

RAPPORT

Effecten van Beekherstel

Studie naar de voorziene en onvoorziene effecten van
Beekherstel in de Astense Aa

Klant: Waterschap Aa en Maas

Referentie: WATBF2022R001F1.1

Versie: 1.1/Finale versie

Datum: 2 oktober 2017

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Effecten van Beekherstel

Ondertitel: Effecten Beekherstel
Referentie: WATBF2022R001F1.1
Versie: 1.1/Finale versie
Datum: 2 oktober 2017
Projectnaam: -
Projectnummer: BF2022
Auteur(s): Bram Evers, Han Vermue, Toine Kerckhoffs

Opgesteld door: Bram Evers

Gecontroleerd door: Chris van Rens (Waterschap AM)

Datum/Initialen:

Goedgekeurd door:

Datum/Initialen:

Classificatie

Vertrouwelijk



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Wateroverlast juni 2016	1
1.2	Beekherstel en effecten op droogte en wateroverlast	1
1.3	Leeswijzer	1
2	Ingreep Astense Aa	3
3	Voorziene effecten projectplan Astense Aa	5
4	Effecten oppervlaktewater	6
4.1	Morfologische ontwikkeling	6
4.2	Beekherstel	7
4.2.1	Zomer situatie	7
4.2.2	Winter situatie	7
4.2.3	Extreme situatie	7
4.2.4	Algemeen	8
4.3	Vistrap	11
4.4	Maximale doorstroming Astense Aa	13
5	Effecten grondwater	14
5.1	Te verwachten effecten	14
5.1.1	De grondwaterstand	14
5.2	Meetgegevens	16
5.3	Effect beekherstel op grondwaterstanden	17
5.3.1	Gemiddeld effect beekherstel en drainage op de grondwaterstand	17
5.3.2	Waterstandsdynamiek	23
6	Conclusies en aanbevelingen	26

Tabellen

Tabel 5-1 Verwachting en resultaat van de verandering in grondwaterstand na beekherstel als gevolg van verandering in oppervlaktewaterpeil en ligging en drainage. Cursief zijn waardes weergegeven waarvan detijdreeksanalyses niet statistisch significant zijn.	18
Tabel 2: statistieken extreme neerslag afgelopen 14 jaar.	23
Tabel 3: Doorgerekende ruwheden en afvoeren per scenario en schematisatie	31
Tabel 4: Gebruikte ruwheid vistrap en opbouw van de ruwheidseenheden	32

Figuren

Figuur 1: Herinrichting Astense Aa met in verschillende kleuren de deeltrajecten.	3
Figuur 2: voorbeeld van het nieuwe principeprofiel (rood) in vergelijking met het oude profiel (blauw).	4
Figuur 3: drainage beekdal	5
Figuur 4: verschil in waterstand tussen de schematisatie op basis van 2013 en 2016.	6
Figuur 5: overzichtskaart van het beekherstel traject waarin de afstand in het zijaanzicht is weergegeven.	9
Figuur 6: Het effect van beekherstel tijdens een gemiddelde zomer afvoer. (rood vroeger, blauw huidig)	9
Figuur 7: Het effect van beekherstel tijdens een gemiddelde winter afvoer.	10
Figuur 8: Het effect van beekherstel tijdens een extreme (T10) afvoer.	10
Figuur 9: Effect van de vistrap op de waterstand tijdens een zomerse afvoer.	11
Figuur 10: Effect van de vistrap op de waterstand tijdens een winterse afvoer.	12
Figuur 11: Effect van de vistrap en de bypass op de waterstand tijdens een extreme afvoer.	12
Figuur 12: Maximale doorstroming bij verschillende begroeiingsgraden.	13
Figuur 13: Schematische weergave van de invloed van oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand.	14
Figuur 14: Schematische weergave invloed ligging waterloop op grondwaterstand.	15
Figuur 15: Schematische weergave invloed drainage op grondwaterstand.	15
Figuur 16: Locaties meetpunten	16
Figuur 17: Grondwaterstanden als gevolg van beekherstel en het toepassen van drainage	17
Figuur 18: Peilbuis ASTE017	19
Figuur 19: Gemeten grondwaterstand en berekende grondwaterstand als er geen beekherstel zou plaatsvinden in peilbuis ASTE017.	19
Figuur 20: Peilbuizen ASTE018, ASTE019 en ASTE020.	20
Figuur 21: Gemeten grondwaterstand en berekende grondwaterstand als er geen beekherstel zou plaatsvinden in peilbuis ASTE018	21
Figuur 22: Locatie peilbuis ASTE021 en ASTE022	21
Figuur 23: Overzicht neerslag in mm/dag afgelopen 14 jaar.	23
Figuur 24: Voorbeelden van de sterke relatie tussen grondwater en oppervlaktewater in stroomgebied Astense Aa.	24
Figuur 25: Verandering in waterstandsdynamiek binnen en buiten het gebied van beekherstel voor zowel (G)rondwater als (O)ppervlaktewater.	25
Figuur 26: Verschil in model resultaten voor de 2013 en 2016 schematisatie.	29
Figuur 27: Validatie locaties Astense Aa	30
Figuur 28: Model validatie Astense Aa, dagelijkse situaties.	31
Figuur 29: Gebruikte methode om ruwheid vistrap te bepalen.	32

Figuur 30: Validatie modellering vistrap.	33
Figuur 31: Schematisatie bypass langs vistrap.	34
Figuur 32: Getrapte afvoer die is doorgerekend in het model.	34
Figuur 33: Gemeten grondwaterstand in peilbuis ASTE004	44
Figuur 34: Grondwaterstanden in peilbuis ASTE004	44
Figuur 35: Gemeten grondwaterstand en berekende grondwaterstand als er geen beekherstel zou plaatsvinden in peilbuis ASTE003	45
Figuur 36: Gemeten grondwaterstand en berekende grondwaterstand als er geen beekherstel zou plaatsvinden in peilbuis B52C0424-001.	46

Bijlagen

Bijlagen

A1.1	Overzicht effecten
A1.2	Hydraulische modellering – Schematisatie en validatie
A1.3	Berekende waterstanden projectplan
A1.4	Opzet tijdreeksanalyse grondwaterpeilen
A1.5	Meetpunten en karakteristieken
A1.6	Stappenplan tijdreeksanalyse
A1.7	Voorwaarden tijdreeksanalyse
A1.8	Overige peilbuizen

1 Inleiding

1.1 Wateroverlast juni 2016

De maanden mei en juni in 2016 waren extreem nat. Met name in Oost-Brabant is veel regen gevallen waardoor in bepaalde delen wateroverlast ontstond. Dit heeft geleid tot schadeclaims die bij het waterschap zijn ingediend. In de Evaluatie 2016 Astense Aa is de toedracht van de wateroverlast in juni 2016 onderzocht. Uit deze evaluatie blijkt dat de begroeiing van het winterbed een grote invloed heeft gehad op de waterstanden tijdens de overlastperiode in juni 2016 en dat er hogere waterstanden zijn opgetreden dan voor beekherstel het geval was. In het rapport wordt niet ingegaan op de vraag of de opgetreden effecten bij piekafvoeren overeenkomen met de beoogde effecten van beekherstel, zoals opgenomen in het projectplan.

Vanwege de opgetreden waterhuishoudkundige verandering bij piekafvoeren na beekherstel, die mogelijk eerder leidt tot wateroverlast en schade dan voor beekherstel het geval was, zijn er aanknopingspunten aanwezig om een procedure nadeelcompensatie te doorlopen. Om inzicht te krijgen in de aard en omvang van de opgetreden effecten van beekherstel Astense Aa, ook onder reguliere (weers)omstandigheden, is dit onderzoek uitgevoerd.

1.2 Beekherstel en effecten op droogte en wateroverlast

In de afgelopen jaren zijn er verschillende beekherstelprojecten uitgevoerd in het beheergebied van waterschap Aa en Maas. In deze projecten ligt er een nadrukkelijke opgave op het gebied van natuur en waterberging. Doormiddel van beekherstel wordt er gestreefd de doelen van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) te behalen. De voornaamste KRW doelen zijn; realisatie vismigratie, verbetering van de ecologische waterkwaliteit en verbetering van de natuurlijke morfologie. De opgave voor waterberging houdt verband met klimaatverandering waardoor pieken in waterafvoer evenals periodes van droogte toenemen. Waterberging vermindert de effecten van deze extremen door te functioneren als een buffer die water bergt tijdens natte perioden en nalevert tijdens droogteperiodes. Beekherstel draagt hierdoor bij aan de doelstellingen van de waterwet en creëert een gezondere waterhuishouding voor het gehele systeem.

Beekherstel heeft dus een behoorlijke impact op het aanwezige systeem en heeft mogelijk gevolgen voor een ieder die op welke manier dan ook gebruik maakt van het systeem. In de projectplannen zijn deze gevolgen voorspeld en beschreven. De beekherstelprojecten in de Astense Aa (2013) en de Bakelse Aa (2015) zijn inmiddels uitgevoerd en afgerond. Om in kaart te brengen of deze effecten ook daadwerkelijk optreden en of er nog onvoorziene effecten optreden is er een monitoringsprogramma opgesteld. Als onderdeel hiervan worden veel metingen uitgevoerd en wordt data verzameld. Inmiddels is er voor beide systemen veel data beschikbaar en is het mogelijk om uit te zoeken welke effecten er daadwerkelijk optreden in het studiegebied en hoe deze zich verhouden tot de verwachte effecten uit het projectplan.

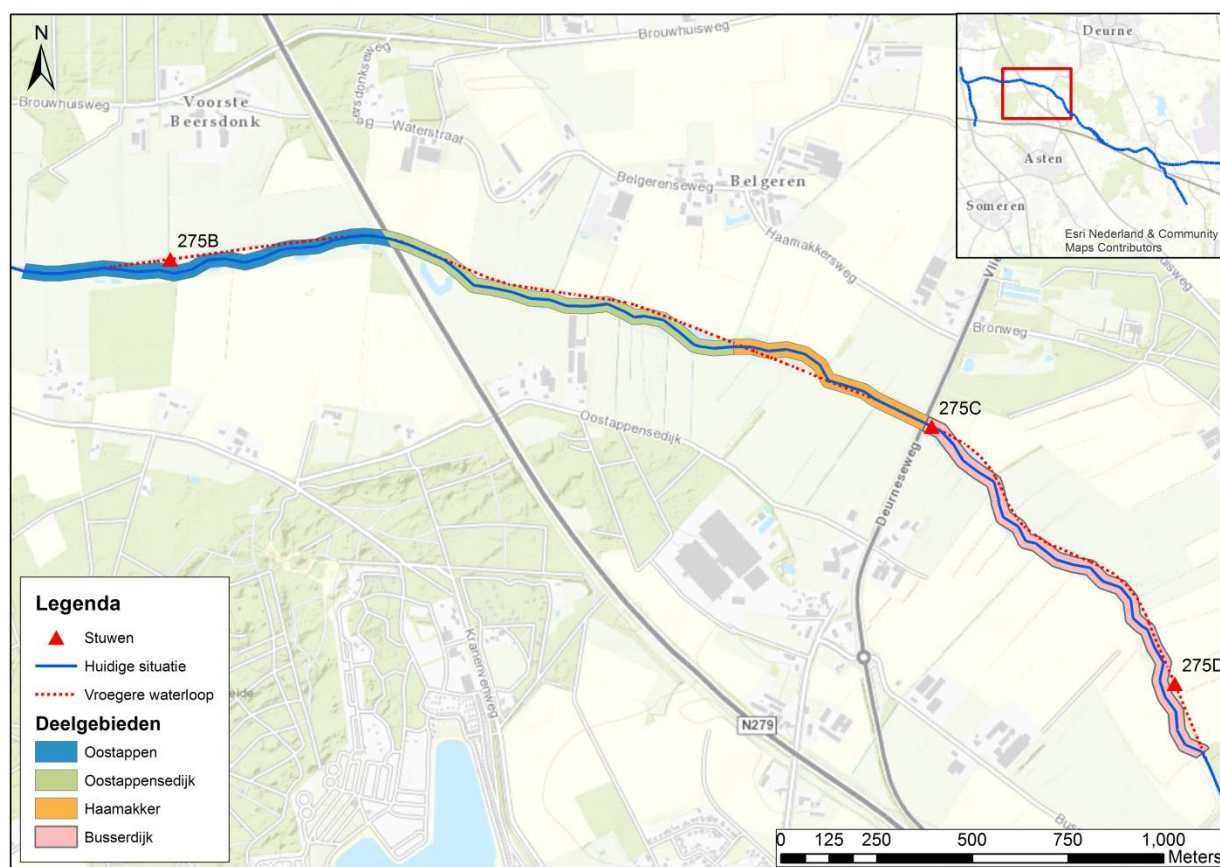
1.3 Leeswijzer

Om de leesbaarheid te bevorderen is er gekozen om de rapportage voor de Astense Aa en de Bakelse Aa te scheiden, voorliggende rapport betreft de Astense Aa. Er zal kort aandacht worden geschonken aan de ingrepen die hebben plaatsgevonden in het projectgebied, een uitgebreidere beschrijving hiervan is te vinden in het projectplan (*Projectplan Beekherstel/EVZ Astense Aa – Traject Busserdijk – Oostappen, Oranjewoud, 2011*). Vervolgens is er aandacht voor de voorziene en verwachte effecten van deze ingrepen. In hoofdstuk 4 is beschreven wat de daadwerkelijk opgetreden effecten zijn omtrent

oppervlaktewater, in hoofdstuk 5 is dit gedaan voor het grondwater. De achtergrond informatie omtrent de hydraulische modellering die is ingezet is als bijlage opgenomen, hierin is alles te vinden over de schematisatie en validatie van de modellen. De conclusie geeft een kort overzicht van hoe de verwachte effecten zich verhouden tot de opgetreden effecten.

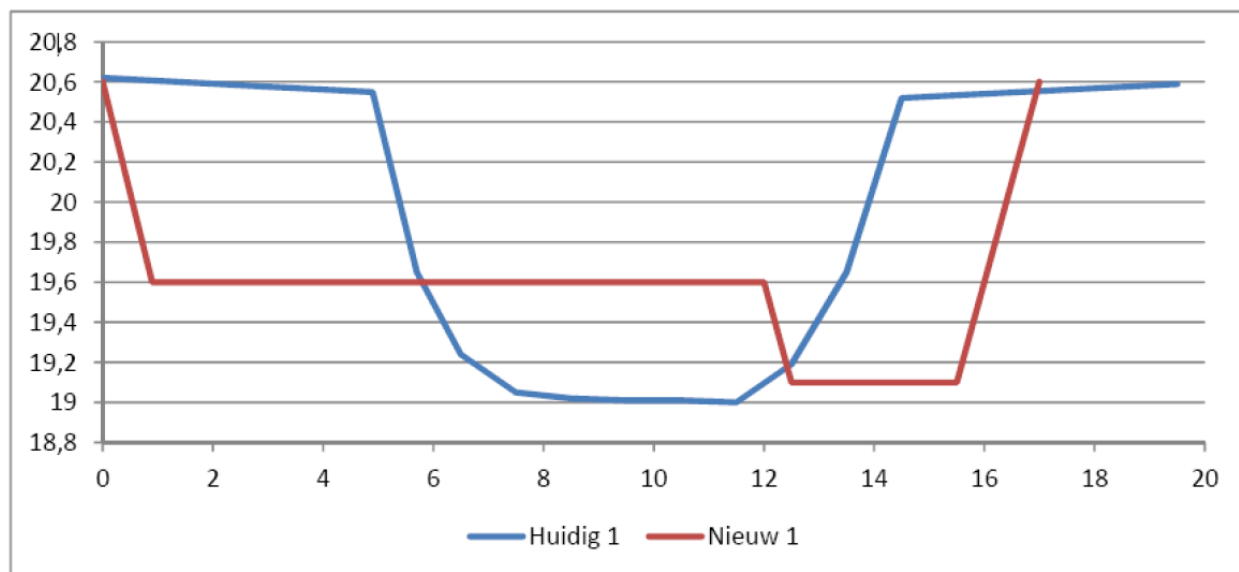
2 Ingreep Astense Aa

De Astense Aa is heringericht over een traject van 3,4 km, onderverdeeld in 4 deeltrajecten (Figuur 1). De deeltrajecten zijn als volgt benoemd; Oostappen, Oostappensedijk, Haamackers en Busserdijk. Met de herinrichting verdwijnen de stuwen uit het traject en krijgt de beek een meer natuurlijk en slingerend karakter. Ten behoeve van de ecologische doelstellingen wordt hiermee de dynamiek en stroming van de beek hersteld. Door de bodem op te hogen en het profiel aan te passen wordt de functie van de stuwen gecompenseerd. Het nieuwe profiel van de beek bestaat uit een smal dieper zomerbed en een breed, ondieper winterbed, ofwel een accoladeprofiel (Figuur 2). In de zomerse situatie heeft de beek op deze manier een relatief smal stroomprofiel waardoor het peil voldoende hoog blijft, door het forse winterbed heeft de beek bij hogere winterse afvoeren voldoende afvoercapaciteit. In het traject zijn de 3 aanwezige stuwen (275B, C en D) verwijderd.



Figuur 1: Herinrichting Astense Aa met in verschillende kleuren de deeltrajecten.

Het doel van de herinrichting van de Astense Aa is beekherstel en tegelijkertijd het verweven en realiseren van een Ecologische Verbindings Zone (EVZ). Dit betreft het herstellen van het watersysteem met een half-natuurlijk karakter, zodat natuurlijke processen zoals erosie, sedimentatie en vegetatieontwikkeling ruimte krijgen op zo'n manier dat deze zijn afgestemd op de agrarische activiteiten op naastgelegen percelen. De Astense Aa vormt als natte EVZ de verbinding tussen de natuurgebieden Deurnsche Peel, Beelsfundatie / de berken, het boscomplex Baarschot bij Vlierden en het waterbergingsgebied Diesdonk.



Figuur 2: voorbeeld van het nieuwe principeprofiel (rood) in vergelijking met het oude profiel (blauw).

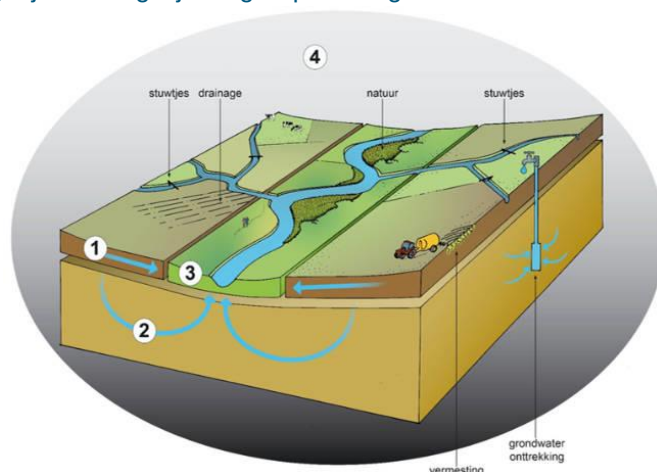
3 Voorziene effecten projectplan Astense Aa

De voorziene effecten van de ingrepen in de Astense Aa zijn beschreven in het projectplan waterwet. Onderstaande effecten zijn uit dit plan overgenomen als korte samenvatting. Het projectplan beschrijft de effecten en bevat hydraulische berekeningen (bijgevoegd als bijlage A1.3), er is hierin vooral aandacht voor veranderingen in het oppervlaktewater. De hydraulische berekeningen uit het projectplan worden vergeleken met de hydraulische berekeningen uit deze studie.

- Door het verwijderen van stuwen en het aanpassen van het profiel naar het accoladeprofiel is het mogelijk om stroming terug te brengen in de beek en daarmee wordt de beek vispasseerbaar. Het verhogen van de bodem voorkomt verdroging, voorheen werd dit door middel van stuwen geregeld.
- Het peil blijft in de zomer gemiddeld gelijk. Benedenstrooms van de stuw zal het peil toenemen, bovenstrooms van de huidige stuw zal het peil afnemen. Door de verandering ontstaat een veel gelijkmatiger verdeeld regime.
- Tijdens de gemiddelde wintersituatie neemt het oppervlakte peil toe, benedenstrooms van de stuwen zal het iets natter worden. Met de aanliggende agrariërs moet worden afgestemd in hoeverre dit als vervelend wordt ervaren. Daar waar de verandering groot is en de agrariër nu al wateroverlast ervaart kunnen compenserende maatregelen worden aangeboden.
- Het ontwerp zorgt niet voor inundaties bij een afvoersituatie die eens in de 10 jaar optreedt. De inundaties zullen vergelijkbaar zijn met de huidige situatie.

Het effect van beekherstel varieert lokaal sterk doordat de stuwen worden verwijderd, bovenstrooms zorgt dit vaak voor een verlaging van de waterstand, benedenstrooms voor een verhoging. Er vindt een overgang plaats van een getrapte aflopende waterlijn naar een meer geleidelijk aflopende waterlijn.

Het grondwaterpeil, net als het maaiveldverloop, neemt in de huidige situatie af richting de beek. De beek heeft hierdoor een belangrijke invloed op het grondwater gezien het de naastgelegen gronden draineert (Figuur 3: drainage beekdal). Het veranderen van de beek zal dus doorwerken op het (lokale) grondwaterpeil. Deze verandering wordt daar waar nodig opgevangen door de aanleg van drainage onder de percelen. In deze studie is mede onderzocht welke invloed het beekherstel in de Astense Aa heeft gehad op de grondwaterstanden in de directe nabijheid van de Astense Aa. In hoofdstuk 5 zal eerst de theoretische verwachting bij een dergelijke ingreep uiteengezet worden.



