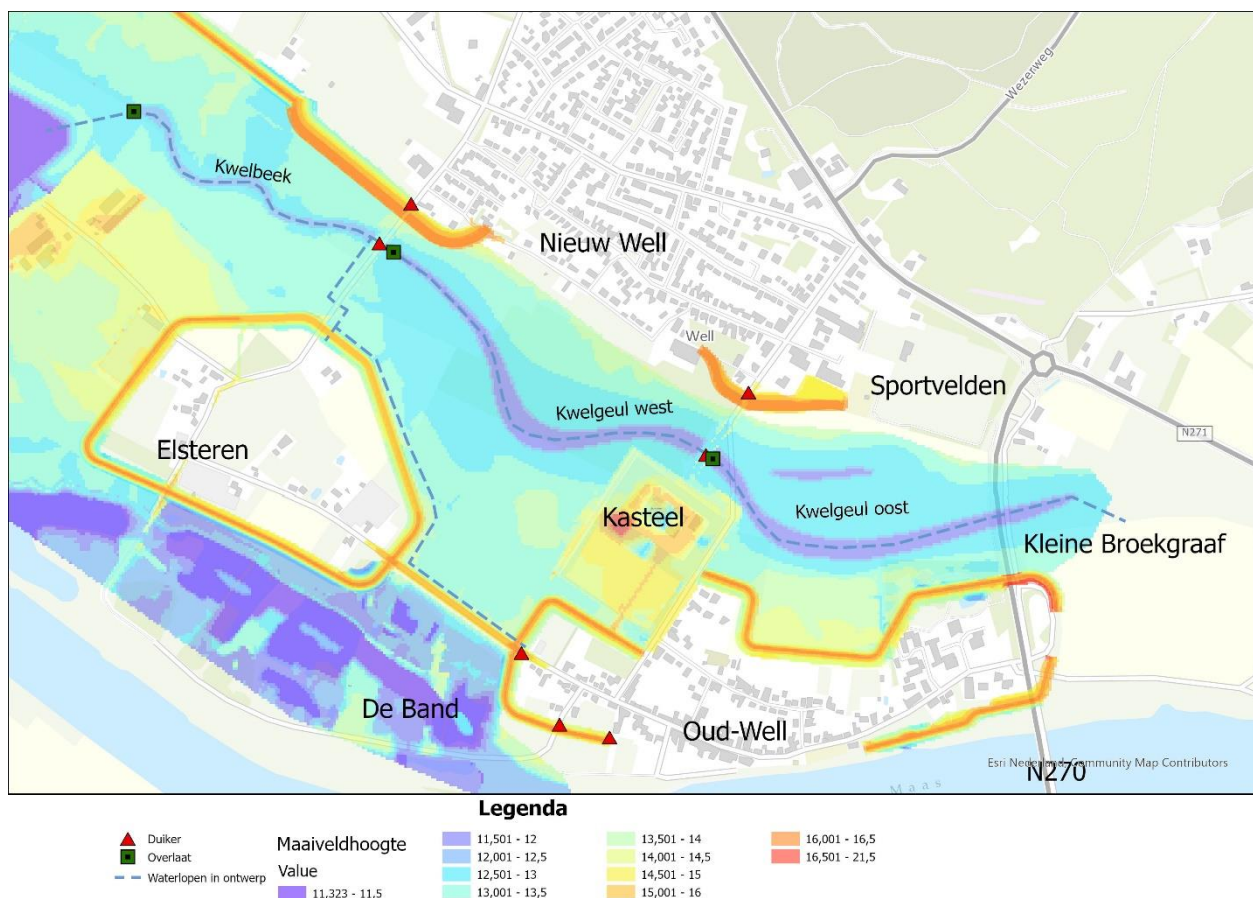
Als gevolg van het ontwerp ontstaan kleine dijkringen ter plaatse van Oud-Well en Elsteren. Afwateringsmaatregelen worden getroffen om bijvoorbeeld te voorkomen dat deze ten tijde van hoogwater door kwelwater alsnog volstromen. Deze afwateringsmaatregelen zijn in het hoogwatermodel verwerkt. In het model is opgenomen vanaf welk niveau gepompt wordt per dijkkring. In Figuur 6-2 is dit weergegeven. Indien het maaiveld onder dit niveau ligt, is het drainageniveau ter plaatse gewijzigd naar de waarde aangegeven in onderstaand figuur.



Figuur 6-2 Drainageniveau ten tijde van maatgevend hoogwater in ontwerp

6.1.3 Laagopbouw en maaiveld

Het maaiveld wordt op verscheidene plaatsen in het ontwerp afgegraven ten behoeve van natuurdoelen. De maaiveldhoogte in het ontwerp is weergegeven in Figuur 6-3.



Figuur 6-3 Maaiveldhoogte in ontwerp

De wijziging in maaiveldhoogte is doorgevoerd door de laagopbouw workflow opnieuw uit te voeren en als gevolg daarvan tot een nieuwe laagopbouw te komen. Hierdoor wordt het drainageniveau aangepast aan het nieuwe maaiveld indien dit niet door de herinrichting van het watersysteem wordt gedomineerd. Eventuele weerstandbiedende lagen zijn verwijderd indien deze afgegraven worden als gevolg van het doorlopen van de workflow (cf. wat in de praktijk zou gebeuren).

6.1.4 Landgebruik

Het ontwerp heeft tot gevolg dat het landgebruik wijzigt wat zijn effect heeft op de verdamping die zich zal voordoen, bijvoorbeeld ter plaatse van de kwelplas. Het landgebruik is gewijzigd door een nieuwe landgebruikskaart aan te bieden aan MetaSWAP. Deze nieuwe landgebruikskaart is weergegeven in Figuur 6-1.

