

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

Aan: Jordi van Mook en Michelle Berg
Van: Siebren van der Linde
Datum: 10 juli 2019
Kopie: Han Vermue
Ons kenmerk: BF9958-RHD-ZZ-XX-NT-Z-001

Onderwerp: Rapportage modellering Hoogeindse Beek

1 Inleiding

Deze rapportage beschrijft de hydrologische modellering binnen het project de Hoogeindse Beek. Deze modellering is gericht geweest op het verkrijgen van inzicht in de effecten van maatregelen op oppervlaktewatersysteem, zowel in Nederland als over de grens, in België. Daarnaast heeft de modellering inzicht gegeven in het functioneren van het huidige hydrologische systeem. Er is daarnaast gekeken naar de nut en noodzaak van het uitvoeren van berekeningen met het grondwatermodel. Hieruit kwam naar voren dat dit niet doelmatig en kan worden volstaan met het monitoren van de effecten, zie bijlage A. In bijlage B is de doelrealisatie/ het doelgat van de ambitiebeheertypes in het projectgebied gepresenteerd.

2 Modelbeschrijving

2.1 Basismodel

Het waterschap beschikt over een samengesteld SOBEK-model van de Reusel, Beerze, Hoogeindse beek en Raamsloop. In het project van de Utrecht zijn hier al verschillende berekeningen mee uitgevoerd. De bestaande modellen zijn het vertrekpunt voor de in de notitie beschreven modelstudie:

1 Stationair: Kempenland West: Kmplndw.lit

- ☐ SOBEK 2.13.002
- ☐ Doorgerekende cases Qw, Qv, Qz, Qn
- ☐ Modelsituaties: huidige situatie (v1.9)

2 Dynamisch: HBEN.lit

- ☐ SOBEK 2.13.002
- ☐ Doorgerekende cases T=1, T=10, T=25, T=50, T=100 HK en WH
- ☐ Modelsituaties: huidige situatie (v1.9)

2.2 Modelscope

2.2.1 Ruimtelijke afbakening

Het modelgebied omvat de Hoogeindse Beek en de nabijgelegen waterlopen. Het modelgebied is opgenomen in Figuur 2-1. Het model heeft één hydraulische randvoorwaarde. Hier wordt een vast peil gehandhaafd welke afkomstig is uit de berekening van het grotere Kmplndw.lit model. Dit peil varieert elk

seizoen. De randvoorwaarde ligt ver genoeg van het interessegebied af zodat de vraagstelling hierdoor niet nadelig beïnvloed wordt.



Figuur 2-1: Locatie modelrandvoorwaarde.

2.2.2 Stationair model

De volgende stationaire afvoersituaties zijn doorgerekend:

- Gemiddelde zomersituatie: Qz
- Gemiddelde najaarsituatie: Qn
- Gemiddelde wintersituatie: Qw
- Gemiddelde voorjaarsituatie: Qv

Modeldoel:

- Inzicht in waterstanden en stroomsnelheden in de watergangen onder gemiddelde omstandigheden;
- Inzicht in het verschil tussen de referentie- en scenario situaties op basis van bovenstaande inzichten. De referentiesituatie is hierbij gelijk aan de huidige situatie.

2.2.3 Dynamisch model

De volgende dynamische afvoersituaties (hoogwater afvoergolven) zijn beschikbaar:

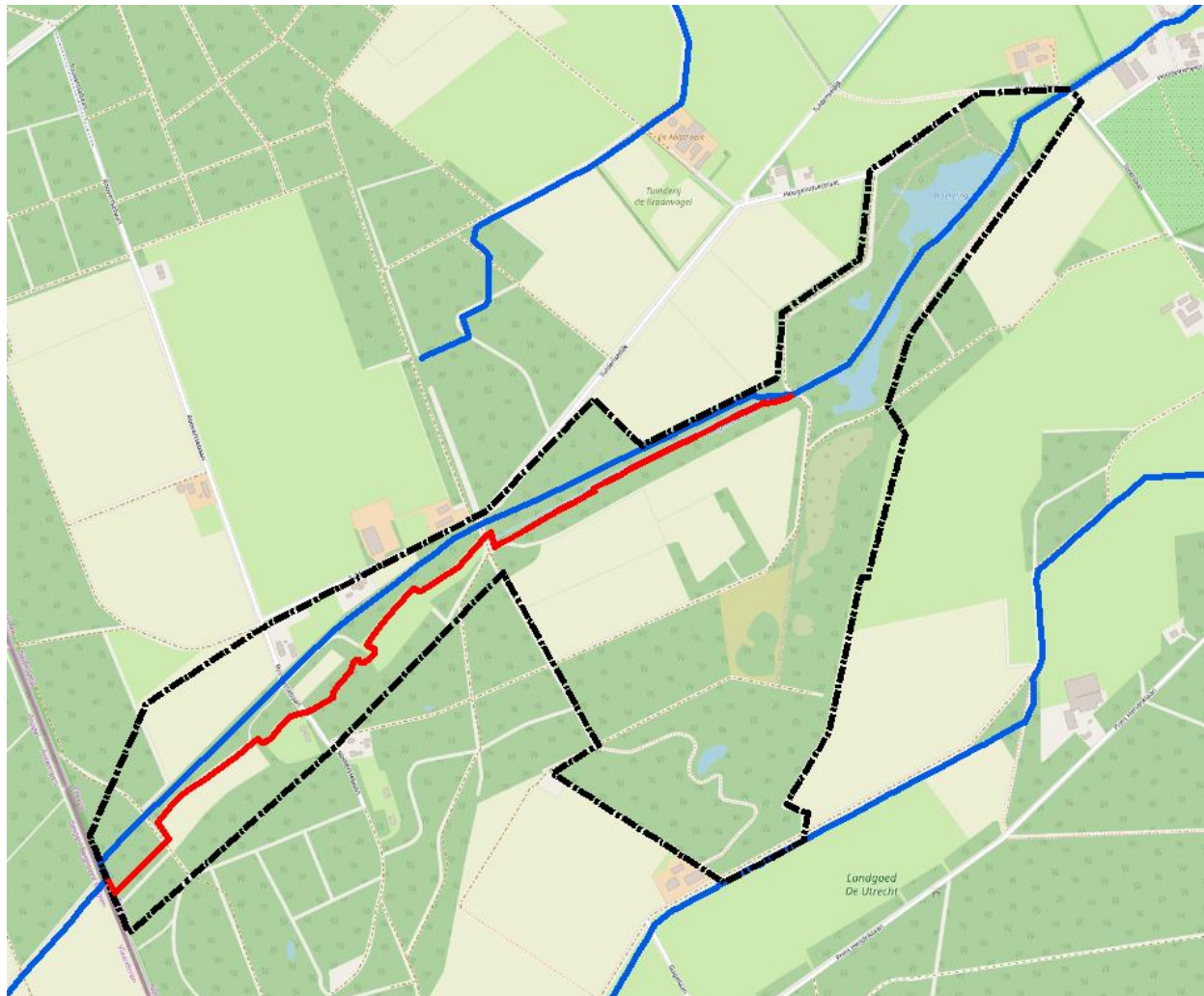
- Huidig klimaat (HK): T=1, T=10, T=25, T=50 en T=100.
- Klimaatverandering, Warm, Hoge waarde (Wh): T=100

Modeldoel:

- Inzicht in waterstanden, debieten en stroomsnelheden in de watergangen bij hoogwatersituaties
- Inzicht in inundatie, waterstanden en waterdiepte maaiveld interessegebied
- Inzicht in het verschil tussen de referentie- en scenario situaties op basis van bovenstaande inzichten.

2.2.4 Modelscenario's

Er is één modelscenario gedefinieerd. Hierbij wordt de oude ligging van de Hoogeindse Beek weer in gebruik genomen (zie Figuur 2-2).



Figuur 2-2: Ligging scenariowaterloop (rood).

3 Uitgangspunten modellering

3.1 Kunstwerken en duikers

In het model zijn verschillende duikers en stuwen opgenomen. De locaties hiervan zijn weergegeven in Figuur 3-1 en Figuur 3-2. De stuwstanden staan vermeld in Tabel 3-1. Van de stuwen zijn er een aantal waarbij de stuwstand varieert gedurende het jaar, deze zijn in het groen aangegeven.



Figuur 3-1: Locaties van de duikers.



Figuur 3-2: Locaties van de stuwen.

Tabel 3-1: Stuwstanden, in groen de stuwen met een variërend peil.

Naam	Winter	Voorjaar	Zomer	Najaar
RS123-dr1	21.37	21.37	21.37	21.37
RS331-DRP10	16.39	16.39	16.39	16.39
RS331-DRP11	19.38	19.38	19.38	19.38
RS123-st2	18.26	18.26	18.26	18.26
RS123-st3	17.4	17.4	17.55	17.55
RS123-st1	19.4	19.4	19.7	19.7
RS123-st5	16.2	16.2	16.3	16.3

RS331-st1	19.97	19.97	19.97	19.97
RS123-st4	16.3	16.3	16.55	16.55
RS332-st1	20.62	20.62	20.82	20.82
RS123-st6	15	15	15.15	15.15
RS328-st2	17.97	17.97	17.97	17.97
RS327-ST1	18.32	18.32	18.32	18.32
RS328-st1	18.6	18.6	19.65	19.65

3.2 Profielen

De watergangen in het traject in België zijn in 2016 ingemeten en deze profielen zijn verwerkt in het model. Voor de overige watergangen zijn geen recente inmetingen beschikbaar. Deze profielen zijn afkomstig uit 2002.

Het ven is opgenomen als een waterloop met een breedte van 100 meter en een maximale diepte van 1 m. De bodem van het ven ligt op 20.87 m+NAP.

