



Herinrichtingsvarianten waterbergingen Mortelbeek en Boontuinen

HYDRODYNAMISCHE BEREKENING TEN BEHOEVE VAN EVALUATIE (AA OF WEERIJS)

Betreft: Hydrodynamische berekening Aa of Weerijds

Bedrijf: Deltae Innovation Solutions B.V.

Auteur: ing. T. (Tijmen) Dekkers

Datum: v1.0 06 april 2021
V2.0 27 mei 2021

Hydrodynamische berekening Aa of Weerijds

Herinrichtingsvarianten waterbergingen Mortelbeek en Boontuinen



Figuur 1 Huidige waterbergingsgebied Boontuinen (rechts van beek) en stuw Egeldonk, BRON: BN de Stem

Opdrachtgever:

Waterschap Brabantse Delta
Bouvignelaan
4836 AA Breda

Opdrachtnemer:

Deltae Innovation Solutions BV
Molenzicht 13
4881 BW Zundert
www.deltaeinnovation.com
info@deltaeinnovation.com

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	3
2	Algemeen	5
2.1	Pilot Vitaal buitengebied (stroomgebied Aa of Weerijs)	6
2.2	Doelstelling rapport	6
2.3	Leeswijzer	7
3	Modelgebied	8
3.1	Gebiedsbeschrijving	9
3.1.1	Maaiveld	9
3.1.2	Grondgebruik	10
3.1.3	Oppervlaktewater en stuwpeilen	10
3.2	Waterbergingsgebieden Boontuinen en Mortelbeek (referentiesituatie)	11
4	Oppervlaktewatermodel	15
4.1	1D-flow (Rural) + RR	16
4.2	Composiethydrogram	16
4.3	Referentiesituatie	17
4.3.1	Plausibiliteitsstoets oppervlaktewatermodel	17
5	Herinrichtingsvarianten waterbergingen Mortelbeek en Boontuinen	19
5.1	Variant Mortelbeek A	19
5.2	Variant Mortelbeek B	21
5.3	Variant Mortelbeek C	22
5.4	Variant Boontuinen A	23
5.5	Variant Boontuinen B	24
5.6	Variant Boontuinen C	25
5.7	Dimensionering relevante parameters varianten	26
6	Hydrodynamische berekeningen	27
6.1	Uitgangspunten berekeningen	27
6.2	Hoofdvraagstellingen (algemeen)	27
6.3	Afwegingskader	29
6.4	Resultaten rekenexercitie	30
6.4.1	Hydrologisch-hydraulische resultaten	30
6.4.2	Ecologische potenties	33
6.4.3	Haalbaarheid (financieel, korte termijn)	34
6.4.4	Omgeving en beleving	34
7	Conclusies en aanbevelingen	35
	Bibliografie	38

1 Samenvatting

De Aa of Weerij is een KRW-waterlichaam (= Europese richtlijn waterkwaliteit) die ontspringt in Vlaanderen, stroomt langs Zundert en uitmondt in Breda. Het landgebruik rond Zundert kenmerkt zich door een groot areaal en verscheidenheid aan kapitaalintensieve teelten, met name boom- en fruitteelt. In de pilot *Vitaal Buitengebied* (Gemeente Zundert, 2020) -waar het bovenstroomse deel van het Nederlandse stroomgebied van de Aa of Weerij deel van uitmaakt- wordt langs een afgebakend gebied langs de dorpskern Zundert gekeken naar herinrichtingsmaatregelen om de beek klimaatrobuster te maken en de ecologische potenties te verhogen. Daarbij is onder andere ook gekeken naar de optimalisatie van bestaande waterbergingen.

Langs de beek nabij Zundert liggen de waterbergingsgebieden Mortelbeek en Boontuinen, oorspronkelijk aangelegd voor de reductie van wateroverlast in Breda bij extreem hoge afvoeren (met een kans van ca. $1/100^e$ per jaar). Deze waterbergingsgebieden functioneren echter niet als gewenst. Eventuele herinrichting van de waterbergingsgebieden moet primair meerwaarde bieden voor de reductie van lokale wateroverlast. Meekoppeling van waterconservering en vergroting van ecologische potenties is gewenst.

Voor beide waterbergingsgebieden zijn drie varianten opgesteld die met de huidige (referentie) situatie zijn vergeleken aan de hand van hydrodynamische modelberekeningen (SOBEK). De berekeningsresultaten zijn globaal vergeleken met NBW toetsresultaten (= referentieberekening voor hogere afvoerniveaus) op afvoeren en waterhoogten. De vergelijking met de referentiesituatie geeft alleen concrete (kwantitatieve) inzichten voor wat betreft de hydraulica (waterhoogten, afvoeren en bergingsvolumes), en hiermee indirect voor de wateroverlast. Afgeleide inzichten hebben betrekking op waterconservering en ecologie. Het gebruikte modelinstrumentarium is door de oorspronkelijke conceptuele opzet minder geschikt om lage afvoeren door te rekenen en jaarrond berekeningen uit te voeren.

Middels een afwegingskader met parameters die representatief worden geacht voor wateroverlast, -conservering, ecologie, financiële haalbaarheid (korte termijn) en belevingswaarde is bepaald welke inrichtingsvariant globaal het meeste potentieel heeft voor nadere detailuitwerking. Hierbij zijn geen wegingsfactoren toegepast.

In de studie is specifiek gekeken naar een afgebakend traject van de Nederlands-Belgische grens tot aan stuw Bakkebrug. De waterbergingsgebieden Mortelbeek en Boontuinen liggen in de stuwpannen stuw Wernhout-stuw Egeldonk en stuw Egeldonk-stuw Bakkebrug. De resultaten zijn met name beoordeeld op de zogenaamde T10 situatie (afvoer met een kans van ca. $1/10^e$ per jaar), tenzij anders vermeld. Uit de resultaten blijkt op hoofdlijnen dat:

- Herinrichtingsvariant **Mortelbeek variant C2** (aanpassing van de huidige in- en uitlaatconstructies) de voorkeur heeft, mede door de (financiële) haalbaarheid, relatief snelle uitvoerbaarheid op korte termijn en de gewenste hydraulische effecten: een relatief grote verhoging van de netto bergingscapaciteit (met ca. 80.000 m^3) en waterstandsverlagingen in de stuwpannen Wernhout-Egeldonk (ca. 8 cm) en Egeldonk-Bakkebrug (ca. 5 cm).
- De detailuitwerking van Mortelbeek variant C2 moet nader bekeken worden. Aanbevolen wordt om de huidige inlaatconstructie te voorzien van een terugslagklep, en de uitlaatconstructie aan te passen met een knijpvoorziening.
- **Boontuinen variant A2** (aantakking strang, enkele in- en uitlaatconstructies aanpassen en herprofilering nevengeul) heeft de voorkeur vanwege de positieve bijdrage op het gebied van

met name waterberging (ca. 25.000 m³ extra) en waterstandsverlaging (enkele cm's). De (financiële) haalbaarheid op korte termijn maakt variant A2 doorslaggevend.

- Aanbevolen wordt om de omringende kades van de waterbergingen Mortelbeek en Boontuinen niet af te graven, waardoor mogelijkheden van waterconservering en/of hergebruik van water optimaal kunnen worden benut. Externe bronnen, zoals gezuiverde proces- en agrarische waterstromen, kunnen water naar de waterbergingsgebieden aanvoeren t.b.v. waterconservering en/of hergebruik. De voorkeursvarianten zijn het meest geschikt voor deze wateraanvulling op (middel)lange termijn.
- Aanbevolen wordt om bij de herinrichting van een waterbergingsvariant te kijken naar mogelijkheden om de belevingswaarde te verhogen met instandhouding van de huidige ecologische waarden.
- Een kostenraming van beide voorkeursvarianten dient te worden opgesteld om tot een "definitief" oordeel te komen.

Multi criteria analyse varianten waterbergingen Mortelbeek en Boontuinen												
	Mortelbeek					Boontuinen						
(Sub)criterium	A	A2	B	C	C2	A	A2	B	B2	C	C2	Voorkeursvariant
Waterstandsverlaging	-	+	++	++	++	-	+	-	-	--	+	Mortelbeek variant C2 9,5
Waterstandsverlaging stuwpand Wielhoef-Wernhout	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Mortelbeek variant C 8,5
Waterstandsverlaging stuwpand Wernhout-Egeldonk	--	0	+	+	+	-	+	++	-	-	+	Boontuinen variant A2 7,5
Waterstandsverlaging stuwpand Egeldonk-Bakkebrug	0	0	+	+	+	0	+	--	0	-	+	Mortelbeek variant A2 7
Netto bergingsvolume	+	+	0	++	+++	0	+	-	0	+	++	Boontuinen variant C2 6,5
Vertraging hoogwatergolf	+	+	+	+++	+++	+	+	-	0	++	++	Mortelbeek variant A 4
Ecologie algemeen	++	++	+	0	0	++	++	+	+	++	++	Boontuinen variant A 4
Ecologie-KRW	++	++	+	0	0	++	++	+	+	++	++	Mortelbeek variant B 3
Ecologie- "natte" ecologie	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	+	Boontuinen variant B2 3
Ecologie - terrestrisch	0	0	0	-	-	0	0	0	0	-/0	-/0	Boontuinen variant C 2,5
Waterconservering	++	++	-	+	+	+	++	+	+	+	++	Boontuinen variant B 0
Haalbaarheid (korte termijn; €)	--	--	0	++	++	-	-/0	0	0	-	----	
Omgeving en beleving	++	++	-	+/0	+/0	+	+	+	+	0	+	
TOTAAL (Σ+)	4	7	3	8,5	9,5	4	7,5	0	3	2,5	6,5	
1 idoor infiltratie een relatief lange vertraging echter is de bereginscapaciteit dan niet beschikbaar												

¹ door infiltratie een relatief lange vertraging echter is de bergingscapaciteit dan niet beschikbaar

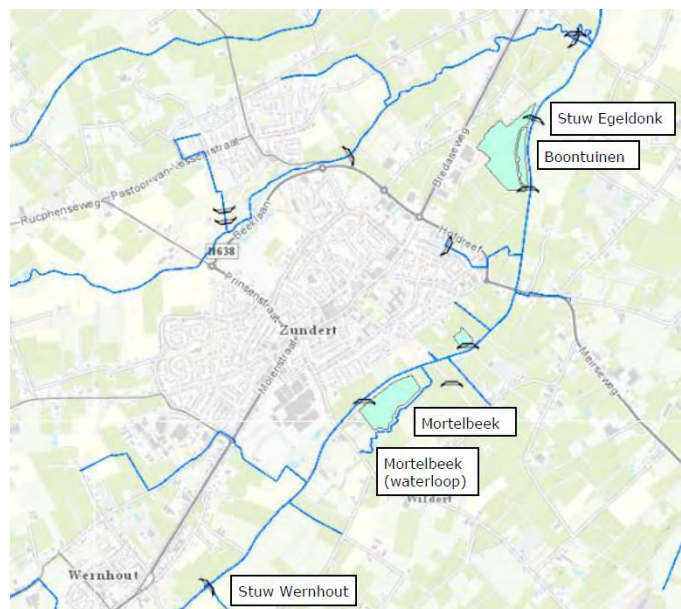
Figuur 2 MCA-beoordeling van de herinrichtingsvarianten, selecteer CTRL+ scroll om het document/afbeelding te vergroten

2 Algemeen

De Aa of Weerij (in Vlaanderen genaamd: Weerijsebeek) is een KRW-waterlichaam die ontspringt in Vlaanderen ter hoogte van Brecht en stroomt langs de oostzijde van de dorpskern Zundert en Rijsbergen naar de Singels in Breda, waar de beek uitmondt. Ter hoogte van de buurtschap *Wernhoutsburg* stroomt de Aa of Weerij de Nederlands-Belgische grens over. De zijwaterlopen van de Aa of Weerij betreffen met name gegraven turfvaarten en genormaliseerde beken. Van de zijwaterlopen leveren de Kleine Beek, Bijloop en Turfvaart de grootste bijdrage aan de afvoer van de Aa of Weerij. Deze zijwaterlopen ontspringen in het zuidwesten van het Nederlandse deel van het stroomgebied. De Kleine Beek mondt ten noorden van dorpskern Zundert uit in de Aa of Weerij. De Bijloop en Turfvaart komen eerst aan de zuidwestkant van Breda samen om vervolgens ruim 1 km verder in de Aa of Weerij te stromen. De Bijloop en Turfvaart zijn samen aangewezen als een KRW-waterlichaam.