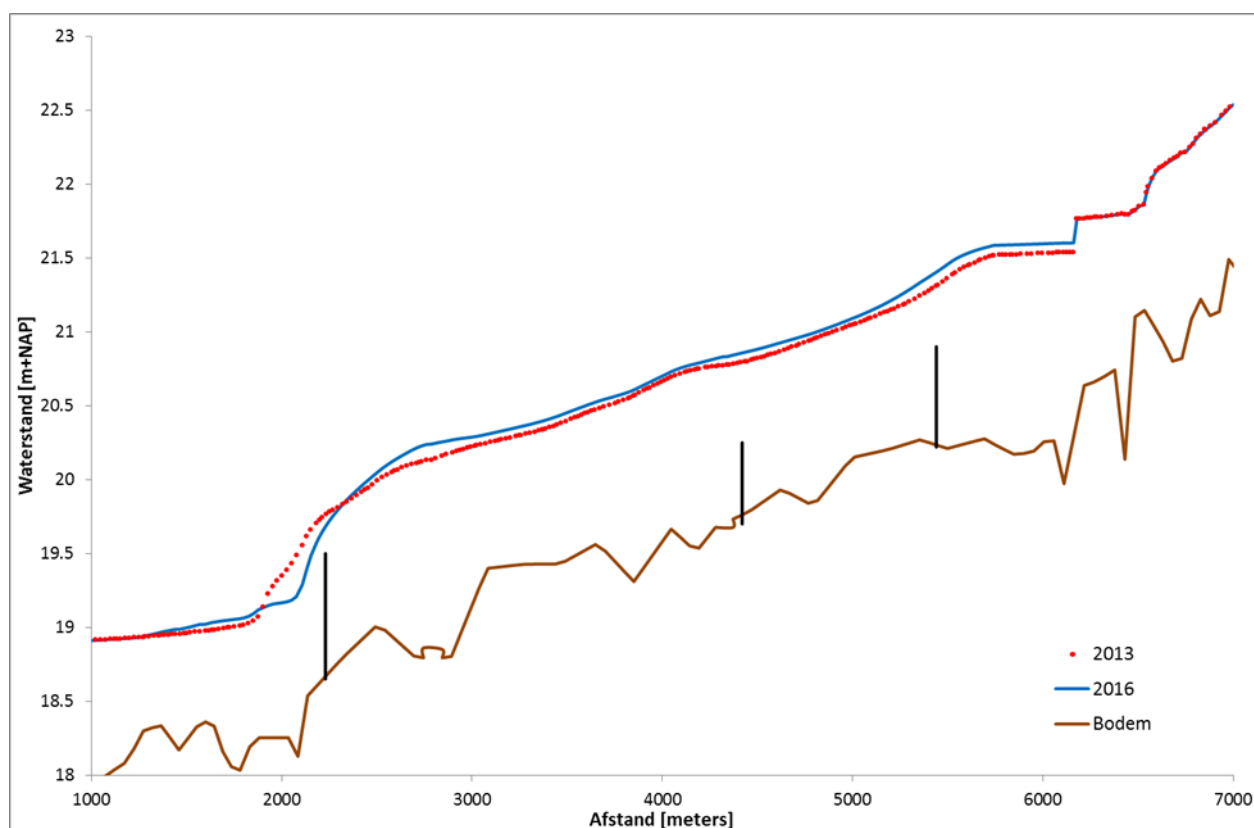
Figuur 3: drainage beekdal

4 Effecten oppervlaktewater

De effecten van beekherstel op het oppervlaktewater zullen in dit hoofdstuk worden besproken, het gebruikte model, de validatie hiervan en de gebruikte instellingen worden in bijlage A1.2 toegelicht. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen het directe effect van beekherstel op het oppervlaktewater en het effect van de aangelegde vistrap. Daarnaast is er gekeken naar de maximale doorstroming en de invloed van vegetatie hierop. De resultaten zijn weergegeven doormiddel van een zijaanzicht van de waterstand en bodem, dit geeft direct inzicht in wat er op welke locatie is veranderd. Er is hierbij steeds gekeken naar een gemiddelde zomer en winter situatie en een extreme situatie die ongeveer eens per tien jaar voorkomt. De waterstanden uit het huidige model zijn hierbij steeds vergeleken met de in het projectplan berekende waterstanden (A1.3).

4.1 Morfologische ontwikkeling

Sinds de uitvoering van het beekherstel heeft het systeem zich morfologisch ontwikkeld, dit is te zien aan de verschillen tussen de profielen die in 2013 en 2016 zijn ingemeten. Beide situaties zijn doorgerekend om in beeld te brengen welke invloed de (morfologische) ontwikkeling van het systeem heeft op de waterstanden. In Figuur 4 is te zien wat het verschil in waterstand is tussen de schematisatie op basis van profielen uit 2013 en 2016. Er is in beide schematisaties gerekend met gelijke randvoorwaarden; een winterse afvoer ($Q = 0.85 \text{ m}^3/\text{s}$) en een winterse ruwheid ($K_s = 20$). De waterstand is ten gevolge van de morfologische ontwikkeling van het systeem gemiddeld met 0 tot 10 centimeter gestegen, afhankelijk van de locatie waar naar gekeken wordt. Om het meest actuele beeld te geven is er gekozen om te rekenen met de profielen van 2016. Dit betekent dat eventuele stijgingen in de waterstand als gevolg van beekherstel zowel door het beekherstel zelf als door de ontwikkeling sinds aanleg komen.



Figuur 4: verschil in waterstand tussen de schematisatie op basis van 2013 en 2016.

4.2 Beekherstel

Het beekherstel heeft plaatsgevonden op 4 trajecten en het effect hiervan is zichtbaar tussen de stuwen 275A en 275E welke niet verwijderd zijn (Figuur 5). Boven- en benedenstrooms van deze stuwen er zoals verwacht geen effect zichtbaar. Het effect binnen het beekherstel traject varieert per locatie en is afhankelijk van de situatie (afvoer). Over het algemeen valt op dat bij een lage afvoer de gemiddelde waterstand gelijk blijft terwijl bij een hogere afvoer de gemiddelde waterstand toeneemt. Er is in dit hoofdstuk steeds een vergelijking gemaakt tussen de vroegere situatie voor beekherstel (referentie) en de huidige situatie na beekherstel (as-built). Verschillen tussen het projectplan en de huidige situatie zijn alleen in de tekst beschreven.

4.2.1 Zomer situatie

Tijdens een gemiddelde zomer afvoer neemt de waterstand gemiddeld gezien nauwelijks toe. Bovenstrooms van de verwijderde stuwen zien we een verlaging van de waterstand waar benedenstrooms van de stuwen een verhoging te zien is (Figuur 6). Gemiddeld blijft hierdoor de waterstand gelijk. Bovenstrooms van stuw 275D zien we de grootste afname in waterstand (15 cm), deze blijft over het gehele stuwvak gelijk. In de andere stuwvakken (275B en C) zien we toenames variërend tussen 0 en 30 centimeter. De afname is met maximaal 10 centimeter veel kleiner.

In vergelijking met de waterstanden uit het projectplan zijn er veel overeenkomsten, het algemene beeld is gelijk en de absolute peilen zijn ook bij benadering gelijk. Uitzondering hierop zijn de waterstanden direct bovenstrooms van de vistrap, de absolute waterstanden zijn ongeveer gelijk maar het verloop van de waterstand is wat anders. In de huidige situatie is de stuwing van de vistrap duidelijker zichtbaar, er is een meer plotselinge stijging van de waterstand te zien in plaats van een geleidelijke stijging. Bovenstrooms van stuw 275D zien we in het projectplan een kleine toename in waterstand terwijl in de huidige situatie de waterstand daar juist iets lager is geworden.

4.2.2 Winter situatie

Tijdens een gemiddelde winter afvoer neemt de waterstand iets toe. Bovenstrooms van de verwijderde stuwen zien we amper verlaging terwijl benedenstrooms van de stuwen wel een verhoging te zien is (Figuur 7). De waterstand neemt benedenstrooms van de stuwen met maximaal 40 centimeter toe. Ter plaatse van de oude stuwen zien we nog net een verlaging van enkele centimeters, dit is echter zeer plaatselijk. Bovenstrooms van stuw 275D zien we over het gehele stuw vak nog steeds een verlaging van enkele centimeters.

In vergelijking met de waterstanden uit het projectplan zijn er wederom veel overeenkomsten zichtbaar, zowel in algemeen beeld en waterstandsverloop als in absolute waterstanden. De waterstand wijkt hier niet meer af dan enkele centimeters. Een verschil zit wederom bovenstrooms van stuw 275D waar in het projectplan een verhoging van de waterstand is berekend terwijl in de huidige situatie het peil hier juist gelijk is gebleven en zelfs iets verlaagd is. Het gaat hier om een verschil van ongeveer 20 centimeter.

4.2.3 Extreme situatie

Tijdens een extreme (T10) afvoer neemt de waterstand over het gehele traject toe (Figuur 8). In het projectplan is er onderscheid gemaakt tussen het winter (Ks19) en zomerbed (Ks25) qua ruwheid, om de resultaten vergelijkbaar te maken zijn beide ruwheden in deze studie ook apart doorgerekend. Er is geen plaatselijke verlaging meer zichtbaar. Bovenstrooms zien we een gemiddelde toename van ongeveer tien centimeter, rond stuw 275C is de toename ongeveer 20 centimeter. Benedenstrooms is er een grotere toename te zien, hier is de toename in waterstand maximaal 30 centimeter en neemt af in bovenstroomse

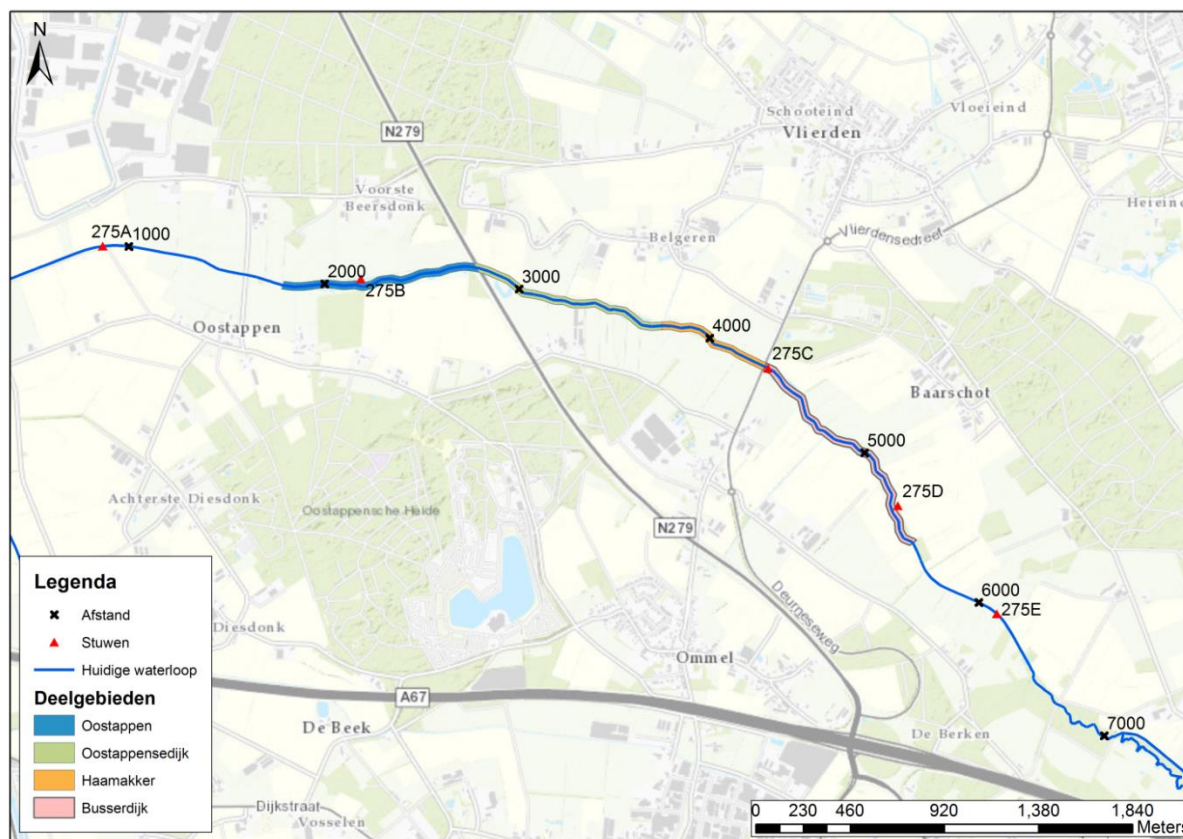
richting. Direct bovenstrooms van voormalig stuw 275B is de verhoging in de huidige situatie 30 centimeter, meer bovenstrooms van de stuw is de verhoging ongeveer 20 centimeter.

De berekeningen uit het projectplan laten overal een verhoging van de waterstand zien, dit komt overeen met de berekende peilen. In vergelijking met de waterstanden uit het projectplan zien we in beide gevallen bovenstrooms een toename van +/-10 centimeter. Rond stuw 275C is de berekende toename in waterstand iets groter dan in het projectplan, gemiddeld is dit tien centimeter meer dan berekend in het projectplan. Direct bovenstrooms van voormalig stuw 275B is de verhoging in de huidige situatie 30 centimeter waar deze in het projectplan slechts 10-15cm bedraagt. Dit verschil is deels te wijten aan de ingebouwde vistrap, de vistrap is in het huidige model zeer conservatief ingebouwd. In de realiteit zal de stuwing tijdens extreme afvoeren minder zijn en zal het verschil tussen projectplan en uitvoer dus ook kleiner zijn dan nu geschat. Meer bovenstrooms van de stuw is de verhoging in waterstand nagenoeg gelijk (+/-20 cm) en conform projectplan.

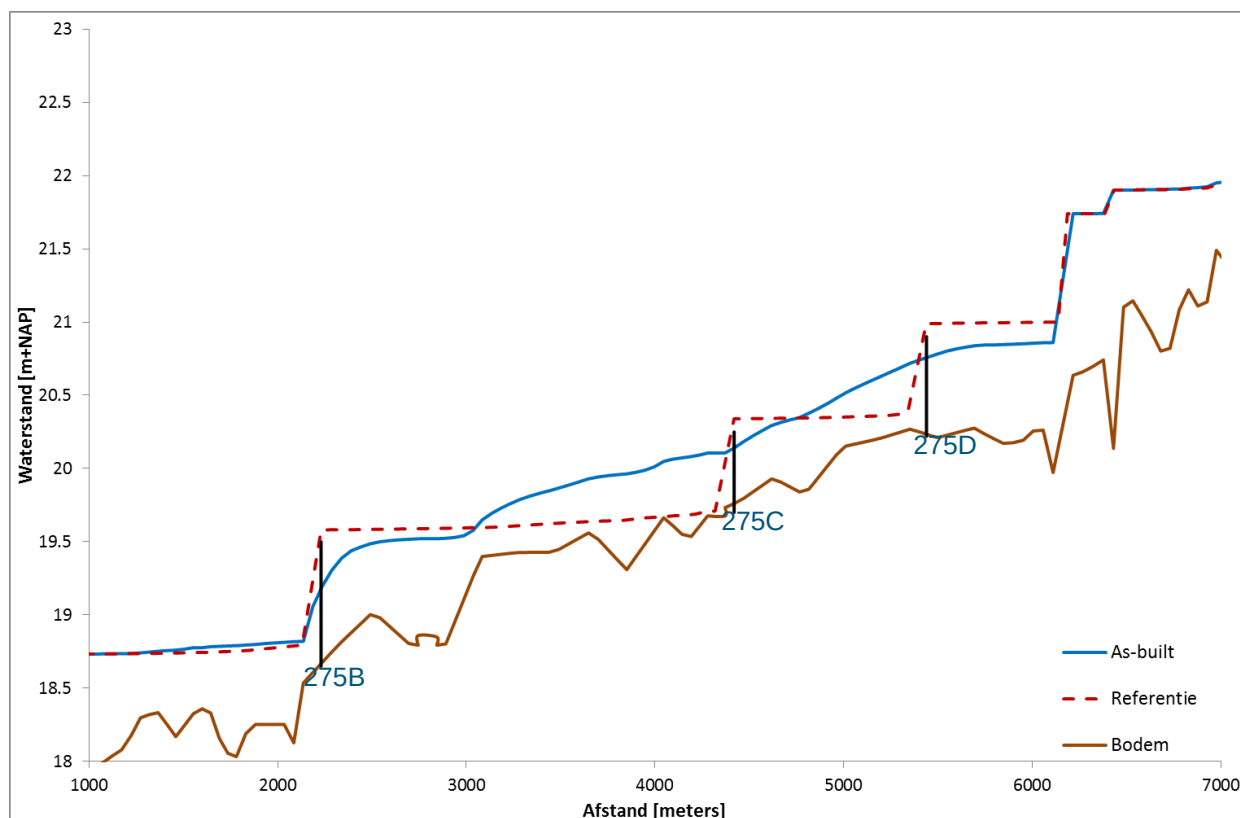
4.2.4 Algemeen

Beekherstel heeft in het bovenstroomse deel van het traject een neutraal of waterstand verlagend effect ten opzichte van vroeger bij dagelijkse omstandigheden, bij een piekafvoer is er een verhoging te zien. In het benedenstroomse deel zien we voornamelijk een toename in de waterstand, deze toename wordt groter naarmate de afvoer toeneemt. Een deel van deze toename is te wijten aan de vistrap, dit zal in volgend hoofdstuk nader worden toegelicht. Het is op veel plaatsen dus (zoals verwacht) natter geworden en alleen bovenstrooms van voormalig stuw 275D is het iets droger geworden. Het effect van beekherstel werkt door tot stuw 275E welke buiten het oorspronkelijke beekherstel traject ligt.

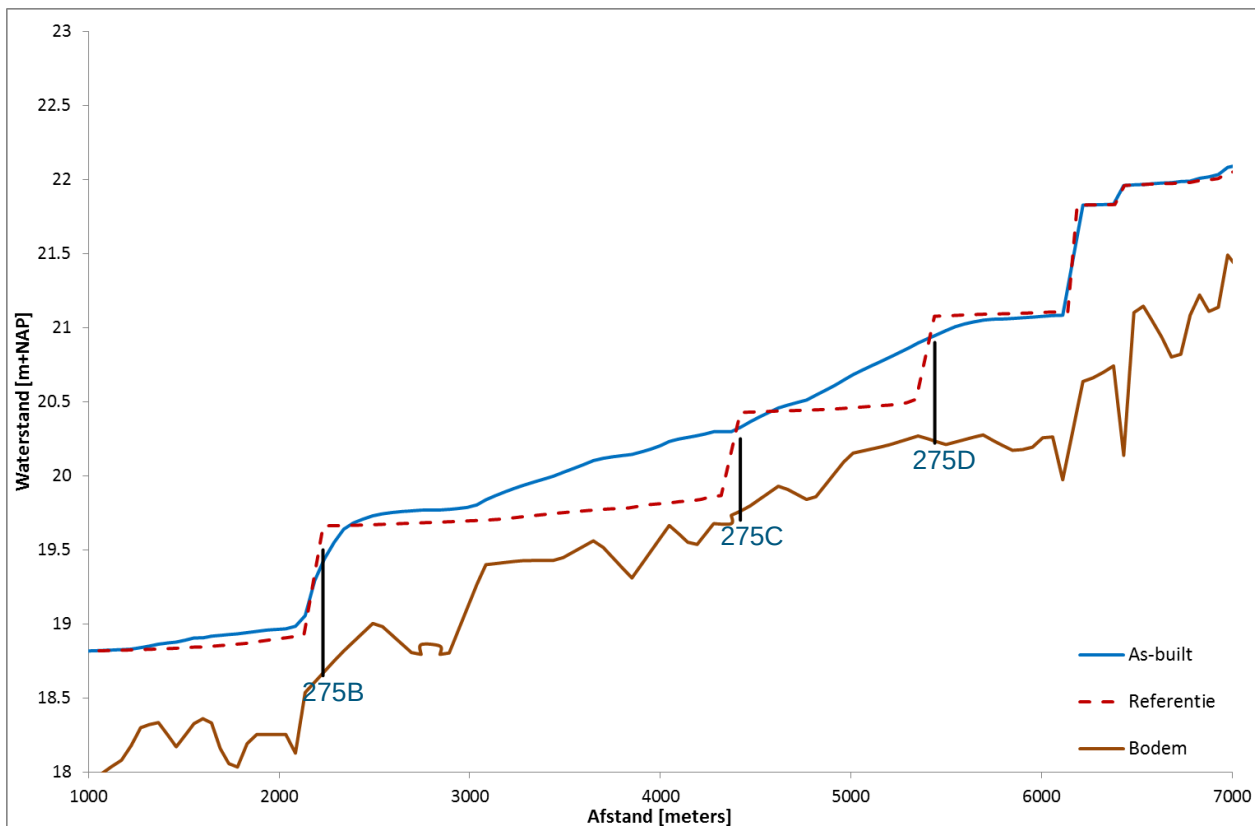
Direct bovenstrooms van stuw 275D en benedenstrooms van stuw 275C laat de verhanglijn (tijdens hogere afvoeren) een knik zien, het peil wordt hier plaatselijk gestuwd. Deze plaatselijke opstuwing wordt veroorzaakt door een relatief smal profiel op deze locaties. Indien er op deze locaties overlast wordt ervaren tijdens hoogwater is het aan te raden het profiel hier te verbreden of op een andere manier te verruimen.



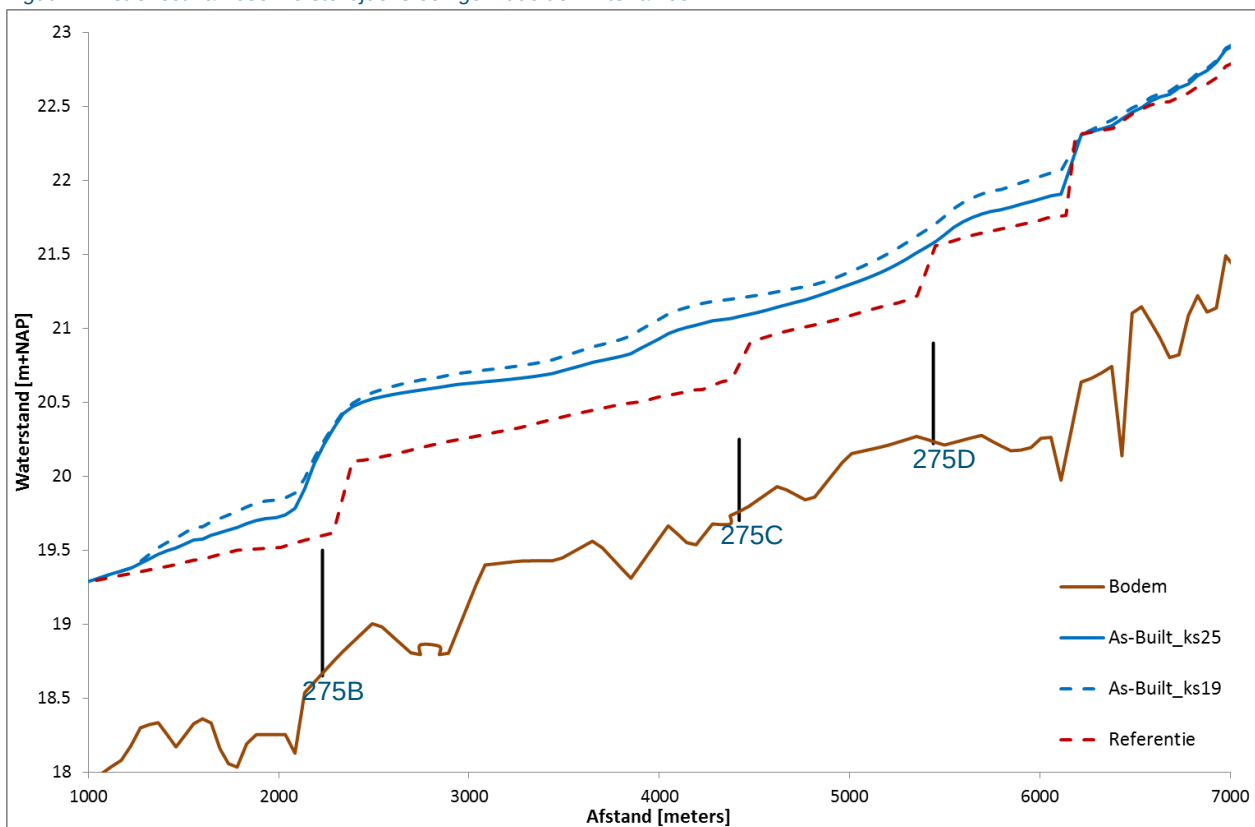
Figuur 5: overzichtskaart van het beekherstel traject waarin de afstand in het zijaanzicht is weergegeven.



Figuur 6: Het effect van beekherstel tijdens een gemiddelde zomer afvoer. (rood vroeger, blauw huidig)



Figuur 7: Het effect van beekherstel tijdens een gemiddelde winter afvoer.



Figuur 8: Het effect van beekherstel tijdens een extreme (T10) afvoer.

