# MER Waterberging Diesdonk

## Bijlage 2. Hydrologie

22 april 2010
Definitief rapport
9T0705.A0

Waterschap Aa en Maas

# Hydrologische modellering waterberging Diesdonk

Waterschap Aa en Maas

12 april 2010
Conceptrapport
9T0705

A COMPANY OF

ROYAL HASKONING

HASKONING NEDERLAND B.V.
RUIMTELIJKE ONTWIKKELING

Boschveldweg 21
Postbus 525
5201 AM 's-Hertogenbosch
+31 (0)73 687 41 11 Telefoon
+31 (0)73 612 07 76 Fax
info@den-bosch.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

| | |
|---|---|
| Documenttitel | Hydrologische modellering waterberging Diesdonk |
| Verkorte documenttitel | Waterberging Diesdonk |
| Status | Conceptrapport |
| Datum | 12 april 2010 |
| Projectnaam | MER Diesdonk |
| Projectnummer | 9T0705 |
| Opdrachtgever | Waterschap Aa en Maas |
| Referentie | 9T0705/R00003/903592/BW/DenB |

| | |
|---|---|
| Auteur(s) | ir. P. Aalders, drs. C.M. Steinweg en ir. B.J. van der Wal |
| Collegiale toets | ir. R.G.J. Velner |
| Datum/paraaf | 13/4/2010 |
| Vrijgegeven door | drs. M. van Elswijk |
| Datum/paraaf | 13/4/2010 |

**INHOUDSOPGAVE**


| | | | Blz. |
|---|---|---|---|
| 1 | HYDROLOGISCHE MODELLERING DIESDONK | | 1 |
| | 1.1 | Inleiding | 1 |
| | 1.2 | Aanpak hydrologische modellering | 1 |
| | 1.3 | Systeembeschrijving | 1 |
| | 1.4 | Oppervlaktewatermodellering | 5 |
| | 1.4.1 | Metingen afvoeren en waterstanden | 6 |
| | 1.4.2 | Schematisatie van het oppervlaktewatersysteem | 6 |
| | 1.4.3 | Neerslagafvoerrelatie voor deelstroomgebieden | 7 |
| | 1.4.4 | IJking en modelresultaten hoogwater 1998 | 7 |
| | 1.5 | Grondwatermodellering | 10 |
| | 1.5.1 | Opbouw ondergrond | 11 |
| | 1.5.2 | Grondwateraanvulling | 15 |
| | 1.5.3 | Oppervlaktewater | 15 |
| | 1.5.4 | Metingen grondwaterstand en stijghoogte | 16 |
| | 1.5.5 | IJking en modelresultaten | 19 |
| | 1.5.6 | Huidige situatie | 20 |
| | 1.6 | Conclusies calibratie hydrologische modellering | 24 |
| 2 | BESCHRIJVING EN RESULTATEN REFERENTIE SITUATIE | | 25 |
| | 2.1 | Huidige situatie oppervlaktewater | 25 |
| | 2.2 | Referentiesituatie oppervlaktewater | 25 |
| | 2.3 | Resultaten berekeningen oppervlaktewater | 26 |
| | 2.4 | Autonome ontwikkeling grondwater | 28 |
| | 2.5 | Inundatie bij hoogwater | 30 |
| 3 | BESCHRIJVING LANDBOUW, NATUUR EN WATERBERGING+ ALTERNATIEF | | 32 |
| | 3.1 | Landbouwalternatief | 32 |
| | 3.2 | Natuuralternatief | 32 |
| | 3.3 | Waterberging+alternatief | 33 |
| 4 | RESULTATEN OPPERVLAKTEWATERMODELLERING ALTERNATIEVEN | | 34 |
| | 4.1 | Bepaling afvoergolven | 34 |
| | 4.2 | Bepaling van de inzet van het waterbergingsgebied | 35 |
| | 4.2.1 | Achtergrond | 35 |
| | 4.2.2 | Bepaling inzet Diesdonk | 35 |
| | 4.3 | Effecten van alternatieven | 37 |
| | 4.3.1 | Bergingscapaciteit | 37 |
| | 4.3.2 | Afvoer | 37 |
| | 4.3.3 | Waterstand | 38 |
| | 4.3.4 | Inundatie | 41 |
| | 4.4 | Conclusies oppervlaktewatermodellering | 42 |

5 EFFECTEN OP HET GRONDWATER 43
5.1 Inleiding 43
5.2 Effecten van de alternatieven op GHG en GLG 44
5.3 Effecten bij waterberging 45
5.4 Waterberging+alternatief effecten bij waterberging met compensatie 47
5.5 Conclusies 47

6 CONCLUSIES 49

7 LITERATUUR 50

BIJLAGEN
1. Dwarsprofielen huidige situatie en bij alternatieven
2. Methode beekherstel
3. Berekeningsresultaten afvoer en waterstanden
4. Overstromingskaarten

# 1 HYDROLOGISCHE MODELLERING DIESDONK

## 1.1 Inleiding

Dit achtergrondrapport is gemaakt in het kader van het MER Diesdonk. Waterschap Aa en Maas wil op het punt waar de Astense Aa uitmondt in de Aa, ten westen en noordwesten van Diesdonk (gemeente Asten) een waterberging realiseren. Het primaire doel van deze waterberging is het voorkomen van wateroverlast in gebieden met kapitaalintensieve investeringen benedenstrooms zoals gebouwen en kassen. In het MER worden verschillende inrichtingsvarianten besproken. Om de effecten van deze inrichtingsalternatieven op het watersysteem te bepalen zijn hydrologisch modellen gebruikt. In dit document zijn de resultaten van de modelberekeningen beschreven.

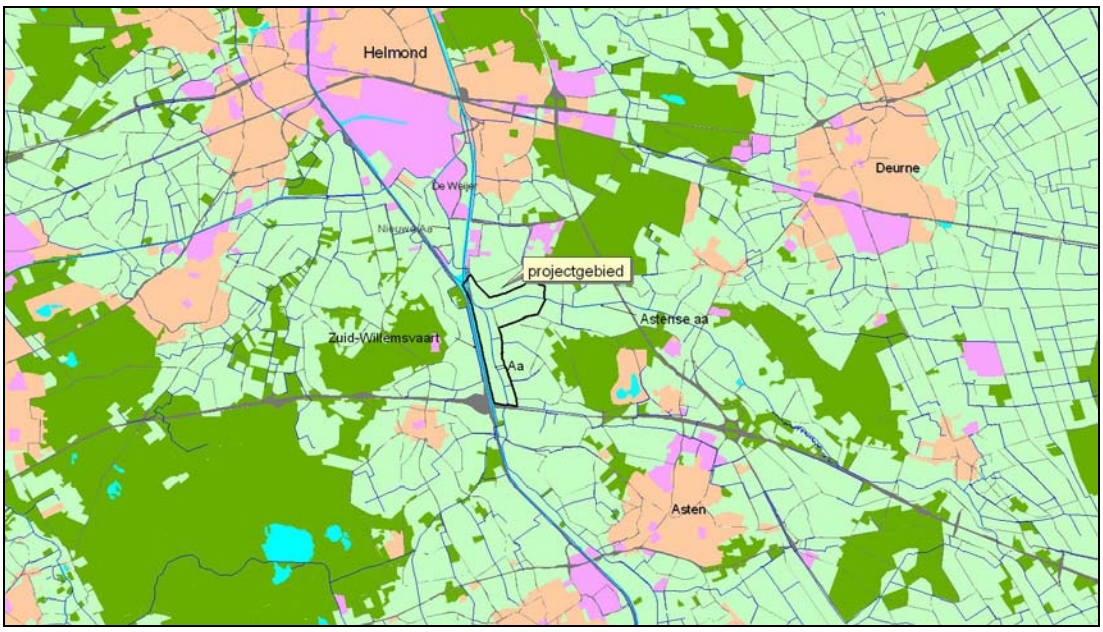
## 1.2 Aanpak hydrologische modellering

Voor de opzet van de hydrologische modellen voor het grond- en oppervlaktewater is de aanpak gehanteerd zoals beschreven in het concept van de hydrologische gereedschapskist [lit. 1]. Deze aanpak wordt gekenmerkt door enerzijds de opzet van een generieke hydrologische databank centraal te stellen en anderzijds door van grof naar fijn te werken.

Recent heeft Royal Haskoning de hydrologische databank voor het gehele beheersgebied van Waterschap Aa en Maas opgezet. Hieruit zijn een gebiedsdekkend regionaal grondwatermodel opgesteld (Hydrologische modellering GGOR Groote Peel en de Bult, project 9t1278) [lit. 2] en een Gebiedsdekkend Hoogwatermodel (project 9s4944) [lit. 3]. De hydrologische databank en de regionale modellen vormen de basis voor de opzet van de hydrologische modellen voor MER Diesdonk. De modellen zijn gedetailleerd door lokale informatie over detailwaterlopen, de opbouw van de ondergrond (boringen) en het oppervlaktewaterbeheer in te brengen.

## 1.3 Systeembeschrijving

Het plangebied ligt ten zuidoosten van Helmond op de plek waar de Aa en de Astense Aa samenkomen. Ten noorden van het plangebied wordt de Aa vervolgens onder de Zuid-Willemsvaart door geleid met een sifon, om verder te stromen als de Nieuwe Aa door Helmond. Net ten noorden van industrieterrein De Weijer mondt de Aa vervolgens uit in de Zuid-Willemsvaart. In figuur 1.1 is een overzichtskaart opgenomen.




**Figuur 1.1: Overzichtskaart**

*Geologische opbouw*
Het gebied maakt in hydrogeologisch opzicht onderdeel uit van de Centrale Slenk. De Centrale Slenk wordt gekenmerkt door een diepe geohydrologische basis met een aantal afgesloten watervoerende pakketten van aanzienlijke dikte. De ondiepe ondergrond in het gebied bestaat uit sedimenten van de Formatie van Boxtel (voormalige Nuenen-groep) met een grillig en inhomogeen karakter. De sedimenten bestaan voornamelijk uit fijne zanden afgewisseld met leemlagen en lokale veen- en kleilagen. Het eerste watervoerend pakket wordt gevormd door de goed doorlatende sedimenten (grind grof zand) van de Formaties van voornamelijk Kreftenheye en Sterksel. De eerste scheidende laag bestaat uit de matig/slecht doorlatende sedimenten van de Formatie van Stramproy / Waalre.

*Bodem*
De bodemtypen in het plangebied hangen samen met de ligging in het beekdal. Dichtbij de beek liggen de natte venige gronden. Iets verder uit het laagste punt van het dal worden de lager gelegen gronden gekenmerkt door de aanwezigheid van lemig, fijn tot zeer fijn zand. Op de rand van het dal tenslotte – bij de gehuchten Achterste en Voorste Diesdonk – liggen de oude bouwlanden. Deze worden gekenmerkt door de aanwezigheid van hoge enkeerdgronden. Dit zijn leemhoudende bodems voorzien van een opgebrachte, dikke humeuze deklaag. Deze laag is ontstaan door eeuwenlange bemesting met heideplaggen en stalmest. Deze oude bouwlanden liggen enigszins bolvorming in het landschap, zogenaamde essen. Tenslotte liggen op de hoogste plekken de droge zandgronden van de Oostappensche heide, die grotendeels bebost zijn.

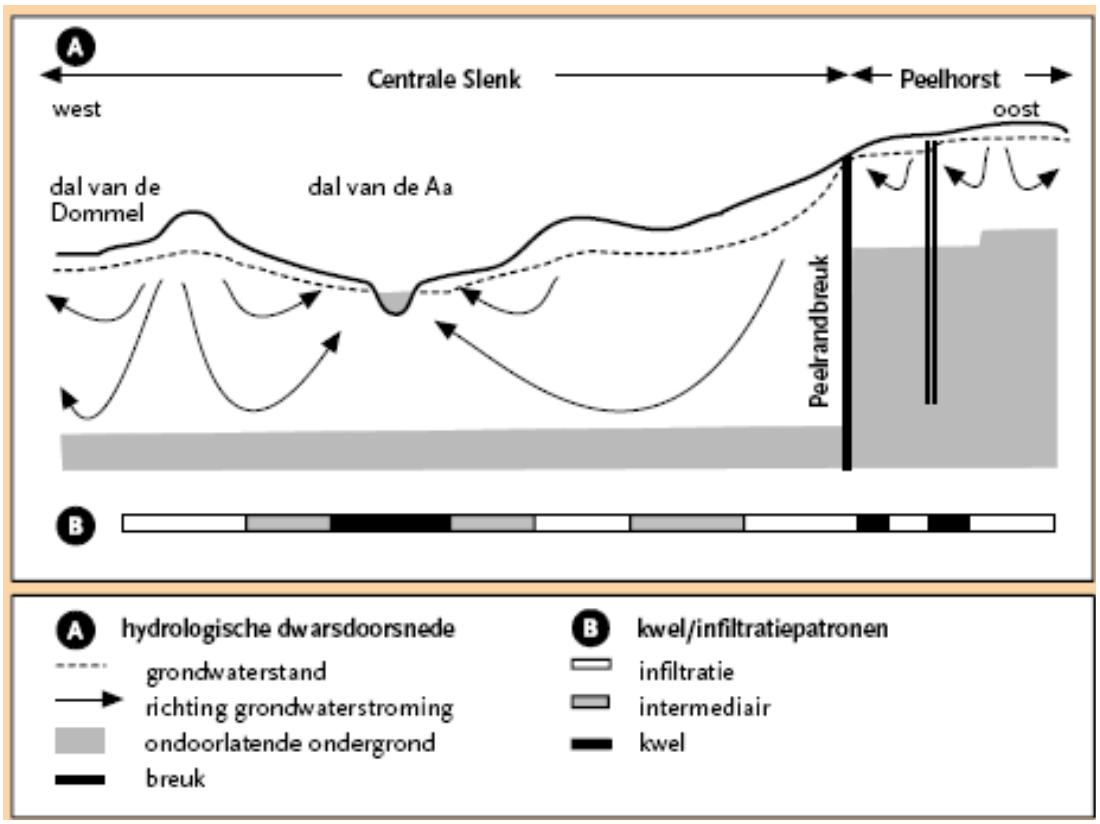
*Landschappelijk*
Het landschap in de omgeving van Diesdonk wordt gekenmerkt door een afwisseling van hoger gelegen delen op dekzandruggen met stuifduinen en lager gelegen beekdalen. Het landschap helt geleidelijk af van het zuidoosten naar het noordwesten.

De beekdalen lopen ruwweg in dezelfde richting. Het gebied is overwegend agrarisch. De gronden in het dal van de Aa worden overwegend gebruikt voor maïsteelt ten behoeve van de intensieve veehouderij. In het dal van de Astense Aa is het bodemgebruik iets afwisselender. Behalve maïsteelt zijn er ook weilanden en enkele percelen boomteelt.

*Hydrologie*
De waterhuishouding in het gebied waar de Aa en de Astense Aa samenkomen hebben een belangrijke waterhuishoudkundige functie in het gebied omdat ze de afvoer verzorgen voor een groot gedeelte van het achterland. De huidige waterhuishoudkundige situatie in het gebied is echter sterk beïnvloed door menselijke ingrepen. Vooral voor de landbouw en ten behoeve van de veiligheid is gewerkt aan een optimale waterhuishoudkundige situatie. Door de aanpassing in het watersysteem en de aanleg van het kanaal (Zuid-Willemsvaart) zijn de natuurlijke patronen grotendeels verstoord.

Zowel de Aa als Astense Aa zijn gekanaliseerd. De Aa is gekanaliseerd in de negentiende eeuw toen de Zuid-Willemsvaart in het dal van de Aa gegraven is. De natuurpotenties van de Astense Aa zijn hoger dan van de Aa en er zijn dan ook plannen om deze beek weer meer natuurlijk te maken.

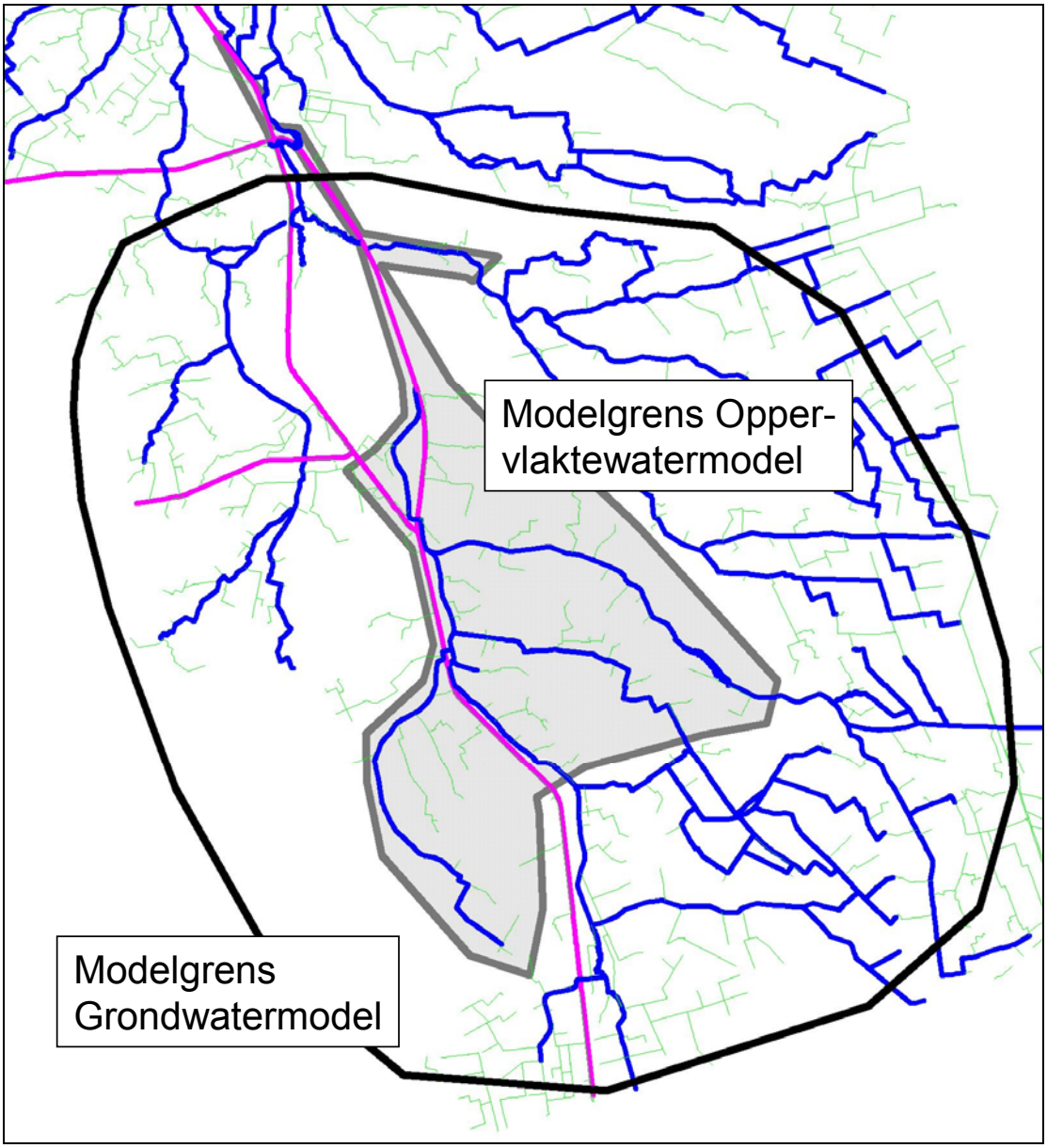
De drainerende werking van de Aa in het gebied is geïllustreerd in figuur 1.2.




**Figuur 1.2: Hydrologische dwarsdoorsnede van het dal van de Aa [lit. 4]**

## 1.4 Oppervlaktewatermodellering

De volgende paragrafen beschrijven de bouw en kalibratie van het hydraulische oppervlaktewatermodel. Het oppervlaktewatermodel bouwt voort op het gebiedsdekkende hoogwatermodel GDHM [lit. 3] en het modelplan Diesdonk [lit. 5]. Het GDHM is gebaseerd op de hydrologische gereedschapskist [lit. 1] van waterschap Aa en Maas. Deze gereedschapskist bestaat uit de hydrologische gegevensbestanden van het waterschap. Figuur 1.3 toont de gehanteerde modelgrens van het oppervlaktewatermodel Diesdonk. Binnen deze grens is een detailmodel ontwikkeld dat alle leggerwaterlopen bevat. De volgende paragrafen beschrijven de beschikbare hydrologische metingen, de schematisatie van het oppervlaktewatermodel en de resultaten van de modelkalibratie.




**Figuur 1.3: Modelgebied oppervlaktewatermodellering**

### 1.4.1 Metingen afvoeren en waterstanden

De berekeningsresultaten van het hydraulische model zullen worden vergeleken met metingen van waterstanden en afvoeren. In de nabijheid van het plangebied Diesdonk zijn een aantal meetlocaties van waterstanden en afvoeren beschikbaar. In tabel 1.1 zijn deze locaties opgenomen. Locaties 029 en 102 worden niet gebruikt om het hydraulische model aan te toetsen omdat deze locaties buiten de modelgrens van het hydraulische model vallen.

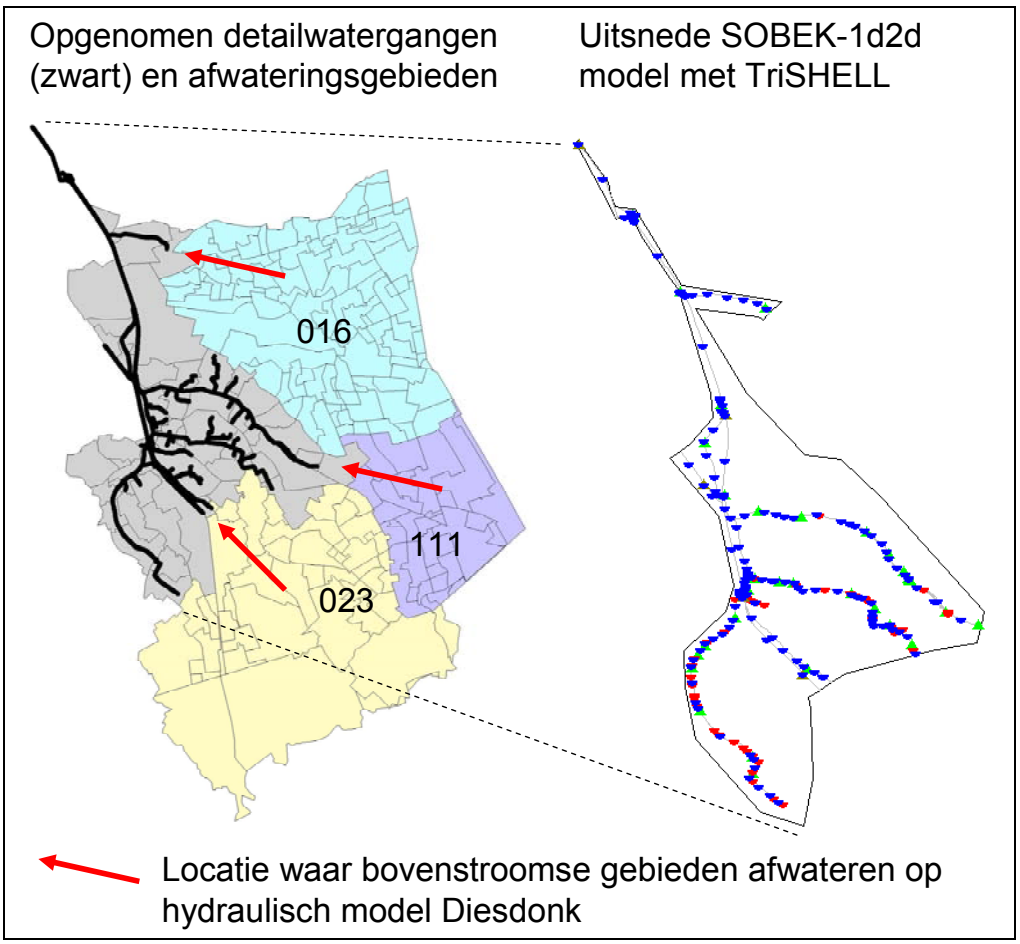
**Tabel 1.1: Beschikbare meetlocaties van waterstanden en afvoeren**

| ID | Type meting | Locatie beschrijving |
|---|---|---|
| 010 | Waterstanden | Stuw Stipdonk benedenstrooms |
| AA14 | Afvoeren | Stuw Vossenbeemd |
| AA14 | Waterstanden | Stuw Vossenbeemd |
| 111 | Afvoeren | Stuw Astense Aa |
| 111 | Waterstanden | Stuw Astense Aa |
| 023 | Afvoeren | Stuw Dijkstraat Asten |
| 023 | Waterstanden | Stuw Dijkstraat Asten |
| 029 | Afvoeren | Stuw Grens Limburg |
| 102 | Afvoeren | Stuw Diepenhoekse Loop |

### 1.4.2 Schematisatie van het oppervlaktewatersysteem

Het hydraulische oppervlaktewatermodel is een gedetailleerde uitsnede van het gebiedsdekkende hoogwatermodel (GDHM) ter plaatse van waterberging Diesdonk. Dit betekent dat alle leggerwatergangen in het studiegebied in het model zijn opgenomen. Ingemeten dwarsprofielen (uitgaande van bodem inclusief sliblaag) zijn vergeleken met leggerafmetingen. De ingemeten dwarsprofielen zijn vervolgens ingebracht in het hydraulische model. In figuur 1.4 zijn de in model gebrachte waterlopen te zien met de toestroomgebieden. De rode pijlen geven aan waar de bovenstroomse toestroomgebieden afwateren op het hydraulische model.

Voor de schematisatie van berging van water op maaiveld wordt de SOBEK 2D Overlandflow Module [lit. 6] toegepast. Dit is een gekoppelde berekening waarbij waterstroming in waterlopen met een 1-dimensionale benadering wordt berekend en stroming op maaiveld met een 2-dimensionale benadering wordt gesimuleerd. Het gebruik van een rekengrid voor maaiveldhoogten met een resolutie van 50x50m is voldoende om waterberging op maaiveld nauwkeurig te simuleren.




**Figuur 1.4: Afstromingseenheden en uitsnede SOBEK-1D2D met Triwaco [lit. 1]**

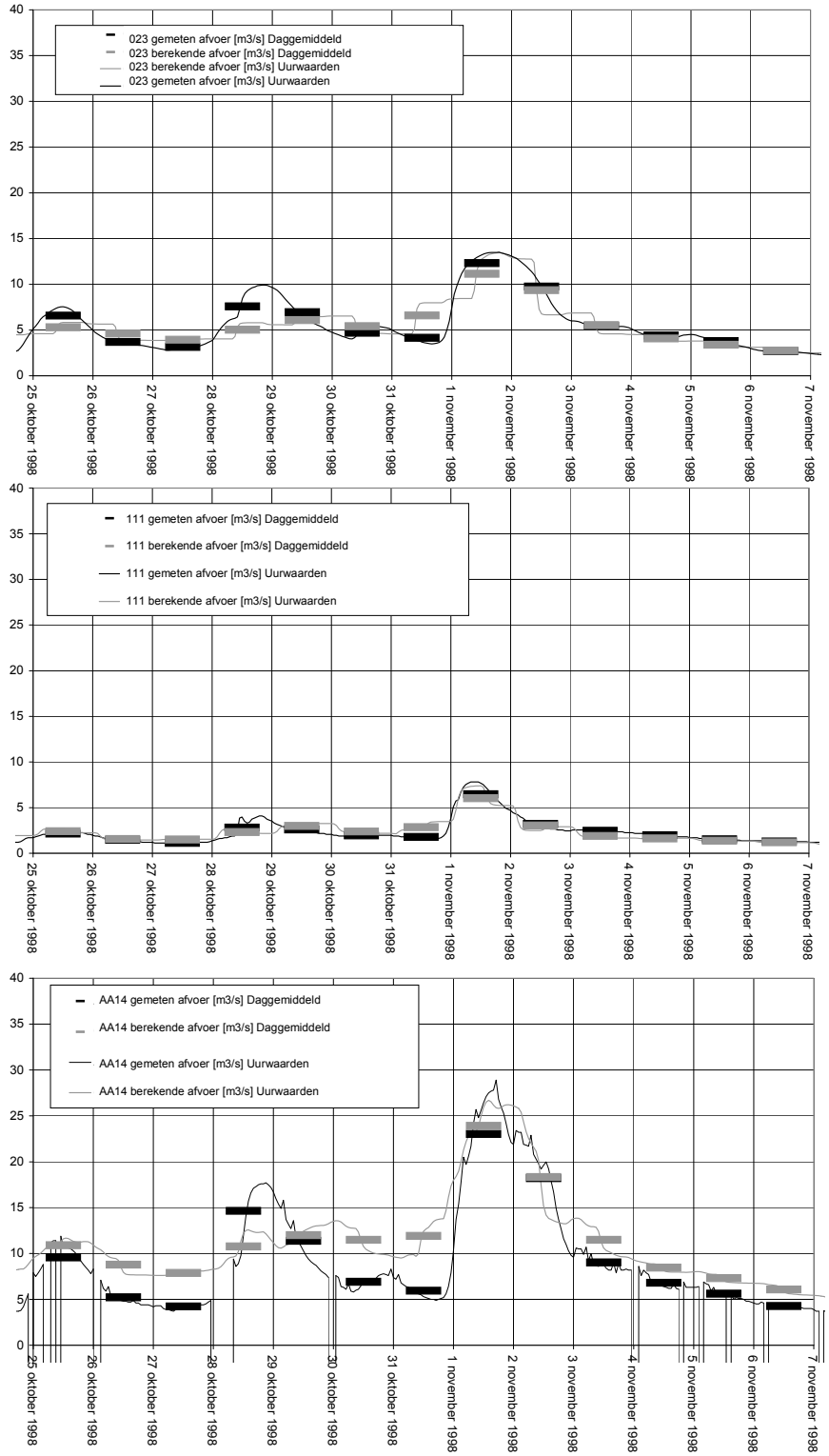
### 1.4.3 Neerslagafvoerrelatie voor deelstroomgebieden

Als neerslagafvoermodel is het Wageningenmodel [lit. 7, 8] ingezet. Het Wageningenmodel is een neerslagafvoermodel dat het verloop van de afvoer uit een stroomgebied in de tijd simuleert. Invoergegevens zijn reeksen van neerslag en potentiële verdamping. Daarnaast dienen hydrologische modelparameters geschat te worden op basis van fysische eigenschappen van het gebied. De fysische eigenschappen zijn de GLG en het bodemtype. De neerslagafvoerrelaties voor de deelstroomgebieden van waterschap Aa en Maas zijn vastgelegd in de studie waarin het Gebiedsdekkende Hoogwatermodel is ontwikkeld [lit. 3]. Deze relaties zijn ook in deze hydraulische studie voor waterbergingsgebied Diesdonk gebruikt.

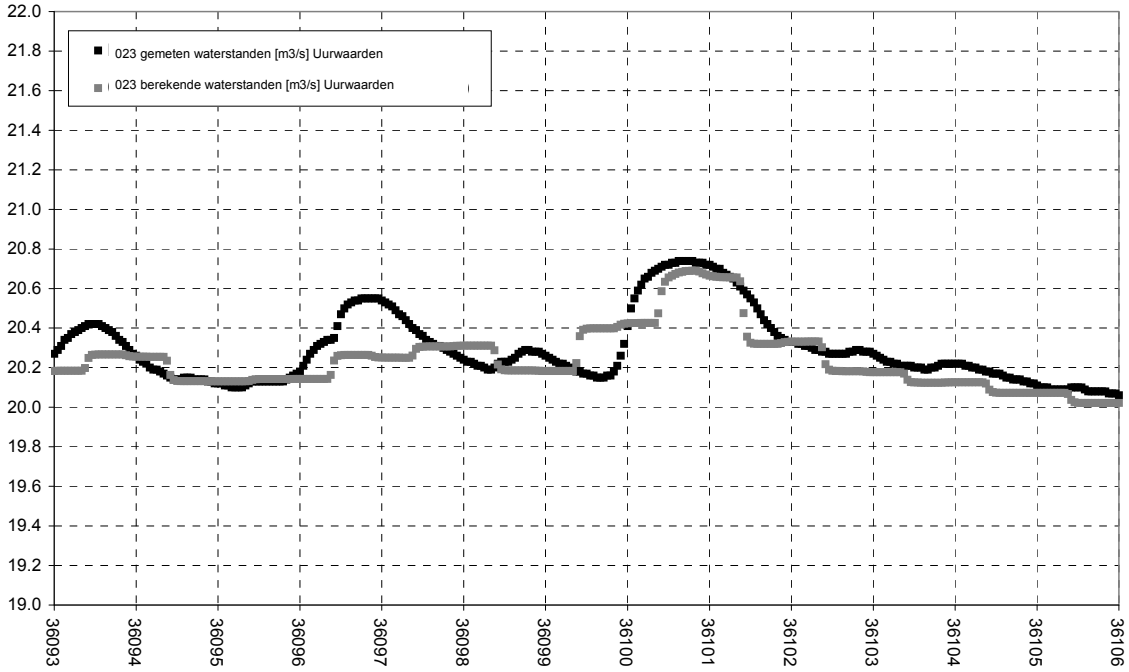
### 1.4.4 IJking en modelresultaten hoogwater 1998

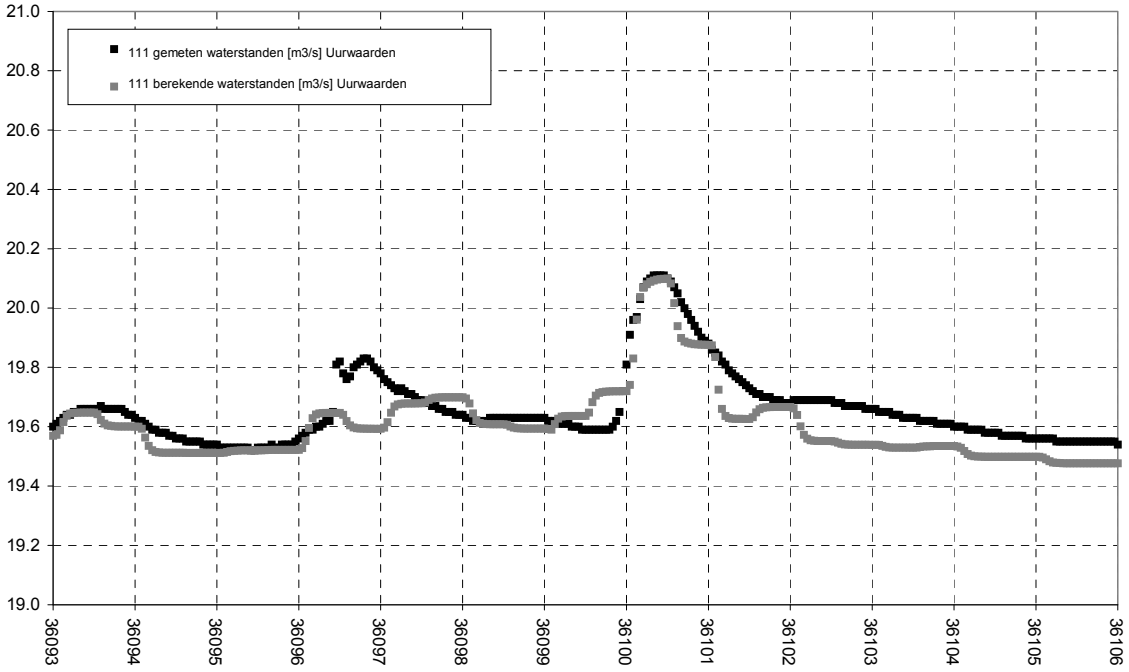
Modelkalibratie is een belangrijk onderdeel bij het ontwikkelen van hydrologische modellen. Door een hydrologisch model goed te kalibreren, wordt de nauwkeurigheid waarmee voorspellingen kunnen worden gedaan verhoogd. Een goed gekalibreerd model geeft vertrouwen in het advies dat op modeluitkomsten is gebaseerd. Voor het MER Diesdonk is het hydraulische model gekalibreerd voor de hoogwaterperiode rond 1 november 1998.

In de figuren op de volgende pagina's (figuren 1.5, 1.6 en 1.7) zijn de berekende en gemeten afvoeren en waterstanden voor deze periode weergegeven. De berekeningen komen goed overeen met de metingen.

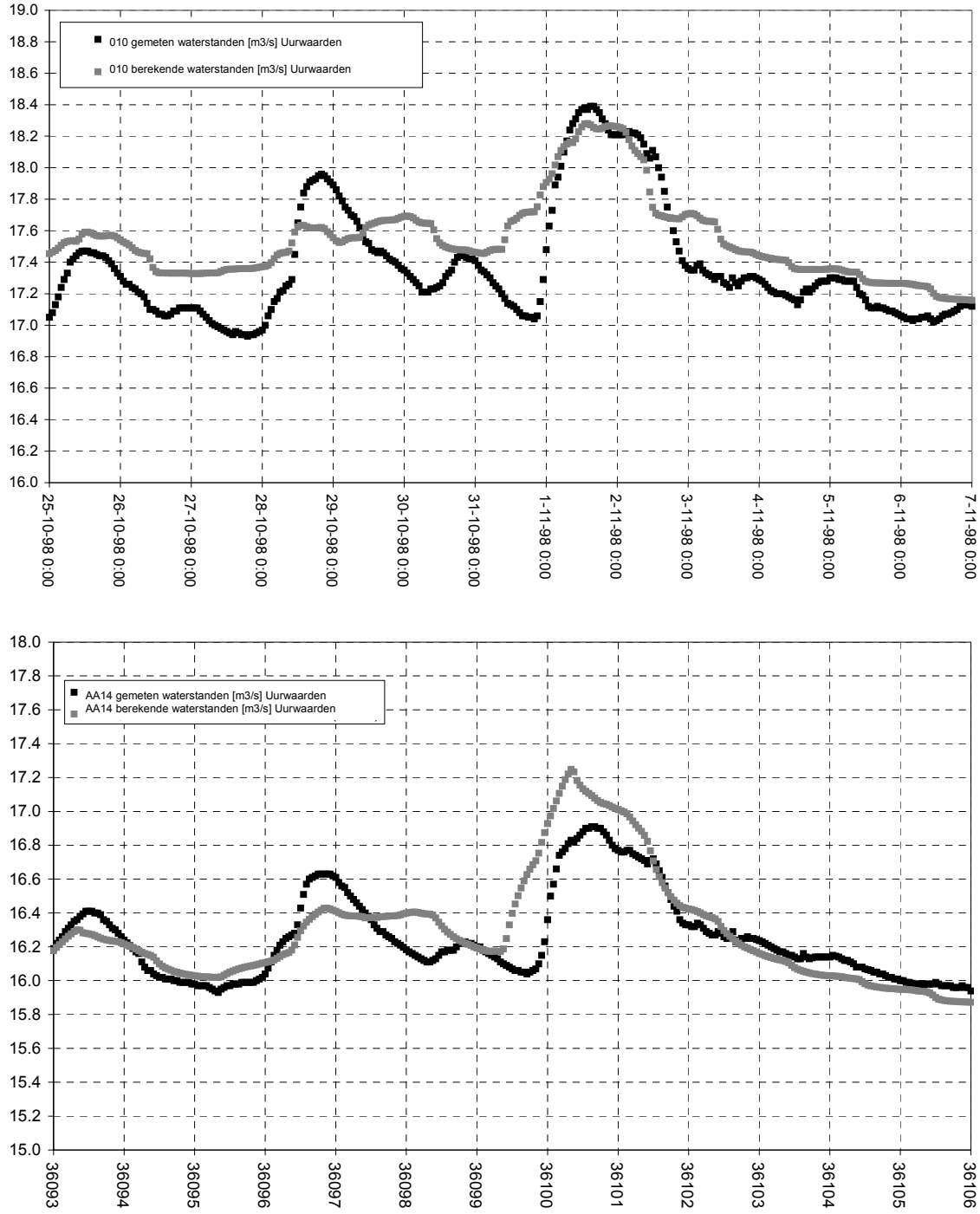



**Figuur 1.5: Gemeten en berekende afvoeren in hoogwaterperiode november 1998**




**Figuur 1.6: Gemeten en berekende waterstanden (023 en 111) in hoogwaterperiode november 1998**




**Figuur 1.7: Gemeten en berekende waterstanden (010 en AA14) in hoogwaterperiode november 1998**

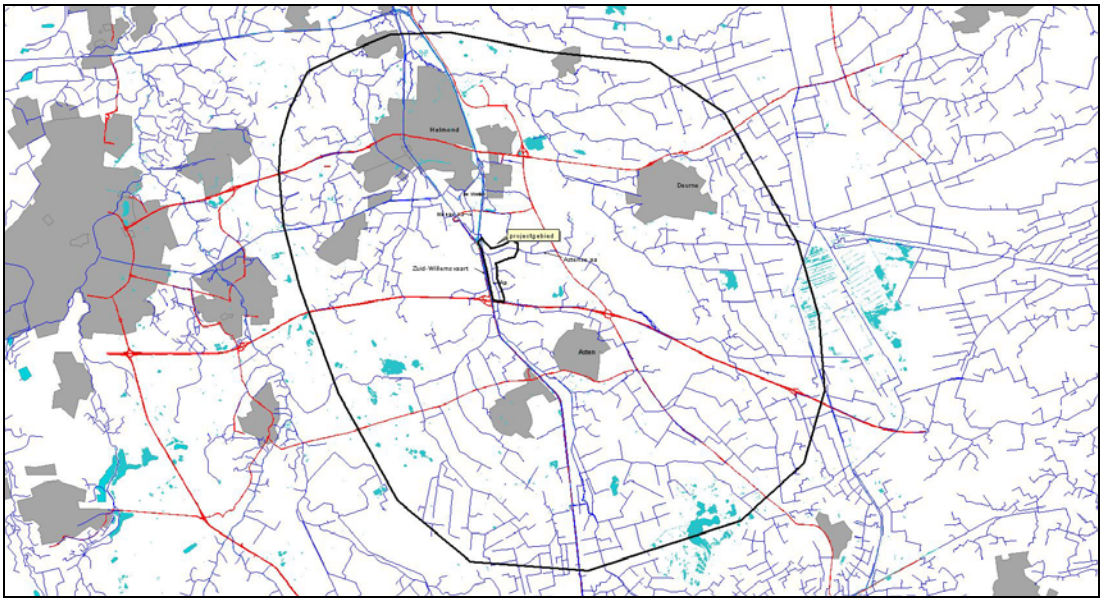
## 1.5 Grondwatermodellering

In figuur 1.8 is de begrenzing van het grondwatermodelgebied weergegeven. De modelbegrenzing ligt op gemiddeld ca 7 km van het natuurgebied. Deze afstand is van belang voor de randvoorwaarden van het model.

Immers de invloed van gekozen vaste randvoorwaarden mag geen invloed hebben op berekende veranderingen van stijghoogten en grondwaterstanden als gevolg van ingrepen in de waterhuishouding.