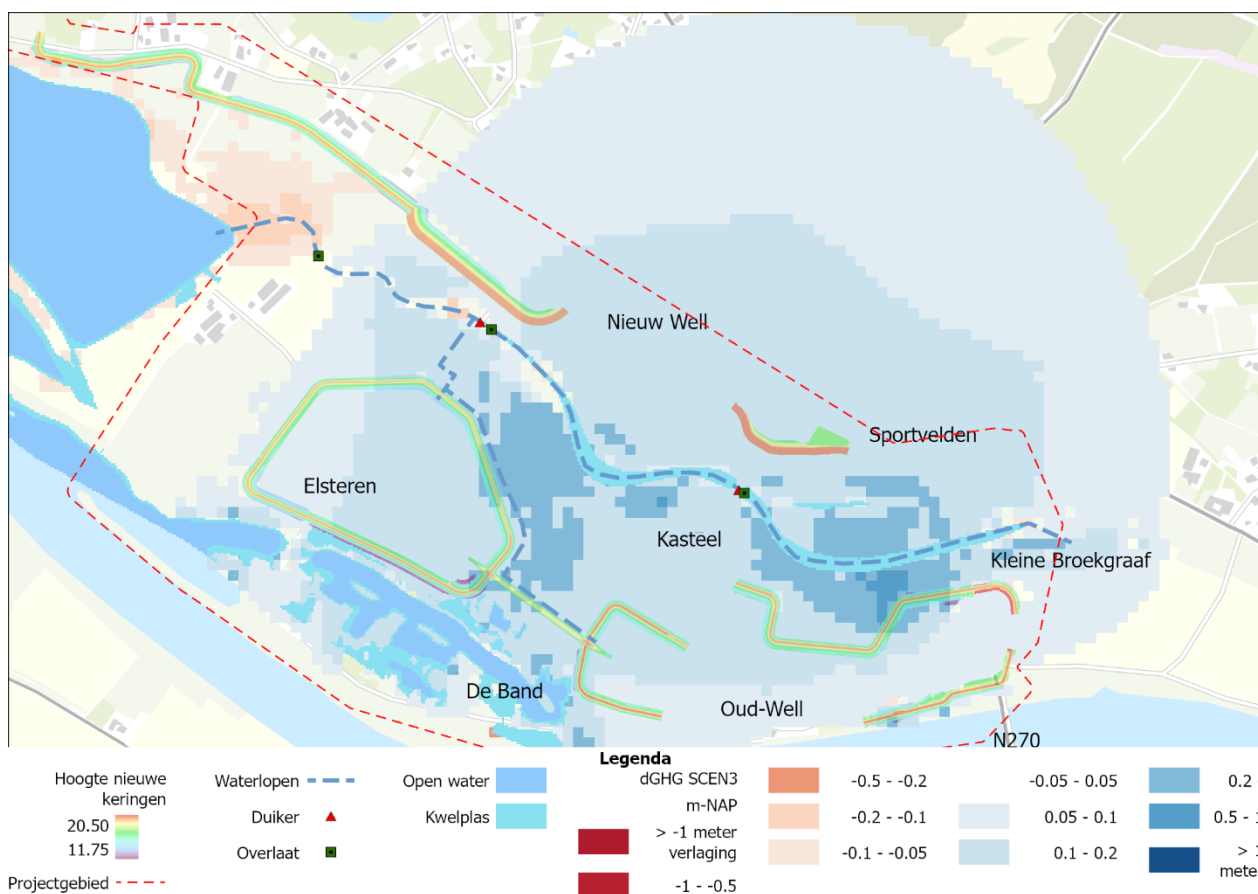
6.1.5 Buisdrainage en damwanden

De buisdrainage in de Groene Rivier in de huidige situatie is verwijderd in het ontwerp. Damwanden zijn niet opgenomen in het model.

6.2 Resultaten

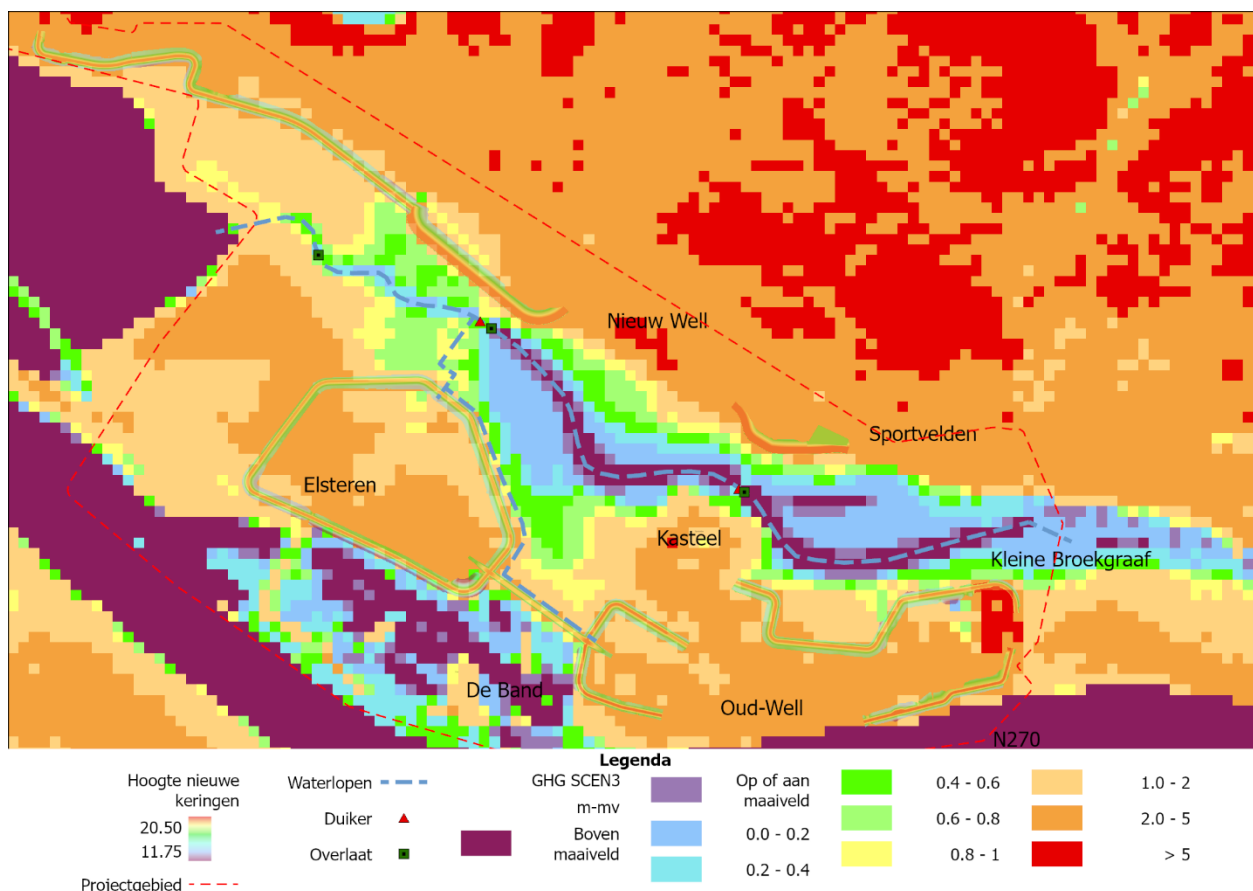
6.2.1 Effecten bij GxG situatie

In Figuur 6-4, Figuur 6-7 en Figuur 6-8 zijn de effecten op respectievelijk GHG, GVG en GLG weergegeven. Dit betreft de verschillen tussen de grondwaterberekening voor het ontwerp (incl. de Groene Rivier dus) en de referentie. De gebiedsontwikkeling Groene Rivier leidt voor de GHG, GVG en in mindere mate GLG tot een verhoging van de grondwaterstand in en buiten het projectgebied.