3.3 Ruwheid

De waterlopen in het SOBEK-model hebben onderling geen variërende ruwheid. Er is wel variatie van de ruwheid tussen de seizoenen opgenomen. Hierbij is aangesloten bij de uitgangspunten van het HMI welke horen bij middelbrede landbouwwatergangen. De gemodelleerde weerstanden zijn:

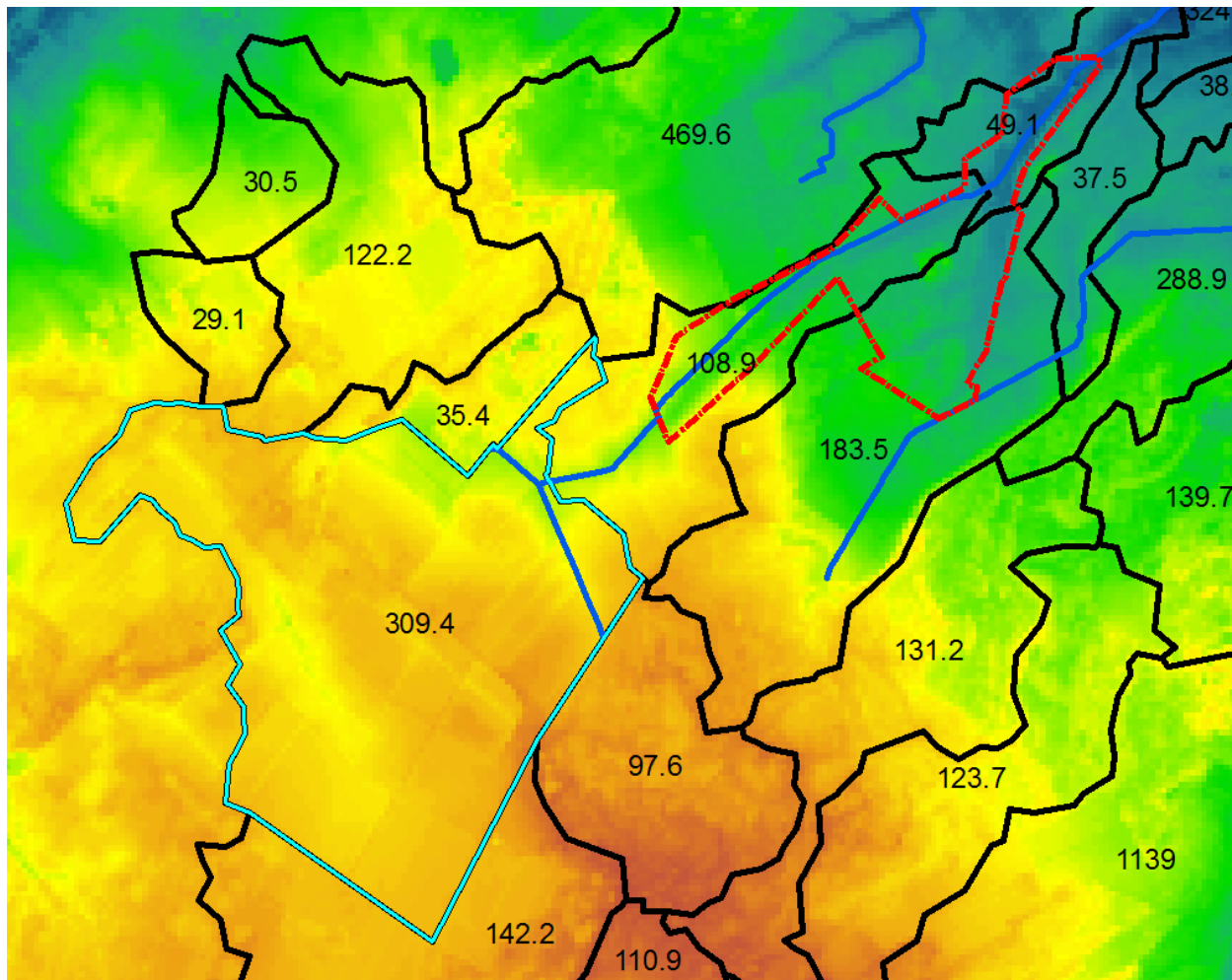
- Zomer en najaar: Ks 19
- Winter en voorjaar: Ks 25

3.4 Afvoeren

Er komt op een verschillende plaatsen water het model binnen. Figuur 3-3 geeft deze locaties weer. Er is hierbij onderscheid tussen afvoer vanuit landelijk gebied (gele blokjes) en vanuit het stedelijk gebied (rode blokjes). Elk blokje is representatief voor een ander afwaterend gebied. Het vanuit België afwaterende oppervlak is in beeld gebracht op basis van een veldbezoek. Er is daarna op basis van een GIS analyse een totaal oppervlak van ca 309 ha bepaald (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). In totaal watert er in het model een oppervlak van 534 ha af op de RS123 vóór kunstwerk RS123-st1. Ter vergelijking: op de RS326 watert 428 ha af.



Figuur 3-3: Locaties van de afvoeren. Geel: landelijke afvoer, rood: stedelijke afvoer.



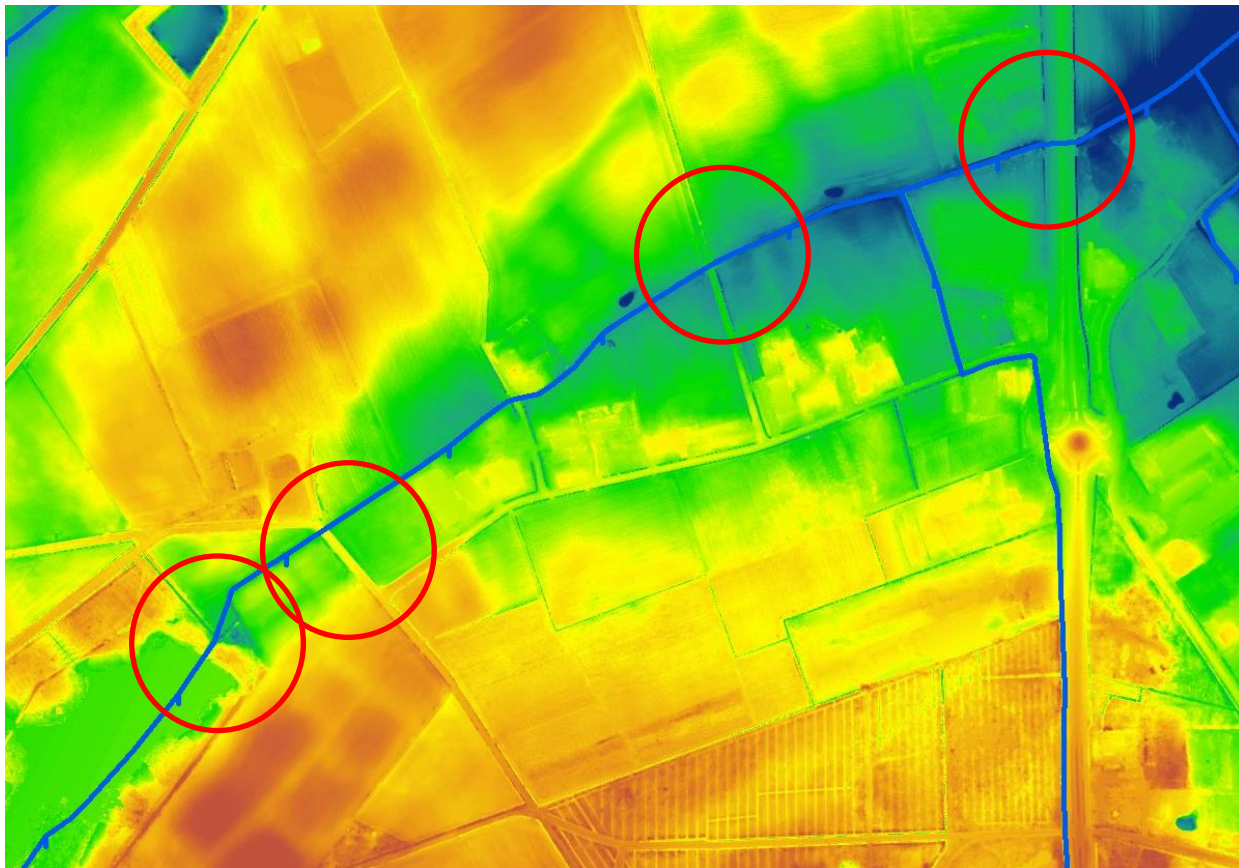
Figuur 3-4: Op de Hogeindse Beek afwaterend gebied vanuit België (geselecteerde polygon). Getallen geven oppervlak weer in hectares. De rode stippellijn geeft het projectgebied weer.

3.5 Dynamisch

Het stationaire model voor de wintersituatie is gebruikt als basis voor het dynamische model. Hier zijn de volgende aspecten nog aan toegevoegd:

- Maaiveldgrid
- Ruwheidsgrid

Analyse van het AHN3 laat zien (Figuur 3-5) dat er een aantal hoge elementen (wegen etc) in het gebied zijn welke bij inundaties zullen zorgen voor opstuwing van water. In de modelberekening wordt gerekend met een zeer grof maaiveldsgrid (25x25 m). Hierdoor hebben deze kerende elementen soms een andere hoogte (zowel lager als hoger) dan in werkelijkheid. Voor het doorrekenen van modelscenario's is het grove maaiveldsgrid bruikbaar, er dient echter rekening te worden gehouden met het feit dat dit onzekerheden geeft.

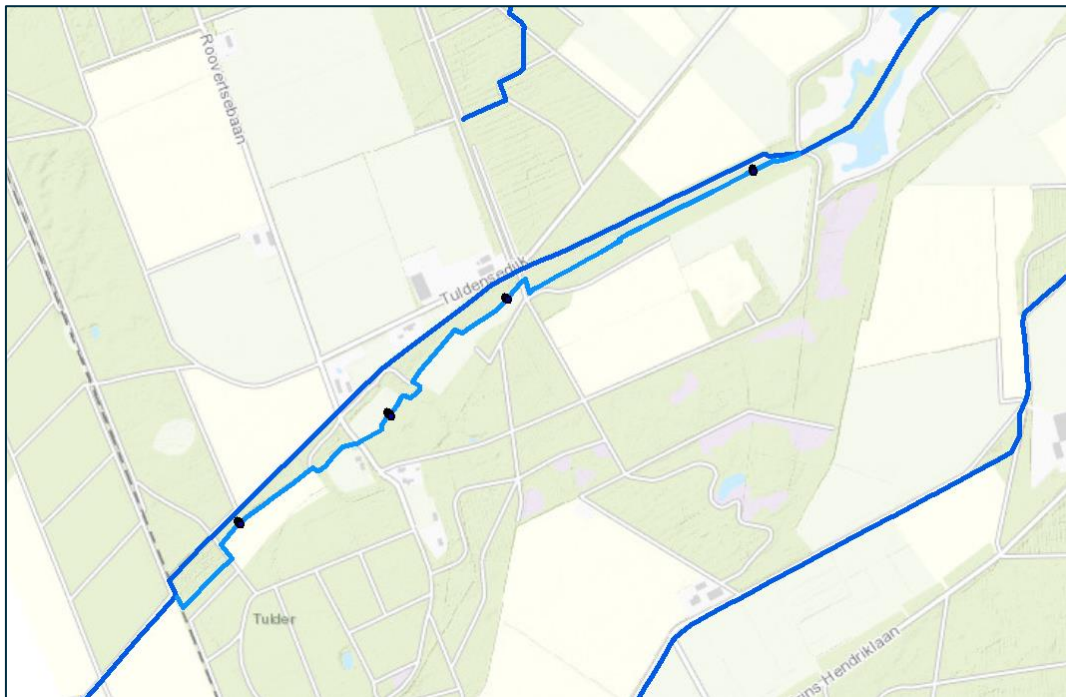


Figuur 3-5: Maaiveldhoogte op basis van AHN3. Aangegeven zijn een aantal hoge elementen die stroming over maaiveld tegen houden.