De modelranden zijn open en hiervoor zijn de berekende grondwaterstanden/stijghoogten van het regionale model van het beheersgebied van Aa en Maas gebruikt.

Voor het netwerk is rekening gehouden met het feit dat er een sterke verdichting vereist is in de interessegebieden. Voor het bergingsgebied en directe omgeving is een resolutie van 25 m toegepast. Bij de modelranden bedraagt de resolutie 250 m.




**Figuur 1.8: Modelgebied grondwatermodellering**

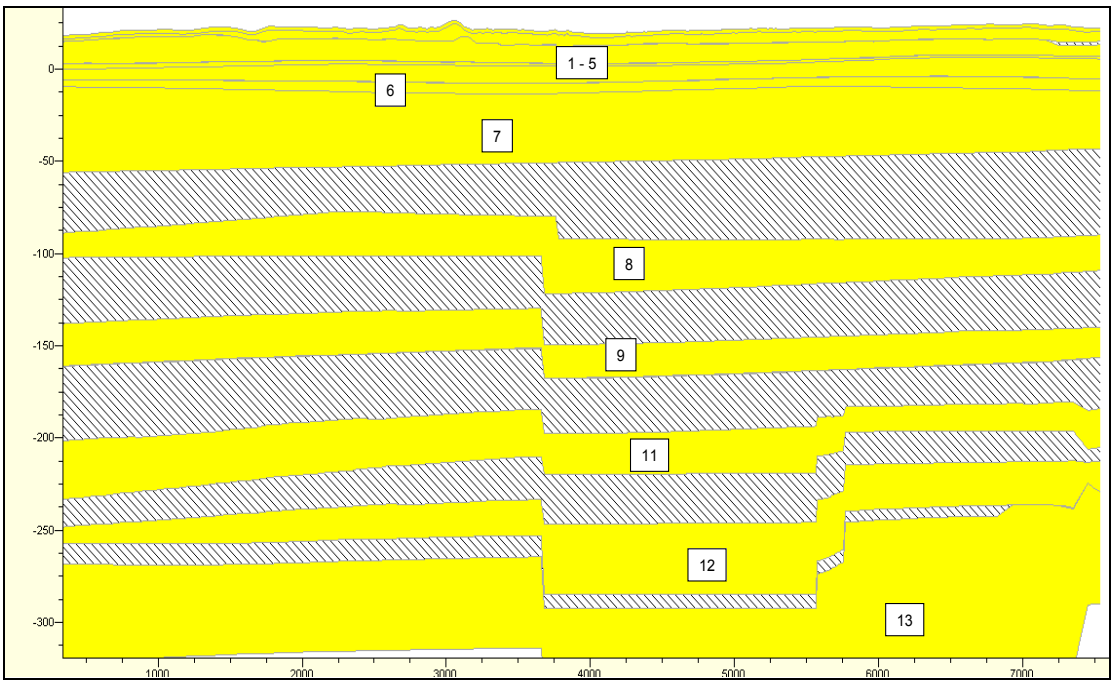
### 1.5.1 Opbouw ondergrond

In tabel 1.2 is de opbouw van de ondergrond geschematiseerd weergegeven. Voor de diepere ondergrond is het geohydrologisch model van REGIS voor de provincie Noord-Brabant gehanteerd (Van gidslaag naar hydrogeologische eenheid, REGIS II, TNO, NITG 05-038 B, 2005). Voor de meer ondiepe ondergrond (deklaag) zijn de gekarteerde individuele hydrogeologische eenheden van de Formatie van Boxtel en de Formatie van Beegden als individuele eenheid in de hydrologische databank opgenomen. In totaal zijn 13 modellagen gedefinieerd.

**Tabel 1.2: Geologische indeling: REGIS schematisatie Centrale slenk**

| Model-laag | Water-doelen | REGIS II | Hydrogeologische eenheid/formatie naam) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | *Centrale Slenk* | *Peelhorst* |
| 1 | 1 | Deklaag | Holocene afzettingen | Holocene afzettingen |
| | | Deklaag | Holocene afzettingen | Holocene afzettingen |
| 2 | 1 | Deklaag | Boxtel (Bxz1) | Boxtel (Bxz1) |
| | | Deklaag | Boxtel (Bxk1) | Boxtel (Bxk1) |
| 3 | 1 | Deklaag | Boxtel (Bxz2) | Boxtel (Bxz2) |
| | | Deklaag | Boxtel (Bxk2) | Boxtel (Bxk2) |
| 4 | 1 | Deklaag | Boxtel (Bxz3) | Boxtel (Bxz3) |
| 5 | 1 | Deklaag | Beegden (Bez1) | Beegden (Bez1) |
| | | Deklaag | Beegden (Berok1, bek1) | Beegden (Berok1, bek1) |
| 6 | 2 | WVP1a | Beegden (Bez2) | Beegden (Bez2) |
| 7 | 2 | WVP1a | Urk/Kreftenheye/Sterksel | Urk/Kreftenheye/Sterksel |
| | | SDL1a | Stramproy/Waalre | Waalre |
| 8 | 3 | WVP1b | Peize/Waalre (PZWAz3) | Peize/Waalre/Kiezelooliet |
| | | SDL1b | Waalre (Wak2) | - |
| 9 | 4 | WVP2a | Peize/Waalre (PZWAz4) | - |
| | | SDL2a | Peize/Waalre/Maassluis | - |
| 10 | 5 | WVP2b | Maassluis/Kiezeloöliet | - |
| | | SDL2b | Kiezeloöliet (Klk1) | - |
| 11 | 6 | WVP3a | Kiezeloöliet (Klz2) | - |
| | | SDL3a | Kiezeloöliet (Klk2) | |
| 12 | 7 | WVP3b | Kiezeloöliet (Klz3) | - |
| | | SDL3b | Kiezeloöliet (Klk3) | - |
| 13 | 8 +9 | WVP3c | Kiezeloöliet/Oosterhout (Klz4/OOz1) | - |
| | | Basis | Oosterhout/Breda | Oosterhout/Breda |

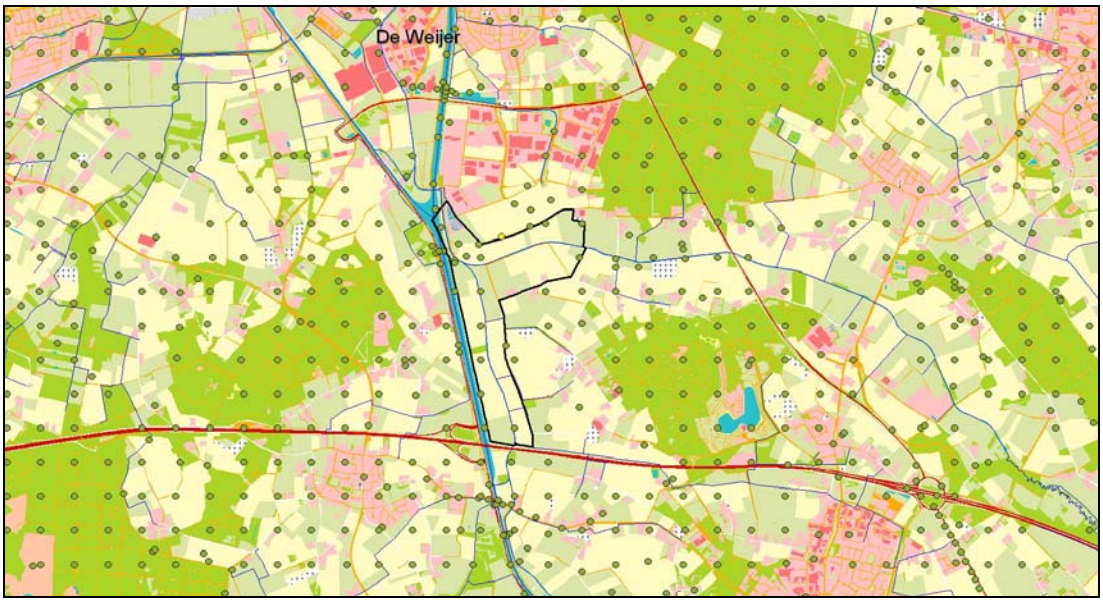
In figuur 1.9. is een west-oost doorsnede van de ondergrond opgenomen dwars door het modelgebied. De eerste 5 modellagen beschrijven de ondiepe ondergrond (deklaag). Het eerste watervoerende pakket wordt gevormd door de goed doorlatende sedimenten (grind grof zand) van de Formaties van voornamelijk Kreftenheye en Sterksel. De eerste scheidende laag bestaat uit de matig/slecht doorlatende sedimenten van de Formatie van Stramproy/Waalre. De dikte van de deklaag varieert ter plaatse van het projectgebeid tussen de 25 en 30 m.




**Figuur 1.9: West-oost doorsnede modelgebied**

*Geohydrologische parameterisatie*

De ondiepe ondergrond (de deklaag) is geschematiseerd in vijf geologische eenheden van de Formatie van Boxtel en de Formatie van Beegden. Met behulp van alle beschikbare boringen in het DinoLoket is de opbouw en samenstelling van deze eenheden nader geanalyseerd. In figuur 1.10 zijn de locaties van de boringen weergegeven.



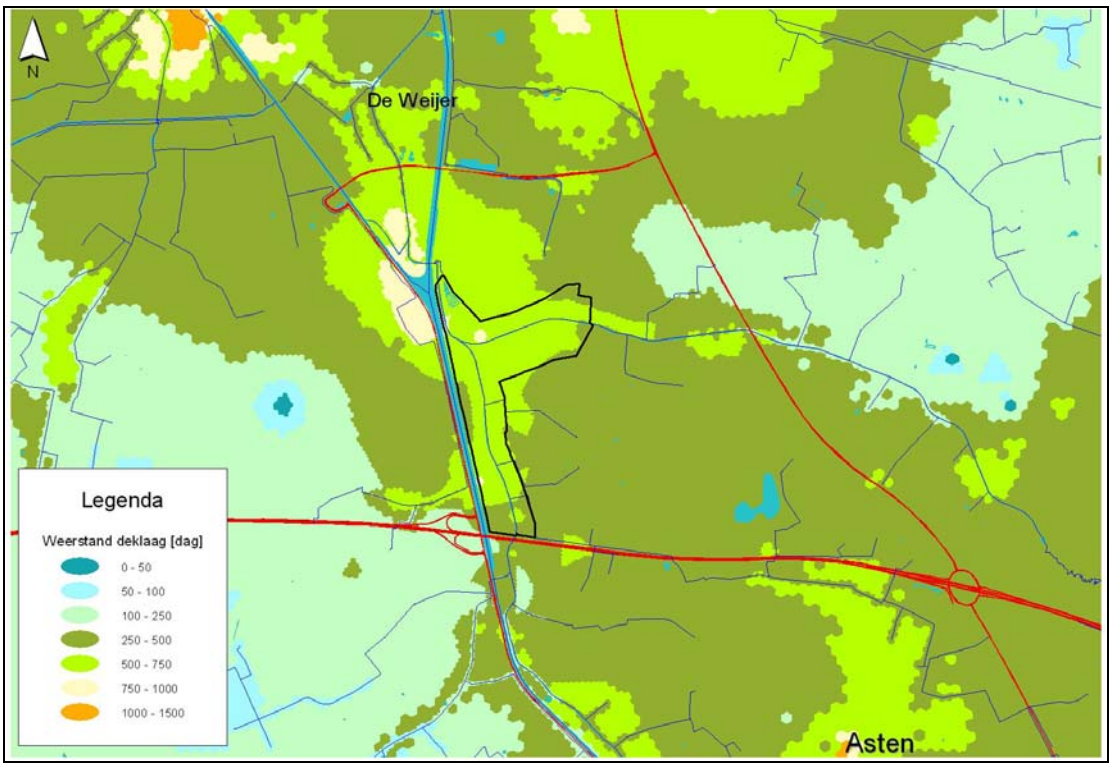

**Figuur 1.10: Locaties boringen DinoLoket**

Aan elke geologische eenheid is per boring een inschatting gegeven van de doorlatendheid en de weerstand waarbij de volgende waarden zijn gebruikt per hoofdtype sediment (tabel 1.3).

**Tabel 1.3: Inschatting doorlatendheden sedimenten**

| Sediment | Horizontale doorlatendheid [m/dag] | Vertikale doorlatendheid [m/dag] |
|---|---|---|
| ------klei | 0.01 | 0.01 |
| ------leem | 0.01 | 0.01 |
| ------veen | 0.01 | 0.01 |
| ------gyttja | 0.01 | 0.01 |
| ---kleiigzand | 0.1 | 0.1 |
| uiterstgrofklei | 0.1 | 0.1 |
| zeerfijnleem | 0.1 | 0.1 |
| zeergrofklei | 0.1 | 0.1 |
| zeergrofleem | 0.1 | 0.1 |
| ---kleiiggrind | 1 | 0.2 |
| uiterstfijnzand | 1 | 0.2 |
| ------zand | 1 | 0.2 |
| zeerfijnzand | 1 | 0.2 |
| matigfijnzand | 5 | 1 |
| matigfijngrind | 10 | 2 |
| matiggrofzand | 10 | 2 |
| zeergrofzand | 10 | 2 |
| grovecategoriezand | 15 | 3 |
| uiterstgrofzand | 20 | 4 |
| ---zwakgrind | 20 | 4 |
| matiggrofgrind | 25 | 5 |
| ------grind | 50 | 10 |
| grovecategoriegrind | 50 | 10 |
| uiterstgrofgrind | 50 | 10 |
| zeergrofgrind | 50 | 10 |

Vervolgens zijn de weerstanden en het doorlaatvermogen per laag berekend door interpolatie. De totale weerstand van de deklaag (dikte ca 26 m) is weergegeven in figuur 1.11. Deze weerstand varieert tussen de 50 en 1500 dagen.




**Figuur 1.11: Weerstand deklaag**

### 1.5.2 Grondwateraanvulling

De periode 1989 tot en met 2000 is gehanteerd als representatief zijnde voor een hydrologisch gemiddelde situatie. Voor deze periode is de grondwateraanvulling berekend met het programma FLUZO op basis van:

- neerslaggegevens station Someren (dagwaarden);
- verdampingsgegevens station Eindhoven (referentiegewas verdamping volgens Makkink, dagwaarden);
- bodemtype (ondergrond en bovengrond codering volgens de Staringreeks);
- Landgebruik op basis van LGN4;
- de dikte van de onverzadigde zone (bepaald uit een eerste berekening).

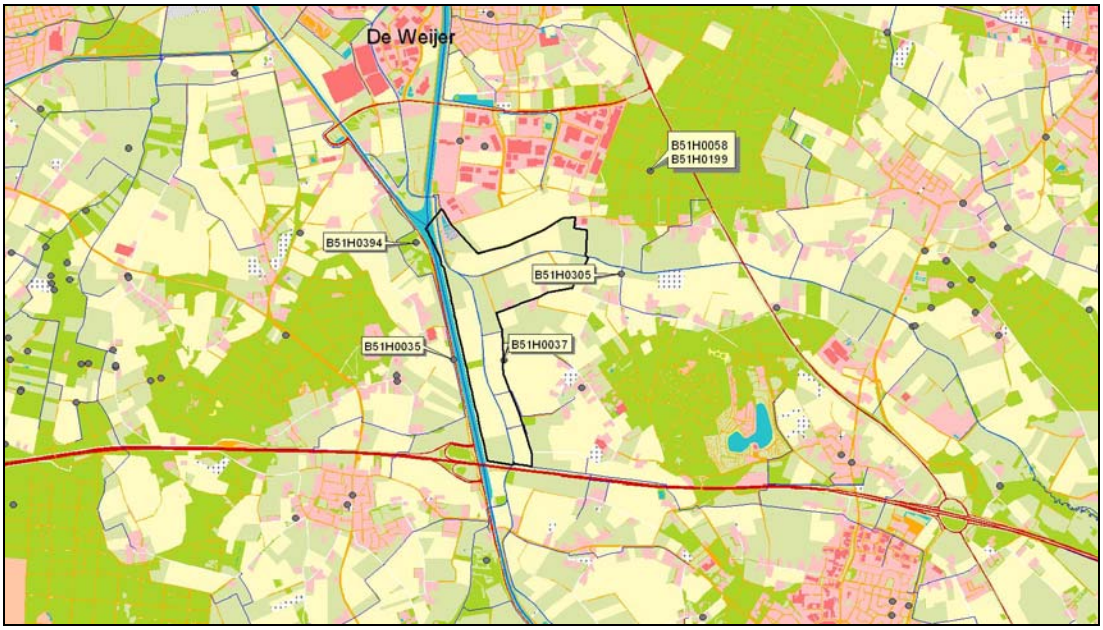
De berekende grondwateraanvulling met FLUZO voor het modelgebied Diesdonk op basis van de gegevens van 1989-2000 bedraagt gemiddeld 232 mm/jaar.

### 1.5.3 Oppervlaktewater

De waterlopen in het aandachtsgebied zijn als lijnen in het grondwatermodel opgenomen. De breedte van de waterlopen komt uit de legger van Waterschap Aa en Maas. De peilen zijn berekend met het oppervlaktewatermodel (Sobek) of zijn ingeschat ten opzichte van maaiveld. De weerstand varieert tussen 1 dag voor de kleine waterlopen tot 10 dagen voor de bredere waterlopen, zoals de Zuid-Willemsvaart.

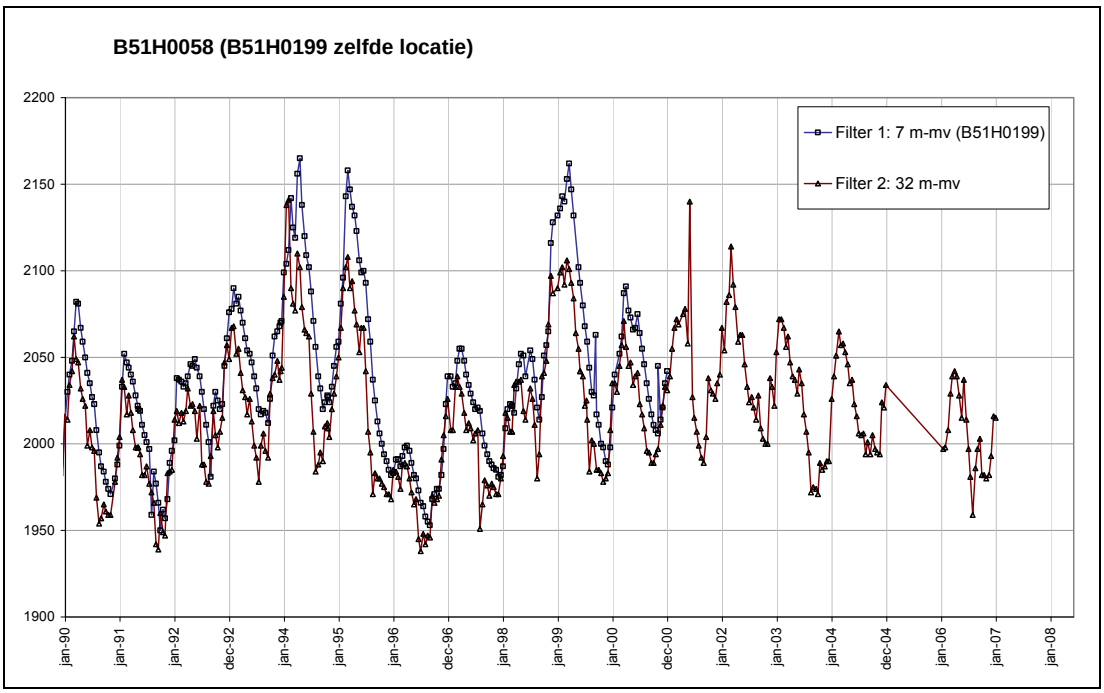
### 1.5.4 Metingen grondwaterstand en stijghoogte

Voor een aantal peilbuizen in het studiegebied zijn de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten in de tijd bekeken. De locaties van de buizen zijn weergegeven in figuur 1.12.



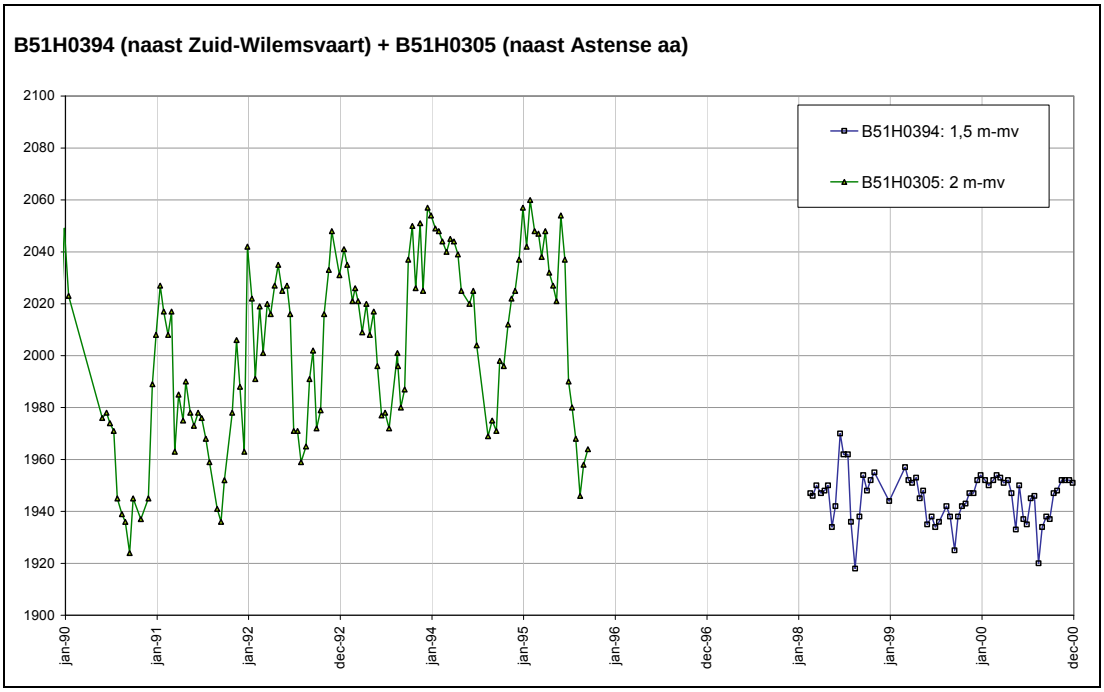

**Figuur 1.12: Locaties peilbuizen**

De peilbuis B51H0058 (zelfde locaties als B51H0199) ligt ten noordoosten van het bergingsgebied en de gemeten standen van de freatische grondwaterstand (filter 1) en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket (filter 2 ) zijn weergegeven in figuur 1.13. Uit de meetgegevens blijkt dat de grondwaterstand hoger is dan de stijghoogte en dat er sprake is van een infiltratiesituatie.




**Figuur 1.13: Meetreeks B51H0058 en B51H0199**

In figuur 1.14 zijn de metingen in de peilbuizen B51H0305 (dicht bij Astense Aa) en B51H0394 (dicht bij Zuid-Wilemsvaart) weergegeven.

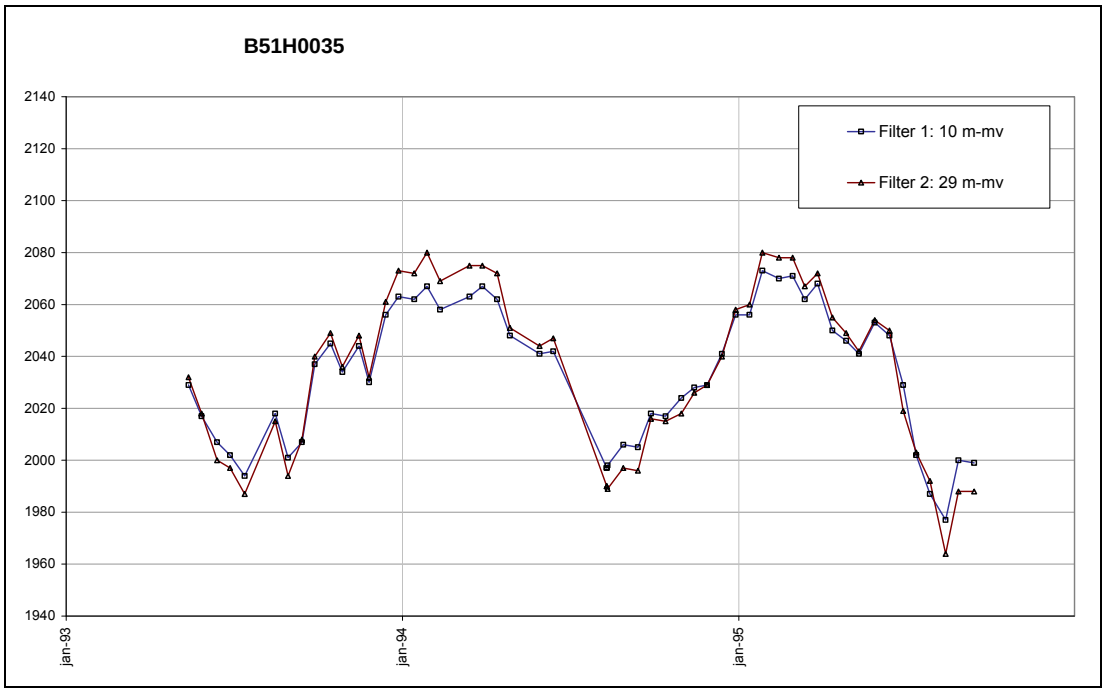



**Figuur 1.14: Meetreeks B51H0305 en B51H0394**

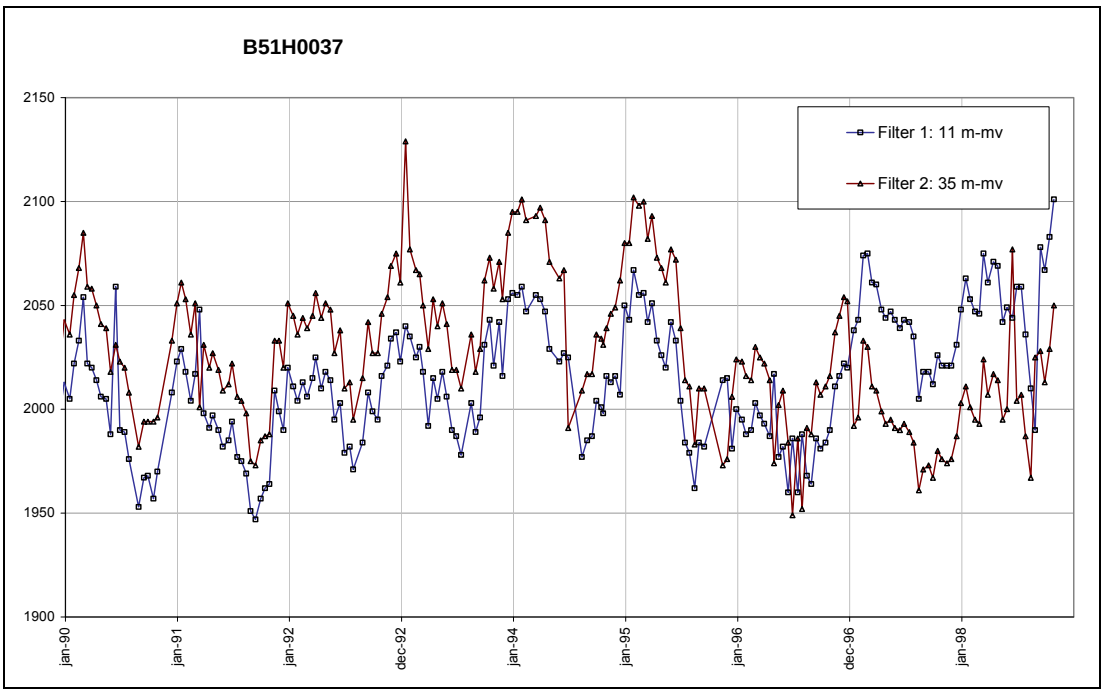
Uit de meetreeksen blijkt dat de gemeten grondwaterstanden een sterke relatie hebben met het oppervlaktewaterpeil.

De grondwaterstand bij de Zuid-Willemsvaart vertoont een geringe fluctuatie omdat het peil van de Zuid-Willemsvaart min of meer constant is op NAP 20,47 m. Hieruit blijkt dat de Zuid-Willemsvaart op deze locatie een infiltrerende werking heeft. De grondwaterstand in de peilbuis dicht bij de Astense Aa vertoont een veel grotere fluctuatie.

In figuur 1.15 en 1.16 zijn de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten van B51H0035 en B51H0037 weergegeven.




**Figuur 1.15: Gemeten grondwaterstand en stijghoogte B51H0035**




**Figuur 1.16: Gemeten grondwaterstand en stijghoogte B51H0037**

De gemeten standen in peilbuis B51H0035 staan representatief voor de stijghoogten van het grondwater direct onder de Zuid-Wilemsvaart. Het peil van de Zuid-Willemsvaart bedraagt hier NAP 20,47 m. Ter hoogte van deze locatie heeft de Zuid-Willemsvaart tijdens natte periode een drainerende werking en tijdens droge perioden een infiltrerende werking.

Peilbuis B51H0037 ligt even ten oosten van de Aa. In de grafiek zijn de metingen in de deklaag (11 m-mv) en het eerste watervoerend pakket weergegeven. De stijghoogte is gemiddeld ca 0,3 m hoger dan de grondwaterstand en deze opwaartse beweging van het grondwater illustreert de drainerende werking van de Aa. Opvallend is dat vanaf de zomer van 1996 er hoogstwaarschijnlijk een wisseling in filters heeft plaatsgevonden. Vanaf dat moment is er een infiltratie- en geen kwelsituatie. Voor de ijking van het model is voor deze wisseling in filters gecorrigeerd.

### 1.5.5 IJking en modelresultaten

De ijking van het model heeft zich in eerste instantie geconcentreerd op de regionale stroming in het eerste watervoerend pakket. Vervolgens is op meer lokaal niveau aandacht gegeven aan de gemeten grondwaterstanden en de interactie tussen het grondwater en oppervlaktewater.

Voor de ijkperiode van 1 januari 1989 tot en met 31 december 2000 zijn grondwaterstanden en stijghoogten opgevraagd vanuit DinoLoket en hiervan zijn gemiddelden bepaald. De grondwaterstanden en stijghoogten worden in het algemeen tweewekelijks gemeten (26 waarnemingen per jaar). Meetpunten met minder dan 20 waarnemingen zijn verwijderd uit de dataset. De berekende waarden zijn vervolgens gebruikt om het stationaire model te kalibreren.

Het ijkingsresultaat voor het model met de verschillen tussen gemeten en berekende waarden is samengevat in tabel 1.4. De verschillen tussen gemeten en berekende waarden zijn opgenomen tevens opgenomen in figuur 1.17 en 1.18.

**Tabel 1.4: Resultaten ijking model: verschillen tussen gemeten en berekende waarden**

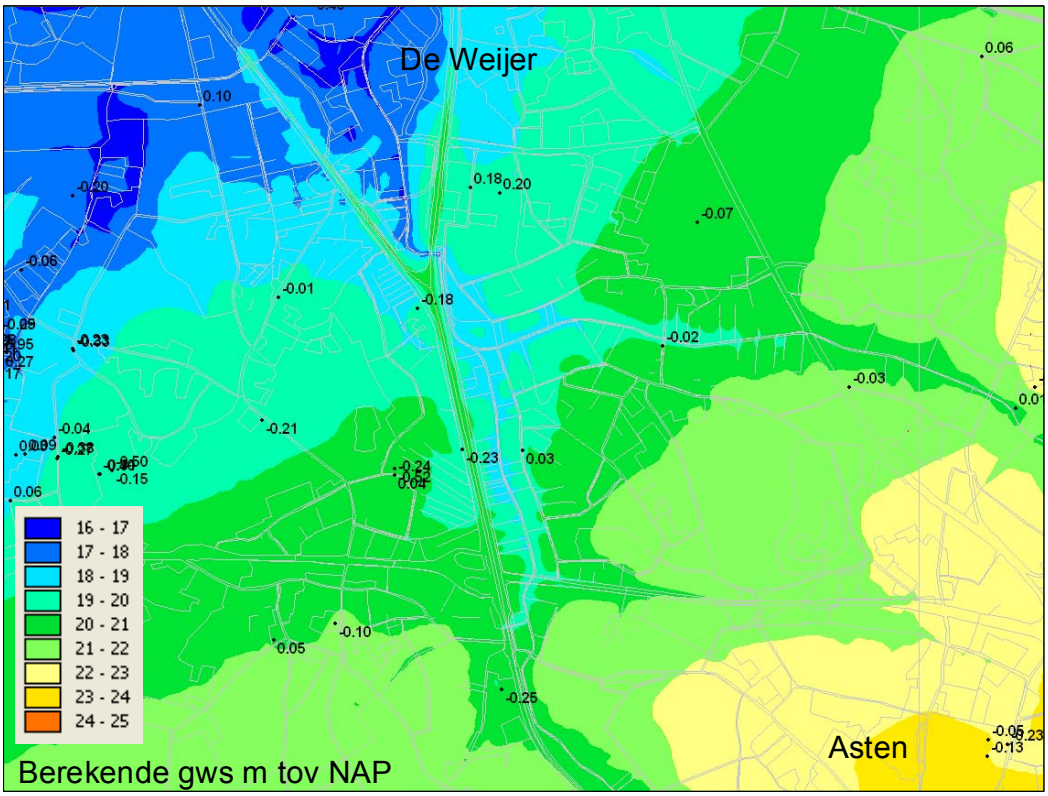
| Modellaag | Geohydrologie | Aantal metingen | Gemiddelde afwijking [m] | Gemiddelde afwijking absoluut [m] |
|---|---|---|---|---|
| Modellaag 1 | Deklaag | 40 | -0.27 | 0.39 |
| Modellaag 2 | Deklaag | 81 | -0.04 | 0.30 |
| Modellaag 3 | Deklaag | 84 | 0.17 | 0.48 |
| Modellaag 5 | Deklaag | 30 | 0.34 | 0.39 |
| Modellaag 6 | Wvp1a | 21 | 0.24 | 0.34 |
| Modellaag 7 | Wvp1a | 22 | 0.02 | 0.28 |

Waneer de gemiddelde afwijking rond de nul ligt betekent dit dat de positieve en negatieve verschillen goed in evenwicht zijn. De gemiddelde absolute afwijking geeft een indicatie van de grootte van de verschillen. De afwijkingen in het aandachtsgebied (zie figuur 1.17 en 1.18) zijn gering en hebben geen structurele afwijking. Het gekalibreerde grondwatermodel is daarmee betrouwbaar en de effecten van waterberging Diesdonk op het grondwater kunnen ermee berekend worden.

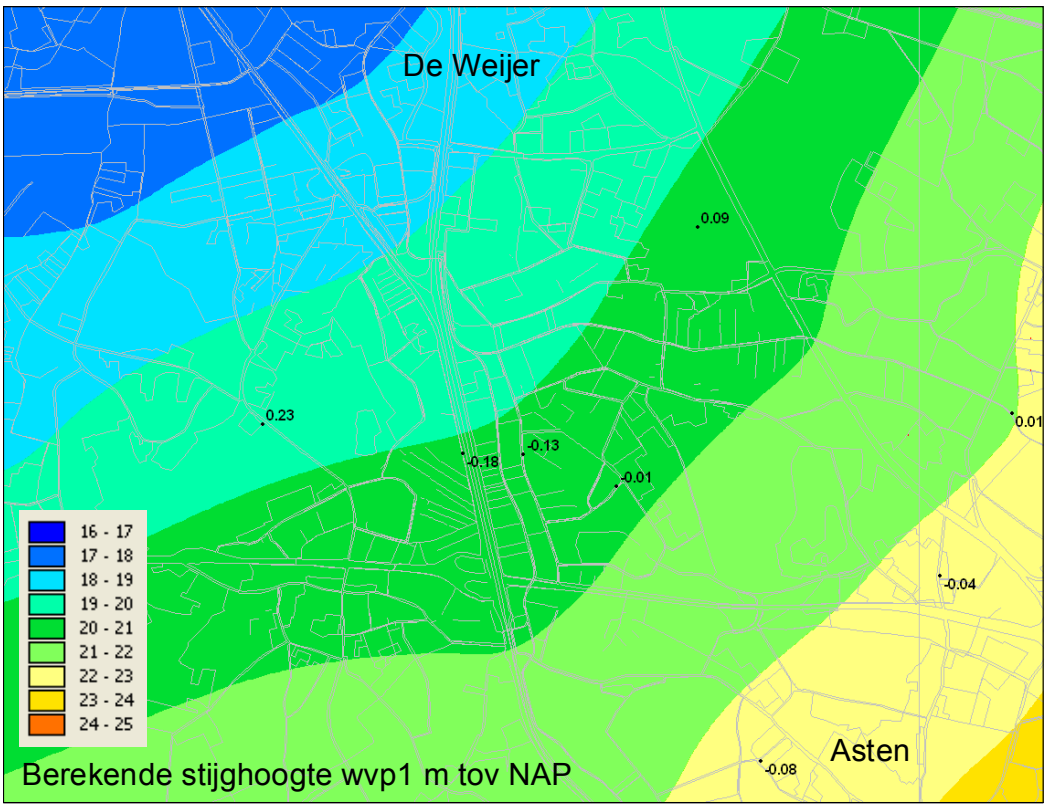
### 1.5.6 Huidige situatie

*Grondwaterstroming*

De berekende grondwaterstand en stijghoogte zijn opgenomen in figuur 1.17 en 1.18. De regionale stromingsrichting van het grondwater is ter plaatse van de Diesdonk in noordwestelijke richting. In het patroon van de grondwaterstand is de interactie met het oppervlaktewater goed waar te nemen. In een gemiddelde hydrologische situatie hebben de Aa en de Astense Aa een sterk drainerende werking. De Zuid-Willemsvaart daarentegen heeft ter hoogte van de locatie een infiltrerende werking.

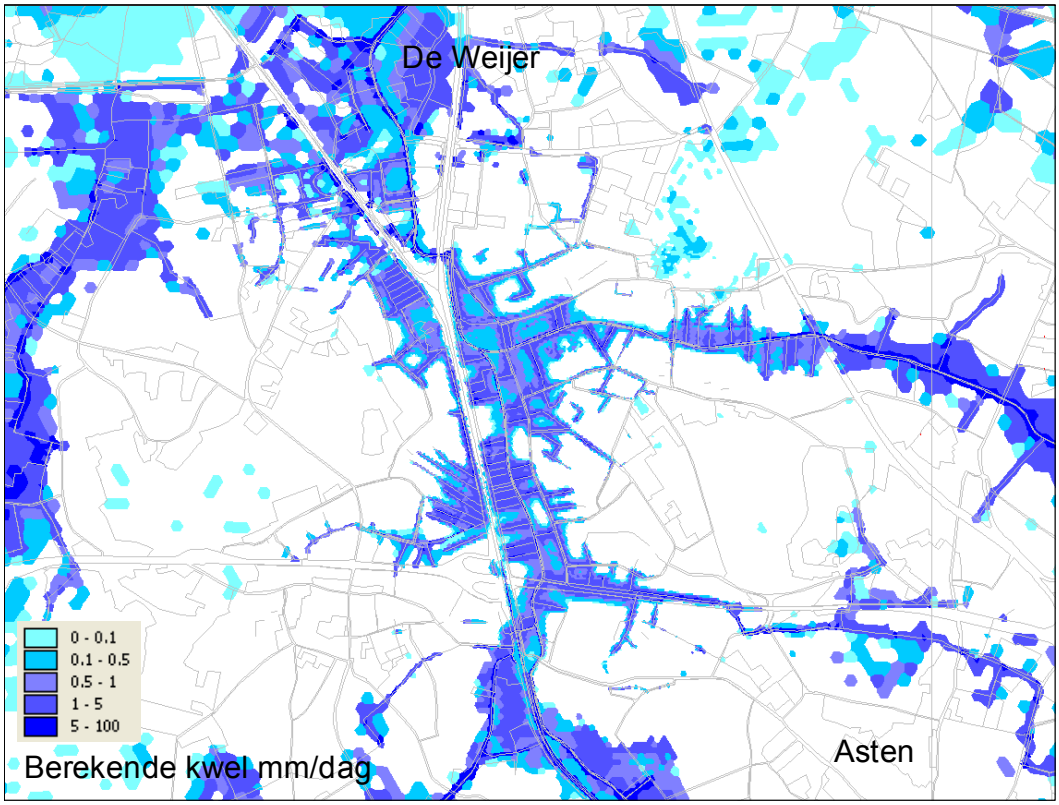



**Figuur 1.17: Berekende grondwaterstand**




**Figuur 1.18: Berekende stijghoogte**

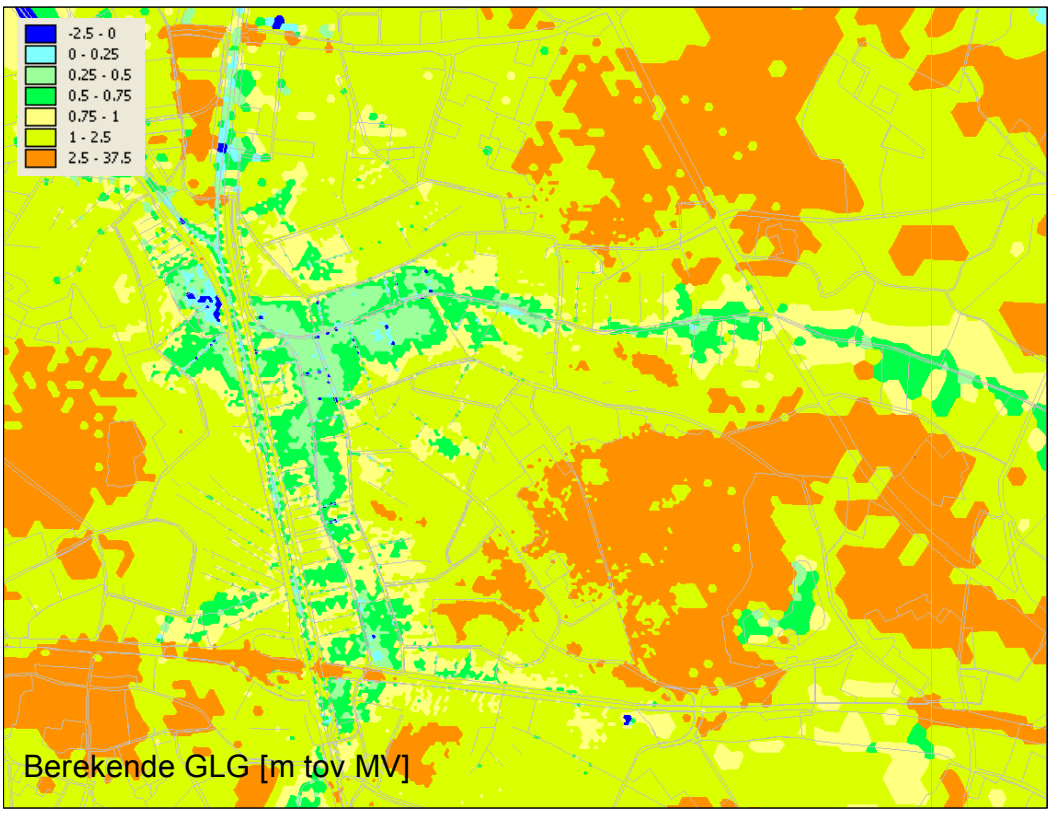
*Kwel*
Aanvullend is in figuur 1.19 de kwelintensiteit gepresenteerd. De kwelintensiteit is bepaald over de eerste modellaag op een diepte van circa 2 m-mv. In het kaartbeeld is goed te zien dat de kwel zich concentreert in de beekdalen en lager gelegen gebieden er omheen.