Figuur 3 Stroomgebied van Aa of Weerij met ligging van beken en provinciale functietoekenning, BRON: Watersysteemanalyse Aa of Weerij (2018)



Figuur 4 Geografisch planbied deelpilot Aa of Weerij met waterbergingsgebieden Boontuinen en Mortelbeek

Het beekdallandschap van het stroomgebied Aa of Weerij kenmerkt zich door over het algemeen een diep ingesneden beekdal geflankeerd door dekzandruggen. De dorpskern Zundert en Rijsbergen zijn beide gelegen op een zandrug die direct grenst aan het beekdal. Oorspronkelijk was het stroomgebied een uitgestrekt moerasgebied met een sterke sponswerking, waardoor de afvoer van de beek veel constanter was dan nu. Vanaf de veertiende eeuw zijn de turfgronden ontgonnen en in de loop van de negentiende eeuw op grotere schaal ontwaterd voor de landbouw. De Aa of Weerij is eind jaren zestig van de vorige eeuw genormaliseerd en voorzien van stuwen. Het huidige landgebruik van het beekdal bestaat overwegend uit landbouw, deels intensief in de vorm van boomteelt. In het beekdal is de oppervlakte natuur gering en beperkt zich in hoofdzaak tot enkele gronden ten noorden van Rijsbergen. Het hele stroomgebied Aa of Weerij heeft de provinciale functie verweven met uitzondering van enkele vennen (*Waternatuur*, zie Figuur 3) (Waterschap Brabantse Delta, 12 juni 2018).

2.1 Pilot Vitaal buitengebied (stroomgebied Aa of Weerij)

Het buitengebied van de gemeente Zundert kent vele uitdagingen, daarom zijn verschillende deelgebieden in de gemeente aangewezen om nader te kijken naar ideeën en initiatieven met als doel om het buitengebied te verbeteren op thema's zoals water en duurzaamheid. Deelgebied Aa of Weerij is één van deze gebieden. De grenzen van het pilotgebied zijn echter kleiner dan het volledige stroomgebied van de Aa of Weerij en beperkt zich tot een (deel)stroomgebied dat zich uitstrekt van stuw Wernhout tot en met stuw Bakkebrug (Figuur 5). Zoals geformuleerd op de website van de gemeente Zundert luidt het doel van deze deelpilot: "Bij de Aa of Weerij is de grote uitdaging om het water in tijden van te veel te bufferen, zodat er bij watertekorten ook voldoende water beschikbaar blijft. Hierbij is de hulp van iedereen nodig. Daarnaast is tijdens de dorpsbijeenkomsten aangegeven dat er een wens is om het beekdal beleefbaar te maken. De uitdaging zit hier vooral in het combineren van de verschillende functies in het gebied." In de deelpilot Aa of Weerij wordt onder andere gekeken naar het functioneren van de twee huidige waterbergingen langs de hoofdloop: Mortelbeek en Boontuinen (zie Figuur 4). Beide bergingsgebieden zijn ooit aangelegd om wateroverlast (T100) benedenstrooms in Breda te reduceren, echter functioneren de bergingsgebieden niet zoals voorzien en wordt gekeken naar herinrichting. In de Pilot Vitaal buitengebied willen drie overheden: gemeente, waterschap en provincie samen als één overheid optrekken (Gemeente Zundert, 2020).

2.2 Doelstelling rapport

Deze notitie richt zich op de hydrodynamische berekeningen die specifiek zijn gemaakt voor de herinrichtingsmogelijkheden van de waterbergingsgebieden Boontuinen en Mortelbeek. Voorliggende rapportage beschrijft de hydrologische en/of hydraulische effecten van drie inrichtingsvarianten per bergingsgebied aan de hand van modelberekeningen. De resultaten van deze berekeningen worden gebruikt om een variantenkeuze te maken, alvorens nadere uitwerking op inrichtings- en uitvoeringsniveau plaatsvindt.

Aanleiding: De pilot Vitaal buitengebied tracht om het buitengebied van Zundert te verbeteren, alsmede het (deel)stroomgebied van de Aa of Weerij klimaatrobuuster te maken. Specifiek als onderdeel voor deelgebied Aa of Weerij wordt een herinrichting van de waterbergingsgebieden Boontuinen en Mortelbeek overwogen ten behoeve van de reductie van lokale wateroverlast, alsmede waterconservering en verbetering van de ecologische toestand.

Probleemstelling: De huidige waterbergingsgebieden Boontuinen en Mortelbeek functioneren niet zoals oorspronkelijk bedoeld voor wateroverlastreductie in Breda. Lokaal treedt langs de Aa of Weerij wateroverlast op zonder dat de waterbergingsgebieden inunderen. Herinrichting van de waterbergingsgebieden dient de lokale wateroverlast te reduceren, en indien mogelijk waterconservering te faciliteren.

Doelstelling: Herinrichting moet een gefundeerde meerwaarde zijn voor de waterbergingsgebieden Boontuinen en Mortelbeek. De meerwaarde is gericht op de reductie van lokale wateroverlast en sluiten zoveel mogelijk aan op de beoogde KRW-doelstellingen en -potentieel gedefinieerd door waterschap Brabantse Delta (watersysteemanalyse). De hydrodynamische berekeningen uit deze rapportage geven relevante inzichten om een afweging te maken tussen de drie varianten per bergingsgebied.

2.3 Leeswijzer

De rapportage beschrijft de hydraulisch/hydrologische beschrijving van nieuwe herinrichtingsvarianten voor waterbergingsgebieden Mortelbeek en Boontuinen. De bijlages geven ook belangrijke informatie, dus wordt aanbevolen deze nauwkeurig te bekijken. Voor de leesbaarheid van de rapportage zijn deze achter de rapportage toegevoegd. Achtereenvolgens wordt beschreven:

- Hoofdstuk 1 is een samenvatting van de rapportage met de hoofdpunten.
- Hoofdstuk 2 beschrijft de aanleiding, probleemstelling en doelstelling en geeft context voor de rapportage.
- Hoofdstuk 3 geeft de omvang van het studiegebied en gaat in op relevante parameters in het gebied zoals gedetailleerde informatie over de stuwen en waterbergingsgebieden.
- Hoofdstuk 4 beschrijft de modellering van het oppervlaktewatermodel in SOBEK en de referentiesituatie.
- Hoofdstuk 5 gaat nader in op de verschillende bergingsvarianten voor Boontuinen (3 stuks) en Mortelbeek (3 stuks).
- Hoofdstuk 6 gaat in op de uitgangspunten, het afwegingskader en de resultaten van de berekeningen.
- Hoofdstuk 7 omschrijft de bevindingen en gevolgtrekking van de resultaten en kanttekeningen uit de voorgaande hoofdstukken.

Daarnaast versterken de bijlages de hoofdstukken uit de hoofd rapportage. Voor de leesbaarheid zijn deze apart toegevoegd.

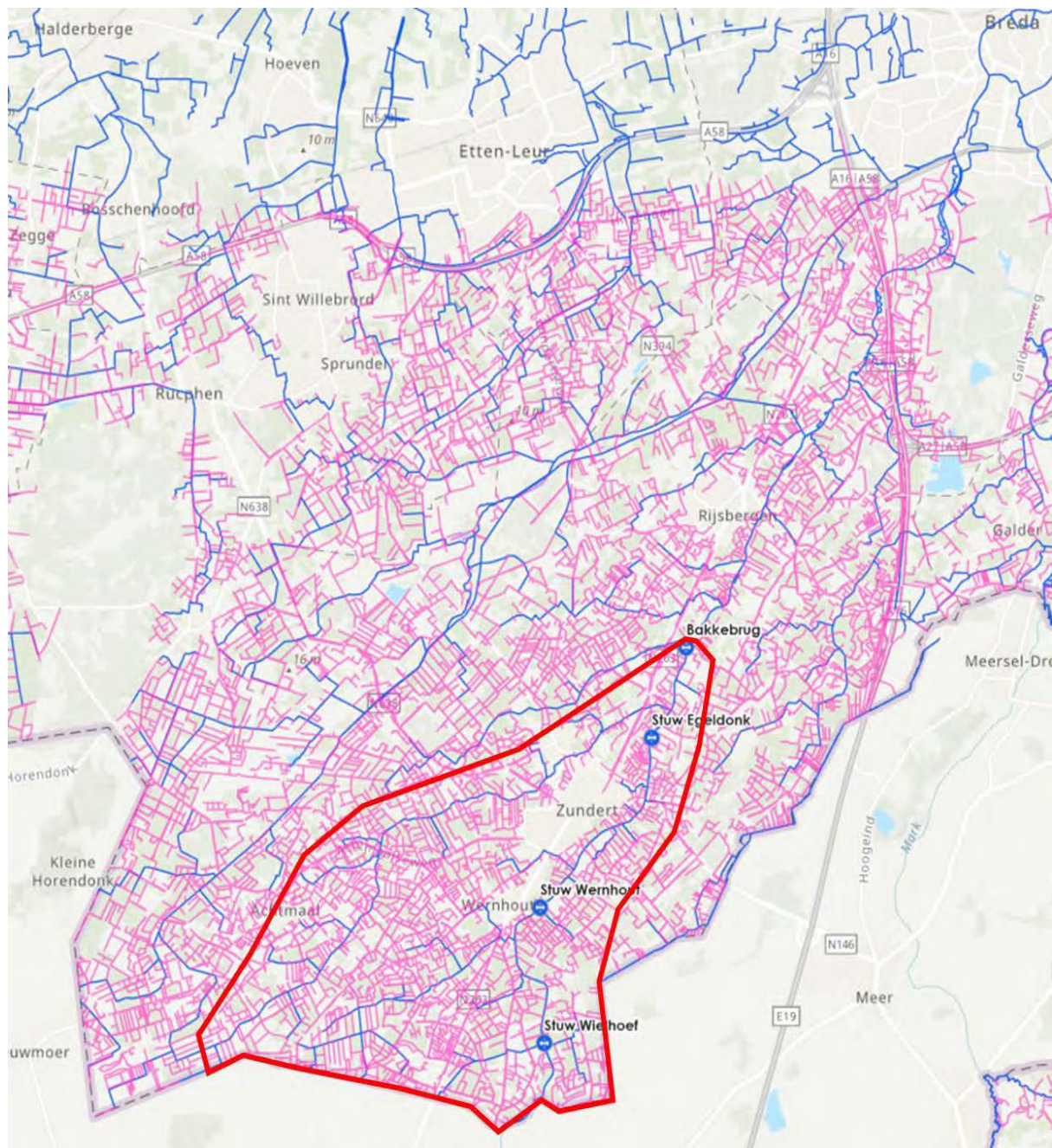
- Bijlage A is een legenda van de SOBEK-iconen voor de lees- en begrijpbaarheid
- Bijlage B geeft de wijzigingen weer van het oppervlaktemodel in SOBEK ten opzichte van de NBW-toetsing.
- Bijlage C is onderdeel van een plausibiliteitstoets van het hydrodynamisch model.
- Bijlage D is onderdeel van een plausibiliteitstoets van het hydrodynamisch model.
- Bijlage E beschrijft toetscriteria om de herinrichtingsvarianten te vergelijken om tot een gedegen afweging te komen.
- Bijlage F zijn de resultaten van rekenexercitie.
- Bijlage G is een onderbouwing van hoeveelheden ter ondersteuning van de financiële haalbaarheid op korte termijn.
- Bijlage H geeft een indruk van het gebied aan de hand van afbeeldingen uit veldbezoeken.