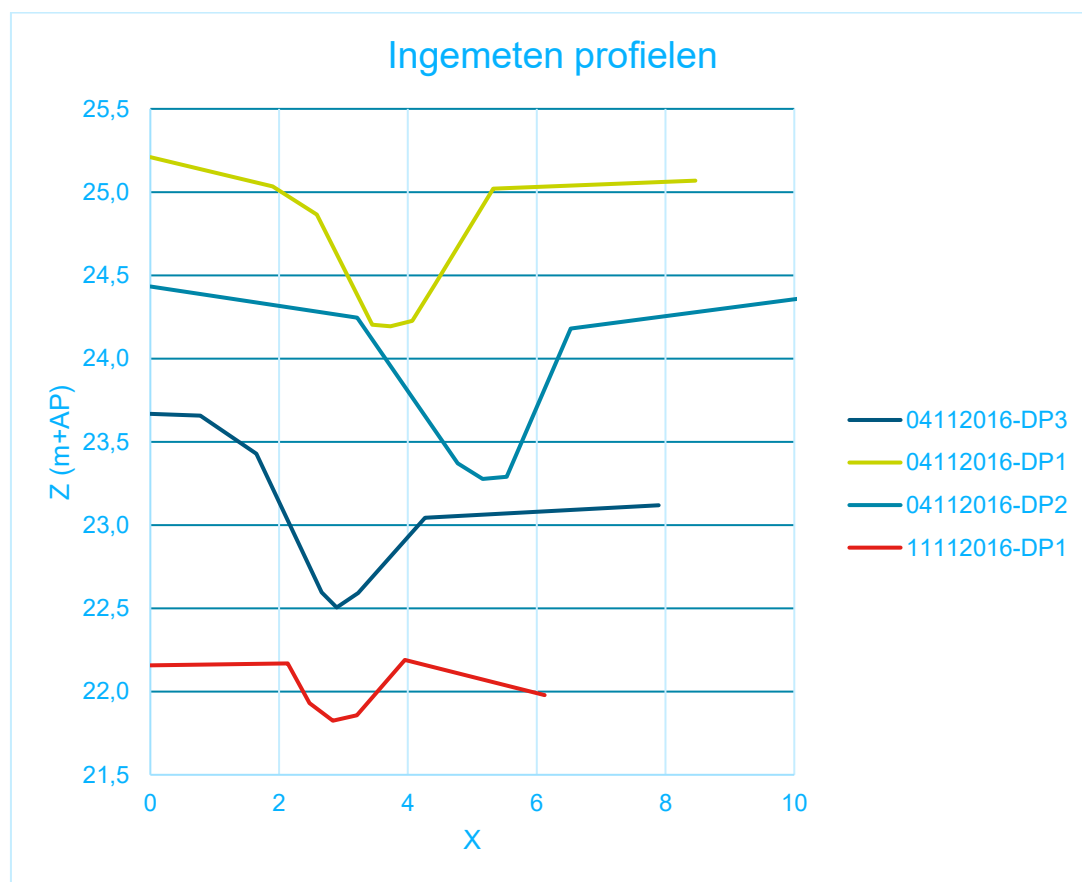
3.6 Uitgangspunten scenario

De oorspronkelijke ligging van de Hoogeindse Beek is gebaseerd op basis van de hoogte van het maaiveld. Verder zijn er inmetingen verricht van de bodemhoogte en op een 4-tal locaties zijn dwarsprofielen bepaald van de nog in het veld zichtbare watergang. De locaties en dwarsprofielen worden getoond in respectievelijk Figuur 3-6 en Figuur 3-7. Figuur 3-8 toont het gemodelleerde verloop van de bodemhoogte voor de te herstellen Hoogeindse Beek. Deze is gebaseerd op de bodemmetingen. De gemodelleerde ruwheid is gebaseerd op de uitgangspunten van het HMI. Hierbij is uitgegaan van watergangen getypeerd als 'natuur' waarbij de breedte van de insteek is gebruikt om de classificatie midden en smal te definiëren. De ruwheid van de verschillende tracés is weergegeven in Tabel 2-2.

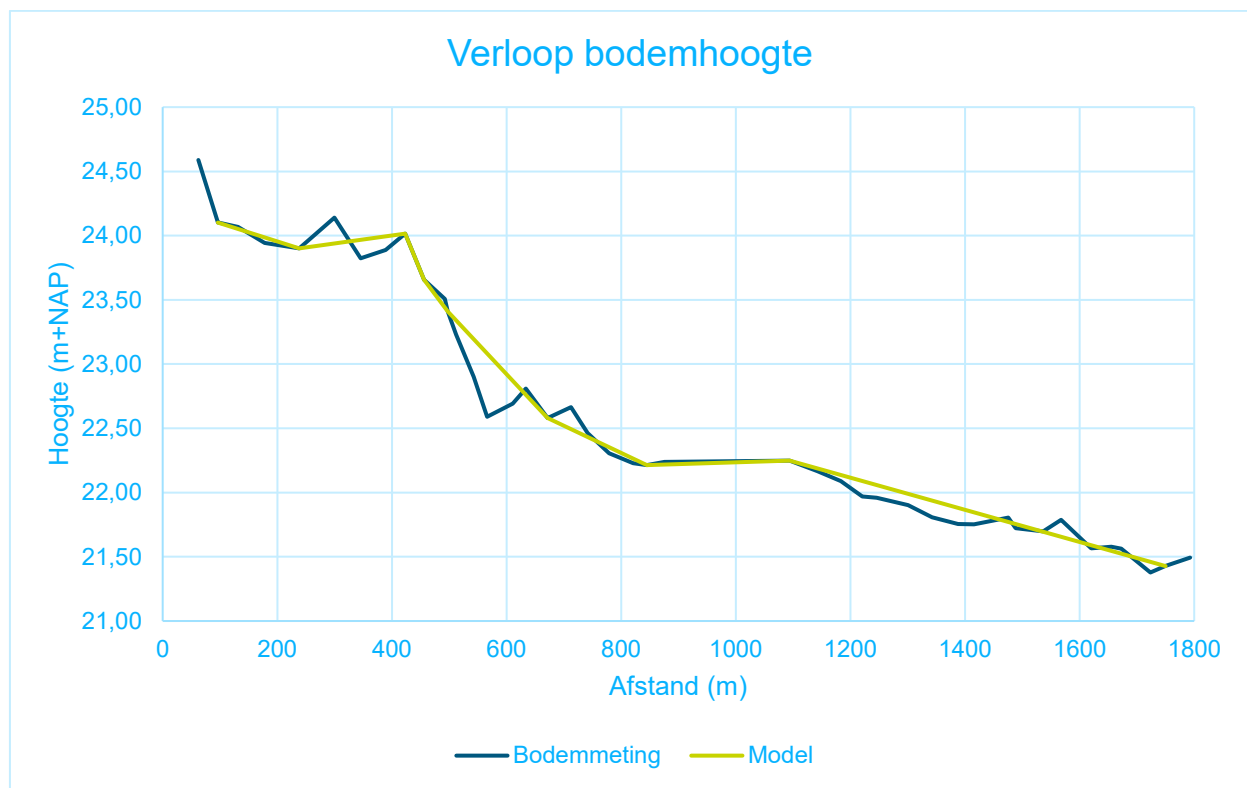
In de modelberekening is de oorspronkelijke ligging van de Hoogeindse Beek verwijderd.



Figuur 3-6: Locaties van de ingemeten dwarsprofielen.



Figuur 3-7: Ingemeten dwarsprofielen van de Hoogeindse Beek. De locaties zijn weergegeven in figuur 2.6. Hierbij is het bovenste profiel in de figuur de meest zuidelijke en de onderste de meest noordelijke.



Figuur 3-8: Verloop bodemhoogte, op basis van de metingen en de daaruit afgeleide bodemhoogte voor het model.

Tabel 3-2: Gemodelleerde ruwheid.

Profiel	Breedte (insteek) in m	Ruwheid (Ks) (z/n/w/v)
04112016-DP1	3.42	14/20/25/20
04112016-DP2	3.31	
04112016-DP3	2.62	
11112016-DP1	1.82	10/15/18/15

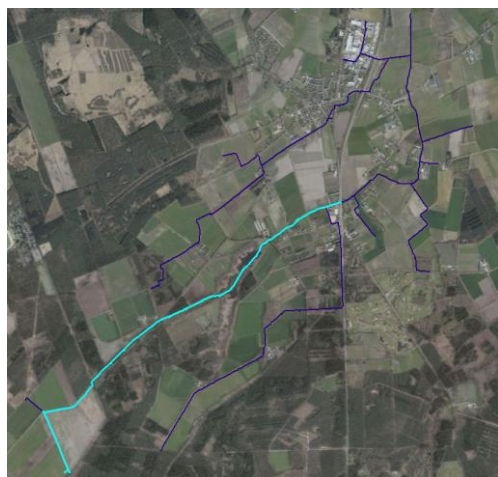
4 Resultaten huidige situatie

De huidige situatie is met de modellen doorgerekend. De volgende subparagrafen bespreken de modelresultaten.

