

**Robuust Aa-dal bij Hoog Water:
Analyse werking Dynamisch Beekdal bij hoog
water en verkenning eventuele oplossingen**



Hans Stam & Steffie de Keijzer

Augustus 2017

1. Inleiding

De uitvoering van het project Dynamisch Beekdal is bijna afgerond: Het traject van de Aa tussen kasteel Heeswijk nabij stuw 201B bovenstrooms en de sifon onder het Maximakanaal benedenstrooms is omgezet in een beekprofiel met grote en kleine meanders (*Figuur 1*). In drie gebieden in het Dynamisch Beekdal is waterberging aangelegd van in totaal bijna 1.000.000 m³ die ingezet kan worden ter bescherming van Den Bosch.



Figuur 1: Ligging Dynamisch Beekdal: De Aa tussen kasteel Heeswijk (stuw 201B) en de sifon onder het Maxima-kanaal.

Het projectplan van het project Dynamisch Beekdal is in bovenstroomse richting begrenst bij stuw 201B in de Aa en daar waar de meander in de Leijgraaf komt, net benedenstrooms van stuw 211A (*Figuur 1*). Op 13 januari 2017 en 23 februari 2017 steeg het peil in de Aa bij kasteel Heeswijk en de Leijgraaf sterk met een grote doorwerking in de trajecten bovenstrooms het projectplan, dus in de Leijgraaf bovenstrooms van de instroom van de meander in de Leijgraaf en in de Aa bovenstrooms stuw 201B. De hoge peilen en het ontbreken van sturingsmiddelen (er zitten geen stuwen meer in het traject) riepen bij de beheerders vraagtekens op: Is het systeem voldoende robuust en moeten we wennen aan de nieuwe situatie of is het systeem niet voldoende robuust? Deze pieksituaties waren aanleiding voor de opzet van het projectplan: *Robuust-Aa-dal; Kennisvragen, Knelpunten en Calamiteitenplannen*. In dit projectplan zijn diverse sporen onderscheiden (*Tabel 1*). Dit rapport behoort tot spoor 1 en spoor 2 van dit projectplan. In deze sporen is onderzocht of de afvoercapaciteit en de robuustheid van het nieuwe beekstelsel voldoende is en wat eventuele

oplossingen zouden zijn als dit niet het geval is. Daarbij wordt ook onderzocht hoe groot de effecten in de trajecten bovenstrooms van het projectplan zijn.

Spoor :										Trekker(s) / verantwoordelijke(n) inhoud									
← Prioriteit	Spoor 1	Model hoog water Dynamisch Beekdal maken										Steffie de Keijzer / Hans Stam							
	Spoor 2	Analyse werking Dynamisch Beekdal bij hoog water en verkenning oplossingen										Steffie de Keijzer / Hans Stam							
	Spoor 3	Oplossen eventuele knelpunten bij hoog water Dynamisch Beekdal										Ernst-Jan Melisie							
	Spoor 4	Inzetprotocol gestuurde waterberging en calamiteitenprotocollen maken										Jack de Wilt							
	Spoor 5	Beheer- onderhoudsplan maken										Paul Verhoeven							
	Spoor 6	Meetplan hoog water maken										Steffie de Keijzer							

Tabel 1: Overzicht sporen project Robuust Aa-dal; Kennisvragen, Knelpunten en Calamiteitenplannen. In dit rapport zijn de resultaten van spoor 1 en spoor 2 beschreven.

Dit rapport is als volgt opgezet:

2. Conclusies en aanbevelingen

- 2.1. Conclusies
- 2.2. Aanbevelingen

3. Achtergrondinfo ontwerp Dynamisch Beekdal

- 3.1. MER Dynamisch Beekdal
- 3.2. Projectplannen Dynamisch Beekdal

4. Actualisatie rekenmodel:

- 4.1. Nieuwe inzichten afvoergolven
- 4.2. Verlenging model in bovenstroomse richting

5. Vergelijkingen waterstanden vóór en na beekherstel

- 5.1. Verschil peilen vóór en na beekherstel

6. Robuustheid Dynamisch Beekdal

- 6.1. Kadehoogte Aa en Leijgraaf
- 6.2. Landbouwgebieden Aa en Leijgraaf
- 6.3. Gevoeligheidsanalyse beheer en onderhoud

7. Mogelijke oplossingen

- 7.1. Kadeverhoging Leijgraaf
- 7.2. Landbouwgebied
- 7.3. Verlagen waterpeil in Leijgraaf en Aa

Bijlage 1: Afvoeren en peilen in MER en projectplannen

Bijlage 2: Nieuwe neerslagstatistiek

Bijlage 3: Verschil in afvoergolven van het NBW-model en het GDHM-model

Bijlage 4: Effect Dynamisch Beekdal bovenstrooms van projectgebied

Bijlage 5: Drooglegging- en inundatiekaartjes

2. Conclusies en Aanbevelingen

2.1. Conclusies

Naar aanleiding van het onderzoek naar de robuustheid van het Dynamisch Beekdal is een nieuwe modelberekening uitgevoerd. Daarbij is in het bestaande model uitgebreid in bovenstroomse richting, zijn de nieuwste afvoergolven in het model gezet en zijn op een aantal plaatsen nieuwe (onlangs ingemeten) profielen ingevoerd. Op basis van de nieuwe berekeningen kan het volgende worden geconcludeerd:

1. De peilen van het projectplan komen overeen met de peilen uit de MER van 2009. Dit houdt in dat de peilen ná herinrichting vooral voor de T1 en T10 situatie hoger worden. Dit was al genoemd in de MER.
2. De afvoergolven van het NBW-model (gebruikt voor de NBW-toetsing 2013) wijken sterk af van de afvoergolven van het GDHM-model (GebiedsDekkendHoogwaterModel) uit 2008, die voor de MER en het projectplan zijn gebruikt. In het NBW-model zijn de T10 golven hoger dan in het GDHM-model en de T100 golven zijn lager. Voor een 'worst-case' situatie is gerekend met de hoogste waarde van beide modellen. Hierdoor worden de nieuwe berekende peilen bij T10 hoger dan de peilen waarin voor het projectplan is uitgegaan.
3. Goed uitvoeren van onderhoud / begrazing is belangrijk. Bij het ontwerp is er vanuit gegaan dat winterbed wordt begraasd en zodoende zowel in zomer als winter hoge afvoeren kan verwerken. Uit een berekende gevoeligheidsanalyse blijkt dat de peilen sterk stijgen als het onderhoud niet goed wordt uitgevoerd.
4. De doorwerking in bovenstroomse richting is vooral bij T1 en T10 aan de orde. Voor de Leijgraaf werken de nieuwe peilen door tot stuw 211D (2.750 m) en voor de Aa tot aan de Avensteinstraat (3.500 m). Bij T100 is er geen doorwerking omdat hierbij de peilen vóór en ná herinrichting ongeveer gelijk zijn.
5. De kades langs de Leijgraaf (tussen de grens van het projectplan) en stuw 211B zijn op een groot aantal plaatsen lager dan de berekende peilen voor de T100 + 15% situatie.
6. De landbouwgronden langs de Aa en de Leijgraaf hebben door de hogere waterstanden bij T1 en T10 last van vernatting. Voor de gronden langs de Leijgraaf tussen stuw 211A en 211B is het aansluiten van deze gronden op het bestaande gemaal Molenhoek of het bouwen van een nieuw gemaal een mogelijke oplossing. Voor de overige gronden is maatwerk nodig in de vorm van kleinschalige bemaling of financiële compensatie.
7. Het aanpassen van het beekdal tussen Seldensate en Molenhoek, het verbreden van het zomerbed op de 'bypass' bij Middelrode en het aanleggen van een faunatunnel bij de brug in de Brugstraat heeft slechts een gering effect op de verlaging van peilen. Voor een wezenlijke peilverlaging is een drastische aanpassing overeen grote lengte van het beekdal nodig.

2.2. Aanbevelingen

Op basis van de hiervoor genoemde conclusies wordt het onderstaande aanbevolen:

1. Het is gewenst om de berekeningen van de peilen met de beste afvoergegevens uit te voeren. In het gebruikte model is gerekend met gemiddelde dagafvoeren (NBW en GDHM). In 2018 wordt een nieuwe NBW-toetsing uitgevoerd waarin ook nieuwe afvoergegevens (uurafvoeren) worden gegenereerd. Deze afvoergolven worden dan als beste afvoergegevens beschouwd. Het Dynamisch Beekdal kan dan onderdeel worden van het NBW-model zodat het Dynamisch Beekdal niet meer afzonderlijk doorgerekend hoeft te worden.
2. De T1 en T10 peilen worden door de vorm van het beekprofiel hoger dan in de situatie van vóór de herinrichting. Voor de hogere peilen van de landbouwgronden langs de Aa en de Leijgraaf zal daarom een oplossing moeten worden gezocht in de vorm van financiële compensatie of het bemalen van gronden.

3. De kans is aanwezig dat de kades van de Leijgraaf tussen de grens van het projectplan (instroom meander in Leijgraaf) en stuw 211B te laag zijn bij de berekende T100+15% situatie. Daarom wordt voorgesteld hier bij de grondaankoop rekening mee te houden, maar de exacte verhoging te laten afhangen van de nieuwe rekenresultaten van de NBW 2018.
4. Het rekenmodel kan op dit moment (juli, augustus 2017) vrijwel niet worden getoetst aan de werkelijke situatie. Er is in juli en augustus 2018 meetapparatuur geplaatst (debiet en peilen), maar er zijn nog geen meetdata waarmee het nieuwe model getoetst kan worden. Het toetsen aan meetgegevens is een harde randvoorwaarde om de kwaliteit van het model te verbeteren.

3. Achtergrondinfo ontwerp Dynamisch Beekdal

3.1. MER Dynamisch Beekdal

De basis voor de projectplannen van de verschillende deelgebieden is de MER Dynamisch Beekdal van mei 2009. De MER was bedoeld om de effecten van de verschillende inrichtingsalternatieven voor de waterberging op de omgeving (bebouwing, landbouw en natuur), te onderbouwen. Daarom lag de nadruk op berekening van de extremen, waarbij waterberging nodig was om overlast op de omgeving (met name 's-Hertogenbosch) te voorkomen. De peilen in de MER zijn berekend op basis van de afvoeren van het GDHM (GebiedsDekkendHoogwaterModel) van 2008. De conclusies van de MER voor het gebied ten zuiden van Middelrode zijn:

- de peilen van Aa en Leijgraaf tussen kasteel Heeswijk en de meander Assendelft worden vooral bij een afvoer van T1 (1* per jaar) en T10 (1* per 10 jaar) hoger dan in de referentiesituatie (Aa vóór herinrichting). Bij een afvoer van T100 zijn de peilen voor en na de herinrichting ongeveer gelijk.
- De ongewenste effecten van de hogere peilen langs de Aa kunnen worden voorkomen door het verbinden van natuurlijke hoogtes in het landschap.
- Het inundatiegebied langs de Leijgraaf ten noorden van de Gouveneursweg verandert niet. Daar zijn geen extra maatregelen nodig.

3.2. Projectplannen Dynamisch Beekdal

Het Dynamisch Beekdal is uitgevoerd in verschillende fasen. Om de hydrologische samenhang tussen de verschillende fasen te waarborgen is steeds één rekenmodel gebruikt. Dit model werd aan de bovenstroomse zijde begrensd door de stuwen 201B in de Aa en 211A in de Leijgraaf en de Maas was de benedenstroomse grens. Voor het model is ook gerekend met de afvoeren van het GDHM 2008. De in de MER opgenomen waterstanden zijn randvoorwaarde geweest voor het ontwerp van de profielen. Bij de uitwerking van de projectplannen is niet gekeken naar eventuele effecten buiten het plangebied.