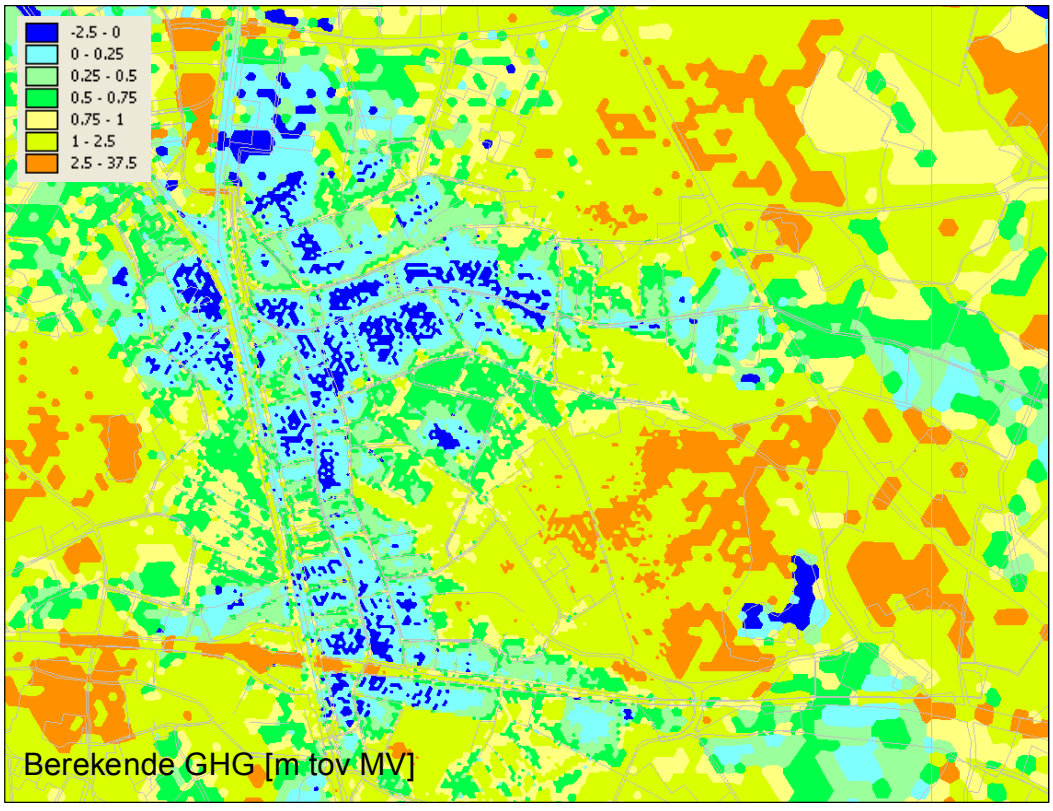

**Figuur 1.19: Kwelintensiteit [mm/dag]**

*GHG en GLG*
Met het model is tevens een tijdsafhankelijke berekening uitgevoerd waarbij het stationaire model als uitgangspunt heeft gediend. Met de tijdsafhankelijke berekening is een inschatting van de GLG en GHG verkregen.

Voor de tijdsafhankelijke berekening is een synthetisch jaar wat betreft neerslag en verdamping gebruikt. Het synthetisch jaar is overgenomen uit het Waterdoelenmodel (TNO, 3 juni 2005) en wordt representatief geacht voor het berekenen van een GLG en GHG. De met het model berekende GLG en GHG zijn weergegeven in figuur 1.20 en 1.21.




**Figuur 1.20: GLG huidige situatie**




**Figuur 1.21: GHG huidige situatie**

## 1.6 Conclusies calibratie hydrologische modellering

Het hydraulische model geeft goede berekeningsresultaten. Waterstanden worden op een correcte manier gesimuleerd. Met het model kunnen betrouwbaar effecten van waterberging Diesdonk op waterberging, afvoer en waterstanden worden ingeschat. Het gekalibreerde grondwatermodel is betrouwbaar. De gemiddelde afwijkingen wijken niet structureel af van nul. Met het model kunnen betrouwbaar effecten van waterberging Diesdonk op het grondwater worden ingeschat.

# 2 BESCHRIJVING EN RESULTATEN REFERENTIE SITUATIE

## 2.1 Huidige situatie oppervlaktewater

De huidige situatie is besproken in hoofdstuk 1. Om de alternatieven in het MER goed te kunnen vergelijken is gebruik gemaakt van een referentiesituatie waarbij autonome ontwikkelingen zijn opgenomen. In de volgende paragraaf wordt de referentiesituatie besproken.

## 2.2 Referentiesituatie oppervlaktewater

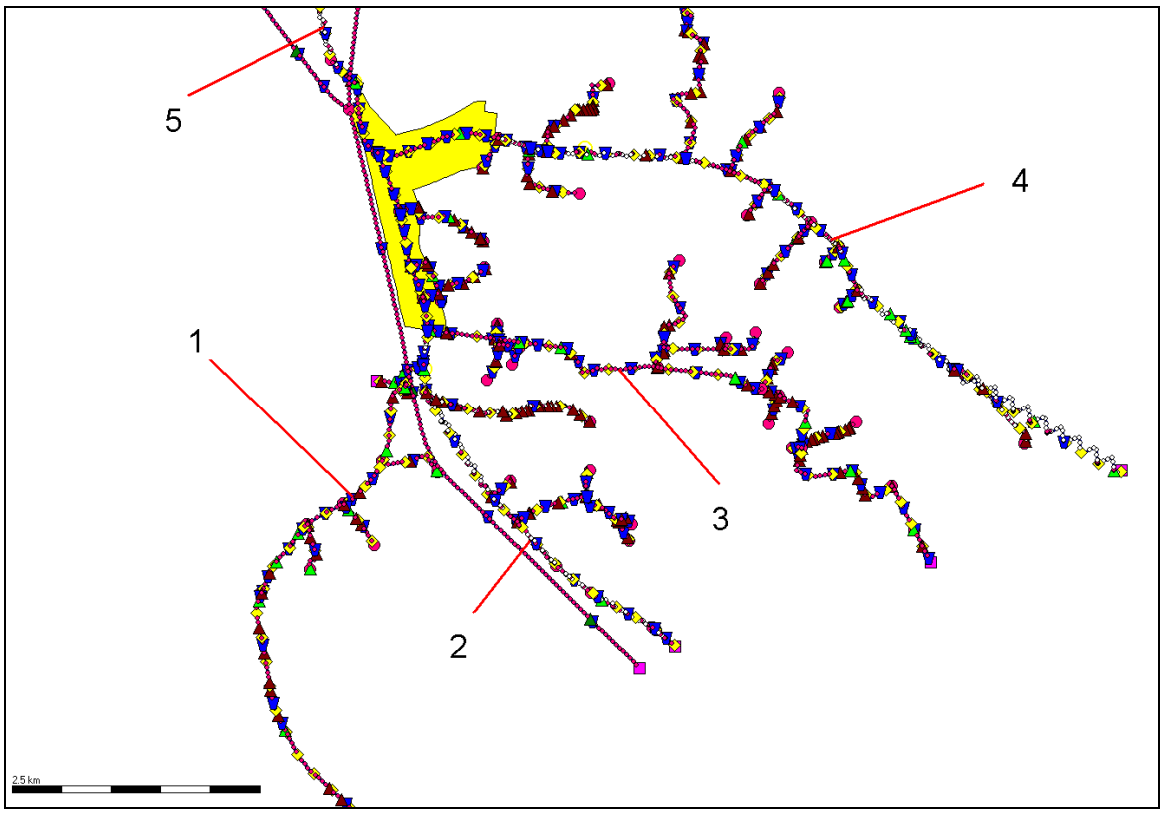
Het referentiescenario bestaat uit het model voor de huidige situatie uitgebreid met de autonome ontwikkelingen. De referentie situatie wordt (net als alle scenario's) doorgerekend voor het klimaat 2050G.
Het klimaat scenario 2050G is een door het KNMI opgesteld klimaatscenario [lit. 11]. Dit scenario gaat uit van een temperatuurstijging in 2050 van 1 °C en een toename in de neerslag van 4% in de zomer en 3% in de winter. Verder gaat het scenario uit van gelijk blijvende luchtstromingspatronen boven West Europa, zodat de seizoenen niet veranderen.

Het beekherstel ten behoeve van de autonome ontwikkeling is opgesplitst tussen maatregelen binnen en maatregelen buiten het plangebied:

- De profielen binnen het plangebied Diesdonk zijn aangepast conform de gewenste doelstelling van beekherstel. De profielen zijn opgenomen in Bijlage I. De lengte van de beek is aangepast zodat hermeandering gesimuleerd wordt. De gewenste sinuositeit van de Aa en Astense Aa is 1.2.
- Beekherstel en inrichting van de EHS-natuur buiten het plangebied Diesdonk (in watergangen opgenomen in het Sobek model) is in het model gebracht door de lengte en weerstand v/d beek aan te passen op basis van informatie van het Waterschap (zie Bijlage II) Per traject zijn de bijbehorende waarden afgeleid, zodat een zo goed mogelijke inschatting van beekherstel wordt gesimuleerd. Zie figuur 2.1 en tabel 2.1.

**Tabel 2.1: Gewenste aanpassingen beekherstel**

| Beektraject | Gewenste sinuositeit [-] | Gewenste weerstand [$s^{-1}$] |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 25.5 |
| 2 | 1.2 | 26.1 |
| 3 | 1 | 25.2 |
| 4 | 1.1 | 25.8 |
| 5 | 1.2 | 26.4 |



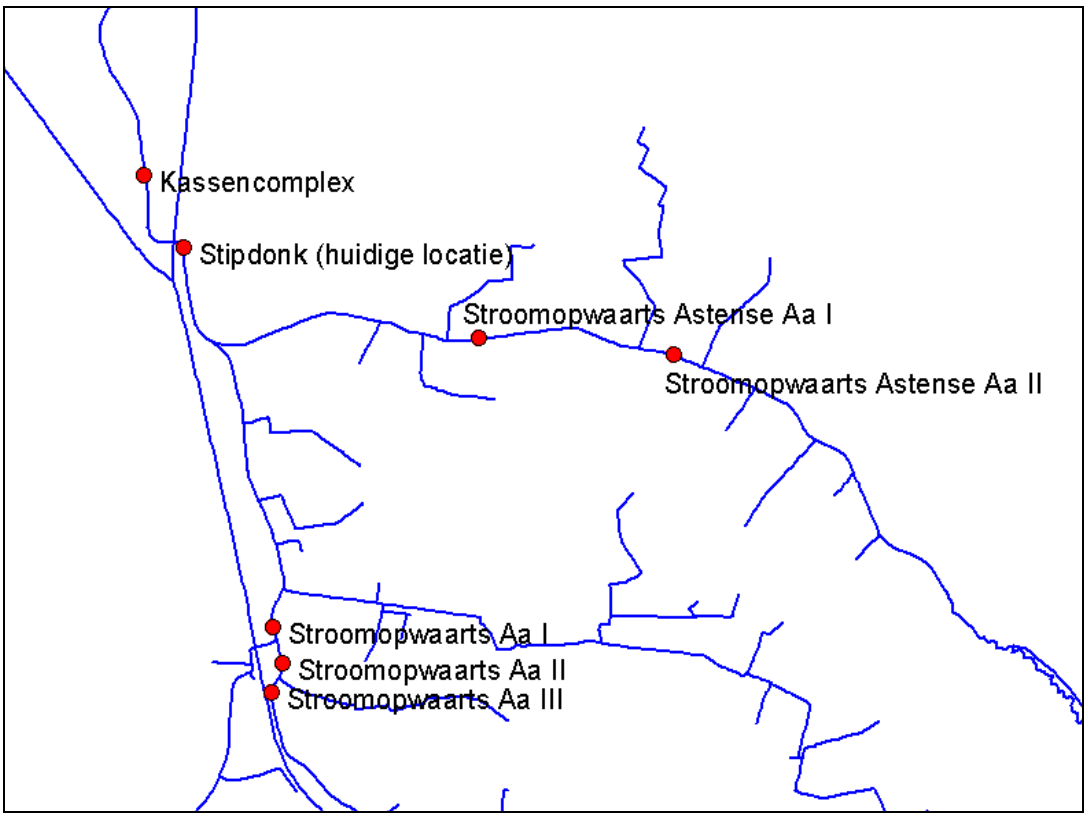

**Figuur 2.1: Locaties beektrajecten behorend bij tabel 2.1**

Voor de watergangen die buiten het Sobek model Diesdonk liggen is geen effect van beekherstel en inrichting EHS natuur ingebracht. Er is dus aangenomen dat het effect van deze veranderingen nul is.

Uitbreiding van stedelijk gebied is niet meegenomen in de autonome ontwikkeling. Dit is gebaseerd op het feit dat het waterschap van projectontwikkelaars eist dat toename van verhard oppervlak niet leidt tot een wijziging in de afvoersituatie. Ook afkoppelen wordt niet meegenomen als autonome ontwikkeling. De omvorming naar natuurgebieden en het creëren van nattere natuur wordt niet meegenomen omdat dit de afvoersituatie in geringe mate zal wijzigen. Deze keuze is gemaakt omdat de eventuele geringe gevolgen voor alle scenario's gelijk zullen zijn en zo de waterbergingsopgave niet zal beïnvloeden.

## 2.3 Resultaten berekeningen oppervlaktewater

In figuur 2.2 staan de locaties waar afvoeren en waterstanden zijn uitgelezen. De berekende afvoeren en waterstanden voor de huidige en de referentie situatie staan in Bijlage III.




**Figuur 2.2: Uitleeslocaties voor afvoer en waterstanden**

Voor de locatie benedenstrooms van Stipdonk zijn alle afvoersituaties opgenomen (T=1, T=5, T=10, T=25, T=50 en T=100). Bij de locaties Kassen complex (3), Bovenstrooms Astense Aa (5) en Bovenstrooms Aa (8) is alleen de T=100 situatie weergegeven. Met deze figuren kan het effect van de verwachte autonome ontwikkeling op het afvoerverloop inzichtelijk worden gemaakt. In Bijlage III zijn ook figuren van berekende waterstanden opgenomen.

Uit de figuren blijkt dat er een klein verschil in afvoer tussen de referentie en de huidige situatie is. De afvoer in de referentiesituatie is als gevolg van het ingebrachte beekherstel iets afgevlakt en vertraagd.

Voor de referentie situatie is tevens bepaald hoeveel van de bergingscapaciteit van het waterbergingsgebied reeds wordt benut door inundatie vanuit de Aa en Astense Aa. In tabel 2.2 staat per afvoersituatie de hoeveel reeds benutte ruimte binnen het waterbergingsgebied.

**Tabel 2.2: Berging [$m^3$] bij de referentie situatie per herhalingstijd**

| | T=1 | T=5 | T=10 | T=25 | T=50 | T=100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Referentie | 5000 | 8000 | 85000 | 95000 | 130000 | 190000 |

Om input te leveren aan het onderdeel ecologie is ook stationair gerekend voor een gemiddelde zomer en winter situatie. Bij deze berekeningen is voor drie stuwen een andere stuwstand ingevoerd in vergelijking met het model waarmee de afvoergolven zijn doorgerekend. Bij de gemiddelde zomer- en wintersituatie is namelijk gebruik gemaakt van de bijbehorende zomer en winter stuwstanden (tabel 2.3). De resultaten van deze berekeningen zijn gerapporteerd in het hoofdrapport van de MER en de Bijlage Ecologie. Daarnaast zijn de stationaire berekeningen van de gemiddelde situaties ook gebruikt als invoer voor het grondwatermodel.

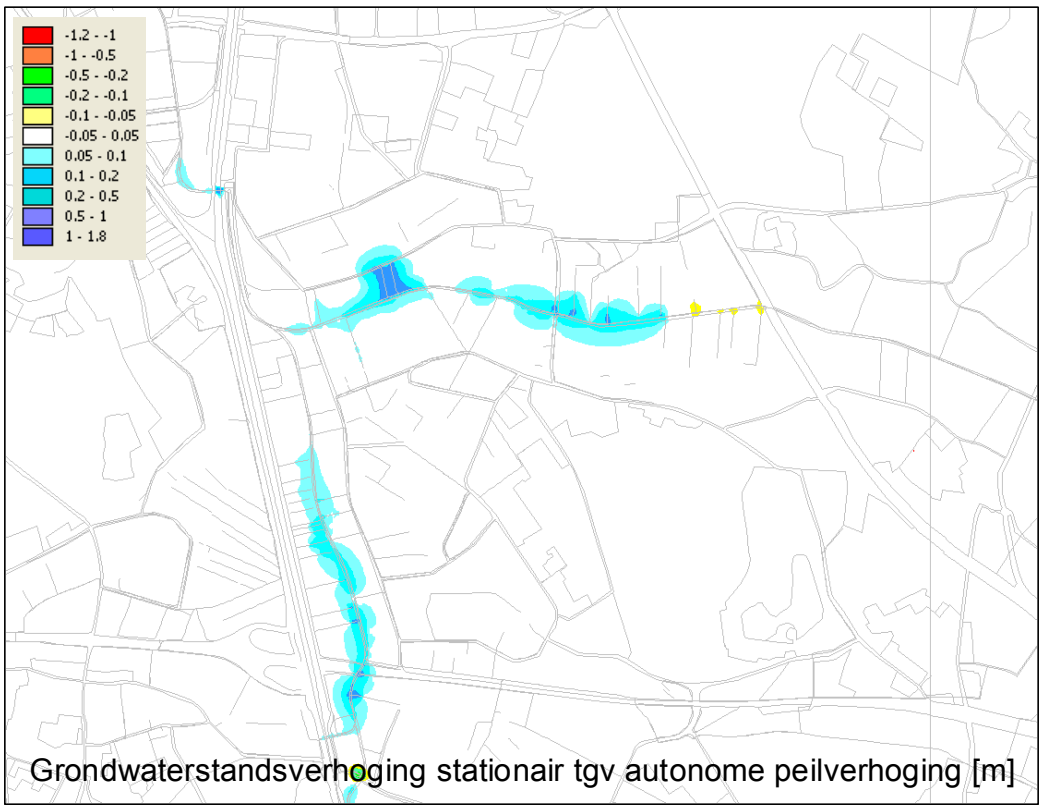
**Tabel 2.3: Verschillende stuwstanden.**

| Stuw | Zomerstand | Winterstand |
|---|---|---|
| 275A | 19,00 | 18,65 |
| 275B | 19,90 | 19,45 |
| 275C | 20,60 | 20,20 |
| Stipdonk | 18,20 | 17,90 |

## 2.4 Autonome ontwikkeling grondwater

Een autonome ontwikkeling in het aandachtsgebied is een aanpassing van de profielen (en de ligging) van de waterlopen aangepast. Deze ontwikkeling leidt tot een verhoging van het beekpeil. De peilverhoging is berekend met het oppervlaktewatermodel. De verhoging van het peil leidt vervolgens tot een verhoging van de grondwaterstanden, die met het grondwatermodel berekend is. Het effect van de peilopzet ten opzichte van de huidige situatie in een gemiddelde situatie is weergegeven in figuur 2.4.

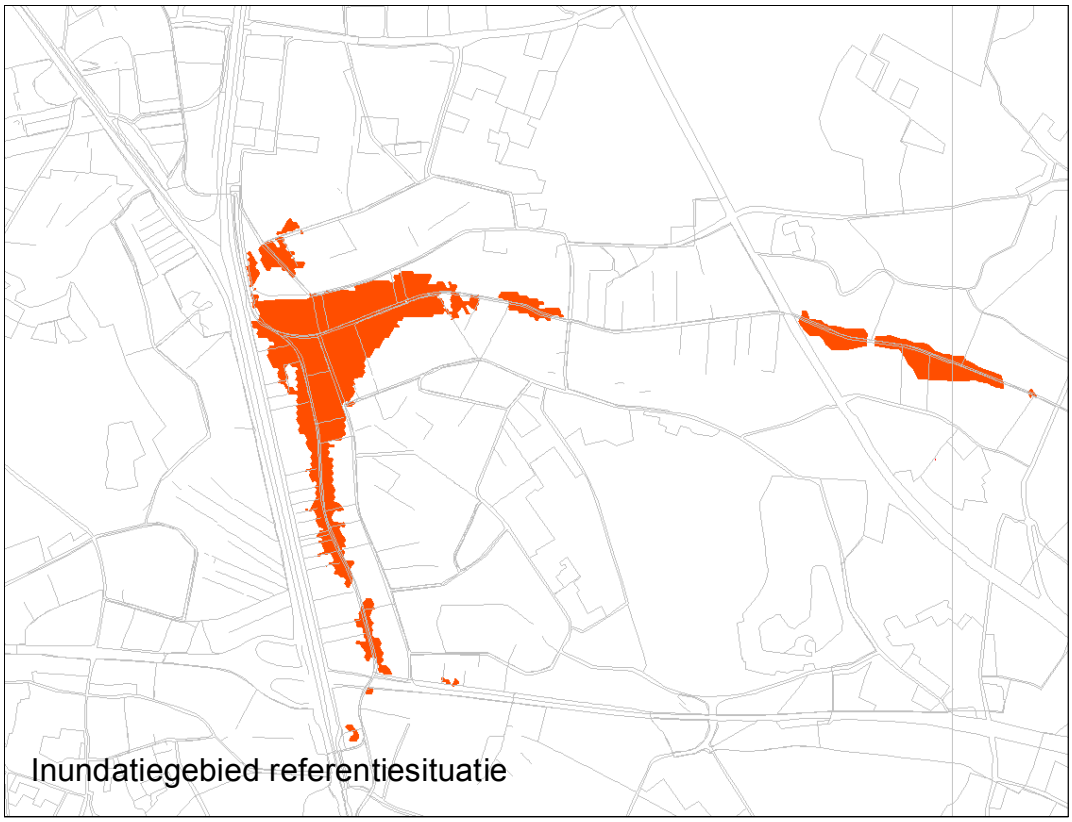
De autonome situatie wordt voor de MER als referentiesituatie gebruikt voor de effectbepaling van de waterberging.



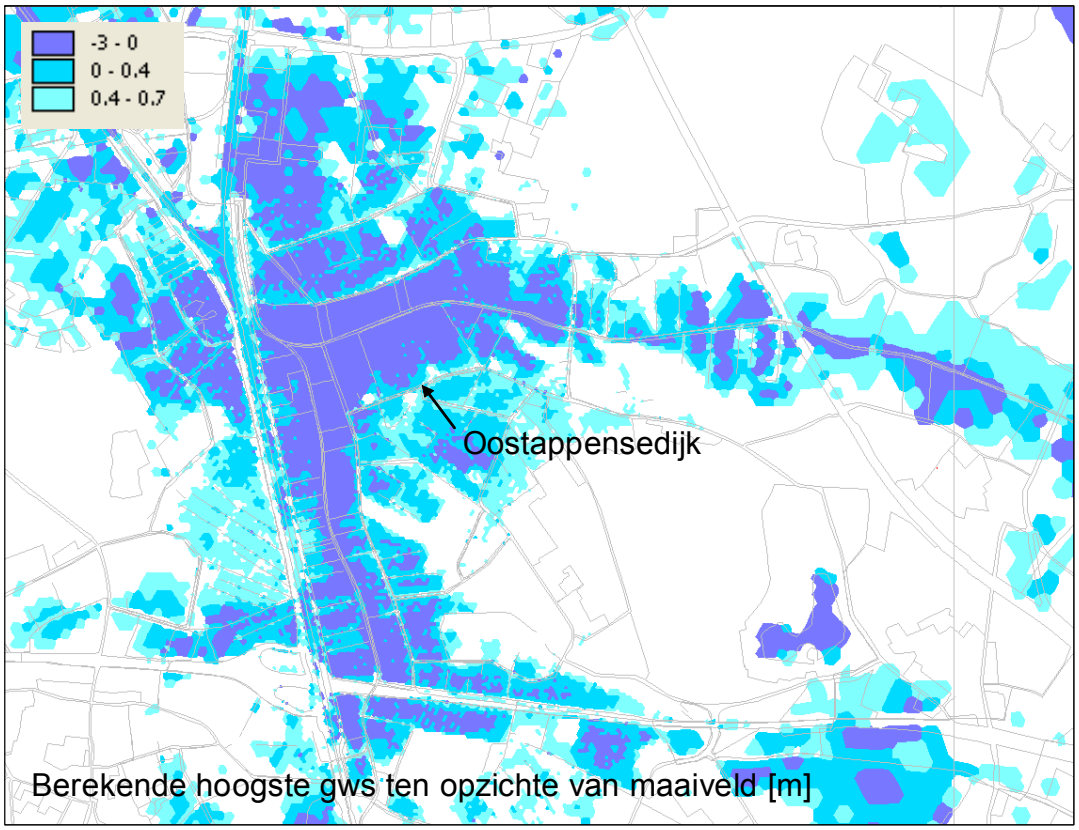

**Figuur 2.4: Berekende effect autonome ontwikkeling**

## 2.5 Inundatie bij hoogwater

Tijdens hoogwater inundeert een zone langs de beek met een peil van NAP +19,5. De zone die inundeert is weergegeven in figuur 2.5. Het peil en de inundatiezone zijn berekend met het oppervlaktewatermodel. Met het grondwatermodel zijn de hoogste grondwaterstanden berekend in het geval dat de inundatie 10 dagen zou aanhouden. De hoogst berekende grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld zijn weergegeven in figuur 2.6. In het figuur is zichtbaar dat ter plaatse van de bebouwing langs de Oostappensedijk de grondwaterstand dieper wordt berekend dan 0,4 meter beneden maaiveld. Alleen bij het meest westelijke bouwkavel wordt de inundatie dicht bij het kavel berekend.




**Figuur 2.5: Inundatiegebied**




**Figuur 2.6: Berekende hoogste grondwaterstand tov maaiveld [m]**

# 3 BESCHRIJVING LANDBOUW, NATUUR EN WATERBERGING+ ALTERNATIEF

Het waterbergingsgebied kan op verschillende manieren ingericht worden. Hieronder worden drie verschillende inrichtingswijzen beschreven.

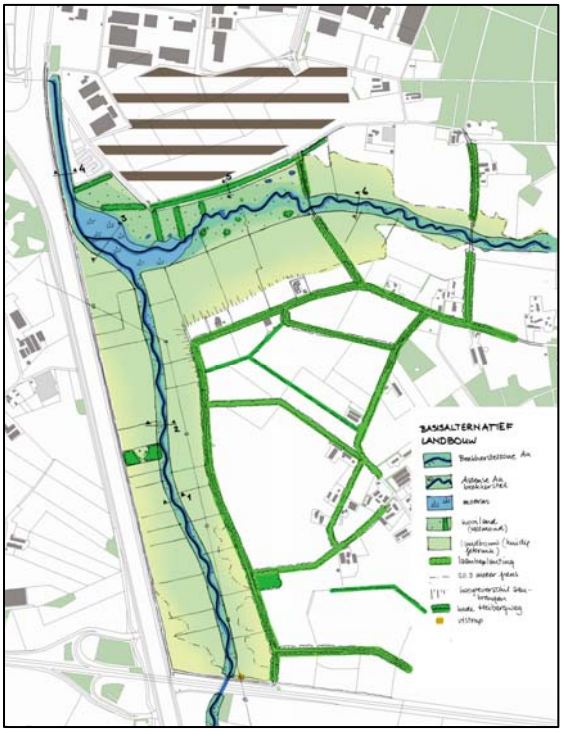
## 3.1 Landbouwalternatief

Het landbouwalternatief (figuur 3.1) bestaat uit de referentie situatie aangevuld met de volgende onderdelen:

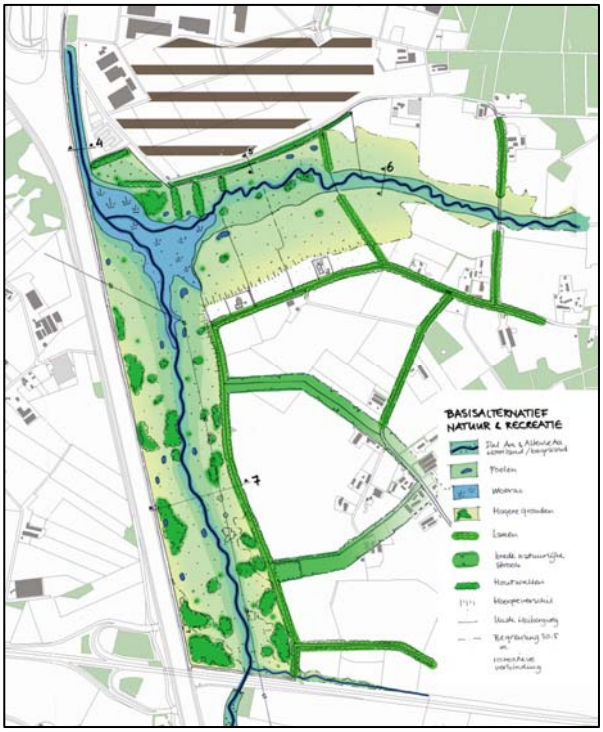
a. Verplaatsing van stuw Stipdonk naar het zuiden zodat deze aan de noordelijke rand van het waterbergingsgebied komt te liggen.
b. Waterpeil in het waterbergingsgebied mag maximaal 20.5 m + NAP worden.
c. Rond het waterbergingsgebied worden kades aangelegd zodat buiten het waterbergingsgebied gelegen gebieden niet overstromen.
d. De Aa weg in het zuid oosten van het waterbergingsgebied wordt ook als een kade beschouwd, zodat het gebied ten oosten van deze weg niet kan overstromen (zie figuur 3.3).

## 3.2 Natuuralternatief

Het natuuralternatief is hydrologisch, modeltechnisch gezien gelijk aan het landbouwalternatief. In het natuur alternatief zal het waterbergingsgebied natuurlijker worden ingericht (zie figuur 3.2). Deze andere inrichting, met bijvoorbeeld een aantal laagtes en meer begroeiing, zal de hydrologische werking van het waterbergingsgebied vrijwel niet beïnvloeden. Door afgraving zal het bergend vermogen iets groter worden, maar dit zal percentueel maar minimaal zijn. Een toename in de begroeiing zal het bergend vermogen iets verkleinen maar dit effect is ook minimaal.



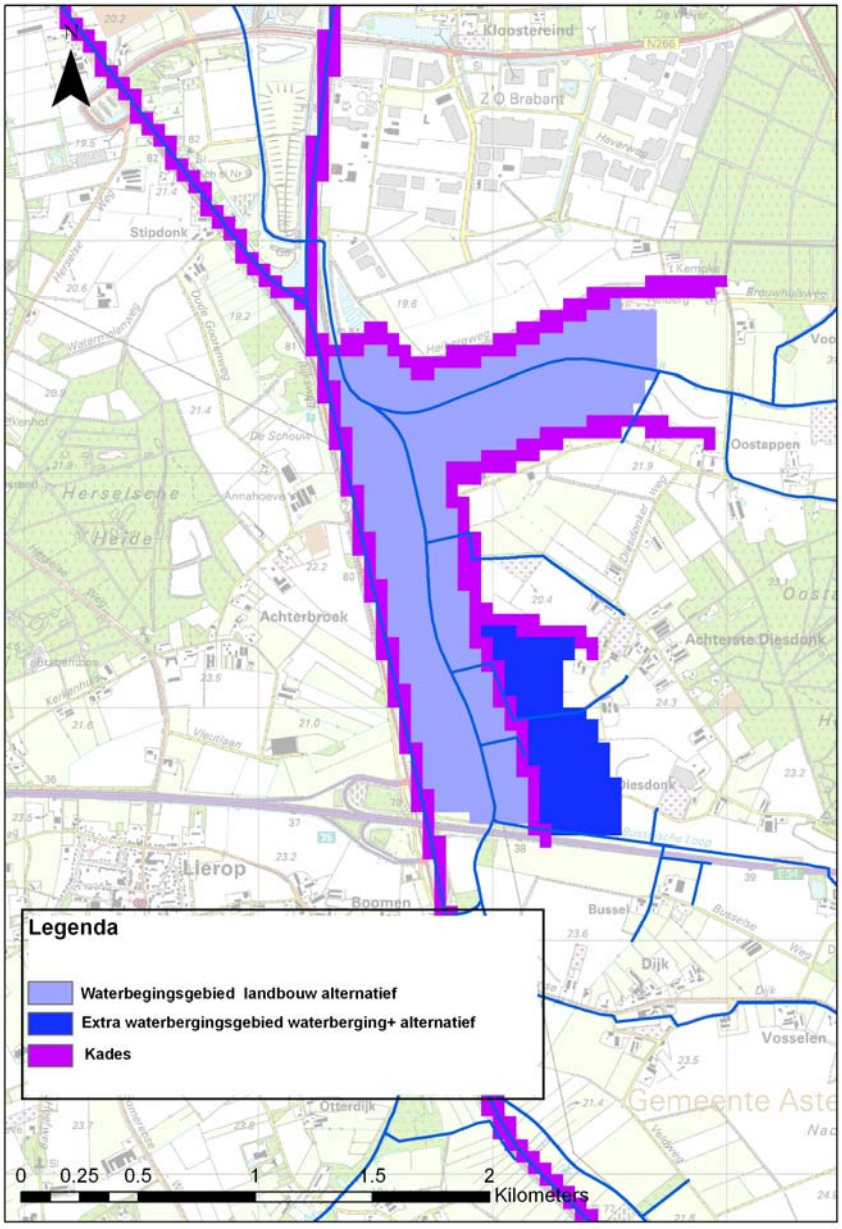

**Figuur 3.1: Landbouwalternatief**




**Figuur 3.2: Natuuralternatief**

## 3.3 Waterberging+alternatief

Het waterberging + alternatief is grotendeels gelijk aan het landbouwalternatief. Dit alternatief verschilt echter van het landbouwalternatief doordat nu de maximale waterstand in het waterbergingsgebied kan oplopen tot 21 m + NAP. Bovendien wordt bij dit alternatief ook het gebied ten oosten van de Aaweg als waterbergingsgebied ingezet (zie figuur 3.1).




**Figuur 3.3: Schematische weergave waterbergingsgebied bij het landbouw en het waterbergingsplus alternatief**

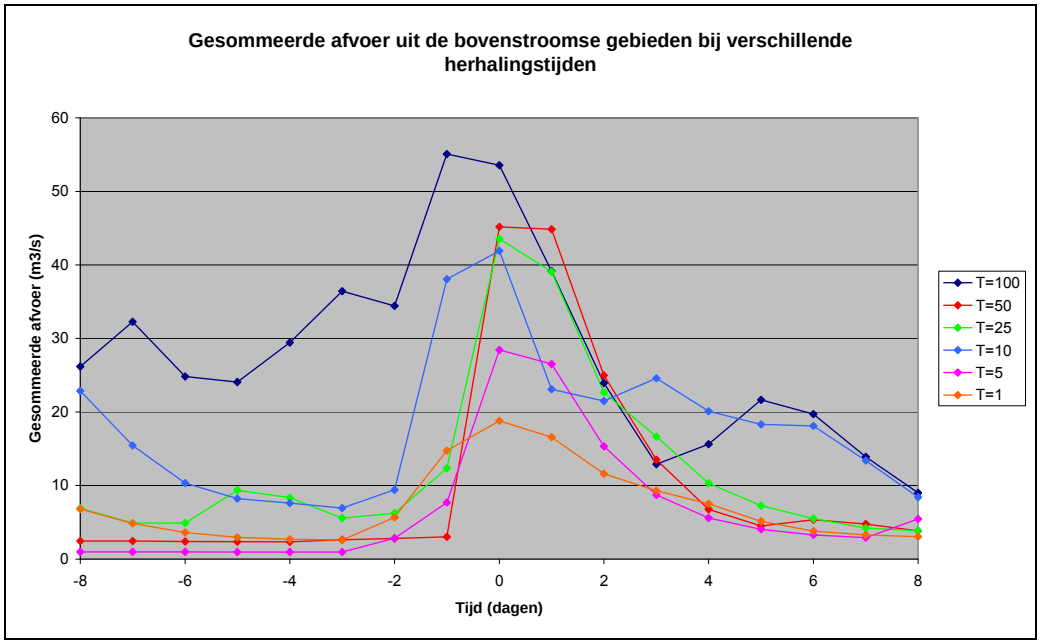
# 4 RESULTATEN OPPERVLAKTEWATERMODELLERING ALTERNATIEVEN

## 4.1 Bepaling afvoergolven

De afvoergolven zijn op de volgende manier berekend:

1. De 96-jarige neerslagreeks voor de Bilt is gebruikt (klimaatscenario 2050G als autonome ontwikkeling) als gebiedsgemiddelde neerslag bovenstrooms van Stipdonk.
2. Deze reeks is met de Wageningenmodellen doorgerekend. Dit levert een afvoer in mm/dag voor de verschillende gebieden.
3. De afvoeren van Wageningenmodellen bovenstrooms van stuw Stipdonk worden opgeteld om te komen tot een afvoer bij stuw Stipdonk.
4. De afvoeren worden gerangschikt van hoog naar laag.
5. Van de afvoer top100 wordt een “geschoonde” top 100 gemaakt zodat van elke afvoergolf alleen de piekafvoer in de afvoer top 100 wordt op genomen. De tijd tussen 2 afzonderlijke afvoergolven bedraagt ten minste 20 dagen.
6. De hoogst berekende piekafvoer (mm/d) is als T=100 benoemd.
7. Van de geschoonde top 100 wordt het 2$^{e}$, 4$^{e}$, 10$^{e}$, 20$^{e}$ en 100$^{e}$ afvoermaximum als respectievelijk de T=50, T=25, T=10, T=5 en T=1 benoemd.
8. De afvoergolf die in Sobek wordt gebruikt, beslaat periode van 15 dagen voor tot 7 dagen na de piekafvoer.

De gesommeerde afvoer van de gebieden bovenstrooms van de Schabbert staat in figuur 4.1. Om dit figuur te maken zijn de afvoeren (mm/dag) van de verschillende bovenstroomse gebieden vermenigvuldigd met het oppervlak van die gebieden. Dit is niet de gemeten afvoer bij de Schabbert, maar het geeft wel inzicht in de maatgevende afvoergolven die uit het gebied komen.




**Figuur 4.1: De gesommeerde afvoer uit de gebieden bovenstrooms van de Schabbert bij verschillende herhalingstijden**

## 4.2 Bepaling van de inzet van het waterbergingsgebied

### 4.2.1 Achtergrond

Een waterbergingsgebied kan op verschillende momenten en manieren worden ingezet. Om een zo goed mogelijk beeld van de effecten te krijgen, is het noodzakelijk om te bepalen wanneer de inzet het meest effectief is. Voor waterberging Diesdonk is dit belangrijk om zo de effecten ten behoeve van de MER zo goed mogelijk in te schatten. Hieronder wordt kort uitgelegd waarom het moment van inzetten belangrijk is.

Wordt het gebied te vroeg ingezet, dan staat Diesdonk al vol (tot streefpeil 20.5 of 21.0 m + NAP) voordat het grootste volume in de afvoerpiek voorbij komt. Dan kan er geen water meer worden geborgen. Het gevolg hiervan is dat de maximale waterstand benedenstrooms hetzelfde blijft. De maximale waterstand treedt in dit watersysteem namelijk op bij de hoogste afvoergolf. Kortom, als het gebied te vroeg vol staat, kan het (als het nodig is) niet meer ingezet worden en gaat het waterbergende effect verloren.

Wordt het gebied te laat ingezet, dan wordt het streefpeil (20.5 of 21.0 m + NAP) niet gehaald. Diesdonk wordt dan niet effectief ingezet en heeft slechts een kleine invloed op de benedenstroomse waterstanden.

Waterberging Diesdonk moet daarom op het juiste moment worden ingezet. Dit moment van inzetten is per afvoergolf verschillend. De afvoergolven hebben namelijk een verschillend volume en afvoerverloop terwijl de waterbergende ruimte (in kubieke meters) in Diesdonk bij alle afvoersituaties hetzelfde is. Daarom is voor de berekeningen per afvoersituatie bepaald wanneer Diesdonk zo effectief mogelijk kan worden ingezet.

### 4.2.2 Bepaling inzet Diesdonk

De hoeveelheid water die effectief in Diesdonk geborgen kan worden is afhankelijk van de grootte van het gebied, het maximaal toegestane waterpeil en de hoeveelheid water die in de referentie situatie al aanwezig is in het gebied. In de referentie situatie wordt er al water in het waterbergingsgebied geborgen, doordat de Aa en de Astense Aa al buiten hun oevers treden binnen de grenzen van het waterbergingsgebied (tabel 2.2).

Het extra water dat in het waterbergingsgebied geborgen kan worden is ook afhankelijk van de waterstand in het gebied. Bij het landbouw alternatief mag de waterstand in het waterbergingsgebied oplopen tot 20.5 m +NAP en bij het waterberging+ alternatief tot 21.0 m + NAP. De hoeveelheid beschikbare ruimte is met behulp van een GIS-analyse op basis van de hoogte kaart (AHN) geschat. De beschikbare ruimte is per herhalingstijd verschillend, omdat bij grotere afvoergolven (laagfrequent) al meer water in de referentie situatie inundeert.

Vervolgens is per afvoergolf op basis van de nog beschikbare ruimte berekend wanneer het waterbergingsgebied effectief ingezet kan worden. Het resultaat hiervan is een debiet vanaf wanneer de afvoer bij stuw Stipdonk geknepen moeten worden. Dit knijpdebiet verschilt dus per afvoergolf. Aangezien de hoeveelheid beschikbare ruimte met behulp van een GIS-analyse zijn bepaald, geeft dit niet een exact antwoord op het juiste knijpdebiet.

Het meest effectieve knijpdebiet is vervolgens met een aantal iteratie-slagen met het oppervlaktewatermodel berekend zodat het waterbergingsgebied in de berekeningen zo effectief mogelijk wordt ingezet.

De definitieve knijpdebieten zijn opgenomen in tabel 4.1.