NB: Navigatie in de tekst naar figuren en titels is mogelijk door gebruik te maken van “CTRL + klik”.

Dit rapport is tot mede tot stand gekomen in het kader van de pilot Vitaal buitengebied. Naast de hydrologisch-hydraulische resultaten hebben de volgende personen met hun expertise in het speciaal bijgedragen aan de totstandkoming: René Rijken, Klaas-Jan Douben, Marco Beers, Martin Stamhuis, Egon Dumont (waterschap Brabantse Delta), Carlo Braat (Brabants Landschap) en David Bömer (Coöperatieve Vereniging Treeport Zundert U.A.)

3 Modelgebied

Het modelgebied heeft een omvang van om en nabij alle A-waterlopen in de gemeente Zundert (zie Figuur 5). Echter wordt benadrukt dat voor de rekenexercitie en de resultaatsbeschrijving enkel het tracé van de grens van België (stuw Wielhoef) tot en met stuw Bakkebrug is beschouwd. Benedenstroomse gebieden hebben relatief weinig effect op het oppervlaktewater omdat de Aa of Weerij een vrij afwaterend gebied betreft met gestuwde panden. Grofweg volgt het netto beschouwde modelgebied de Belgisch/Nederlandse grens langs het zuidoosten tot aan stuw Bakkebrug en aan de westzijde langs de dorpskernen Rijsbergen – Zundert - Wernhout.



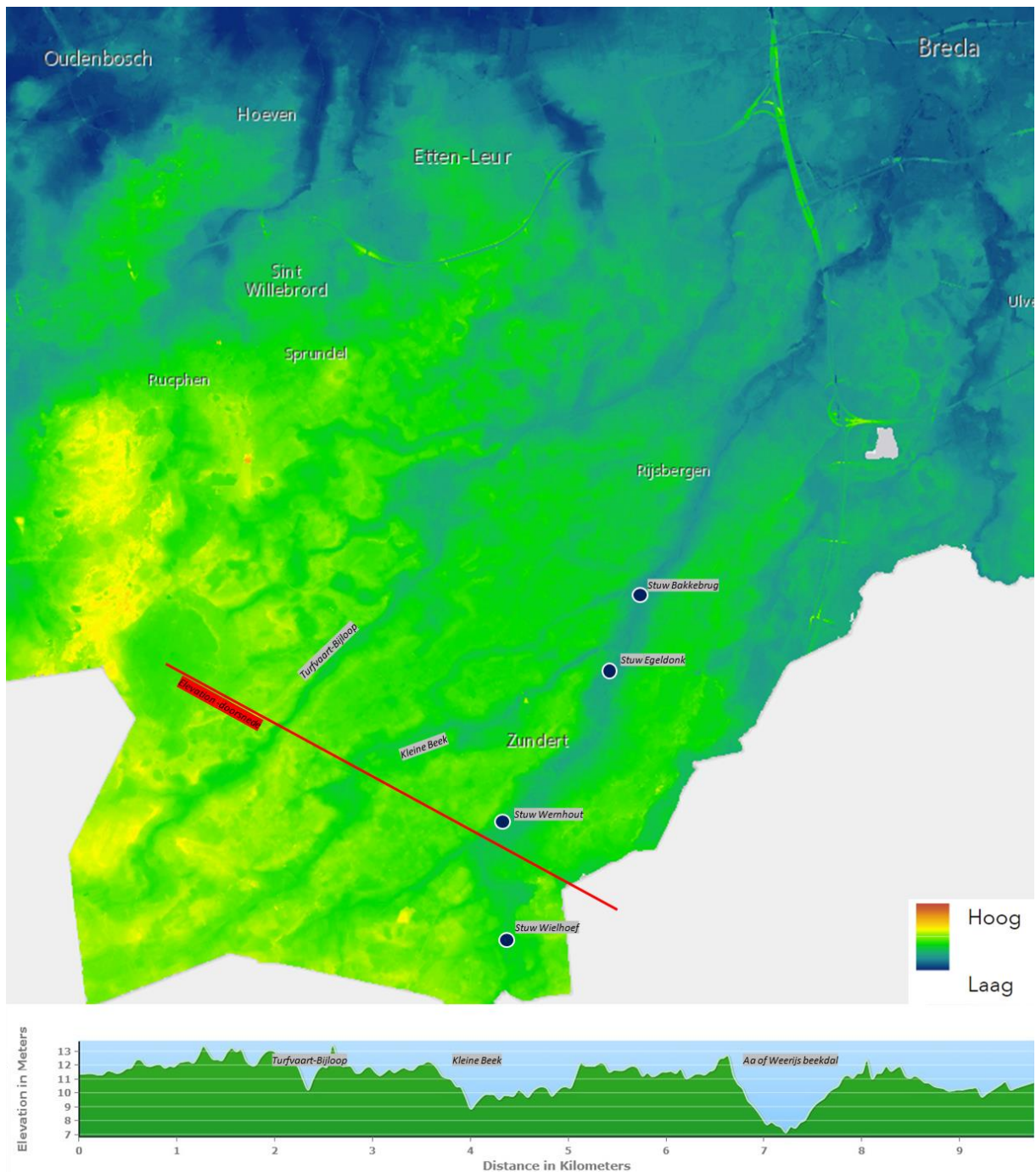
Figuur 5 Modelgebied Aa of Weerij en globaal relevant stroomgebied betreffende hydrodynamische berekeningen, BRON: Bewerking ArcGIS, data uit (Waterschap Brabantse Delta, 2021)

3.1 Gebiedsbeschrijving

Deze paragraaf beschrijft de relevante kenmerken van het studiegebied.

3.1.1 Maaiveld

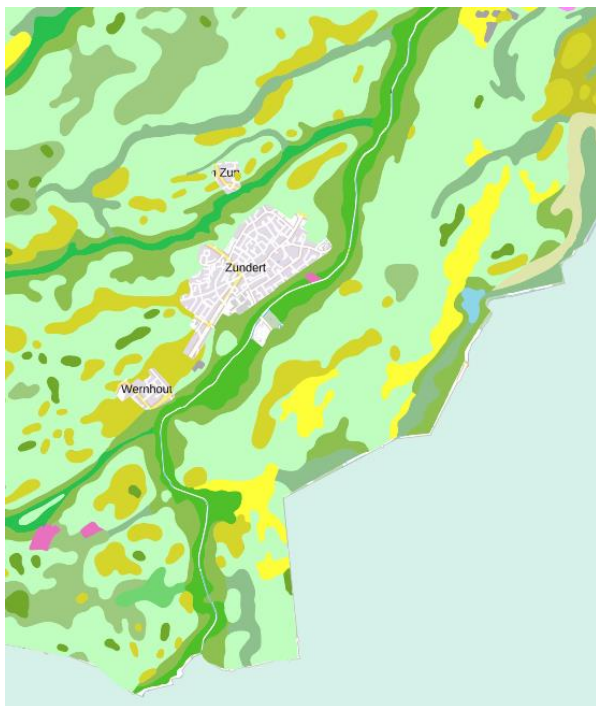
In Figuur 6 is het verloop van de maaiveldhoogtes binnen het modelgebied weergegeven. Het gebied kenmerkt zich door het diep ingesneden beekdal van de Aa of Weerij. Waarin het beekdal van de Aa of Weerij het diepst is ingesneden en zichtbaar wordt geflankeerd tot aan de Turfvaart-Bijloop.



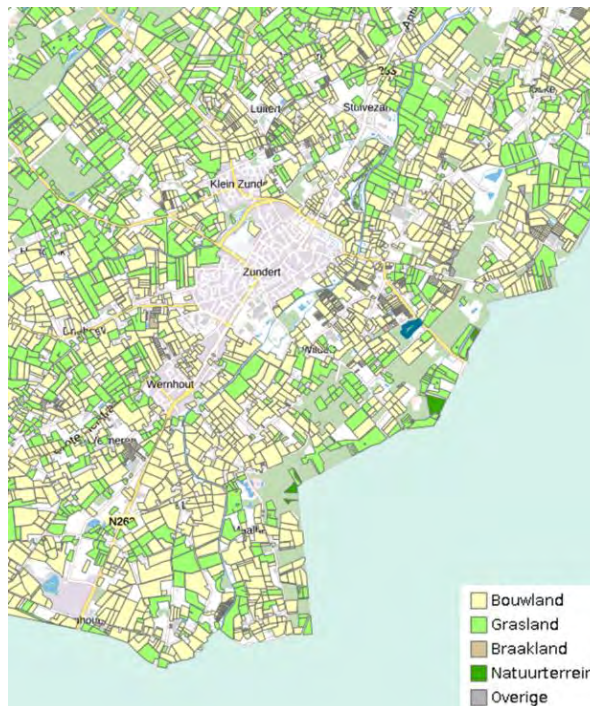
Figuur 6 Maaiveldhoogtes inclusief doorsnede-profiel, BRON: (AHN3, 2021)

3.1.2 Grondgebruik

Het huidige grondgebruik in het gebied heeft een overwegend intensieve agrarische functie en bestaat voornamelijk uit boomkwekerijen en grasland (zie Figuur 8). De landbouwgronden zijn zelfs gelegen tot in het beekdal van de Aa of Weerij. De kernen Wernhout, Zundert en Rijsbergen wateren het hemelwater van het ‘verharde’ gebied af op de Aa of Weerij.



Figuur 7 Geomorfologische kaart. Legenda: *groen*: beekdalbodem met meanderruggen en geulen, *pestogroen*: glooiing van beekdalszijde, *mintgroen*: terrasafzettingswellingen, BRON: (PDOK, 2021)



Figuur 8 Basisregistratie gewaspercelen (BRP), BRON: (PDOK, 2021)

3.1.3 Oppervlaktewater en stuwpeilen

De totale lengte van de Aa of Weerij binnen het modelgebied is circa 8,5 km (stuw Wielhoef – stuw Bakkebrug). In de vrij afwaterende Aa of Weerij liggen vier klepstuwen voorzien van een vertical-slot vispassage. Van boven- naar benedenstrooms:

1. Stuw Wielhoef met ingesteld zomer (streef)peil +8,85 mNAP
2. Stuw Wernhout met ingesteld zomer (streef)peil +7,10 mNAP
3. Stuw Egeldonk met ingesteld zomer (streef)peil +5,70 mNAP
4. Stuw Bakkebrug met ingesteld zomer (streef)peil +4,50 mNAP

Deze ervaringspeilen zijn de oorspronkelijke zomerpeilen en zijn de laatste jaren blijvend ingesteld om het grondwaterpeil in het stroomgebied van de Aa of Weerij hoog te houden. De ligging van de stuwen is weergegeven in Figuur 5 en Figuur 6. Naast de Aa of Weerij zijn alle leggerwatergangen die in het studiegebied liggen wel opgenomen in het model.