Het oorspronkelijke profiel van de Aa was ontworpen voor een minimaal ruimtebeslag (diep en smal). Met stuw Runkampen werd de Aa op peil gehouden om leeglopen van de Aa te voorkomen. De Dynamische Aa heeft geen stuwen en heeft een breed en ondiep profiel met een klein zomerbed. Het zomerbed zorgt ervoor dat de Aa ook bij lage afvoeren blijft stromen terwijl het brede winterbed voldoende capaciteit heeft voor hoge afvoeren. Door het ontbreken van stuwen fluctueert het peil sterker dan in de oude situatie.

In *Bijlage 1* is meer detail informatie over de afvoeren en peilen van de MER en de projectplannen.

4. Actualisatie rekenmodel

In het project Dynamisch Beekdal is een model afgeleid van het desbetreffende GDHM-model. Dit model is gebruikt voor het ontwerp van Dynamisch Beekdal. Ten gevolgen van nieuwe inzichten is dit model in dit project aangepast.

4.1. Nieuwe inzichten afvoergolven

Na het GDHM is ten behoeve van de NBW-toetsing (Nationaal Bestuursakkoord Water) een nieuwe modelberekening gemaakt voor het hele beheersgebied. Deze toetsing is uitgevoerd in de periode 2013-2014. In de periode 2014 tot 2015 zijn nog enkele optimalisaties uitgevoerd, zodat de laatste versie van de NBW-modellen dateren van 2015. Bij de vergelijking van de afvoeren van het GDHM-model en het NBW-model zijn voor de Aa de volgende verschillen geconstateerd:

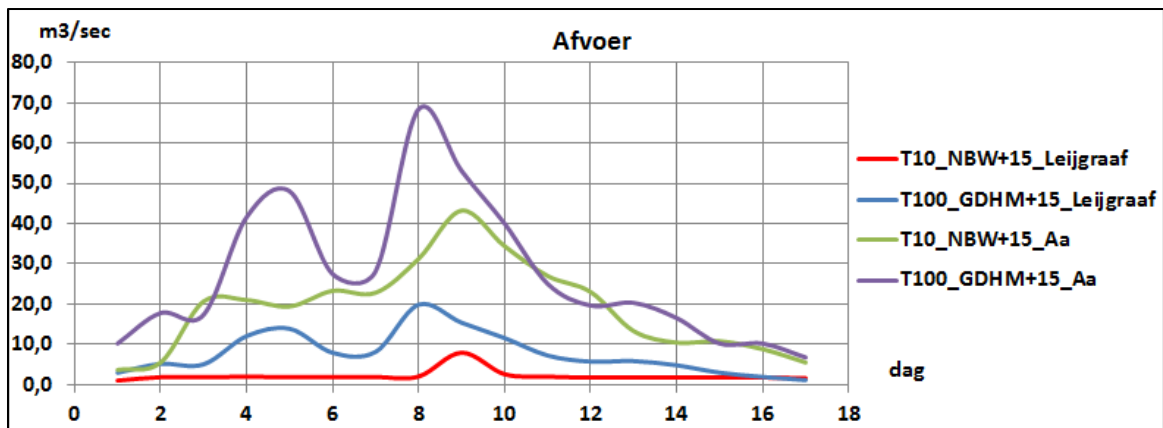
- De piekafvoer van de Aa in het NBW-model is bij T10 (afvoer 1* per 10 jaar) hoger dan de afvoer van het GDHM model. Voor de Leijgraaf is de NBW-afvoer juist lager.
- De piekafvoer van de Aa en de Leijgraaf zijn in het NBW-model bij T100 (afvoer 1* per 100 jaar) lager dan de afvoer van het GDHM model.
- Bij de NBW-afvoer ligt de T100 afvoer slechts een paar procent hoger dan de T10 afvoer. Dit is op opmerkelijk, omdat op basis van de vuistregels een verschil van ruim 40% zou worden verwacht. Een mogelijke oorzaak van de kleine verschillen is de inundatie bij T100 in het Aa-dal tussen de Goorloop en stuw 201B en de inzet van de berging Diesdonk.

In overleg met de projectgroep is besloten om voor de T10 situatie wel te rekenen met de hogere NBW-afvoeren, maar voor de T100 situatie de afvoeren uit het GDHM-model te handhaven. Er wordt dus 'worst-case' gerekend. In *Bijlage 2* wordt dieper in gegaan op het verschil in afvoergolven van het NBW-model en het GDHM-model.

Sinds 2015 is er nieuwe klimaatstatistiek beschikbaar. In zowel de GDHM-modellen als de NBW-modellen is er niet gerekend met deze nieuwe klimaatstatistiek. Omwille van de nieuwe neerslagstatistiek is ook gerekend met een NBW-afvoer +15% (*Bijlage 3*). Het effect van deze 15% extra is:

- Aa: 15 tot 20 cm hogere peilen ten gevolgen van nieuwe klimaatstatistiek (T10 en T100)
- Leijgraaf: 10 tot 15 cm hogere peilen ten gevolgen van nieuwe klimaatstatistiek (T10 en T100)

In *Figuur 2* zijn de in het model toegepaste afvoergolven weergegeven.



Figuur 2: Toepaste afvoergolven in model

4.2. Verlenging model in bovenstroomse richting

Omdat er aan de hand van bevinden in het veld vermoed werd dat het Dynamisch Beekdal ook doorwerking heeft in het gebied bovenstrooms van het projectgebied, dus bovenstrooms van stuw 201B en stuw 211A, is het model verlengd in bovenstroomse richting. De Aa is verlengd tot bovenstrooms van stuw 201C (verlenging ongeveer 6.350 m) en de Leijgraaf is verlengd tot bovenstrooms stuw 211D (verlenging ongeveer 3.280 m). Uit latere berekeningen blijkt dat deze verlenging lang genoeg is omdat binnen dit traject het effect van Dynamisch Beekdal verdwenen is.

5. Vergelijkingen waterstanden vóór en na beekherstel

Berekeningen

In dit rapport betreffende de genoemde waterpeilen berekeningen. Berekeningen bevatten een zekere mate van onzekerheid. Er is onlangs meetapparatuur geplaatst op diverse locaties in Dynamisch Beekdal. Op deze manier kunnen we in de toekomst met meer zekerheid spreken over peilen in het Dynamisch Beekdal.

5.1. Verschil peilen vóór en na beekherstel

Omdat de ligging en de lengte van de Aa binnen het projectgebied is veranderd, is het niet mogelijk om de waterstanden van vóór en na beekherstel binnen het project Dynamisch Beekdal met elkaar te vergelijken middels een lengteprofiel. Daarom is voor de locaties op onderstaand kaartje (*Figuur 3*) in *Tabel 2* weergegeven wat de diverse waterstanden zijn.



Figuur 3: Locaties (1 t/m 6, rood gedrukt) voor vergelijking waterstanden vóór en na beekherstel, waarden zie *Tabel 2*.

Locatie	T1+15%		T10+15%		T100+15%	
	Vóór beekherstel	Na beekherstel	Vóór beekherstel	Na beekherstel	Vóór beekherstel	Na beekherstel
1	4,23	4,66	4,72	4,89	5,58	5,44
2	4,80	5,25	5,28	5,52	6,13	6,02
3	5,26	5,63	5,66	5,91	6,62	6,53
4	5,30	5,65	5,69	5,92	6,65	6,55
5	5,54	5,76	5,79	5,98	6,76	6,69
6	5,76	5,98	6,27	6,32	6,73	6,67

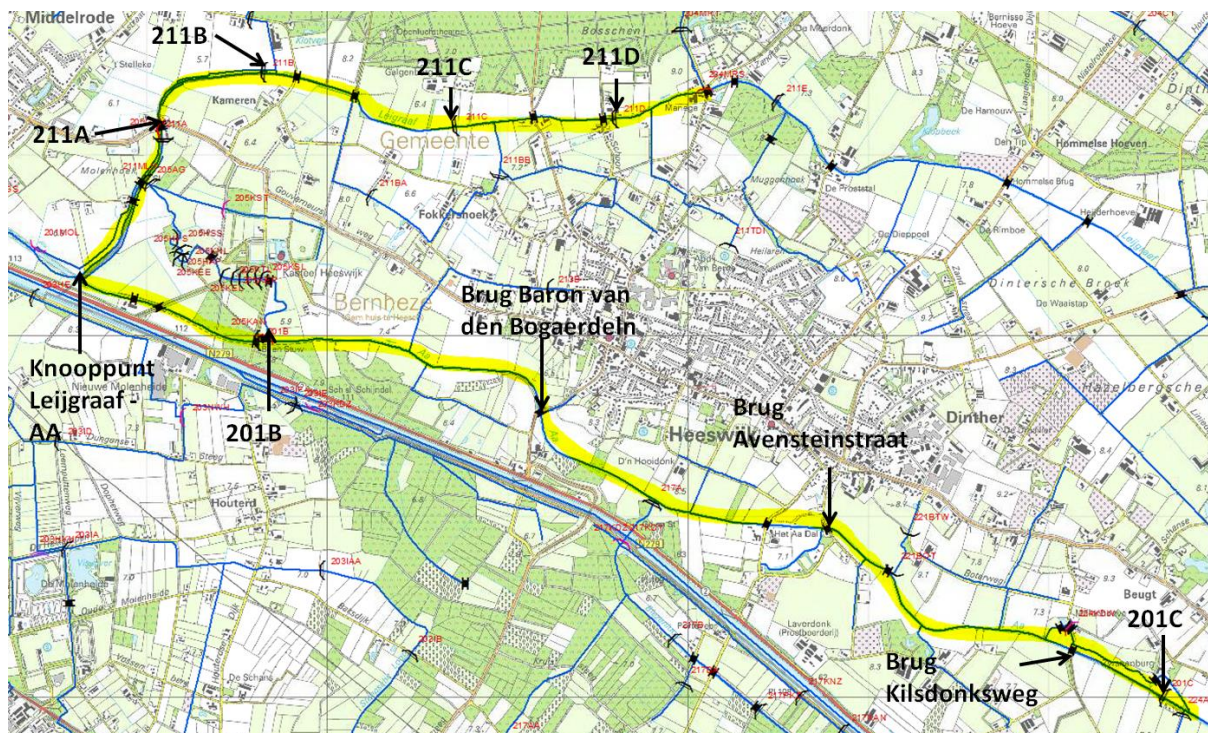
Tabel 2: Berekende peilen bij diverse herhalingstijden vóór en na beekherstel. Voor locaties zie *Figuur 3*. Hoogste peilen per herhalingstijd zijn vetgedrukt.

Uit Tabel 2 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Zowel de T1-peilen als de T10-peilen zijn hoger geworden ten gevolge van beekherstel. Voor de T1-peilen betreft dit ongeveer 40 cm en voor de T10-peilen ongeveer 30 cm. Dit betekent ook dat bepaalde hogere peilen nu vaker voorkomen dan dat vóór beekherstel het geval was.
- Het T100-peil is ongeveer 10 cm lager geworden ten gevolge van beekherstel.

Bovenstrooms van het projectgebied is de ligging van de beek niet veranderd en kunnen er lengteprofielen worden weergegeven van de peilen worden gegenereerd. Deze zijn weer gegeven in Bijlage 4. Uit deze lengteprofielen komt naar voren dat voor een T10 de doorwerking voor de Aa verwaarloosbaar (kleiner dan twee centimeter) is bovenstrooms van de brug in de Avensteinstraat (3.500 m vanaf instroom Leijgraaf) en voor de Leijgraaf bovenstrooms van stuw 211D (2.750 m vanaf de instroom van de Leijgraaf in de Aa) (Figuur 4).

Voor de T100 is er geen doorwerking en zijn de peilen vóór en ná herinrichting ongeveer gelijk aan de rand van het projectplan.