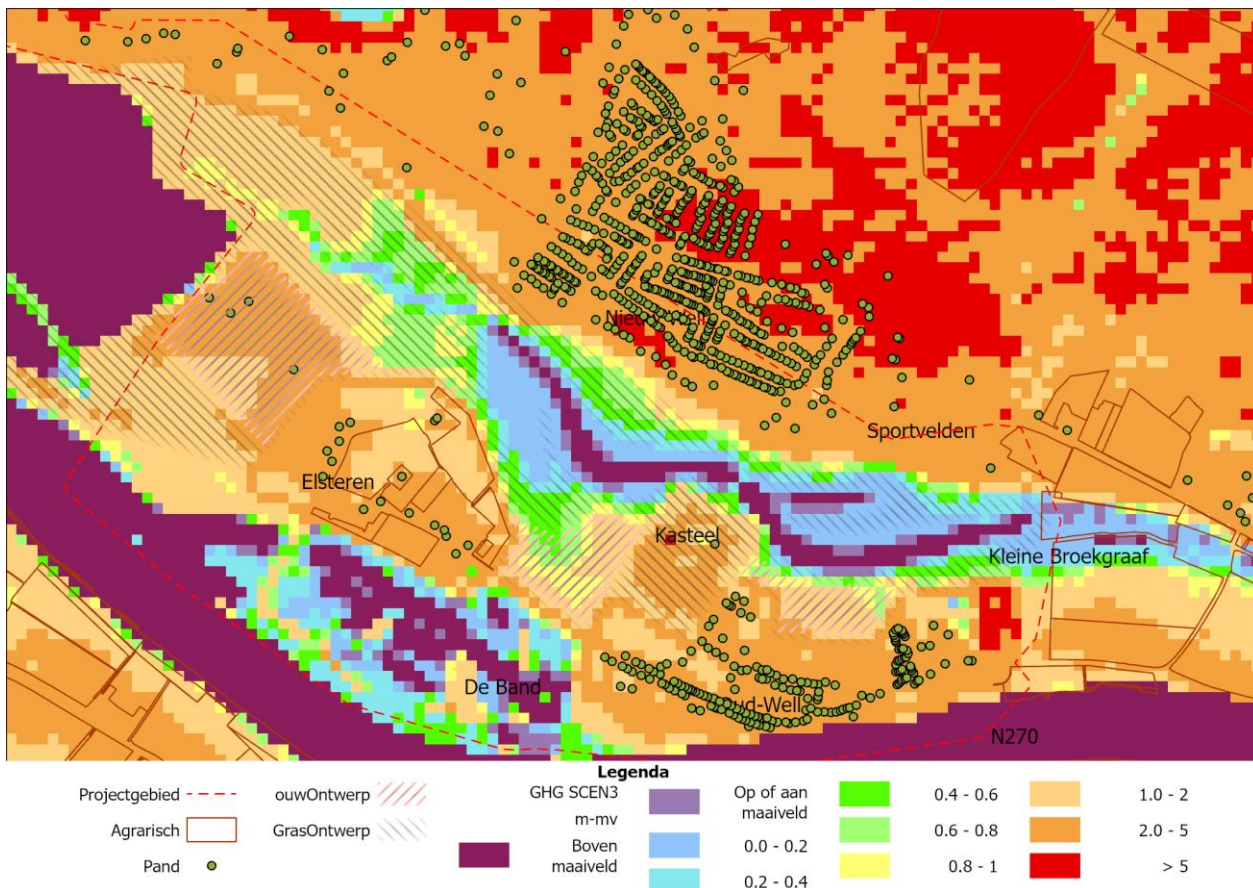
Figuur 6-4 Effect GHG t.o.v. NAP

De GHG en GVG stijgen in het projectgebied met gemiddeld 10 tot 20 cm, waarbij op veel plaatsen in de Groene Rivier de GHG stijgt tussen de 20 en 50 cm. Dit is het gevolg van het opheffen van de huidige drainerende Wellse Molenbeek en Papenbeekse Broeklossing en andere drainagemiddelen in het gebied. Het hogere peil dat gevoerd wordt in de Groene Rivier zorgt voor een verhoging van grondwaterstanden die stijgen tot aan deze peilen in de winter en delen van het voorjaar. Dit zorgt voor een uitstraling buiten het projectgebied naar de Maasduinen in het noorden en rondom de Kleine Broekgraaf in het oosten. De berekende effecten strekken ook uit tot in de kernen van Nieuw en Oud Well alsmede Elsteren. Aan de westzijde van het project, tegen Maaspark Well aan, leidt het plan tot een lagere grondwaterstand als gevolg van de drainerende werking van de nieuwe beekligging.



Figuur 6-5 GHG ten opzichte van maaiveld voor het plan

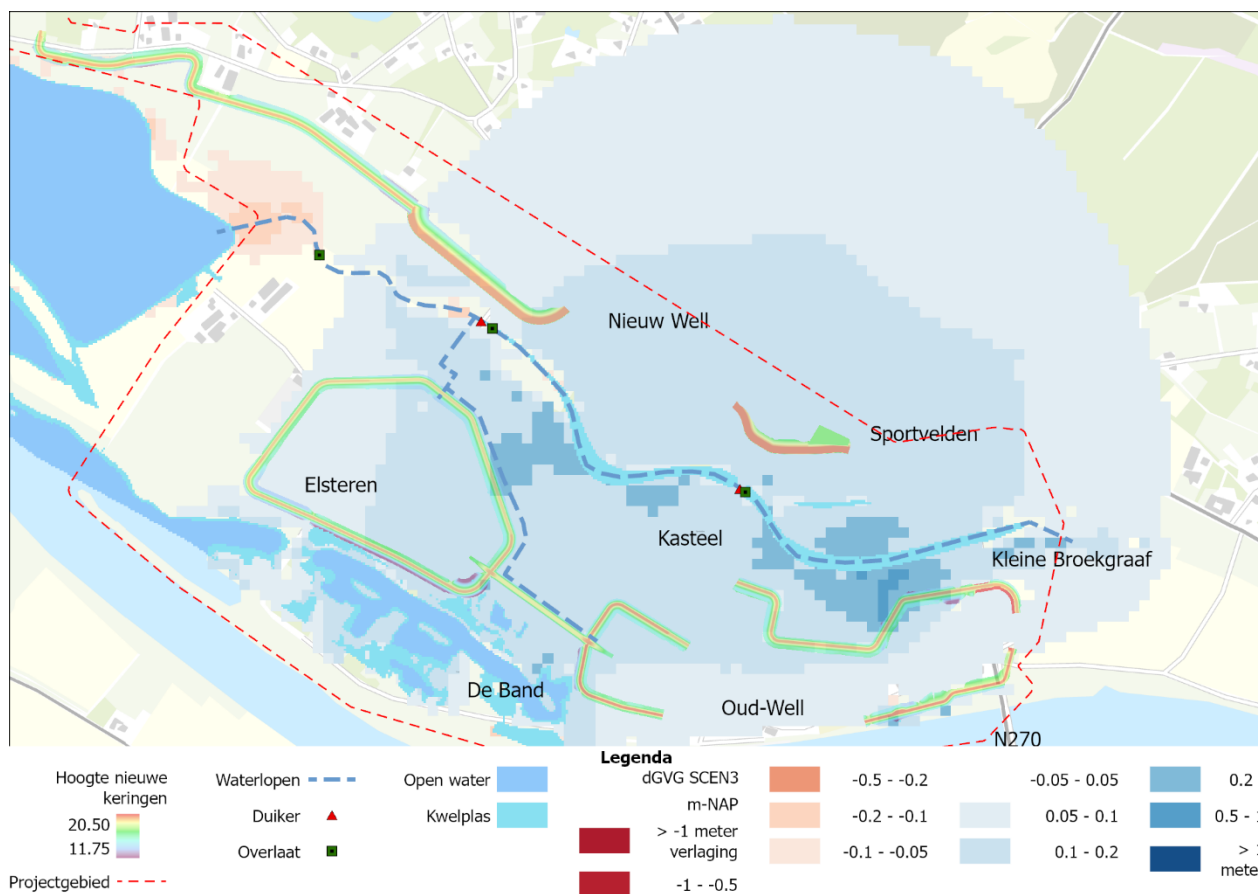
In Figuur 6-5 is de berekende GHG ten opzichte van maaiveld weergegeven voor het plan. Duidelijk zichtbaar zijn de oppervlaktewateren zoals de Band, kwelplas, Maaspark en de Maas. Ook de nattere zone rondom de kwelplas komt tot uiting in de lichtere blauwe kleuren die duiden op plas-drassituaties of grondwaterstanden dicht aan maaiveld (tot 40 cm onder maaiveld). Aan de zomen van de kwelplas, waar het beoogde bodemgebruik over gaat naar nat en droger grasland is een gradiënt in de GHG berekend van grofweg 40 tot 100 cm onder maaiveld. Aan de noordwestzijde van het projectgebied zijn veelal drogere condities berekend, dit is veelal het gevolg van de referentiesituatie.