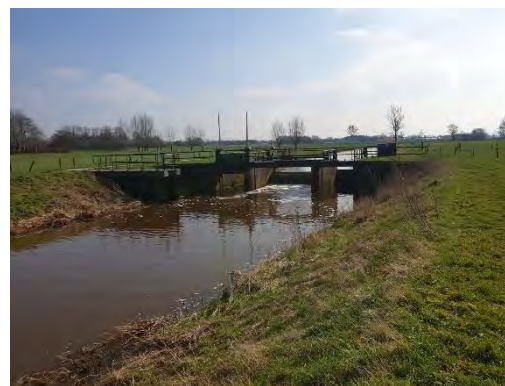
Figuur 9 Stuw Wielhoef



Figuur 10 Stuw Wernhout



Figuur 11 Stuw Egeldonk



Figuur 12 Stuw Bakkebrug

3.2 Waterbergingsgebieden Boontuinen en Mortelbeek (referentiesituatie)

In de Aa of Weerijs zijn in de periode van 2000-2010 een aantal waterbergingsgebieden aangelegd. Deze waterbergingsgebieden zijn ingericht om wateroverlast in Breda te reduceren. In totaal zijn over het tracé van de grens met België tot aan Breda 8 bergingsgebieden aangelegd. Bij verschillende bergingsgebieden zijn de inlaten rond 2014 verlaagd (Waterschap Brabantse Delta, 12 juni 2018). De grootste bergingsgebieden (in oppervlakte) op Zunderts grondgebied worden in deze studie beschouwd: *Boontuinen* (9,6 hectare) en *Mortelbeek* (5,9 hectare). Zie Figuur 4 voor de ligging. Om beide bergingsgebieden is een kade aangelegd.



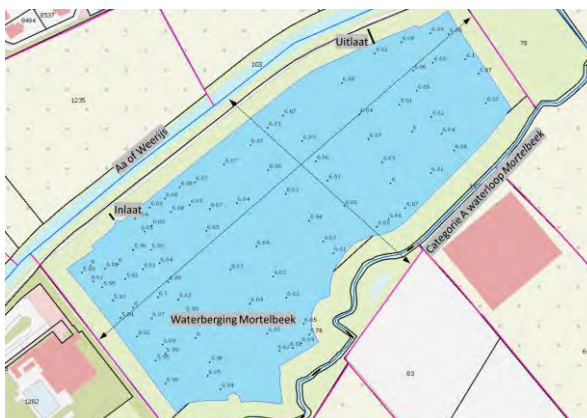
Figuur 13 Luchtfoto bergingsgebied Mortelbeek, BRON: BING.com



Figuur 14 Huidige waterbergingsgebied Boontuinen (rechts van beek) en stuw Egeldonk, BRON: BN de Stem

Waterbergingsgebied Mortelbeek

Waterbergingsgebied Mortelbeek ligt nabij de dorpskern van Zundert, sportpark de Wildert, het zwembad en ARDO. Het bergingsgebied bevindt zich tussen het stuwpand Wernhout en stuw Egeldonk. Het wordt omsloten door de beek Aa of Weerij en de categorie A waterloop met de equivalente naam *Mortelbeek*. De totale oppervlakte van de waterberging volgens de Legger (Waterschap Brabantse Delta, 2021) is 58.000 m² met een gemiddelde bodemhoogte van +6,05 mNAP (variërend van +5,91 mNAP tot en met +6,10 mNAP.)



Figuur 15 Huidige situatie bergingsgebied Mortelbeek, BRON: (Waterschap Brabantse Delta, 2021)

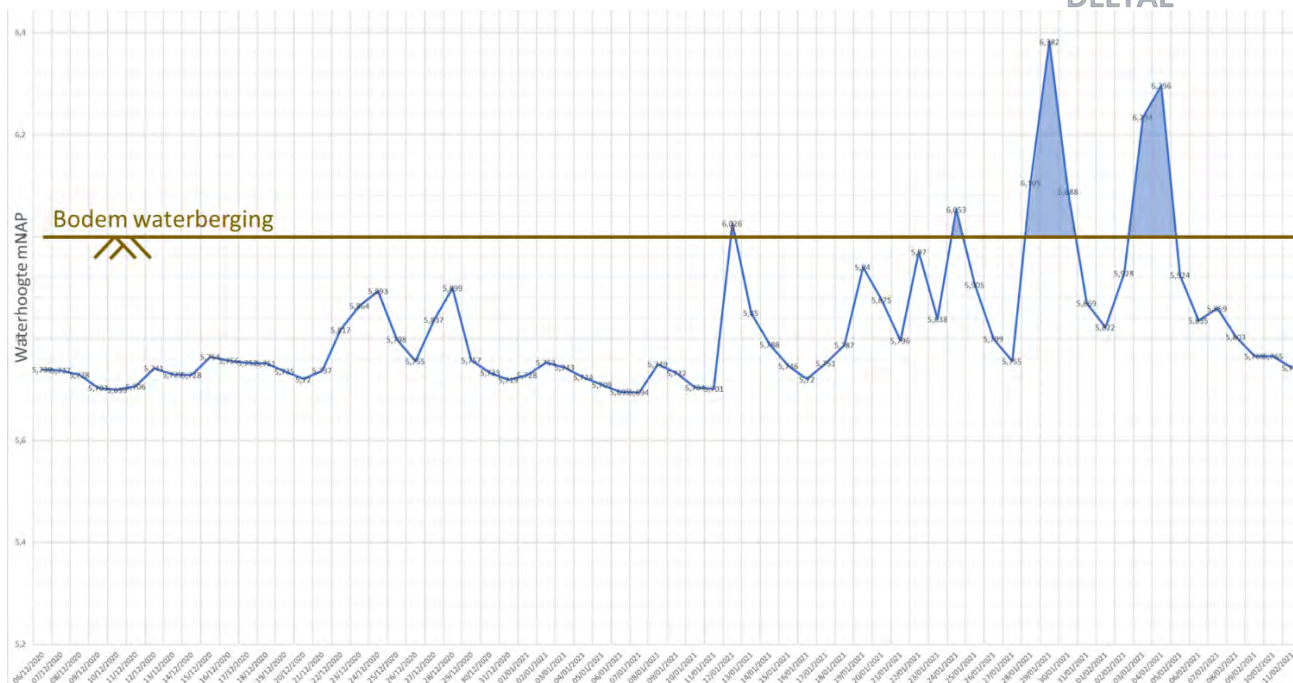


Figuur 16 1955 Luchtfoto Zundert KLM Aerocarto (Schiphol Oost-Arnhem-Lelystad) waarin de traditionele waterloop Mortelbeek is te zien, BRON: West Brabants Archief

De waterberging ligt in het diepingesneden beekdal en het beekdal heeft in de huidige situatie een drainerende werking op de grondwaterstand. Ook de waterberging Mortelbeek werkt daardoor drainerend op de grondwaterstand, kenmerkend aan de overwegend rode ijzerhoudende gloed van het water (geconstateerd tijdens veldbezoek). Alsmede blijkt dit uit een vergelijking van de provinciale peilbuis B50C0078-001 1e watervoerend pakket (Figuur 17) (Lizard, 2021) en de waterstand van de Aa of Weerij (Figuur 18). De meetreeks van de grondwaterstand (periode 2011-2021) is altijd boven de +6,00 mNAP is met uitzondering van de zomerperiodes van 2018, 2019 en 2020 en dat is hoger dan de bodem van de waterberging Mortelbeek. De peilbuis ligt direct aan de Aa of Weerij en op circa 100 meter afstand van waterberging Mortelbeek. Uit Figuur 18 blijkt van een willekeurige periode dat de waterstand in de Aa of Weerij (langs de waterberging Mortelbeek) frequent hoger is dan de bodem van de waterberging Mortelbeek. In de huidige situatie kan het niet de waterberging instromen door een verhoogde inlaatconstructie (+6,40mNAP).



Figuur 17 Stijghoogtes peilbuis B50C0078-001, BRON: (Lizard, 2021)



Figuur 18 Ter indicatie; de waterstand in de Aa of Weerij (stuw Wernhout-stuw Egeldonk) ter hoogte van de waterberging Mortelbeek (meetreeks periode 6 december 2020 – 11 februari 2021)

Inlaatconstructie (KDU-Mortelbeek-01, betonnen duiker):

- B.o.b.: +6,44 mNAP (schotbalkhoogte; wijkt af van de Legger)
- Breedte: 4 meter
- Doorstroamlengte: 10,40 meter

Uitlaatconstructie (KDU-Mortelbeek02, betonnen duiker):

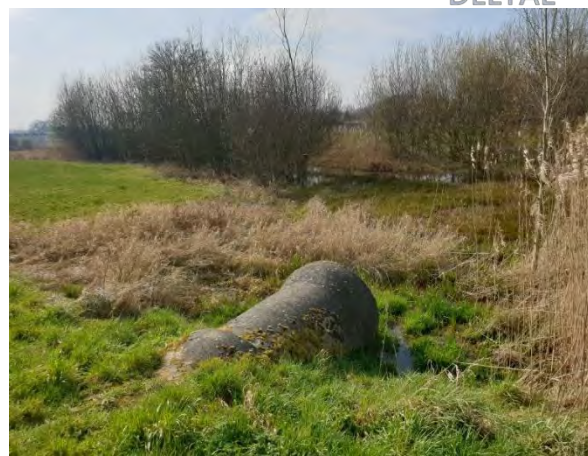
- B.o.b.: +5,99 mNAP (met terugslagklep)
- Diameter: 800 mm
- Doorstroamlengte: 12,40 meter

Waterbergingsgebied Boontuinen

Waterbergingsgebied Boontuinen ligt langs stuw Egeldonk en is verdeeld in twee bergingsgebieden: een binnen- en een buitenbocht. De nevengeul in de buitenbocht (81.455 m²) heeft een in- en uitlaatconstructie en takt aan bovenstrooms van stuw Egeldonk, de uitlaatconstructie is benedenstrooms van stuw Egeldonk. De 'nevengeul' in de binnenbocht (25.000 m²) heeft geen inlaatconstructie maar is enkel bovenstrooms van stuw Egeldonk aangetakt (strang). De gemiddelde bodemhoogte is +6,1 mNAP met daarin een geul. De bodemhoogte in de buitenbocht is voornamelijk rond +6,1 mNAP en naar de buitenzijde van het gebied loopt dit op naar ca. +8,00 mNAP. Door de buitenbocht loopt een geul met een bodemhoogte variërend tussen +5,00 mNAP en +6,00 mNAP.