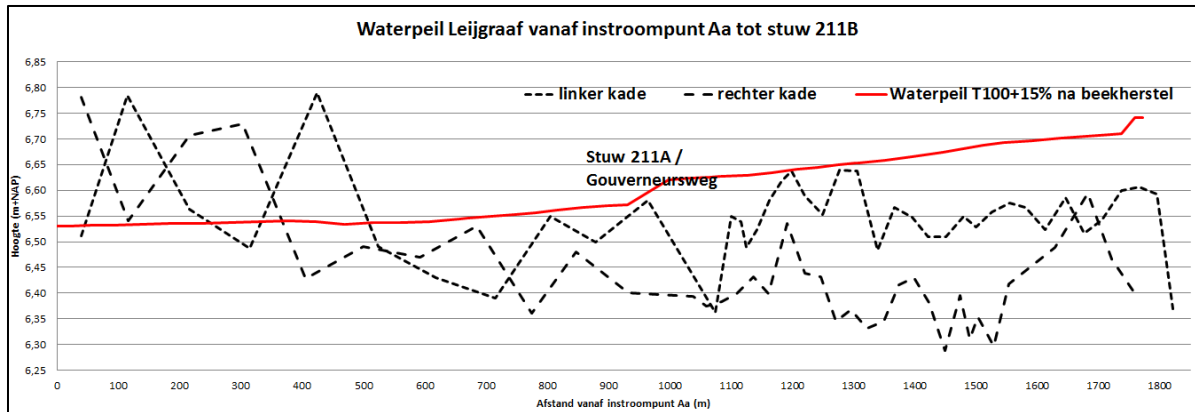
Figuur 4: Doorwerking peilen Dynamisch Beekdal tot de brug in de Avensteinstraat (3.500 m) (Aa) en stuw 211D (2.750 m) (Leijgraaf).

6. Robuustheid Dynamisch Beekdal

6.1. Kadehoogte Aa en Leijgraaf

Leijgraaf

Langs de Leijgraaf vanaf het instroompunt in de Aa t/m stuw 211B (zie *Figuur 4*) is aan beide zijde van de Leijgraaf een kade aanwezig. In *Figuur 5* is de berekende waterstand weergegeven in de T100+15%-situatie na beekherstel. De zwarte lijn geeft een indicatie van de kadehoogte. De figuur laat zien dat bij deze berekende waterstanden de kade over bijna het hele traject bovenstrooms van de projectplan grens te laag is.



Figuur 5: Berekend waterpeil Leijgraaf in relatie tot kadehoogte

Aa

Op het traject vanaf het instroompunt van de Leijgraaf tot stuw 201B ligt aan de linkerkzijde de N279. Deze weg ligt ruim voldoende hoog om inundatie te voorkomen. Aan de rechterzijde ligt de kade, die inundatie van het landgoed moest voorkomen. Door aansluiting van de meander op de Aa en de Leijgraaf, inundeert het gebied via deze aansluitingen. De kade heeft dus geen functie meer. Bovenstrooms van stuw 201B liggen geen kades meer.

6.2. Landbouwgebieden Aa en Leijgraaf

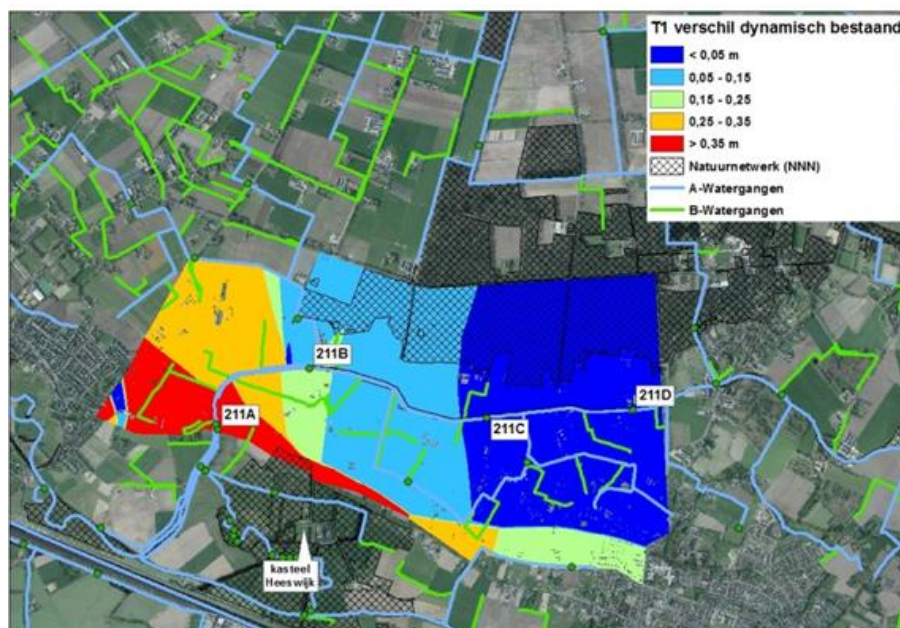
Leijgraaf

Het landbouwgebied aan weerszijden van de Leijgraaf ten noorden van de Gouverneursweg watert vrij af op de Leijgraaf. In het gebied tussen stuw 211A en 211B zijn bij de aansluiting van de kavelsloten terugslagkleppen geplaatst om te voorkomen dat de gronden inunderen vanuit de Leijgraaf. Een klein deel watert af via een duiker onder de Gouverneursweg op het landgoed van kasteel Heeswijk. De afwatering is weergegeven in *Figuur 6*.

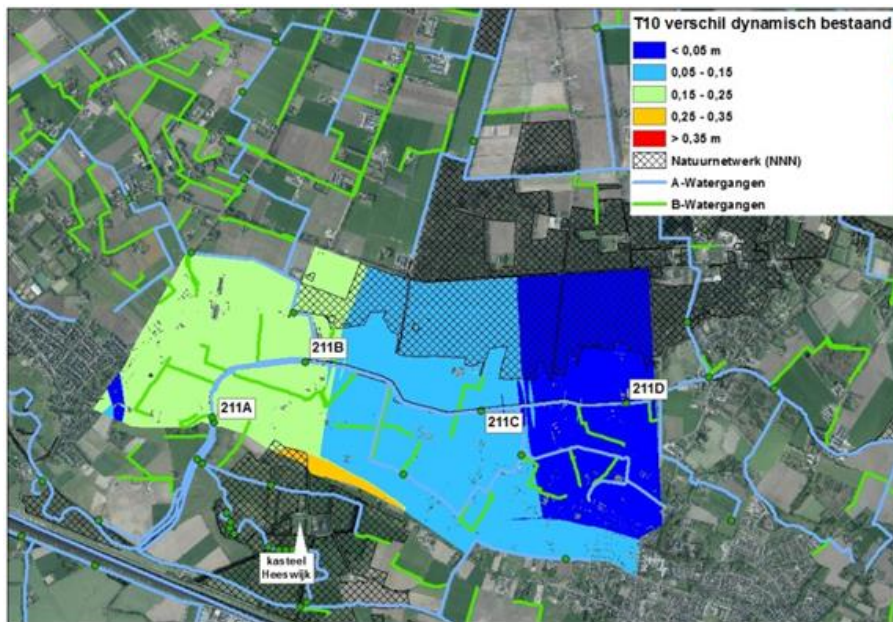


Figuur 6: Afwatering landbouwgebied tussen stuw 211A en stuw 211B

Voor de T50% afvoer (afvoer die ca 15 dagen per jaar voorkomt) wordt het peil zowel vóór als ná de herinrichting bepaald door stuw 211A. Er is daarom geen verandering van het peil. Voor de T1 afvoer (situatie, die 1x per jaar voorkomt) en de T10 afvoer (situatie, die 10x per jaar voorkomt) is het peil ná herinrichting hoger. Dit is het weergegeven in de *Figuren 7* en *8*. Voor de T100 situatie zijn de peilen vóór en ná herinrichting gelijk. In *Bijlage 5* zijn de droogleggings- en inundatiekaartjes voor de T1- en T10-situatie weergegeven.



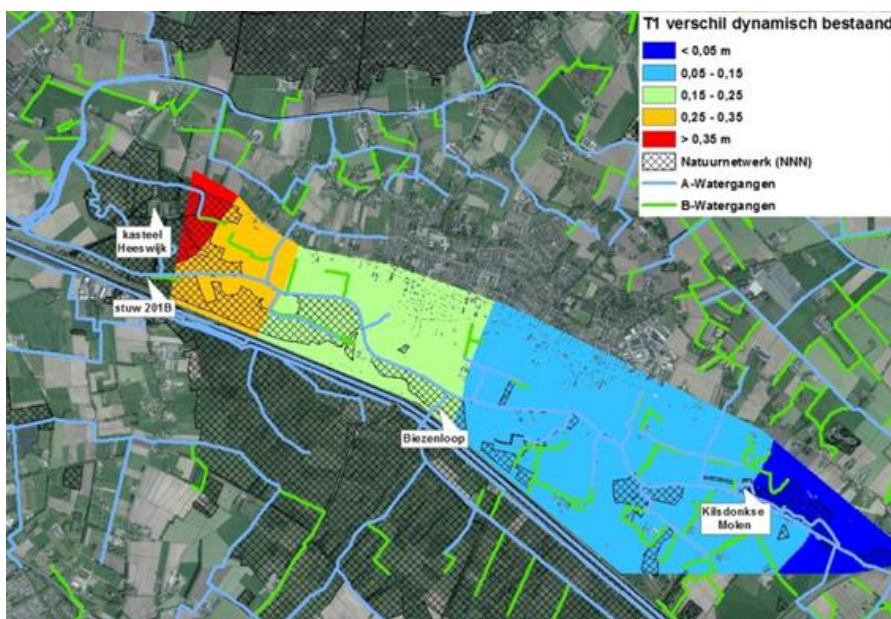
Figuur 7: Toename vernatting ten gevolge van beekherstel bij T1, Leijgraaf



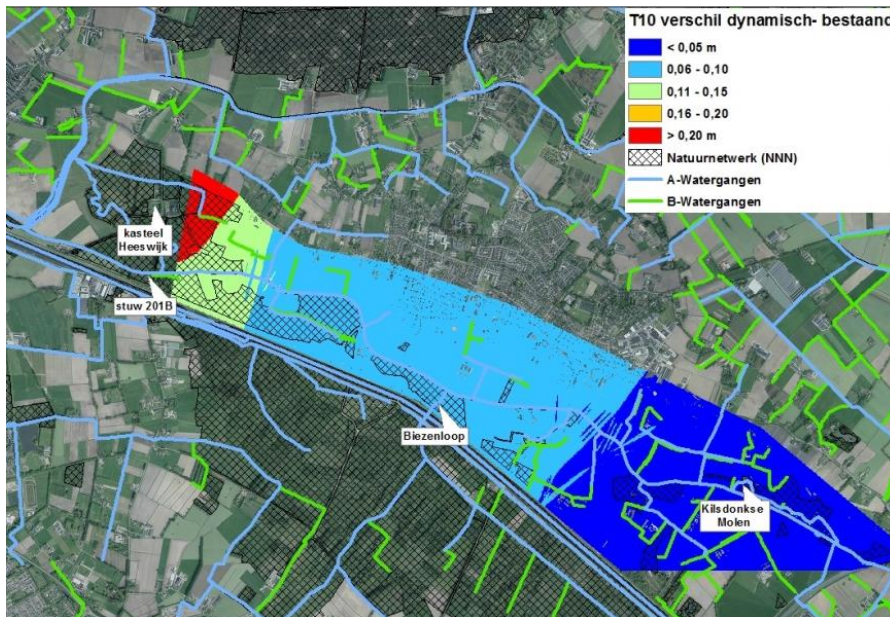
Figuur 8: Toename vernatting ten gevolge van beekherstel bij T10, Leijgraaf

Aa

Het landbouwgebied aan weerszijden van de Aa bovenstrooms stuw 201B watert vrij af op de Aa. Voor de T50% afvoer (afvoer die ca 15 dagen per jaar voorkomt) wordt het peil zowel vóór als ná de herinrichting bepaald door stuw 201B. Er is daarom geen verandering van het peil. Voor de T1 afvoer (situatie, die 1x per jaar voorkomt) en de T10 afvoer (situatie, die 10x per jaar voorkomt) is het peil ná herinrichting hoger. Dit is het weergegeven in de *Figuren 9* en *10*. Voor de T100 situatie zijn de peilen vóór en ná herinrichting gelijk. In *Bijlage 5* zijn de droogleggings- en inundatiekaartjes voor de T1- en T10-situatie weergegeven.