**Tabel 4.1: Knijpdebieten [$m^3/s$] inzet waterberging Diesdonk**

| | **Landbouwalternatief** | **Waterberging+alternatief** |
|---|---|---|
| T=1 | 13.4 | 13.4 |
| T=5 | 13.4 | 13.4 |
| T=10 | 17.1 | 13.8 |
| T=25 | 17.2 | 13.4 |
| T=50 | 18.1 | 13.9 |
| T=100 | 26.1 | 22.5 |

De streefafvoer uit het waterbergingsgebied Diesdonk is 13,4 $m^3/s$. Deze waarde is bepaald om zo lang mogelijk een overschrijding van het kritieke afvoerniveau van 32 $m^3/s$ over de Schabbert te voorkomen. Hierbij is rekening gehouden met een maximale afvoer uit Dierdonk van 14,6 $m^3/s$ en maximale afvoeren van twee keer 2 $m^3/s$ uit de benedenstrooms van Diesdonk gelegen kanalen [lit.12].

De streefwaarde kan bij T=1 en T=5 in beide alternatieven worden gehaald. In het landbouw-alternatief is het waterbergingsgebied niet groot genoeg om bij de andere herhalingstijden de hele piekafvoer af te vlakken tot 13,4 $m^3/s$. Ondanks dat het waterbergingsgebied volledig wordt ingezet, is de afvoer uit het gebied nog steeds te hoog. Bij het waterberging+alternatief wordt de steefafvoer bij T=10 bijna volledig (totale volume afvoergolf is groter dan bij T=25) en bij T=25 volledig gehaald.

## 4.3 Effecten van alternatieven

### 4.3.1 Bergingscapaciteit

In tabel 4.2 staat het berekende bergingsvolume (afgerond) van het waterbergingsgebied bij het landbouw- en waterberging+alternatief weergegeven. Tevens is het verschil ten opzichte van de referentie situatie opgenomen.

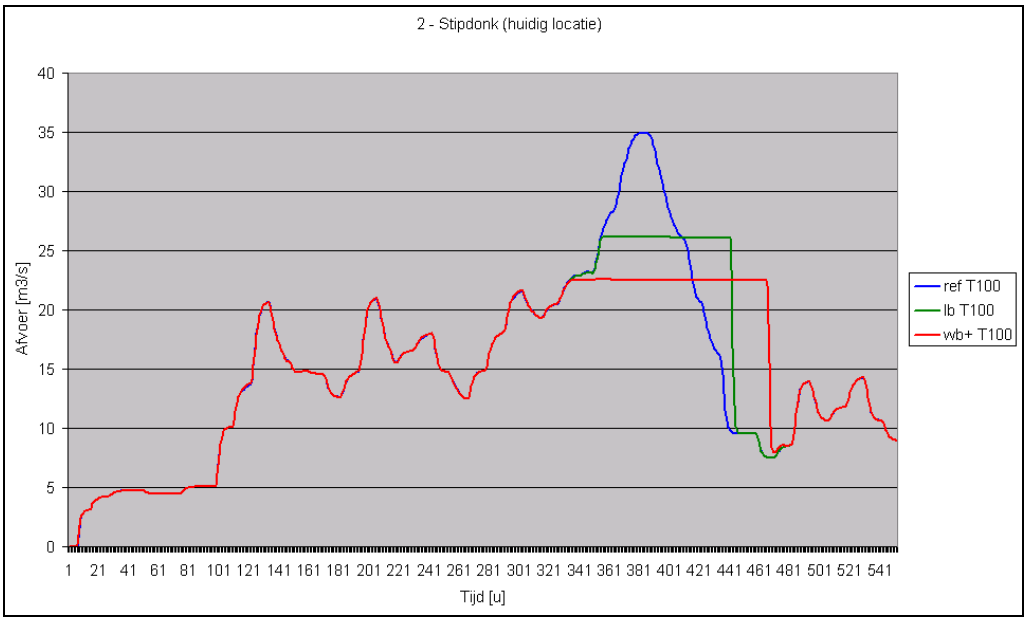
**Tabel 4.2: Afgerond bergingsvolume waterbergingsgebied [$m^3$] per alternatief en toename waterberging ten opzichte van de referentie situatie**

| | Referentie | Landbouw | Toename | Waterberging+ | Toename |
|---|---|---|---|---|---|
| **T=100** | 190000 | 900000 | 710000 | 1500000 | 1310000 |
| **T=50** | 130000 | 900000 | 770000 | 1500000 | 1370000 |
| **T=25** | 95000 | 900000 | 805000 | 1500000 | 1405000 |
| **T=10** | 85000 | 900000 | 815000 | 1500000 | 1415000 |
| **T=5** | 8000 | 185000 | 177000 | 185000 | 177000 |
| **T=1** | 5000 | 5000 | 0 | 5000 | 0 |

Het bergingsvolume is bij volledige inzet bij T=10, T=25, T=50 en T=100 gelijk aan elkaar. De netto bergingscapaciteit is echter afhankelijk van de hoeveelheid water die in de referentie situatie is geïnundeerd. Bij T=5 wordt het gebied slechts gedeeltelijk ingezet en bij T=1 helemaal niet.

### 4.3.2 Afvoer

In Bijlage III zijn de afvoergrafieken opgenomen voor de belangrijkste locaties (figuur 2.2) en herhalingstijden. In figuur 4.2 is als voorbeeld de afvoer bij locatie Stipdonk weergegeven bij een T=100 afvoersituatie.



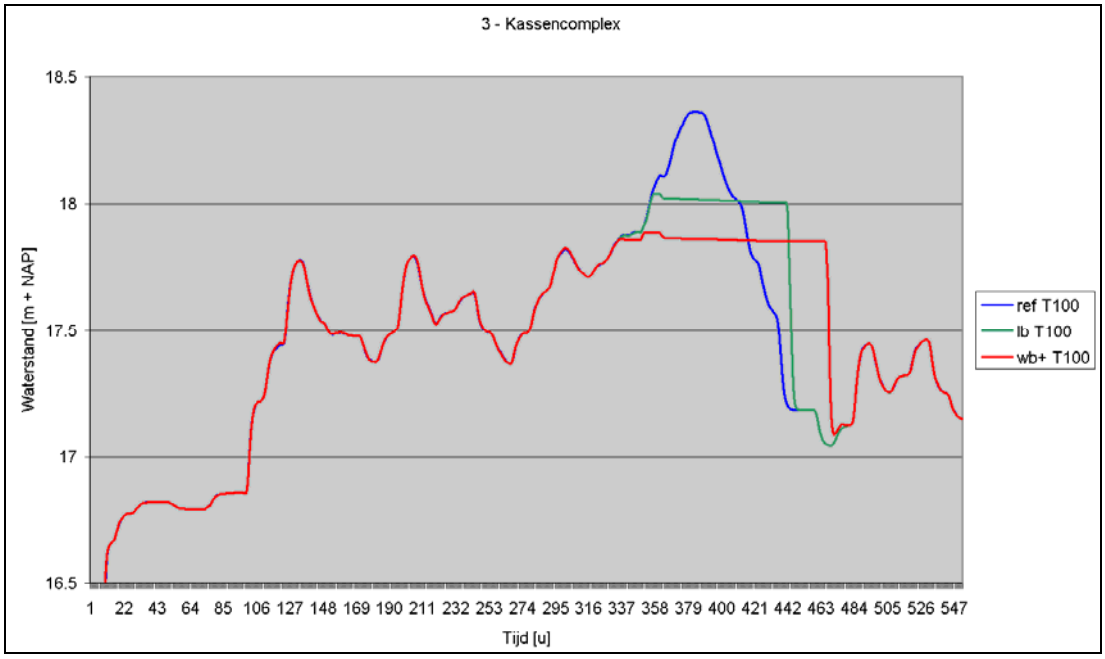

**Figuur 4.2: Afvoer bij Stipdonk van referentie situatie, landbouw- en waterberging+alternatief**

Door het waterbergingsgebied in te zetten worden de afvoerpieken gereduceerd. Voor de reductie van de piekafvoeren uit het waterbergingsgebied wordt voor de herhalingstijden T=10, T=25, T=50 en T=100 het gehele waterbergingsgebied ingezet. De waterstanden aan de rand van het waterbergingsgebied zullen dan ook respectievelijk 20.5m + NAP en 21.0 m + NAP zijn voor het landbouw en het waterbergings+ alternatief.

Bij T=5 wordt niet het hele waterbergingsgebied ingezet. Bij het landbouw- en waterberging+alternatief komt de waterstand niet tot 20.5 m + NAP maar tot 19.7 m + NAP. Bij T=1 is geen inzet van het waterbergingsgebied nodig. De streefwaarde voor het debiet over stuw Stipdonk (3.4 $m^3/s$) wordt namelijk niet overschreden.

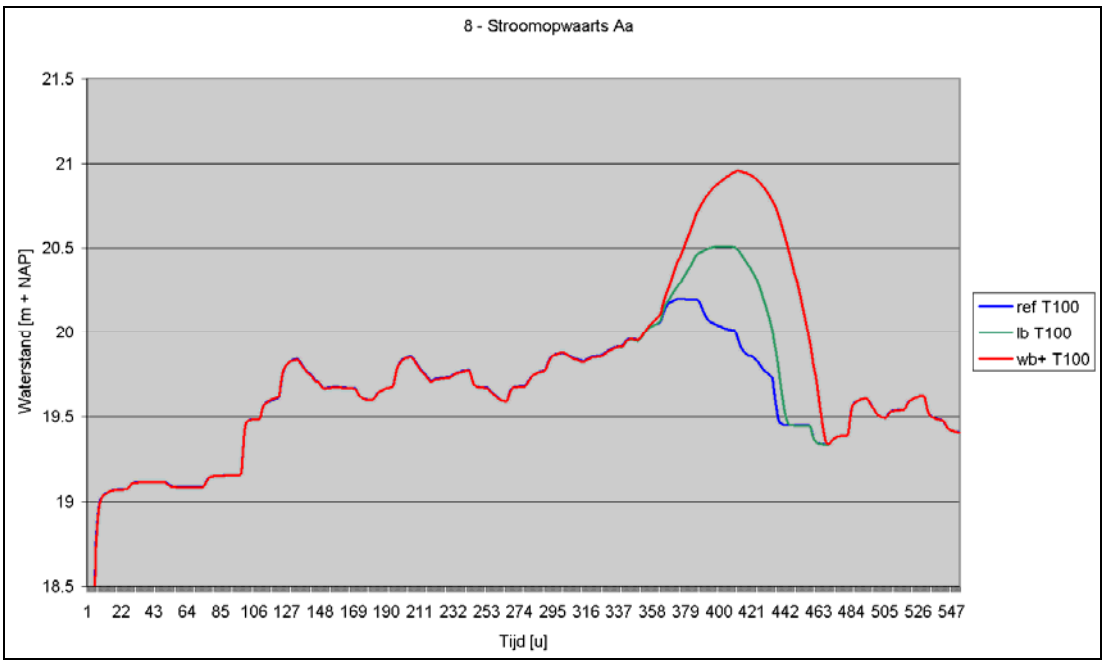
### 4.3.3 Waterstand

De figuren van waterstanden zijn ook opgenomen in bijlage III. Door het bergen van water in het waterbergingsgebied is de waterstand benedenstroom lager in vergelijking met de referentiesituatie. Als voorbeeld is hieronder in figuur 4.3 de waterstanden bij het Kassen complex voor de T=100 afvoersituatie getoond.



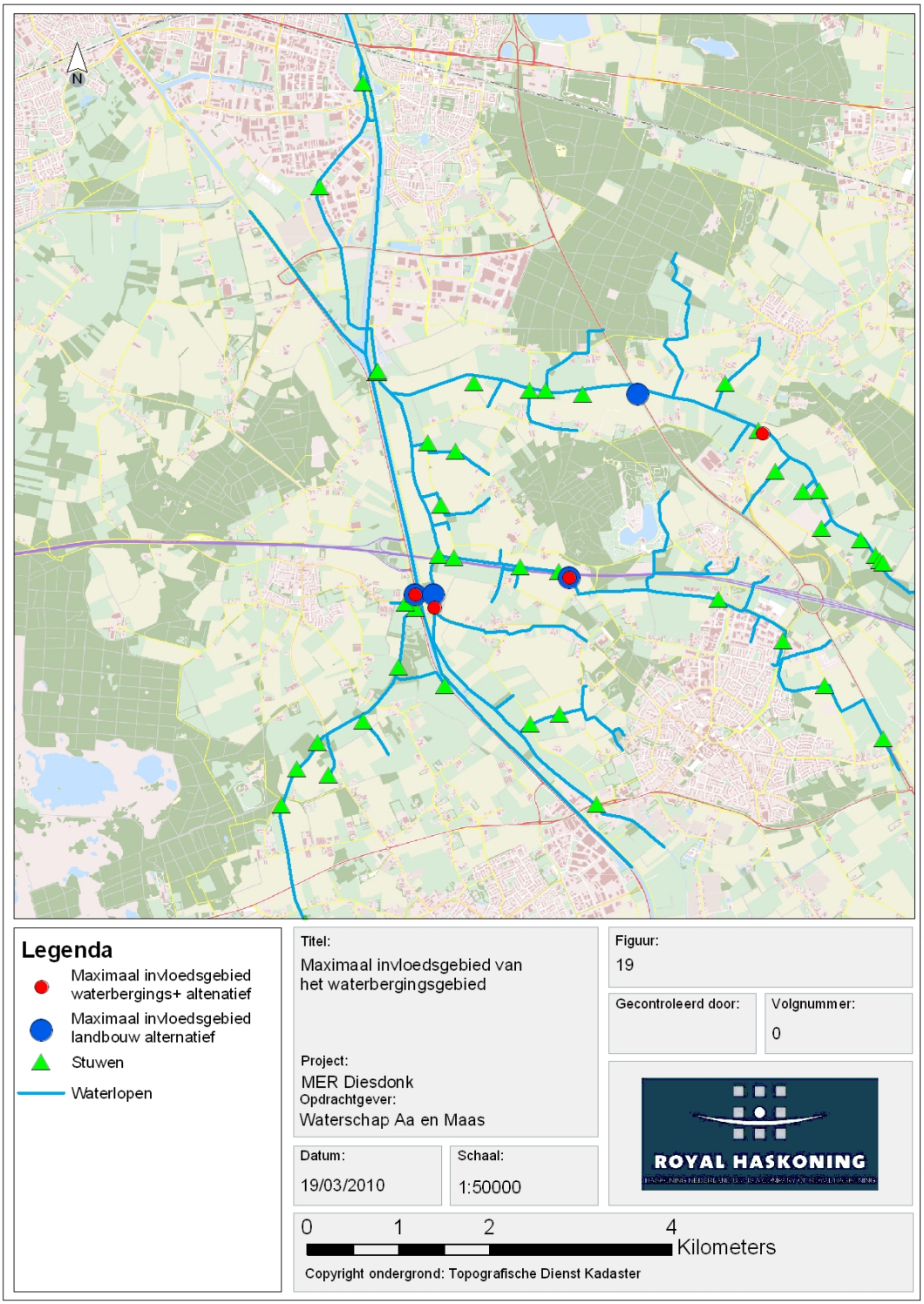

**Figuur 4.3: Waterstanden bij het Kassen complex voor de T=100 afvoergolf**

Benedenstrooms van Diesdonk treedt door de inzet van het waterbergingsgebied een daling in waterstand op. Bovenstroom wordt de waterstand in de watergangen als gevolg van opstuwing hoger (figuur 4.4).




**Figuur 4.4: Waterstanden stroomopwaarts in de Aa voor de T=100 afvoergolf**

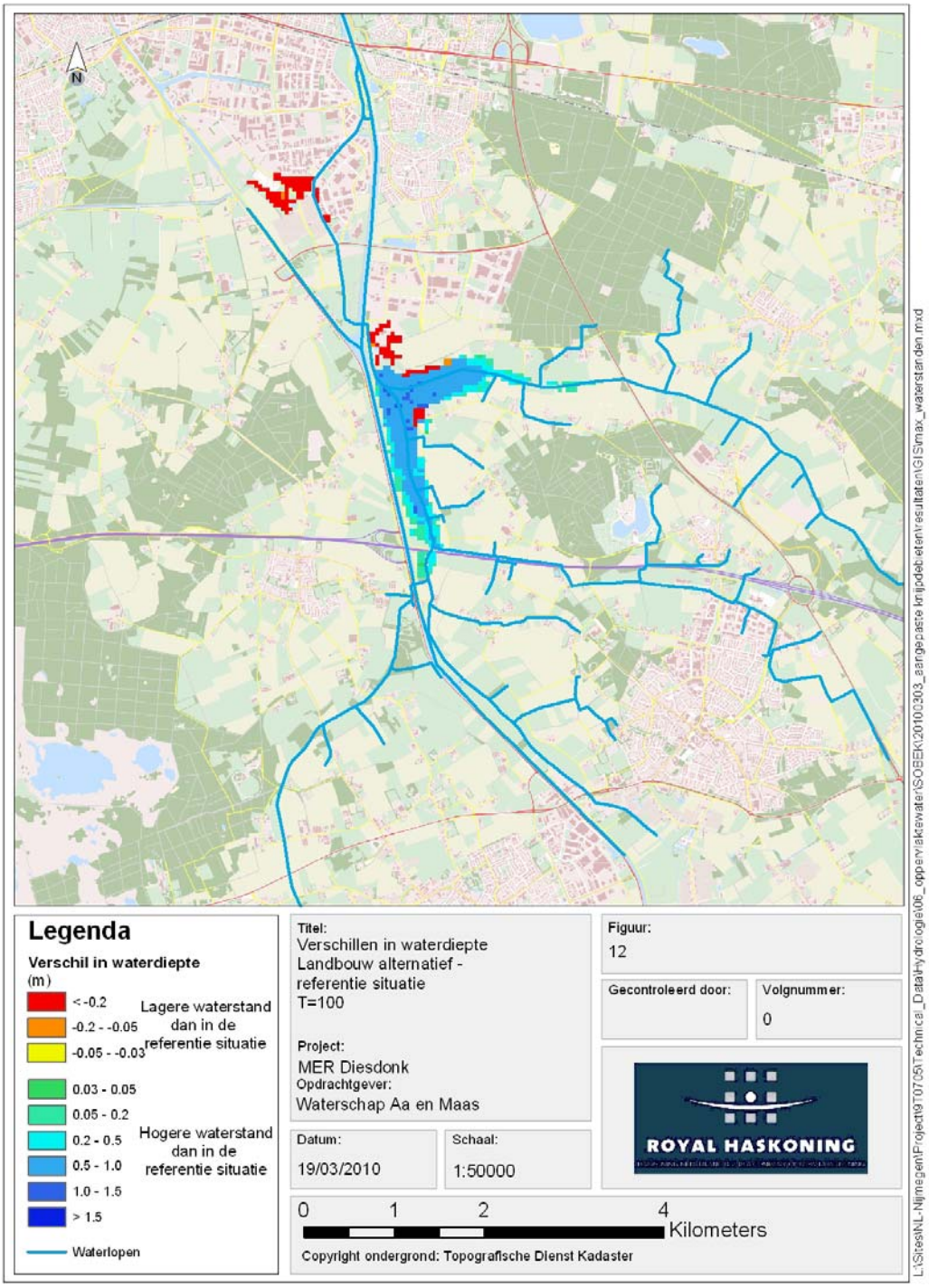
Hoeveel opstuwing er in de bovenstroomse watergangen plaats vindt is afhankelijk van de waterstand in het waterbergingsgebied en de duur van de berging. Bij T=1 is er geen opstuwing ten opzichte van de referentie situatie omdat er geen berging is. Bij T=5 (landbouw en waterberging+ alternatief) is de opstuwing minder dan bij een volledige inzet van Diesdonk. Vanwege het hogere waterpeil is de opstuwing bij het waterberging+alternatief het grootst. In figuur 4.5 is weergegeven hoe ver het effect op de maximale waterstand reikt. Dit is bepaald door de berekende waterstanden in de watergangen van de alternatieven en de referentiesituatie met elkaar te vergelijken. Effecten kleiner dan 3 cm worden als numerieke onnauwkeurigheid beschouwd. Kortom, in deze figuur is het invloedsgebied op maximale waterstanden van Diesdonk bij het landbouwalternatief en waterberging+alternatief aangegeven.




**Figuur 4.5: Maximaal invloedsgebied op waterstanden voor het landbouw- en waterberging+alternatief**

### 4.3.4 Inundatie

Voor het ruimtelijk beeld van inundatie zijn per herhalingstijd verschilkaarten gemaakt (figuur 4.6 en Bijlage IV).




**Figuur 4.6: Verschilkaart inundatie tussen landbouwalternatief en referentie situatie bij een T=100 afvoersituatie**

Uit figuur 4.6 wordt duidelijk dat de inzet van Diesdonk benedenstroomse inundatie reduceert. Het effect van opstuwing op inundatie bovenstrooms van het plangebied is gering. Op de kaarten uit de bijlage is tevens te zien dat de inundatie bij het landbouw en het waterberging+ alternatief bij T=1 gelijk is aan de referentie situatie. Bij T=5 wordt er bij het landbouw en waterbergings+ alternatief meer water geborgen in het waterbergingsgebied. Bij de herhalingstijden T=10, T=25, T=50 en T=100 is het waterbergingsgebied maximaal gevuld.

## 4.4 Conclusies oppervlaktewatermodellering

Zowel het landbouwalternatief als het waterbergings+ alternatief reduceren het piek-debiet benedenstrooms van stuw Stipdonk. De waterstanden benedenstrooms worden daarmee bij piekafvoeren lager. De effecten bovenstrooms op maximale waterstanden blijven beperkt, bij het waterbergings+alternatief is er meer effect dan bij het landbouwalternatief.

De resultaten zijn getoetst aan de doelstelling van een maximale toegestane afvoer van 13,4 $m^3$/s uit Diesdonk (zie ook tabel 4.1). In tabel 4.3 zijn de resultaten samengevat waaruit blijkt dat met het waterberging+alternatief tot T=25 voldaan kan worden aan de doelstelling. Voor het landbouw- en natuur-alternatief geldt dit alleen voor T=1 en T=5. Bij T=50 en T=100 is het bij alle alternatieven niet mogelijk om de afvoer tot 13,4 $m^3$/s te reduceren.

**Tabel 4.3: Conclusie doelstelling inzet waterberging Diesdonk**

| | Landbouw | Natuur | Waterberging+ |
|---|---|---|---|
| **T=1** | + | + | + |
| **T=5** | + | + | + |
| **T=10** | - | - | + |
| **T=25** | - | - | + |
| **T=50** | - | - | - |
| **T=100** | - | - | - |

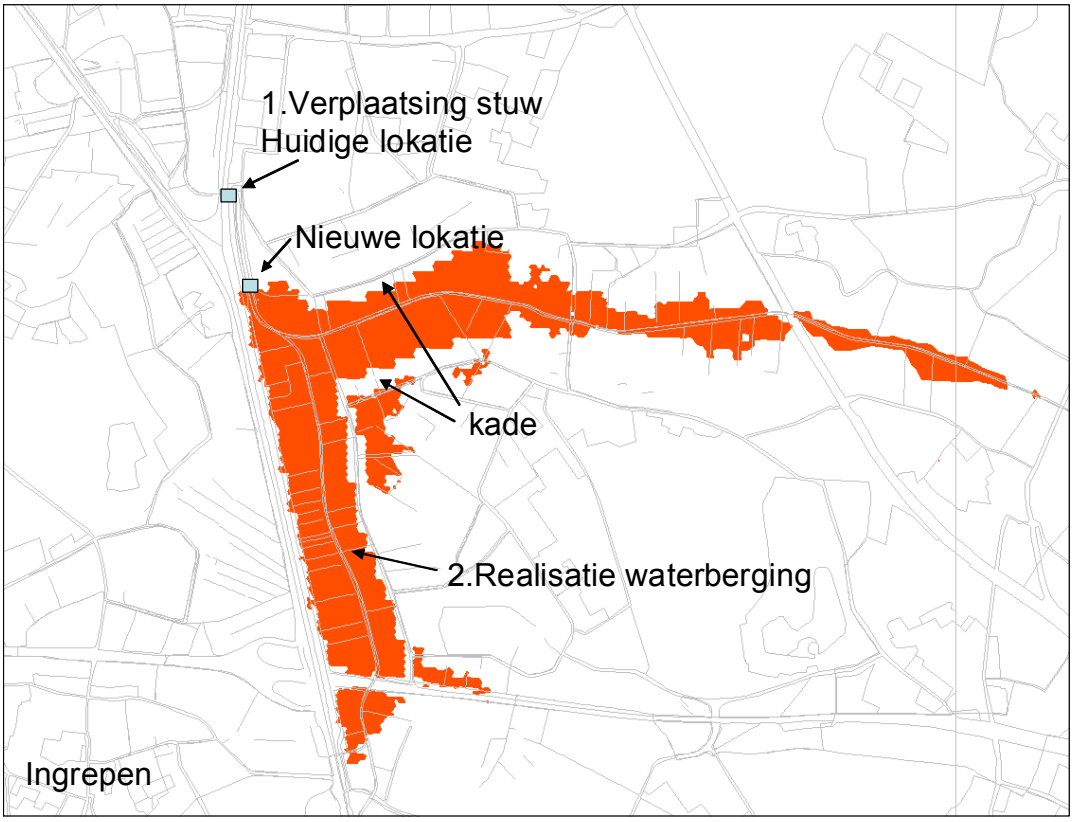
# 5 EFFECTEN OP HET GRONDWATER

## 5.1 Inleiding

Ten behoeve van de MER zijn een tweetal ingrepen met het grondwatermodel doorgerekend (zie figuur 5.1):

1. Een landbouwalternatief, waarbij de stuw aan de noordzijde van het aandachtsgebied naar het zuiden wordt verplaatst. Deze ingreep heeft gevolgen voor de GHG en de GLG.
2. Een waterbergingsalternatief, waarbij tussen een tweetal kades tijdens hoogwater een peil van NAP +20,95 meter wordt gecreëerd. Doordat het water bij de Oostappesedijk niet weg kan ontstaat hier ook buiten de kade inundatie.

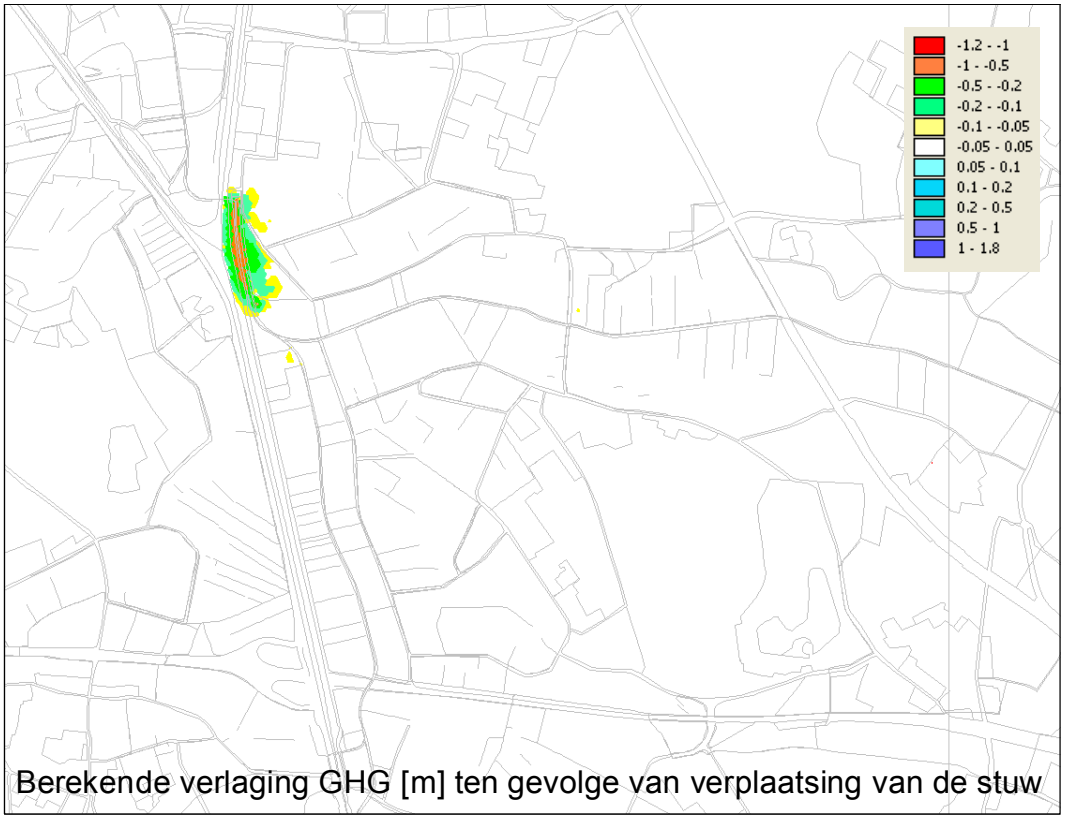
Als de inundatie buiten de kade tot niet acceptabele grondwaterstandsverhogingen leidt kan als compenserende maatregel het water over de kade gepompt worden. De waterbergingsvariant is eveneens met deze compenserende maatregel doorgerkend. Het effect op GHG en GLG kan met één berekening worden gedaan omdat dit voor alle alternatieven gelijk is. Voor het effect van waterberging is uitgegaan van een “worst-case” waarbij gerekend is met een peilopzet behorende bij het waterberging+alternatief voor een T=100 afvoersituatie.



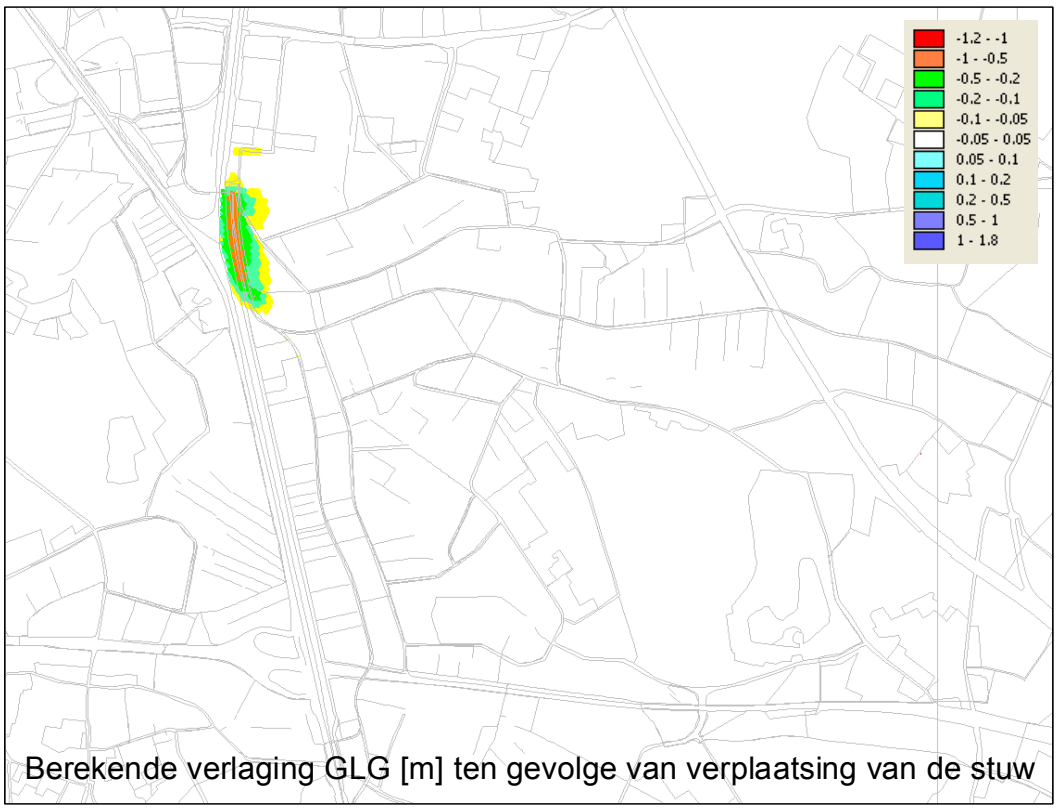

**Figuur 5.1: Ten behoeve van de MER doorgerekende ingrepen**

## 5.2 Effecten van de alternatieven op GHG en GLG

In onderstaande figuren is het berekende verschil in GHG (figuur 5.2) en GLG (figuur 5.3) weergegeven. De peilverlaging van meer dan een meter leidt tot een verlaging van de grondwaterstand van 5 cm op circa 125 a 150 meter van de beek.



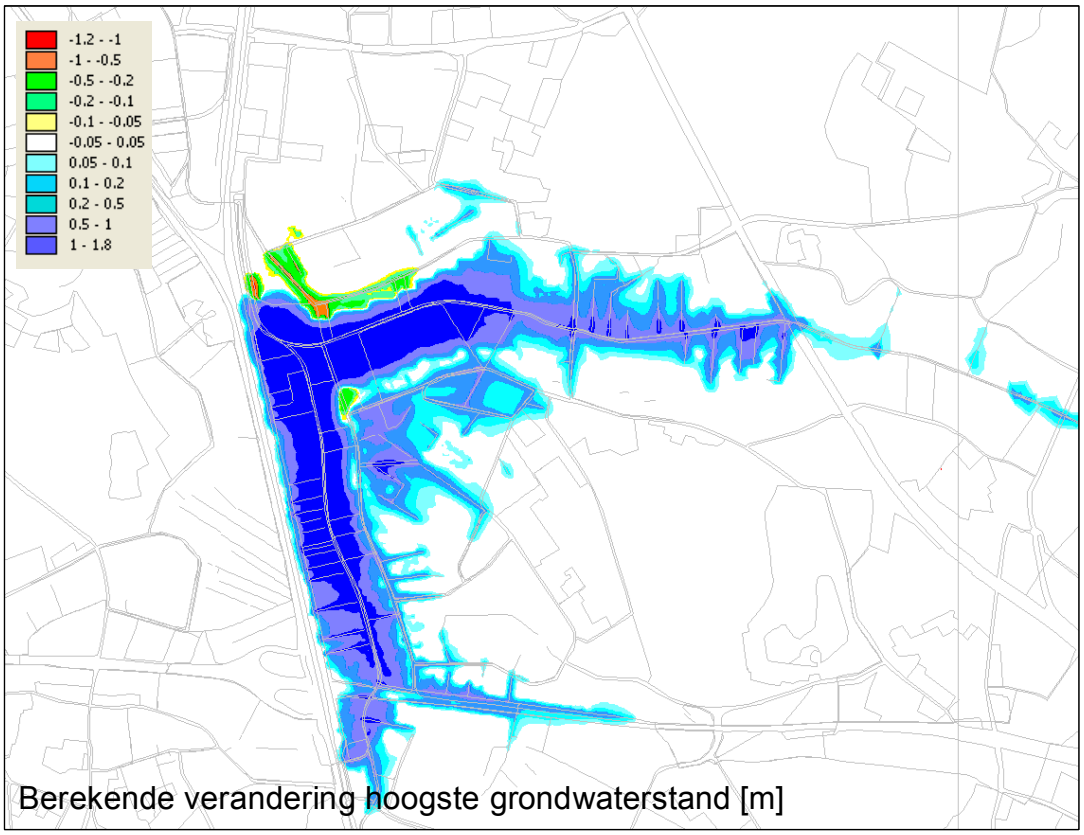

**Figuur 5.2: Verandering GHG als gevolg van de alternatieven tov de referentie**




**Figuur 5.3: Verandering GLG als gevolg van de alternatieven tov de referentie**

## 5.3 Effecten bij waterberging

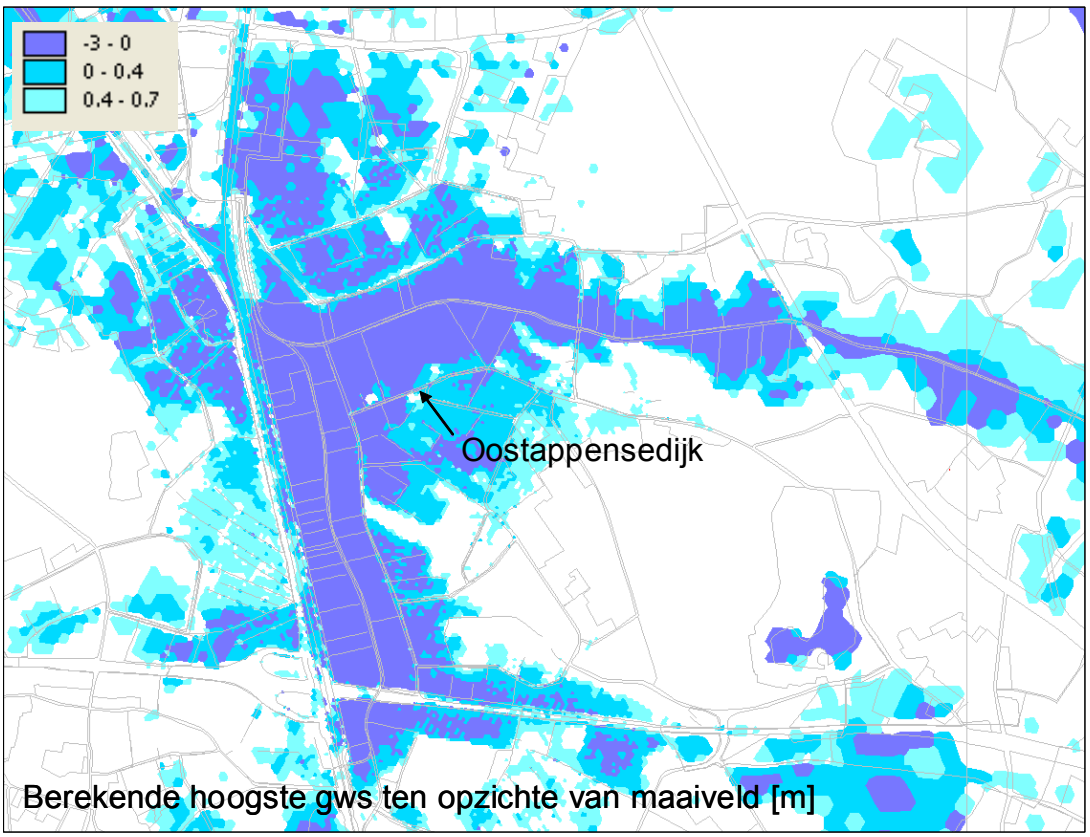
Net als in de referentiesituatie is er van uit gegaan dat de inundatieperiode 10 dagen duurt. Aan het eind van de inundatieperiode is de verhoging van de grondwaterstand in het plangebied het grootst. Daarna kan het water dat boven maaiveld staat via het oppervlaktewatersysteem worden afgevoerd en daarmee verdwijnt de inundatie boven maaiveld. Nadat de waterstand onder maaiveld is gezakt blijft in het plangebied een verhoging van de grondwaterstand zichtbaar die langzaam afneemt doordat de hoeveelheid ‘extra’ grondwater die door inundatie is ontstaan via de bodem en het drainagesysteem moet worden afgevoerd.




**Figuur 5.4: Berekende verhoging hoogste grondwaterstand**

De berekende verandering van de hoogste grondwaterstand is weergegeven in figuur 5.4. Opvallend is dat ten noorden van de noordelijke kade ook verlagingen optreden. Dit wordt veroorzaakt doordat in de referentiesituatie hier wel inundatie optreedt en in de waterbergingsvariant niet (vergelijk figuur 5.1 en figuur 2.5). Er zijn dus geen effecten van de ingreep te verwachten in het industriegebied ten noorden van de beek.

In de zone ten zuiden van de Oostappense dijk worden grondwaterstandsverhogingen tot circa 0,2 meter ten gevolge van de inundatie buiten de kade. De grondwaterstand ten opzichte van maaiveld is weergegeven in figuur 5.5. De situatie rond de Oostappensedijk wordt natter in vergelijking met de referentiesituatie.



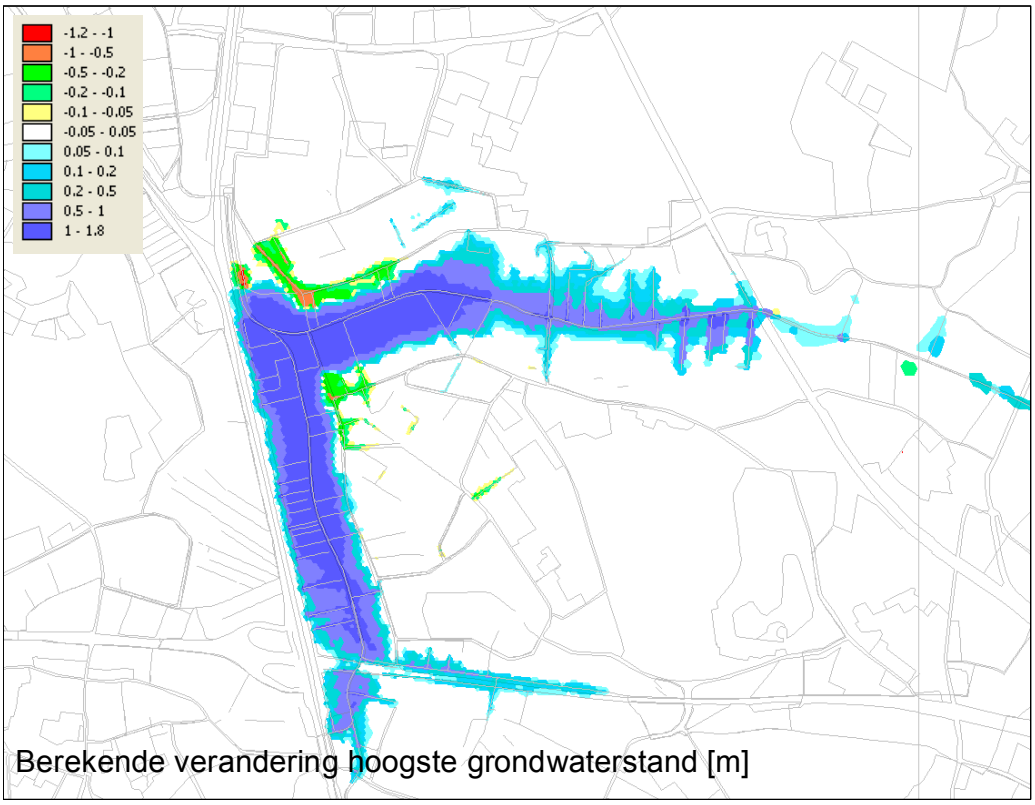

**Figuur 5.5: Berekende hoogste grondwaterstand ten opzichte van maaiveld**

## 5.4 Waterberging+alternatief effecten bij waterberging met compensatie

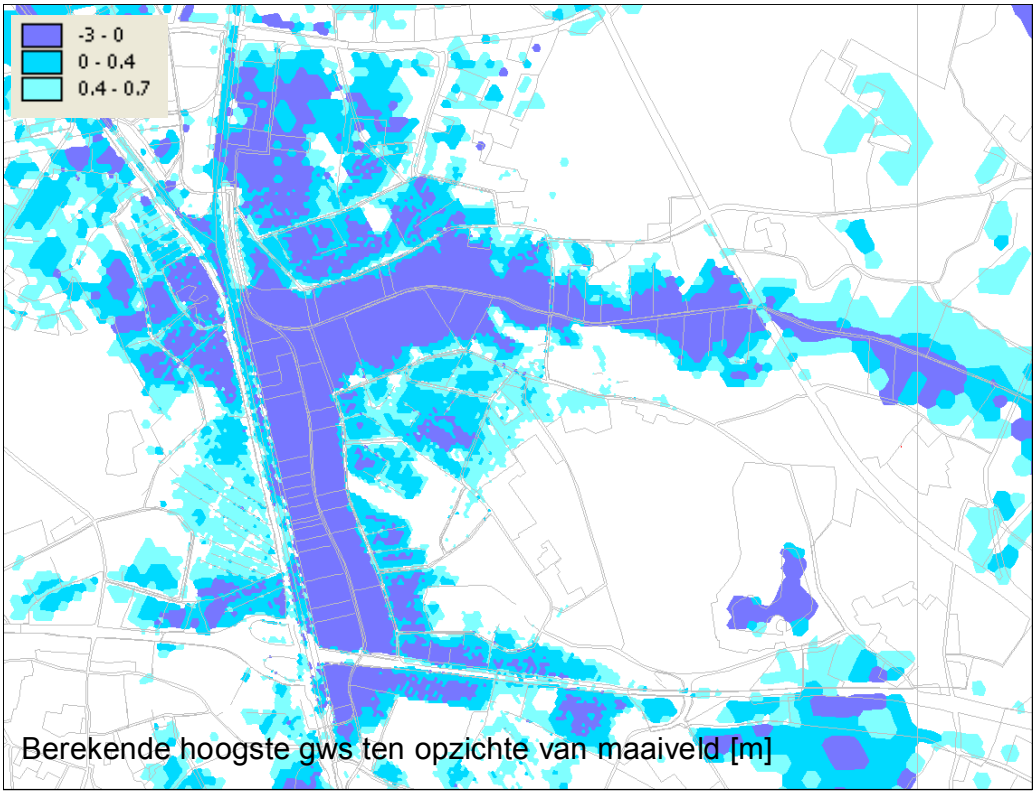
Voor de waterbergingsvariant is een berekening uitgevoerd waarbij als compenserende maatregel het water vanuit het gebied rond de Oostappensedijk over de nieuw aan te leggen kade wordt gepompt. Bij deze variant is een inundatieperiode van 5 dagen aangehouden. Duidelijk is zichtbaar in figuur 5.6 dat er geen verhogingen van de grondwaterstand meer berekend worden bij deze variant.