Figuur 19 Huidige situatie bergingsgebied Boontuinen, BRON: Legger



Figuur 20 Uitlaatconstructie Boontuinen (buitenbocht)



Figuur 21 Binnenbocht Boontuinen



Figuur 22 Meest noordelijke punt buitenbocht Boontuinen

Inlaatconstructie buitenbocht (KDU-BOONTUIN-01):

- B.o.b.: +5,87 mNAP
- Diameter: 1250 mm
- Doorstroamlengte: 10,40 meter

Uitlaatconstructie buitenbocht (KDU-BOONTUIN-02):

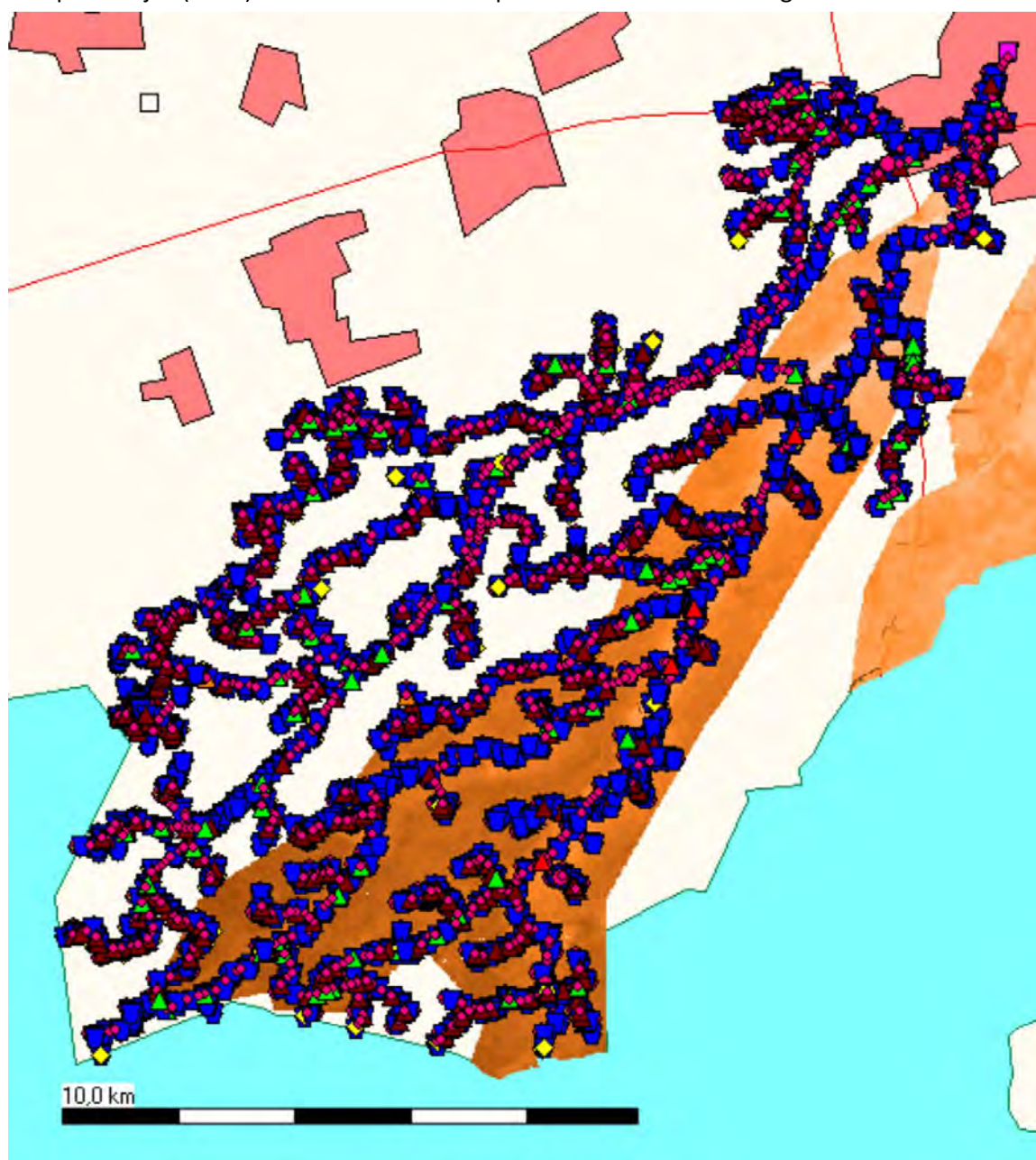
- B.o.b.: +5,84 mNAP
- Diameter: 1000 mm
- Doorstroamlengte: 9,55 meter

Uitlaatconstructie binnenbocht (KDU-BOONTUIN-03):

- B.o.b.: +5,03 mNAP
- Diameter: 500 mm
- Doorstroamlengte: 14,90 meter

4 Oppervlaktewatermodel

Het oppervlaktewatermodel (Figuur 23) van de Aa of Weerij is geschematiseerd in SOBEK 2.16.004. Er wordt gebruik gemaakt van een model dat is opgesteld voor de NBW-toetsing, waarin waterlopen en kunstwerken zijn geschematiseerd op basis van de legger. De NBW-toetsing is een standaard werkwijze om watersystemen te toetsen op (regionale) wateroverlastsituaties (STOWA, 2018-31). Het grondwater is niet geschematiseerd in het model, omdat grondwaterinteractie voor hoogwatersituaties niet relevant en onderscheidend is. Ten behoeve van voorliggende studie zijn een aantal veldinmetingen uitgevoerd. In Bijlage A is een overzicht weergegeven met aanpassingen in de oorspronkelijke (NBW) modelschematisatie op basis van de veldinmetingen.

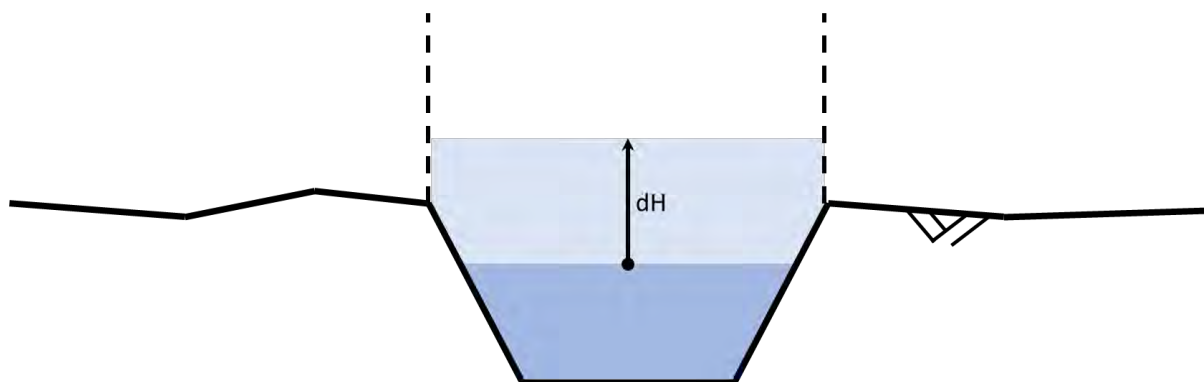


Figuur 23 Overzicht van het oppervlaktewatermodel met relevante kunstwerken

4.1 1D-flow (Rural) + RR

De vertaling van neerslag naar afvoer gebeurt in SOBEK door laterale afvoer. Een lateraal vertegenwoordigt een afgebakend deelstroomgebied waar een hoeveelheid neerslag op valt. De hoeveelheid water dat tot afstroming komt vormt een instroom voor de hoofdloop, in dit geval de Aa of Weerijs. De afvoer van het Belgische stroomgebied van de Aa of Weerijs wordt als modelrand opgelegd (één lateraal).

Het oppervlaktemodel is een één-dimensionaal netwerk waarbij aangrenzende maaiveldhoogtes niet zijn meegenomen in de modellering. In extreme situaties loopt het maaiveld niet onder water. Berging in het model is dus enkel in waterlopen of de daarvoorbestemde knooppunten. In dwarsprofielen is het doorsnedeprofiel van de watergang gedefinieerd. Bij stijging van het waterpeil, in extremere situaties, rekent het model vanaf de insteek een verticale lijn als doorsnede waardoor het water niet over het maaiveld stroomt (zie Figuur 24).



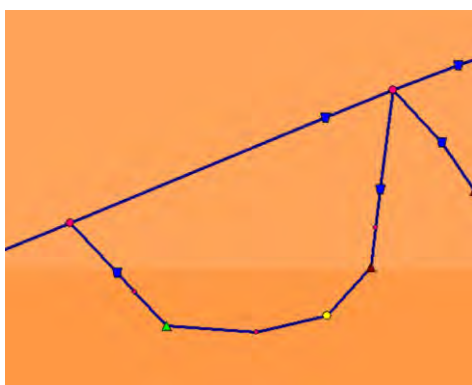
Figuur 24 Schematisatie van het principe van het doorsnedeprofiel in het SOBEK-model

4.2 Composiethydrogram

Met een neerslag-afvoermodel is bepaald hoeveel afvoer iedere categorie A waterloop ontvangt bij een bepaalde herhalingstijd. In dit model is de afvoer bepaald met behulp van composiethydrogrammen, welke zijn gebruikt voor de NBW-toetsing. Een composiethydrogram (composietbui) geeft het hydraulisch functioneren van het watersysteem gebaseerd op het huidige klimaat (KNMI, 2014). Tijdens de NBW-toetsing zijn de composiethydrogrammen gekalibreerd en gevalideerd op het meetpunt MPN04501 in de Aa of Weerijs (Witteveen+Bos, 2014) op basis van de gegevens uit 1993-1994 (kalibratie) en 1994-1995 (validatie). De verkregen composiethydrogrammen zijn T10, T25, T50 en T100. De NBW-toetsing is gefocust op het berekenen van extremere afvoerpieken over het hele stroomgebied van de Aa of Weerijs. In deze rekenexercitie is gekeken naar een beperkter deelstroomgebied en de relevante effecten voor twee waterbergingsgebieden. Het functioneren van de herinrichtingsvarianten dient tevens meer rekening te houden met basis- en zomerafvoeren, waterconservering en ecologie. Door de schematisatie van de neerslag-afvoer relatie en een gebrek aan grondwatermodellering is het model minder geschikt om jaarrond berekeningen en lage afvoersituaties door te rekenen.

4.3 Referentiesituatie

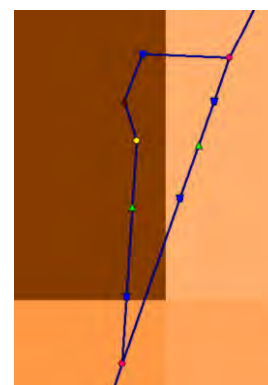
Het referentiemodel wordt gebruikt om de effecten van herinrichtingsvarianten inzichtelijk te maken. Waterhoogten en afvoeren van de variant berekeningen worden vergeleken met het referentiemodel, waardoor verschillen (en effecten) zichtbaar worden. Het referentiemodel is het gekalibreerde NBW-model verkregen door het waterschap Brabantse Delta, aangepast met enkele detailwijzigingen over het tracé Belgische grens – stuw Bakkebrug (zie Bijlage A). Ter hoogte van stuw Wielhoef, stuw Wernhout, stuw Egeldonk en stuw Bakkebrug is gedetailleerder gekeken naar de afvoeren en waterhoogtes. De stuwpanden Wernhout-Egeldonk en Egeldonk-Bakkebrug zijn van cruciaal belang voor het lokale functioneren van de waterbergingsgebieden.