Figuur 6-6 GHG ten opzichte van maaiveld voor het plan inclusief duiding van panden en agrarische percelen

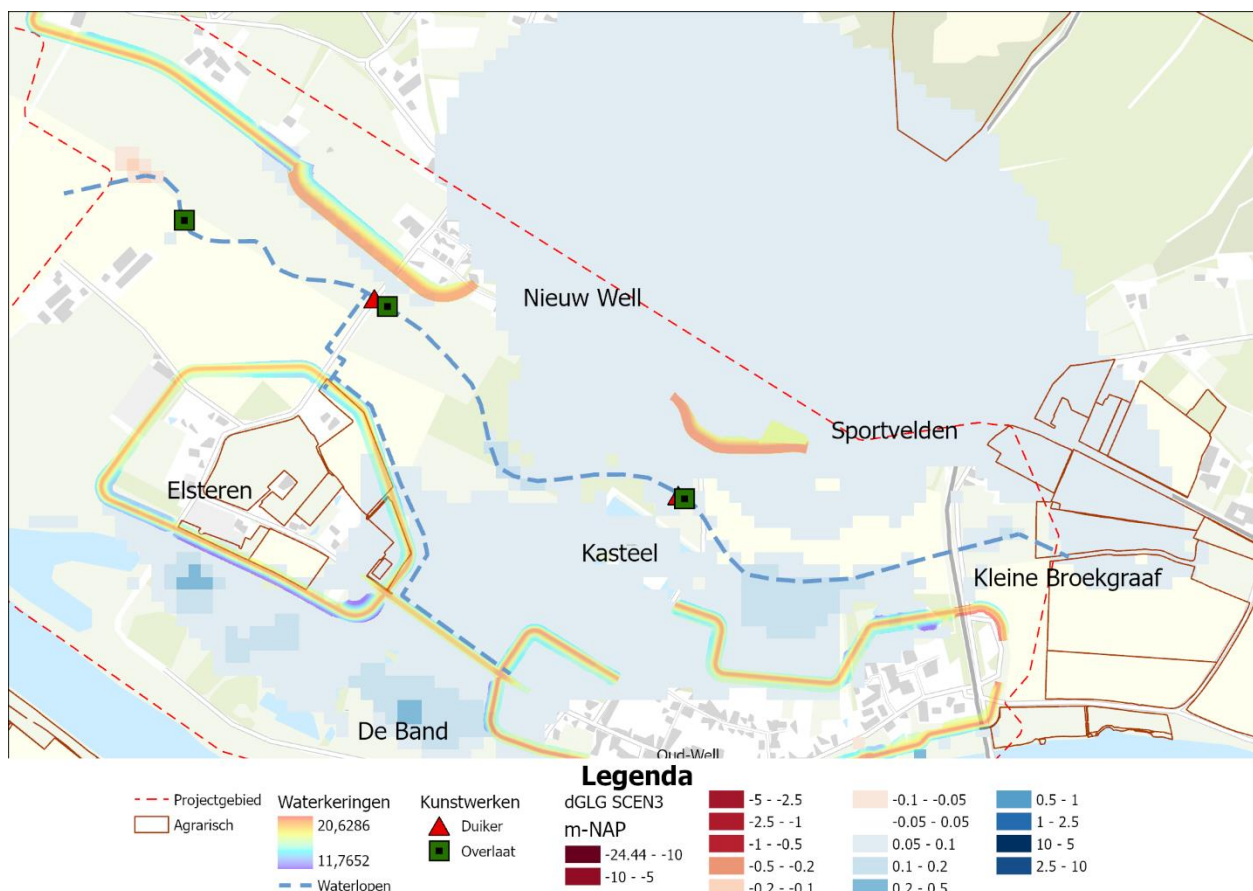
Ter plaatse van de beoogde akkerbouwpercelen is de GHG berekend veelal dieper dan 100 cm onder maaiveld. Het akkerbouwperceel tussen Elsteren en Oud-Well, ten westen van het kasteel, heeft aan de noordzijde ondiepere grondwaterstanden als gevolg van de effecten en maaiveldvergraving.

De GHG blijft in de kernen dieper dan 100 cm onder maaiveld, ook ter plaatse van de effecten. Ten oosten van het projectgebied rondom de Kleine Broekgraaf zijn effecten berekend voor de GHG van 5 tot 10 cm. Dit leidt tot nattere percelen ter plaatse waar de GHG wordt berekend in de orde van 0 tot 20 cm onder maaiveld in de directe nabijheid van de Kleine Broekgraaf.



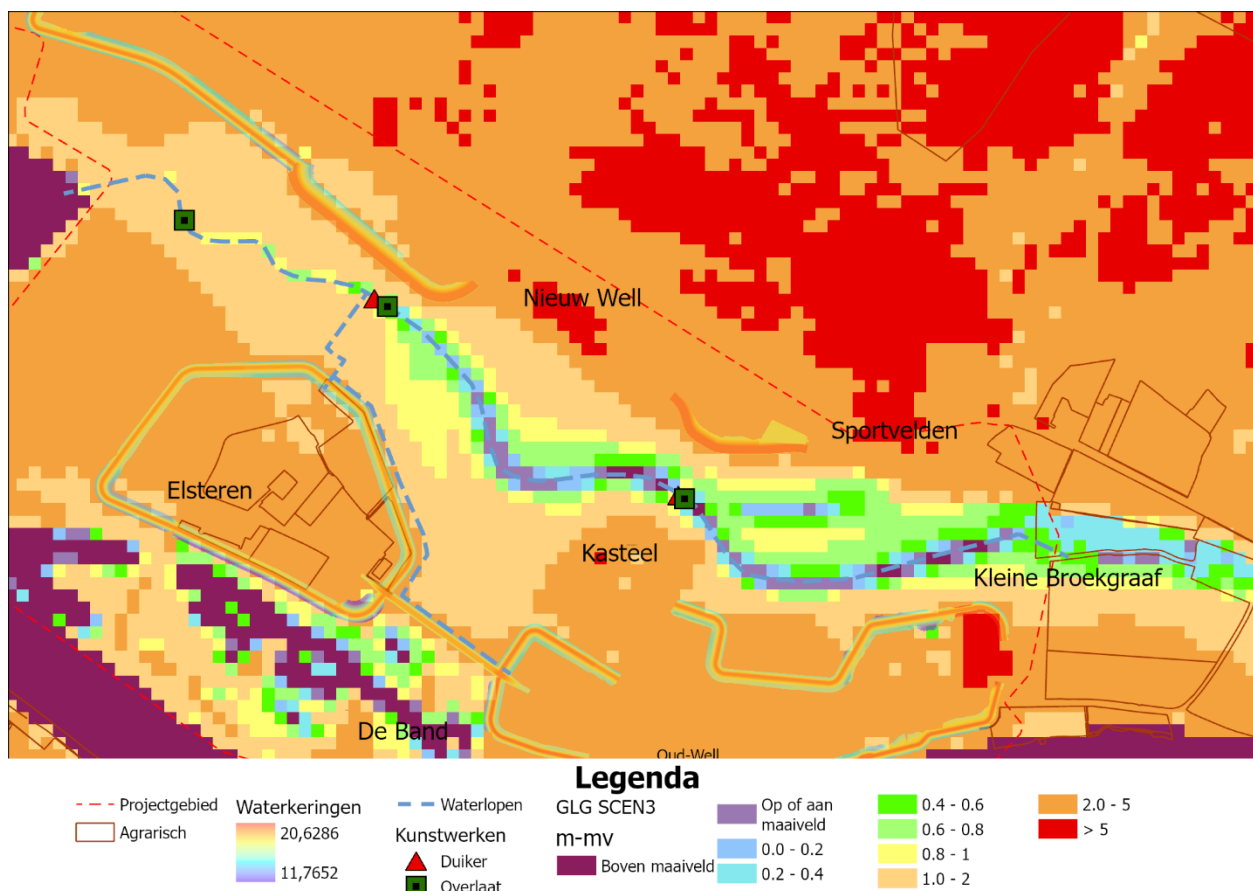
Figuur 6-7 Effect GVG t.o.v. NAP

De berekende effecten voor de GVG vertonen redelijk dezelfde patronen als geconstateerd voor de GHG. Voor de GLG zijn de berekende effecten kleiner.