Figuur 9: Toename vernatting ten gevolge van beekherstel bij T1, Aa



Figuur 10: Toename vernatting ten gevolge van beekherstel bij T10, Aa

6.3. Gevoeligheidsanalyse beheer en onderhoud

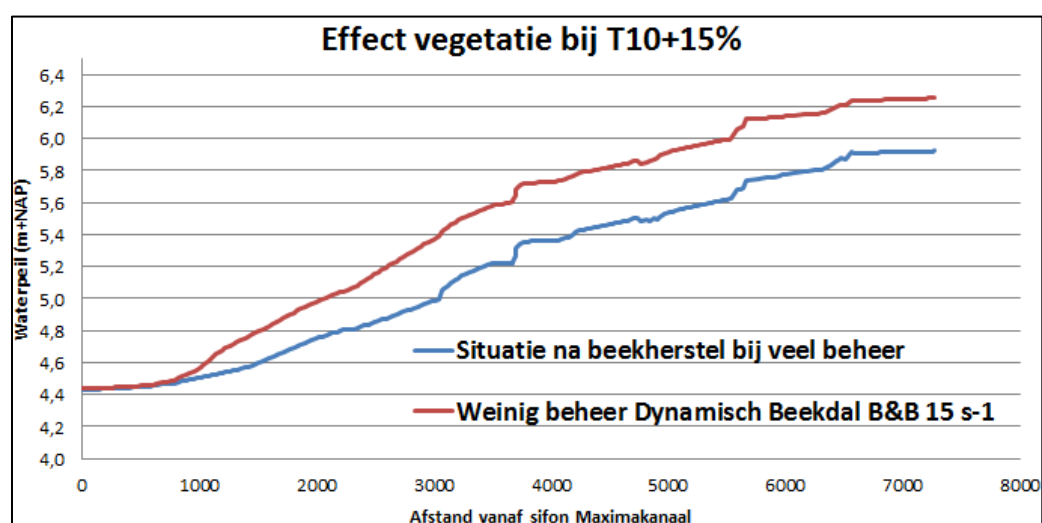
In het model voor het projectplan is voor het zomerbakje gerekend met een weerstand van Bos en Bijkerk 20 s^{-1} (matige begroeiing) en het winterbed met een weerstand van Bos en Bijkerk 25 s^{-1} (nauwelijks begroeiing). Voor trajecten waar het profiel van de Aa niet is aangepast en voor de Leijgraaf is een weerstand van 25 s^{-1} ingevoerd. Er geldt des te hoger het getal is, des te kleiner de weerstand is. Deze ingevoerde situatie komt zowel overeen met een wintersituatie waarbij er van nature weinig vegetatie aanwezig is als met een zomersituatie waarbij goed wordt beheerd door begrazing en regelmatig maaien van het zomerbakje. Tijdens het ontwerp van Dynamisch beekdal is dit ook telkens het uitgangspunt geweest. In het model van vóór beekherstel is overal een weerstand van 25 s^{-1} (nauwelijks begroeiing) ingevoerd.

Om een idee te krijgen van het effect op de waterstand wanneer het Dynamisch Beekdal weinig of niet wordt gemaaid, is er ook een situatie doorgerekend met Bos en Bijkerk 15 s^{-1} (winterbed en zomerbakje flink begroeid). In *Figuur 11* is geel gemarkeerd voor welk traject deze weerstand is toegepast (=projectgebied Dynamisch Beekdal). Voor de trajecten in het model bovenstrooms hiervan is weerstand van Bos en Bijkerk 25 s^{-1} toegekend.



Figuur 11: Voor het geel gemarkeerde traject is een weerstand van Bos en Bijkerk 15 s^{-1} toegepast (weinig maaien).

In *Figuur 12* komt naar voren dat de waterstand ten gevolge van weinig onderhoud met bijna 40 cm kan stijgen ten opzichte van een goed onderhouden beek. Het is daarom van belang om de beek goed te onderhouden.



Figuur 12: Berekend waterpeil bij veel of weinig beheer.

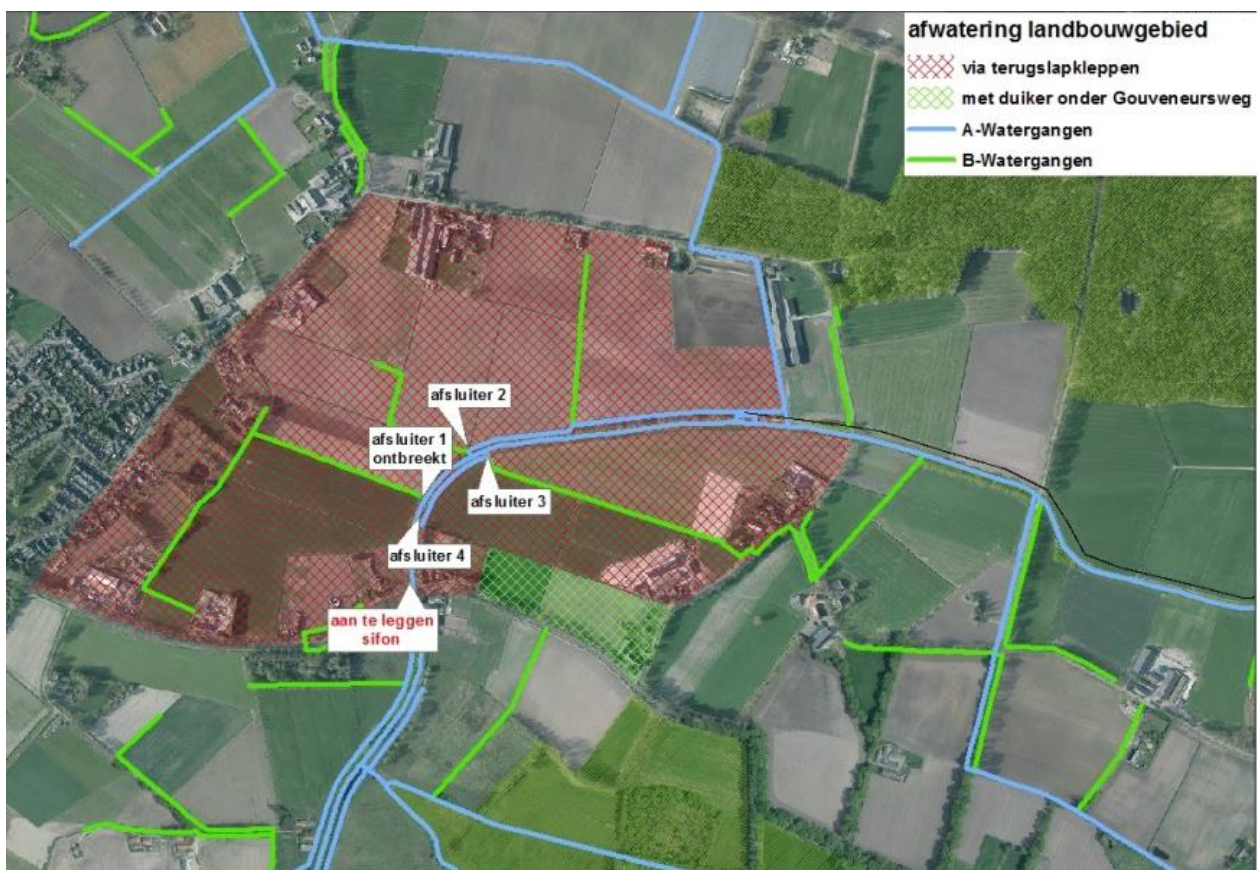
7. Mogelijke oplossingen

7.1. Kadeverhoging Leijgraaf

De kadehoogte langs de Leijgraaf is gebaseerd op de T100-waterstand. Deze T100-waterstand na herinrichting is ongeveer gelijk gebleven aan het peil vóór herinrichting. Uit *Paragraaf 6.1.* blijkt dat het berekende waterpeil buiten het projectplangebied op veel plaatsen boven de kade langs de Leijgraaf uitkomt. Verhoging van de kade is dus nodig om overstroming te voorkomen. De verhoging is afhankelijk van de afvoergolf en het bijbehorende berekende waterpeil waar vanuit wordt gegaan en de overhoogte die nodig is.

7.2. Landbouwgebied

De landbouwgronden aan weerszijden van de Leijgraaf tussen stuw 201A en 201B hebben nu vaker met wateroverlast te maken dan vóór het beekherstel. Een mogelijk oplossing voor dit gebied is het aanbrengen van een bemaling. Mogelijk kan het gebied worden aangesloten op het bestaande gemaal bij van Kessel. Nader onderzoek moet uitwijzen of de capaciteit voldoende is. Hiervoor is het wel nodig een sifon onder de Leijgraaf aan te brengen (zie *Figuur 13*).



Figuur 13: Locatie mogelijk sifon onder Leijgraaf

De andere gebieden, waar het peil in de nieuwe situatie hoger wordt dan voorheen, moet met maatwerk worden gekeken welke oplossing mogelijk is. Te denken valt aan kleinschalige bemaling, financiële compensatie o.i.d..

7.3. Verlagen waterpeil in Leijgraaf en Aa

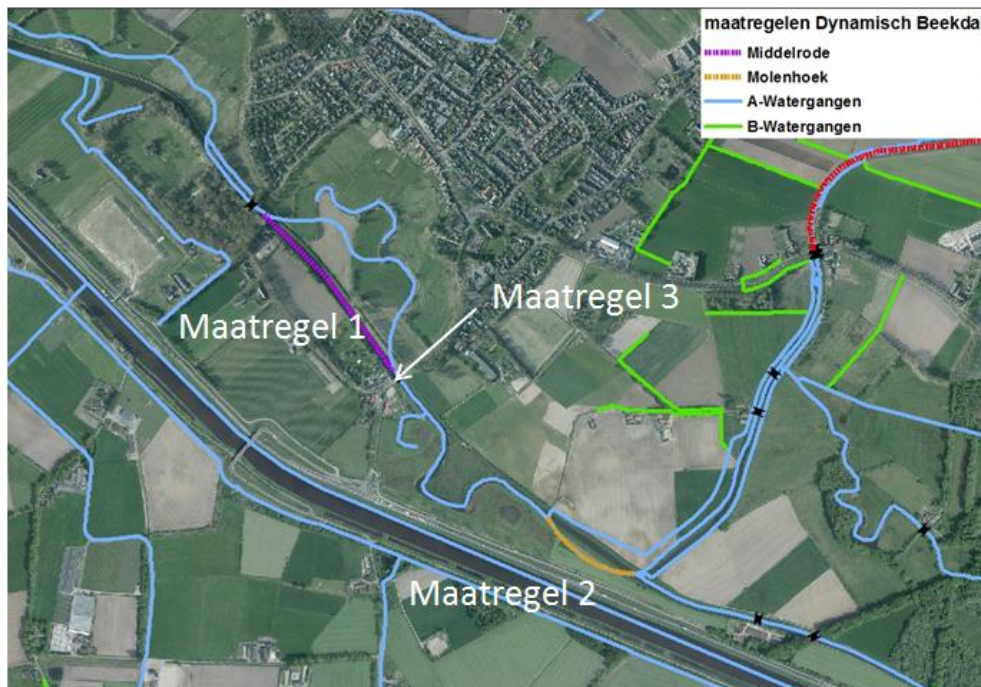
Er is onderzocht welke mogelijkheden er zijn om het peil in de Aa en Leijgraaf te verlagen. Om dit peil te verlagen zijn er drie maatregelen doorgerekend:

- Maatregel 1) Het verbreden van de “bypass” bij Middelrode met 10 m.
- Maatregel 2) Het verbreden en verdiepen van de profielen bij Molenhoek vanaf de aansluiting van de Leijgraaf tot Assendelft.
- Maatregel 3) Faunapassage aan de zijkant van brug Brugstraat / Kapelstraat: Het doorstroomprofiel onder deze brug is 2 meter breder gemaakt. Zie *Figuur 14*.