Figuur 25 Referentiesituatie bergingsgebied Mortelbeek



Figuur 26 Referentiesituatie bergingsgebied Boontuinen (binnen- en buitenbocht)



Figuur 27 Referentiesituatie bergingsgebied Boontuinen (buitenbocht)

4.3.1 Plausibiliteitstoets oppervlaktewatermodel

Voor de herhalingstijden T10, T25, T50 en T100 zijn equivalente afvoeren in de frequentieverdeling, die op basis van gemeten afvoeren is opgesteld (zie QH-analyses in Bijlage C), vergeleken met resultaten uit het referentiemodel om de maatgevende afvoeren en waterhoogtes bij de stuwen Wielhoef, Wernhout, Egeldonk en Bakkebrug nader te beschouwen. De QH-analyses en frequentieverdelingen zijn opgesteld op basis van metingen van waterschap Brabantse Delta bovenstrooms van de stuwen (Figuur 5). Uit de frequentieverdelingen van de afvoer- en waterhoogten zijn herhalingstijden voor een bepaalde waterhoogte en maatgevende afvoer afgeleid. Een overzicht van alle QH-analyses is te zien in Bijlage C. Van alle stuwen zijn de bovenstroomse waterhoogtes bekend.

Resultaten aangepast referentiemodel

Het referentiemodel wordt gebruikt om berekeningen met de voorgestelde herinrichtingsvarianten van bergingsgebied Mortelbeek en Boontuinen te vergelijken. Er is een plausibiliteitstoets uitgevoerd om het ‘werkelijke’ gedrag van het watersysteem te vergelijken met de gekalibreerde resultaten uit het SOBEK-NBW-model. Bijlage D geeft een volledige weergave van de plausibiliteitsresultaten van het aangepaste referentiemodel bij herhalingstijden T100, T50, T25 en T10 ter hoogte van de vier stuwen. De oorspronkelijke NBW-resultaten van SOBEK zijn gebaseerd op composiethydrogrammen. De wijzigingen uit Bijlage B zijn iteratief toegepast om het gedrag van het aangepaste referentiemodel overeen te laten stemmen met het gemeten gedrag van de Aa of Weerij. Uit de resultaten blijkt dat:

Afvoeren

- Berekende afvoerpieken overeenkomen met de oorspronkelijke afvoergolven uit het NBW-model (composiethydrogrammen);
- De fasering van de hoogwatergolven correct is;
- De golfvorm is correct;
- Het golfvolume van de afvoerpieken komen overeen;
- De was en val van de golven komen overeen;
- De afvoer van het SOBEK-referentiemodel ter hoogte van stuw Egeldonk (KST560) wordt licht onderschat;
- De afvoer van het SOBEK-referentiemodel van stuw Wernhout (KST559) wordt licht overschat;
- De afwijkingen van de afvoerpieken van het SOBEK-referentiemodel ter hoogte van stuw Egeldonk en stuw Wernhout nemen af naarmate de herhalingsperiode kleiner wordt.

Waterstanden

- De maximale- en overallwaterstanden worden ter hoogte van stuw Wielhoef (KST558) en stuw Wernhout (KST559) licht overschat door het SOBEK-referentiemodel, dit is conform de verwachting resulterend uit de vergelijking van de frequentieverdeling en de QH-analyse;
- De maximale- en overallwaterstand ter hoogte van stuw Egeldonk (KST560) wordt overschat door het SOBEK-referentiemodel;
- De maximale- en overallwaterstand ter hoogte van stuw Bakkebrug (KST561) komt overeen;
- Naarmate de herhalingsperiode hoger wordt, neemt de afwijking (overschatting) door het SOBEK-referentiemodel toe ter hoogte van alle stuwen;
- De stijging- en daling van de waterstanden ter hoogte van alle stuwen komt overeen met de composiet.

5 Herinrichtingsvarianten waterbergingen Mortelbeek en Boontuinen

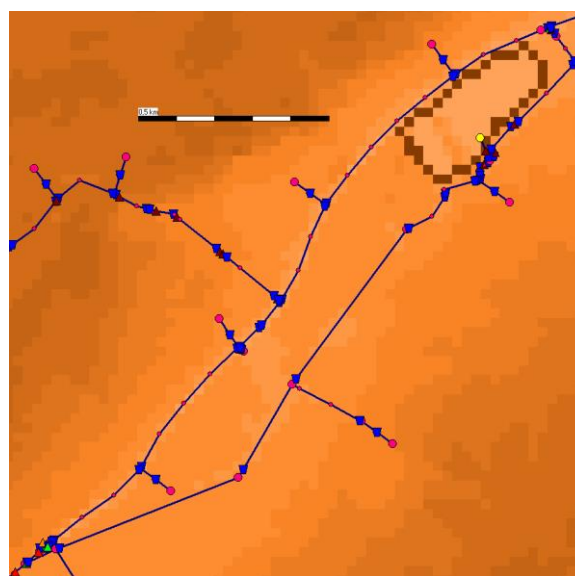
Per waterbergingsgebied zijn drie herinrichtingsvarianten doorgerekend die een bijdrage kunnen leveren aan de hydrologische en/of ecologische doelstellingen. In deze rapportage ligt de nadruk op de hydraulische en hydrologische effecten van de varianten in het oppervlaktewatersysteem beschreven. De varianten zijn gebaseerd op de notitie *Varianten, berekeningen en analyses herinrichting waterbergingen Mortelbeek en Boontuinen* (Werkgroep "waterbergingen" pilot vitaal buitengebied, 2020).

5.1 Variant Mortelbeek A

De bestaande waterloop Mortelbeek (die momenteel aan de zuid- en noordoostelijke zijde van de waterberging stroomt; zie Figuur 15) gaat bij (dreigende) wateroverlast als aanvoer voor de waterberging dienen. De waterberging wordt dus niet meer rechtstreeks vanuit de Aa of Weerijds gevuld, zoals dat nu het geval is. Daarnaast gaat de Mortelbeek (waterloop) als 'nevengeul' van de Aa of Weerijds tevens een ecologische functie vervullen. De waterloop Mortelbeek dient hiervoor bovenstrooms van stuw Wernhout aan de Aa of Weerijds te worden afgetakt. Hierdoor ontstaat er voldoende verval om tijdens drogere perioden een minimale ecologische afvoer te behouden. De waterloop Mortelbeek dient maximaal 1,5 m³/s te kunnen afvoeren.



Figuur 28 Herinrichtingsvariant Mortelbeek A (principe)



Figuur 29 Herinrichtingsvariant Mortelbeek A (SOBES-schematisatie)

Functies

De herinrichting van de waterberging en waterloop Mortelbeek dient een positieve bijdrage te leveren aan de volgende watergebonden functies: Waterberging (lokaal), waterconservering (voorafgaand aan droge perioden) en ecologie.

Principe

Deze variant bestaat uit de volgende onderdelen (zie Figuur 28):

- Aftakken van de Mortelbeek (waterloop) bovenstrooms van stuw Wernhout met een stuurbaar inlaatwerk (oranje stip);

- Aanleg van een nieuw tracé van de Mortelbeek (accoladeprofiel), vanaf de aantakking bovenstrooms van stuw Wernhout tot het bestaande tracé van de Mortelbeek (ter hoogte van de Wildertsedijk; groene stippellijn);
- Herprofilering (accoladeprofiel) van bestaand tracé Mortelbeek;
- Aanbrengen gewenste beplanting/vegetatie langs Mortelbeek (nadere detailuitwerking);
- Aanleg kade aan de rechteroever van de bestaande waterloop Mortelbeek (benedenstrooms traject vanaf waterberging Mortelbeek tot aantakking met Aa of Weerij; zie zwarte lijnen);
- Aanleg verbinding (afsluitbare en regelbare duiker(s); tussen waterloop Mortelbeek en waterberging Mortelbeek (zie paarse stippen).
- Aanleg regelbare stuw of bodemklep ter hoogte van aantakking waterloop Mortelbeek en Aa of Weerij (groene stip);
- Eventueel optimaliseren (hoogteligging en regelbaar maken) van bestaande uitlaat waterberging Mortelbeek (rode stip);
- Afsluiten van bestaande inlaat waterberging Mortelbeek vanuit de Aa of Weerij;
- Verondieping Aa of Weerij over traject stuw Wernhout – stuw Egeldonk (maatregel kan worden gezien als aanvullend).

Bediening en beheer

Boven maatgevende (ca. T5 en hoger) afvoeren wordt de waterberging 'geoptimaliseerd' (gestuurd) ingezet om wateroverlast op percelen die aan de overzijde van de waterberging langs de linkeroever van de Aa of Weerij liggen zoveel mogelijk te reduceren. Sturing van de afvoer door de waterloop Mortelbeek vindt plaats met behulp van de schuif/klephoogte bij de aftakking nabij stuw Wernhout, en de schuif/klephoogte in de duiker(s) naar de waterberging. Sturing van de waterhoogte in het benedenstroomse deel van de Mortelbeek vindt plaats met behulp van een stuw of bodemklep. Deze stuw of bodemklep dient in de periode 1 maart tot en met 31 mei minimaal 90% vis passeerbaar te zijn (Coenen, Antheunisse, Beekman, & Beers, 2017). Als de waterberging maximaal is gevuld wordt de schuif/klep tussen de waterloop Mortelbeek en de waterberging gesloten, en stroomt de Mortelbeek als nevengeul (met een max. afvoer van ca. 1,5 m³/s) achter de waterberging door naar de Aa of Weerij. Tijdens alle andere dan bovenstaand beschreven situaties stroomt de Mortelbeek als nevengeul parallel aan de Aa of Weerij. Sturing van de afvoer wordt mede bepaald door ecologische randvoorwaarden.

Aan het eind van het hoogwaterseizoen (maart) (Werkgroep "waterbergingen" pilot vitaal buitengebied, 2020) wordt de waterberging zoveel mogelijk gevuld voor de conservering van water. Hiervoor worden dezelfde kunstwerken gebruikt als bij bovenbeschreven waterbergingsfunctie. Als zich nadien een bovenmaatgevende hoogwatergolf voordoet, wordt de waterberging voorafgaand aan het hoogwater met de uitlaat volledig geleegd. Tijdens het groeiseizoen kan de waterberging bij voldoende bovenstroomse aanvoer naar believen worden gevuld. Er dient echter rekening te worden gehouden met een minimale ecologische stroomsnelheid (ca. 0,2 m/s).

Subvariant Mortelbeek A2

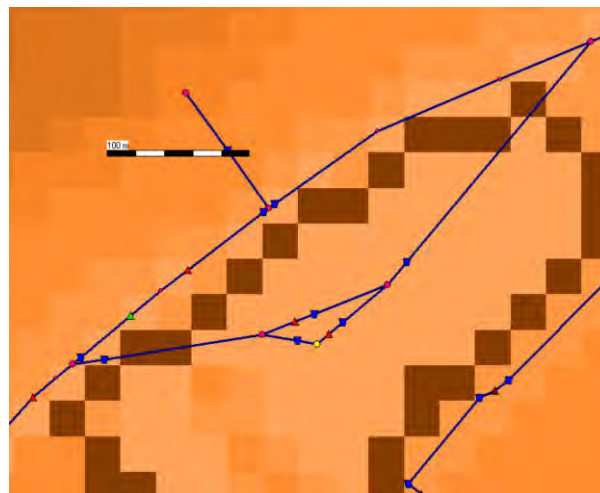
De verhoogde bodem in stuwpand Wernhout-Egeldonk kan een groot effect hebben op de waterstanden en (verdeling van) debiet. Subvariant A2 is variant A zonder verhoogde bodem (van 30 cm).