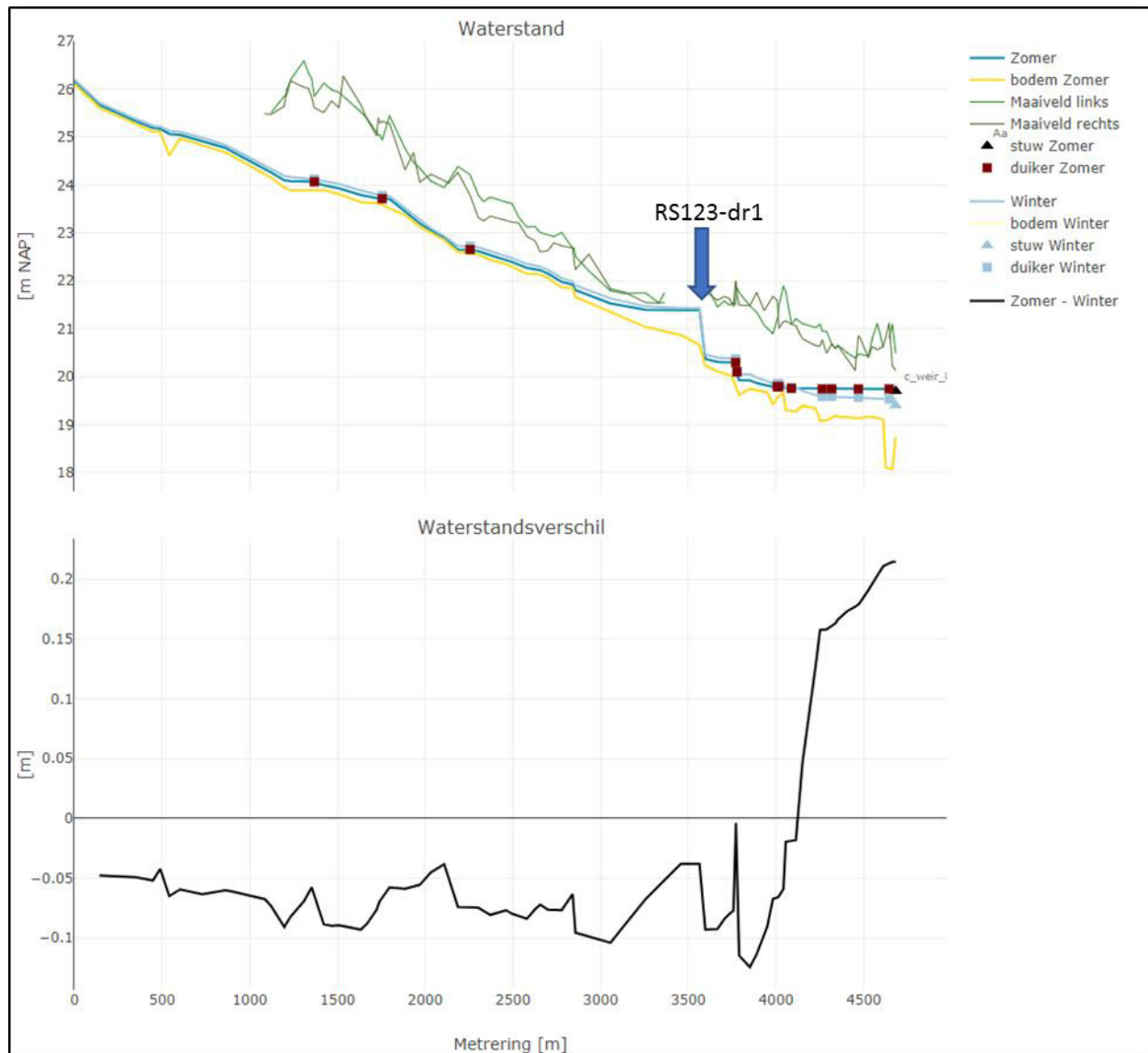
4.1 Waterstand

Er is sinds 08/02/2019 een meetpunt actief, gelegen op de Nederlands/Belgische grens. Hieruit is op basis van de maanden februari en maart een mediane winterwaterstand bepaald. De tijdreeks is nog niet lang genoeg om een representatieve voorjaarswaterstand te bepalen. De gemeten mediane winterwaterstand is 24,20 m+NAP, de gemodelleerde winterwaterstand is 24,17 m+NAP. Op basis van de meetreeks lijkt de gemodelleerde winterwaterstand dus goed overeen te komen met de metingen.

De gemodelleerde waterstanden zijn weergegeven langs een lengteprofiel (Figuur 4-2). De locatie van dit traject staat in Figuur 4-1. De waterdiepte in het projectgebied is zeer laag. Dit is het gevolg van de combinatie van een geringe instroom, een relatief groot profiel en het grote verhang. De waterstand in de winter varieert tussen de 10 en 20 cm. In de zomer is de waterstand lager, ca 5 – 10 cm. In de werkelijkheid valt de Hogeindse Beek vaak droog, dit is echter niet te berekenen met een stationaire berekening. Het enige deel met een grotere waterdiepte is het ven en het traject achter het ven. De waterstand wordt hier volledig bepaald door de stuw. De drempelhoogte van deze stuw zorgt ervoor dat de waterstand nauwelijks afhangt van de bovenstroomse afvoer en jaarrond min of meer gelijk blijft. In werkelijkheid zakt het peil in het ven in droge zomers uit tot onder de stuwhoogte op het moment dat de Hogeindse beek geen water meer aanvoert.



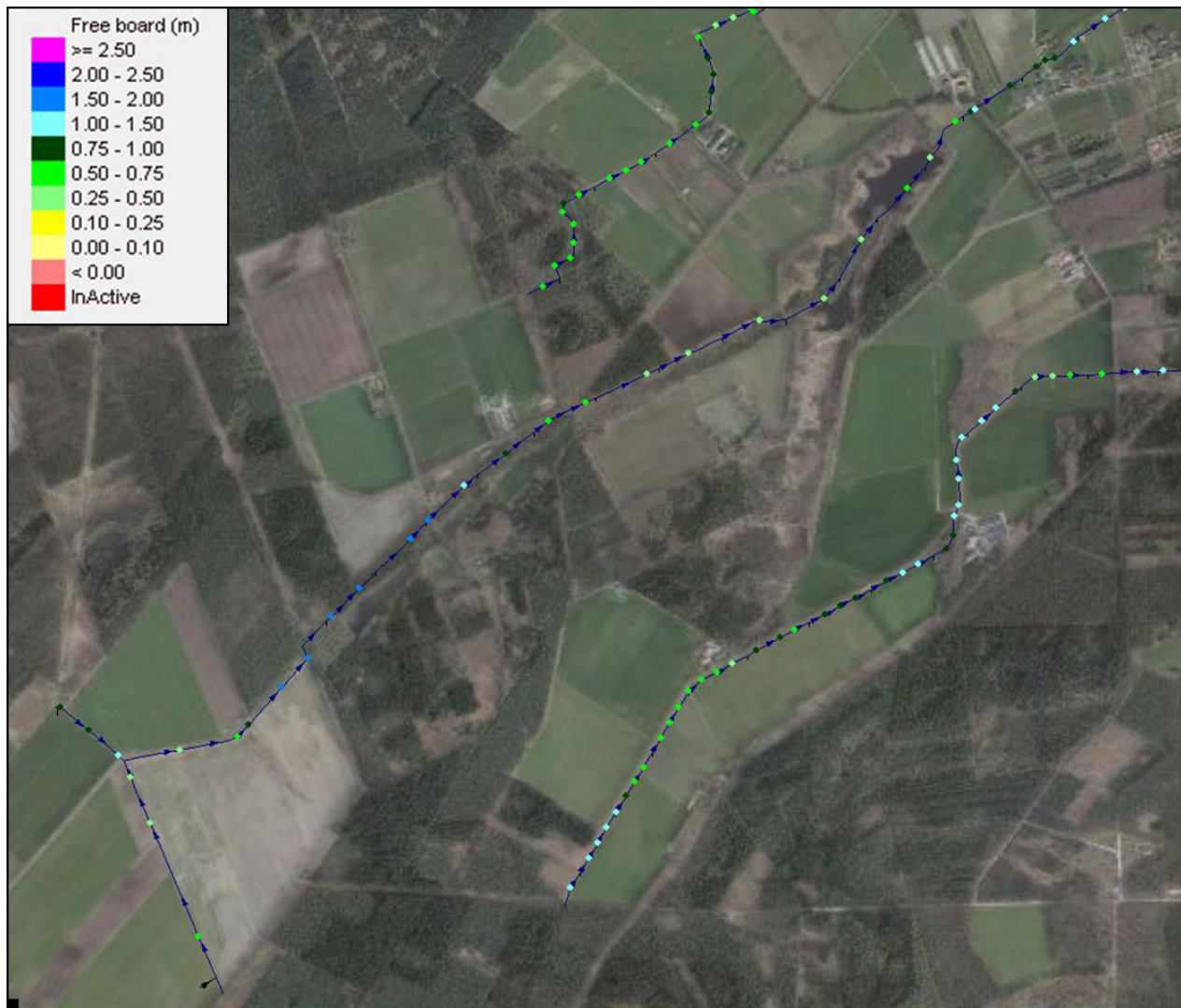
Figuur 4-1: Locatie langspoorprofiel.



Figuur 4-2: Waterstand in de Hooeindse Beek voor de zomer en wintersituatie. Onder het verschil in waterstand (zomer - winter).

4.2 Drooglegging

De maaiveldhoogte aan weerszijden van de Hooeindse Beek is ook weergegeven in Figuur 4-2. Hieruit kan de drooglegging worden afgeleid. Het maaivelddeel van België is hier echter niet ingetekend. De (winter)drooglegging op basis van de insteek zoals opgenomen in het SOBEK-model wordt ook gepresenteerd in Figuur 4-3. Duidelijk is het verschil in drooglegging langs de beek. In België is de drooglegging 25-75 cm. In het bovenstroomse Nederlandse deel snijdt de Hooeindse Beek diep in, met droogleggingen van 1.5 – 2 m. Verder stroomafwaarts, richting het ven, neemt de drooglegging af tot ca 10-20 cm.



Figuur 4-3: Drooglegging wintersituatie.

4.3 Afvoer

Tabel 4-1 laat de afvoeren over twee verschillende kunstwerken zien voor verschillende afvoersituaties. De locatie van de kunstwerken staan in Figuur 3-2. Er is in de gemiddelde wintersituatie afvoer over de stuw bij het ven Broekeling (RS123-dr1), 55 l/s. In de zomer is de afvoer kleiner maar desondanks wel aanwezig, 11 l/s. Dit is in werkelijkheid echter niet het geval en een artefact van de stationaire modellering. Tijdens een neerslagevent met een herhalingstijd van 1 jaar is de afvoer 333 l/s en bij een herhalingstijd van 10 jaar is dit met 680 l/s meer dan het dubbele. Tijdens een T100 neemt dit toe tot 1080 l/s.