Figuur 14: Maatregel 3, het doorstroomprofiel onder de brug bij de Brugstraat groter maken

In *Figuur 15* zijn de locaties van de maatregelen weergegeven.



Figuur 15: Locaties mogelijke maatregelen

Maatregel 1 en 2 is onderzocht voor de T10+15%. Maatregel 3 is onderzocht voor een T100+15% omdat bij die afvoer de hoogste opstuwing optreedt. Uit *Tabel 3* komt naar voren dat de maatregelen een minimaal effect hebben. Maatregel 1, het verbreden van de by-pass bij Middelrode, zorgt slechts maximaal voor twee cm waterstandsdeling. Maatregel 2, het verbreden en verdiepen van de profielen bij Molenhoek, zorgt maximaal voor zes cm waterstandsverlaging en maatregel 3, het vergroten van het doorstroomprofiel onder de brug bij de Brugstraat, zorgt maximaal voor drie centimeter waterstandsverlaging.

Er is ook onderzocht wat het effect is wanneer alle drie de maatregelen worden uitgevoerd. De waterstandsverlaging kan dan oplopen tot ongeveer 8 cm bij een T10+15% (*Tabel 4*).

Wanneer het gewenst is dat er meer effect wordt behaald in zal er over een langere afstand het profiel moeten worden vergroot. Dit is niet onderzocht.

locatie	T10+15%			T10+15%			T100+15%		
	Na beek-herstel	Maat-regel 1	Verschil (cm)	Na beek-herstel	Maat-regel 2	Verschil (cm)	Na beek-herstel	Maat-regel 3	Verschil (cm)
1	4,89	4,89	0	4,89	4,89	0	5,44	5,44	0
2	5,52	5,52	0	5,52	5,50	2	6,02	6,02	0
3	5,91	5,90	1	5,91	5,85	6	6,53	6,52	2
4	5,92	5,91	1	5,92	5,86	6	6,55	6,53	3
5	5,98	5,97	1	5,98	5,92	6	6,69	6,68	1
6	6,32	6,32	0	6,32	6,30	2	6,67	6,66	1

Tabel 3: Peilverlaging ten gevolgen van diverse maatregelen, voor locaties zie *Figuur 3*.

locatie	T10+15%			T100+15%		
	Na beek-herstel	Maat-regel 1, 2, 3	Verschil (cm)	Na beek-herstel	Maat-regel 1,2,3	Verschil (cm)
1	4,89	4,89	0	5,44	5,44	0
2	5,52	5,49	3	6,02	6,02	0
3	5,91	5,83	8	6,53	6,49	4
4	5,92	5,85	7	6,55	6,51	4
5	5,98	5,93	5	6,69	6,68	1
6	6,32	6,30	2	6,67	6,65	2

Tabel 4: Peilverlaging bij T10+15% en T100+15% wanneer alle drie de maatregelen worden uitgevoerd, zie *Figuur 3*.

Bijlage 1: Afvoeren en peilen in MER en projectplannen

Voor het Dynamisch Beekdal is een Milieu Effect Rapportage gemaakt van het traject vanaf de sifon in het Maximakanaal tot de Gouveneursweg (Leijgraaf) en stuw 201B (Aa). Het traject met een aantal meetpunten (berekende peilen) is weergegeven in *Figuur 1*.

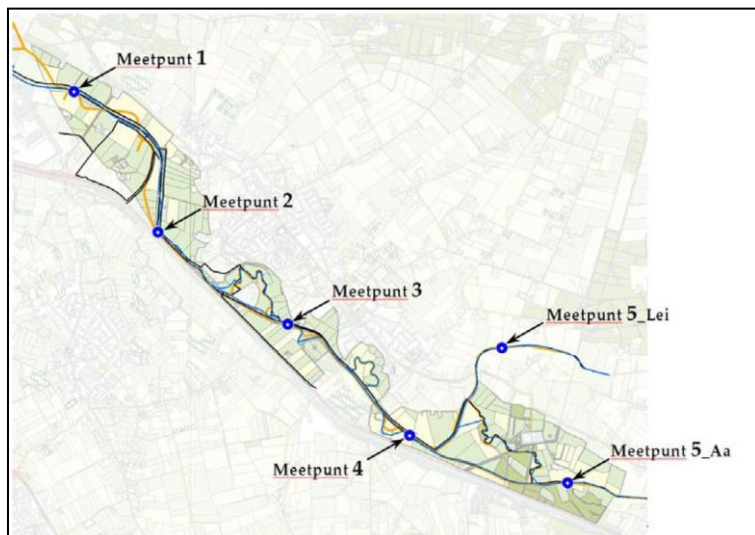


Fig. 1: traject waarover MER is uitgevoerd

De peilen in de MER zijn berekend met de gemiddelde dagafvoeren van het GDHM (GebiedsDekkend HoogwaterModel) van 2008. Het model rekende 2-dimensionaal, dus werd ook rekening gehouden met inundaties. Voor de MER is gerekend met een uitsnede van het GDHM om de rekentijd te beperken. Gerekend is met de 0-situatie en 2 inrichtingsvarianten: Het GA (Gestuurde Alternatief) en het VSA (Vrij Stromend Alternatief). De termen gestuurd en vrij-stromend hadden betrekking op de manier van waterbergen. Bij het GA is uitgegaan van bergingslocaties, die worden ingezet op het moment dat wateroverlast in het stedelijk gebied van 's-Hertogenbosch dreigt. Voor het Dynamisch Beekdal is gekozen voor het Gestuurde Alternatief. De berekende peilen voor de verschillende varianten zijn weergegeven in tabel 2.

	MER m+ NAP			Projectplan m+ NAP		
Frequentie	Meetp. 4	Leij_5	Aa_5	Meetp. 4	Lei_5	Aa_5
T1	5,80	5,90	6,0	5,40	5,67	5,85
T10	6,0	6,20	6,15	5,60	5,88	6,20
T100	6,25	6,40	6,50	6,27	6,48*	6,55*

Tabel 2: Vergelijking peilen in MER en projectplan

*) De peilen voor T100 zijn in de MER iets lager, omdat bij de MER is gerekend met inzet van bergingsgebieden waaronder Molenhoek.

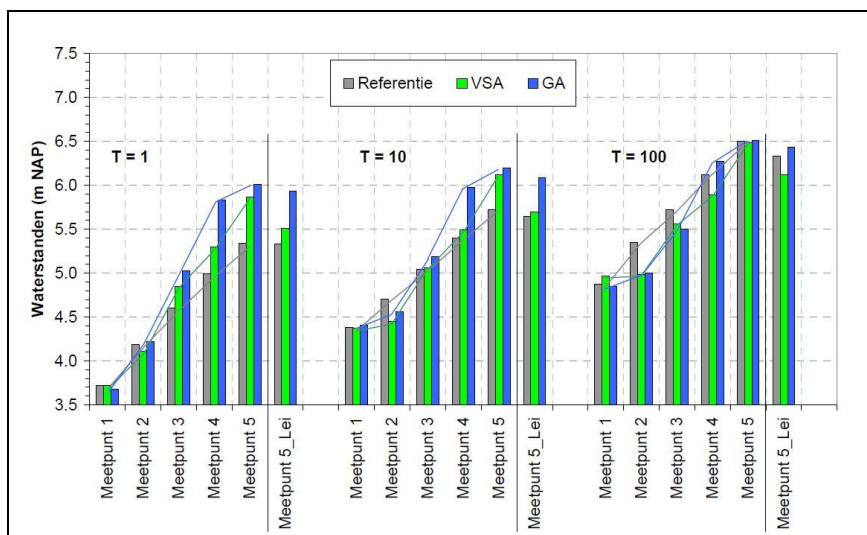
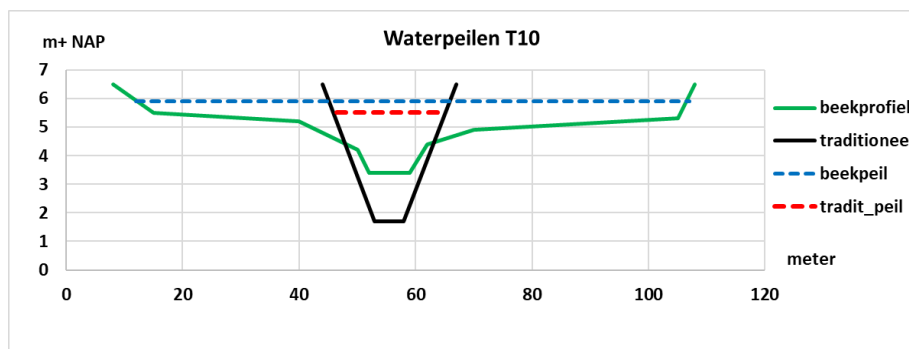
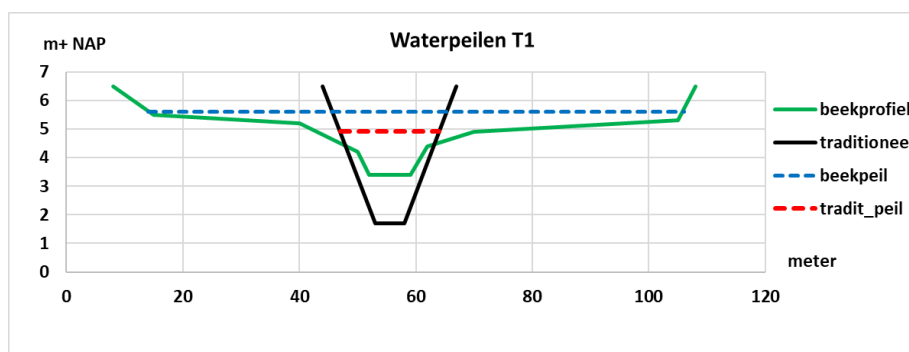
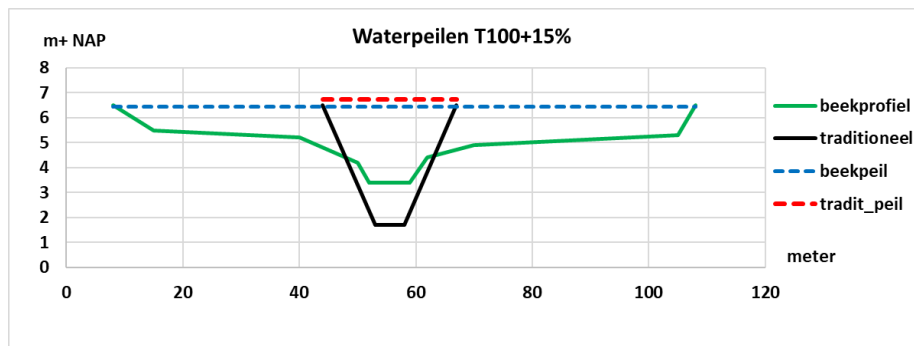
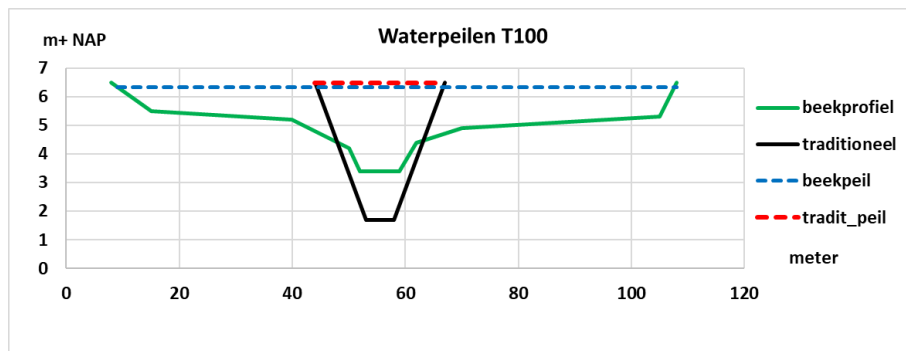


Fig. 2: berekende peilen voor de MER

Het effect van de peilen bij beekherstel is onderstaand weergegeven voor een voorbeeldlocatie. De peilen zijn weergegeven voor verschillende afvoeren bij een traditioneel profiel (vóór herinrichting) en het beekprofiel (ná herinrichting).