5.2 Variant Mortelbeek B

De bestaande kade tussen de Aa of Weerij en waterberging Mortelbeek wordt afgegraven, waardoor de interactie tussen de beek en waterberging wordt vergroot. Hiermee verdwijnen eveneens de bestaande in- en uitlaatconstructies. De interactie kan eventueel worden geoptimaliseerd door een nevengeul in de waterberging aan te leggen, met een drempel in de Aa of Weerij.



Figuur 30 Herinrichtingsvariant Mortelbeek B (principe)



Figuur 31 Herinrichtingsvariant Mortelbeek B (SOBEK-schematisatie)

Functies

De herinrichting van de waterberging en waterloop Mortelbeek dient een positieve bijdrage te leveren aan de volgende watergebonden functies: Waterberging (lokaal), waterconservering (voorafgaand aan droge perioden) en ecologie.

Principe

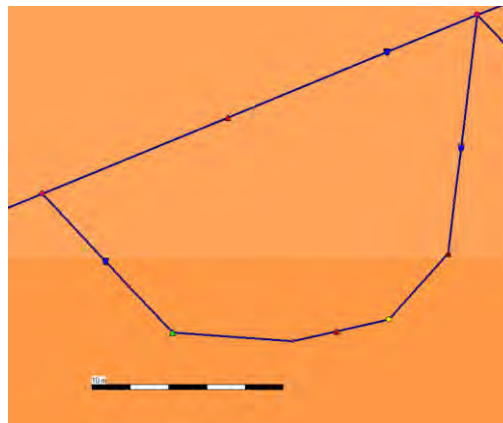
Deze variant bestaat uit de volgende onderdelen (Figuur 30):

- Afgraven van de huidige kade tussen Aa of Weerij en waterberging Mortelbeek (af te graven hoogte optimaliseren zodat de waterberging en interactie wordt geoptimaliseerd; zwarte stippellijn);
- Verwijderen huidige in- en uitlaatwerken waterberging Mortelbeek (resp. groene en rode stip);
- Aanleg nevengeul in waterberging Mortelbeek (groene stippellijn);
- Aanleg drempel in Aa of Weerij net benedenstrooms van aftakking nevengeul (bruine stip);
- Verdere verdieping (afgraving) waterberging Mortelbeek tot 5,7 mNAP (30 cm),
- Verwijderen niet gewenste vegetatie waterberging Mortelbeek;
- Aanbrengen gewenste beplanting/vegetatie in waterberging Mortelbeek.

5.3 Variant Mortelbeek C

De bestaande waterberging optimaliseren voor reductie van lokale wateroverlast op percelen die aan de overzijde langs de linkeroever van de Aa of Weerijds liggen.

- De bodem van de waterberging blijft gehandhaafd op +6,00 mNAP
- De inlaathoogte wordt gewijzigd naar +6,00 mNAP met terugslagklep om uitstroming vanuit waterberging Mortelbeek naar de Aa of Weerijds te voorkomen.
- De uitlaat van de waterberging is verhoogd naar +6,50 mNAP om netto meer berging te creëren.



Figuur 32 Herinrichtingsvariant Mortelbeek C (SOBEK-schematisatie)

Functies

De herinrichting van de waterberging Mortelbeek dient een positieve bijdrage te leveren aan de watergebonden functie waterberging (lokaal) en waterconservering.

Principe

Deze variant bestaat uit de volgende onderdelen:

- Hoogteligging bestaande in- en uitlaat aanpassen;
- Inlaat via één richting laten instromen.
- Deels verwijderen van de huidige vegetatie in de waterberging;

Bediening en beheer

Bij bovenmaatgevende (ca. T5 en hoger) afvoeren wordt de waterberging 'geoptimaliseerd' (gestuurd) ingezet om wateroverlast op percelen die aan de overzijde van de waterberging langs de linkeroever van de Aa of Weerijds liggen zoveel mogelijk te reduceren.

Subvariant Mortelbeek C2

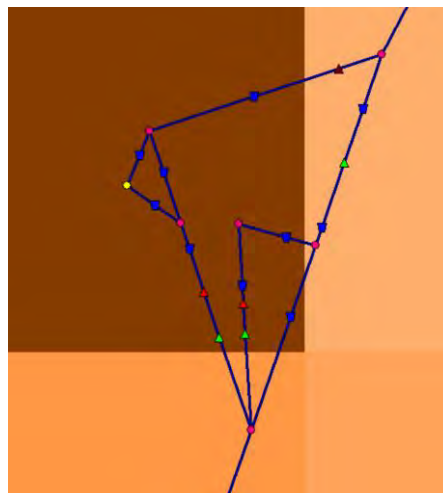
Bij subvariant C2 is de hoogte van de uitlaat verhoogd van +6,50 mNAP naar +7,00 mNAP. Dit verhoogt de hoeveelheid waterconservering in de waterberging Mortelbeek. In variant C2 wordt het effect van een verhoging van de uitlaathoogte beschouwd. +7,00 mNAP is een willekeurig genomen hoogte en variant C2 kan zelfs zonder uitlaat worden beschouwd maar mét een overstort/knijpvoorziening. Een vergelijking kan worden gemaakt met een groot natuurlijk bassin. In deze variant wordt uitgegaan van lediging via infiltratie van de waterberging. Wegens gebrek aan grondwatermodellering of een representatieve infiltratiewaarde is de leeglooptijd van de waterberging Mortelbeek niet bekend. Het inzicht uit de rekenexercitie ten opzichte van variant C is het verschil van 50 cm extra waterkolom in de waterberging Mortelbeek.

5.4 Variant Boontuinen A

De bestaande strang in de binnenbocht van waterberging Boontuinen wordt bovenstrooms aangetakt en de doorstroming van de bestaande (neven) geul in de buitenbocht van de waterberging wordt geoptimaliseerd door de in- en uitlaat aan te passen. Eventueel wordt de nevengeul in de buitenbocht geoptimaliseerd door vergraving/verruiming.



Figuur 33 Herinrichtingsvariant Boontuinen A (principe)



Figuur 34 Herinrichtingsvariant Boontuinen A (SOBEK-schematisatie)

Functies

De herinrichting van waterberging Boontuinen dient een positieve bijdrage te leveren aan de volgende watergebonden functies: waterberging (lokaal), waterconservering (continue, mede door extra aanvulling van grondwater), ecologie.

Principe

Deze variant bestaat uit de volgende onderdelen (Figuur 33):

- Inlaatconstructie bovenstrooms aantakken van de strang in de binnenbocht met een (stuurbaar) inlaatwerk (rode stip);
- Aanpassing (hoogteligging drempel) van de bestaande aantakking strang in de binnenbocht zodat deze continue meestroomt, of in ieder geval in open verbinding met de Aa of Weerij staat (groene stip);
- Aanpassing van bestaand inlaatwerk van de nevengeul in de buitenbocht (hoogteligging drempel en regelbaar kunstwerk; blauwe stip);
- Aanpassing van bestaand uitlaatwerk van de nevengeul in de buitenbocht (hoogteligging drempel; gele stip);
- Eventuele herprofilering van de nevengeulen in zowel de binnen- als de buitenbocht.

Beheer

Het meestromen van de nevengeulen in de binnen- en de buitenbocht dient te worden afgestemd met de vispassage ter hoogte van stuw Egeldonk.

Subvariant Boontuinen A2

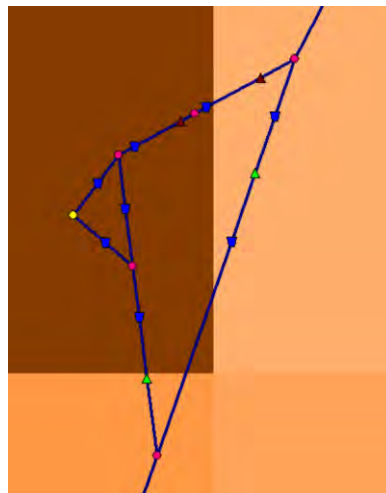
Bij variant A2 ligt de hoogteligging van het inlaatwerk op +6,10 mNAP in plaats van +5,50 mNAP

5.5 Variant Boontuinen B

De bestaande strang in de binnenbocht van waterberging Boontuinen wordt bovenstrooms aangetakt. Daarnaast wordt de nevengeul in de binnenbocht doorgetrokken en de uitstroomconstructie benedenstrooms van stuw Egeldonk aangetakt op de Aa of Weerijs.



Figuur 35 Herinrichtingsvariant Boontuinen B (principe)



Figuur 36 Herinrichtingsvariant Boontuinen B (SOBEK-schematisatie)

Functies

De herinrichting van waterberging Boontuinen dient een positieve bijdrage te leveren aan de volgende watergebonden functies: waterberging (regionaal) en ecologie.

Principe

Deze variant bestaat uit de volgende onderdelen (Figuur 35):

- De binnenbocht bovenstrooms van stuw Egeldonk aantakken met een (stuurbaar) inlaatwerk (rode stip);
- Verlengen van de binnenbocht naar de buitenbocht (groene stippellijn);
- Aanleg duiker door 'hoge rug' ten behoeve van doorgang verlengde strang (zwarte stip);
- Aantakken van doorgetrokken binnenbocht benedenstrooms van stuw Egeldonk (duiker/drempel; paarse stip).

Beheer

Het meestromen van de nevengeul in de binnenbocht dient te worden afgestemd met de vispassage ter hoogte van stuw Egeldonk.

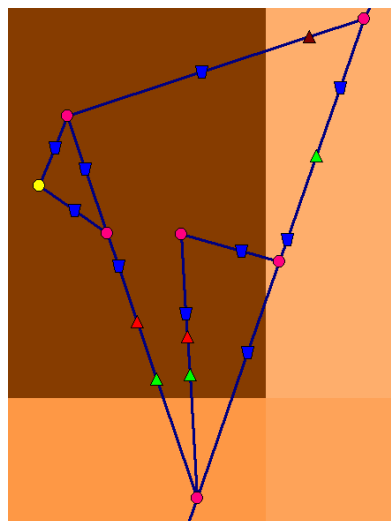
Subvariant Boontuinen B2

De drempelhoogte van de uitstroomvoorziening (paarse stip) wordt verhoogd naar +6,50 mNAP zodat er netto bergingscapaciteit ontstaat. De vrij afwaterende situatie (variant B) wordt hierdoor gewijzigd.

5.6 Variant Boontuinen C

De bestaande capaciteit van de waterberging, zowel in binnen- als buitenbocht, wordt geoptimaliseerd door grond af te graven, en voor de lokale reductie van wateroverlast ingezet. Deze variant vormt een aanvulling (afgraven) op variant A.

- De inlaatconstructie is evenals Variant A verhoogd +5,5 mNAP
- De hoogte van de buitenbocht wordt verlaagd van +6,1 mNAP naar +5,5 mNAP;
- Het netto bergingsoppervlak wordt verhoogd van 81.455 m² naar 130.000 m²;
- De hoogte van de uitlaatconstructie (buitenbocht) wordt verhoogd van +6,1 mNAP naar +6,5 mNAP zodat er netto bergingscapaciteit ontstaat.



Figuur 37 Herinrichtingsvariant Boontuinen C (SOBEK-schematisatie)

Functies

De herinrichting van waterberging Boontuinen dient een positieve bijdrage te leveren aan de volgende watergebonden functies: waterberging (lokaal), waterconservering (continue, mede door extra aanvulling van grondwater) en ecologie.

Deze variant bestaat uit dezelfde onderdelen als variant *Boontuinen A*, met aanvullend:

- Gedeeltelijke afgraving van de buitenbocht (variant A +6,10 mNAP; variant C +5,50 mNAP).
- Afgraving en herprofilering van de binnen- en buitenbocht passend bij de afgraving van het omliggende gebied.