Figuur 6-8 Effect GLG t.o.v. NAP

Een verhoging van de grondwaterstand wordt nog berekend in de orde van 5 tot 10 cm veelal met ook uitstraling naar buiten het projectgebied. Verdroging als gevolg van het plan wordt nauwelijks berekend met uitzondering direct nabij Maaspark Well, waar de nieuwe uitmonding van de beek ter plaatse voor een verlaging van de grondwaterstand zorgt. Gedurende een extreem droge zomer, zoals in 2018, blijven de grondwaterstanden ook hoger dan in de referentie. In Figuur 6-9 is de berekende GLG ten opzichte van maaiveld weergegeven voor het plan.



Figuur 6-9 GLG ten opzichten maaiveld voor het plan

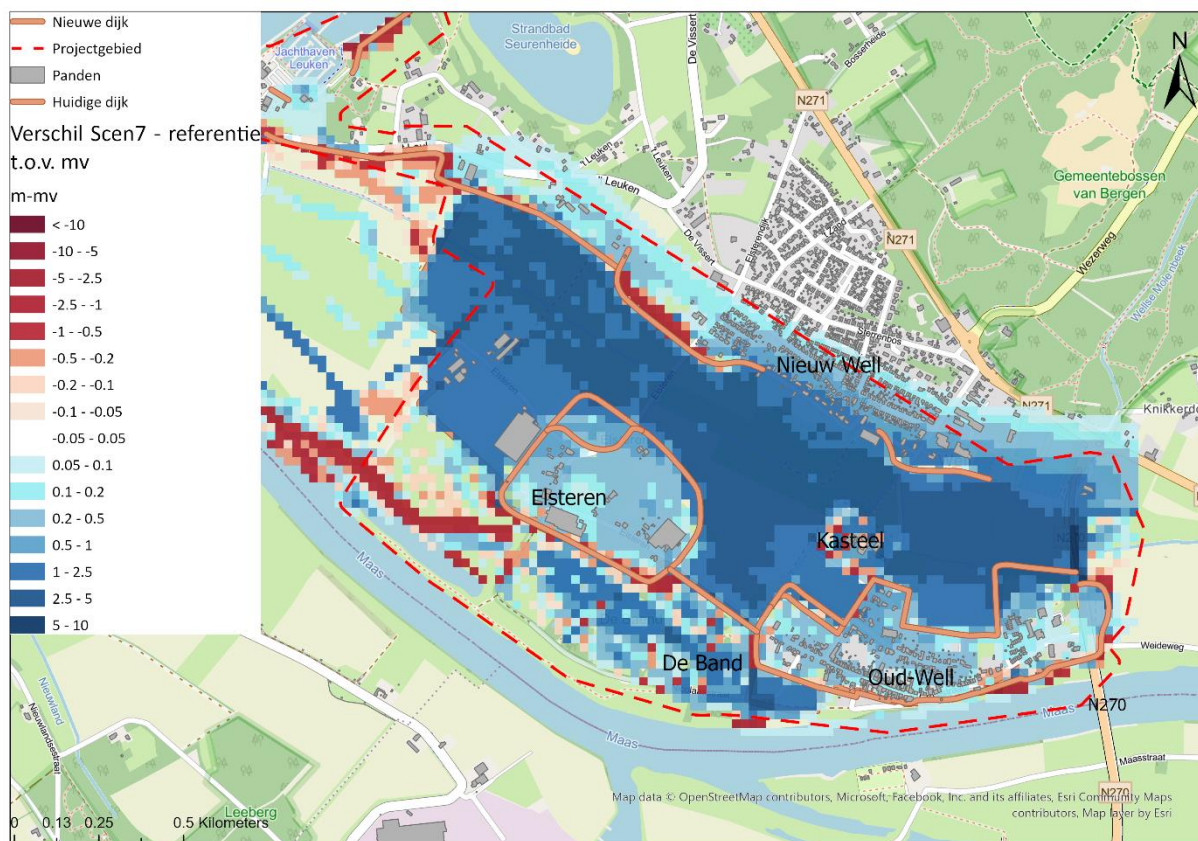
Hoewel de effecten op de GLG t.o.v. NAP relatief beperkt zijn, is een duidelijk verschil in de berekende GLG t.o.v. maaiveld zichtbaar als gevolg van de maaiveldvergraving in het gebied. De Groene Rivier is duidelijk herkenbaar in het eerder veel drogere gebied. De GLG ter plaatse van de kwelplas is net boven de bodem berekend, wat dus aangeeft dat het peil van de kwelplas gedurende een zomer fors uitzakt ten opzichte van de winter. Rondom de kwelplas wordt de GLG berekend in de orde van veelal 40 tot 80 cm onder maaiveld. Verder van de kwelplas af neemt dit toe tot meer dan een meter onder maaiveld.

6.2.2 Effecten bij hoogwater

Met het grondwatermodel zijn berekeningen gedaan om de grondwaterstanden tijdens een hoogwater (WBN2075 situatie) te berekenen. Het verschil in berekende maximale grondwaterstand tussen de berekening voor het ontwerp en de referentieberekening is weergegeven in Figuur 6-10. De grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld zijn weergegeven in Figuur 6-11. Op de Maas is gerekend met een waterstand van 15.99 meter. Dit is een worst-case situatie, omdat met deze waarde aangenomen wordt dat het projectplan voor geen verlaging van de Maas zorgt. In werkelijkheid zal bovenstrooms van Oud-Well een verlaging van het Maaspeil zijn, maar deze dempt snel uit. Daarom is gekozen om hier de worst-case situatie te nemen.

Figuur 6-10 geeft het berekend effect weer. In grote delen van het gebied leidt het ontwerp tot een verhoging van de maximale grondwaterstand. Dit is het gevolg van het meestromen van de Groene Rivier in deze situatie waar dit in de referentie nog niet het geval is. De figuur geeft weer dat op een aantal locaties de grondwaterstanden afnemen ten opzichte van de referentieberekening (rode kleuren). Op andere locaties nemen de grondwaterstanden juist toe (blauwe kleuren). De Groene Rivier springt er

logischerwijs uit qua effect aangezien de Maas in het ontwerp meestroomt via de Groene Rivier en daar dus veel effect is. Bij aangrenzende gebieden is daardoor vaak ook een toename in de grondwaterstand berekend. Dit is het meest zichtbaar ter plaatse van Nieuw Well en Elsteren, waar een verhoging van de maximale grondwaterstand is berekend. Lokaal zijn ook verlagingen berekend, dit kan te maken hebben met een lager berekende grondwaterstand als gevolg van maatregelen, een maaiveldverschil door afgraving of door een andere dijkligging, waardoor de maaiveldhoogte wijzigt. Bij de Band zijn hierdoor bijvoorbeeld verschillen berekend omdat hier ook vergraving plaatsvindt.