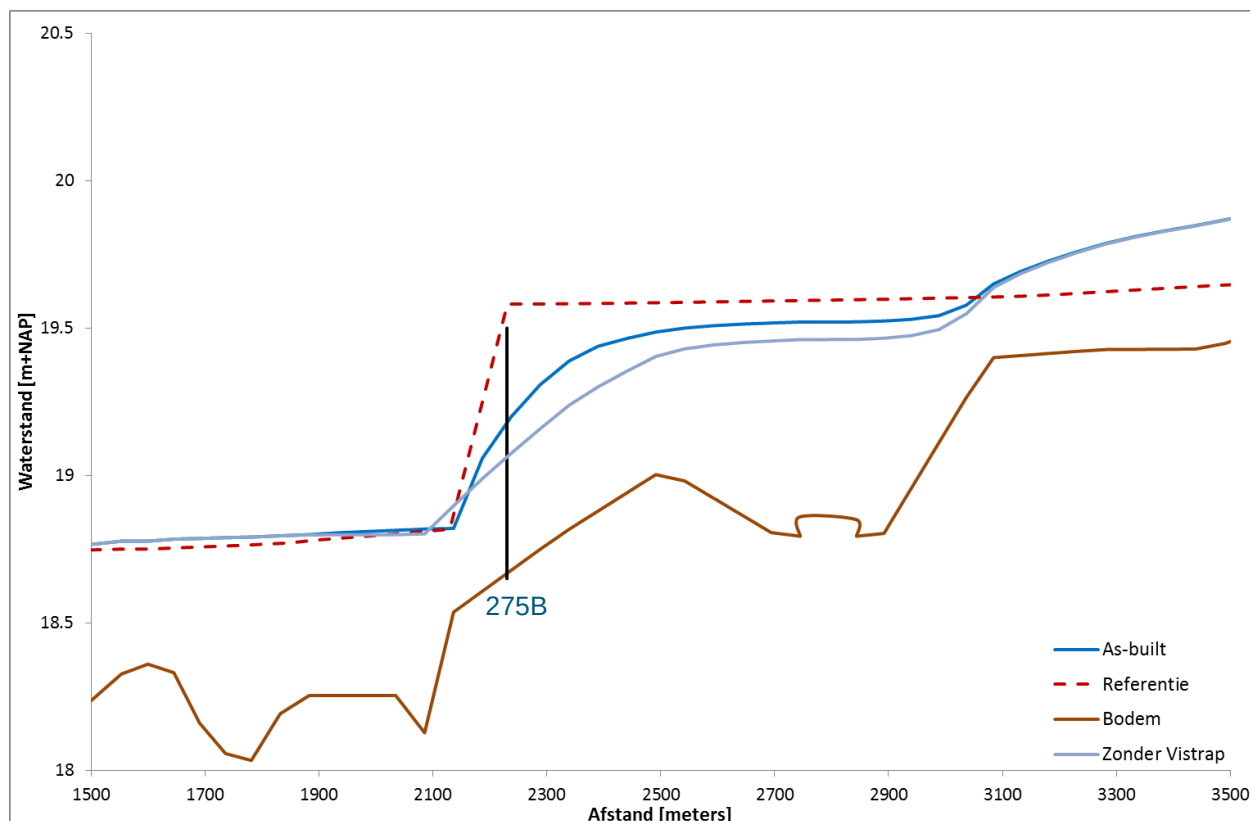
4.3 Vistrap

De vistrap heeft een stuwende werking die toeneemt met de afvoer. Tijdens een zomerse afvoer stuwt de vistrap ongeveer 10 centimeter ter plaatse van de vistrap op en slechts enkele centimeters <5 cm bovenstrooms van de vistrap (Figuur 9). De opstuwing is lokaal en reikt tot enkele honderden meters bovenstrooms. Verder van de vistrap af neemt de opstuwing geleidelijk af tot 0.

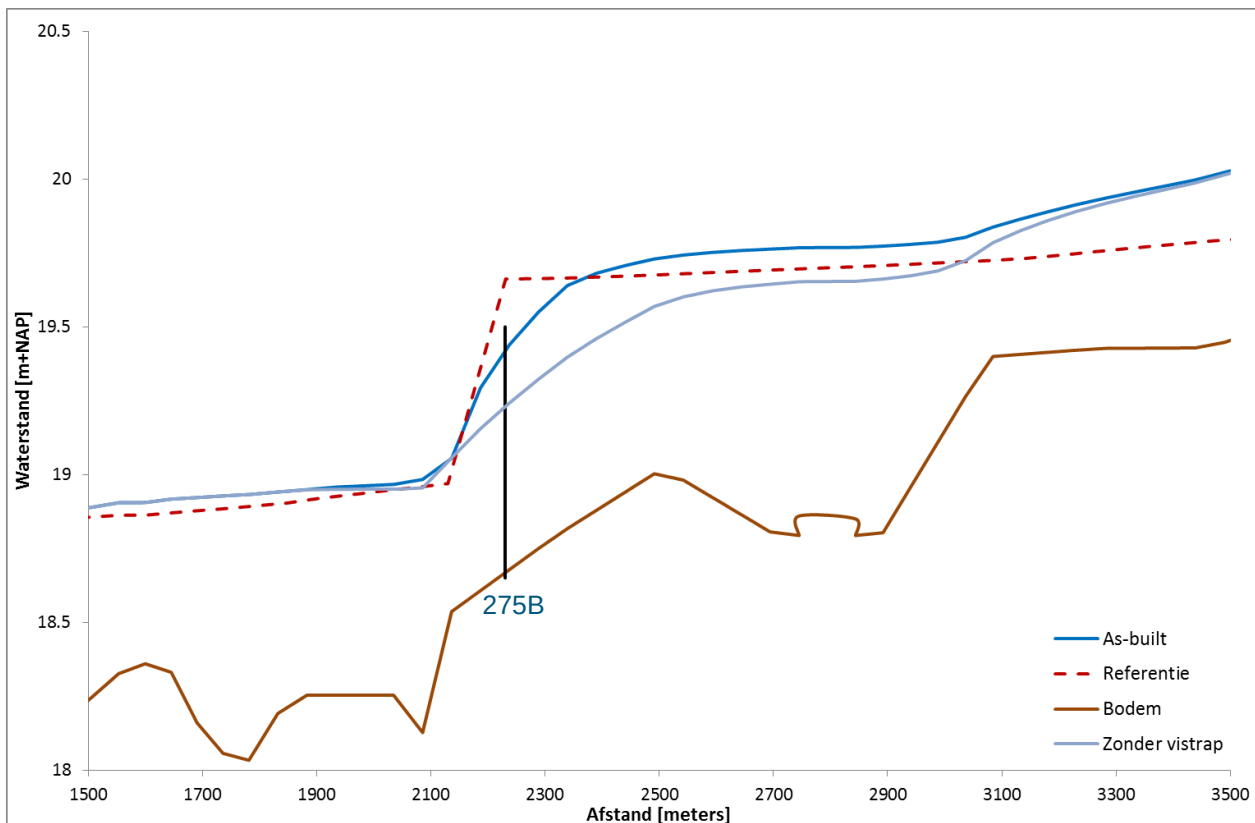
Tijdens een winterse afvoer is de opstuwing duidelijker aanwezig en varieert deze van 20 centimeter ten plaatse van de vistrap tot 10 centimeter bovenstrooms van de vistrap (Figuur 10). De opstuwing reikt tot verder bovenstrooms, tot ongeveer 1200 meter gemeten vanaf de vistrap.

Tijdens een extreme afvoer (T10) is de opstuwing nog groter en reikt deze ook verder (Figuur 11). Ter plaatse van de vistrap zien we een toename van maximaal 32 centimeter, bovenstrooms van de vistrap neemt de opstuwing geleidelijk af tot 0. Het gebied dat onder invloed staat neemt tijdens een extreme afvoer toe tot bijna 2000 meter.

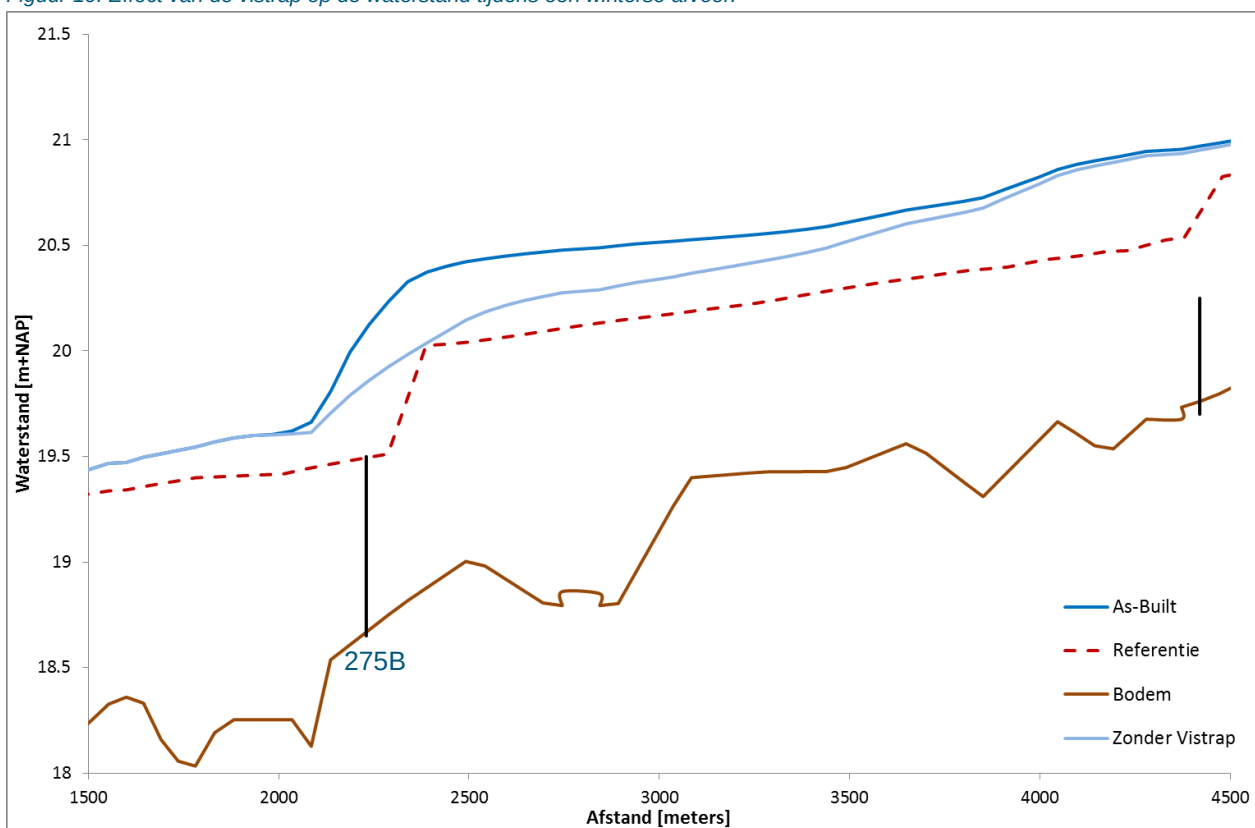
Er dient een kanttekening te worden gezet bij de berekende opstuwing van de vistrap. Het modelleren van een vistrap is complex gezien deze in verschillende situaties verschillend reageert. In de modellering is de opstuwing ten gevolge van de vistrap slechts gevalideerd voor een lage afvoer, er zijn namelijk meetgegevens beschikbaar voor hogere afvoeren. Het is onwaarschijnlijk dat deze voor een hoge afvoer exact hetzelfde werkt, echter is dit met de huidige gegevens niet te valideren. Naar verwachting zal de invloed van de vistrap afnemen naarmate de afvoer toeneemt. De berekende opstuwing tijdens hoogwater is dus zeer conservatief en wordt overschat.



Figuur 9: Effect van de vistrap op de waterstand tijdens een zomerse afvoer.



Figuur 10: Effect van de vistrap op de waterstand tijdens een winterse afvoer.

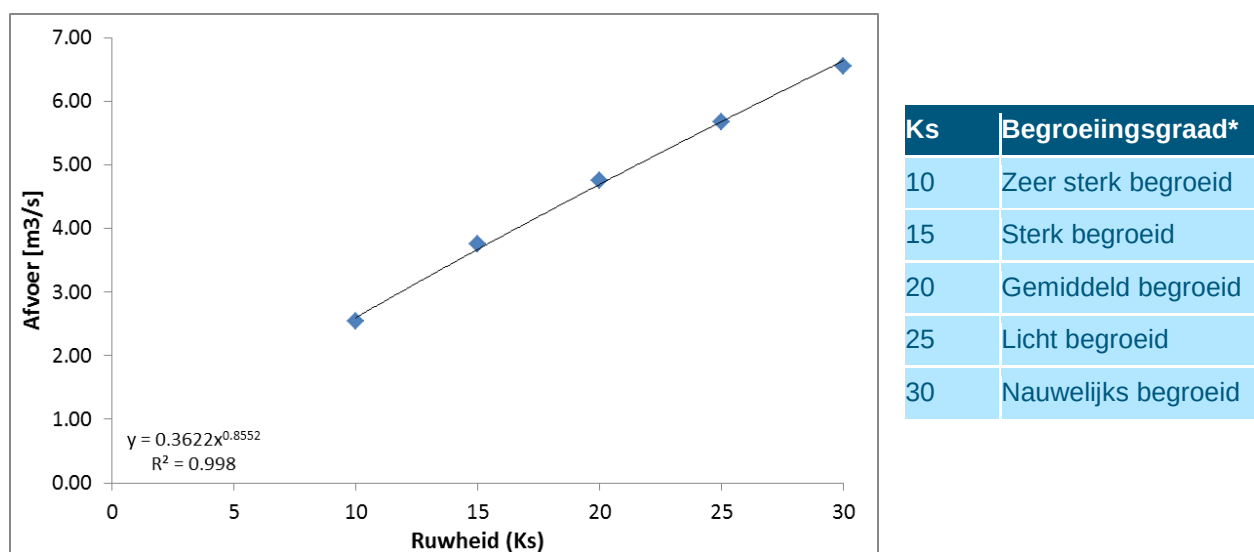


Figuur 11: Effect van de vistrap en de bypass op de waterstand tijdens een extreme afvoer.

4.4 Maximale doorstroming Astense Aa

Om de maximale doorstroming van de Astense Aa te berekenen is er gekeken bij welke afvoer er inundaties op gaan treden en welke waterstand er op die locatie bereikt wordt. Hierbij is de mate van onderhoud gevarieerd door middel van het veranderen van de ruwheid. De mate van onderhoud is gevarieerd van nauwelijks begroeid tot zeer sterk begroeid*. Er is steeds gekeken op dezelfde locatie of de beek buiten zijn oevers treedt. De locatie die bekeken is ligt midden tussen de trajecten Oostappensedijk en Haamackers (x;y;z - 180,035; 383,097; 20.80), gezien in dit gebied de kritische percelen liggen. Er liggen ook kritische percelen rondom de vistrap maar deze locatie staat sterk onder invloed van de vistrap en is daarom minder representatief voor het effect van onderhoud.

Figuur 12 laat voor iedere doorgerekende ruwheid zien bij welke afvoer er inundaties zullen ontstaan. Dit is dus de maximale doorstroming van de Astense Aa bij verschillende begroeiingsgraden. Er is een bijna lineaire relatie tussen de doorstroming en de begroeiing, waarin meer begroeiing minder doorstroming betekent. Onderhoud is dus zeer belangrijk, een licht begroeide waterloop kan bijna 2 m³/s meer afvoeren dan een sterk begroeide waterloop. In piek situaties speelt dit een rol maar ook op de dagelijkse omstandigheden heeft de begroeiing een sterke invloed. Het peil kan al gauw 10 tot 20 centimeter stijgen wanneer de waterloop meer begroeid is.



Figuur 12: Maximale doorstroming bij verschillende begroeiingsgraden.

*Kanttekening doorgerekende begroeiingsgraden:

De begroeiingsgraad wordt in het model aangepast door de ruwheid aan te passen. In de realiteit is de ruwheid een combinatie van meer factoren dan alleen vegetatie. Hierin spelen ook de sinuositeit, het profiel, verhang, ondergrond en obstructie een rol. De doorgerekende ruwheden zijn hiermee dan ook slechts een indicatie van de begroeiingsgraden en niet direct terug te leiden tot een bepaalde maaihoogte of harde onderhoudsgrens.

5 Effecten grondwater

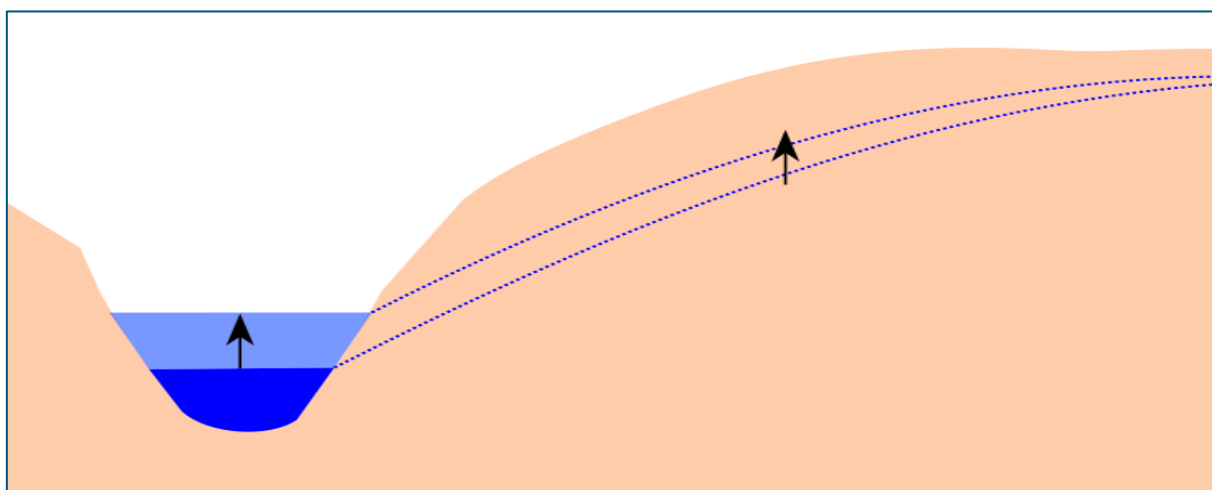
In 2013 is voor een deel van de Astense Aa beekherstel uitgevoerd. Hierbij zijn stuwen in dit traject verwijderd, is de ligging van de beek gewijzigd, is de bodem opgehoogd en het profiel aangepast. Op een aantal aanliggende (agrarische) is als mitigerende maatregel drainage aangelegd (in 2014). Dit hoofdstuk zal ingaan op de invloed van het beekherstel op de grondwaterstanden in de directe nabijheid van de Astense Aa. Er zal eerst een theoretische uitleg gegeven worden over de te verwachten effecten bij een dergelijke ingreep om vervolgens de geobserveerde effecten toe te lichten.

5.1 Te verwachten effecten

5.1.1 De grondwaterstand

De grondwaterstand wordt bepaald door de meteorologie, de geologie, het watersysteem en eventuele onttrekkingen. De hoeveelheid neerslag en verdamping zorgen voor een daling of stijging in de grondwaterstand. Daarnaast wordt de grondwaterstand bepaald door drainage van nabij gelegen waterlopen, drainagebuizen en onttrekkingen. Een verandering in het watersysteem, bijvoorbeeld een gewijzigde oppervlaktewaterstand of de aanleg van drainage kan dus effect hebben op de grondwaterstand. Bij een stijging in de oppervlaktewaterstand, stijgt de grondwaterstand in een bepaalde mate mee (Figuur 13). Beekherstelprojecten kunnen een verandering in oppervlaktewaterstand als gevolg hebben, bijvoorbeeld door het weghalen van stuwen en het ophogen of verlagen van de bodem. Dit is ook in de Astense Aa het geval, zoals beschreven is in hoofdstuk 4.

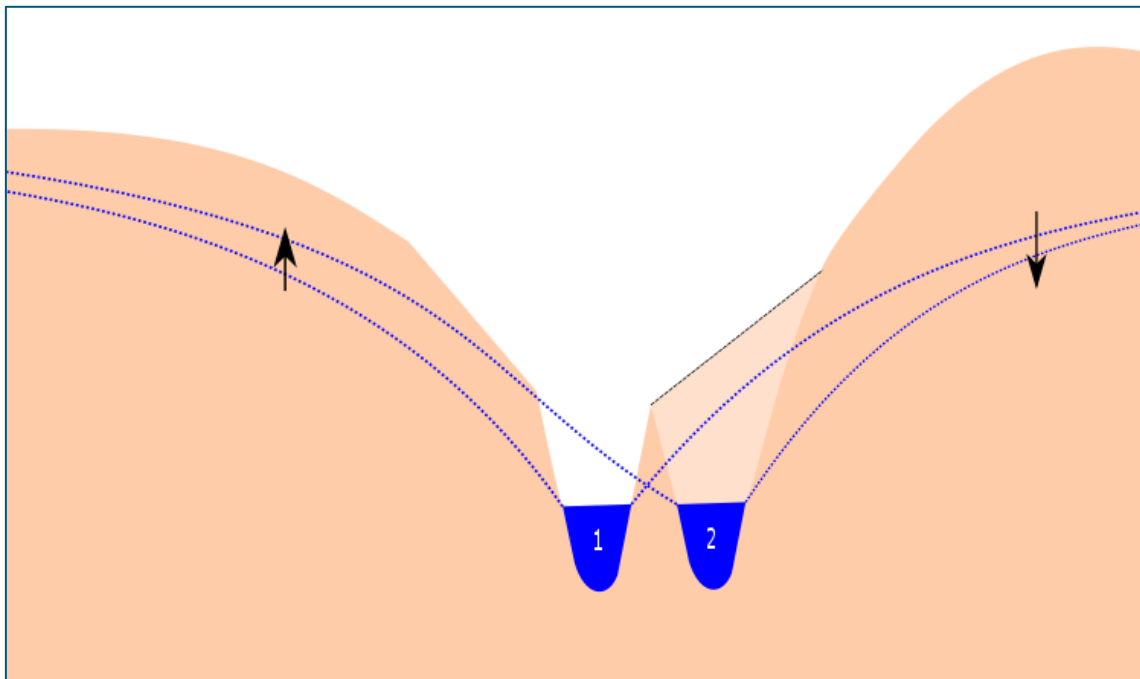
De Astense Aa is, geologisch gezien, gelegen in de Centrale Slenk. In de Centrale Slenk is het eerste watervoerende pakket vrij ondiep gelegen en wordt gevormd door de grofzandige sedimenten van de formatie van sterksel en beegden. Bovenop dit eerste watervoerende pakket bevindt zich de formatie van boxtel, ook wel bekend als de 'Brabantse leem'. Deze formatie bestaat uit afwisselend leem en fijnzandige sedimenten. Het leem zorgt er onder meer voor dat neerslag moeilijker infiltreert naar het watervoerend pakket en heeft daarmee dus invloed op de grondwaterstand.



Figuur 13: Schematische weergave van de invloed van oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand.