## 5.5 Conclusies

In het industriegebied ten noorden van de beek worden geen effecten verwacht als gevolg van de ingreep. Door compenserende maatregelen kunnen de effecten rond de Oostappensedijk worden verminderd.




**Figuur 5.6: Berekende verhoging hoogste grondwaterstand**




**Figuur 5.7: Berekende hoogste grondwaterstand ten opzichte van maaiveld**

# 6 CONCLUSIES

Het doel van de waterberging is de veiligheid tegen overstroming beter te kunnen waarborgen. Vanuit dit doel gezien functioneert het waterberging+alternatief beter dan het landbouw- of natuuralternatief omdat de waterstanden benedenstrooms van Diesdonk lager worden. De afvoer wordt bij het waterberging+alternatief meer gereduceerd in vergelijking met het landbouw- en natuuralternatief. De opstuwing bovenstrooms is echter ook groter, maar beperkt van omvang gelet op absolute stijging van het waterpeil en het gebied waarover dit merkbaar is.

# 7 LITERATUUR


[lit. 1] Moorman (2007). Hydrologische gereedschapkist Aa en Maas. $H_2O$ nr. 17, pag. 29.

[lit. 2] Royal Haskoning (2008). Hydrologische modellering GGOR Groote Peel en de Bult. Modellering GGOR Groote Peel en de Bult. Waterschap Aa en Maas. 25 februari 2008. Conceptrapport 9T1278.

[lit. 3] Royal Haskoning (2008). Ontwikkeling van het gebiedsdekkende hoogwatermodel van waterschap Aa en Maas (GDHM-AM). Projectnummer 9s4944. (in voorbereiding).

[lit. 4] Aa en Maas (2006). Deelgebiedrapportage AM augustus 2006

[lit. 5] Royal Haskoning (2008). Modelleringsplan Hydrologisch onderzoek MER Diesdonk. 9T0705.A0/N00001/901883/DenB. 4 maart 2008.

[lit. 6] Crebas en Segeren (2002). Een snellere en betere methoden voor de simulatie van overstromingen. H2O nr. 23, pag. 31-33.

[lit. 7] Warmerdam, Kole en Chormanski (1996). Modelling rainfall-runoff processes in the Hupselse Beek research basin. Proceedings Strasbourg Conference on Ecohydrological processes in small basins. Technical Documents in Hydrology no.14. IHP-V, Unesco, Paris.

[lit. 8] Aalders (2003). Optimalisatie en vergelijking van het Wageningen en NAM model voor het stroomgebied van de Beerze (Noord-Brabant). Afstudeerverslag, Wageningen Universiteit Vakgroep Waterhuishouding.

[lit. 9] Velner, Moorman, Warmerdam en Kole (2008). Neerslagafvoerrelaties solide basis voor keuzen in het hoogwaterbeheer. Ingediend bij $H_2O$ d.d. 20 maart 2008.

[lit. 10] Rens, van (2009). Memo: Analyse afvoergolven Diesdonk. 23 juni 2009.

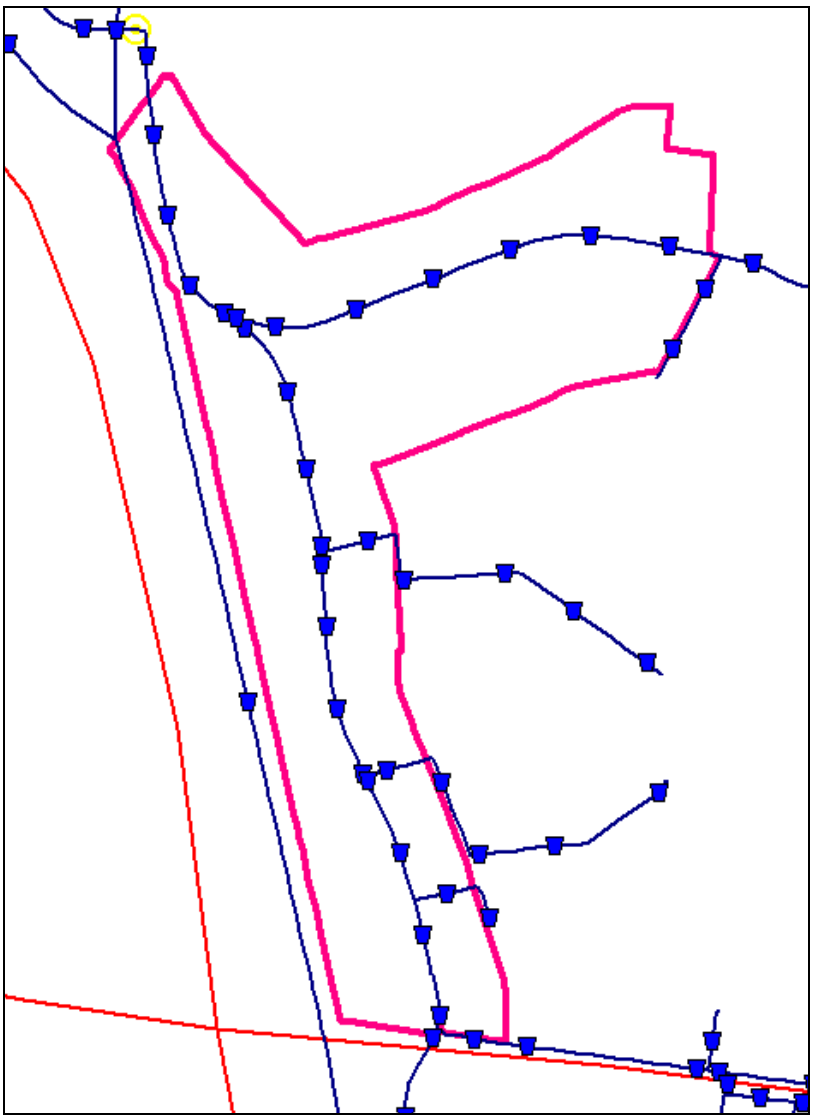
[lit.11] KNMI Klimaat scenario's http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/knmi06/samenvatting/index.html (geraadpleegd op 15-12-2009)

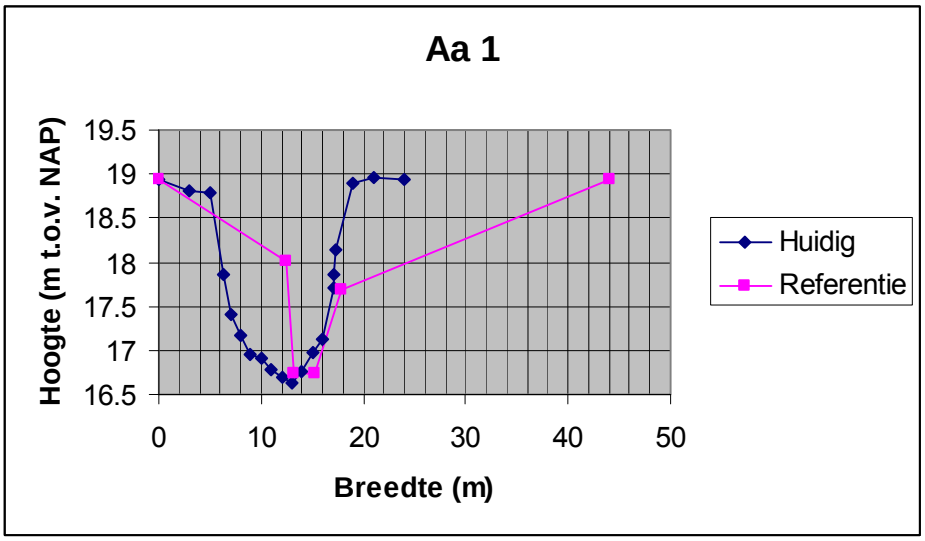
[lit.12] Royal Haskoning (2008). Onderbouwing van nut en noodzaak van de waterbergingsgebieden Diesdonk en Dierdonk. 9T3976/R00002/902468/BW/DenB. 4 juli 2008

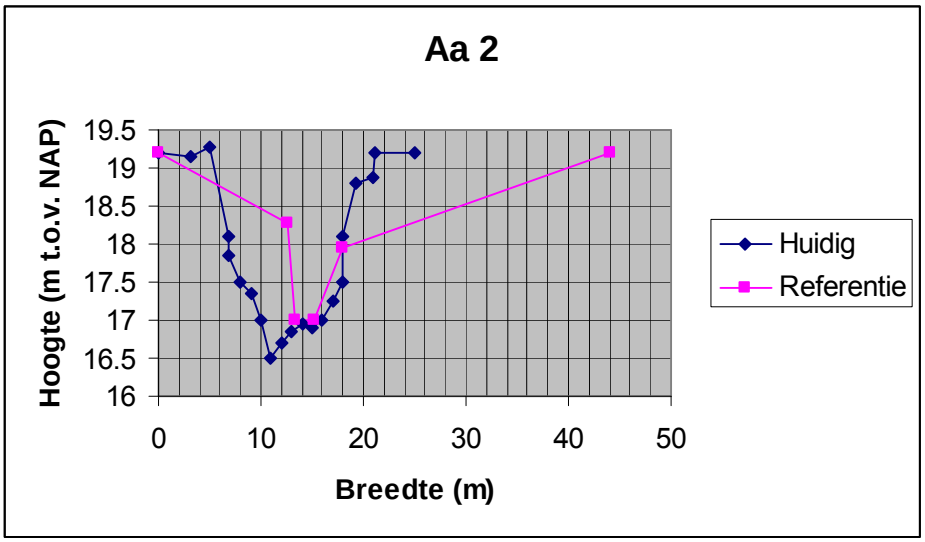
A COMPANY OF

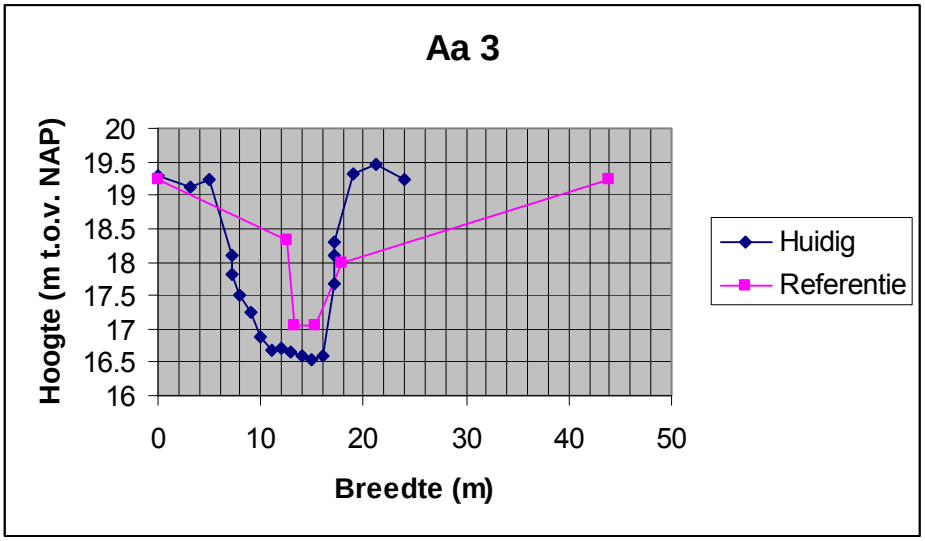
ROYAL HASKONING

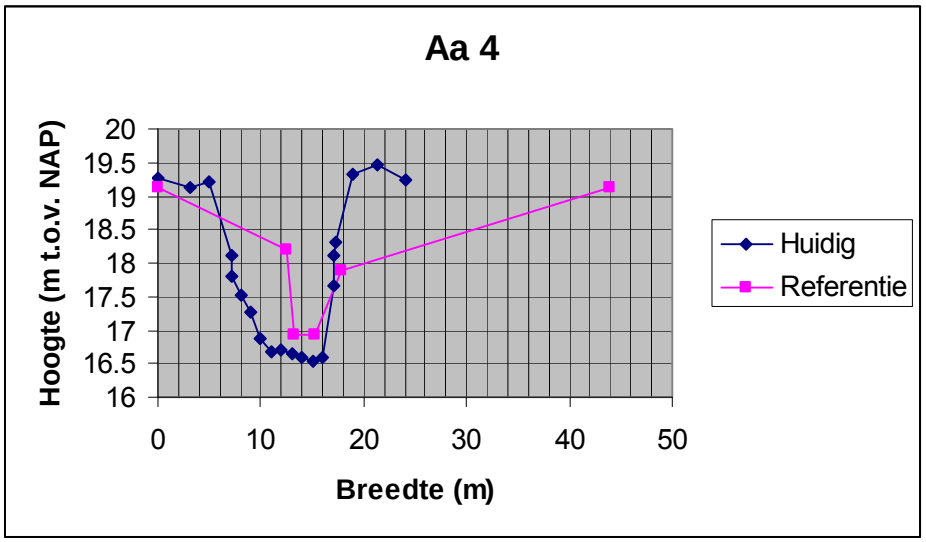
# Bijlage 1
# Dwarsprofielen huidige situatie en bij alternatieven

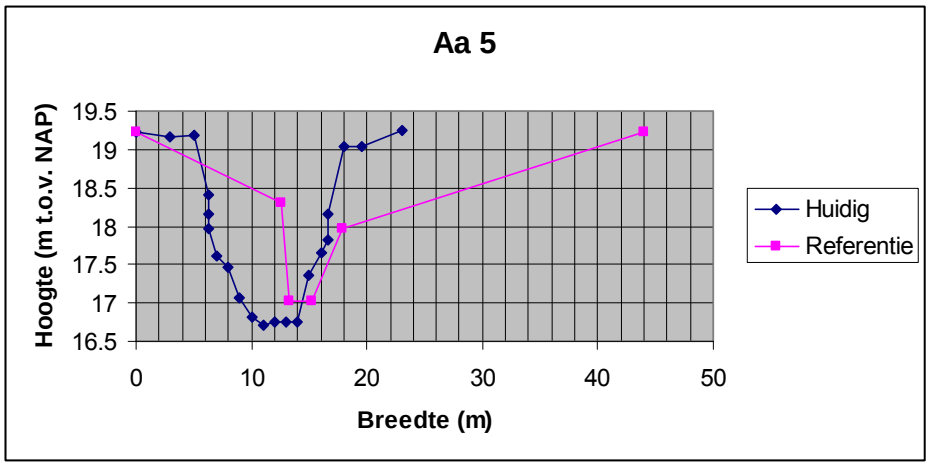


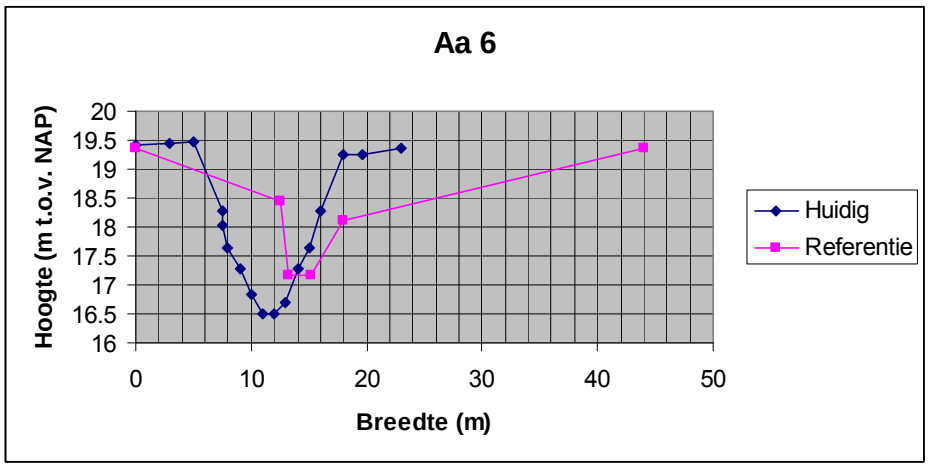

Aa 1
Hoogte (m t.o.v. NAP)
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
0
10
20
30
40
50
Breedte (m)
Huidig
Referentie

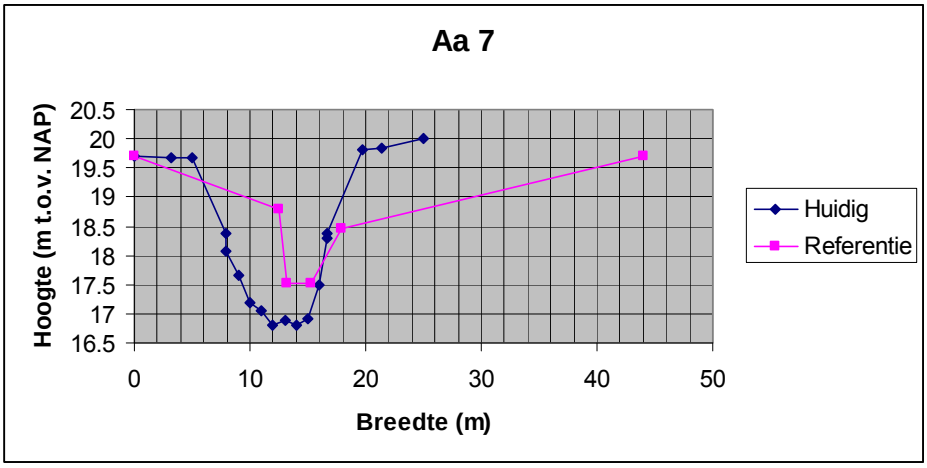

Aa 2
Hoogte (m t.o.v. NAP)
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
16
0
10
20
30
40
50
Breedte (m)
Huidig
Referentie

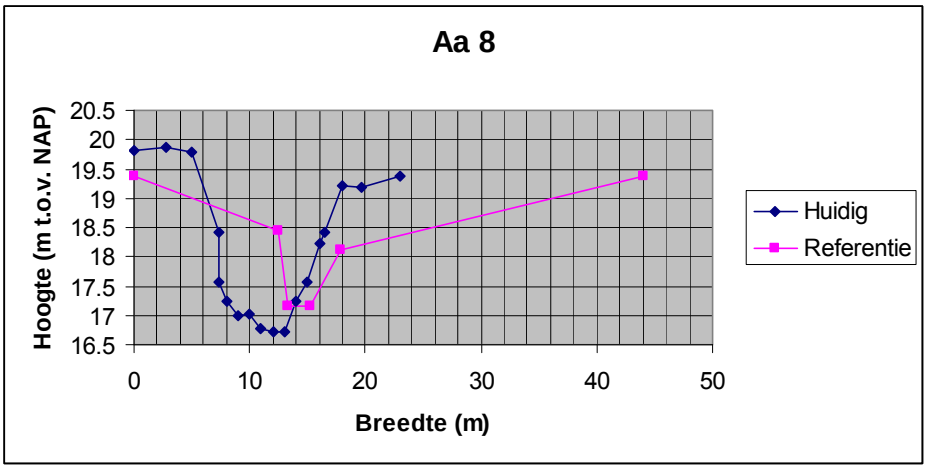

Aa 3
Hoogte (m t.o.v. NAP)
20
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
16
0
10
20
30
40
50
Breedte (m)
Huidig
Referentie

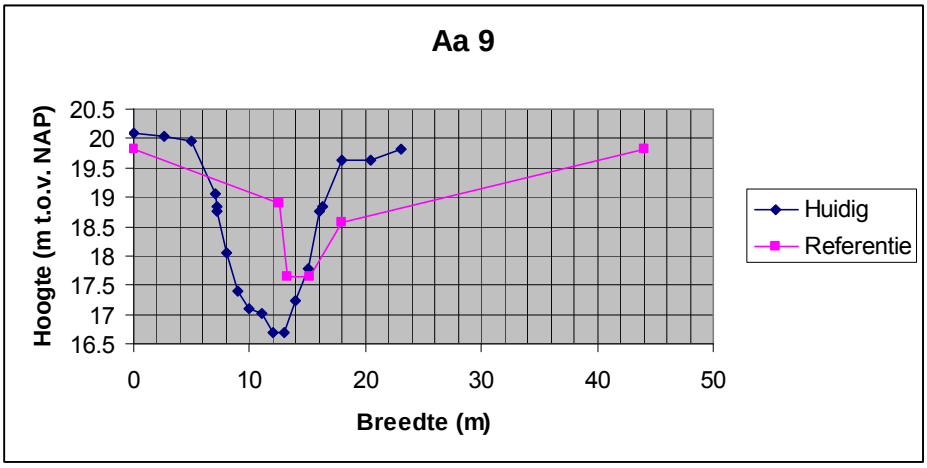

Aa 4
Hoogte (m t.o.v. NAP)
20
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
16
0
10
20
30
40
50
Breedte (m)
Huidig
Referentie

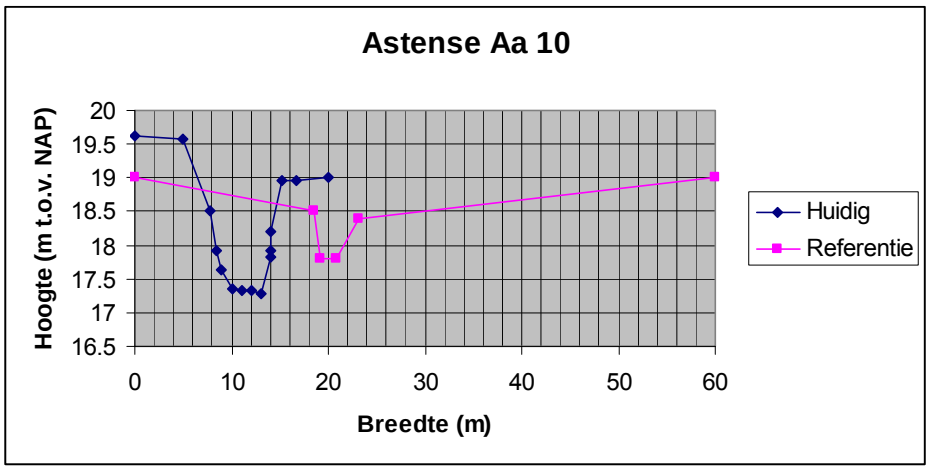

Aa 5
Hoogte (m t.o.v. NAP)
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
0
10
20
30
40
50
Breedte (m)
Huidig
Referentie

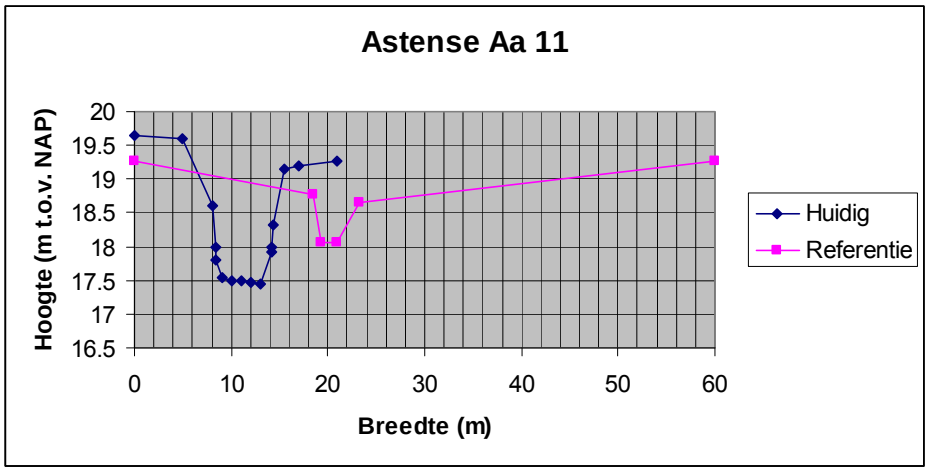

Aa 6
Hoogte (m t.o.v. NAP)
20
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
16
0
10
20
30
40
50
Breedte (m)
Huidig
Referentie

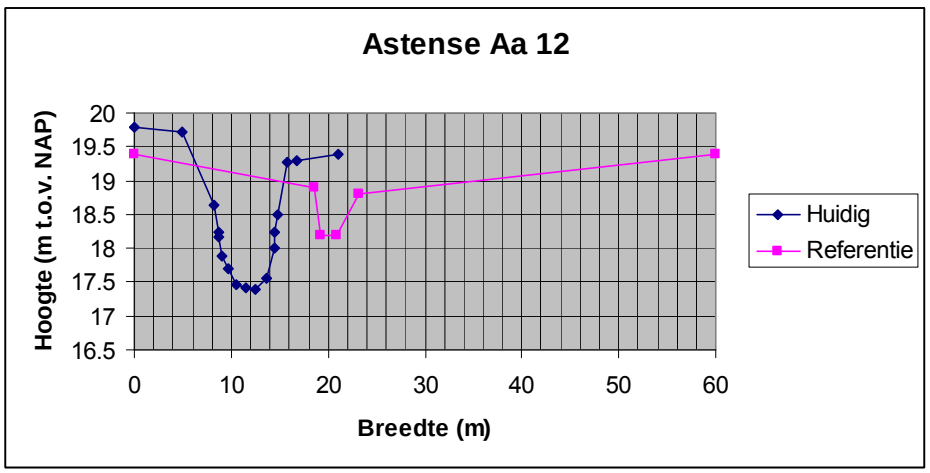

Aa 7
Hoogte (m t.o.v. NAP)
20.5
20
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
0
10
20
30
40
50
Breedte (m)
Huidig
Referentie

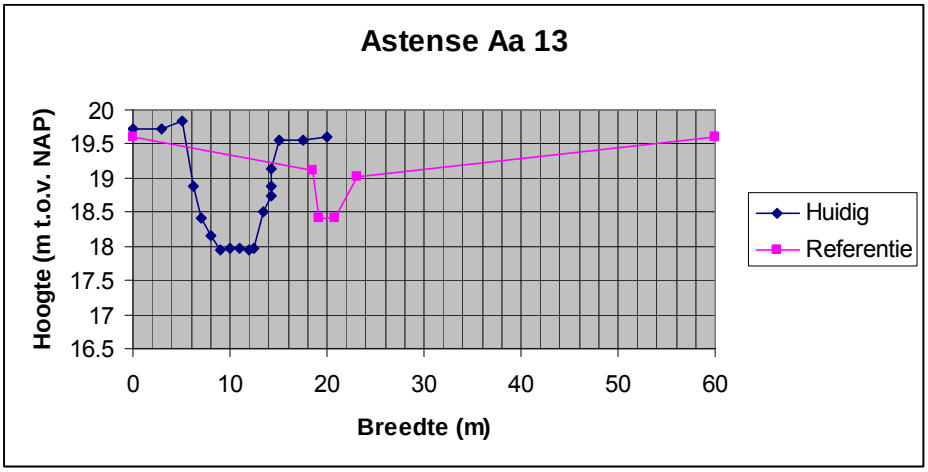

Aa 8
Hoogte (m t.o.v. NAP)
20.5
20
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
0
10
20
30
40
50
Breedte (m)
Huidig
Referentie

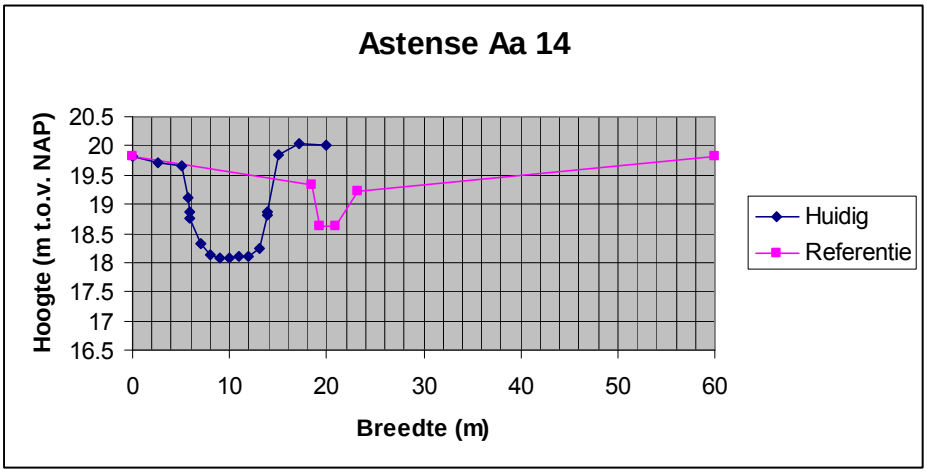

Aa 9
Hoogte (m t.o.v. NAP)
20.5
20
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
0
10
20
30
40
50
Breedte (m)
Huidig
Referentie


Astense Aa 10
Hoogte (m t.o.v. NAP)
20
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
0
10
20
30
40
50
60
Breedte (m)
Huidig
Referentie


Astense Aa 11
Hoogte (m t.o.v. NAP)
20
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
0
10
20
30
40
50
60
Breedte (m)
Huidig
Referentie


Astense Aa 12
Hoogte (m t.o.v. NAP)
20
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
0
10
20
30
40
50
60
Breedte (m)
Huidig
Referentie


Astense Aa 13
Hoogte (m t.o.v. NAP)
20
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
0
10
20
30
40
50
60
Breedte (m)
Huidig
Referentie


Astense Aa 14
Hoogte (m t.o.v. NAP)
20.5
20
19.5
19
18.5
18
17.5
17
16.5
0
10
20
30
40
50
60
Breedte (m)
Huidig
Referentie

A COMPANY OF

ROYAL HASKONING

# Bijlage 2
# Methode beekherstel

# Instructies grove methode beekherstel Royal Haskoning

uitvoerder: Ruben IJpelaar
datum: 19 mei 2009

**Aanleiding**

**Van:** Oomen, Erik
**Verzonden:** maandag 18 mei 2009 16:12
**Aan:** 'Velner, R.G.J. (Roel)'
**CC:** Rens, Chris van; IJpelaar, Ruben
**Onderwerp:** beekherstel parameters Diesdonk

Hoi Roel,
Ik heb Ruben gevraagd om informatie aan jou aan te leveren mbt de parameters voor beekherstel in de omgeving van Diesdonk. Hij zal dit aanstaande woensdag doen. Na woensdag is Ruben tot 8 juni op vakantie. Dus mochten er dingen niet duidelijk zijn in de informatie die Ruben aanlevert dan raad ik je aan om woensdag met hem te bellen.
Niet ideaal, maar ik zie geen beter alternatief. Akkoord?

Groeten, Erik

**Doel**: Stappenplan en onderbouwing grove methode beekherstel

**Grove methode**: Aanpassingen in GDHM voor onderzoek implicaties voor effecten van beekherstel verder benedenstrooms (vlak bij Den Bosch). Aanname: stuwen en kunstwerken blijven intact (geen wijzigingen in SOBEK schematisatie), alleen op eenvoudige manier bewerken om effect beekherstel op timing afvoerpiek en volume te simuleren. Hierbij wordt alleen de ruwheid aangepast ( Km) en de lengte (d.m.v. sinuositeit) aangepast

1) selecteren beektraject
2) gemiddelde bodembreedte bepalen
3) lengte beekhersteltraject bepalen
4) bepalen Km en sinuositeit in afleesgrafiek
   → zie EXCEL bestand “grove methode beekherstel.xls” + bijlages 1 en 2
5) aanpassen Km voor selectie in profile.def of in SOBEK schil.
6) aanpassen lengte (vermenigvuldiging met sinuositeit)
7) toevoegen 2D grid voor simulatie berging bij extreme afvoerpieken (indien nodig)

→ zie bijlage 2.a methodiek voor achtergrond van methode.
→ bijlage 2.b afleesgrafieken voor Km en lengte (sinuositeit)

**Detailmethode ter vergelijk gebruikt in pilot studie Snelle Loop (NIET relevant voor grove methode Diesdonk)** :

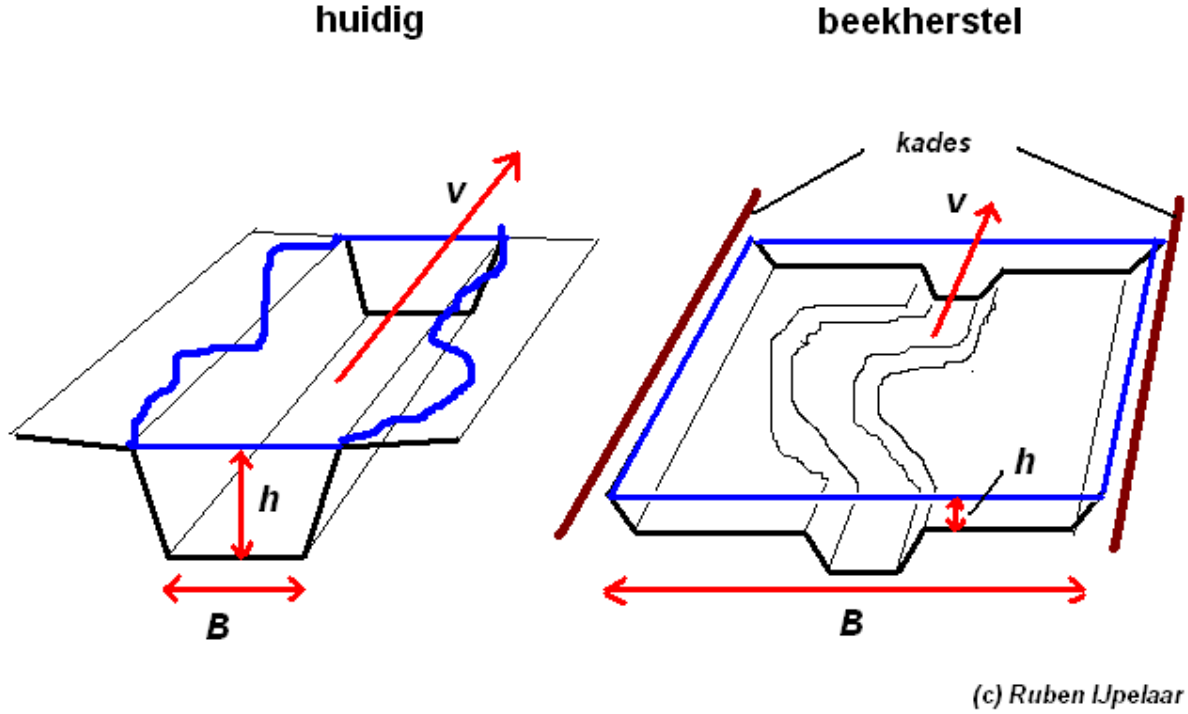
Streefbeeldprofielen inpassen in bestaand traject. Hiermee worden de bestaande profielen aangepast en stroomt het 2D grid eerder mee. De bestaande bodembreedte en talud zijn richtinggevend voor de hoogte en ruwheid van elk profiel.

1) kopie maken SOBEK case methode grof (lengte/sinuositeit meanders 1D idem)
2) bepalen hoogte zomerprofiel, talud en breedte meanderzone uit afleesgrafieken
3) aanpassen profielen 1D in profile.def of SOBEK schil
4) importeren 2D grid met 25*25 meter resolutie (2D in basismodel en grof is 100*100m)
5) aanpassen 2D: selectie maken op basis van afgelezen meanderbreedte (25-50 m)
6) aanpassen 2D: bodemhoogte selectie grid aansluiten op insteek zomerbed

→ bijlage 2.c afleesgrafieken voor hoogte bakje, talud en breedte meanderzone.

# Bijlage 2.a Achtergrond grove methode

Een belangrijk kenmerk van de meeste beekherstel projecten is een verandering van het profiel en waar mogelijk het verwijderen van stuwen. Onderstaande figuur toont bij hoogwater het profiel in de huidige situatie en na beekherstel.




*Figuur 1: schematische weergave van hoogwater in de huidige situatie en na beekherstel.*

Fysiek verandert het profiel en neemt de hydraulische ruwheid van het dwarsprofiel toe, met name in het winterbed. Deze wijzigingen kunnen rechtstreeks in dwarsprofielen (profiles) in het SOBEK model worden doorgevoerd.

Echter, het is een zeer omvangrijke klus om al deze wijzigingen grootschalig en gebiedsdekkend door te voeren in het SOBEK model.

Met name het aanpassen van de dimensies van de profielen zelf kost veel tijd. Met het oog op het doel van de modellering, het verkrijgen van globaal inzicht in de orde van grootte van effecten op waterstanden en afvoeren, is het raadzaam een minder tijdrovende methodiek te bedenken die bij benadering correcte resultaten oplevert.

Deze vereenvoudigde methodiek bestaat uit het vinden van een relatie tussen profiel en hydraulische ruwheid. In het SOBEK model wordt dan voor de geselecteerde beektrajecten alleen de parameter voor hydraulische ruwheid EN de lengte van de rekensegmenten aangepast.

Aanpassen lengte

In SOBEK CF kan heel eenvoudig de lengte van een traject worden aangepast. SOBEK verlengt het profiel door een soort harmonische zaagtand op te leggen. Dit is te vergelijken met meandering. Omdat SOBEK een ééndimensionaal rekenprogramma is, doet de exacte geografische ligging er niet toe. De lengte tussen rekenpunten en automatisch ook het verval (element S in formule 1.1, zie kader) worden automatisch aangepast.

Eéndimensionale stroming in open waterlopen wordt vereenvoudigd uitgedrukt via formules 1.1 t/m 1.3. in het technische randvoorwaarden kader Zie de bijlage theoretische achtergronden in open waterlopen voor een nadere uitleg.

Hoe wordt bepaald welke nieuwe lengte moet worden ingevoerd?

**Technische randvoorwaarden**

De gemiddelde stroomsnelheid (*v*) is:

$$Q = v * A = K_m R^{2/3} S^{1/2} * A \qquad (1.1)$$

$$R = \frac{A}{P} \qquad (1.2)$$

$$P = B + 2h \qquad (1.3)$$

Met:

Q = debiet ($m^3/s$)
*v* = gemiddelde stroomsnelheid (m/s)
*R* = hydraulische straal (m)
*A* = natte doorsnede ($m^2$)
P = natte omtrek (m)
*B* = breedte watergang (m)
$K_m$ = 1/n met n een factor voor de ruwheid van de b
*S* = verhang waterspiegel (m/m)

Bij aanpassingen aan het profiel zoals bij beekherstel en EVZ zijn er in grove benadering twee variabelen van belang:

1. lengte van de waterloop (meandering, toename lengte waterloop)
2. hydraulische ruwheid waterloop (vegetatie, toename ruwheid )

Bij aanpassingen in relatie tot waterberging:

3. natte doorsnede van de watergang (globaal benaderd met een grote bak in het profiel)

Deze variabelen zijn gekoppeld aan diverse elementen in formules 1.1 t/m 1.3. De uitdaging is om deze relaties vast te leggen en te verwerken in het SOBEK model voor de trajecten of locaties waar de maatregelen van toepassing zijn.
Zo heeft de lengte van de waterloop bijvoorbeeld invloed op het verhang (element S in formule 1.1). De hydraulische ruwheid is uit te drukken in element Manning factor ($1/K_m$) in combinatie met de hydraulische straal (R). De natte doorsnede van de watergang is uit te drukken via breedte en diepte van de watergang rechtstreeks in het SOBEK profiel.

Aanpassen hydraulische ruwheid

Aangenomen wordt dat de effecten van gewijzigd profiel en reguliere ruwheidsfactor $K_m$ in één parameter kunnen worden omschreven. De afvoer (1.1) kan nu geschreven worden als

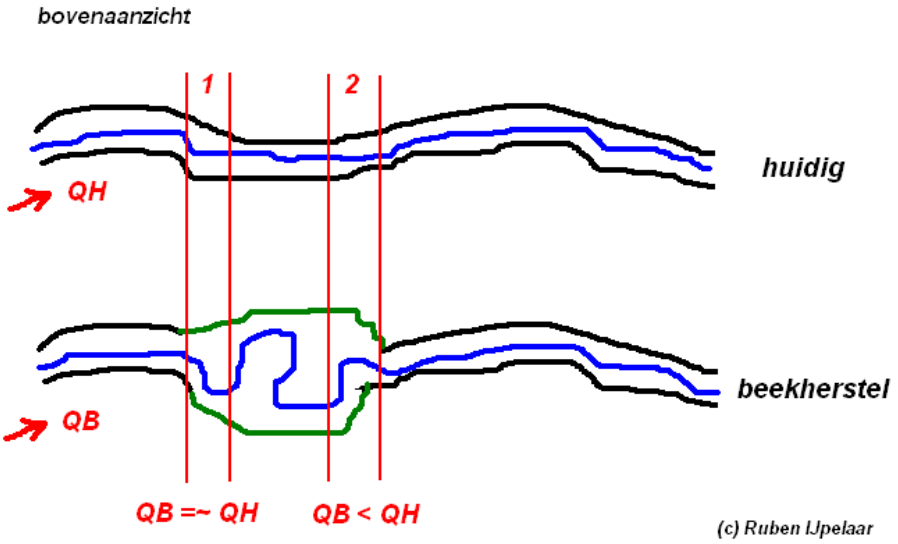
$$Q = v * A = K_m R^{2/3} S^{1/2} * A = K_m Y S^{1/2} \qquad (2.1)$$

met Y een grove schaalfactor afhankelijk van de breedte, diepte en verhouding taluds winterbed en zomerbed van de waterloop:

$$Y = R^{2/3} * A \qquad (2.2)$$

Voor de berekening doen we de aanname dat bij het begin van een beekhersteltraject de afvoer gelijk is als in het oorspronkelijke profiel. Aan het begin is de afvoer bij het huidige profiel gelijk aan $Q_H$ en de afvoer bij beekherstel gelijk aan $Q_B$, zie figuur 3. Bij benadering kunnen we de termen $Y_H$ en $Y_B$ berekenen voor segment 1.