Figuur 6-10 Verskil in grondwaterstand t.o.v. mv tussen worst-case scenarioberekening en referentieberekening.

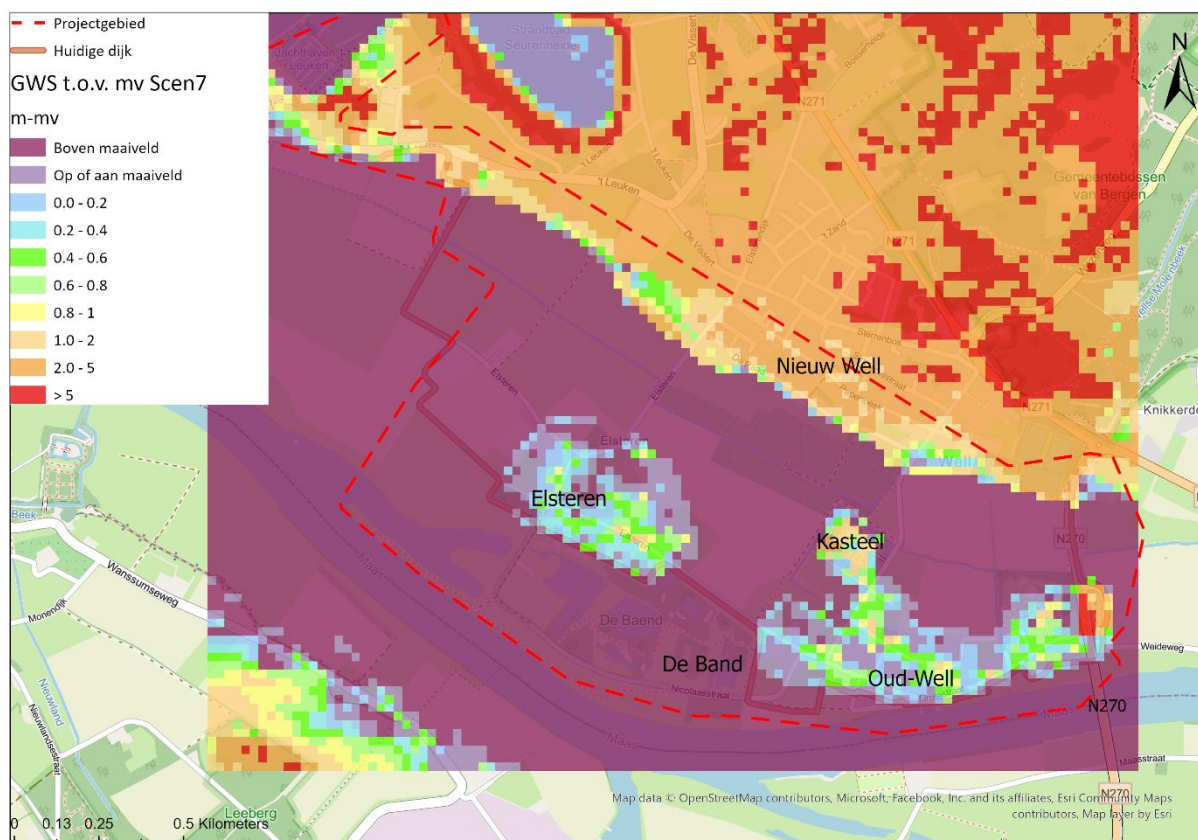
In Elsteren zijn effecten in de orde 10 tot 50 centimeter berekend. Ter plaatse van Oud well is het beeld diverser en loopt dit uiteen van geen tot 50 cm effect. Aan de noordzijde bij Nieuw Well zijn effecten in de orde van 50 tot 100 cm berekend welke richting de Maashorst uitdempen over een lengte van 250 tot 500 meter.

Een stijging van de grondwaterstand hoeft niet direct een probleem te zijn. Als de grondwaterstand dieper dan 1 m-mv is berekend in de berekening van het ontwerp, is de verhoging van de grondwaterstand niet in conflict met de ontwateringsdieptetabellen gehanteerd door het Waterschap. Dit hoeft niet anderzijds ook weer niet te betekenen dat er dan lokaal geen overlast wordt ervaren, bijvoorbeeld bij niet-waterdichte kelders.

In Figuur 6-11 is de maximale grondwaterstand ten opzichte van maaiveld in het ontwerp weergegeven bij hoogwater. Hierop is bijvoorbeeld te zien dat ter plaatse van Nieuw Well de maximale grondwaterstand veelal dieper dan 1 meter onder maaiveld blijft. Elsteren en Oud-Well worden twee 'eilanden' waar de Maas omheen stroomt. Binnen Elsteren zijn drainagemaatregelen genomen, waardoor de waterstand van

uittredend grondwater op maaiveld hier op 14 m+NAP gehouden wordt. In Oud-Well is dit niveau 13.75 m+NAP. Ook bij kasteel Well en Nieuw Well worden maatregelen genomen, waardoor de grondwaterstandsstijging hier beperkt blijft.

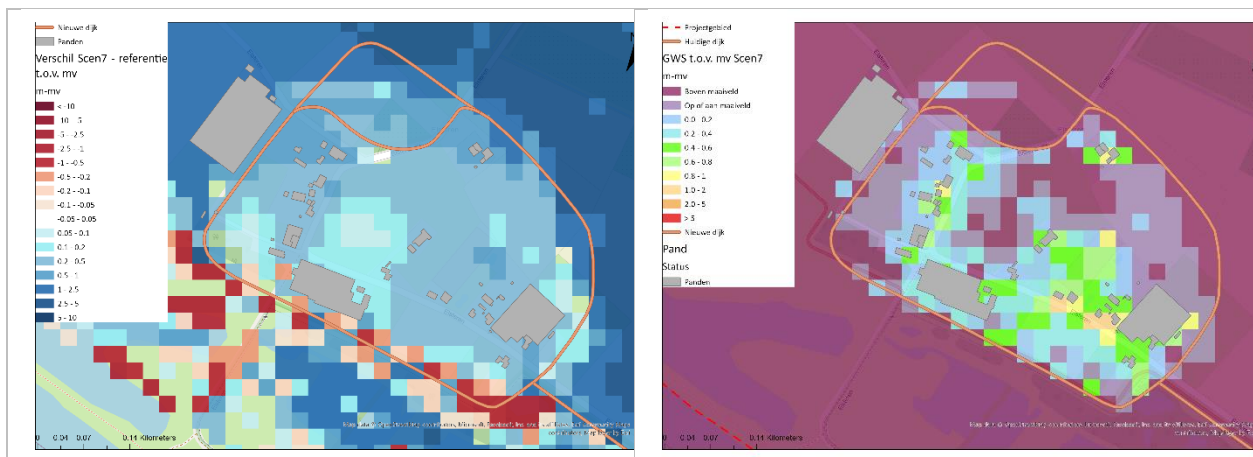
Zowel voor Oud-Well als Elsteren geldt dat voor het overgrote deel de maximale grondwaterstand ten opzichte van maaiveld minder dan 100 cm-mv is berekend. Hier zijn dus mogelijk nadelige effecten ter plaatse van panden te verwachten. In Nieuw-Well zijn de resulterende grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld veelal dieper dan in Elsteren en Oud Well. Enkele panden hebben daar mogelijk hoge grondwaterstanden, maar dit wordt deels ook veroorzaakt door het detailniveau van het rekengrid van het grondwatermodel en dat in het model niet de werkelijke vloerhoogte van de panden is opgenomen (informatie niet beschikbaar en niet passend bij detailniveau rekenmodel). Hierdoor vallen panden nu soms in rekencellen met water op maaiveld, terwijl dat in werkelijkheid mogelijk niet zo is. Dit is op te lossen door de berekende grondwaterstand ten opzichte van NAP te vergelijken met het vloerpeil van betreffende panden.