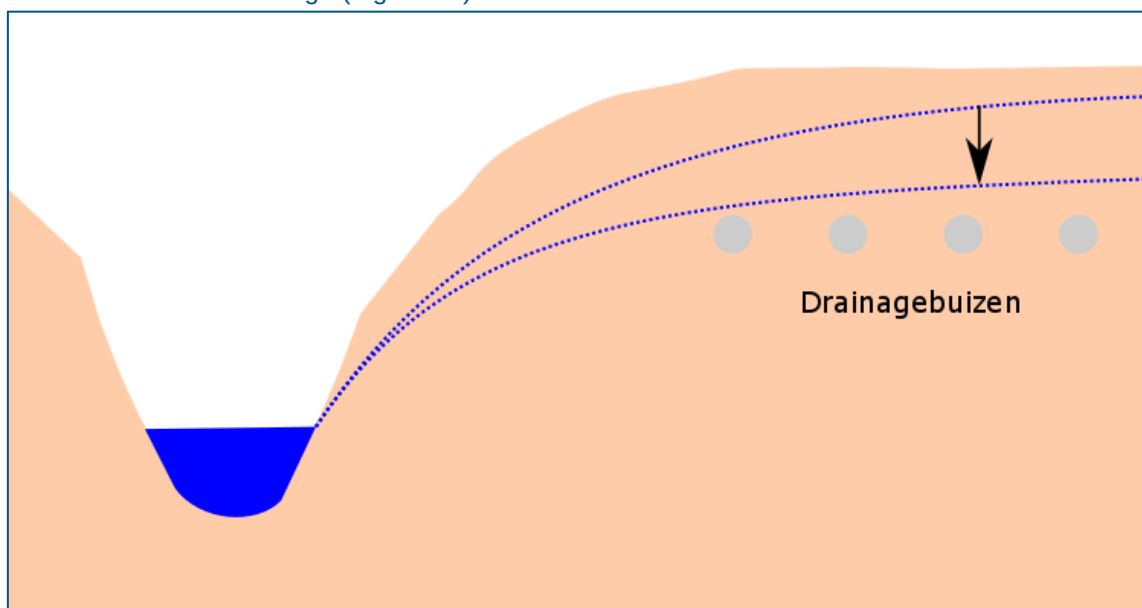
Het verplaatsen van een beek heeft eveneens invloed op de grondwaterstand. In Figuur 14 is de invloed van het verplaatsen van een beek op de grondwaterstand schematisch weergegeven. Als een beek wordt verplaatst van locatie 1 naar 2, daalt de grondwaterstand aan de kant waar de afstand tot de beek kleiner

is geworden. De grondwaterstand stijgt juist aan de kant waar de afstand tot de beek groter wordt na beekherstel. In Figuur 13 en Figuur 14 is tevens te zien dat de mate van invloed van oppervlaktewaterstand en de locatie van de beek op de grondwaterstand afneemt naarmate de afstand tot de beek groter wordt.



Figuur 14: Schematische weergave invloed ligging waterloop op grondwaterstand.

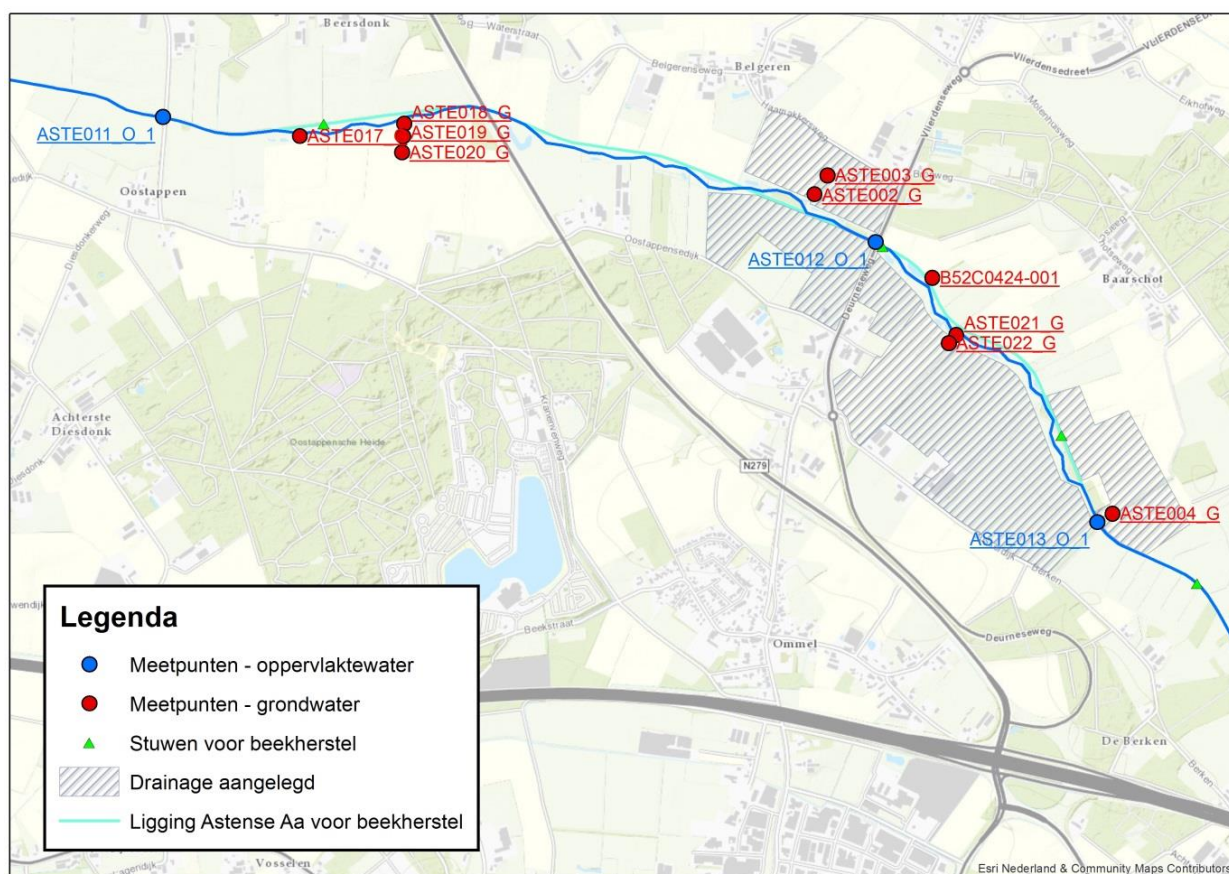
Daarnaast hebben mitigerende maatregelen invloed op de grondwaterstand, voorbeelden hiervan zijn het ophogen van de lagere delen of het draineren van percelen. Er grenzen verschillende percelen aan de Astense Aa waar drainage is aangelegd (Figuur 16). Het aanleggen van drainage heeft als gevolg dat de grondwaterstand wordt verlaagd (Figuur 15).



Figuur 15: Schematische weergave invloed drainage op grondwaterstand.

5.2 Meetgegevens

Er zijn verscheidene meetpunten ingericht om in beeld te brengen wat de effecten van het beekherstel zijn op zowel oppervlaktewaterstanden als grondwaterstanden (Figuur 16). Deze meetlocaties zijn gebruikt in de analyse, karakteristieken van de meetlocaties en de gebruikte methode zijn toegevoegd in bijlage A1.4 tot en met A1.6.



Figuur 16: Locaties meetpunten

5.3 Effect beekherstel op grondwaterstanden

Bij het analyseren van de invloed van beekherstel in de Astense Aa op de grondwaterstand is er onderscheid gemaakt tussen twee effecten welke afzonderlijk zullen worden behandeld:

- Gemiddeld effect beekherstel en drainage op de grondwaterstand
- Dynamiek

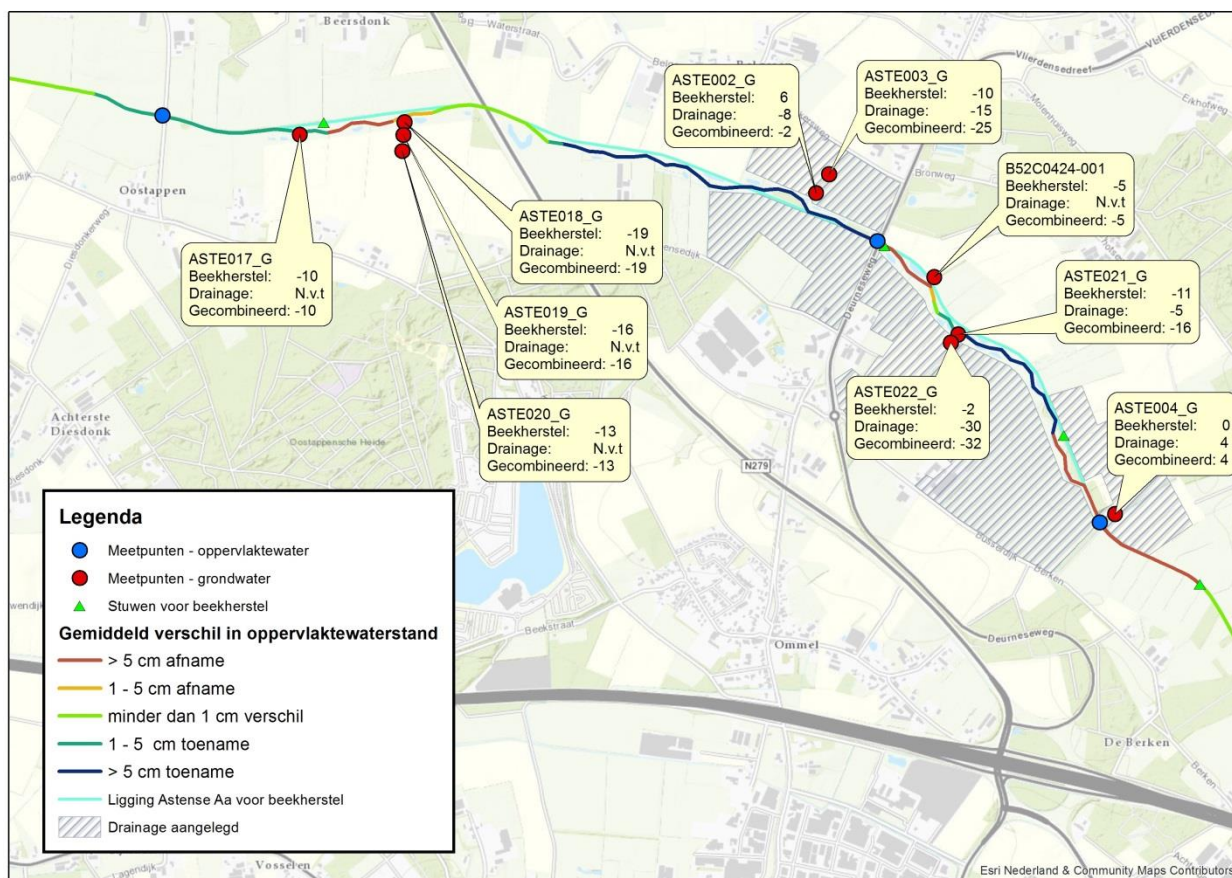
5.3.1 Gemiddeld effect beekherstel en drainage op de grondwaterstand

Het gemiddelde effect is bepaald door middel van een tijdreeksanalyse, de opzet hiervan en de gebruikte data is bijgevoegd als bijlage (A1.4). In dit hoofdstuk worden een aantal duidelijke voorbeelden van wijziging in de grondwaterstand verder geanalyseerd. De overige peilbuizen zijn ook geanalyseerd en toegevoegd als bijlage (A1.8), het gaat hier ook om peilbuizen welke een twijfelachtig resultaat geven zoals Aste002 en Aste003.

Resultaten

In Figuur 17 zijn de resultaten van de tijdreeksanalyse weergegeven per meetpunt waarbij onderscheid is gemaakt per meetpunt wat de wijziging is als gevolg van:

- Beekherstel
- Aanleg Drainage (voor zover relevant)
- Gecombineerd effect van beekherstel en de aanleg van drainage



Figuur 17: Grondwaterstanden als gevolg van beekherstel en het toepassen van drainage

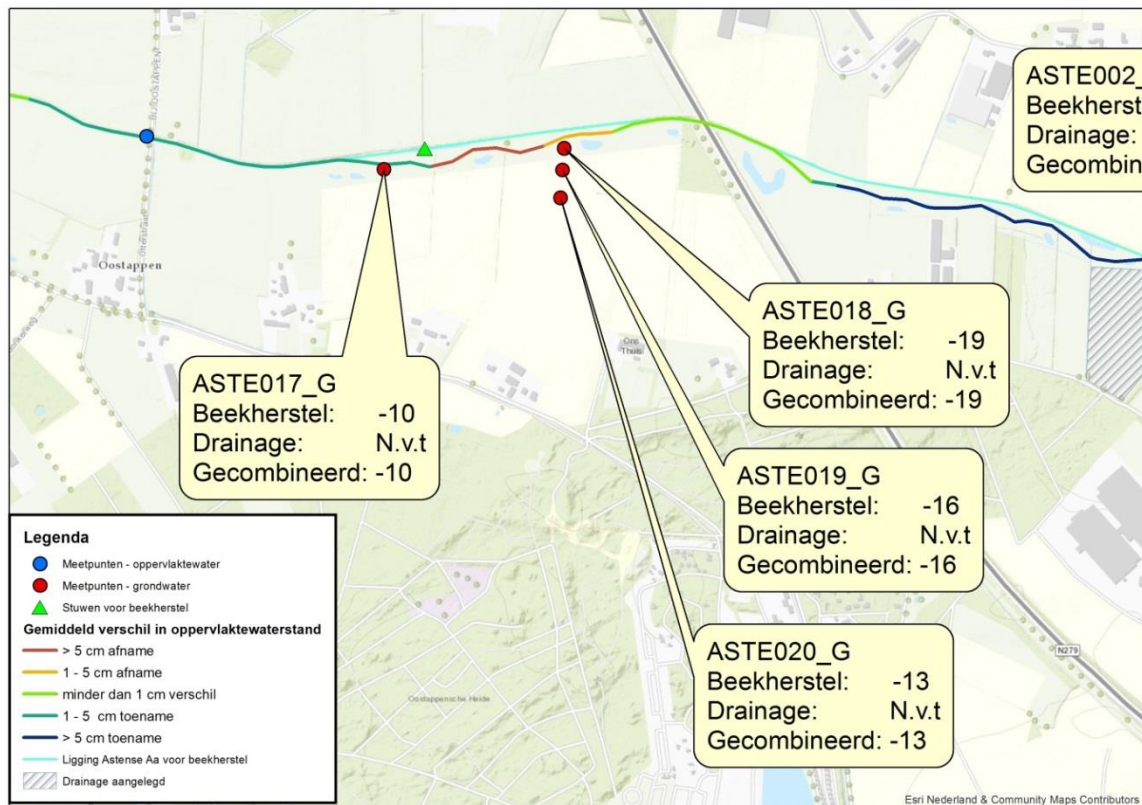
In Tabel 5-1 is weergegeven per meetpunt hoe de resultaten relateren aan wat verwacht kan worden op basis van de gewijzigde oppervlaktewaterstand en de gewijzigde ligging van de beek. De gemiddelde wijziging in oppervlaktewaterstand en de nieuwe en oude ligging van de beek zijn weergegeven in Figuur 17.

Tabel 5-1 Verwachting en resultaat van de verandering in grondwaterstand na beekherstel als gevolg van verandering in oppervlaktewaterpeil en ligging en drainage. Cursief zijn waarden weergegeven waarvan detijdreeksanalyses niet statistisch significant zijn.

Peilbuis	Verwachting		Effect na beekherstel	Effect na drainage
	Peil	Ligging		
ASTE004	Daling	N.v.t	0cm	+ 4cm
ASTE021	Stijging	Daling	-11cm	-5cm
ASTE022	Gelijk	Daling	-2cm	-30cm
B52C0424	Daling	N.v.t	-5cm	0cm
ASTE002	Stijging	N.v.t	+6cm	-8cm
ASTE003	Stijging	N.v.t	-10cm	-15cm
ASTE018	Daling	Daling	-19cm	N.v.t
ASTE019	Daling	Daling	-16cm	N.v.t
ASTE020	Daling	Daling	-13cm	N.v.t
ASTE017	Daling	daling	-10cm	N.v.t

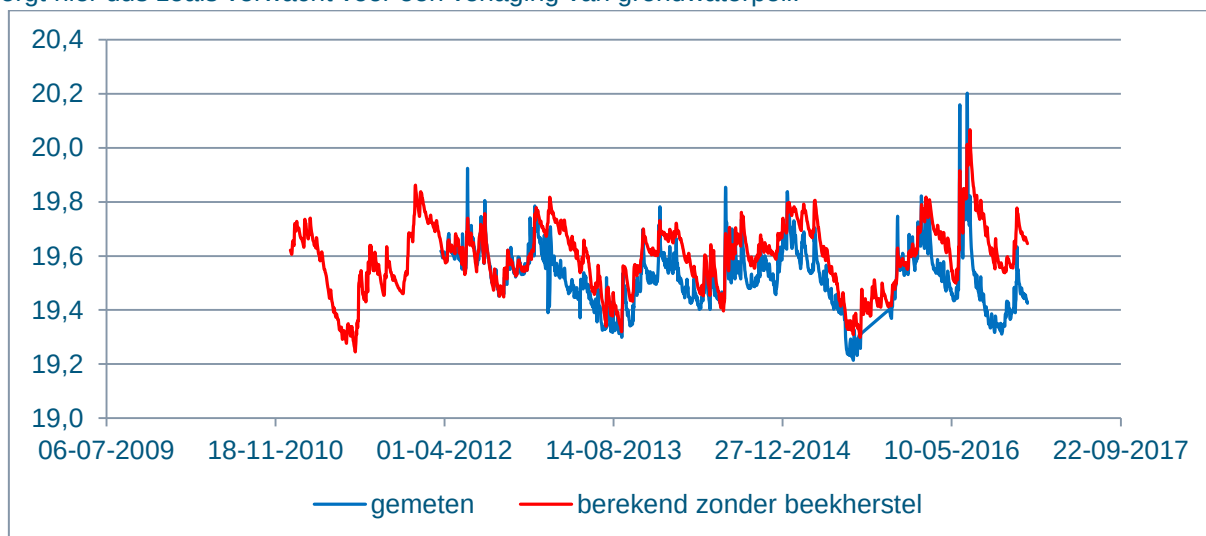
In de volgende paragrafen is telkens ingezoomd op verscheidene locaties en zullen de resultaten per locatie kort toegelicht worden. Er is ingezoomd op locaties die representatief zijn voor een specifiek onderdeel van beekherstel; verplaatsen, peilverandering en drainage.

Effect verplaatsen beek op grondwaterstand



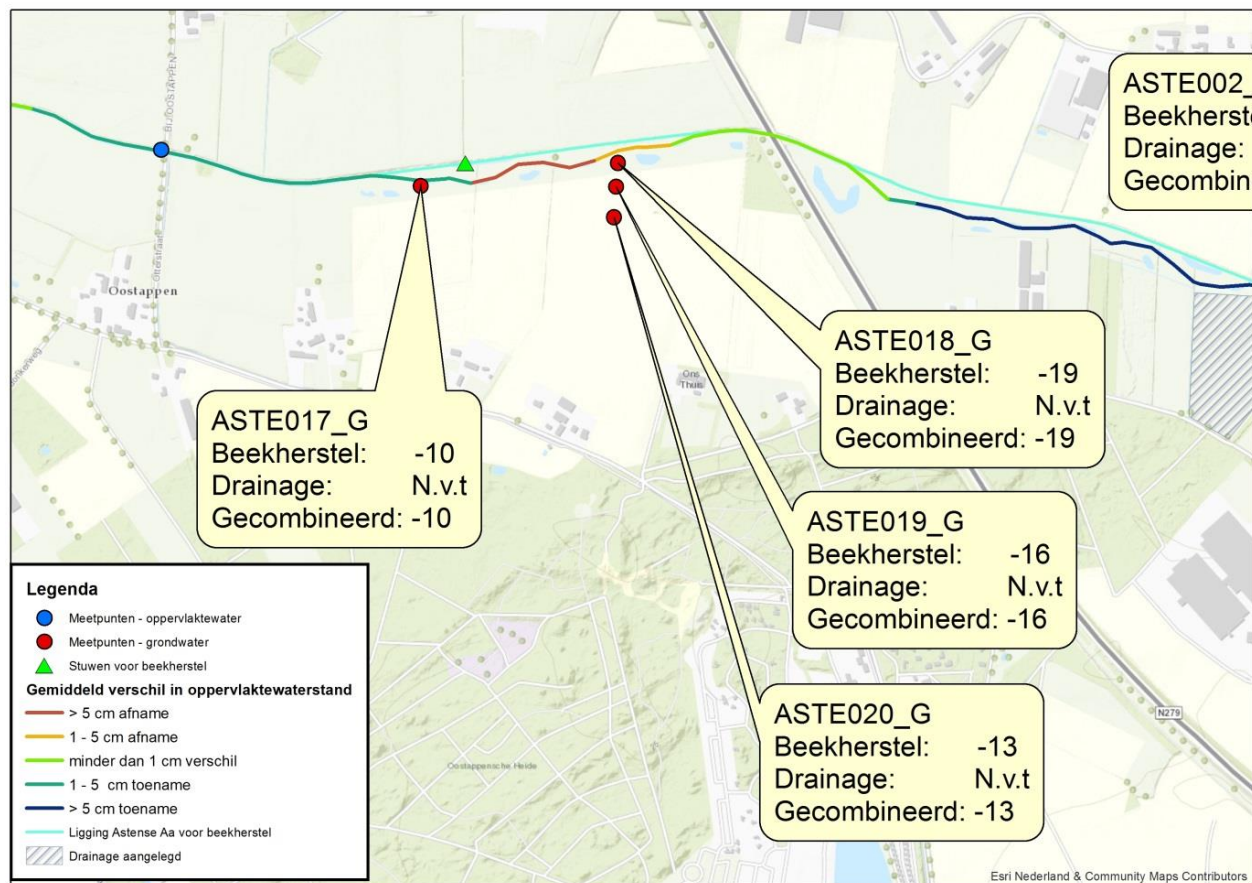
Figuur 18: Peilbuis ASTE017

Peilbuis ASTE017 bevindt zich op een perceel waar de beek dichtbij is komen te liggen na beekherstel en het oppervlaktewaterpeil nagenoeg gelijk is gebleven (Figuur 18). De verwachting die hieruit volgt is een daling in de grondwaterstand na het moment van beekherstel. Uit de tijdreeksanalyse blijkt dat de grondwaterstand in peilbuis ASTE017 na beekherstel lager is komen te liggen (Figuur 19). Het grondwaterpeil is met 10 cm gedaald door het verleggen van de beek. De verkleinde afstand tot de beek zorgt hier dus zoals verwacht voor een verlaging van grondwaterpeil.



Figuur 19: Gemeten grondwaterstand en berekende grondwaterstand als er geen beekherstel zou plaatsvinden in peilbuis ASTE017.

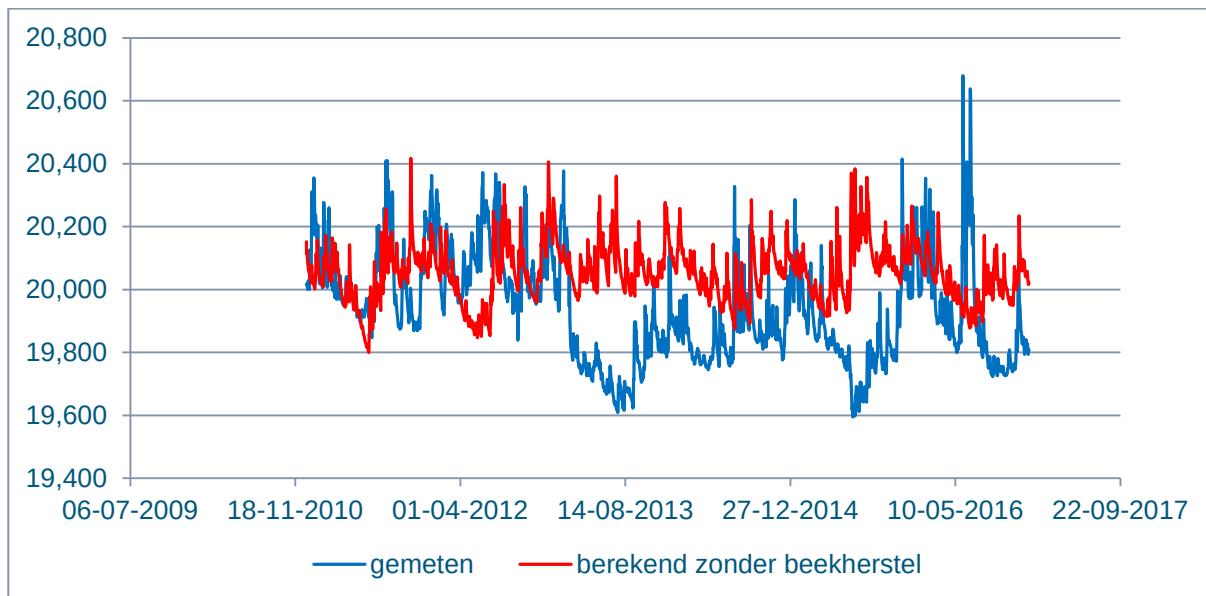
Effect verandering oppervlaktewaterpeil op grondwaterstand



Figuur 20: Peilbuizen ASTE018, ASTE019 en ASTE020.