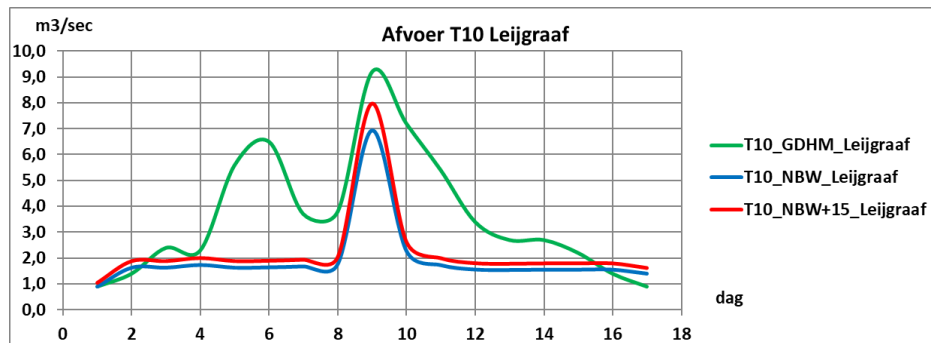
Bijlage 2: Nieuwe neerslagstatistiek

Er is sinds kort (2015) nieuwe neerslagstatistiek beschikbaar. Bij deze nieuwe buien is de hoeveelheid neerslag bij extreme neerslaggebeurtenissen in het huidige klimaat gemiddeld 10 procent hoger (als je kijkt naar het volledige jaar) en 15 procent hoger (als je kijkt naar het winterhalfjaar) dan in de eerdere statistieken. Het is nog niet bekend tot hoeveel procent extra afvoer deze nieuwe neerslagstatistiek leidt en er zijn nog geen nieuwe afvoergolven beschikbaar.

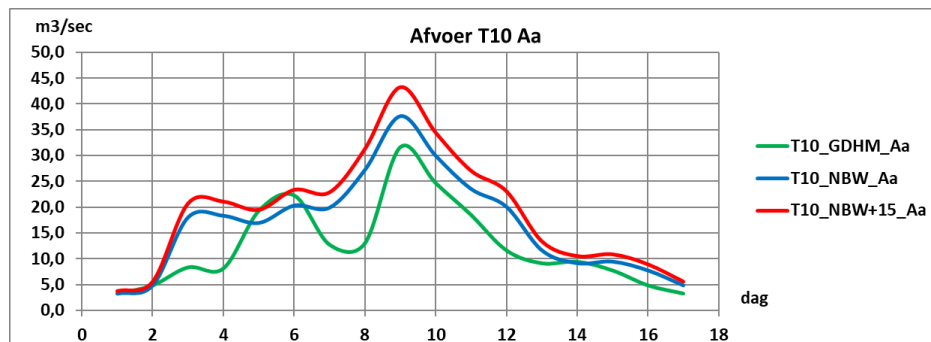
In deze studie zijn de afvoeren in de modelberekening met 15% verhoogd. Er wordt geschat dat dit eerder een overschatting dan een onderschatting betreft.

Bijlage 3: Verschil in afvoergolven van het NBW-model en het GDHM-model

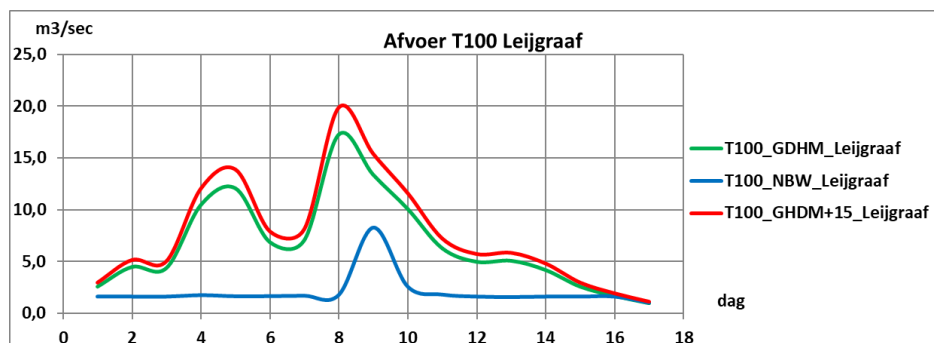
Het GDHM-model van 2008 is niet meer met de gegevens van 2008 beschikbaar. Vergelijking van de verschillen tussen de beide modellen is daarom niet mogelijk. Voor wat betreft de T1-afvoergolf is er geen NBW-golf beschikbaar. Voor de T1-afvoergolf is daarom de oorspronkelijke golf uit het GDHM-model gebruikt.



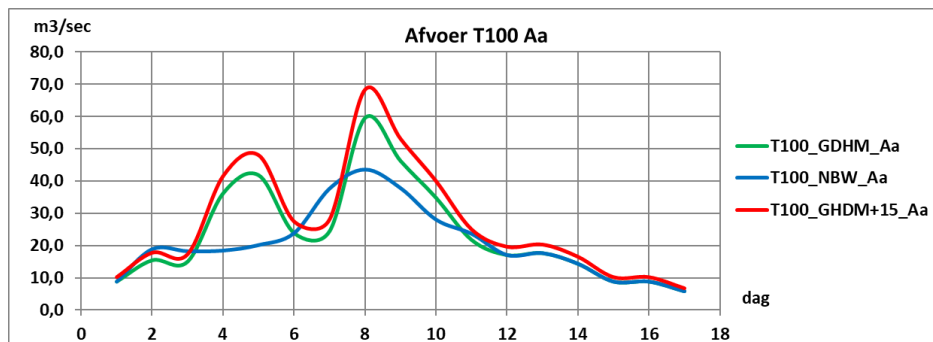
Figuur 2: Afvoer T10 Leijgraaf



Figuur 3: Afvoer T10 Aa



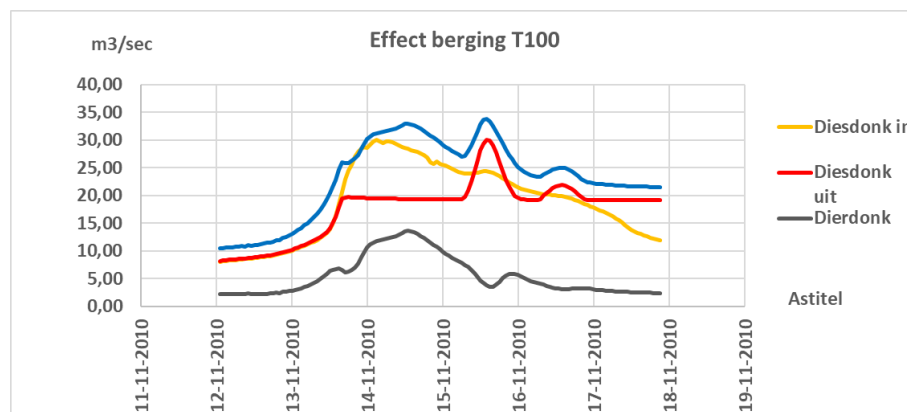
Figuur 4: Afvoer T00 Leijgraaf



Figuur 5: Afvoer T100 Aa

De afvoergolven van het NBW-model zijn niet goed te vergelijken met de afvoergolven van het GDHM-model. Belangrijke verschillen zijn:

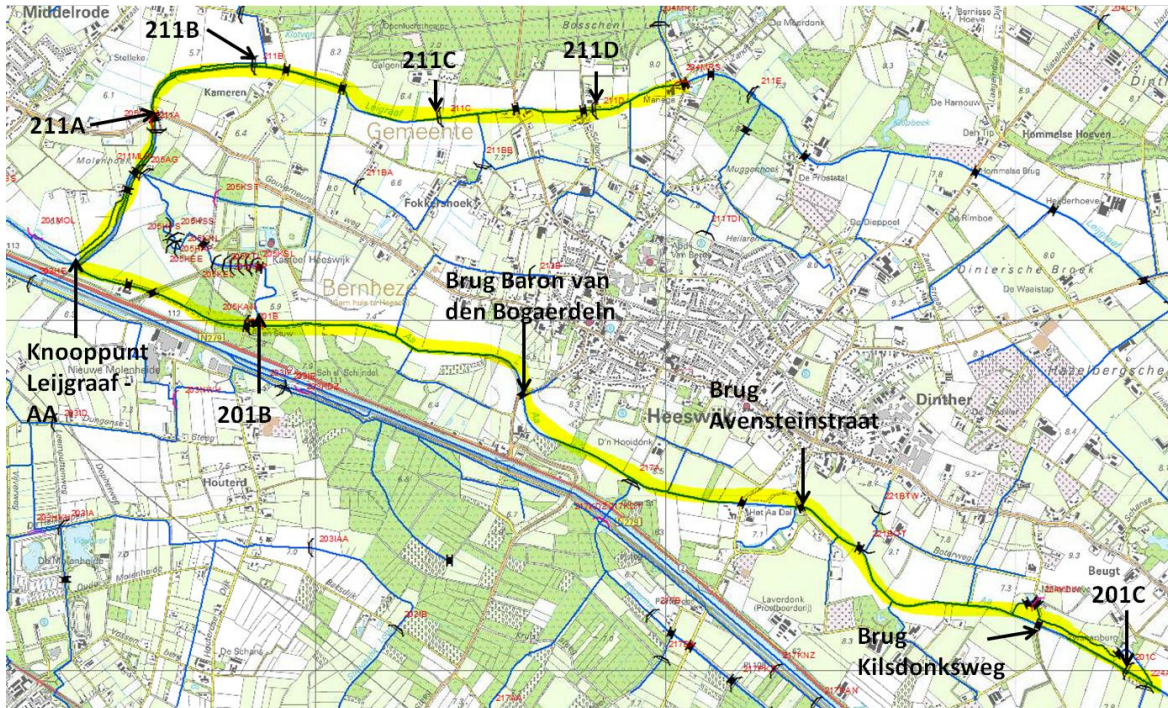
- De uitvoer van het GDHM model was een gemiddelde dagwaarde (24 uur). De uitvoer van het NBW-model was een uurwaarde. Voor een vergelijking met de GDHM-waarde is de uurwaarde uit het NBW-model omgezet in een gemiddelde dagwaarde. De keuze van de periode is vooral van belang bij korte afvoerpieken. Bij de omzetting zijn de periodes zodanig gekozen, dat de afvoerpiek binnen één dag valt.
- Bij de NBW-modellen is voor de afvoer T10 en T100 gerekend met inzet van de berging Diesdonk. In het model wordt maximaal 19,5 m³/sec doorgelaten totdat de berging vol is. De berging zorgt ervoor dat er een langere afvoergolf met een lagere piek ontstaat. Dit wordt nog versterkt doordat de afvoerpiek vanaf Dierdonk samenvalt met de geknepen afvoer vanaf Diesdonk (zie figuur).