Figuur 6-11 Grondwaterstand t.o.v. mv voor worst-case WBN2075 situatie (SCEN6, 0 cm verlaging Maaspeil a.g.v. projectplan).

In Figuur 6-12 is ingezoomd op de situatie ter plaatse van Elsteren¹¹.

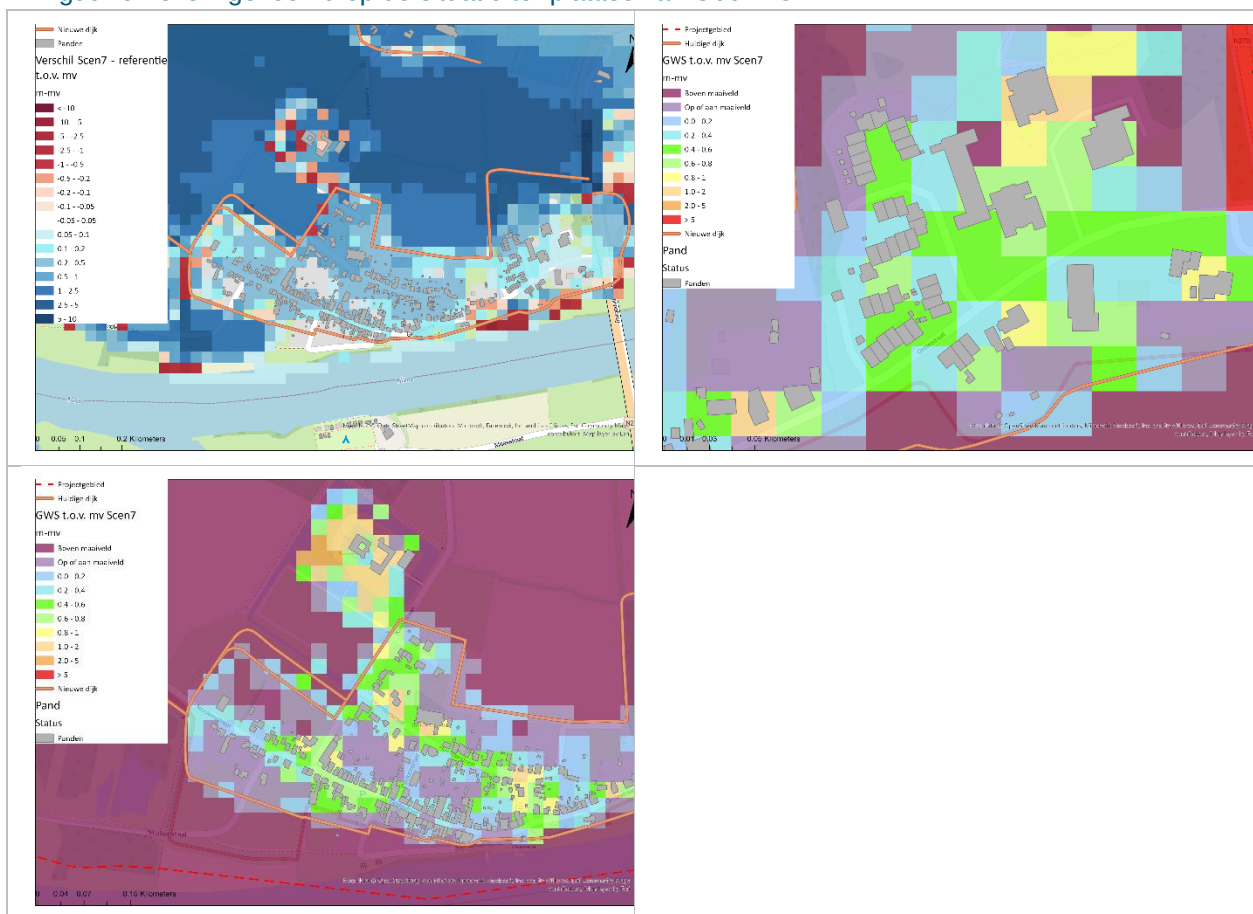
¹¹ Het buitendijkse pand in het figuur wordt opgegeven in de nieuwe situatie



Figuur 6-12 Verschil in grondwaterstand t.o.v. mv in Elsteren (links) en maximale grondwaterstand t.o.v. mv in Elsteren (rechts)

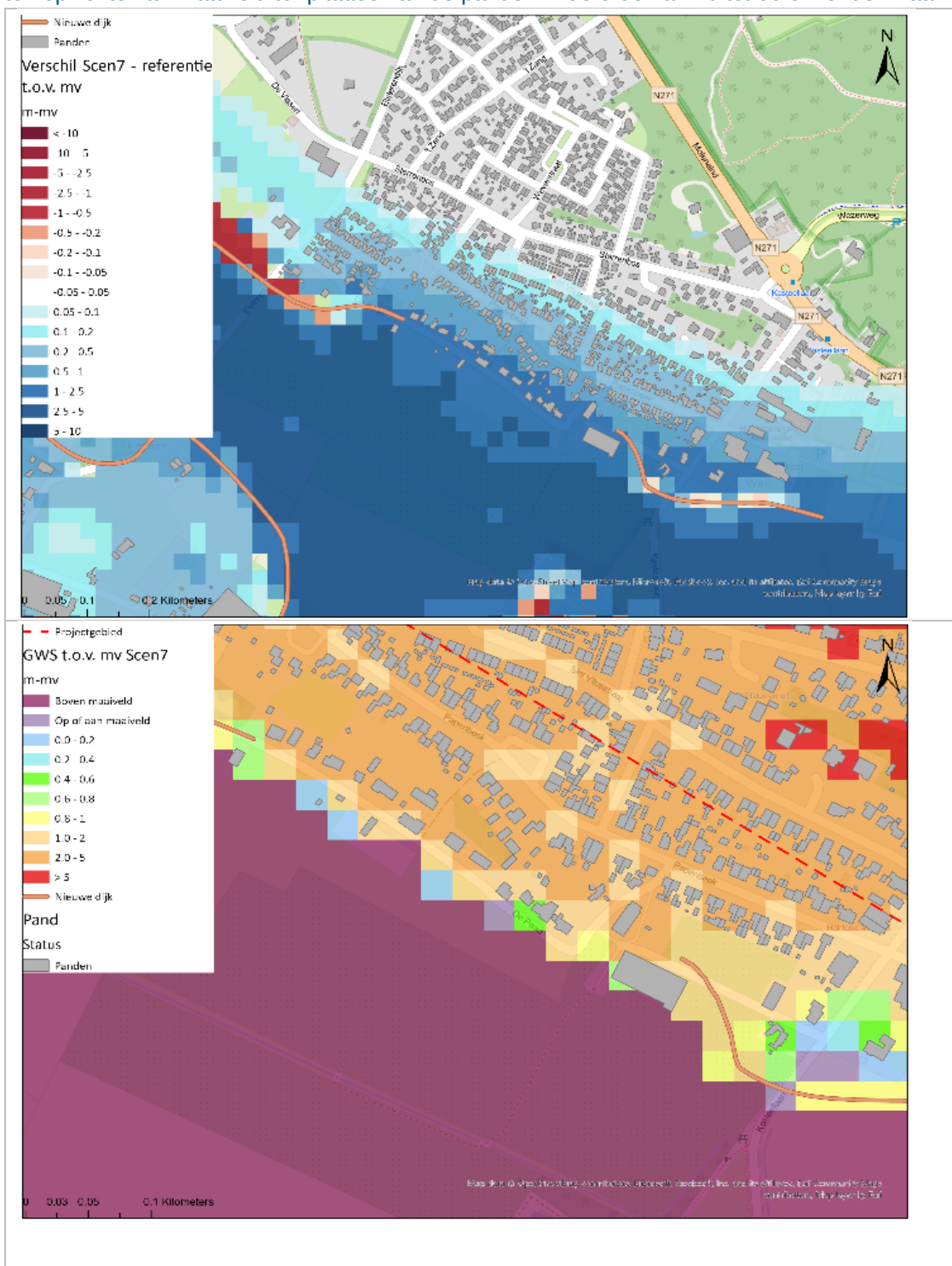
In Elsteren zijn verhoogde grondwaterstanden berekend ter plaatse van panden de ontwateringsdiepte niet meer voldoet aan de minimale ontwateringsdiepte. De insluiting van Elsteren rondom door de Maas en de doorlatendheid van het onderliggende geohydrologisch pakket is dusdanig dat effecten door het gehele gebied zich voordoen.