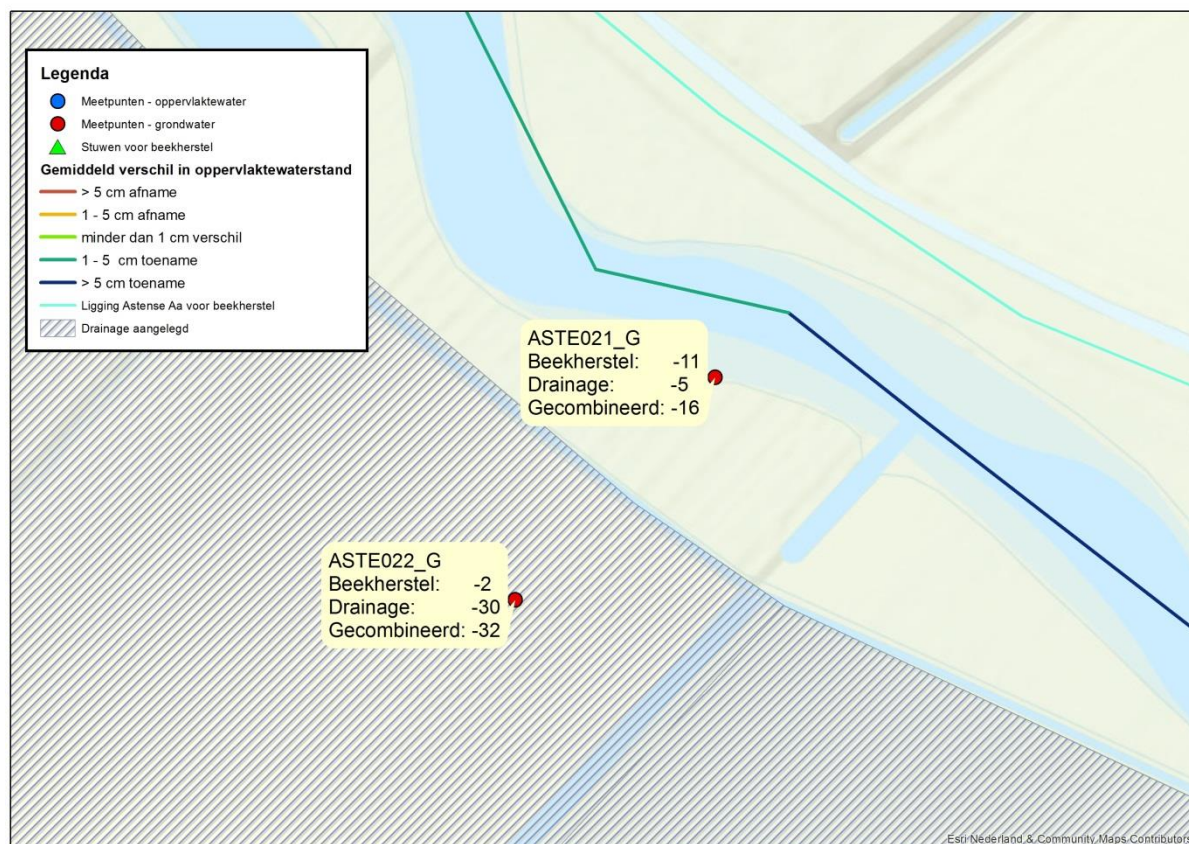
Peilbuizen ASTE018, ASTE019 en ASTE020 bevinden zich bovenstrooms van een voormalige stuw in de Astense Aa (Figuur 20). Na het verwijderen van de stuw is het oppervlaktewaterpeil gedaald. De ligging van de beek is tevens dichterbij de peilbuizen komen te liggen. De verwachting is dat de grondwaterstand sterk daalt als gevolg van deze ingrepen. Tevens is de verwachting dat de mate van daling kleiner wordt naarmate de peilbuizen verder van de beek af staan. Immers neemt de invloed van de beek op het grondwaterpeil af naarmate de afstand tot de beek groter wordt.

Uit de tijdreeksanalyse blijkt dat grondwaterstand inderdaad is gedaald als gevolg van beekherstel (Figuur 21). De daling in grondwaterstand in peilbuizen ASTE018, ASTE019 en ASTE020 bedraagt 19, 16 en 13 cm. De daling in grondwaterstand is groter in deze peilbuizen dan de daling in het voorbeeld met peilbuis ASTE017, waar alleen de ligging van de beek is veranderd. Dit geeft aan dat een verandering in het oppervlaktewaterpeil ook invloed heeft op de grondwaterstand in peilbuizen ASTE018, ASTE019 en ASTE020. Bovendien is terug te zien dat de mate van daling afneemt als de afstand tot de beek toeneemt.



Figuur 21: Gemeten grondwaterstand en berekende grondwaterstand als er geen beekherstel zou plaatsvinden in peilbuis ASTE018

Effect drainage op grondwaterstand



Figuur 22: Locatie peilbuis ASTE021 en ASTE022

Peilbuis ASTE022 bevindt zich in een perceel waar drainage wordt toegepast, peilbuis ASTE021 bevindt zich dicht bij dit perceel maar staat in het beekdal (Figuur 22). Het oppervlaktewaterpeil in de Astense Aa nabij deze peilbuizen is gemiddeld weinig veranderd als gevolg van het beekherstel. Verder is de beek dichter bij de peilbuizen komen te liggen. De verwachting is dat er op deze locatie een daling te zien is in de grondwaterstand als gevolg van beekherstel en vervolgens een extra daling na het toepassen van drainage.

Uit de tijdreeksanalyse blijkt dat de grondwaterstand in 11 cm is gedaald in peilbuis ASTE021 en 2 cm in peilbuis ASTE022. De daling in peilbuis ASTE021 is redelijk groot omdat deze in het beekdal staat, waardoor de invloed van het oppervlaktewaterpeil groot is. Vervolgens daalt de grondwaterstand met 5 en 30 cm in peilbuizen ASTE021 en ASTE022 na het aanleggen van drainage. Het toepassen van drainage heeft dus een grote invloed op de grondwaterstand in het perceel. Verder valt op dat het draineren van het perceel leidt tot een daling van de grondwaterstand in het beekdal. De drainage van het perceel heeft dus ook invloed op de grondwaterstand buiten het gedraineerde perceel, al is deze invloed wel veel kleiner buiten het perceel dan binnen het perceel.

5.3.2 Waterstandsdynamiek

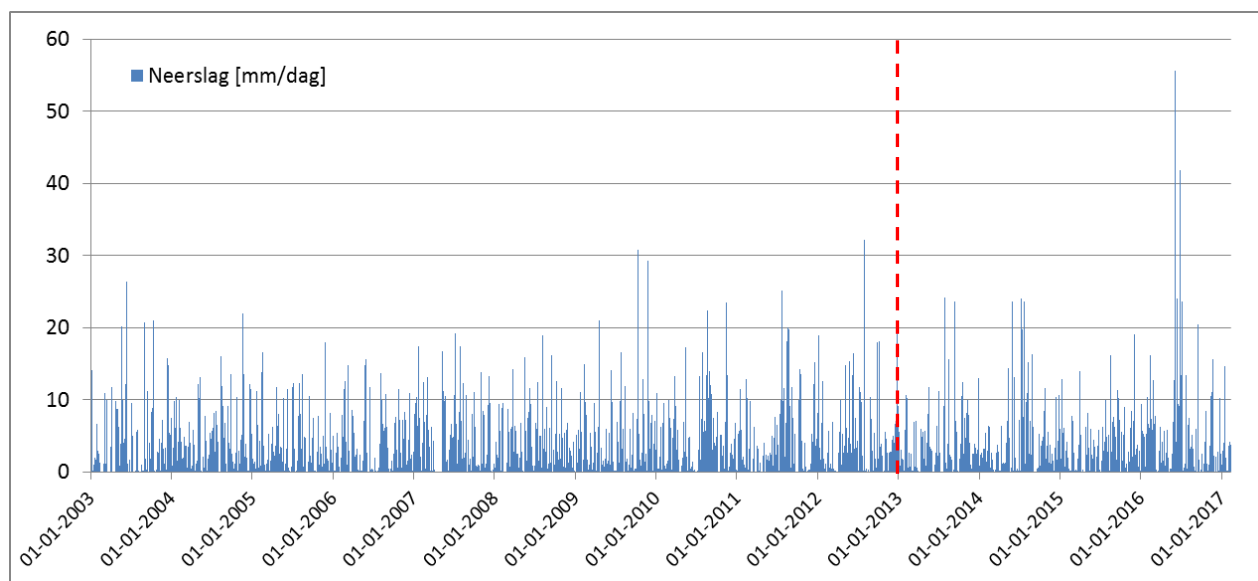
Vanuit de omgeving heerst er het idee dat het peil in de Astense Aa sinds beekherstel meer en sneller fluctueert. Gezien de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater heerst er de vraag of deze fluctuatie ook te zien is in het grondwaterpeil. Deze paragraaf zal verder ingaan op de vermeende toename in fluctuatie van het oppervlaktewaterpeil en de eventuele doorvertaling daarvan in het grondwaterpeil.

De mate waarin de oppervlaktewaterstand wijzigt als gevolg van de gewijzigde afvoer hangt af van de inrichting van de beek (profiel, ruwheid, verhang). Deze inrichting is ingrijpend gewijzigd en het is dus ook te verwachten dat de dynamiek in de oppervlaktewaterstand in meer of mindere mate is gewijzigd. Door de wijziging van een rechthoekig profiel naar een accoladeprofiel is de relatie tussen waterstand en afvoer namelijk niet meer lineair. Wanneer de afvoer enkel door het zomerbed stroomt, zal het peil sterker reageren op een verandering in afvoer, wanneer de afvoer door zowel het winterbed als het zomerbed stroomt, zal het peil juist minder sterk reageren op veranderingen in de afvoer.

Het is mogelijk dat het oppervlaktewater meer fluctueert door een verandering in neerslag frequentie en intensiteit. In de vier jaar na beekherstel is er gemiddeld vaker sprake geweest van hevige neerslag dan in de tien jaar voor beekherstel, zie ook Tabel 2 en Figuur 23. Na beekherstel is het aantal intense buien (>20mm/dag) gemiddeld verdubbeld. Het aantal zeer extreme buien (>25mm/dag) is gemiddeld niet toegenomen. Het is dus mogelijk dat het oppervlaktewater peil meer fluctueert na beekherstel omdat er meer intense buien hebben plaatsgevonden, wat zichtbaar is in het veld.

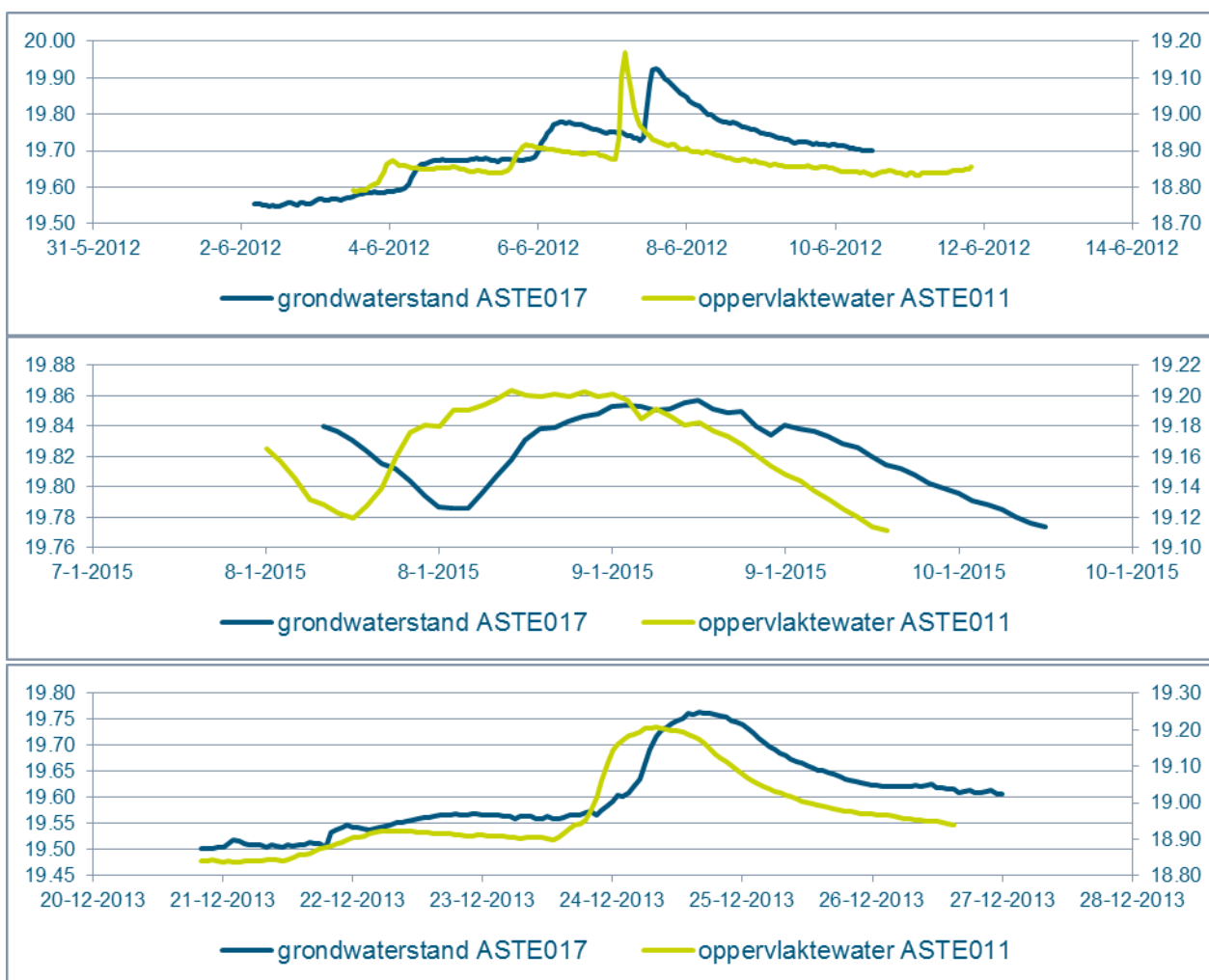
Tabel 2: statistieken extreme neerslag afgelopen 14 jaar.

	Voor beekherstel (2003-2013)	Na beekherstel (2013-2017)
Aantal buien > 20 mm/dag	13	11
Aantal buien > 20 mm/dag gemiddeld per jaar	1,3	2,75
Aantal buien > 25 mm/dag	5	2
Aantal buien > 25 mm/dag gemiddeld per jaar	0,5	0,5



Figuur 23: Overzicht neerslag in mm/dag afgelopen 14 jaar.

Neerslag kan het oppervlaktewater peil beïnvloeden op verschillende manieren; direct, via het maaiveld of via het grondwater. Doorgaans bereikt neerslag de beek via het grondwater. Bij de extreme neerslaggebeurtenissen stijgt het oppervlaktewater peil echter sneller dan het grondwater peil, omdat de neerslag over het maaiveld richting de beek stroomt. Een stijging in oppervlaktewater kan daardoor ook leiden tot een stijging in grondwater. Er is dus een sterke wisselwerking tussen oppervlakte- en grondwater. In Figuur 24 zijn enkele voorbeelden gegeven van de relatie tussen de oppervlakte- en grondwaterstand in de Astense Aa. Het grondwater reageert langzamer op neerslag dan het oppervlaktewater, er is een duidelijke relatie zichtbaar. Daarnaast lijkt het grondwater niet sneller te reageren op neerslag sinds beekherstel, de vertraging tussen grondwater en oppervlaktewaterpeil stijging blijft gelijk.



Figuur 24: Voorbeelden van de sterke relatie tussen grondwater en oppervlaktewater in stroomgebied Astense Aa.

Er is ook gekeken naar de absolute fluctuatie om te kijken of het peil nu wel of niet meer fluctueert sinds beekherstel. Om deze analyse uit te kunnen voeren dient fluctuatie gedefinieerd te worden. In dit geval is er sprake van fluctuatie in het peil wanneer het peil binnen een uur 4 of meer centimeter wijzigt. Deze grens kan ook hoger of lager worden ingesteld, dit is echter van zeer geringe invloed op de resultaten. De analyse is uitgevoerd op alle grondwaterpeilbuizen en alle oppervlaktewaterpeil metingen, zowel binnen als buiten het gebied waar beekherstel is uitgevoerd. Dit is gedaan zodat de weersinvloed er uit gefilterd kan worden, wanneer er buiten het gebied van beekherstel ook een trend te zien is, kan er aangenomen worden dat deze door weersinvloeden ontstaat. De grens van beekherstel is steeds op 1 januari 2013

ingesteld. Er is steeds bepaald hoe vaak het peil 4 of meer centimeter stijgt of daalt en dit is vervolgens gedeeld over de lengte van de dataset om een gemiddelde te verkrijgen. Het percentage geeft dus in zeker zin een mate van fluctuatie weer, hoe hoger het percentage hoe meer fluctuatie, de resultaten zijn weergegeven in Figuur 25. De peilbuizen buiten het gebied beekherstel staan niet onder invloed van beekherstel en dienen dus als referentie waarden. De peilbuizen binnen het gebied met beekherstel staan wel onder invloed van beekherstel.

Binnen gebied beekherstel				Buiten gebied beekherstel			
Buis Nr.	Meet Type	Voor [%]	Na [%]	Buis Nr.	Meet Type	Voor [%]	Na [%]
2	G	0.15	0.06	5	G	0.11	0.12
4	G	0.11	0.15	6	G	0.32	0.38
17	G	0.12	0.06	7	G	0.30	0.20
18	G	0.01	0.05	8	G	0.12	0.15
19	G	0.04	0.04	9	G	0.22	0.17
20	G	0.13	0.09	10	G	0.17	0.26
21	G	0.23	0.09		Gemiddeld	0.20	0.21
22	G	0.38	0.22	14	O	0.31	0.35
	Gemiddeld	0.15	0.10	16	O	0.09	0.11
11	O	0.21	0.08		Gemiddeld	0.20	0.23
12	O	0.26	0.20				
13	O	0.04	0.22				
	Gemiddeld	0.17	0.16				

Figuur 25: Verandering in waterstandsdynamiek binnen en buiten het gebied van beekherstel voor zowel (G)rondwater als (O)ppervlaktewater.

Buiten het beekherstel gebied zien we nauwelijks verandering in fluctuatie, na beekherstel lijkt er iets meer fluctuatie te zijn al is dit zeer gering. Deze minimale toename in fluctuatie is te wijden aan weersinvloeden. Binnen het invloed gebied van beekherstel valt op dat er wel veranderingen zijn, deze veranderingen verschillen echter sterk per locatie; soms is er een toename in fluctuatie en soms is er een afname. In het oppervlaktepeil zien we een afname in fluctuatie wanneer er bovenstrooms van het meetpunt een stuw is verwijderd (11 & 12) en een toename in fluctuatie wanneer er benedenstrooms van het meetpunt een stuw is verwijderd (13). Dit is logisch, gezien er een meer natuurlijke dynamiek ontstaat wanneer een stuw wordt verwijderd. In het grondwaterpeil zien we over het algemeen een afname in dynamiek, het peil lijkt minder te gaan fluctueren sinds beekherstel, drainage van de percelen heeft hier mogelijk aan bijgedragen. Uitzondering hierop zijn peilbuis 4 en 18, in beide gevallen is de beek dicht bij de peilbuis komen te liggen. Mogelijk zorgt dit dus voor een toename in dynamiek wanneer het oppervlaktepeil ook dynamischer wordt.

Over het algemeen valt er dus niet te zeggen dat het waterpeil door het beekherstel meer is gaan fluctueren, het grondwaterpeil lijkt zelfs stabiel te zijn geworden. Beekherstel heeft echter wel invloed op de dynamiek van het oppervlaktewaterpeil, dit krijgt namelijk een meer dynamisch karakter in vergelijking tot een systeem dat door stuwen wordt beïnvloed. Het terugbrengen van dynamiek is een van de doelen van het beekherstel, dit is dus een gewenst effect. Ondanks de toename in dynamiek in de beek lijkt het grondwaterpeil juist stabiel, mede door de aanleg van gestuurde drainage.

6 Conclusies en aanbevelingen

De maanden mei en juni in 2016 waren extreem nat. Met name in Oost-Brabant is veel regen gevallen waardoor in bepaalde delen wateroverlast ontstond. Dit heeft geleid tot schadeclaims die bij het waterschap zijn ingediend. In de Evaluatie 2016 Astense Aa is de toedracht van de wateroverlast in juni 2016 onderzocht. Uit deze evaluatie blijkt dat de begroeiing van het winterbed een grote invloed heeft gehad op de waterstanden tijdens de overlastperiode in juni 2016 en dat er hogere waterstanden zijn opgetreden dan voor beekherstel het geval was. In het rapport wordt niet ingegaan op de vraag of de opgetreden effecten bij piekafvoeren overeenkomen met de beoogde effecten van beekherstel, zoals opgenomen in het projectplan.

Vanwege de opgetreden waterhuishoudkundige verandering bij piekafvoeren na beekherstel, die mogelijk eerder leidt tot wateroverlast en schade dan voor beekherstel het geval was, zijn er aanknopingspunten aanwezig om een procedure nadeelcompensatie te doorlopen. Om inzicht te krijgen in de aard en omvang van de opgetreden effecten van beekherstel Astense Aa, ook onder reguliere (weers)omstandigheden, is dit onderzoek uitgevoerd.

Uit dit onderzoek blijkt dat het effect van beekherstel op zowel het grondwater als het oppervlaktewater lokaal sterk verschilt. Dit komt overeen met de verwachtingen uit het projectplan, door het verwijderen van stuwen wijzigt het systeem sterk. Wanneer er gekeken wordt naar de opgetreden effecten van het beekherstel kan er geconcludeerd worden dat er zowel overeenkomsten als verschillen zijn met de verwachte effecten. Over het algemeen geldt dat de effecten goed overeenkomen met het projectplan, er zijn echter ook een aantal verschillen. Om een goed overzicht te geven in het verschil tussen verwachtingen en opgetreden effecten is tabel (A1.1) opgesteld en bijgevoegd. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillende locaties en situaties binnen het beekherstel traject en de effecten die optreden.