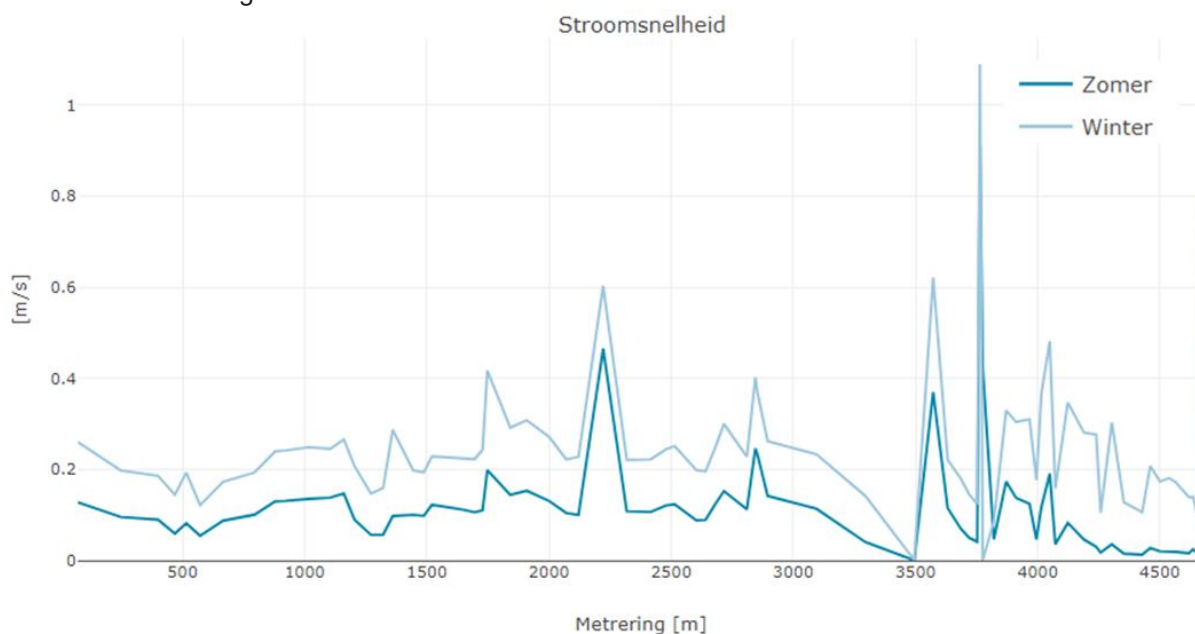
Vlak voor kunstwerk RS123-st1 takt de A-watgang RS326 bij de RS123 aan. De afvoer neemt dan ongeveer met een factor 2 toe. Wanneer wordt gekeken naar de afwaterende oppervlaktes van de RS123 bovenstrooms van st-1 en de RS326 dan lijkt dit plausibel. Opvallend is dat bij de T100 berekening de afwatering bij de st-1 niet het dubbele is van de afvoer over dr-1. Uit Figuur 4-5 kan worden afgeleid dat dit komt door dat er via maaiveld een kortsluiting ontstaat bij herhalingstijden groter dan T25. Hierdoor neemt de afvoer uit de RS326 af en de afvoer in de RS123 toe.

Tabel 4-1: Afvoeren (l/s) voor verschillende situaties over twee kunstwerken.

	RS123-dr1	RS123-st1
T1	333	717
T10	680	1436
T100	1080	1698
Winter	55	120
Zomer	11	24

4.4 Stroomsnelheid

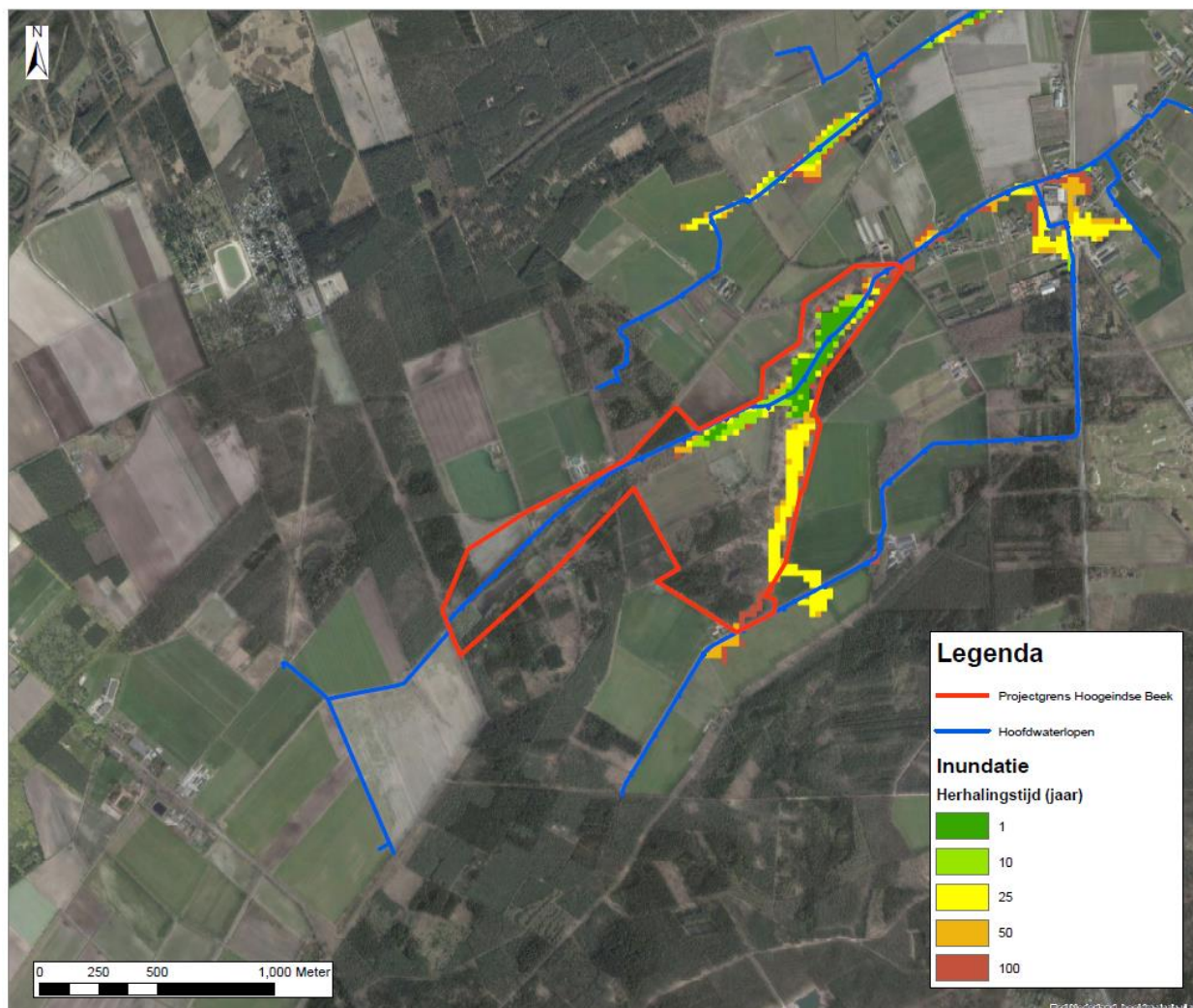
Figuur 4-4 geeft de stroomsnelheid in de winter en zomersituaties weer. In de zomersituatie ligt de stroomsnelheid met 5-15 cm/s lager dan in de wintersituatie (ca 20 cm/s). Op een aantal locaties is de stroomsnelheid wat groter.



Figuur 4-4: Stroomsnelheid Hoogeindse Beek. Locatie lengteprofiel staat in Figuur 4-1.

4.5 Inundaties

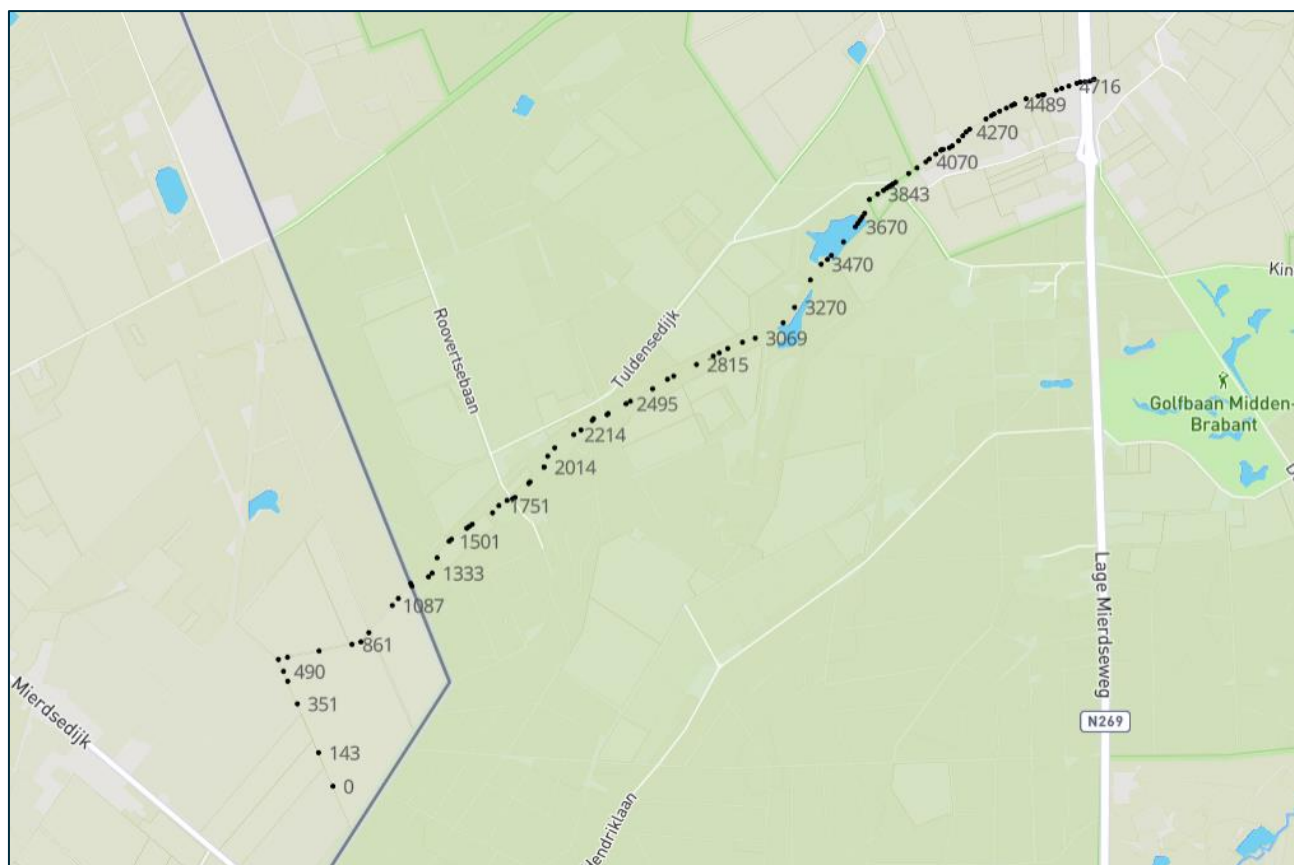
De uitkomsten van de inundatieberekeningen worden getoond in Figuur 4-5. Het model rekent snel (< 1 uur per herhalingsstijg). In de T10 situatie begint het benedenstroomse deel van de Hoogeindse Beek (voordat het overgaat in ven Broekeling) te inunderen. Vanaf de T25 situatie treedt de RS326 buiten zijn oevers, waardoor er via maaiveld een kortsluitstroming ontstaat richting de Hoogeindse Beek.