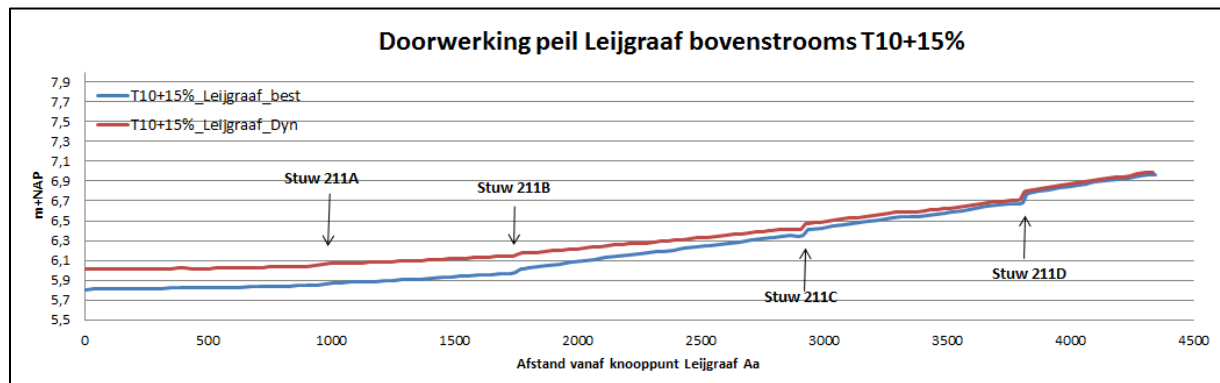
- In het NBW-model wordt bij Schabbert 18 m³/sec afgevoerd via de Zuid-Willemsvaart. Door de verlengde golf van de Aa is ook de periode dat water wordt afgelaten op de Zuid-Willemsvaart langer. Het is niet bekend hoeveel water via de Zuid-Willemsvaart is afgevoerd in het GDHM-model.
- Van de voormalige stuw Runkampen zijn 40 jaar aan debietdata beschikbaar. Hieruit zou een T10 en T100 waarde uit kunnen worden afgeleid. Met de veranderingen bovenstrooms (aanleg bergingsgebieden, andere afvoer via Zuid-Willemsvaart) zijn deze gegevens niet bruikbaar om voor de nieuwe situatie T10 en T100 afvoeren te bepalen.

Bijlage 4: Effect Dynamisch Beekdal bovenstrooms van projectgebied

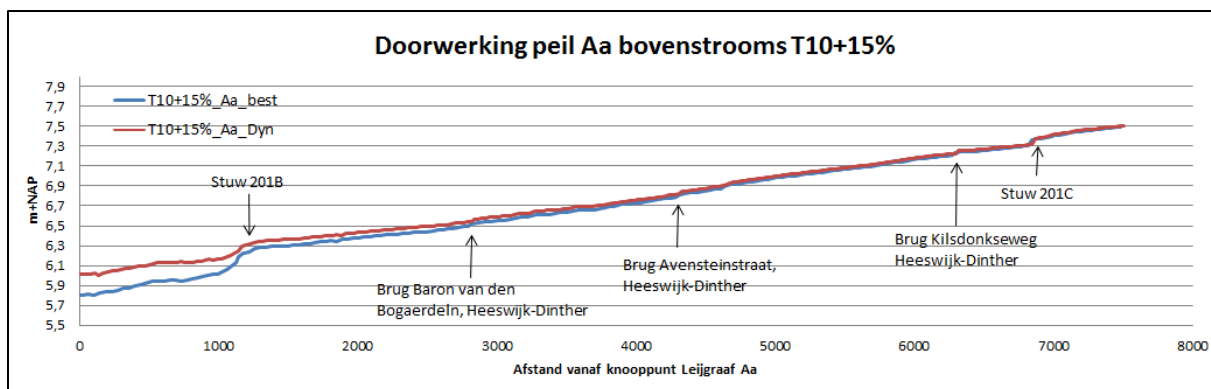
In onderstaande figuren zijn de waterstanden weergegeven van vóór beekherstel (best) en na beekherstel (Dyn).



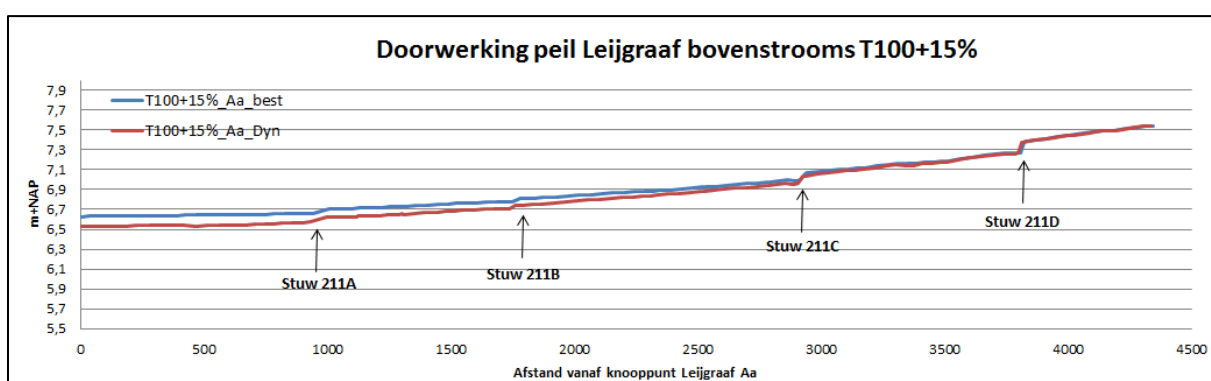
Figuur 10: Locaties behorende bij de Figuren 2 t/m 5.



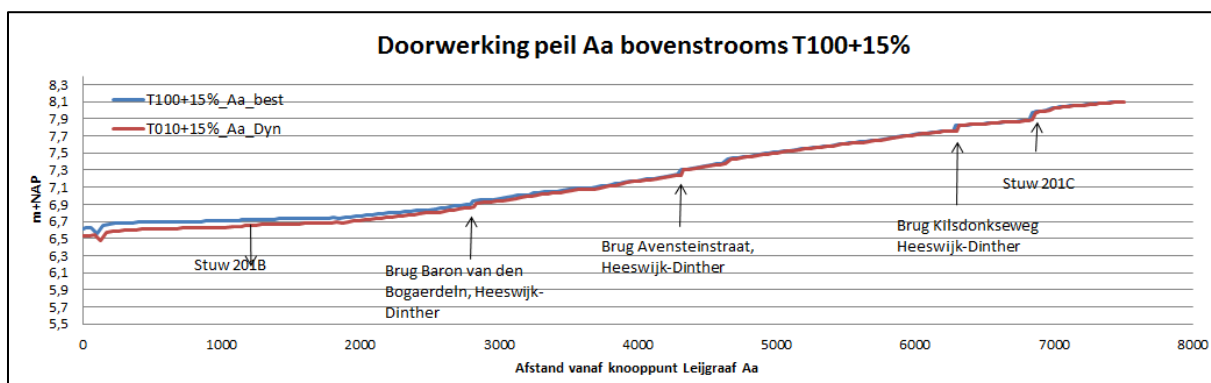
Figuur 2: Effect Dynamisch Beekdal bij T10+15% in de Leijgraaf tot ongeveer stuw 211D



Figuur 3: Effect Dynamisch Beekdal bij T10+15% in de Aa tot ongeveer brug Avensteinstraat te Heeswijk-Dinther.

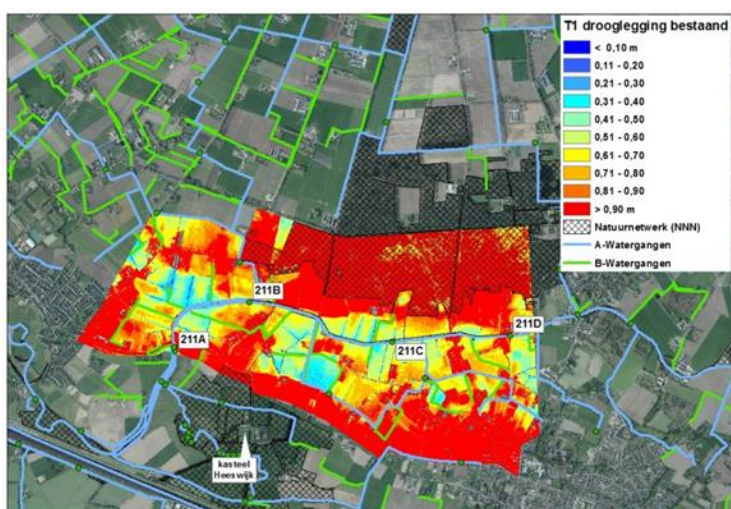


Figuur 4: T100 na beekherstel geeft een lager peil dan T100 voor beekherstel bovenstrooms van het projectgebied in de Leijgraaf.

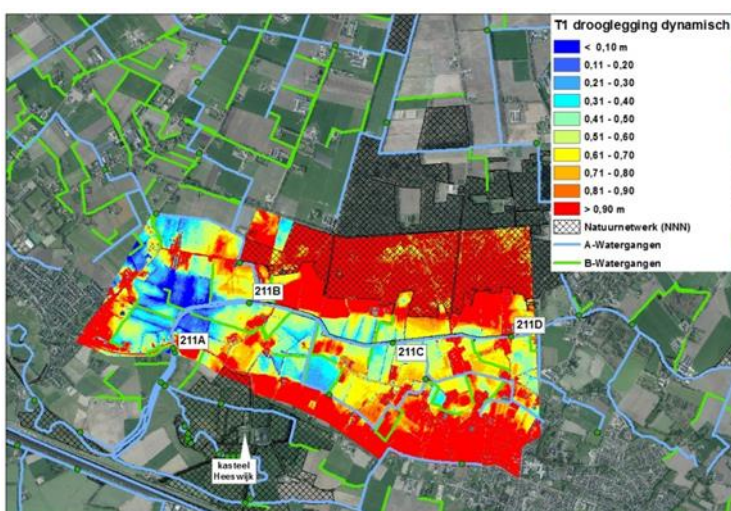


Figuur 5: T100 na beekherstel geeft een lager peil dan T100 voor beekherstel bovenstrooms van het projectgebied in de Aa.

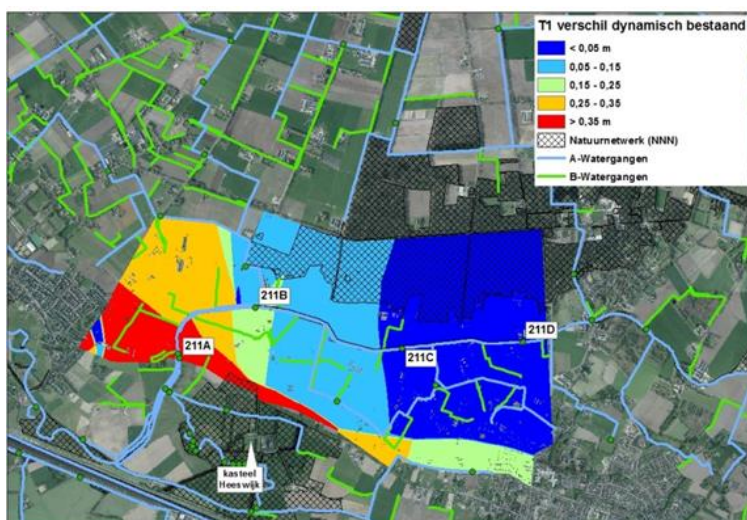
Bijlage 5: Drooglegging- en inundatiekaartjes



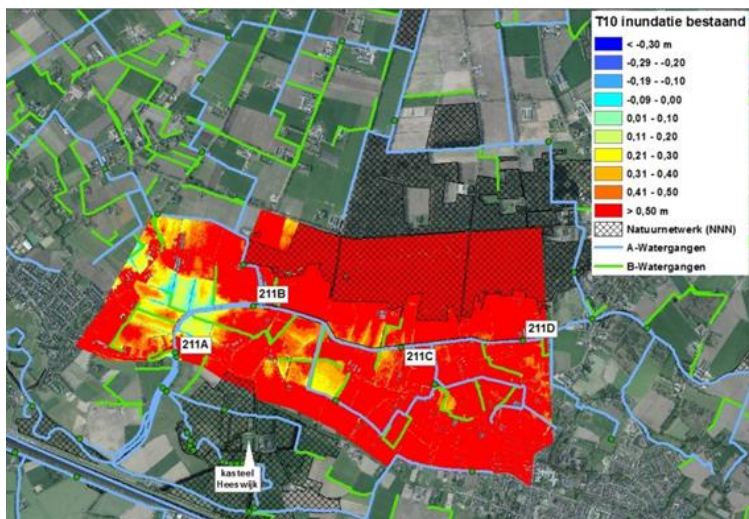
Figuur 1: T1 drooglegging vóór beekherstel (bestand), Leijgraaf