In het huidige systeem liggen nog twee locaties (benedenstrooms van stuw 275C en bovenstrooms van stuw 275D) waar het water opgestuwd wordt tijdens hoogwater, deze opstuwing wordt bij 275C veroorzaakt door een relatief smal profiel. Bij stuw 275D wordt de opstuwing veroorzaakt door de overgang van het oude naar het nieuwe profiel. Indien op deze locaties wateroverlast een probleem is kan dit mogelijk worden opgelost door het doorstroom profiel te vergroten.

Onderhoud van de waterlopen speelt ook een grote rol in het effect van beekherstel. Het oppervlaktepeil staat sterk onder invloed van de doorstroombaarheid van de waterloop. Door het veranderen van de profielen en het aanleggen van meanders neemt de doorstroombaarheid af. Het onderhoud speelt hierin een grote rol, gezien het een grote invloed heeft op de doorstroming.

De invloed van beekherstel op het grondwaterpeil verschilt sterk per locatie maar is zeker aanwezig. Er zijn een aantal factoren die een rol spelen bij het effect; de verplaatsing van de waterloop, het wijzigen van het oppervlaktewaterpeil en de aanleg van drainage. Voor de Astense Aa kan er geconcludeerd worden dat het aanleggen van drainage over het algemeen een peil verlagend effect heeft. Waar de waterloop dichterbij is komen te liggen is het peil verlaagd, is de waterloop juist verder weg komen te liggen zien we een verhoging van het peil. Daarnaast zien we veranderingen in het oppervlaktewaterpeil in verminderde mate terug in het grondwaterpeil. Dit is echter sterk afhankelijk van hoe dicht bij de waterloop de locatie ligt.

De dynamiek in waterstand (zowel grond- als oppervlaktewater) is op basis van de geanalyseerde en beschikbare data niet significant veranderd sinds beekherstel. Door de complexe relatie tussen de twee is

het ook zeer lastig te bepalen of de grondwaterstand beïnvloed wordt door het oppervlaktewaterpeil of dat dit vooral de andere kant uit werkt.

In algemene zin wijken de opgetreden effecten niet sterk af van de verwachte effecten.

Bijlagen

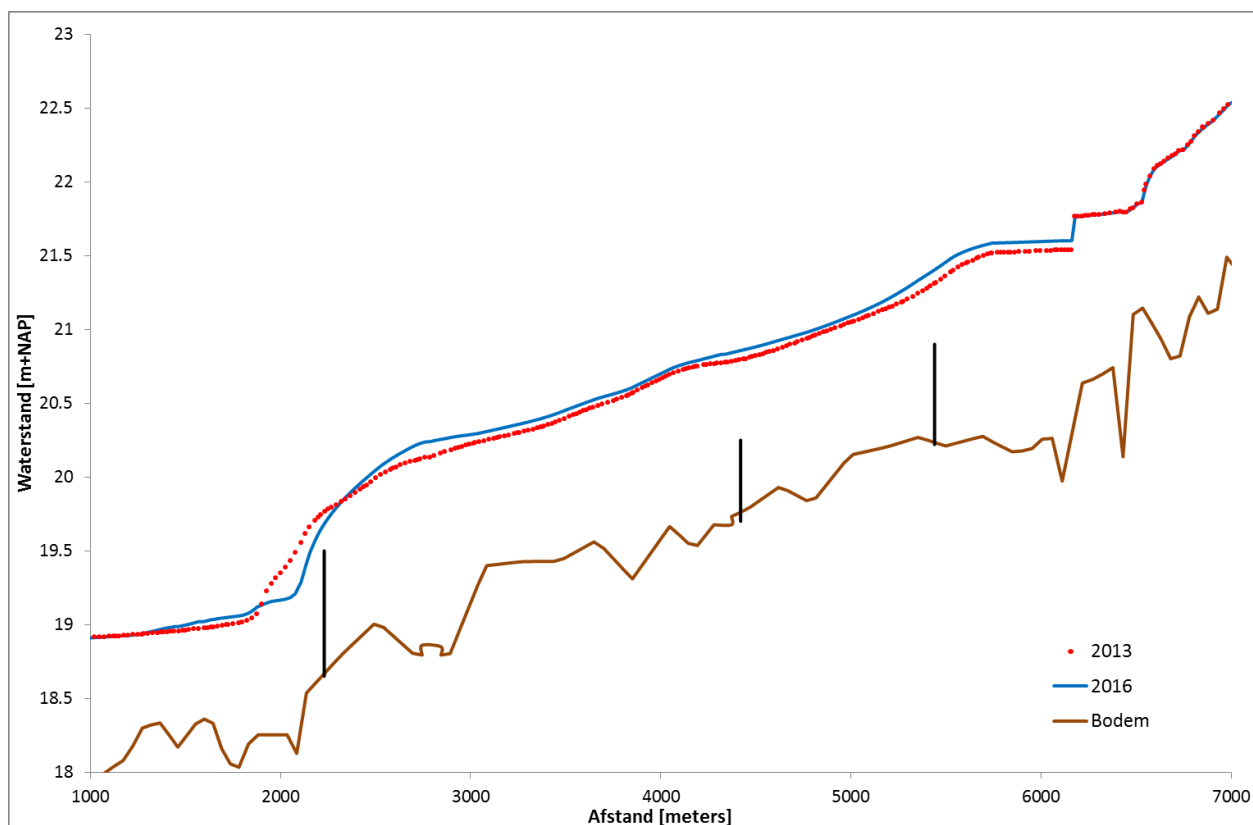
A1.1 Overzicht effecten

Situatie - Locatie	Verwacht effect	Opgetreden effect
Oppervlaktepeil – Zomer	Peil blijft gemiddeld gelijk, bovenstrooms stuwten afname, benedenstrooms stuwten toename.	Peil blijft gemiddeld ongeveer gelijk, bovenstrooms stuwten afname en benedenstrooms een toename. Bovenstrooms in het traject meer afname, benedenstrooms in het traject meer toename.
Oppervlaktepeil – Winter	Het oppervlakte peil neemt toe, benedenstrooms van stuwten zal het iets natter worden.	Oppervlaktepeil neemt bijna overal toe lokaal variërend van 5cm verlaging tot 40cm verhoging. Zoals voorspeld gemiddeld flink toegenomen, wederom benedenstrooms in het traject een sterkere toename dan bovenstrooms.
Oppervlaktepeil – T10	Het ontwerp zorgt niet voor inundaties bij een afvoersituatie die eens in de 10 jaar optreedt. Inundaties zullen vergelijkbaar zijn met de huidige situatie.	Het peil neemt toe tijdens een afvoersituatie die eens in de 10 jaar optreedt. Lokaal variërend van enkele centimeters tot maximaal 35 centimeter. De toename is in de meeste gevallen conform projectplan en alleen rondom stuw 275C ongeveer tien centimeter groter dan verwacht. Ondanks de toename lijken er geen nieuwe inundaties te ontstaan. De meest kritieke situatie ligt net bovenstrooms van de vistrap, hier kan net wel of net geen inundatie optreden.
Grondwaterpeil	Verandering in grondwater zullen beperkt zijn.	De verandering in grondwaterpeil verschilt sterk per locatie en is afhankelijk van 3 factoren; - Locatie ten opzichte van beek - Verandering in oppervlaktewaterpeil - Eventuele aanleg drainage Op sommige plekken stijgt het grondwaterpeil terwijl op andere locaties een sterke daling te zien is.

A1.2 Hydraulische modellering – Schematisatie en validatie

De hydraulische sommen die zijn gemaakt vormen een belangrijke basis voor dit rapport. Daarom wordt er in dit hoofdstuk extra aandacht besteed aan het gebruikte model en zal er in gegaan worden op de schematisatie en validatie hiervan.

Om de verschillende scenario's door te rekenen is er gebruik gemaakt van een SOBEK model. Dit model bevat 3 verschillende schematisaties; de vroegere situatie voor beekherstel (referentie), de situatie vlak na beekherstel (As-built 2013) en de situatie enkele jaren na aanleg (As-built 2016). Er is gekozen om te rekenen met de referentie en de As-built 2016 situatie gezien deze het meest recente beeld geeft. Deze keuze is gemaakt na een vergelijking van de model resultaten van het 2013 en 2016 model (Figuur 26). De verschillen tussen deze modellen zijn klein. Een opvallend verschil ligt rondom de aangelegde vistrap welke in deze modellen nog niet is opgenomen. Dit verschil is te wijden aan morfologische verandering, mogelijk deels veroorzaakt door de aanwezigheid van de vistrap. En aan een verschil in afvoer ten tijde van de metingen.



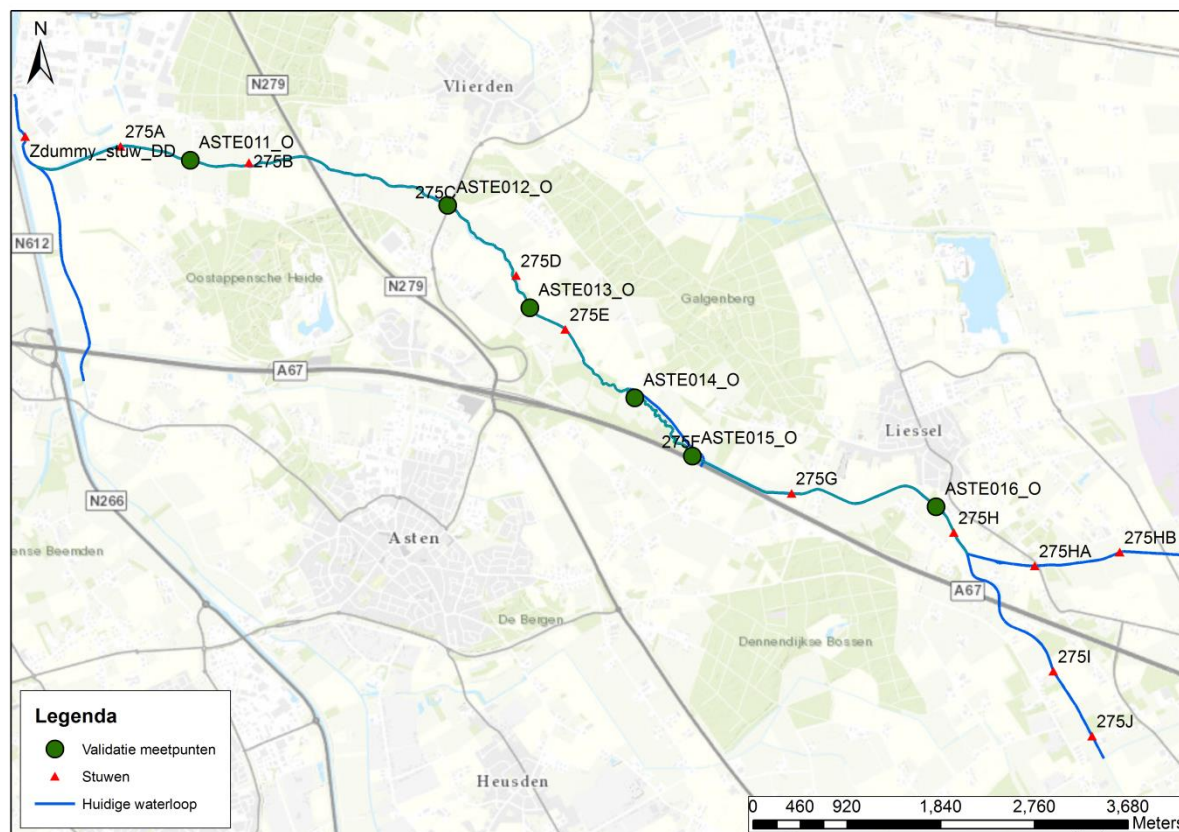
Figuur 26: Verschil in model resultaten voor de 2013 en 2016 schematisatie.

De modellen zijn in een voorgaande studie gebruikt om het hoogwater van juni 2016 door te rekenen en zijn in deze studie gevalideerd voor deze specifieke situatie. De modellen zullen in deze studie gebruikt worden om een dagelijkse situatie door te rekenen en dienen daarom opnieuw gevalideerd te worden voor deze situaties.

Om de model resultaten te valideren is er gebruik gemaakt van de ingemeten waterstanden van 2013 en 2016. Bij het inmeten van de profielen is op veel plaatsen ook de waterlijn ingemeten, dit resulteert in een lengteprofiel van de waterlijn. De focus heeft hierbij gelegen op de metingen van 2016 gezien deze het meest recent zijn en het model ook rekent met de profielen die op deze dag zijn ingemeten. De metingen

hebben plaatsgevonden rond 28-10-2016. De waterstand rond deze periode was relatief gezien laag. Door te kijken naar de overschrijdingskans op drie locaties in de Astense Aa en de waterstand op het moment van inmeten kan een inschatting gemaakt worden van de afvoer die door de Astense Aa heeft gestroomd gedurende het inmeten. Deze afvoer is met het model doorgerekend wat resulteert in een gemodelleerde waterlijn voor die specifieke situatie en zodanig kan er validatie plaatsvinden van het model.

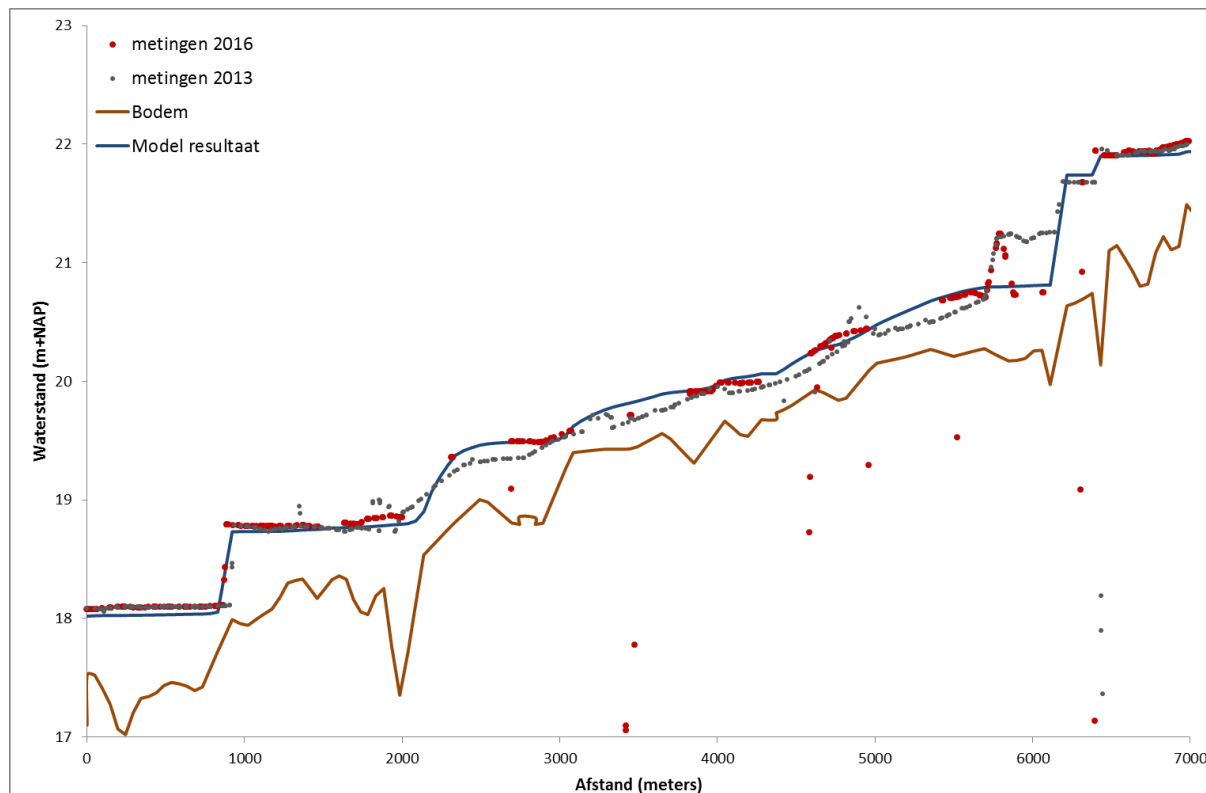
De overschrijdingskans is berekend voor de locatie; ASTE011_O, ASTE014_O en ASTE016_O (Figuur 27). Deze stations zijn ruimtelijk verdeeld over de waterloop en staan niet direct in het veranderde gebied zodat de overschrijdingskans onafhankelijk is van het uitgevoerde beekherstel. De overschrijdingskans grafieken zijn voor iedere locatie bijgevoegd als bijlage, de overschrijdingskans is gebaseerd op de beschikbare meetperiode (10-2009 t/m 03-2017). De waterstand van 28-10-2016 komt overeen met P80-P90 wat inhoudt dat gedurende 80-90% van de tijd deze waterstand wordt overschreden. De afvoer door het systeem is daarmee gelijk aan een (zeer) lage winterafvoer. Deze afvoer is met het model doorgerekend en het model is vervolgens hierop gekalibreerd.



Figuur 27: Validatie locaties Astense Aa

Onderstaande validatie voor de Astense Aa (Figuur 28) is gebaseerd op een model run waarbij de afvoer gelijk is gesteld aan de afvoer tijdens de metingen en is gerekend met een winterse ruwheid ($K_s = 25$). De metingen 2016 zijn genomen op 28-10-2016. Validatie van enkele stations laat hierin een waterstand zien die minder dan 5 cm afwijkt, het zijaanzicht toont aan dat het verloop van de waterstand correct is. Dit zorgt voor vertrouwen in het model en toont aan dat het model gebruikt kan worden voor het beoogde doel. De afwijking tot de metingen van 2013 is groter, dit komt doordat er in de tussentijd enige

morfologische verandering heeft plaatsgevonden en doordat de afvoer anders is geweest tijdens deze metingen. Deze verschillen zijn ook zichtbaar in de eerdere vergelijking tussen het 2013 en 2016 model.



Figuur 28: Model validatie Astense Aa, dagelijkse situaties.

De ruwheden en afvoeren die zijn doorgerekend met het model zijn gelijk aan die uit het projectplan om zo een nette vergelijking mogelijk te maken. De ruwheden representeren de huidige situatie goed. De gebruikte afvoeren en ruwheden zijn weergegeven in onderstaande tabel (Tabel 3).

Tabel 3: Doorgerekende ruwheden en afvoeren per scenario en schematisatie

Scenarios	As-built (huidig)		Referentie (vroeger)	
	Ks	Q	Ks	Q
Zomer	Ks = 20	Q = 0.25 m ³ /s	Ks = 25	Q = 0.25 m ³ /s
Winter	Ks = 25	Q = 0.70 m ³ /s	Ks = 33	Q = 0.70 m ³ /s
T10	Ks = 25	Q = 4.10 m ³ /s	Ks = 33	Q = 4.10 m ³ /s

Aan de hand van de gemeten waarden is ook de vistrap toegevoegd in het model doormiddel van een aanpassing van de ruwheid ter plaatse van de vistrap. De metingen laten een opstuwing bij de locatie van de vistrap zien. Figuur 30 laat het verschil zien tussen een model run met en zonder vistrap. De run met vistrap valt beter in lijn met de metingen wat aantoont dat de vistrap voor deze zomerse afvoer juist is gemodelleerd. De ruwheid van de vistrap is bepaald op 6 parameters welke gezamenlijk tot een nieuwe ruwheid leiden. Dit is gedaan volgens de methode van Chow (1959), zie ook Figuur 29. Hier is een ruwheid van 0.108 mannings n uit gekomen (Tabel 4), wat gelijk staat aan (Ks = 9) voor de zomer is dit verhoogd naar Ks = 8 door de toename in vegetatie. Tijdens de validatie periode zorgt de vistrap voor een opstuwing van ongeveer 10 centimeter en werkt door over een afstand van ongeveer 1000 meter.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

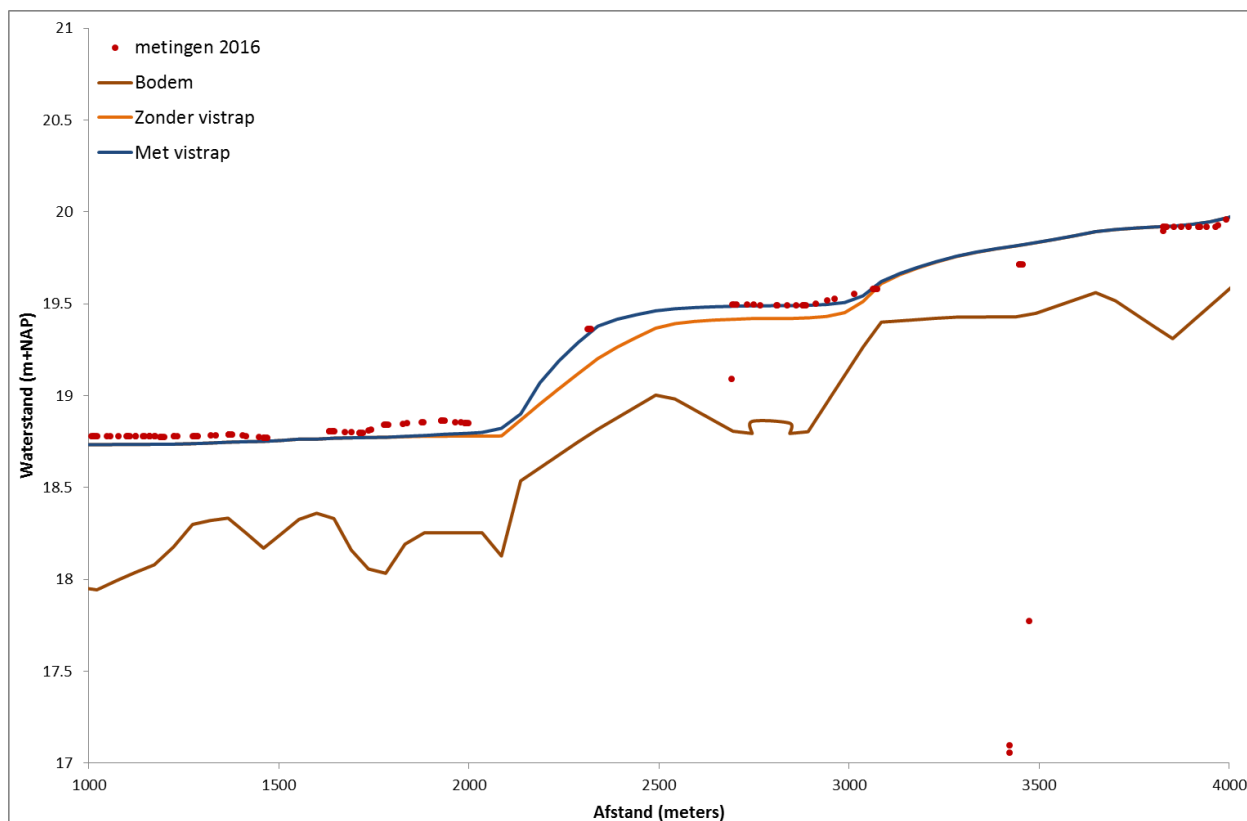
<u>Material, n₀</u>	<u>Degree of Irregularity, n₁</u>	<u>Variation of cross-section, n₂</u>
earth .020	smooth .000	gradual .000
rock .025	minor .005	alt. occasionally .005
fine gravel .024	moderate .010	alt. frequently .010-.015
coarse grav. .028	severe .020	

<u>Channel obstructions, n₃</u>	<u>Vegetation n₄</u>	<u>Degree of meandering, m₅</u>
negligible .000	low .005-.010	none 1.000
minor .010-.015	medium .010-.025	minor 1.000
appreciable .020-.030	high .025-.050	appreciable 1.150
severe .040-.060	v.high .050-.100	severe 1.300

Figuur 29: Gebruikte methode om ruwheid vistrap te bepalen.