Figuur 4-5: Inundaties Huidige Situatie.

5 Resultaten scenario

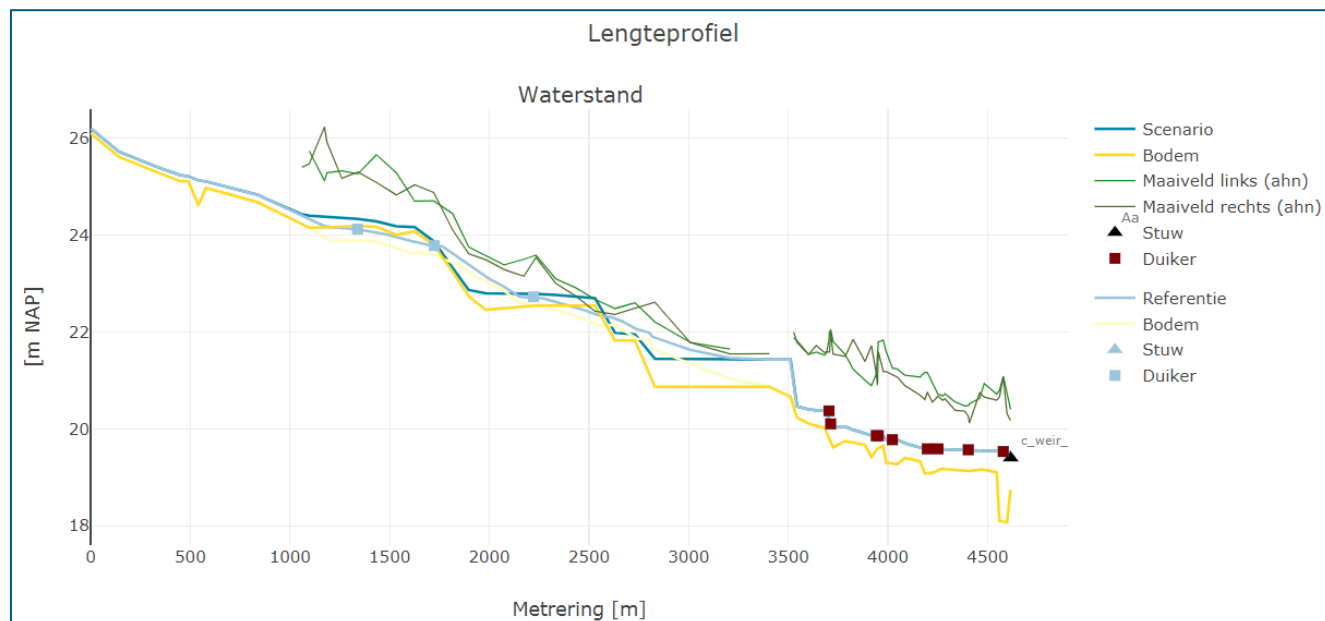
De resultaten van de waterstand en stroomsnelheid worden getoond op basis van een langprofiel. De ligging van dit langprofiel wordt weergegeven in onderstaand figuur. Het projectgebied begint bij 1087, het Ven Broekeling begint bij 3069.



Figuur 5-1: Locatie langprofiel.

5.1 Waterstand

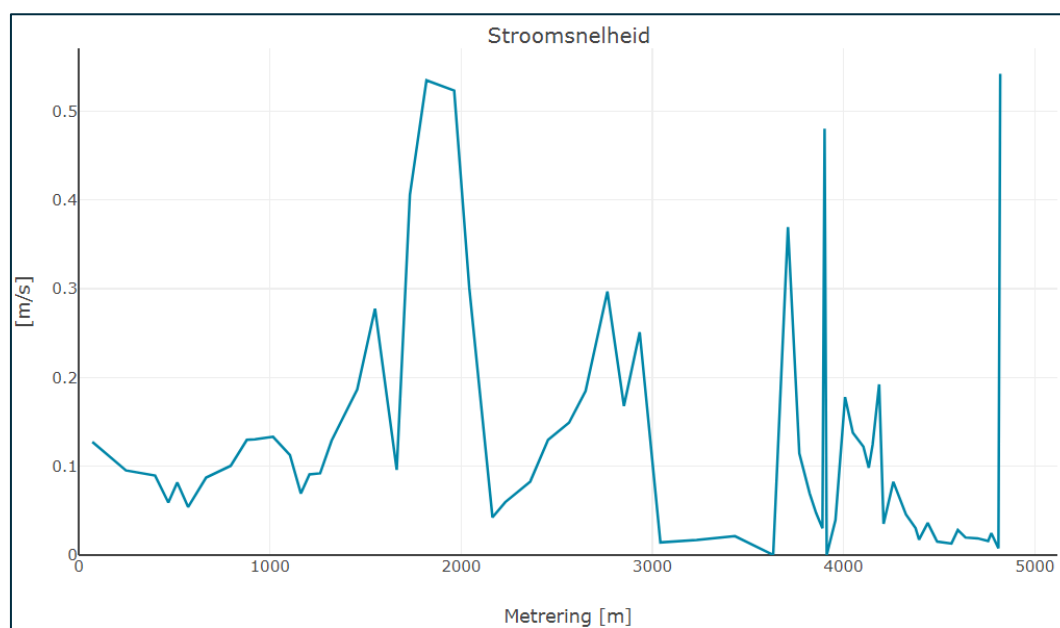
De waterstand wordt weergegeven in Figuur 5-2. Zichtbaar is dat er geen effecten op de waterstand zijn links van X=1000. Dit betekent dat er geen effecten te verwachten zijn in België. De overige effecten zijn volledig verklaarbaar op basis van de bodemhoogte van de scenariowaterloop.



Figuur 5-2: Waterstand winter, voor het scenario en de huidige situatie.

5.2 Stroomsnelheid

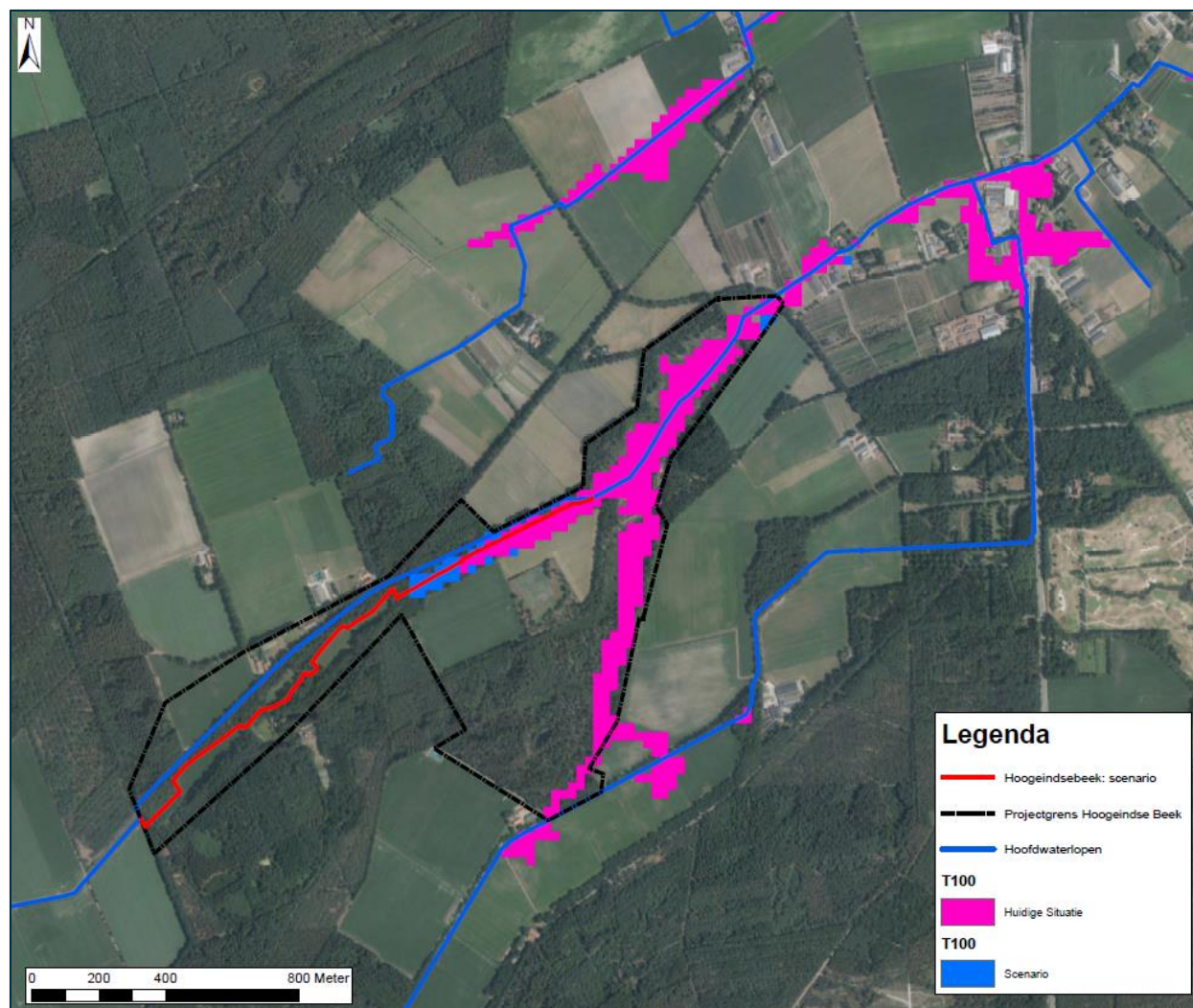
De stroomsnelheid (zomer) is weergegeven in onderstaand figuur. Het projectgebied begint bij ca $x=1000$ m. Daar waar de stroomsnelheid afneemt tot bijna 0 m/s (ongeveer bij $x=3000$ m) begint het Ven Broekeling. Tussen $X=1000$ en $X=3000$ ligt de scenario waterloop. Door de grote variaties in bodemverhang ontstaan er locaties met relatief hoge stroomsnelheden (>0.2 m/s).