In de praktijk weten we dat het afvoerpatroon zal gaan afwijken aan het einde van het beekhersteltraject (segment 2).



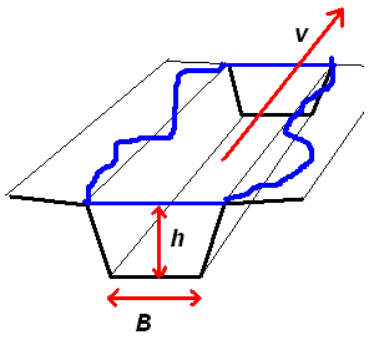

Figuur 3 Aanname verloop debiet in huidig profiel en bij beekherstel

Aangezien Q in 2.1 bij benadering gelijk is geldt:

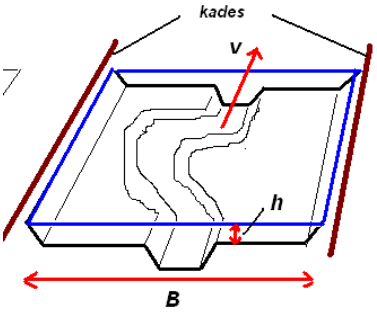
$K_{mH^*}Y_{H^*}S_H^{1/2} \approx K_{mB^*}Y_{B^*}S_B^{1/2}$

Om in het *huidige* profiel het effect van beekherstel te simuleren moet in plaats van $K_{mH}$ de factor $K_{mH}^* Y_H/Y_B$ gebruikt worden (note: de S is al verdisconteerd na aanpassing van de lengte en valt daardoor in de formule weg). Deze factor vertegenwoordigt de *toename aan contactoppervlak* dat het water in de daadwerkelijke situatie bij beekherstel ondervindt. Onderstaande figuren tonen dit aan de hand van beredenering binnen formules 1.1 t/m 1.3.

**huidig**




**beekherstel**




Relatief **klein** contactoppervlak
→ kleine P → grote R → veel kleinere A
→ kleine term $Y_H = R^{2/3} * A$

Relatief **groot** contactoppervlak
→ grote P→ kleine R→ veel grotere A
→ grote term $Y_B = R^{2/3} * A$

De $K_{mH}$ kan worden ingeschat met bestaande tabellen over ruwheid . De uitdaging is om de correctiefactor $\mathbf{Y_H/Y_B}$ te bepalen zodat in plaats van $K_{mH}$ de waarde $K_{mH}$* $Y_H/Y_B$ ingevuld wordt in SOBEK .

Hierdoor kunnen we het verschil in contactoppervlak tussen het huidige profiel en het profiel na beekherstel inzichtelijk maken. Om Y te bepalen wordt een vereenvoudigde analyse met een recht stuk waterloop gedaan. In een spreadsheetprogramma is formule 1.1 uitgewerkt voor diverse profielen in bovenloop en benedenloop trajecten van waterlopen in het beheersgebied van Waterschap Aa en Maas.

1) huidig profiel met alleen een enkel trapezium
2) beekherstelprofiel met een winter en zomerbed (dubbel trapezium)

Binnen profiel 2 wordt naast de referentiesituatie onderscheid gemaakt tussen een profiel met minimale waarden voor alle parameters en een profiel met maximale waarden voor alle parameters.

Onderstaande tabel toont de correctiefactor $Y_H/Y_B$ voor drie afvoerstadia *tijdens de aanloop van een hoogwater* en profielscenario's bovenstrooms en benedenstrooms.

correctiefactor ***$Y_H/Y_B$ bovenloop***

| | Referentie | minimaal | maximaal | GEMIDDELD |
|---|---|---|---|---|
| Laag debiet (3 $m^3$/s) | 1.15 | 0.38 | 0.89 | 0.81 |
| Middelbaar debiet (6 $m^3$/s) | 0.73 | 0.38 | 0.91 | 0.68 |
| Hoog debiet (9 $m^3$/s) | 0.69 | 0.39 | 1.52 | 0.87 |
| GEMIDDELD | 0.86 | 0.38 | 1.11 | **0.78** |

De gemiddelde correctiefactor voor het hele traject bedraagt ca. **0,8** voor een bovenloop.

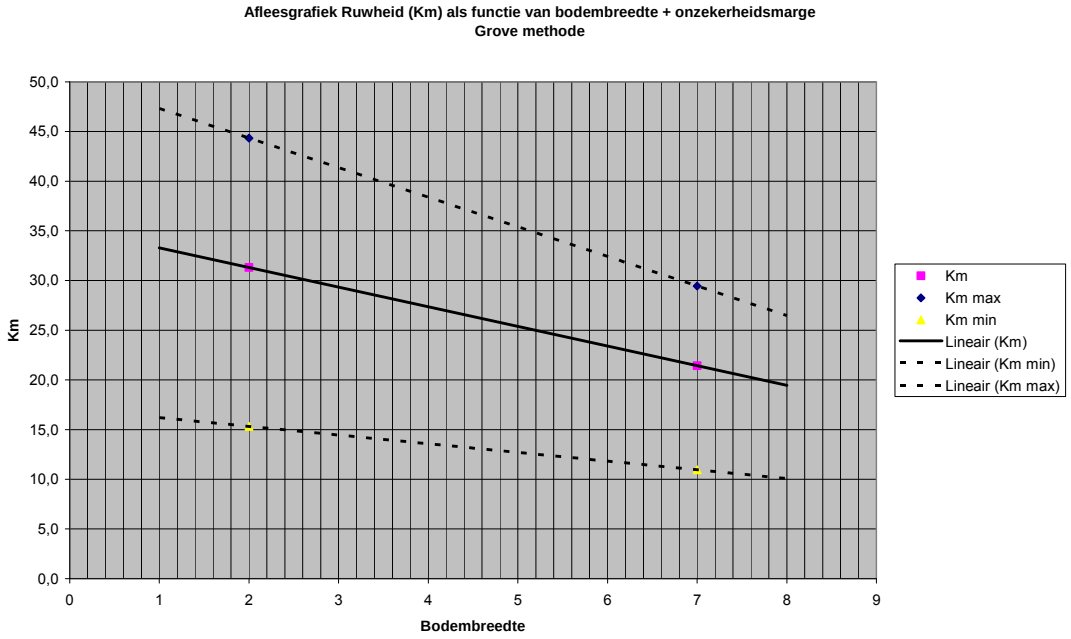
Voor een huidig **bovenlooptraject** met een $K_m$ van 40 betekent dit een reductie van 20 %, waardoor de gesimuleerde $K_m$ uitkomt op 32 $m^{1/3}s^{-1}$

Correctiefactor ***$Y_H/Y_B$ benedenloop***

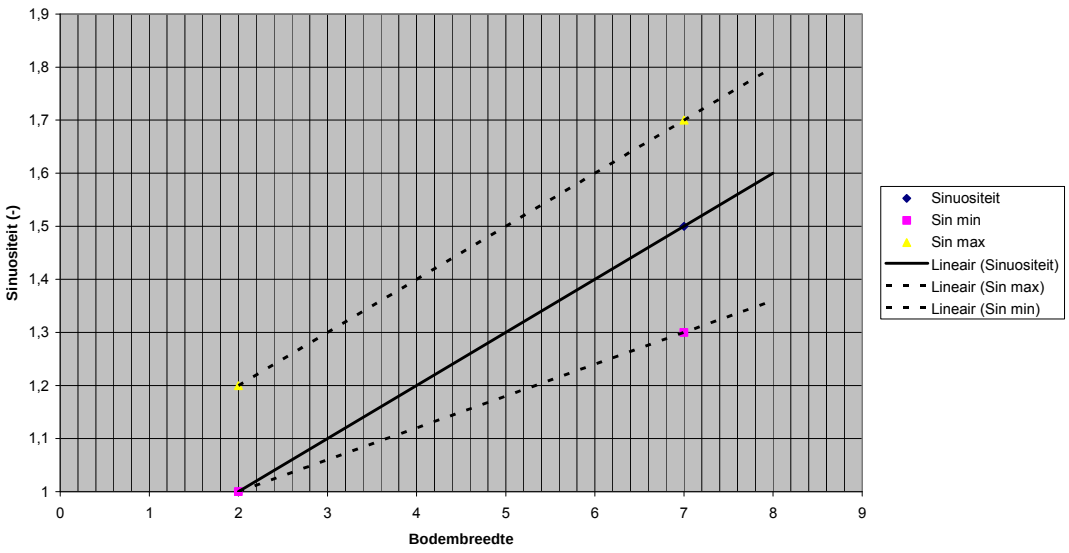
| | Referentie | Minimaal | Maximaal | GEMIDDELD |
|---|---|---|---|---|
| Laag debiet (30 $m^3$/s) | 0.84 | 0.31 | 0.90 | 0.68 |
| Middelbaar debiet (60 $m^3$/s) | 0.49 | 0.26 | 0.70 | 0.48 |
| Hoog debiet (90 $m^3$/s) | 0.46 | 0.25 | 0.61 | 0.44 |
| GEMIDDELD | 0.60 | 0.27 | 0.74 | **0.54** |

De gemiddelde correctiefactor voor het hele traject bedraagt **0,5** voor een benedenloop. Voor een huidig **bovenlooptraject** met een $K_m$ van 40 betekent dit een reductie van 50 %, waardoor de gesimuleerde $K_m$ uitkomt op 20 $m^{1/3}s^{-1}$. Duidelijk is te zien dat de spreiding (een indicatie voor de onzekerheidmarge) behoorlijk groot is. Aangenomen wordt dat als de effecten over een groot gebied beschouwd worden, de extremen uitmiddelen zodat de gemiddelde waarde een acceptabele aanname is. Dit wordt nader getoetst door deze grove methode te vergelijken met een verfijndere detailmethode, beschreven in het werkplan.

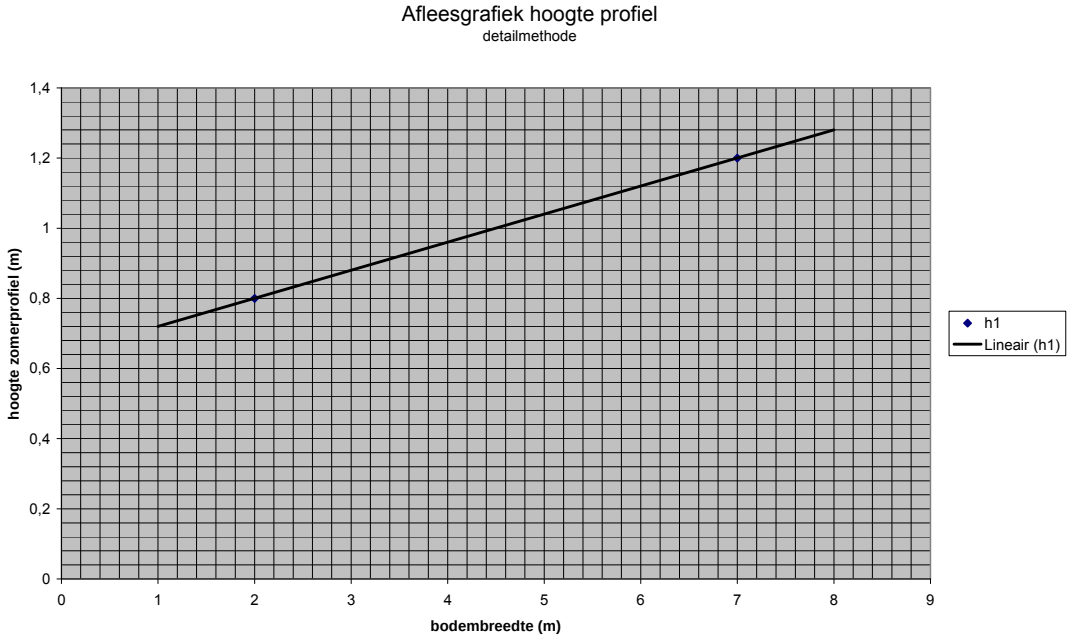
# Bijlage 2.b Grove methode afleesgrafieken voor Km en lengte

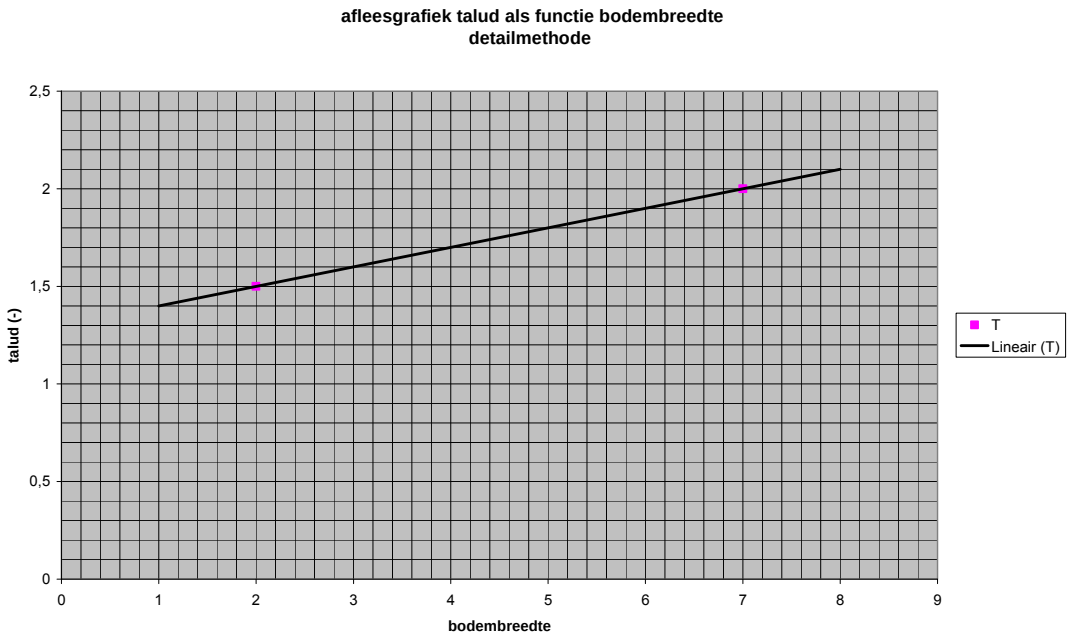


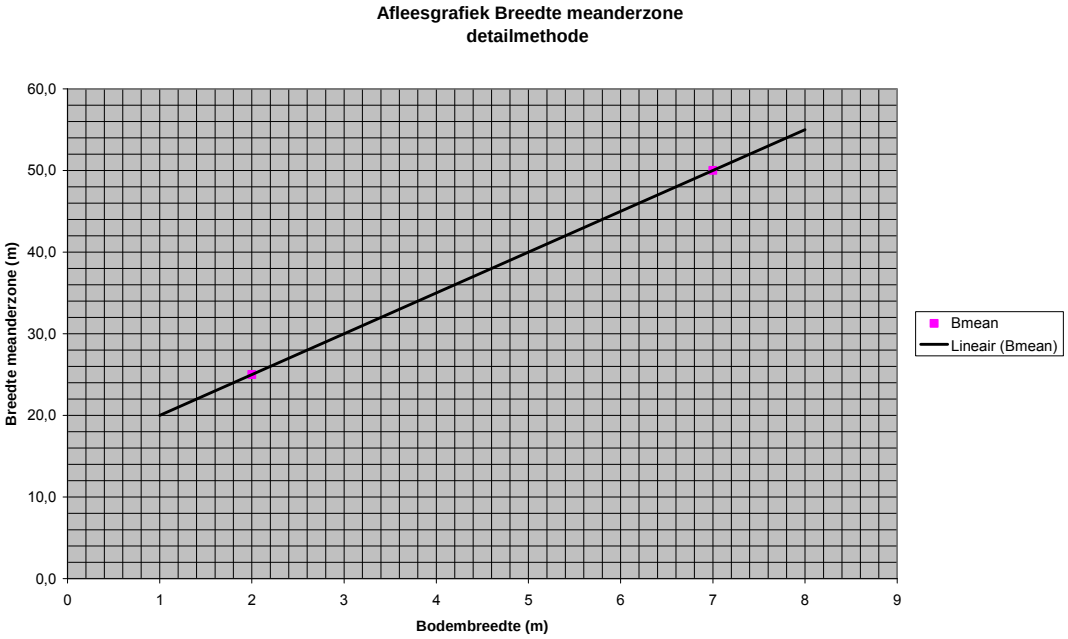
**Afleesgrafiek lengte (sinuositeit) als functie van bodembreedte + onzekerheidsmarge**
**(breedte minder dan 2: sinuositeit blijft 1 !!)**
**Grove en fijne methode**



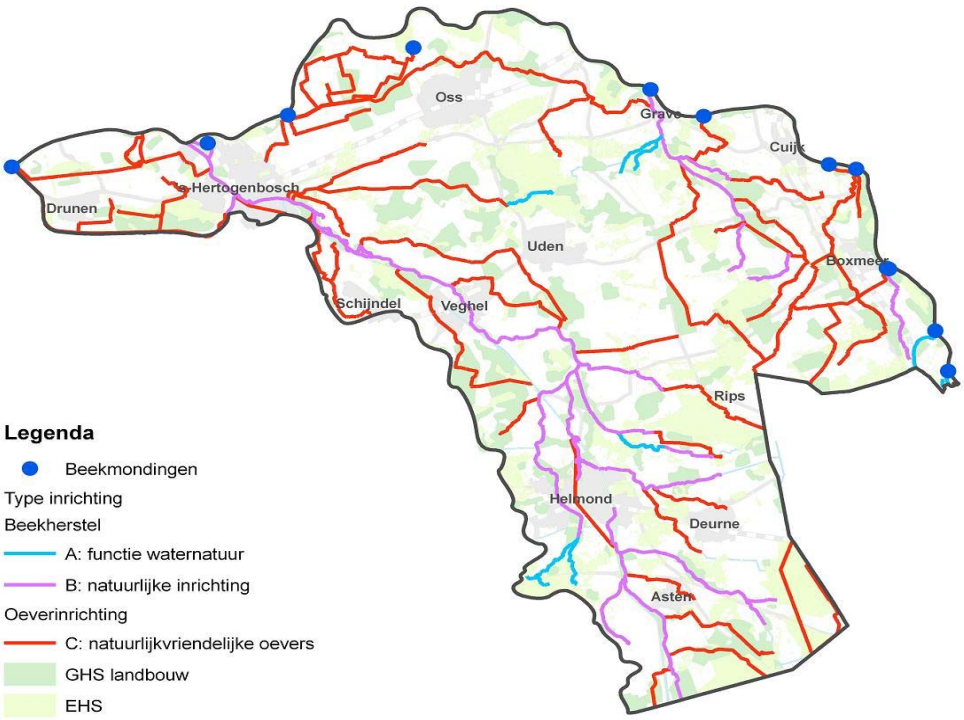
# Bijlage 2.c Detailmethode afleesgrafieken hoogte zomerbed, talud en breedte meanderzone






Beekherstel en oeverinrichting



| Stap | | Beschrijving | Scenario A | scenario B |
|---|---|---|---|---|
| | 1) | selecteren beektraject | X | X |
| | 2) | gemiddelde bodembreedte bepalen | X | X |
| | 3) | lengte beekhersteltraject bepalen | X | |
| | 4) | bepalen Km en sinuositeit in afleesgrafiek | X | X |
| | 5) | aanpassen Km voor selectie in profile.def of in SOBEK schil. | X | X |
| | 6) | aanpassen lengte (vermenigvuldiging met sinuositeit) | X | |

Uit de pilotstudie Snelle Loop waarin de grove methode getoetst is met een detailmethode blijkt dat de parameterwaarden die een maximaal effect sorteerden het beste scoorden.
Daarom worden deze waarden gekozen. Uit praktijkonderzoek/vooroverleg bij afdeling IB blijk dat bij veel beekherstel geen meandering is ingepland. Er wordt alleen oevers ingericht.

**Er worden daarom 2 scenario's doorgerekend:**

| | |
|---|---|
| **A** | **beekherstel met meandering (parameterset maximaal uit toets pilot Snelle Loop Kmax en Sin max)** |
| **B1** | **beekherstel zonder meandering (parameterset maximaal uit toets pilot Snelle Loop ALLEEN Kmax, GEEN aanpassing Sin)** |
| **B2** | **beekherstel zonder meandering (parameterset gemiddeld uit toets pilot Snelle Loop ALLEEN Kgem, GEEN aanpassing Sin)** |

## 1 t/m 3) selecteren beektraject

**karakteristieken bovenloop (VOORBEELD!)**

| | | |
|---|---|---|
| talud | 1.5 | |
| lengte | 2750 | m |
| gemiddelde bodembreedte | 3.6 | |
| bodemhoogte stroomopw. | 25.2 | |
| bodemhoogte stroomafw. | 23.3 | |
| verhang traject | 0.0007 | m/m |
| waterstand piek | 1.5 | m |
| debiet piek | 5 | m3/s |
| stroomsnelheid | 0.4 | m/s |
| stroomvoerende breedte | 2.25 | |
| bergende breedte | 2.25 | |
| golfsnelheid indicatie | 0.6 | m/s |

c=3/2 * Bs/B * U

## 4) bepalen K en Sin voor ieder profiel

| profiel | *grof* Breedte (A/B) | K (A/B1) | K (B2) | Sin (A) | L (A) |
|---|---|---|---|---|---|
| voorbeeldprofiel | 3.6 | 13.92576 | 28.1532 | 1.36 | 3740 |
| zelf invullen | 3.6 | 13.92576 | 28.1532 | 1.36 | 3740 |

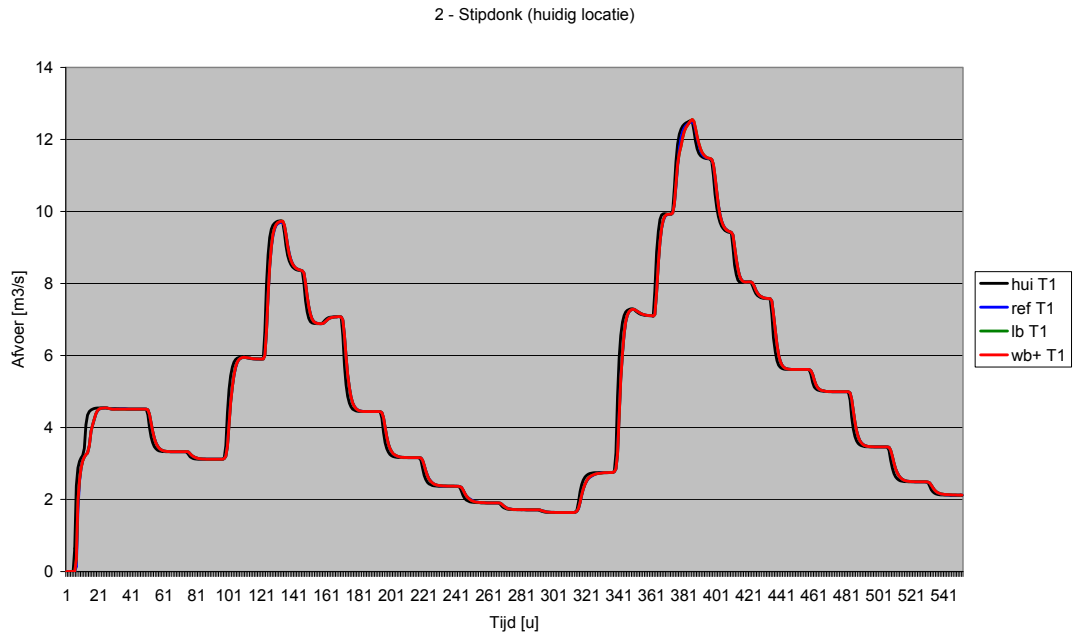
A COMPANY OF

ROYAL HASKONING

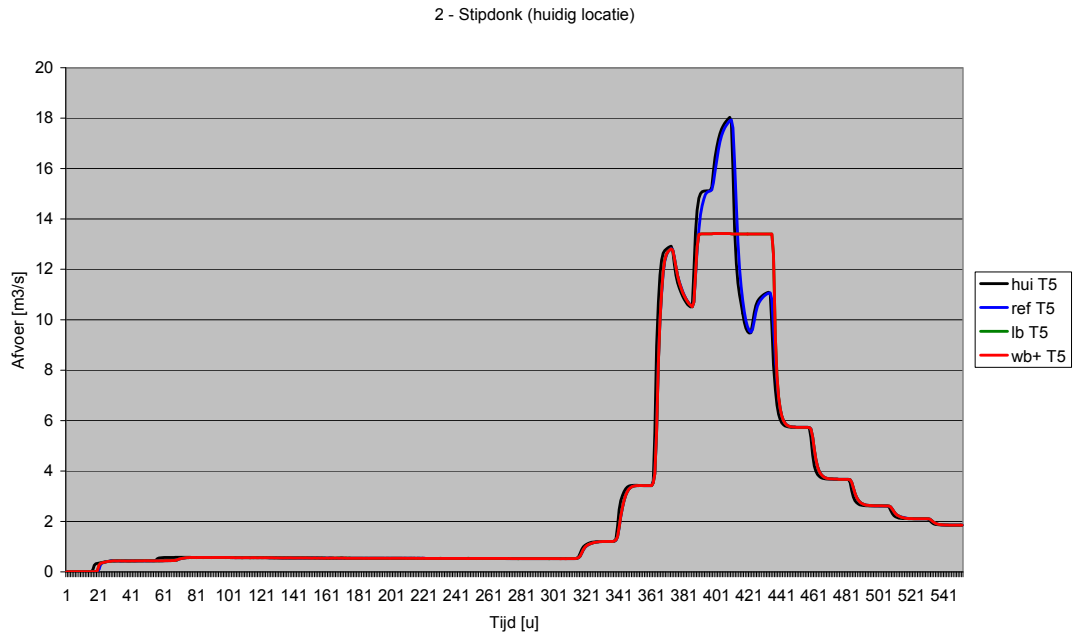
# Bijlage 3
# Berekeningsresultaten afvoer en waterstanden

## Afvoeren locatie 2 – Stipdonk

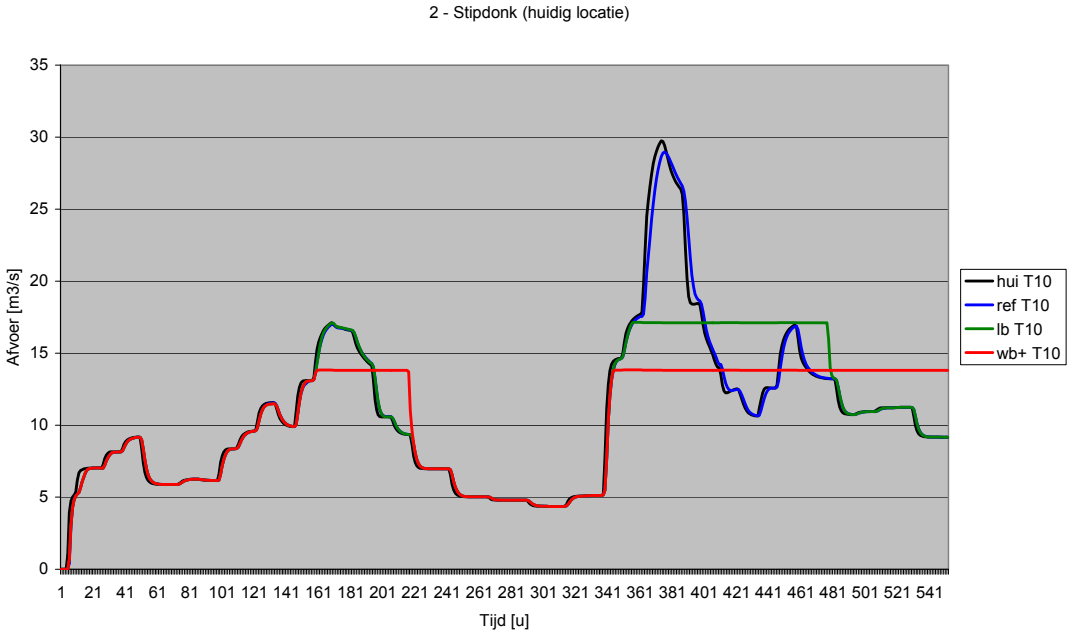
T=1



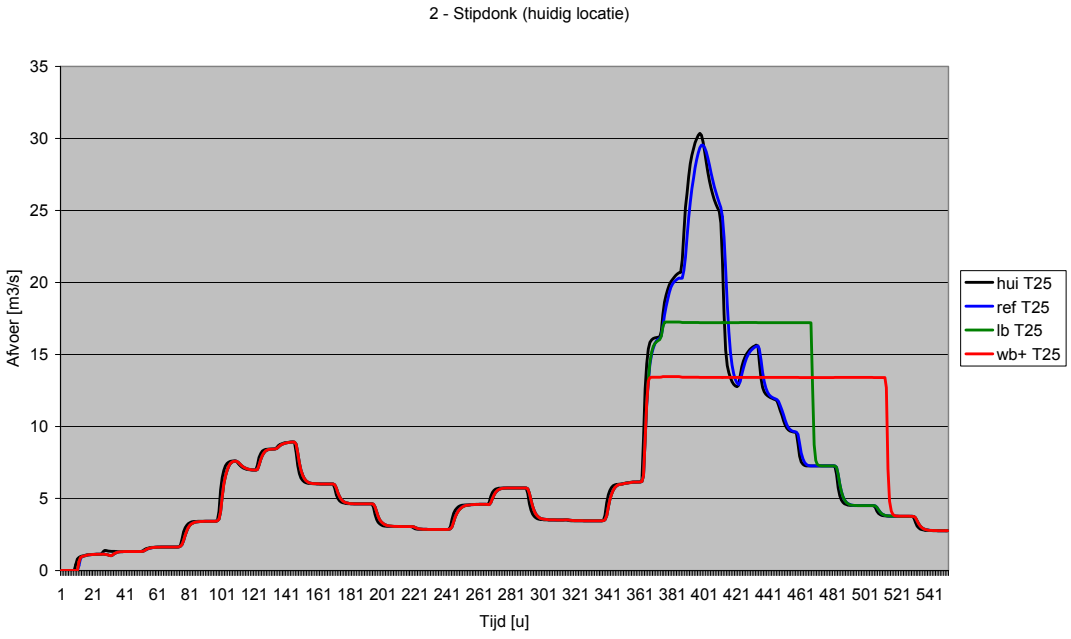

T=5



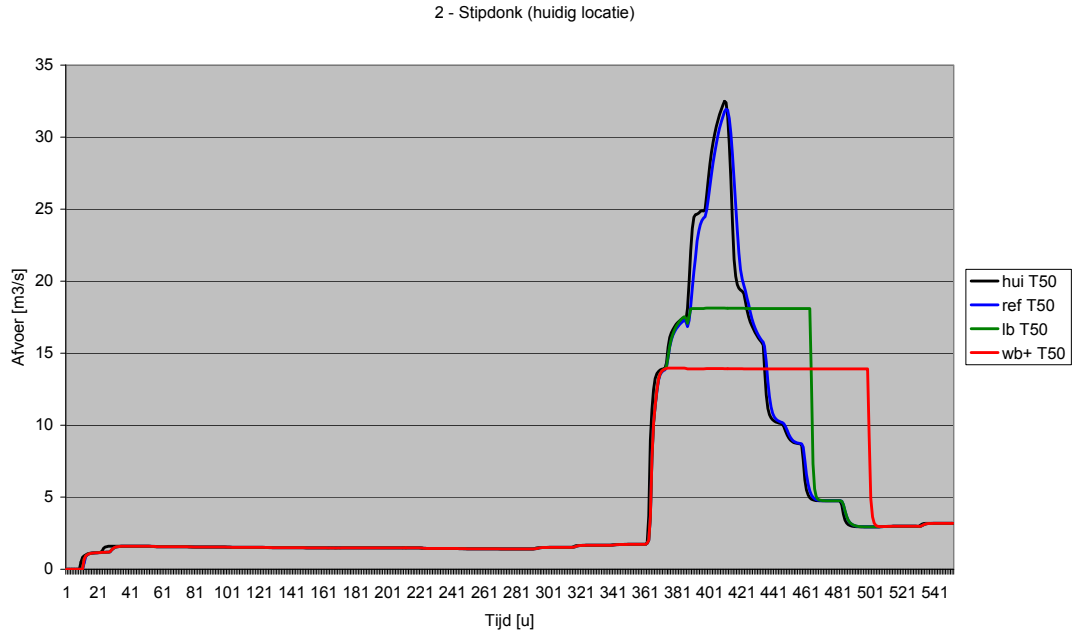
T=10


2 - Stipdonk (huidig locatie)
Afvoer [m3/s]
0
5
10
15
20
25
30
35
1 21 41 61 81 101 121 141 161 181 201 221 241 261 281 301 321 341 361 381 401 421 441 461 481 501 521 541
Tijd [u]
hui T10
ref T10
lb T10
wb+ T10

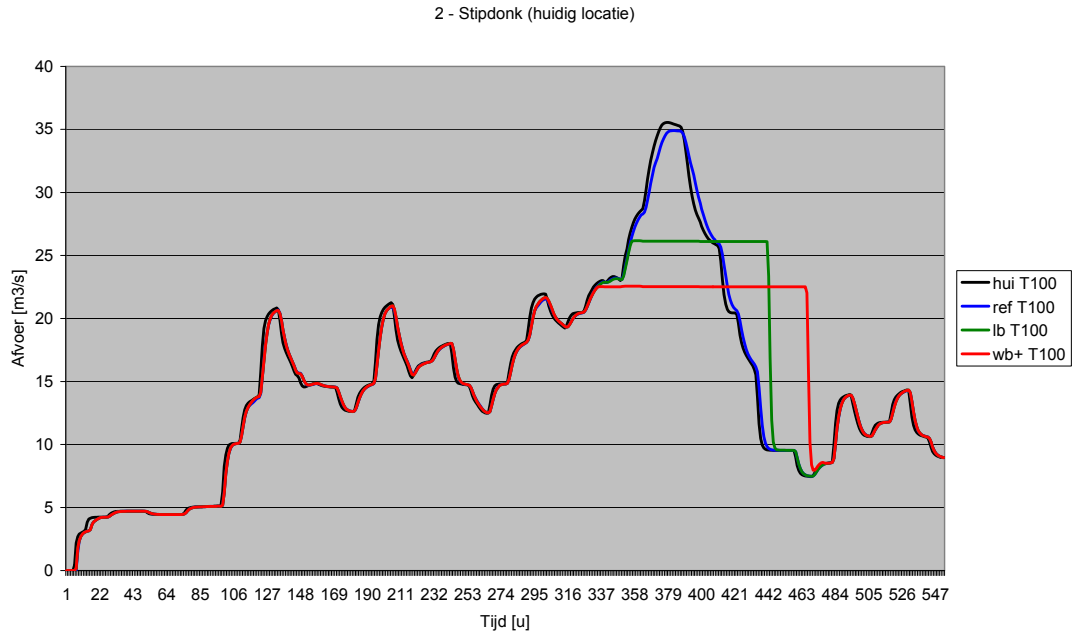
T=25


2 - Stipdonk (huidig locatie)
Afvoer [m3/s]
0
5
10
15
20
25
30
35
1 21 41 61 81 101 121 141 161 181 201 221 241 261 281 301 321 341 361 381 401 421 441 461 481 501 521 541
Tijd [u]
hui T25
ref T25
lb T25
wb+ T25

T=50

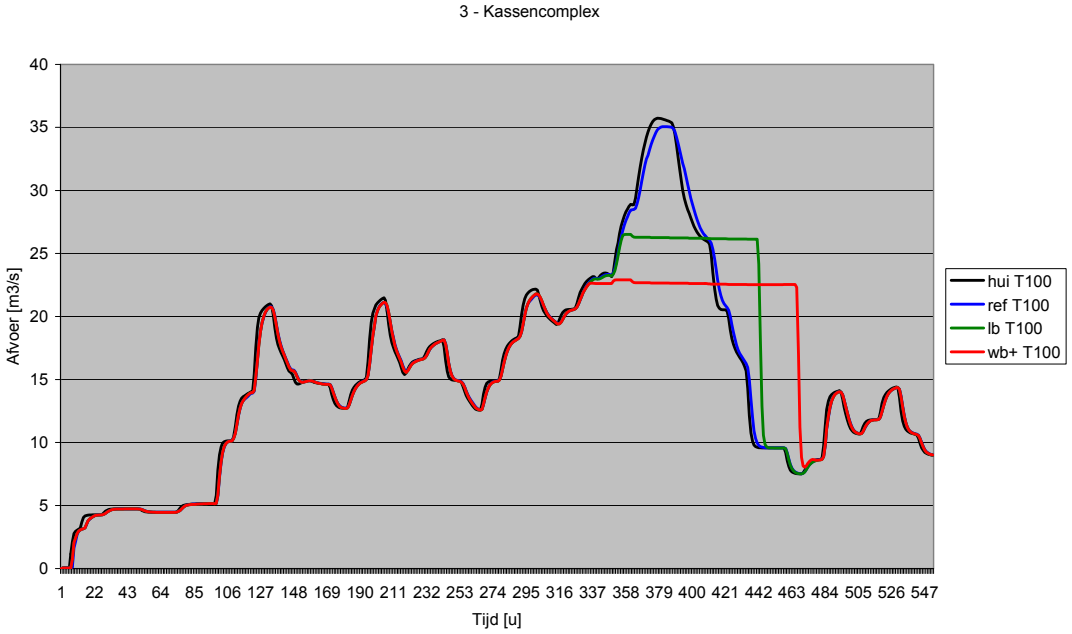

2 - Stipdonk (huidig locatie)
Afvoer [m3/s]
0
5
10
15
20
25
30
35
1 21 41 61 81 101 121 141 161 181 201 221 241 261 281 301 321 341 361 381 401 421 441 461 481 501 521 541
Tijd [u]
hui T50
ref T50
lb T50
wb+ T50

T=100


2 - Stipdonk (huidig locatie)
Afvoer [m3/s]
0
5
10
15
20
25
30
35
40
1 22 43 64 85 106 127 148 169 190 211 232 253 274 295 316 337 358 379 400 421 442 463 484 505 526 547
Tijd [u]
hui T100
ref T100
lb T100
wb+ T100

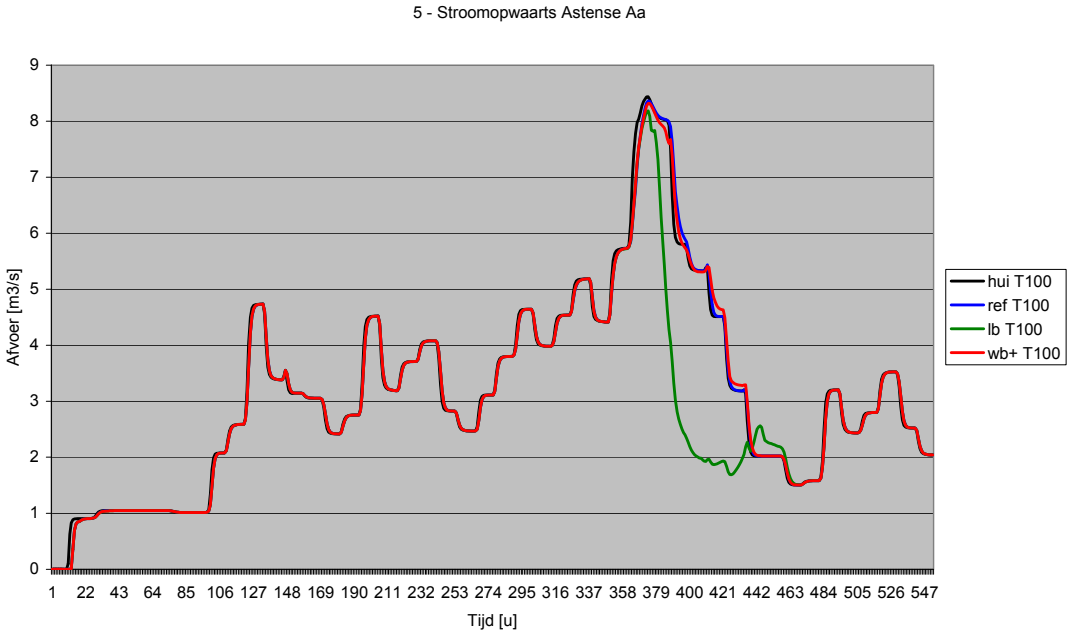
## Afvoeren locatie 3 – Kassen complex

T=100



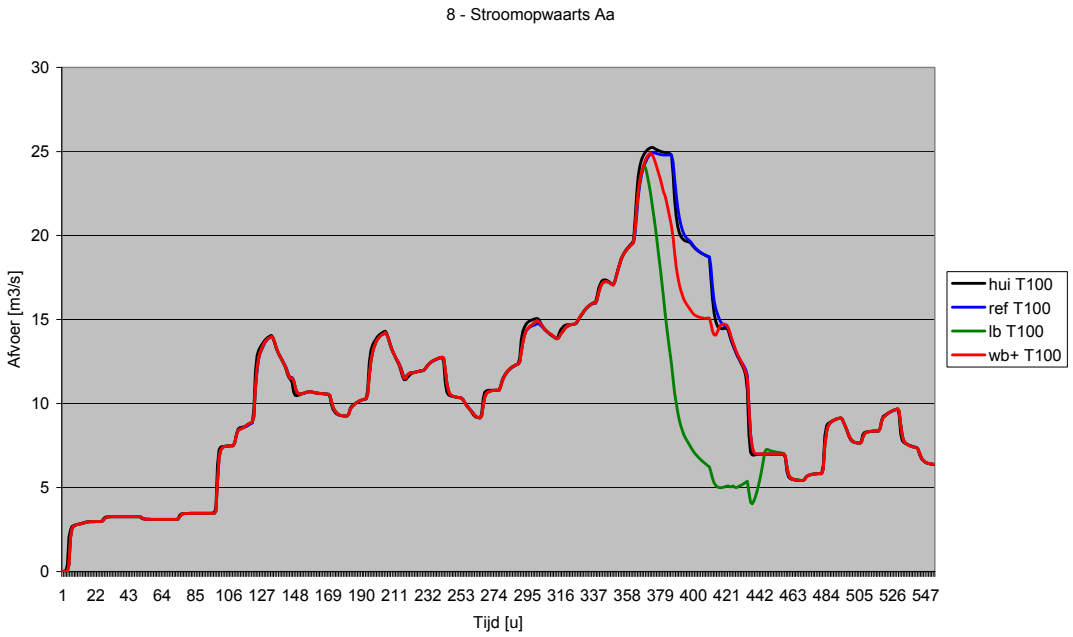

## Afvoeren locatie 5 – Stroomopwaarts Astense Aa

T=100



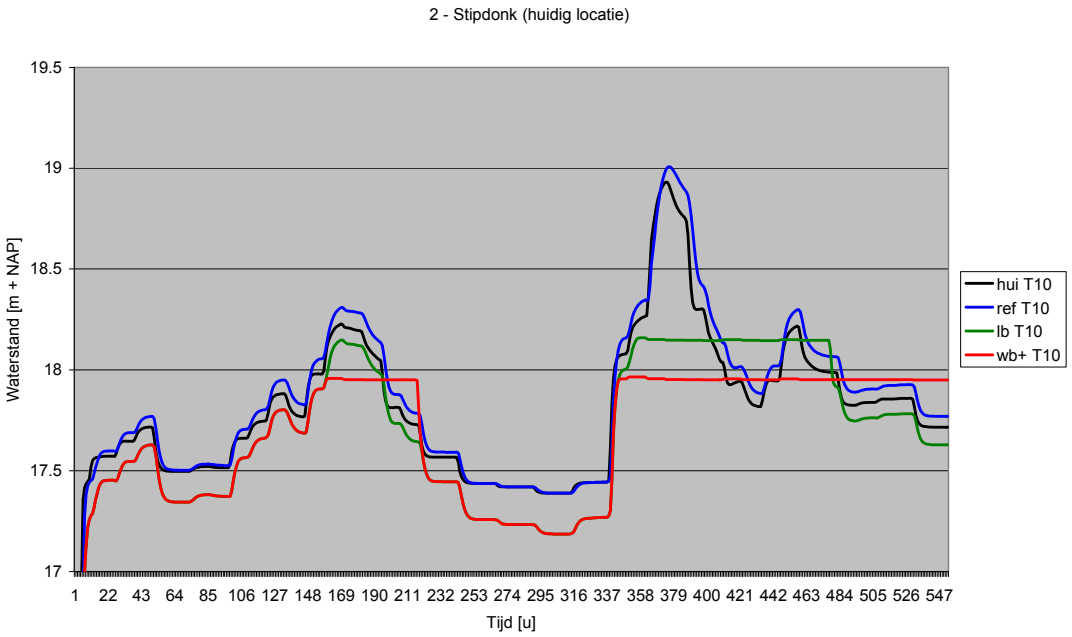
## Afvoeren locatie 8 – Stroomopwaarts Aa