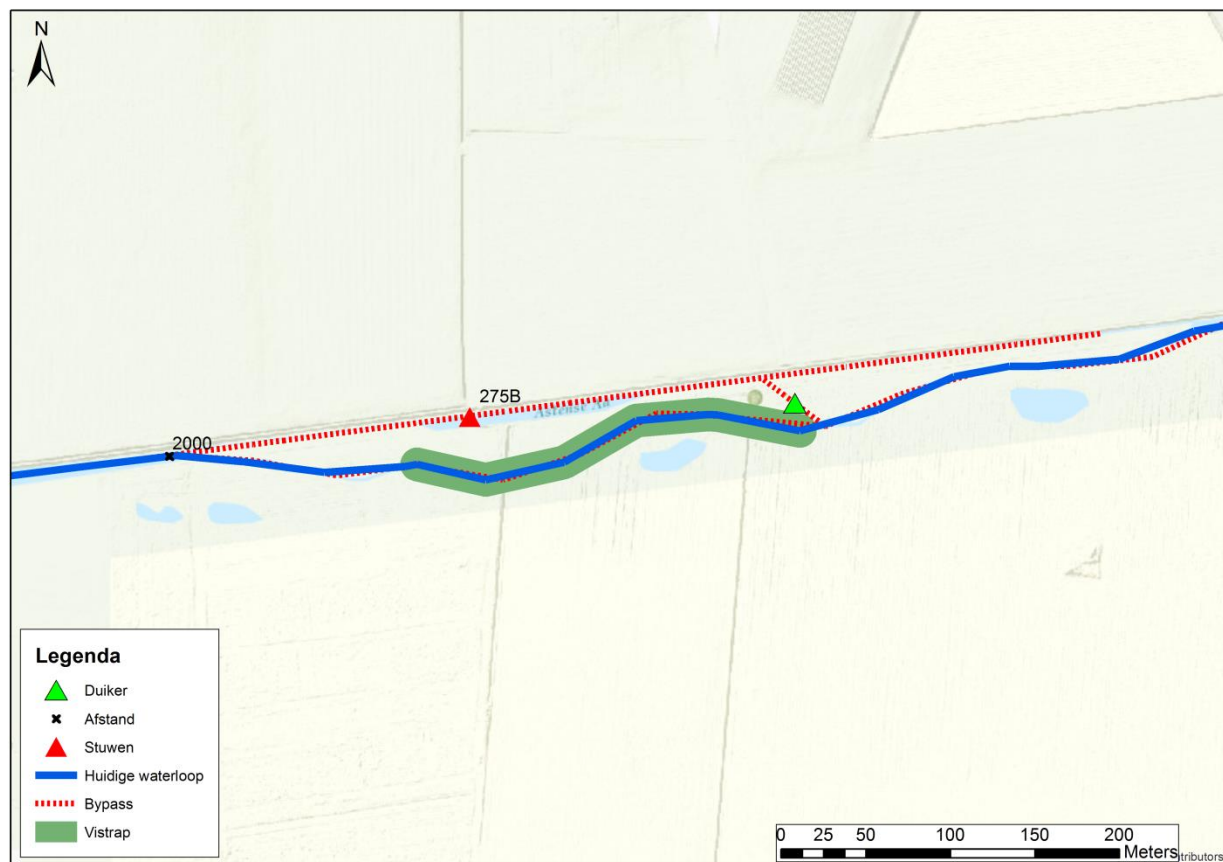
Tabel 4: Gebruikte ruwheid vistrap en opbouw van de ruwheidseenheden

Parameter	Invulling	Resultaat
n0	Coarse Gravel	0.028
n1	Moderate	0.010
n2	alt. Occasionally	0.005
n3	Severe	0.050
n4	Medium	0.015
m5	Minor	1.000
	Totaal (n)	0.108



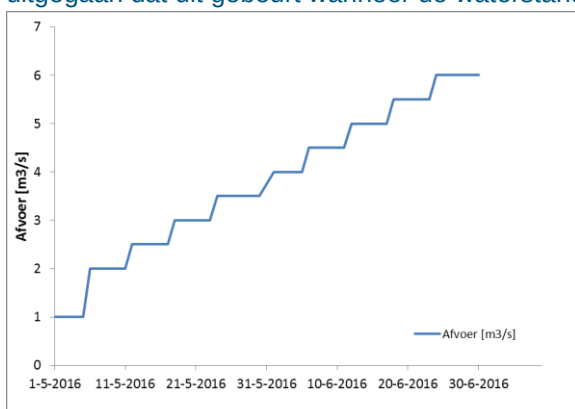
Figuur 30: Validatie modellering vistrap.

Om te bepalen of het aansluiten van de oude waterloop doormiddel van een duiker het opstuwende effect van de vistrap kan neutraliseren is deze optie geschematiseerd en doorerekend. De oude waterloop is hierbij benedenstrooms open aangetakt en bovenstrooms van de vistrap aangetakt doormiddel van een duiker (1500 mm rond). Dit is weergegeven in Figuur 31. Er is hierbij uitgegaan van het oude profiel en een verwijdering van de oude stuw 275B. Daarnaast is er uitgegaan van een zeer hoge ruwheid door het gedeeltelijk dichtgroeien van de waterloop, de ruwheid is gezet op $K_s = 10$ om een realistische doorstroming weer te geven.

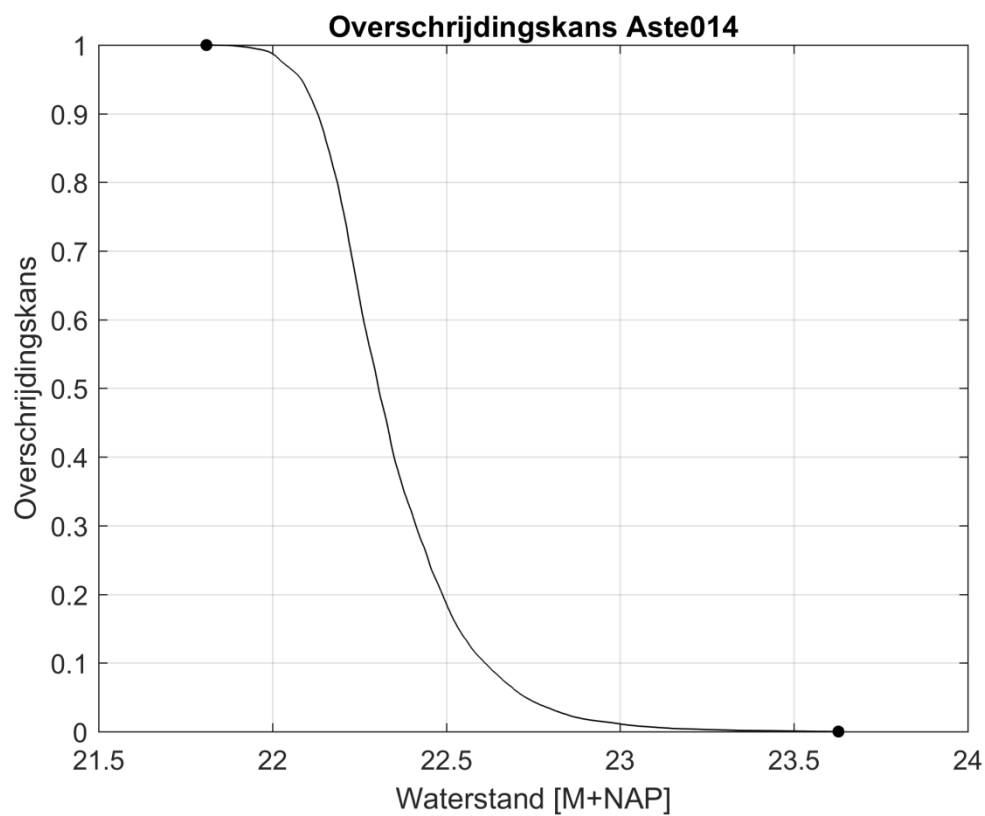
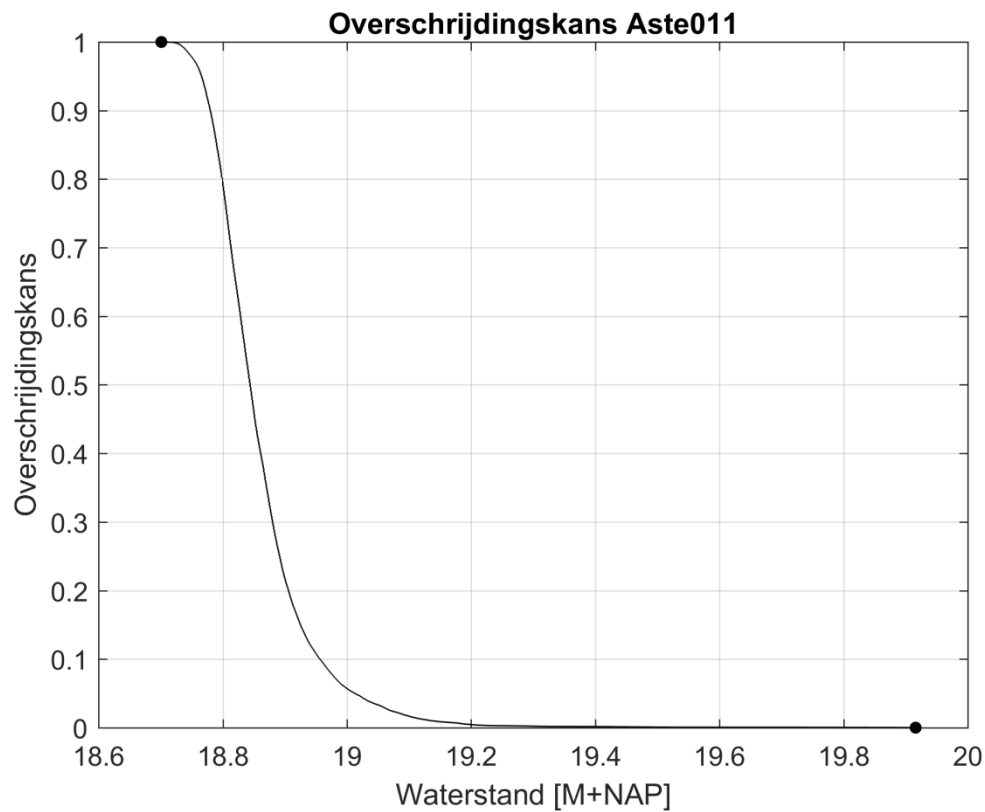


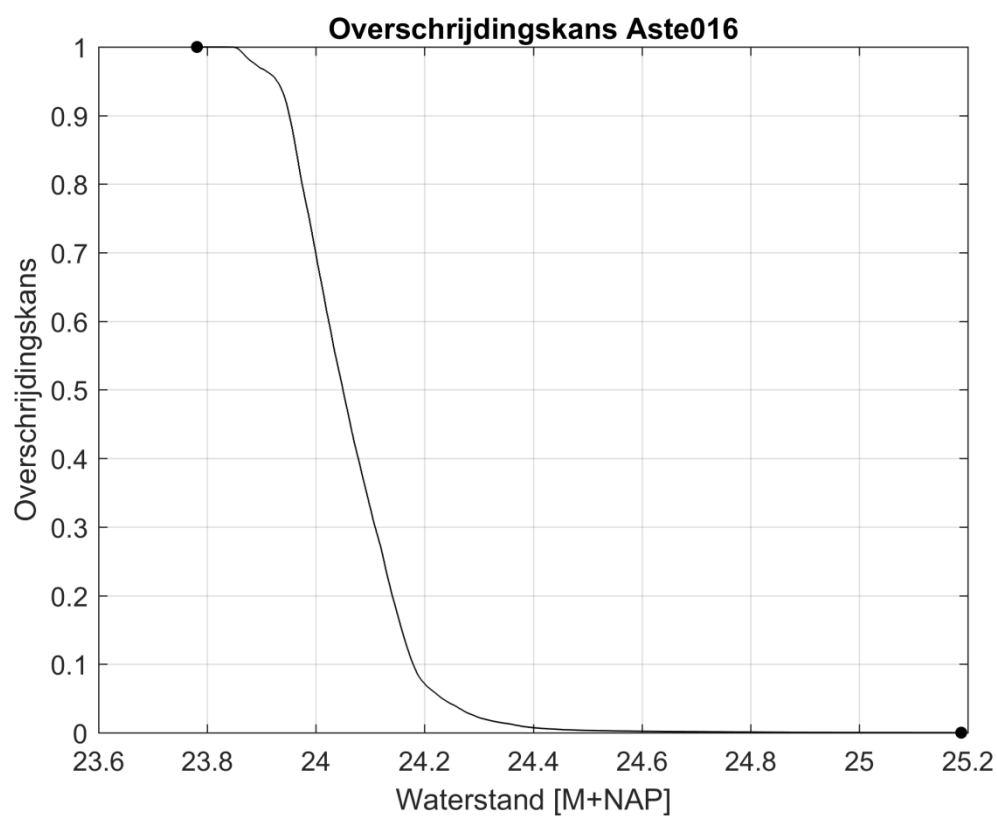
Figuur 31: Schematisatie bypass langs visstrap.

Om te bepalen wat de maximale doorstroming van de Astense Aa is en hoe dit zich verhoudt tot het onderhoud is er gekozen om scenario's door te rekenen met een getrapte afvoer (Figuur 32). Ieder scenario is hetzelfde met uitzondering van de ruwheid, deze varieert van Ks 15 (dicht begroeid) tot Ks 25 (goed onderhouden). Er is steeds gekeken bij welke afvoer er inundaties gaan optreden, er is hierbij uitgegaan dat dit gebeurt wanneer de waterstand hoger is dan de ingemeten oevers.

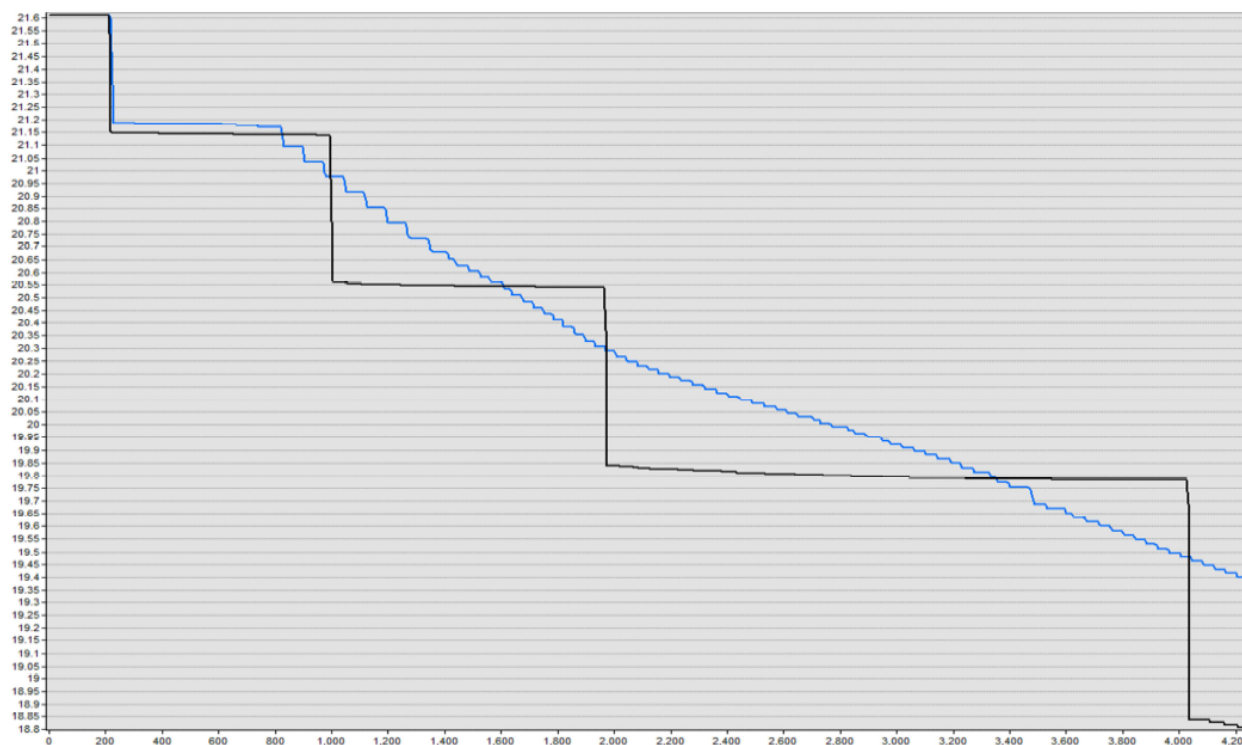


Figuur 32: Getrapte afvoer die is doorgerekend in het model.

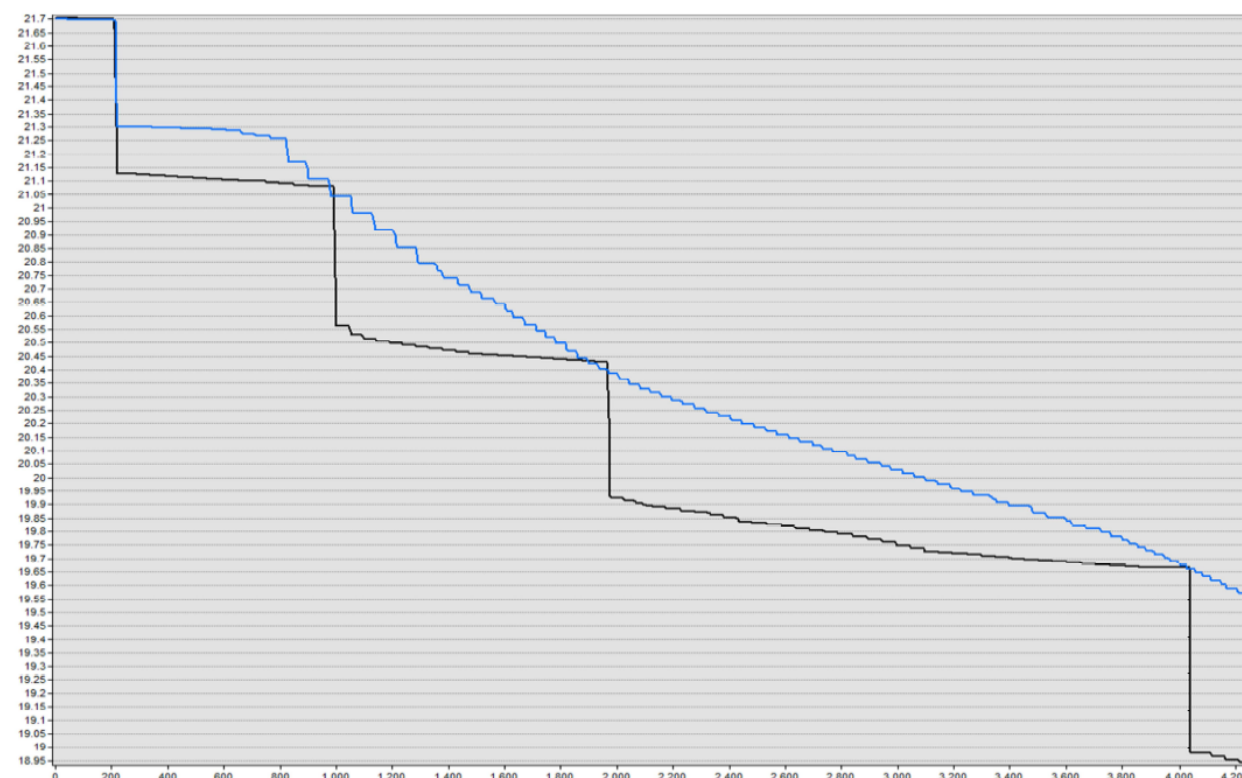




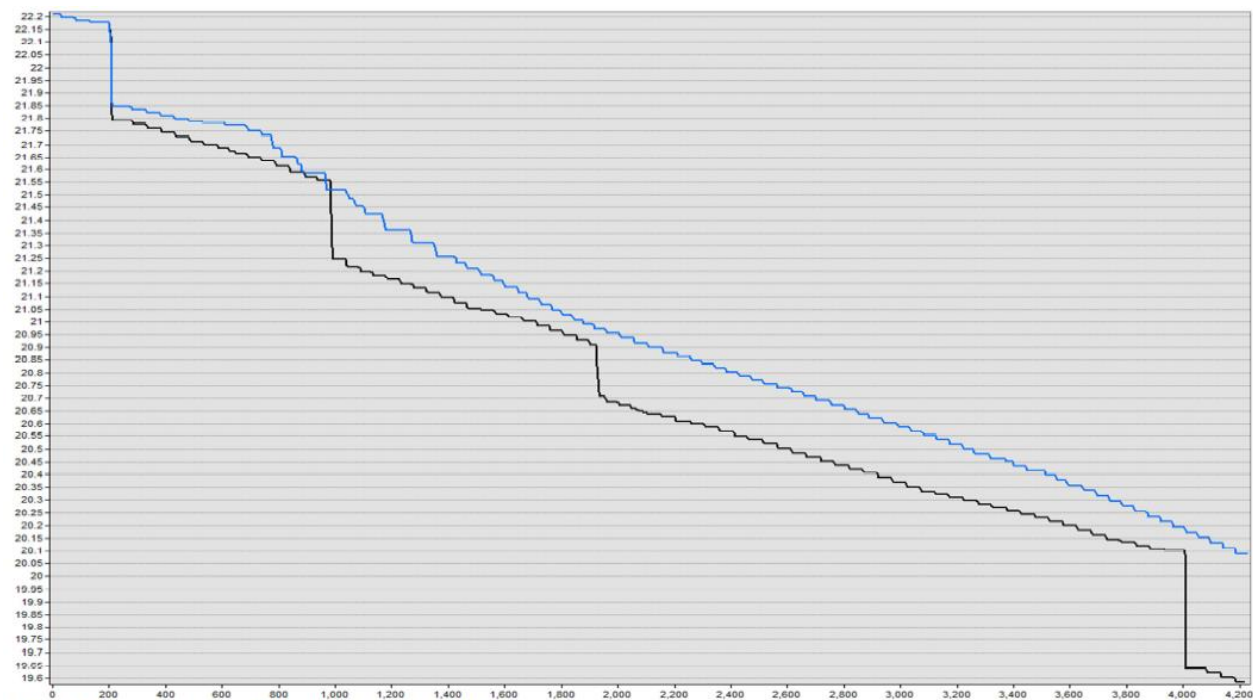
A1.3 Berekende waterstanden projectplan



Figuur B5.1: Peilen huidige situatie (zwart) en bij beekherstel (blauw) voor gemiddelde zomersituatie



Figuur B5.2: Peilen huidige situatie (zwart) en bij beekherstel (blauw) voor gemiddelde wintersituatie



Figuur B7.1: waterpeil vergelijkbaar bij afvoer van T=10

A1.4 Opzet tijdreeksanalyse grondwaterpeilen

De invloed van beekherstel en drainage op de grondwaterstand is na te gaan met behulp van tijdreeksanalyse. Met behulp van tijdreeksanalyse wordt voor iedere factor die invloed heeft op de grondwaterstand bepaald hoe groot deze invloed is. De grondwaterstand wordt voornamelijk bepaald door de meteorologische omstandigheden. In een tijdreeksanalyse is de afzonderlijke invloed van verschillende invloeden te bepalen en kan daardoor ook het effect van beekherstel en drainage onderscheiden worden.