Figuur 5-3: Stroomsnelheid zomer, scenario.

5.3 Inundatie

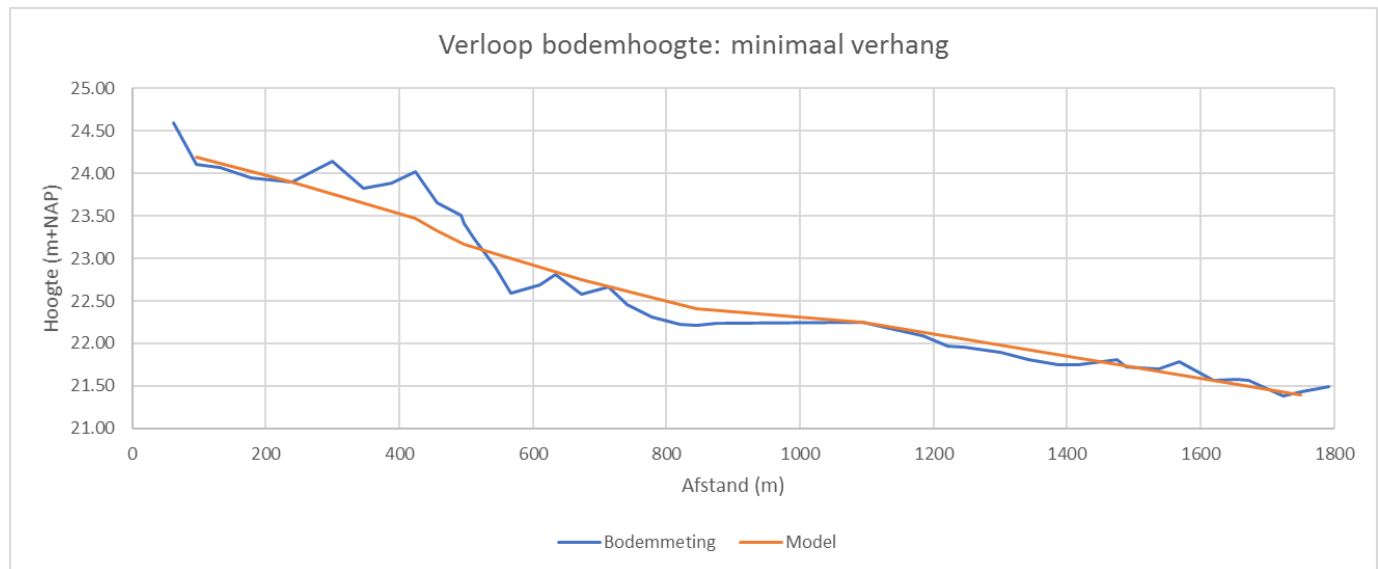
Figuur 5-4 toont het effect van het scenario op de inundatie bij een T100-bui. Hieruit valt af te leiden dat het effect minimaal is. Door het kleinere profiel in het benedenstroomse deel van de scenariowaterloop treedt hier eerder inundatie op. De totale extra inundatie t.o.v. de huidige situatie is echter niet significant.



Figuur 5-4: Effect scenario op T100 inundatie.

5.4 Aanvullende analyse: minimaal bodemverhang

De bodem van de scenariowaterloop verloopt plaatselijk zeer steil. Het valt daarom te verwachten dat de Hoogeindse Beek zich daar sterk zal gaan insnijden. Er is daarom een berekening gedaan waarbij het bodemverhang van de Hoogeindse beek is geminimaliseerd. Het gemodelleerde bodemverloop is weergegeven in Figuur 5-5. Uit de berekeningen blijkt vervolgens dat ook wanneer er wordt gerekend met het minimale bodemverhang er geen hydrologische effecten worden berekend in België.



Figuur 5-5: Minimaal bodemverhang.

Bijlage A – analyse grondwatermodel

1 Introductie

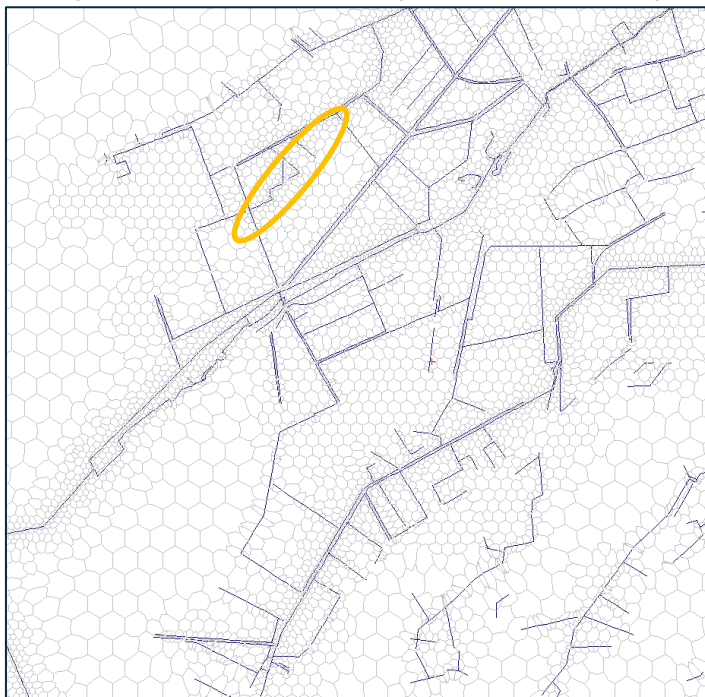
In deze notitie is het grondwatermodel van de Utrecht voor de omgeving van de Hogeindse Beek gevalideerd. N.a.v. deze analyse is besloten niet over te gaan tot een grondwatermodellering voor het project Hogeindse Beek.

2 Modelvalidatie

2.1 Modelgrid

Het model van de Utrecht heeft ca 150.000 rekenknopen. Hierdoor rekent het model zeer traag en zijn de outputbestanden altijd zeer groot. Het wordt dus zeer aanbevolen om voor de Hogeindse Beek een nieuw, kleiner, deelmodel op te bouwen. Voor de Hogeindse Beek kan worden volstaan met een modelgrens zoals weergegeven in onderstaande figuur. In dit nieuwe model kan ook in België met een fijner grid worden gerekend zonder dat dit tot buitensporige rektijden hoeft te leiden.

De filtering en het grid lijkt in het grondwatermodel van de Utrecht in orde te zijn. Er ontstaan een aantal 'kortsluitingen' tussen greppels welke aan weerszijde van een weg zijn gelegen (oranje omcirkelt in figuur 3), deze greppels hebben vergelijkbare peilen/bodemhoogtes (al voor filtering). Afhankelijk van het detailniveau van een nieuw grondwatermodel voor de Hogeindse Beek kan dit nog worden verbeterd.



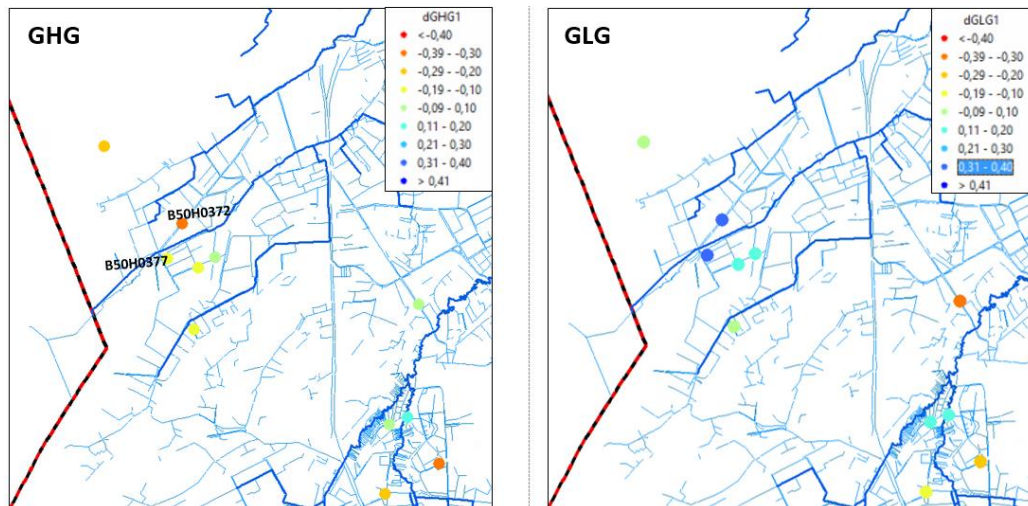
Figuur 2-1: Node influence areas nabij de Hogeindse Beek.