T=100

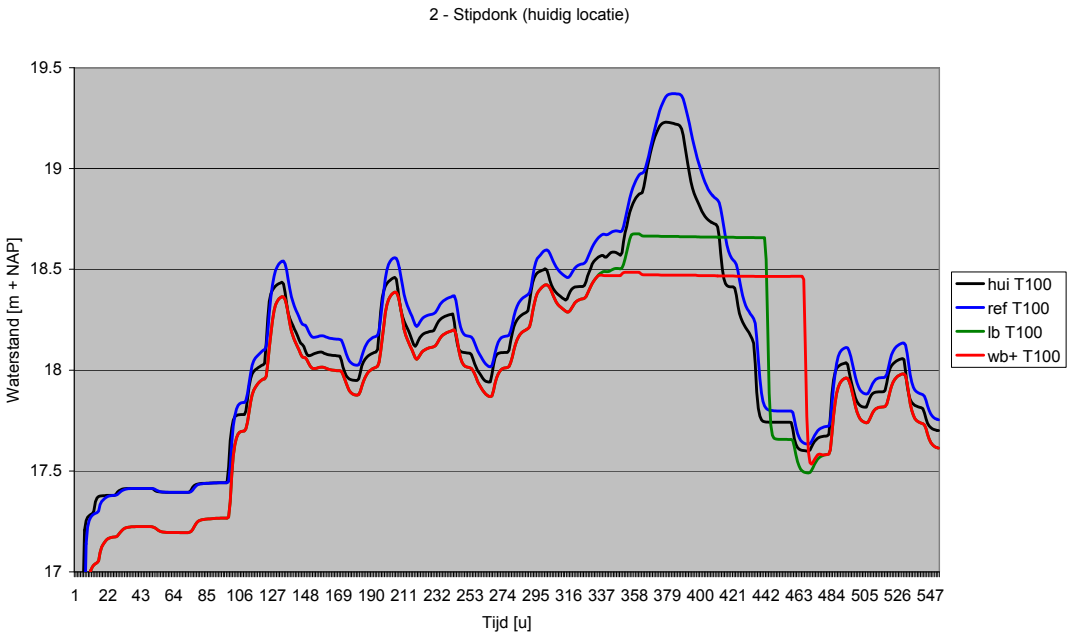


## Waterstanden locatie 2 - Stipdonk

T=10

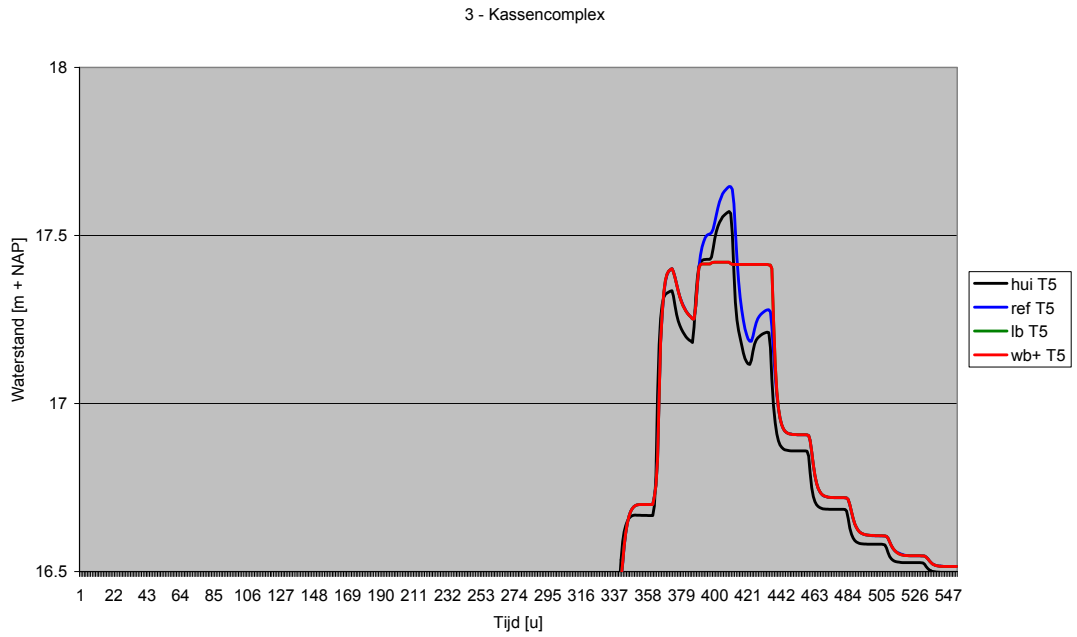



T=100

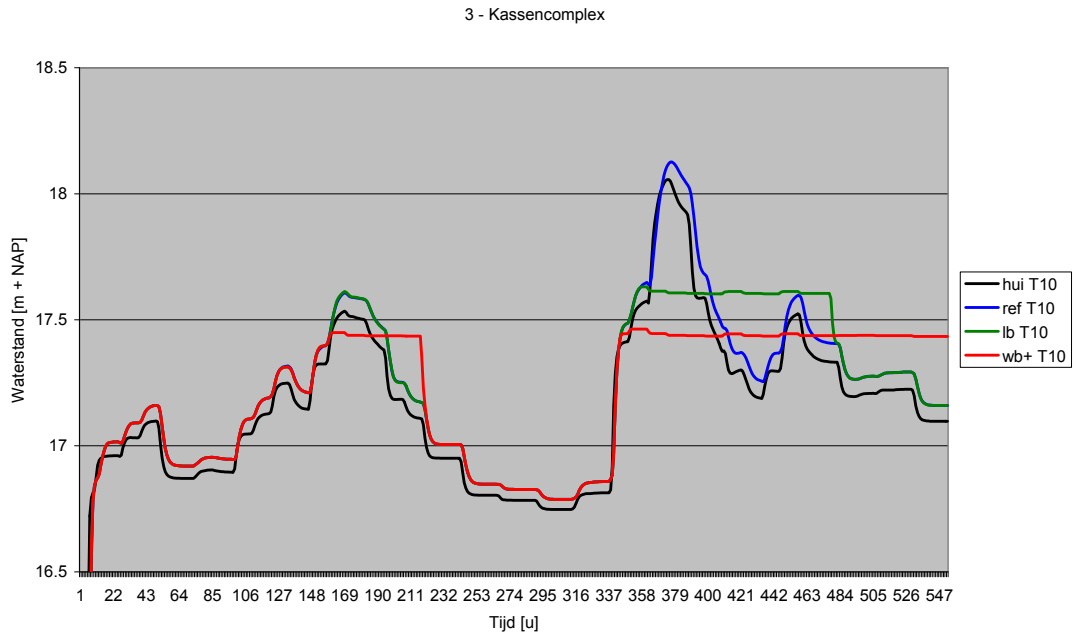


## Waterstanden locatie 3 – Kassen complex

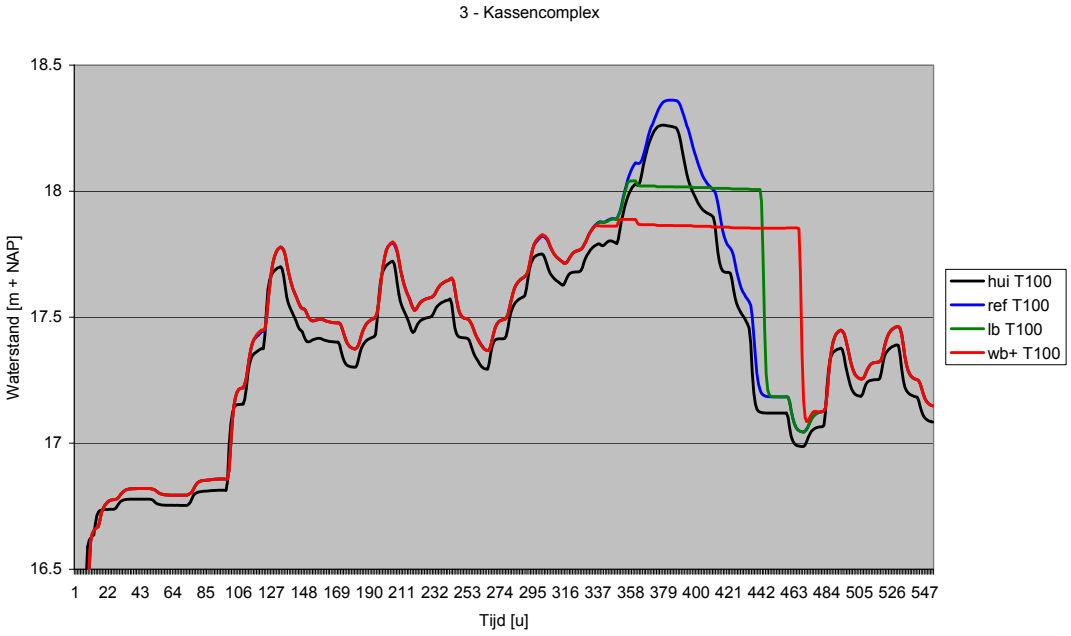
T=5




T=10

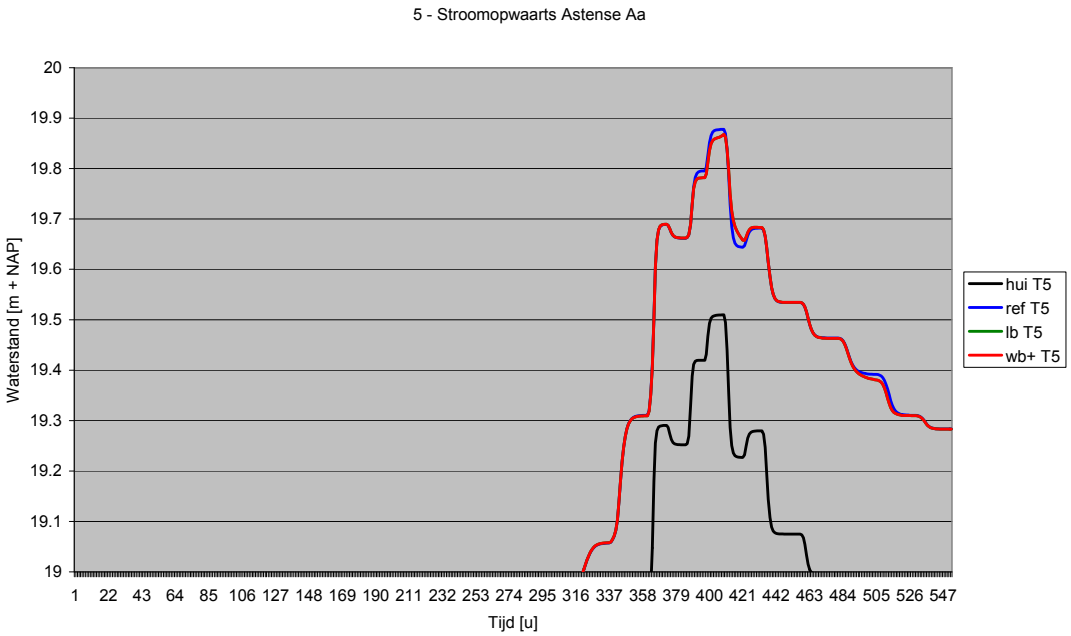


T=100

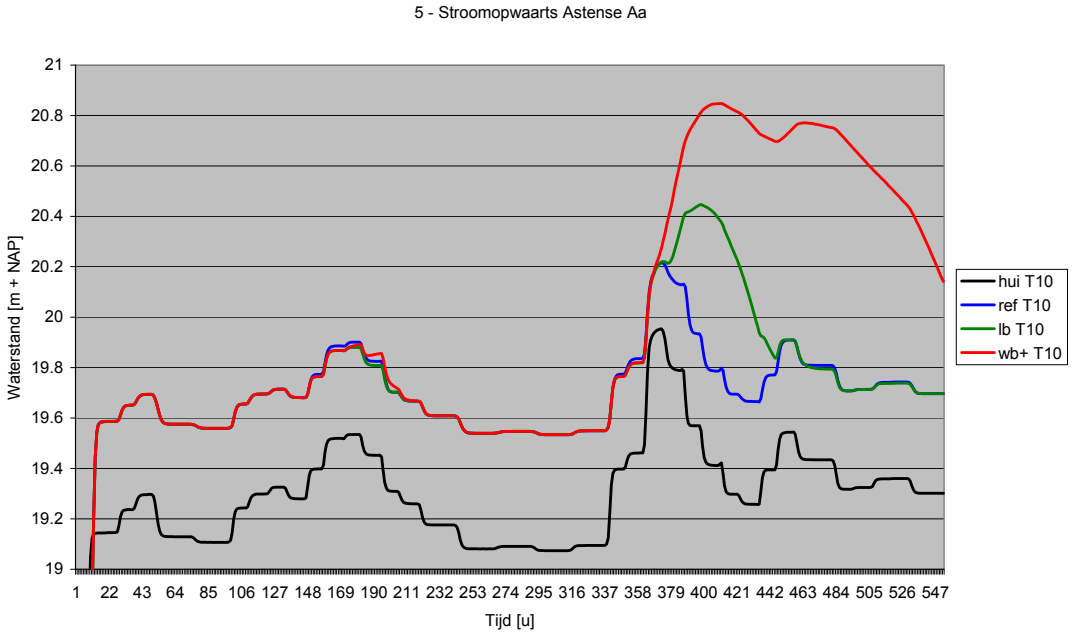



## Waterstanden locatie 5 – Stroomopwaarts Astense Aa

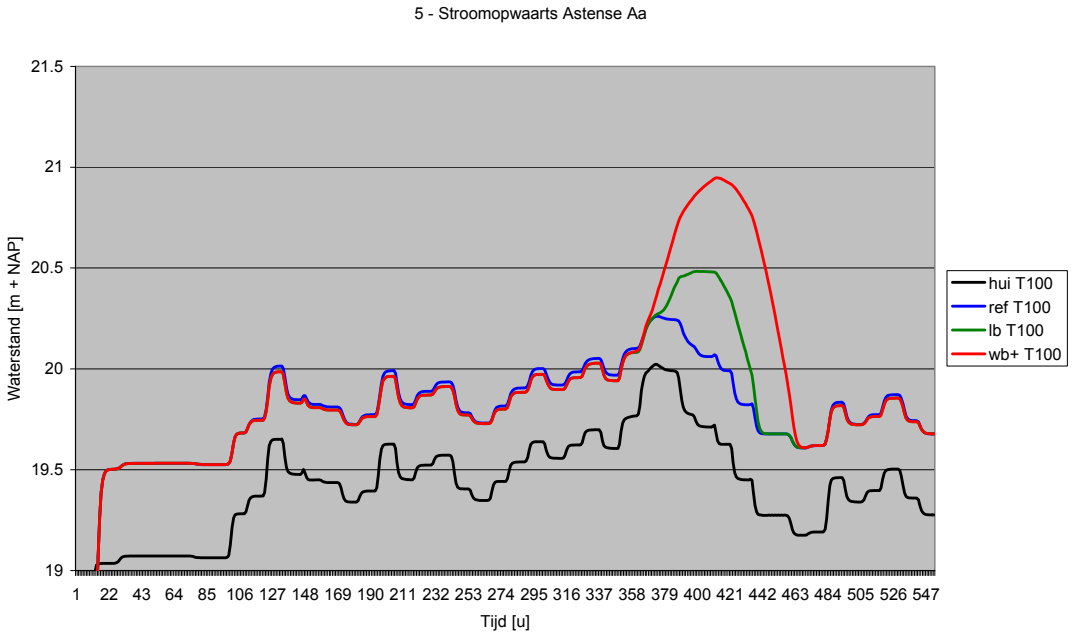
T=5



T=10

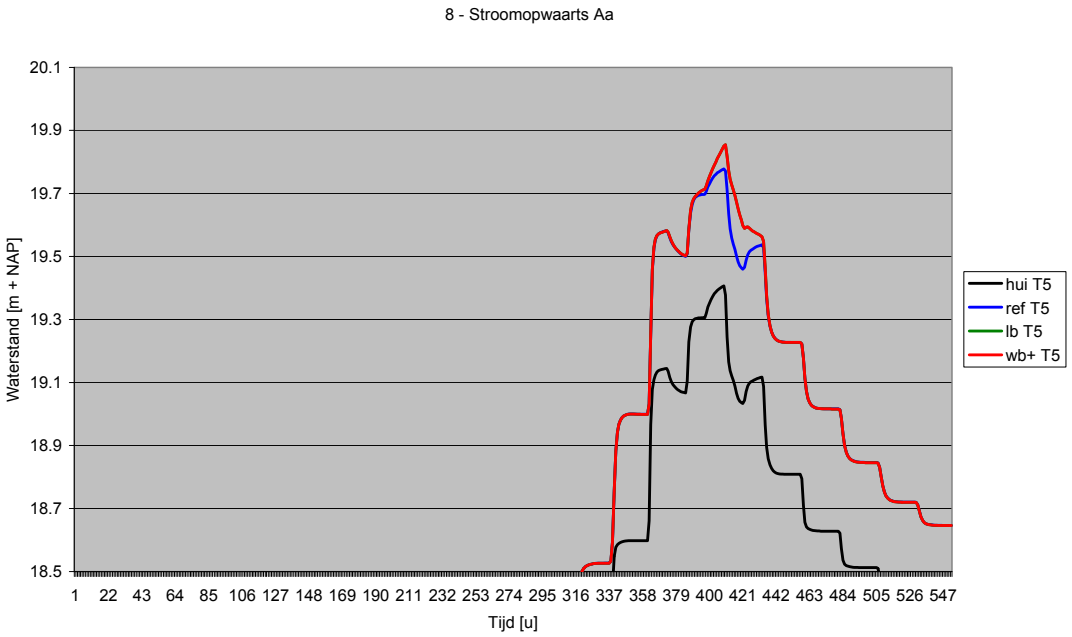

5 - Stroomopwaarts Astense Aa
Waterstand [m + NAP]
21
20.8
20.6
20.4
20.2
20
19.8
19.6
19.4
19.2
19
1 22 43 64 85 106 127 148 169 190 211 232 253 274 295 316 337 358 379 400 421 442 463 484 505 526 547
Tijd [u]
hui T10
ref T10
lb T10
wb+ T10

T=100

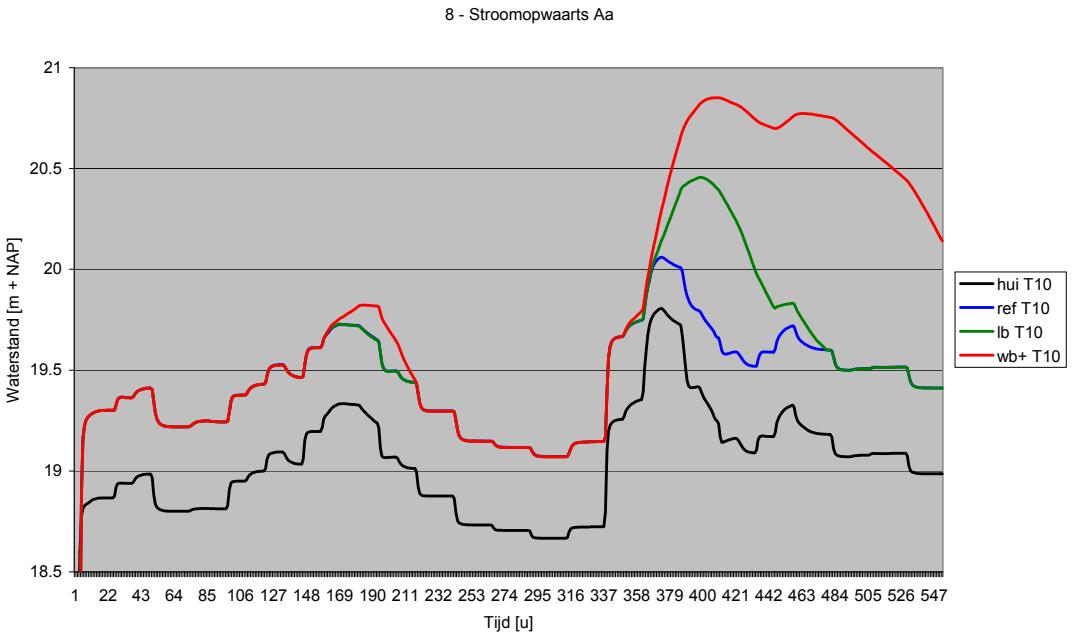

5 - Stroomopwaarts Astense Aa
Waterstand [m + NAP]
21.5
21
20.5
20
19.5
19
1 22 43 64 85 106 127 148 169 190 211 232 253 274 295 316 337 358 379 400 421 442 463 484 505 526 547
Tijd [u]
hui T100
ref T100
lb T100
wb+ T100

## Waterstanden locatie 8 – Stroomopwaarts Aa

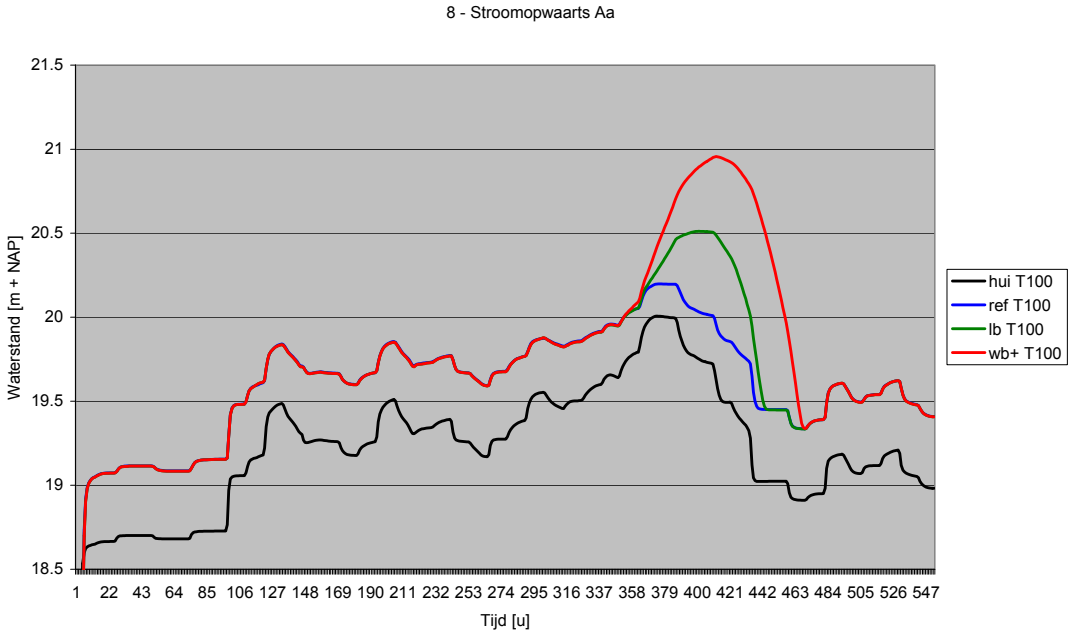
T=5




T10

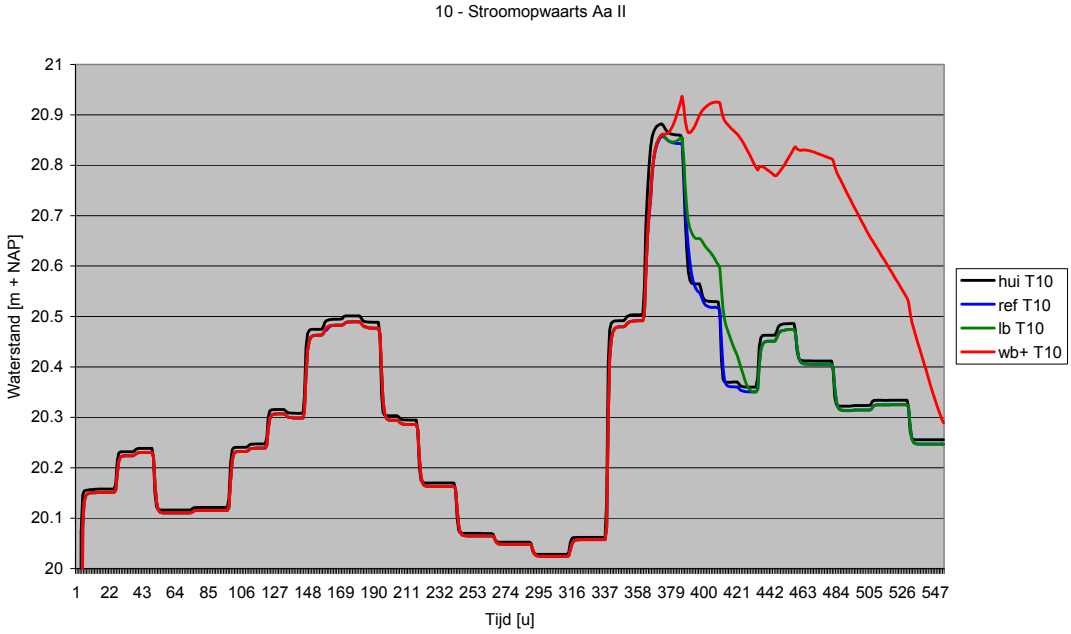


T=100

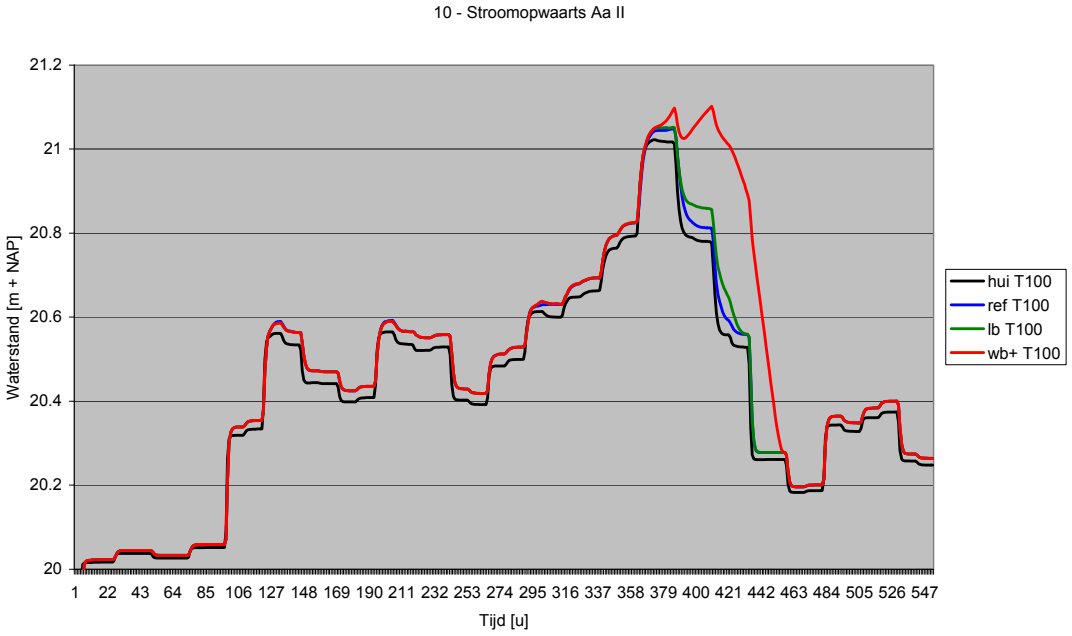



## Waterstanden locatie 10 – Stroomopwaarts Aa II

T=10

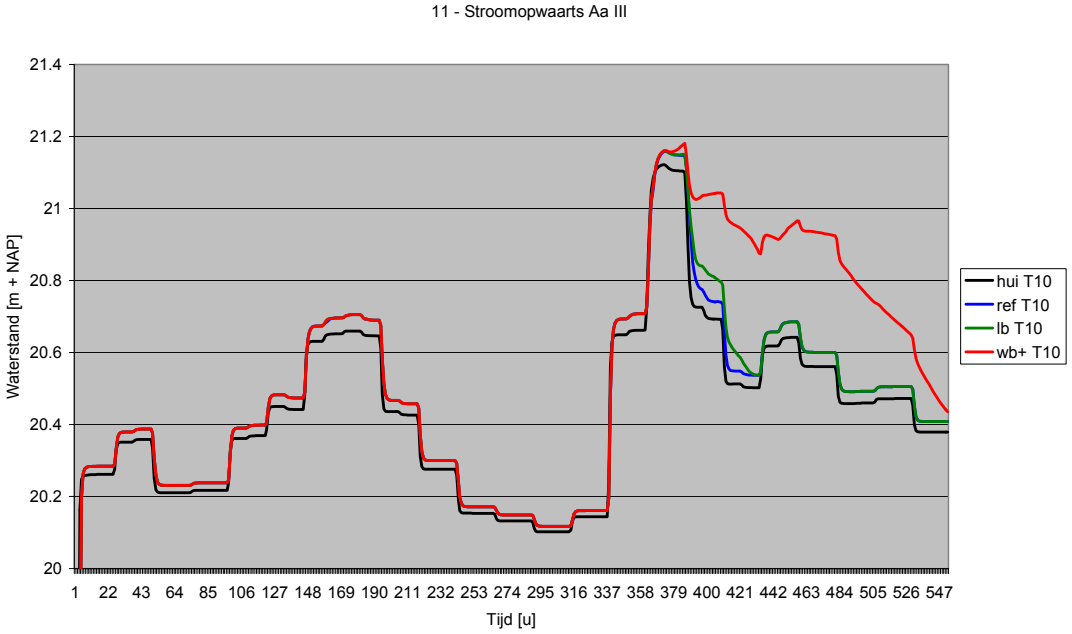


T=100

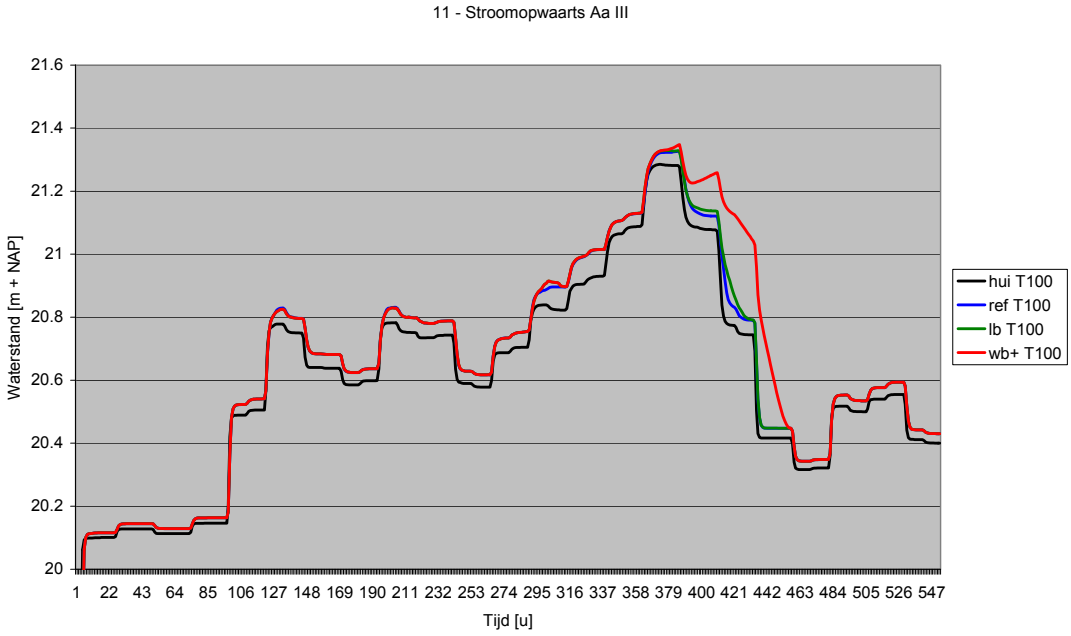



## Waterstanden locatie 11 – Stroomopwaarts Aa III

T=10

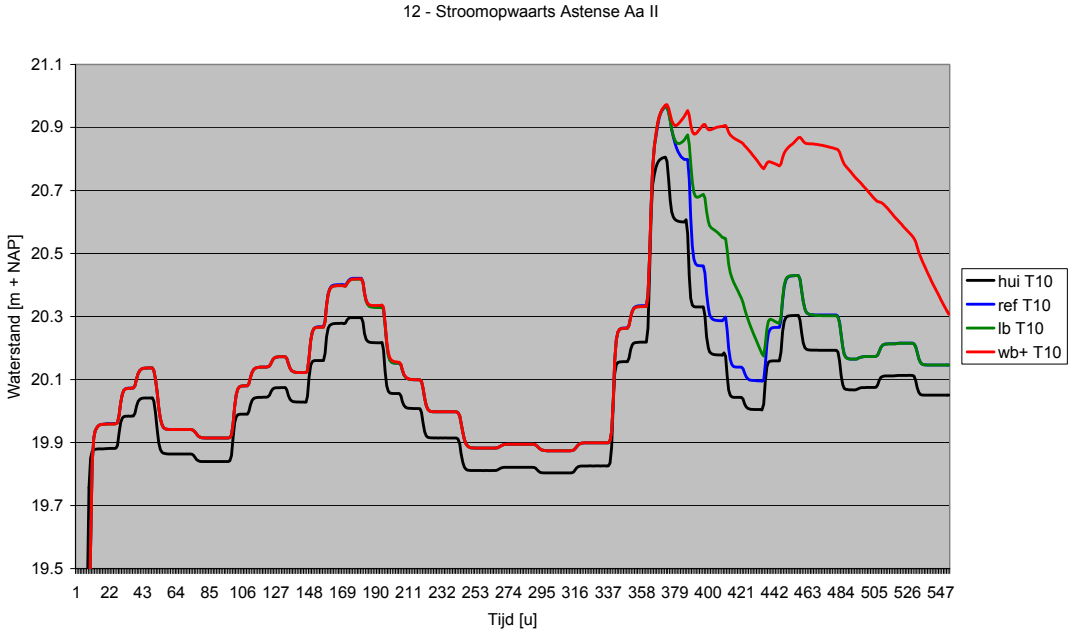


T=100

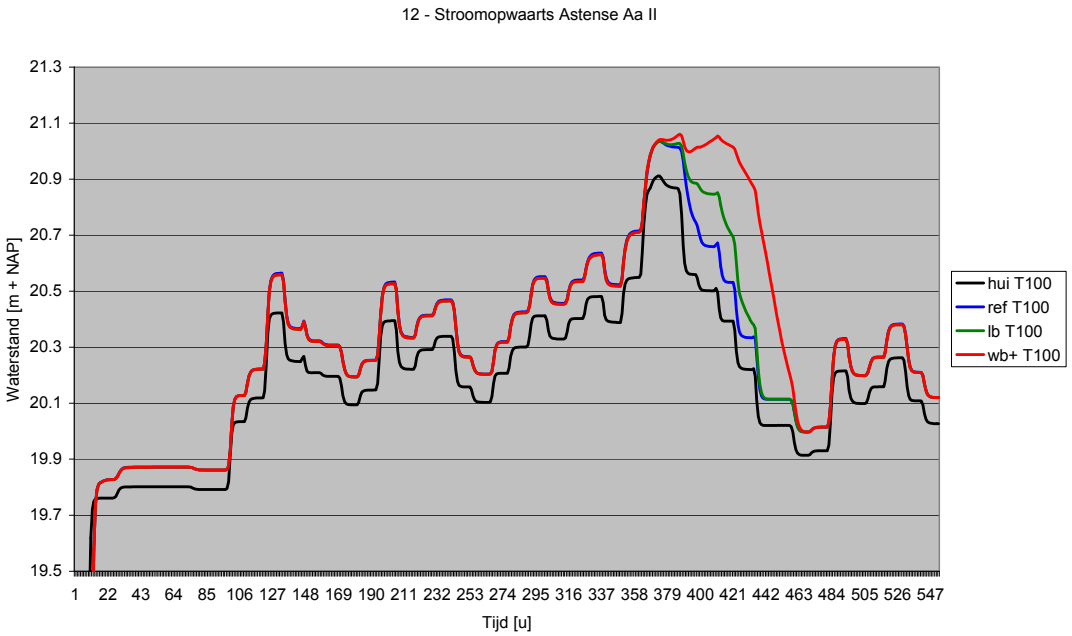



## Waterstanden locatie 12 – Stroomopwaarts Astense Aa II

T=10



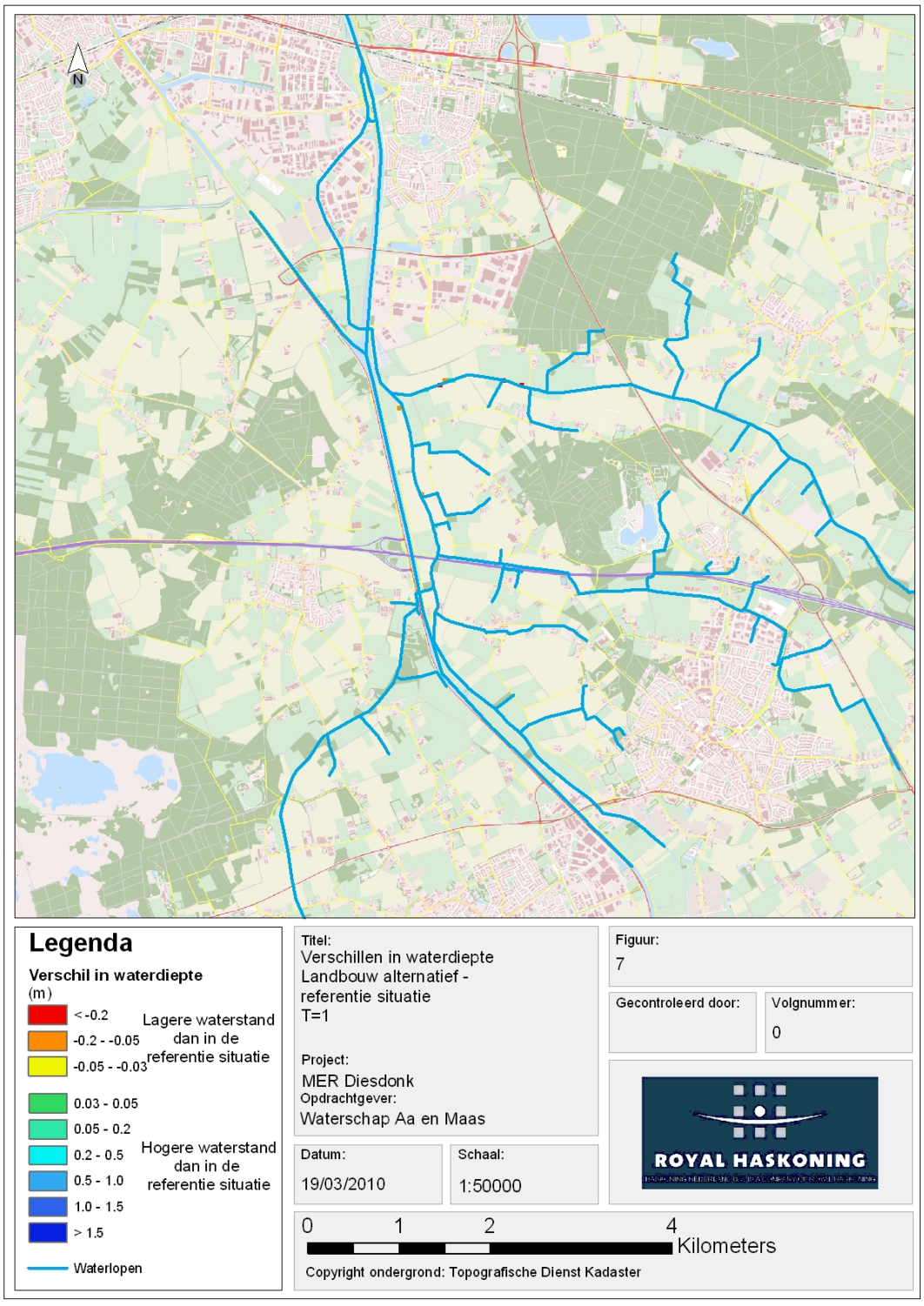
T=100

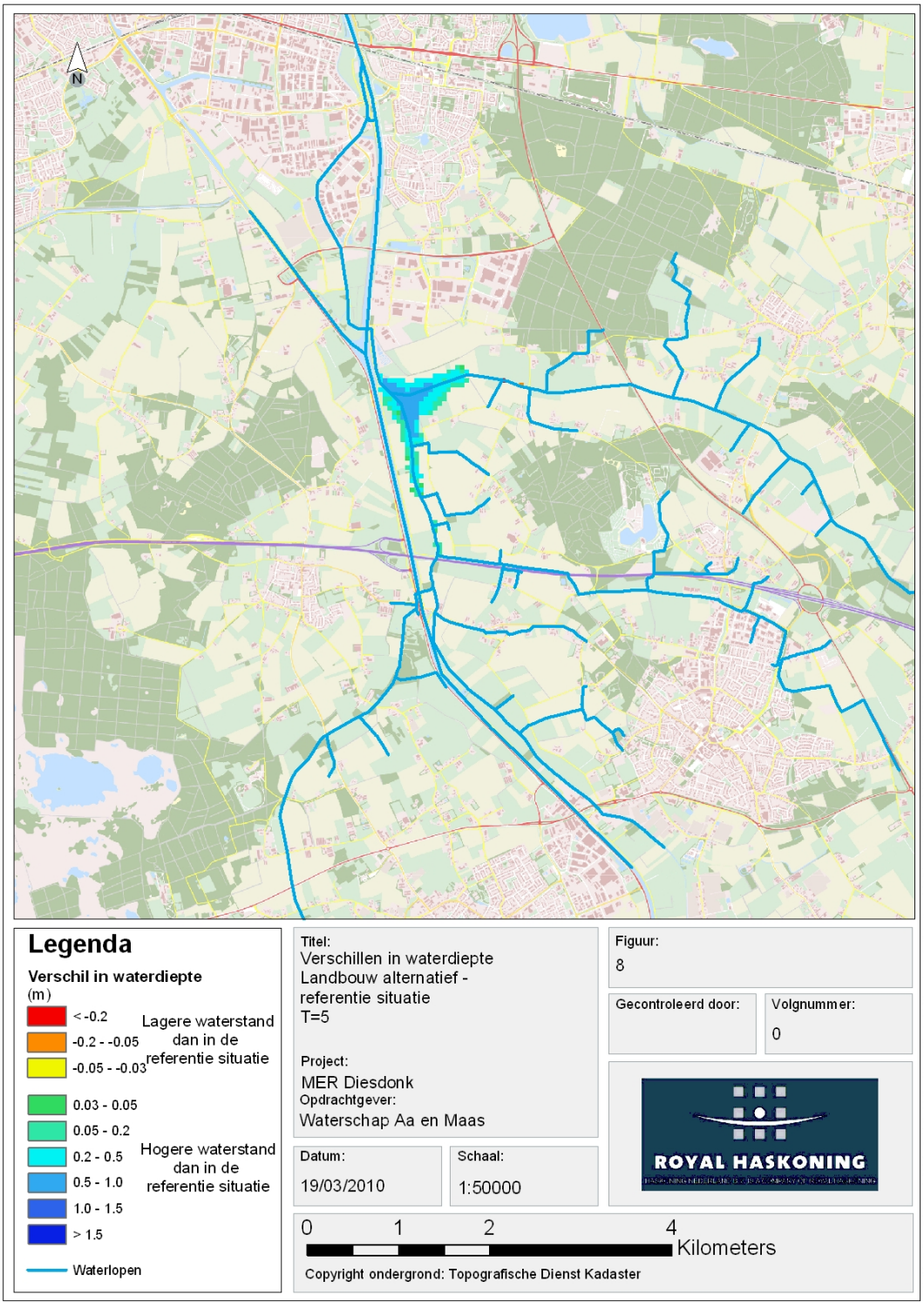

12 - Stroomopwaarts Astense Aa II
Waterstand [m + NAP]
21.3
21.1
20.9
20.7
20.5
20.3
20.1
19.9
19.7
19.5
1 22 43 64 85 106 127 148 169 190 211 232 253 274 295 316 337 358 379 400 421 442 463 484 505 526 547
Tijd [u]
hui T100
ref T100
lb T100
wb+ T100