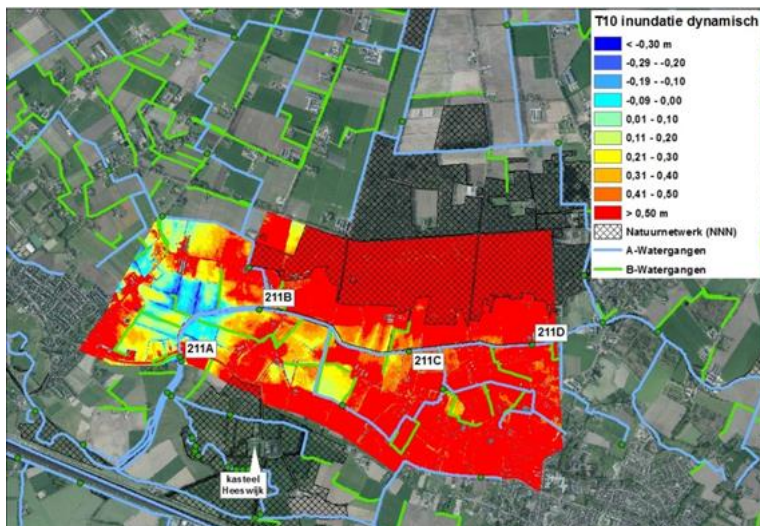
Figuur 2: T1 drooglegging ná beekherstel (dynamisch), Leijgraaf



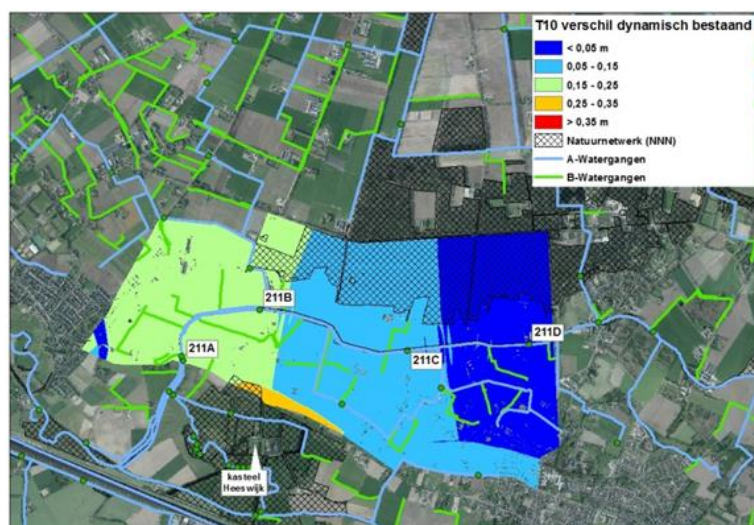
Figuur 3: Toename vernatting ten gevolge van beekherstel bij T1, Leijgraaf



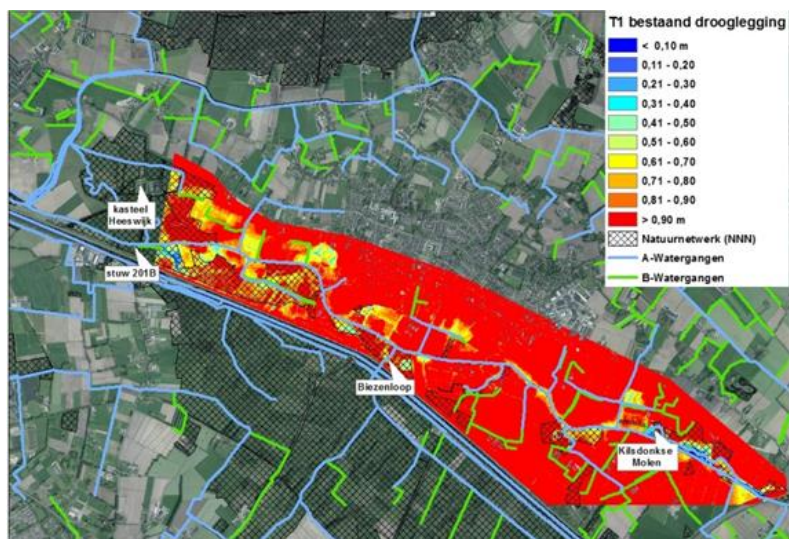
Figuur 4: T10 inundatie en drooglegging vóór beekherstel (bestaand), Leijgraaf (legenda: blauw is inundatie en overige kleuren is drooglegging)



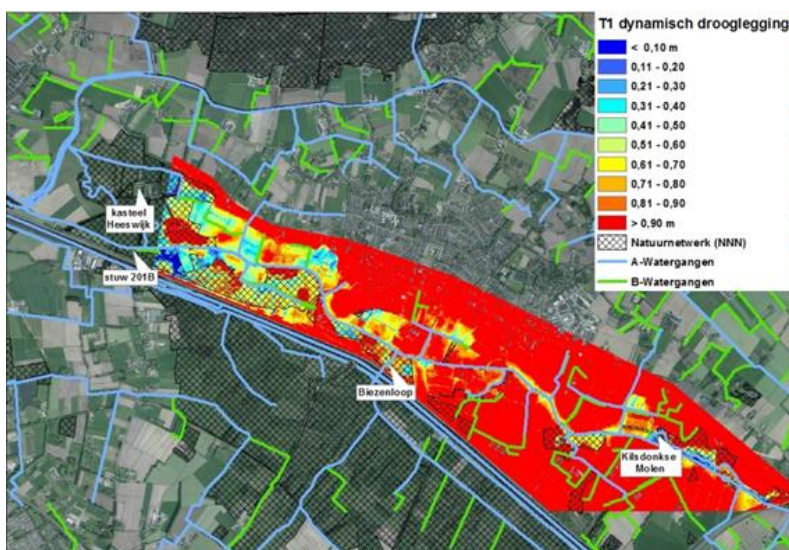
Figuur 5: T10 inundatie en drooglegging ná beekherstel (dynamisch), Leijgraaf (legenda: blauw is inundatie en overige kleuren is drooglegging)



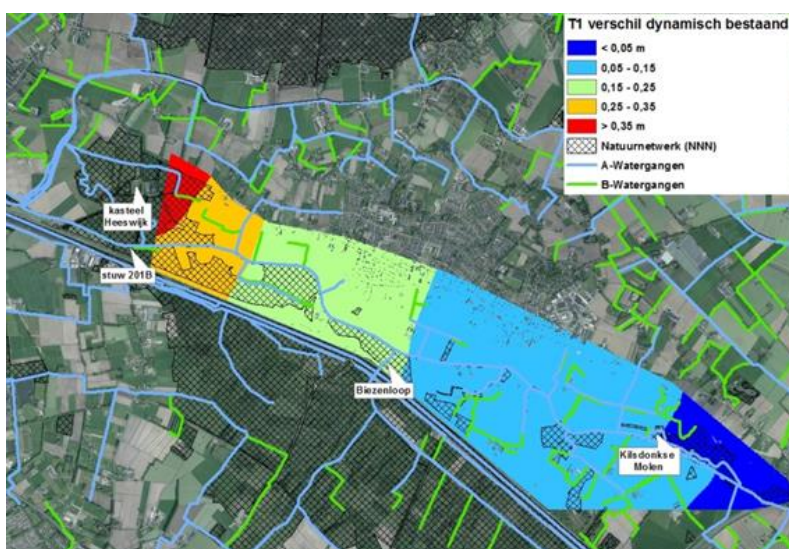
Figuur 6: Toename vernatting ten gevolge van beekherstel bij T10, Leijgraaf



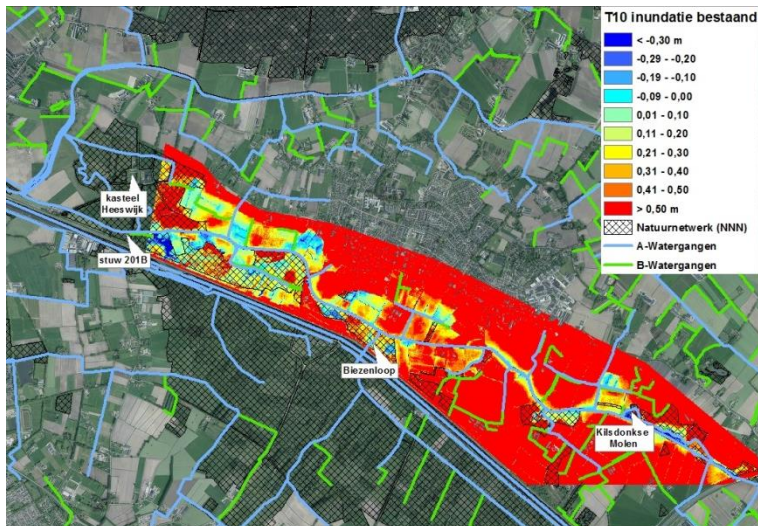
Figuur 7: T1 drooglegging vóór beekherstel (bestaand), Aa



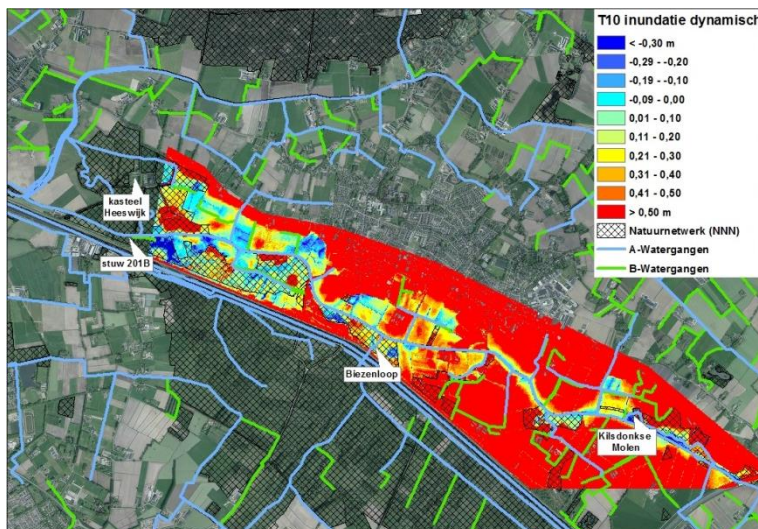
Figuur 8: T1 drooglegging ná beekherstel (dynamisch), Aa



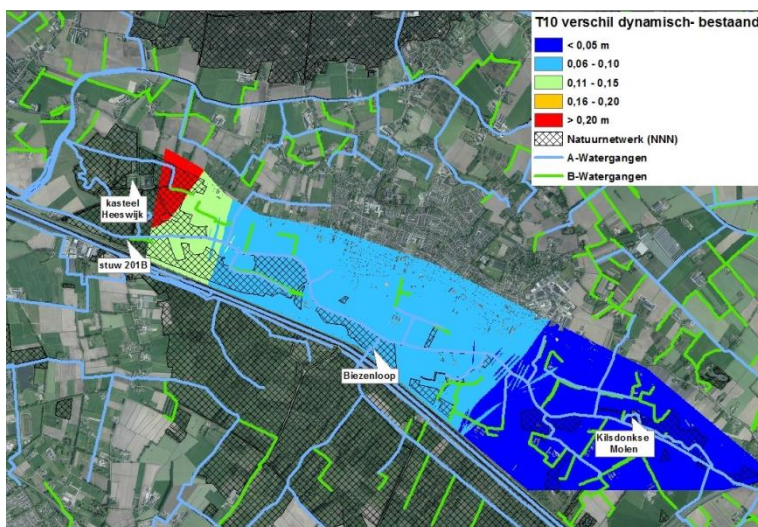
Figuur 9: Toename vernatting ten gevolge van beekherstel bij T1, Aa



Figuur 10: T10 inundatie en drooglegging vóór beekherstel (bestaand), Aa (legenda: blauw is inundatie en overige kleuren is drooglegging)



Figuur 11: T10 inundatie en drooglegging ná beekherstel (dynamisch), Aa (legenda: blauw is inundatie en overige kleuren is drooglegging)



Figuur 12: Toename vernatting ten gevolge van beekherstel bij T10, Aa