In Figuur 6-13 is ingezoomd op de situatie ter plaatse van Oud-Well.



Figuur 6-13 Verschil in grondwaterstand t.o.v. mv in Oud-Well (links) en maximale grondwaterstand t.o.v. mv in Oostelijk Oud Well (rechtsboven) en Westelijk Oud-Well (linksonder)

In Oud Well zijn eveneens effecten berekend in het gehele gebied. In oostelijk Oud Well is dit enigszins minder doordat in de referentie de Maas hier ook al grenst aan het gebied. In het ontwerp komt hier de noordkant bij waardoor effecten optreden. Aan de zuidkant zijn ook diepere grondwaterstanden berekend lokaal door een wijziging in de locatie van de dijk. In oostelijk Oud-Well is de grondwaterstand veelal in de orde van 40 tot 60 cm onder maaiveld berekend. In westelijk Oud-Well is de berekende grondwaterstand ten opzichte van maaiveld ter plaatse van de panden in de orde van 20 tot 60 cm onder maaiveld.



Figuur 6-14 Verschil in grondwaterstand t.o.v. mv in Nieuw-Well (boven) en maximale grondwaterstand t.o.v. mv in Nieuw-Well (onder)

Ter plaatse van Nieuw-Well zijn forse effecten berekend tot meer dan een meter. Dit leidt lokaal bij bijvoorbeeld de Paad Oost tot een aantal panden tussen de Paad Oost en West zijn een aantal panden waar effecten zijn berekend die tot maximale grondwaterstanden leiden minder dan een meter onder maaiveld (Figuur 6-14).

Ter zuidwesten van Knikkerdorp, gelegen aan het talud van de N270 is een pand gelegen waar mogelijk ondiepe maximale grondwaterstanden gaan voorkomen als gevolg van het ontwerp (Figuur 6-15).



Figuur 6-15 Grondwaterstand t.o.v. mv bij pand bij Knikkerdorp voor worst-case WBN2075 situatie (SCEN6, 0 cm verlaging Maaspeil a.g.v. projectplan).

Kwel in dijkringen

Met het grondwatermodel is berekend wat de kwelhoeveelheid is gedurende de dag met de piekwaterstand. Dit is vervolgens gesommeerd voor verschillende gebieden. Het resultaat is weergegeven in Tabel 6-1.

Tabel 6-1 Berekende kwelhoeveelheid met het grondwatermodel voor het ontwerp

Dijkkring	Maximale kwelhoeveelheid [m ³ /dag]
Oud-Well	6350
Elsteren	7400
De Paad Oost	70
De Paad West	430
Het Leuken	210

6.2.3 Effecten Voorlopig Ontwerp 2

Voorlopig Ontwerp 2 voorziet in een andere inrichting van het watersysteem waardoor uiteindelijk grond- en oppervlaktewaterpeilen in delen van het watersysteem anders zich zullen voordoen. Het grootste

verschil met Voorlopig Ontwerp 1 ten aanzien van het watersysteem is het uitstromen van de Wellse Molenbeek direct naar de Maas en niet in de kwelplas. Dit is kwalitatief ingeschat. Voor de hoogwatersituatie heeft dit waarschijnlijk geen effecten.

Uit de grondwaterberekeningen voor het Voorlopig Ontwerp 1 blijkt dat het oppervlaktewaterpeil van de kwelplas in het zomerhalfjaar uitzakt. Dit is het gevolg van verdamping, wegzijging richting Maas en het ontbreken van instroom vanuit de Wellse Molenbeek in het zomerhalfjaar die dan veelal droog staat. In het winterhalfjaar stijgt het peil van de kwelplas door het neerslagoverschot en de instroom vanuit de Wellse Molenbeek. In de inrichting van VO2 ontbreekt de instroom vanuit Wellse Molenbeek en ook Kleine Broekgraaf. Dit heeft tot gevolg dat het peil van de kwelplas langzamer omhoog komt en mogelijk ook niet elke winter terugkomt tot het drempelniveau.

Het peil van de Kleine Broekgraaf wordt in de tijdelijke situatie niet gewijzigd ten opzichte van huidig waardoor grondwaterstandseffecten beperkt zullen blijven tot de zones direct grenzend aan de kwelplas.

Literatuur

Bram Bot, 2016. Grondwaterzakboekje Gwz 2016. ISBN-EAN: 978-90-817869-1-1.

Coenradie, 06-08-2021. Profielen Kasteellaan 20 te Well. Tekeningnummer: 210736-02
Royal Haskoning, 19 juli 2011. Gebiedsontwikkeling Maaspark Well; Bepaling geohydrologische milieueffecten als onderdeel van Plan-MER. 9v8989/9W7104. Definitief rapport.
RHDHV, in ontwikkeling. Gebiedsontwikkeling Groene Rivier ProjectMER.

Royal HaskoningDHV, 9 februari 2024. Uitgangspuntennotitie grondwatermodellering Groene Rivier Well. Definitief. BJ100-WM-ME-20240209.

Royal HaskoningDHV, 16 september 2024. Hoofdrapport technisch ontwerp waterkeringen. Versie: 240913_BJ1000_W3420_5_Hoofdrapport technisch ontwerp waterkeringen_C01.docx

Royal HaskoningDHV, SWEKO & WL, 30 november 2023. Rapportage Ibrahim 3. BI1287-WM-CO-20231130-818WM.

Royal HaskoningDHV, in ontwikkeling. Waterhuishoudkundig plan Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well.

Waterschap Limburg, 11 januari 2024. Maximale ontgraving Maaspark Well CAD bestanden. Opgevraagd door Waterschap Limburg.