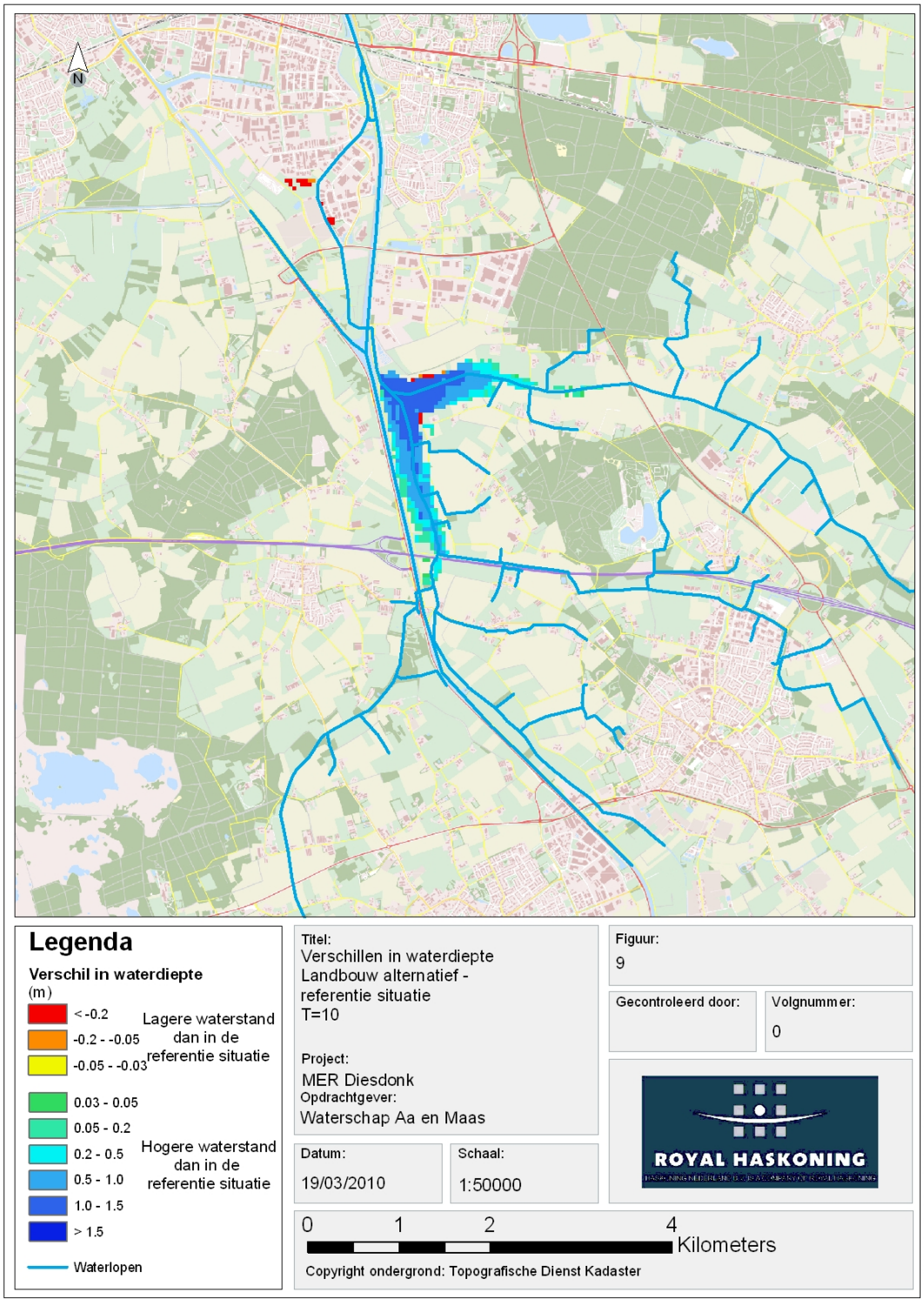
A COMPANY OF

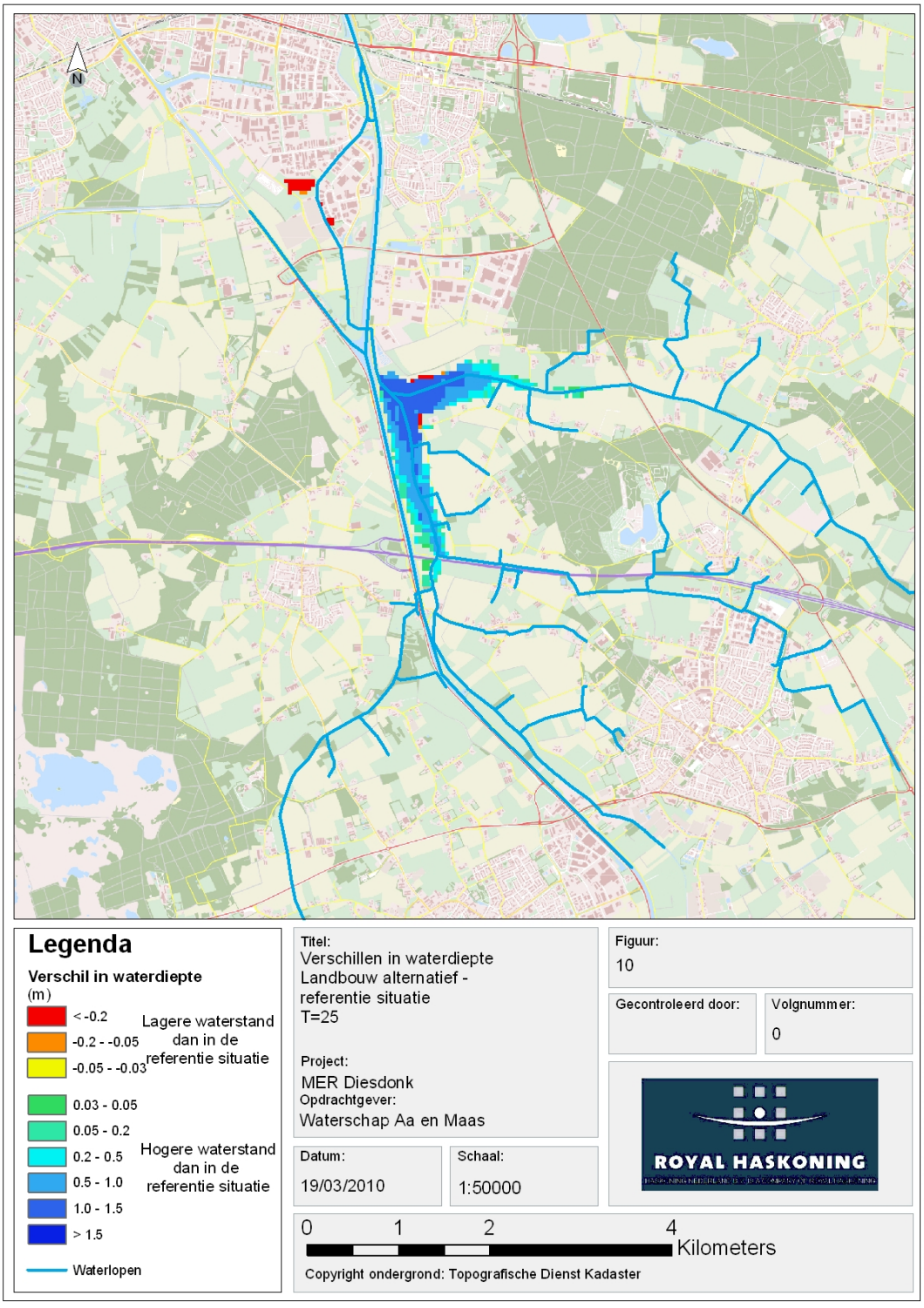
ROYAL HASKONING

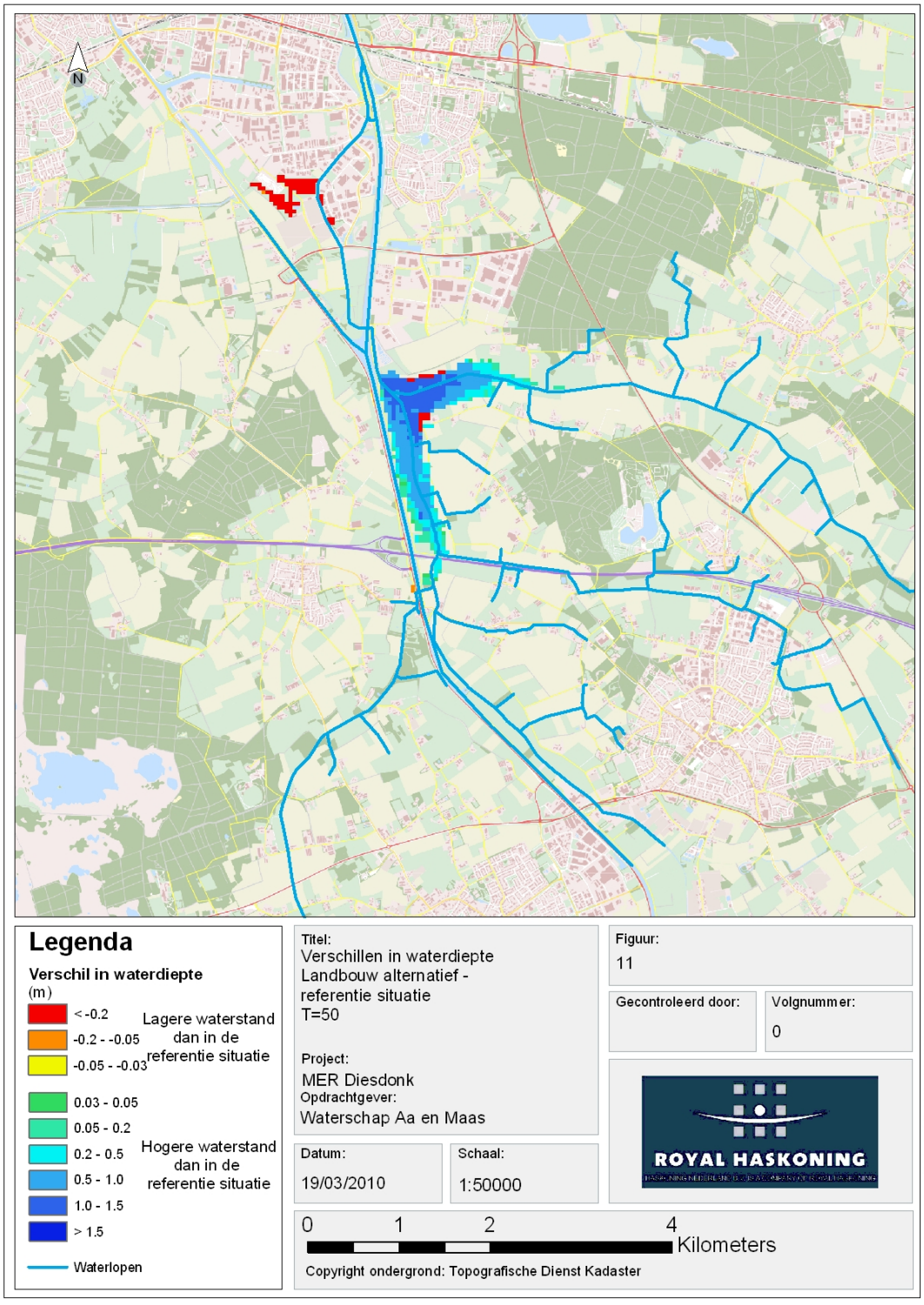
# Bijlage 4
# Overstromingskaarten

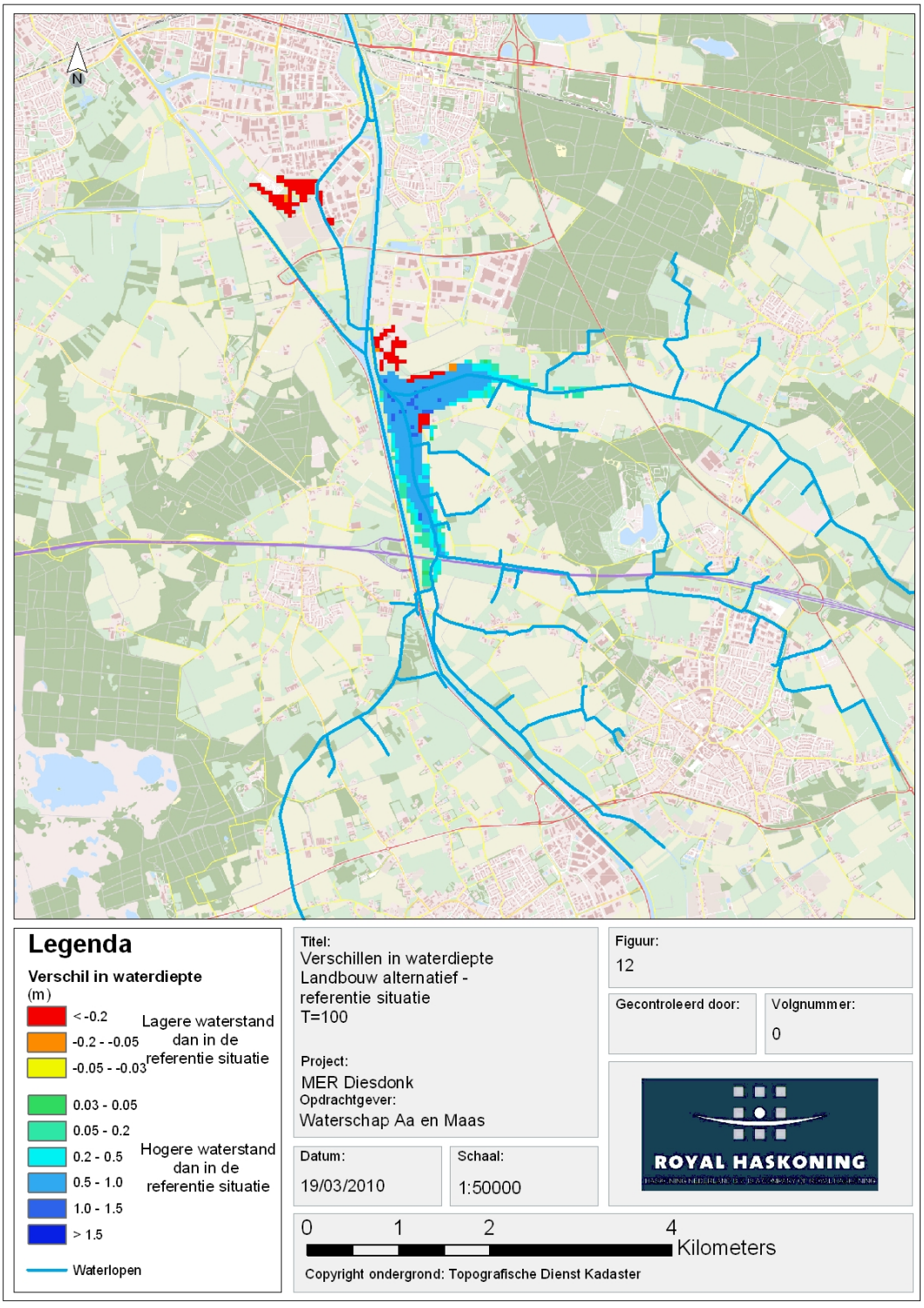

N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Landbouw alternatief -
referentie situatie
T=1
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Figuur:
7
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd

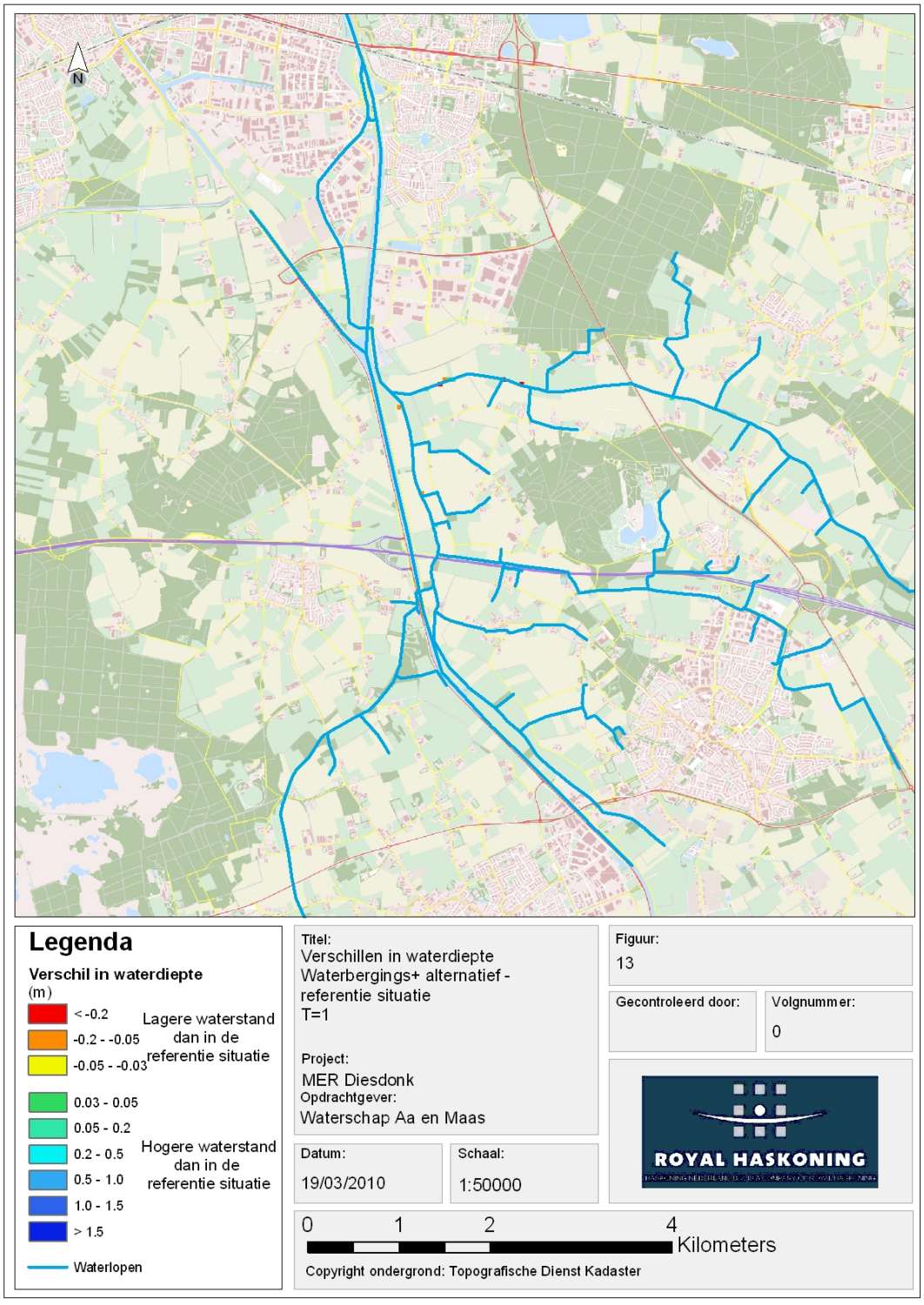

N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Landbouw alternatief -
referentie situatie
T=5
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Figuur:
8
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd

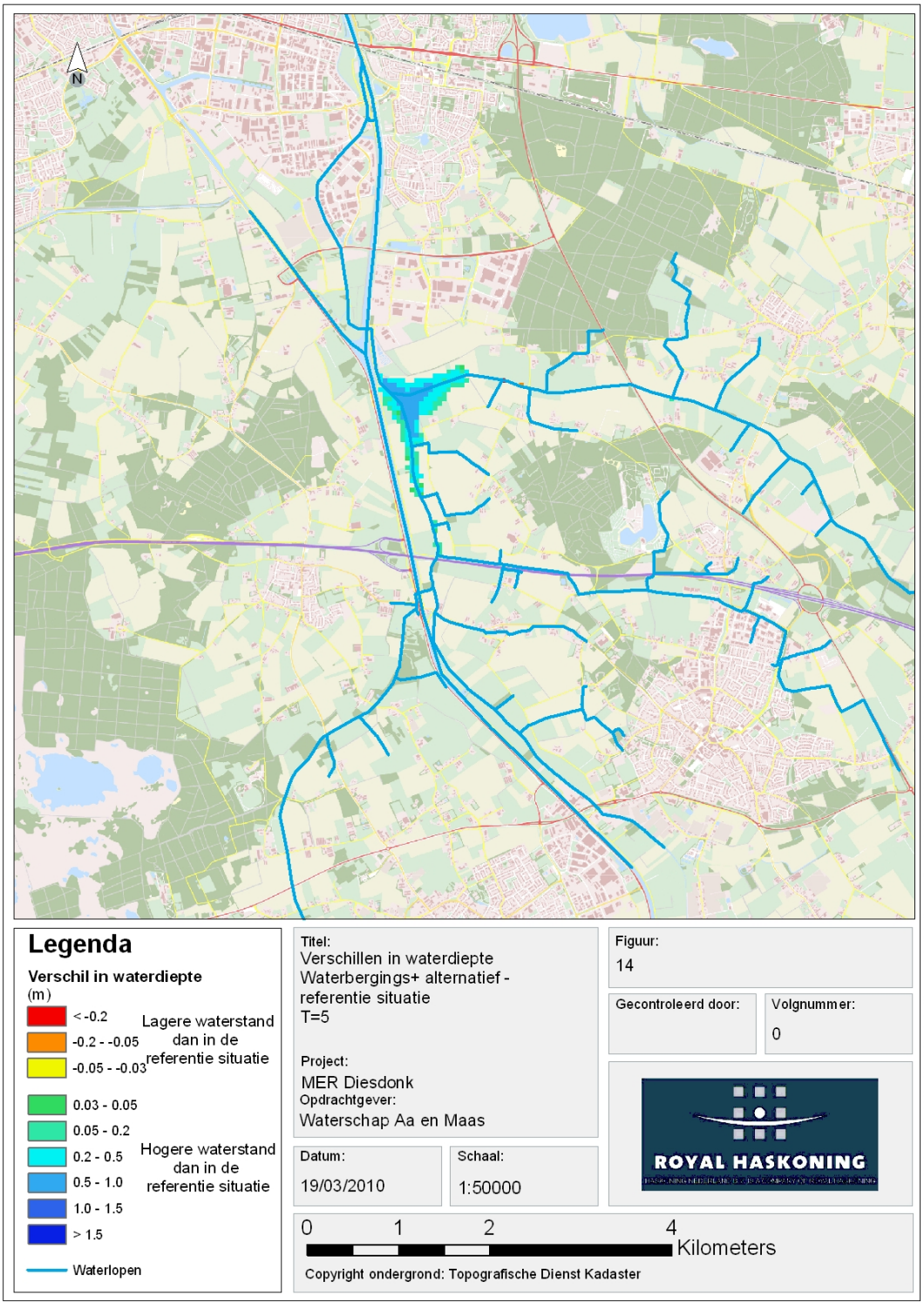

N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Landbouw alternatief -
referentie situatie
T=10
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Figuur:
9
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd

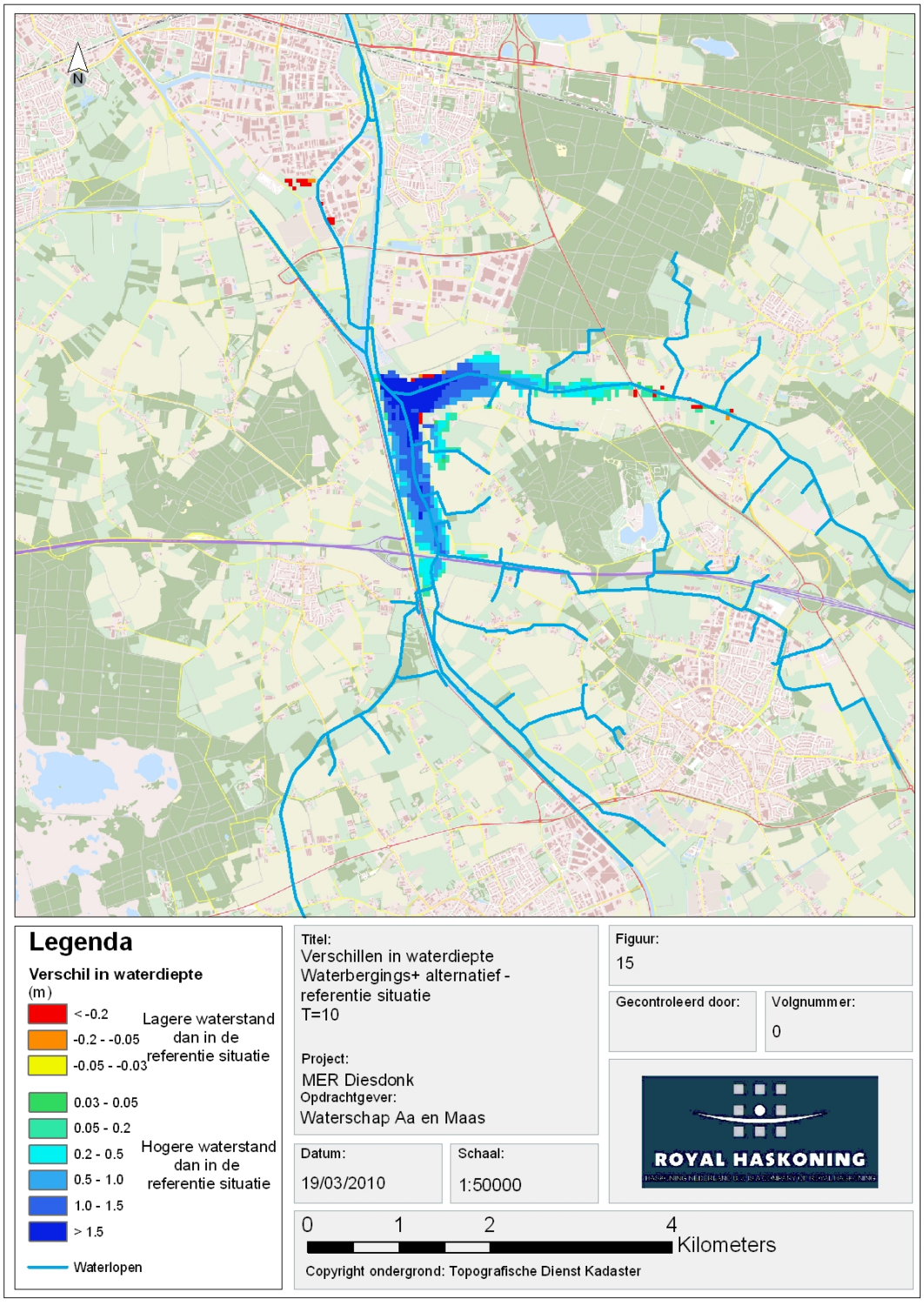

N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Landbouw alternatief -
referentie situatie
T=25
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Figuur:
10
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd

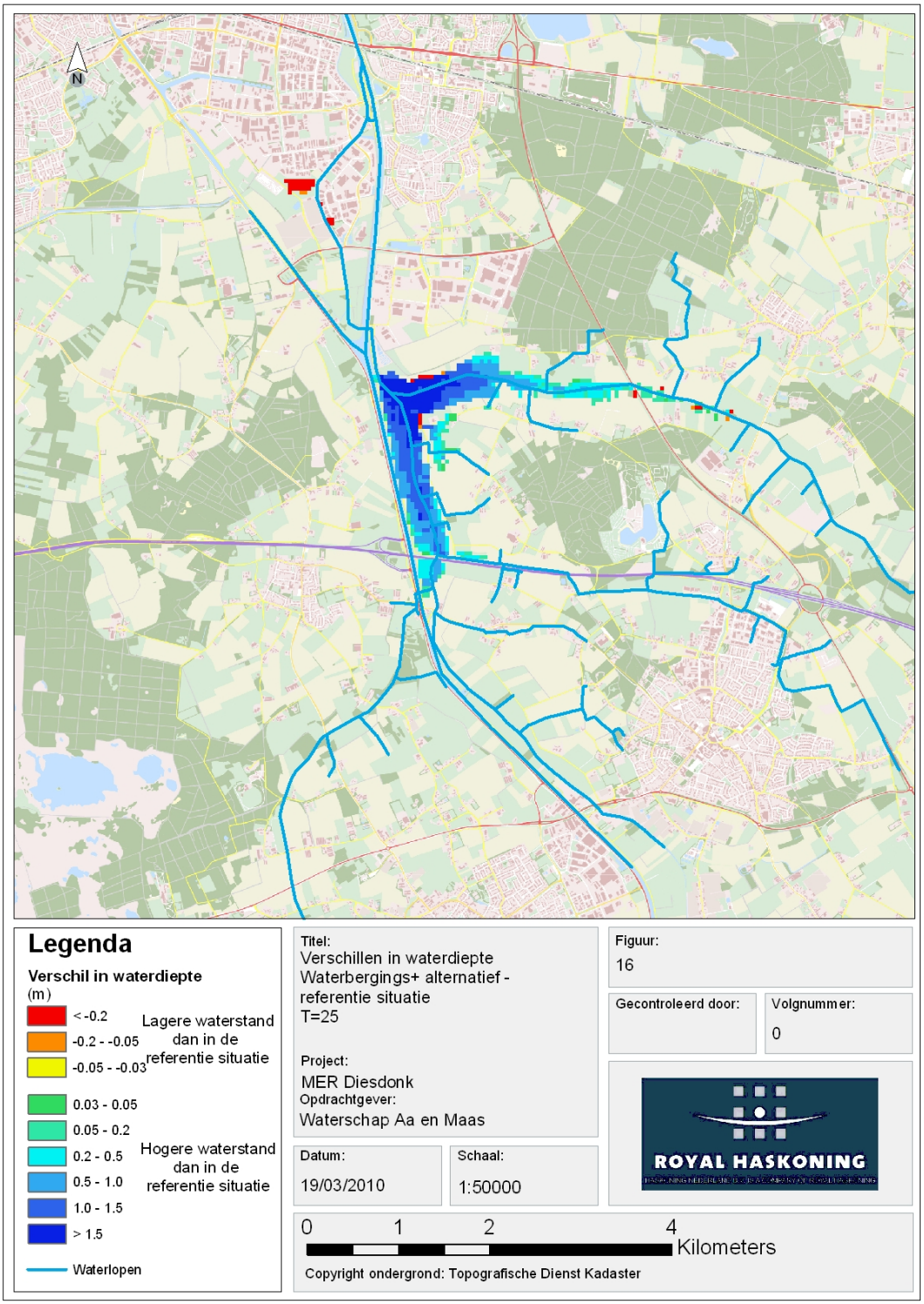

N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Landbouw alternatief -
referentie situatie
T=50
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Figuur:
11
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd

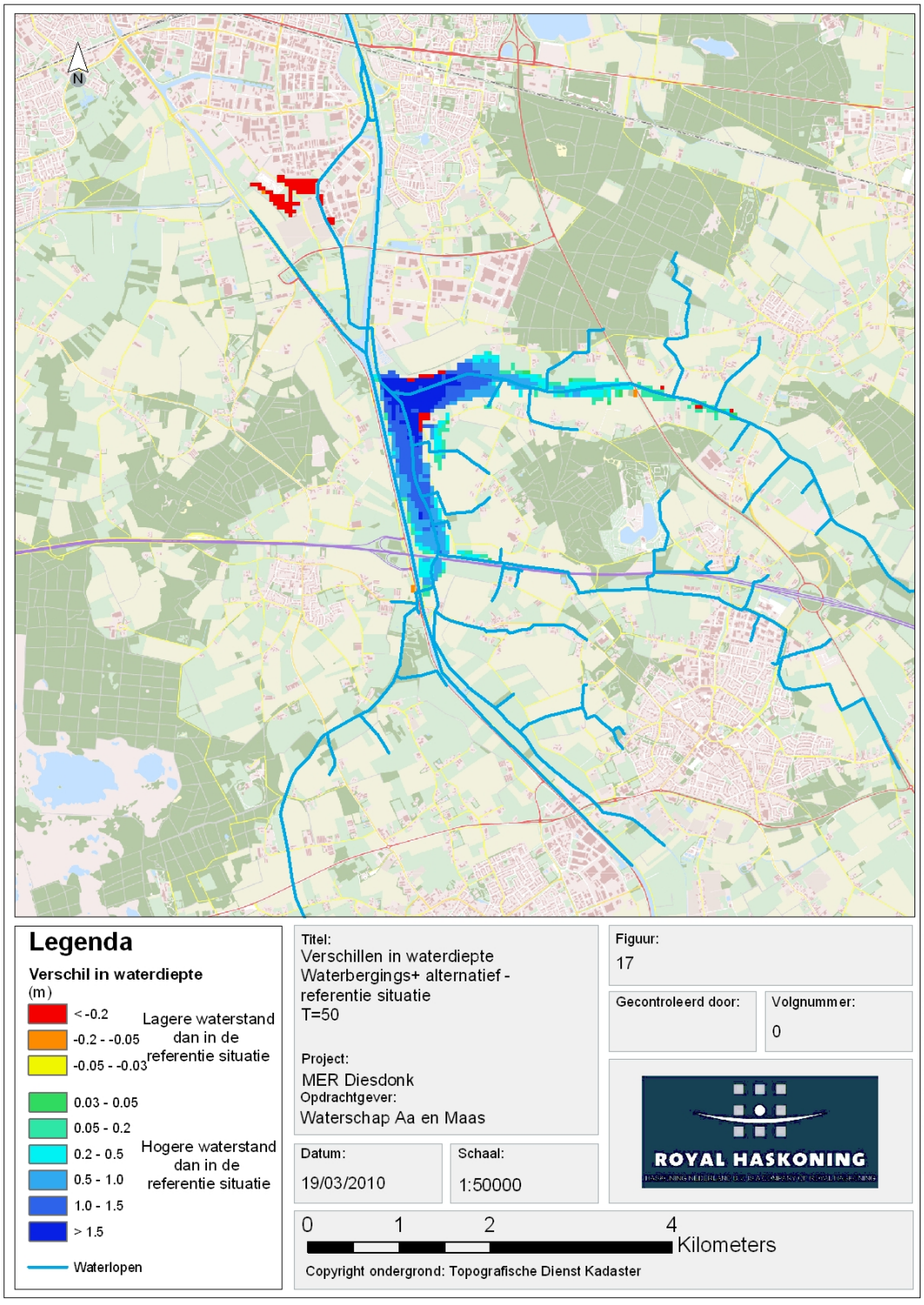

N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Landbouw alternatief -
referentie situatie
T=100
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Figuur:
12
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd

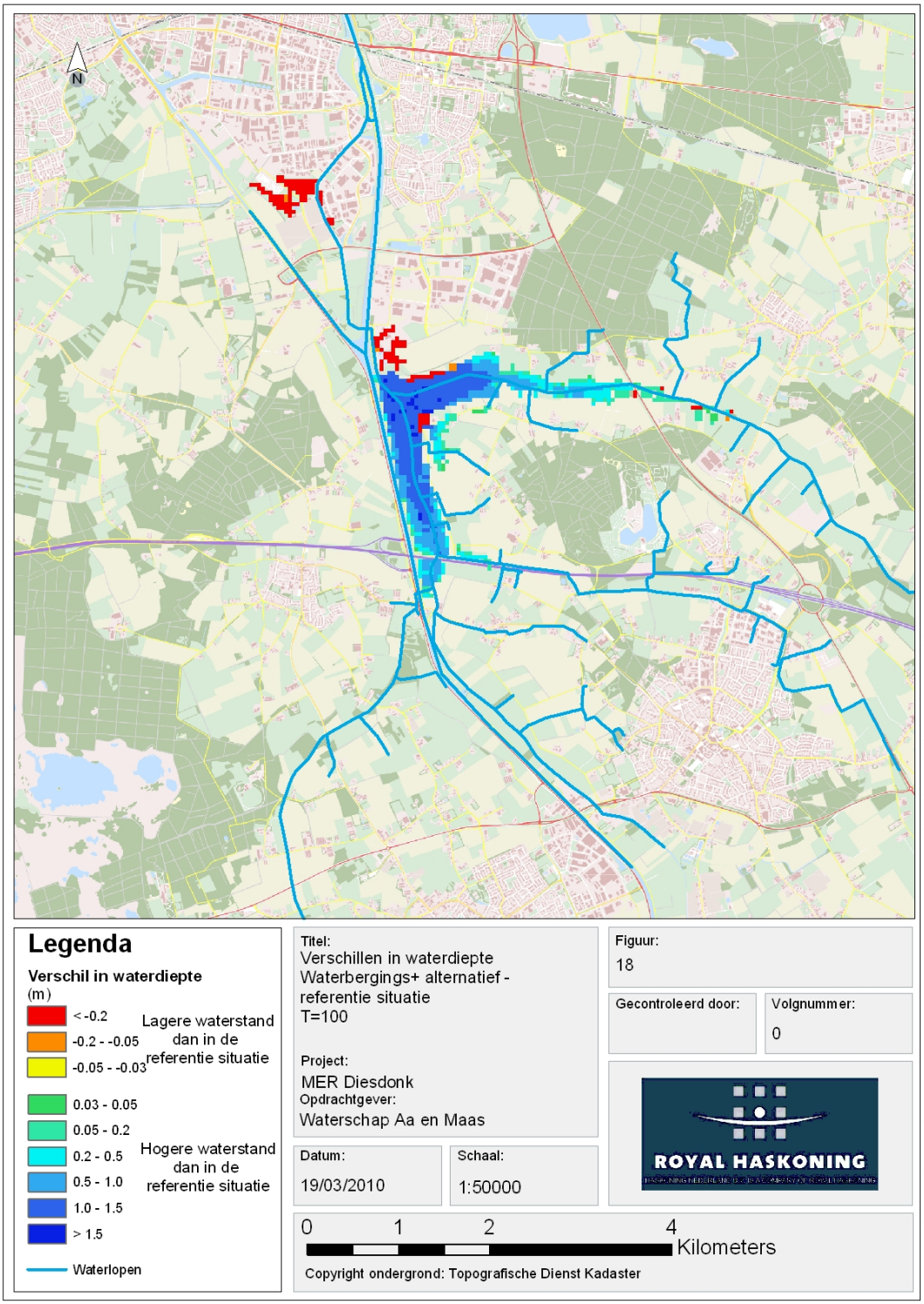

N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Waterbergings+ alternatief - referentie situatie
T=1
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Figuur:
13
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd


N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Waterbergings+ alternatief - referentie situatie
T=5
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
Figuur:
14
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd


N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Waterbergings+ alternatief - referentie situatie
T=10
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Figuur:
15
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd


N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Waterbergings+ alternatief - referentie situatie
T=25
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Figuur:
16
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd


N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Waterbergings+ alternatief - referentie situatie
T=50
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Figuur:
17
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd


N
Legenda
Verschil in waterdiepte
(m)
< -0.2
-0.2 - -0.05
-0.05 - -0.03
Lagere waterstand dan in de referentie situatie
0.03 - 0.05
0.05 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
> 1.5
Hogere waterstand dan in de referentie situatie
Waterlopen
Titel:
Verschillen in waterdiepte
Waterbergings+ alternatief - referentie situatie
T=100
Project:
MER Diesdonk
Opdrachtgever:
Waterschap Aa en Maas
Figuur:
18
Gecontroleerd door:
Volgnummer:
0
Datum:
19/03/2010
Schaal:
1:50000
ROYAL HASKONING
0 1 2 4
Kilometers
Copyright ondergrond: Topografische Dienst Kadaster
L:\Sites\NL-Nijmegen\Project\9T0705\Technical_Data\Hydrologie\06_oppervlaktewater\SOBEK\20100303_aangepaste knijpdebieten\resultaten\GIS\max_waterstanden.mxd