2.2 Residuen

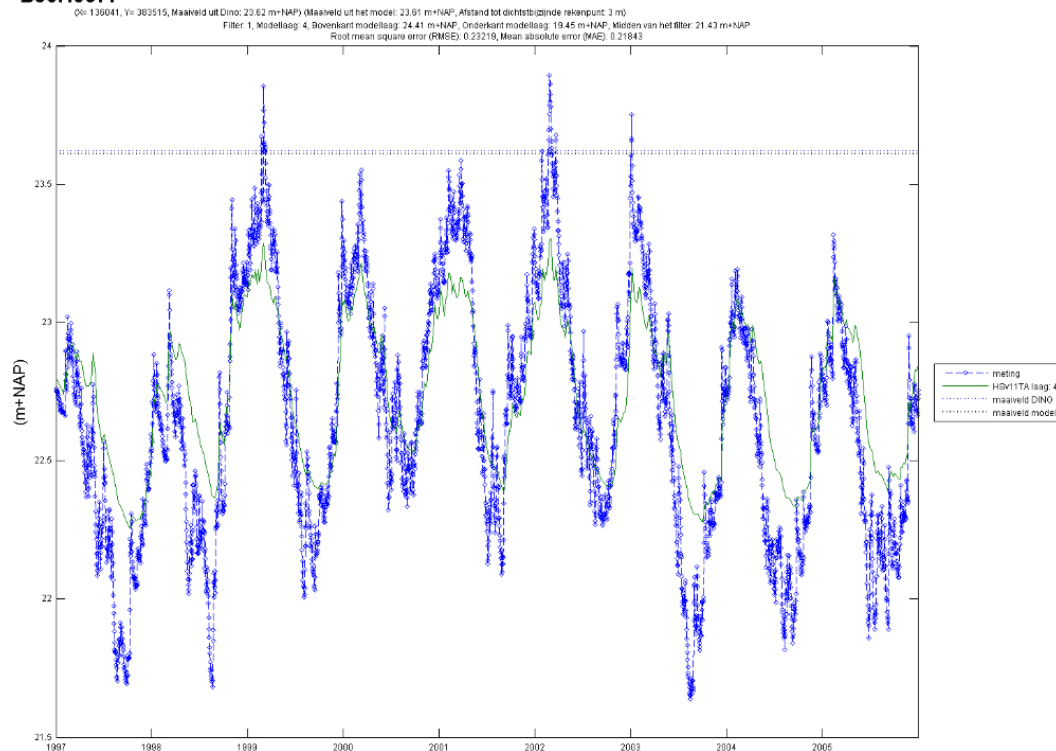
De residuen van het grondwatermodel de Utrecht in de omgeving van de Hogeindse Beek zijn weergegeven in figuur 2.2. Hieruit volgt dat de berekende dynamiek niet goed overeenkomt met de metingen:

- De berekende GLG is te hoog
- De berekende GHG is te laag

Nadere analyse van meetpunten B50H0377 en B50H0372 geven aan dat de grondwaterstanden structureel te laag worden berekend in de winter en te hoog in de zomer. De oppervlaktewaterpeilen fluctueren hier echter nauwelijks (zie ook rapportage oppervlaktewatermodellering Hoozeindse Beek). Het blijkt dat de waterlopen wel veel grondwater afvoeren (QRI.ado). Een andere oorzaak kan liggen in de doorlatendheden. Modelverbetering lijkt hier haalbaar.

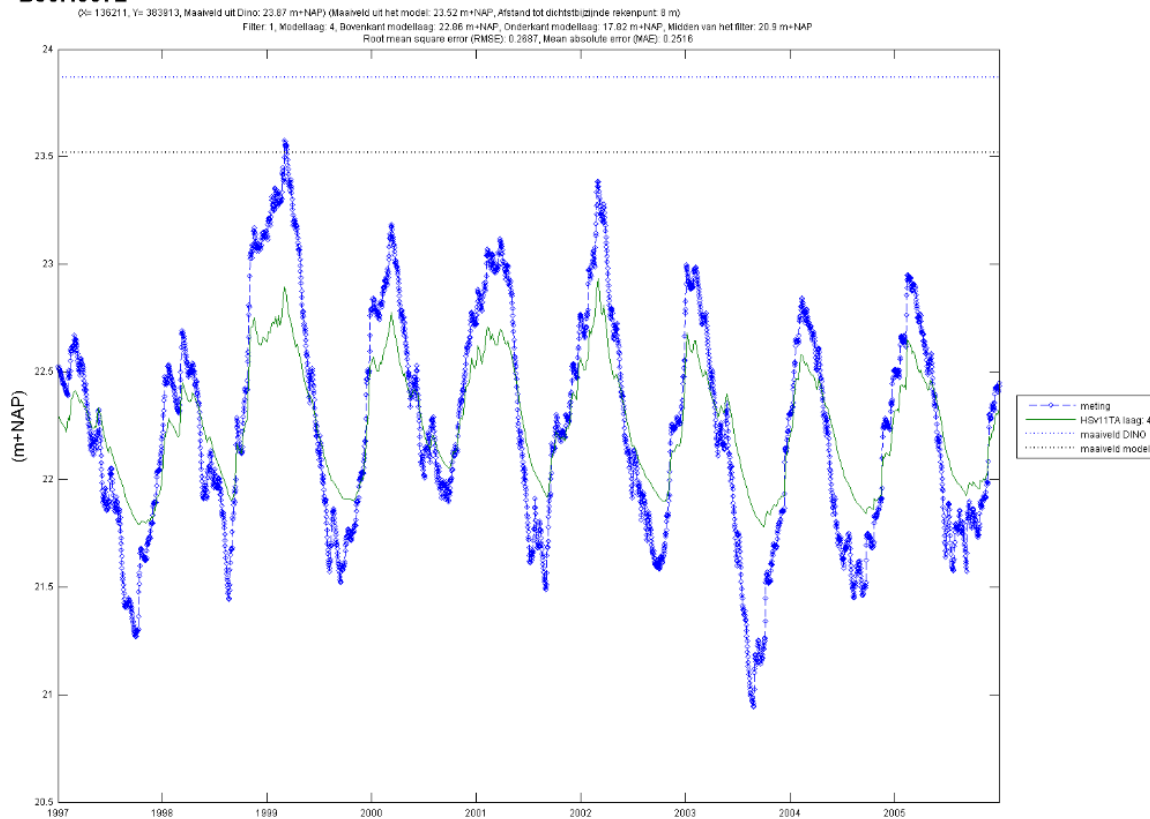


Figuur 2-2: Residuen van het grondwatermodel de Utrecht ter plaatse van de Hoozeindse Beek.
B50H0377



Figuur 2-3: Tijdreeks van de gemeten en berekende grondwaterstand in meetpunt B50H0377.

B50H0372



Figuur 2-4: Tijdsreeksen van de gemeten en berekende grondwaterstand in meetpunt B50H0372.

2.3 Detailafwatering

Er is recent (2016/2017) een inmetingsronde van de detailwatergangen in het projectgebied geweest. Deze watergangen zijn allemaal opgenomen in het grondwatermodel van de Utrecht. Er zijn echter een aantal zones waar watergangen niet zijn opgenomen in het grondwatermodel (Aalstuinen en Roversche Heide) en welke dus ook niet zijn ingemeten. We raden aan om deze watergangen wel op te nemen in het grondwatermodel van de Hoozeindse Beek. Er moet gezamenlijk worden afgestemd of inmeting hiervan wenselijk is en, gezien de planning, eventueel nog haalbaar is.

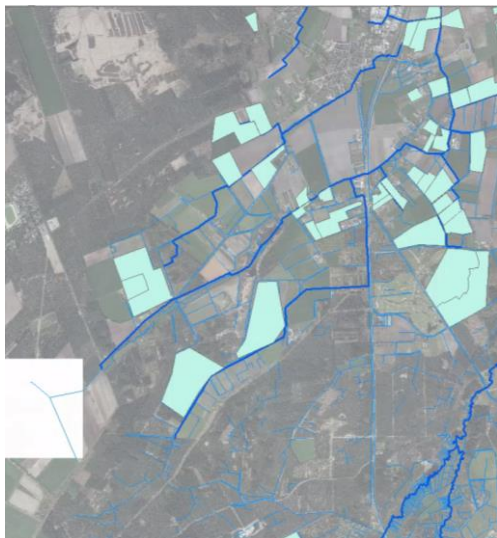
2.4 Ven Broekeling

Het ven is opgenomen als brede watergang met peilen vanuit SOBEK. Het is de vraag of de bodemweerstand van het ven goed wordt gemodelleerd. Er wordt hier in het model van de Utrecht gerekend met het maaiveld als drainageniveau. Dit afwateringsniveau ligt echter met ca 21.5m+NAP hoger dan de drempelhoogte van het ven.

De bodem van het ven is niet goed opgenomen in het model waardoor er geen realistische berging in het ven wordt gemodelleerd.

2.5 Drainagevlakken

In onderstaande figuur zijn de drainagevlakken weergegeven zoals ze zijn opgenomen in het model. Er moet worden gecontroleerd of dit juist is.



Figuur 2-5: Drainagevlakken.

2.6 België

De aansluiting van de Nederlandse op de Belgische geologie is in het regionaal model van de Dommel opgenomen (DoRegMod 2014). Mogelijk zitten hier wat hiaten in, maar het is in dit project niet haalbaar dit te verbeteren. Het topsysteem van België is echter niet gedetailleerd in het model opgenomen. Dit moet in het grondwatermodel van de Hoogeindse Beek wel gebeuren. Er lijken net over de grens in Vlaanderen ook een aantal grote drinkwaterwinningen te zijn. Deze zijn nu deels opgenomen in het grondwatermodel van de Utrecht. Deze winningen hebben mogelijk invloed op de grondwaterstanden in het projectgebied. We raden aan de gemodelleerde debieten en de locatie van onttrekkingen in dit gebied te controleren en waar nodig aan te passen in het grondwatermodel.

3 Aanbevelingen

Het blijkt dat er slechts één belanghebbende in het projectgebied aanwezig is welke mogelijk negatieve effecten kan ondervinden van het uitvoeren van het projectplan. Gezien de onzekerheden in het beschikbare grondwatermodel en de benodigde grote inspanning om dit te verbeteren raden wij aan geen grondwatermodellering uit te voeren. Het is beter de grondwaterstand nabij de belanghebbende te monitoren. Hiertoe moet voor aanvang van de werkzaamheden een nul-situatie worden vastgesteld. Na uitvoering van het projectplan moet de grondwaterstand blijven worden gemonitord voor een periode van minimaal vijf jaar waarna een evaluatie plaats vindt.

Bijlage B – Toetsing ambitiebeheertypes

In deze bijlage zijn vijf kaarten weergegeven. De eerste kaart toont de ambitiebeheertypes binnen het projectgebied van de Hoozeindse Beek. De overige 4 geven voor de GLG en de GVG de doelrealisatie (%) en het doelgat van de ambitiebeheertypes. Opgemerkt moet worden dat het berekende doelgat bij het vochtige hooiland (30-50 cm te droog in de GVG) in werkelijkheid kleiner is. Het grondwatermodel heeft daar namelijk in de wintersituatie (GHG) een afwijking van 10-20 cm.

ZIE PDF: [resultaten_waternood.pdf](#)