Een tijdreeks is een serie (gemeten) waarnemingen in verloop van tijd die niet willekeurig is maar een bepaald patroon volgt, bijvoorbeeld de grondwaterstand. De analyse van de tijdreeks kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor het voorspellen van de toekomstige patronen aan de hand van de geanalyseerde patronen van de bestaande tijdreeks. De patronen in een tijdreeks worden bepaald door een of meer andere tijdreeksen als verklarende variabelen op te geven. In het geval van grondwaterstand zijn dit bijvoorbeeld neerslag, verdamping en het oppervlaktewaterpeil. Met de analyse van deze tijdreeksen kan dus de grootte van de invloed van een verklarende tijdreeks worden bepaald. De grootte van de daling of stijging in de grondwaterstand als gevolg van beekherstel, dus zonder meteorologische invloeden, kan worden bepaald met behulp van tijdreeksanalyses.

Het tijdreeksanalyse software pakket Menyanthes wordt ingezet om het effect van beekherstel op de grondwaterstand inzichtelijk te maken (versie 3.x.a.r). Hierbij worden de volgende gegevens ingezet:

Data	Station
Neerslag	KNMI neerslagstation Deurne
Verdamping	KNMI station Eindhoven
Oppervlaktewaterstanden	Meetgegevens van meetpunten ASTE011, ASTE012 en ASTE013

De neerslag- en verdampingsstations zijn gekozen op basis van nabijheid. De onttrekking van Brabant Water in Vlierden is niet opgenomen in de tijdreeksanalyse aangezien deze redelijk constant over de tijd is.

Het beekherstel is in de tijdreeksanalyse opgenomen door middel van een step trend op 1 januari 2013. Met het opnemen van een 'step trend', wordt een gebeurtenis toegevoegd aan de tijdreeks. De grondwaterstand maakt hierdoor een sprong zonder dat deze verklaard wordt door neerslag en verdamping. De grootte en richting van deze sprong is afhankelijk van de grondwaterstand voor en na de ingevoerde step trend. Hiermee kan de mate van invloed van beekherstel op de grondwaterstand worden bepaald.

Ook het effect van drainage is als step trend aan de tijdreeksanalyse toegevoegd nadat bleek bij verscheidene analyses dat dit nodig was om tot een betrouwbaar tijdreeksmodel te komen.

A1.5 Meetpunten en karakteristieken

Code	Type	X	Y	Start	Einde
Aste002_G	grondwater	180320	383076	04-12-2008	31-03-2017
Aste003_G	grondwater	180366	383143	04-12-2008	31-03-2017
Aste004_G	grondwater	181381	381939	04-12-2008	31-03-2017
Aste011_O	Oppervlaktewater	178001	383351	12-10-2009	31-03-2017
Aste012_O	Oppervlaktewater	180537	382906	12-10-2009	31-03-2017
Aste013_O	Oppervlaktewater	181326	381909	12-10-2009	31-03-2017
Aste017_G	Grondwater	178489	383283	21-12-2010	31-03-2017
Aste018_G	Grondwater	178860	383327	21-12-2010	31-03-2017
Aste019_G	Grondwater	178856	383282	21-12-2010	31-03-2017
Aste020_G	Grondwater	178852	383225	21-12-2010	31-03-2017
Aste021_G	Grondwater	180825	382576	19-05-2011	31-03-2017
Aste022_G	Grondwater	180798	382546	19-05—2011	31-03-2017
B52C0424	grondwater	180739	382779	18-12-2009	12-10-2016

A1.6 Stappenplan tijdreeksanalyse

Voor iedere peilbuis zijn verschillende tijdreeksanalyses uitgevoerd. De volgorde van de tijdreeksanalyses is hieronder weergegeven.

1. Tijdreeksanalyse van de meetreeks aan de hand van de verklarende reeksen neerslag (station Deurne) en verdamping (station Eindhoven), zonder de invloed van de beekherstelwerkzaamheden.
2. Tijdreeksanalyse van de meetreeks aan de hand van de verklarende reeksen neerslag (station Deurne), verdamping (station Eindhoven) en het oppervlaktewaterpeil (meetstations ASTE011, ASTE012 en ASTE013).
 - a. Het oppervlaktewaterpeil is toegevoegd als verklarende reeks, omdat deze na de beekherstelwerkzaamheden veranderd is vanwege het verwijderen van stuwen.
3. Tijdreeksanalyse van de meetreeks aan de hand van de verklarende reeksen neerslag (station Deurne) en verdamping (station Eindhoven), met toevoeging van een "step trend" op het moment van de beekherstelwerkzaamheden.
 - a. Met een step trend kan een gebeurtenis worden toegevoegd (bijvoorbeeld beekherstelwerkzaamheden), waardoor de gemiddelde grondwaterstand na dit moment hoger of lager komt te liggen. De invloed van neerslag en verdamping blijft gelijk voor en na het moment van de step trend.
4. Er wordt nagegaan of de peilbuis op een locatie ligt waar drainage wordt toegepast. Indien dit het geval is wordt een tijdreeksanalyse uitgevoerd van de meetreeks aan de hand van de verklarende reeksen neerslag (station Deurne) en verdamping (station Eindhoven), met toevoeging van een dubbele step trend op het moment van de beekherstelwerkzaamheden en toepassing van drainage.
5. Er wordt nagegaan of de grondwaterstand tijdens hoge periodes van grondwaterstand boven het maaiveld uitkomt. Als de grondwaterstand boven het maaiveld uitkomt wordt een non-lineaire tijdreeksanalyse uitgevoerd, omdat deze geen sinusfunctie volgt. Een non-lineaire tijdreeksanalyse kan niet worden gecombineerd met een step trend.

Bij de tijdreeksanalyse is gekeken of de beekherstelwerkzaamheden invloed hebben op de grondwaterstand. Als de grondwaterstand beter verklaard kan worden met een tijdreeksanalyse waarbij rekening is gehouden met het oppervlaktewaterpeil, een step trend, een dubbele step trend, kan worden aangenomen dat de gemiddelde grondwaterstand veranderd is na de beekherstelwerkzaamheden. De grootte van het gemiddelde verschil kan eveneens uit de tijdreeksanalyse worden gehaald.

A1.7 Voorwaarden tijdreeksanalyse

Voor elke peilbuis zijn bovenbeschreven stappen uitgevoerd en er is steeds gekeken of een goed resultaat is bereikt. Een tijdreeksanalyseresultaat wordt als goed beschouwd indien ze voldoet aan de volgende voorwaarden:

- De verklarende variantie is groter dan 70%.

Deze verklarende variantie is een maat voor hoe goed de met de tijdreeksanalyse gesimuleerde reeks aansluit bij de werkelijke metingen.

- De gain (M0) is voor elke hydrologische randvoorwaarde statisch significant.

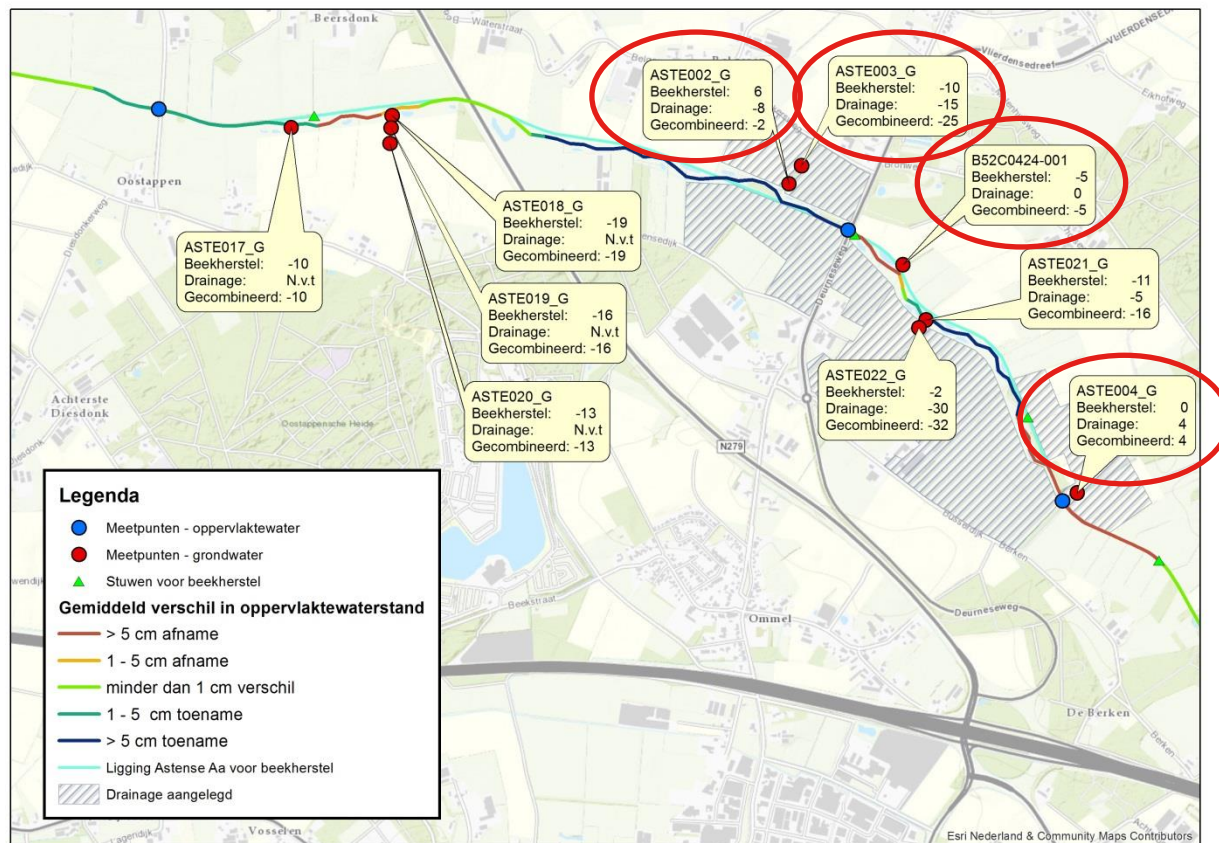
De gain (evenwichtsrelatie) is gegeven voor elke verklarende reeks en is de maat die aangeeft wat het effect van de verklarende reeks is als deze constant in de tijd de waarde +1 heeft.

Met andere woorden wat het effect is van een constante hoeveelheid neerslag. De gain is statisch significant als $|M0|$ groter is dan tweemaal zijn standaarddeviatie. Dit wil zeggen dat het 95% betrouwbaarheidsinterval in zijn geheel hetzelfde teken (zowel positief als negatief) heeft als de gain. Zo kan het effect met ten minste 95% betrouwbaarheid worden vastgesteld en kan met ten minste 95% betrouwbaarheid gezegd worden of het effect positief dan wel negatief is.

- De verdampingsfactor moet een hydrologisch plausibele waarde geven.

De verklarende reeks van verdamping is de referentieverdamping voor gras. Indien de omgeving rondom de peilbuis voornamelijk uit grasland bestaat dan zal de verdampingsfactor 1 moeten zijn. Andere gewastypen verdampen meer of minder dan gras, waardoor de grootte van de verdampingsfactor dus afhangt van het landgebruik in de omgeving van de peilbuis. Een verdampingsfactor groter dan twee of kleiner dan nul is hydrologisch niet plausibel.

A1.8 Overige peilbuizen



ASTE004

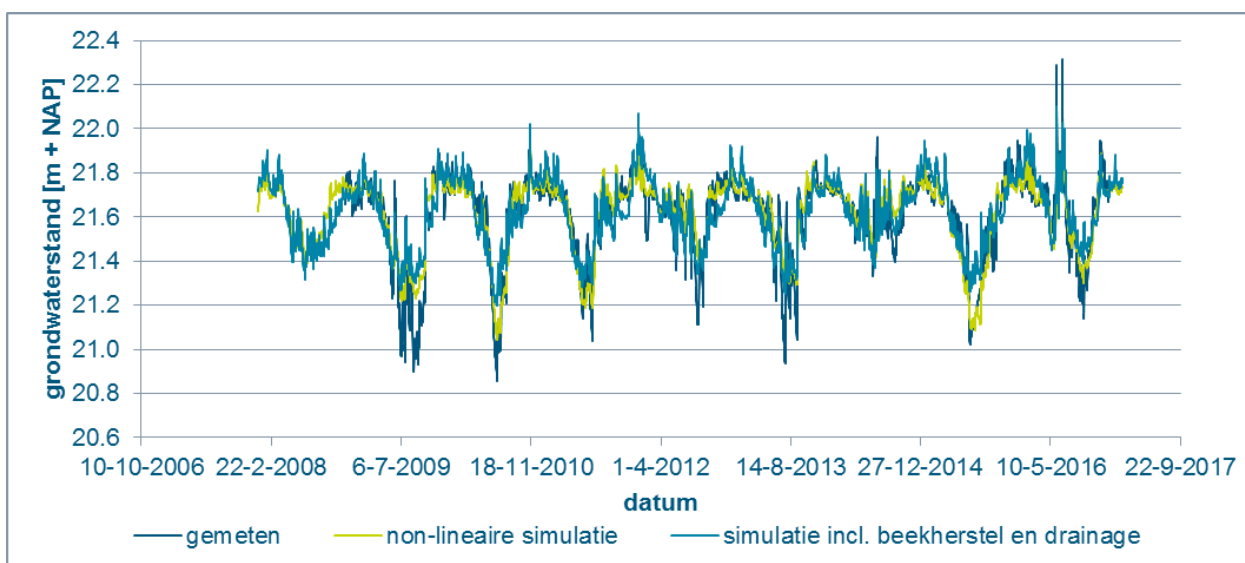
Peilbuis ASTE004 bevindt zich in een perceel waar drainage wordt toegepast. De ligging van de beek nabij de peilbuis is tijdens het beekherstelproject niet veranderd. Het oppervlaktewaterpeil is na beekherstel gedaald. De verwachting is dat er op deze locatie een daling te zien is in de grondwaterstand als gevolg van beekherstel en vervolgens een extra daling na het toepassen van drainage.

Uit de tijdreeksanalyse blijkt dat de grondwaterstand na beekherstel niet veranderd en na het toepassen van drainage stijgt met 4 cm. Beide resultaten zijn dus tegen de verwachting in. Het feit dat peilbuis ASTE004 in een zeer nat perceel ligt kan een verklaring zijn voor de onverwachte resultaten. In Figuur 33 is de gemeten grondwaterstand weergegeven en daar is te zien dat de grondwaterstand steeds wordt afgevlakt zodra die boven het maaiveld (21,7 m + NAP) uitkomt. Het is dus mogelijk dat het perceel zo nat is dat de verlaging in het oppervlaktewaterpeil niet groot genoeg is om de grondwaterstand zo ver te laten zakken dat deze ook in de winter onder het maaiveld zit. Hetzelfde kan gelden voor de invloed van het toepassen van drainage op de grondwaterstand. Het lijkt dat het sturen van de grondwaterstand nog niet optimaal wordt toegepast in dit desbetreffende perceel.



Figuur 33: Gemeten grondwaterstand in peilbuis ASTE004

Er is een tweede (non-lineaire) tijdreeksanalyse uitgevoerd op de grondwaterstand in peilbuis ASTE004 waarbij rekening wordt gehouden met het afvlakken van de grafiek zodra deze boven maaiveld uitkomt (Figuur 34). Deze tijdreeksanalyse kan niet gecombineerd worden met de bepaling van de grootte van de invloed van beekherstel en drainage. Het blijkt dat de grondwaterstand beter gesimuleerd kan worden met een tijdreeksanalyse die rekening houdt met het afvlakken van de grondwaterstand en dus zonder de toevoeging van beekherstel en drainage.



Figuur 34: Grondwaterstanden in peilbuis ASTE004

ASTE002 en ASTE003

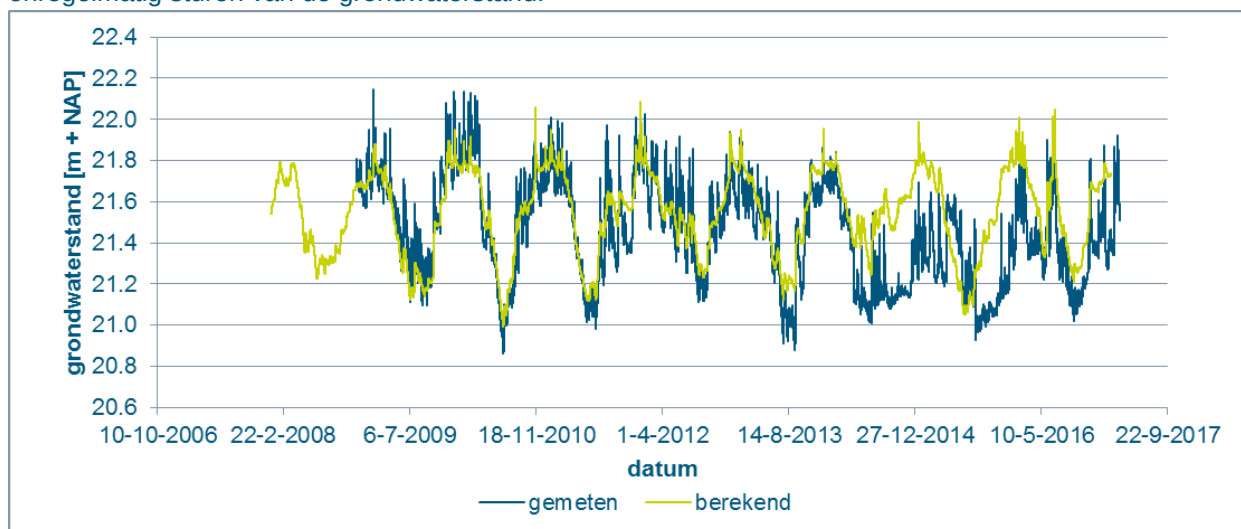
Peilbuizen ASTE002 en ASTE003 bevinden zich in een perceel waar drainage wordt toegepast. De ligging van de beek is na beekherstel dichterbij komen te liggen, wat zal leiden tot een daling in de grondwaterstand. Het oppervlaktewaterpeil is gestegen na beekherstel, dit leidt tevens tot een stijging in de grondwaterstand. De invloed van de ingrepen van beekherstel zijn tegenovergesteld, waardoor het onduidelijk is wat de verwachting is van de grondwaterstand na beekherstel. Vanaf 2014 wordt op het perceel waar de peilbuizen staan drainage toegepast. De verwachting is dat de grondwaterstand vanaf 2014 zal dalen.

Uit de tijdreeksanalyse van de grondwaterstand in peilbuis ASTE002 blijkt dat de grondwaterstand 6 cm is gestegen na aanleiding van beekherstel. Het blijkt dat de invloed van het stijgen van het oppervlaktewaterpeil meer invloed heeft op de grondwaterstand dan het verplaatsen van de beek op de locatie van peilbuis ASTE002. Vervolgens daalt de grondwaterstand met 8 cm nadat drainage wordt toegepast in het perceel, zoals verwacht.

Uit de tijdreeksanalyse van peilbuis ASTE003 blijkt dat de grondwaterstand na beekherstel daalt met 10 cm en vervolgens daalt met 15 cm na het toepassen van drainage. Deze resultaten zijn dus niet zoals verwacht. In dit geval is het niet mogelijk dat het dichterbij verplaatsen van de beek meer invloed heeft op de grondwaterstand dan het stijgen van het oppervlaktewaterpeil omdat dit dan ook in de grondwaterstand in peilbuis ASTE002 terug te zien zou zijn. Bovendien blijkt het dat de tijdreeksanalyse van peilbuis ASTE003 niet statistisch significant is.

Een mogelijke verklaring van de afwijkende resultaten van de grondwaterstand in peilbuis ASTE003 is dat deze zich in een zeer nat perceel bevindt. In Figuur 35 is de gemeten grondwaterstand weergegeven en daar is te zien dat de grondwaterstand steeds wordt afgevlakt zodra die boven het maaiveld (21,8 m + NAP) uitkomt. Het is dus mogelijk dat de het perceel zo nat is dat de invloed van beekherstel niet duidelijk terug te zien is in de grondwaterstand.

Het blijkt dat de grondwaterstand in peilbuis ASTE003 tot aan het moment van beekherstel goed te voorspellen is met een tijdreeksanalyse. Na het moment van beekherstel is de grondwaterstand niet meer goed te voorspellen aan de hand van neerslag en verdamping. Dit kan mogelijk komen door het onregelmatig sturen van de grondwaterstand.

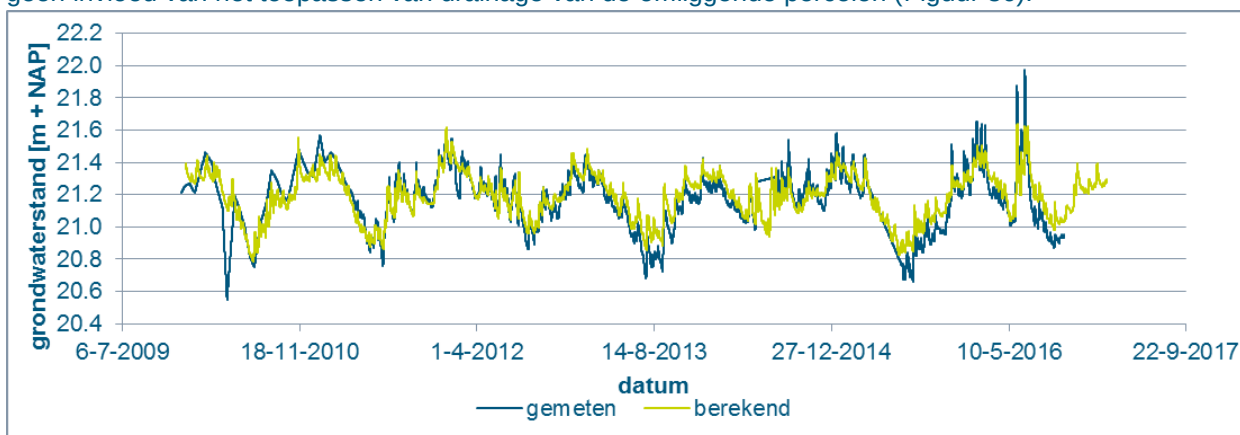


Figuur 35: Gemeten grondwaterstand en berekende grondwaterstand als er geen beekherstel zou plaatsvinden in peilbuis ASTE003

Peilbuis B52C0424-001

Peilbuis B52C0424-001 bevindt zich op een perceel waar de beek iets verder weg is komen te liggen na beekherstel, wat leidt tot een stijging in de grondwaterstand. Het oppervlaktewaterpeil nabij de peilbuis is gedaald, waardoor de verwachting is dat de grondwaterstand ook daalt. De invloed van de ingrepen van beekherstel zijn tegenovergesteld, waardoor het onduidelijk is wat de verwachting is van de grondwaterstand na beekherstel. De peilbuis bevindt zich niet op een perceel waar drainage wordt toegepast. De verwachting is dus dat de grondwaterstand na beekherstel stabiel is.

Uit de tijdreeksanalyse van de grondwaterstand in peilbuis B52C0424-001 blijkt dat de grondwaterstand met 5 cm daalt na aanleiding van beekherstel. Het blijkt dat de invloed van het dalen van het oppervlaktewaterpeil meer invloed heeft op de grondwaterstand dan het verplaatsen van de beek op de locatie van peilbuis B52C0424-001. Verder is de grondwaterstand na beekherstel stabiel en is er dus geen invloed van het toepassen van drainage van de omliggende percelen (Figuur 36).



Figuur 36: Gemeten grondwaterstand en berekende grondwaterstand als er geen beekherstel zou plaatsvinden in peilbuis B52C0424-001.