Subvariant Boontuinen C2

Bij variant A2 ligt de hoogteligging van het inlaatwerk op +6,10 mNAP in plaats van +5,50 mNAP.

5.7 Dimensionering relevante parameters varianten

		Mortelbeek					
		Ref	A	A2	B	C	C2
Drempelhoogte inlaat	[mNAP]	6,50	6,25	6,25	n.v.t.	6,00	6,00
Bodemhoogte waterberging	[mNAP]	6,05	6,05	6,05	5,70	6,00	6,00
Oppervlakte waterberging	[m ²]	58000	58000	58000	58000	58000	58000
Drempelhoogte uitlaat	[mNAP]	6,55	6,25	6,25	0,00	6,50	7,00
Bodemhoogte Wernhout-Egeldonk	[Δcm]	n.v.t.	30	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Drempelhoogte Aa of Weerijis	[Δcm]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	80	n.v.t.	n.v.t.

		Boontuinen						
		Ref	A	A2	B	B2	C	C2
Drempelhoogte inlaat (binnenbocht)	[mNAP]	n.v.t.	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
Drempelhoogte uitlaat (binnenbocht)	[mNAP]	5,03	5,03	5,03	3,60	6,50	5,03	5,03
Drempelhoogte inlaat (buitenbocht)	[mNAP]	5,87	5,50	6,10	5,87	5,87	5,50	6,10
Drempelhoogte uitlaat (buitenbocht)	[mNAP]	6,10	6,50	6,50	6,10	6,10	6,50	6,50
Bodemhoogte waterberging	[mNAP]	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	5,50	5,50
Oppervlakte waterberging	[m^2]	81455	81455	81455	81455	81455	130000	130000

6 Hydrodynamische berekeningen

De afvoer- en waterstand effecten van de herinrichtingsvarianten uit hoofdstuk 5 zijn vergeleken met de referentiesituatie. Er is gekeken naar het effect op de afvoeren en waterstanden in de Aa of Weerij. Met de resultaten van deze twee parameters kan iets gezegd worden over met name (lokale) wateroverlast, en in mindere mate over waterconservering en ecologie.

6.1 Uitgangspunten berekeningen

De volgende uitgangspunten en/of kanttekeningen zijn gehanteerd:

- Vanwege een gebrek aan grondwatermodellering en daarvoor beschikbare relevante data zijn scenarioberekeningen van lagere afvoeren niet uitgevoerd. Resultaten volgend uit deze berekeningen geven mogelijk schijnwaardes;
- Ook jaarronde berekeningen zijn niet met het gebruikte oppervlaktewatermodel uit te voeren. Bij voorkeur zijn resultaten van een 'nat' (2012), 'gemiddeld' (2010) en 'droog' (2018) jaar gewenst om met name de ecologische effecten te beschouwen.
- Scenario's met een T10, T25, T50, T100 afvoer bij stuw Wielhoef. Deze scenarioberekeningen worden vergeleken met de referentiesituaties (huidige situatie zonder herinrichtingsmaatregelen).
- De maximale afvoer door de watergang Mortelbeek bedraagt 1,5 m³/s
- De minimale stroomsnelheid in watergang Mortelbeek bedraagt 0,2 m/s (profilering n.t.b.)

Uitgevoerde berekeningen:

Berekening	Referentie	Herinrichtingsvarianten					
		Mortelbeek A	Mortelbeek B	Mortelbeek C	Boontuin en A ³	Boontuin en B ³	Boontuin en C ³
<T2							
T0 ⁴	X						
T2	X						
T10	X	X ¹	X ²	X	X	X	X
T25	X	X	X	X	X	X	X
T50	X	X	X	X	X	X	X
T100	X	X ¹	X ²	X	X	X	X
Nat jaar							
Gem. jaar							
Droog jaar							

Tabel 1 Overzicht van berekeningen (referentie en herinrichtingsvarianten). ¹ ook aanvullende berekeningen uitgevoerd zonder verhoogde bodem in de Aa of Weerij. ² ook aanvullende berekeningen uitgevoerd zonder drempel in de Aa of Weerij. ³ alle berekeningen uitgevoerd als "vrij afwaterend" en met de uitlaatconstructie hoger aangelegd waardoor er geen vrij afwaterende situatie ontstaat. ⁴ dient enkel als indicatie om de 0-situatie van afvoer en waterstandshoogte te beschouwen

6.2 Hoofdvraagstellingen (algemeen)

De hydrodynamische berekeningen moeten ten minste inzicht geven in:

- Het variantafhankelijke verschil in waterbergingsvolume (in m³) ten opzichte van de huidige situatie.
- De overstromingsfrequenties, -duur en -periodes (maanden) van de niet permanente delen van de waterbergingsgebieden;

- Het variantafhankelijke verschil in waterhoogte in de Aa of Weerij over stuwpanen Wielhoef-Wernhout, Wernhout-Egeldonk en Egeldonk-Bakkebrug, en de afname van de wateroverlast op percelen in de directe omgeving van de waterbergingsgebieden.
- De mate waarin het grondwater extra wordt aangevuld als gevolg van de waterconserveringsfunctie van de waterbergingsgebieden;
- De minimale stroomsnelheden voor de drie maanden met laagste afvoer in de Aa of Weerij (Waterschap Brabantse Delta, 12 juni 2018):
 - o De Aa of Weerij ter hoogte van stuw Wielhoef, stuw Wernhout, stuw Egeldonk en stuw Bakkebrug (alle varianten)
 - o Waterloop Mortelbeek (variant 'Mortelbeek A')
 - o Nevengeul waterberging Mortelbeek (variant 'Mortelbeek B')
 - o Binnen- en buitenbocht waterberging Boontuinen (varianten 'Boontuinen A en C')
 - o Doorgetrokken binnenbocht waterberging Boontuinen (variant 'Boontuinen B')
- De watervoerendheid van de waterloop Mortelbeek en de binnen- en buitenbocht van Boontuinen
- De verblijftijd van het water tijdens de zomerperiode in de Aa of Weerij tussen stuw Wernhout en stuw Egeldonk, de waterloop Mortelbeek en de binnen- en buitenbocht van Boontuinen.

Hoofdvraagstellingen (variantspecifiek):

Mortelbeek variant A:

- Dimensionering en regeling inlaatwerk aftakking waterloop Mortelbeek bovenstrooms stuw Wernhout
- Dimensionering accoladeprofiel (optimalisatie) waterloop Mortelbeek (nieuw en bestaand tracé);
- Minimale hoogte kades waterloop Mortelbeek;
- Locaties, dimensies, hoogteligging en aantal regelbare en afsluitbare duikers zodat de vullingsgraad van waterberging Mortelbeek wordt geoptimaliseerd;
- Dimensies en regeling regelbare stuw of bodemklep ter hoogte van aantakking waterloop Mortelbeek en Aa of Weerij;
- Mate van verondieping Aa of Weerij over traject stuw Wernhout – stuw Egeldonk, zodanig dat er bij T5 een waterhoogteverlaging van 0,15 m tussen stuw Wernhout en stuw Egeldonk wordt bereikt.

Variant Mortelbeek B:

- Optimale afgravingshoogte (t.b.v. waterberging) kade waterberging Mortelbeek;
- Dimensies en lengte nevengeul in waterberging Mortelbeek.

Variant Mortelbeek C:

- Bepaling optimale hoogteligging in- en uitlaat waterberging Mortelbeek t.b.v. lokale waterberging (>T5 en verder);

Variant Boontuinen A & Boontuinen C:

- Dimensies, hoogteligging en regeling regelwerk aftakking binnenbocht t.b.v. lokale waterberging (>T5), en mede in combinatie met de buitenbocht en de vistrap stuw Egeldonk en vice versa.

- Hoogteligging drempel aantakking binnenbocht zodat deze continue in open verbinding met de Aa of Weerij staat;
- Hoogteligging drempel aantakking buitenbocht t.b.v. lokale waterberging (> T5).

Variant Boontuinen B:

- Dimensionering en regeling regelwerk aftakking strang, t.b.v. lokale waterberging (v.a. T5 en verder), en mede in combinatie met de vistrap stuw Egeldonk;
- Hoogteligging en dimensies duiker aantakking strang benedenstrooms van stuw Egeldonk;
- Dimensionering profiel verlengde binnenbocht;
- Dimensionering en hoogteligging duiker door hoge rug.

6.3 Afwegingskader

De varianten worden in een later stadium getoetst aan een afwegingskader (zie Bijlage E). Met een definitieve variantenkeuze kan een nadere uitwerking op inrichtings- en uitvoeringsniveau plaatsvinden. Belangrijk is dat sommige parameters niet direct afgeleid kunnen worden uit de hydrodynamische berekeningen maar dat er voor deze parameters, al dan niet op basis van hydraulisch/hydrologische effecten, voldoende onderscheidend gemaakt kan worden om een onderbouwde keuze te maken.

Deze rapportage benadert enkel de haalbaarheid op hoofdlijnen van de verschillende varianten. Dimensionering van doorsnedeprofielen, stroomsnelheden, inregeling van de kunstwerken en detailengineering volgt in een later ontwerpstadium.

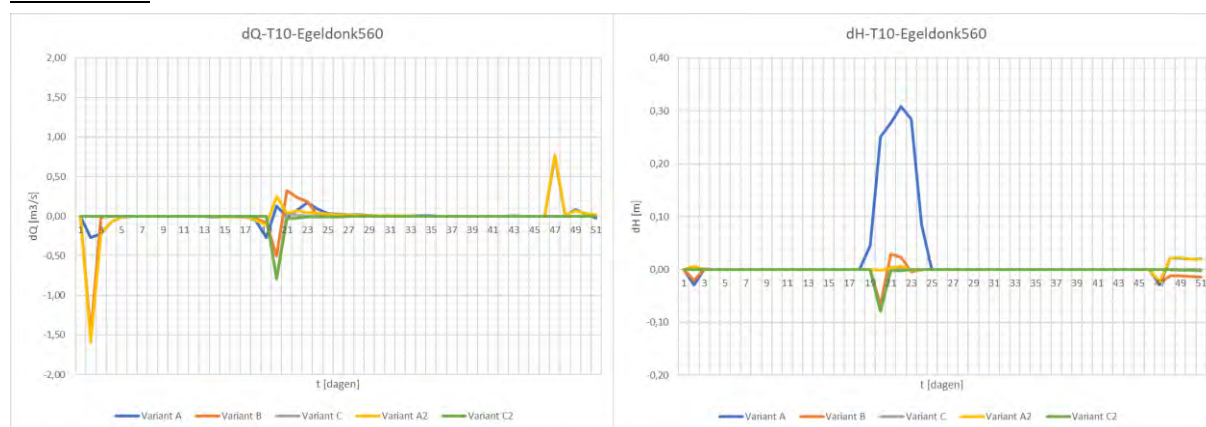
6.4 Resultaten rekenexercitie

De resultaten van de T10-berekeningen geven van alle uitgevoerde berekeningen (T10, T25, T50 en T100) het meest vaakvoorkomende hydraulische piekgedrag van de Aa of Weerij's weer. Voor de vergelijking van de varianten wordt daarom met name naar deze resultaten gekeken. Desondanks blijft een T10-scenario nog steeds een enorme hoeveelheid water die maar één's in de tien jaar voorkomt. Voor echt extreme situaties wordt af en toe verwezen naar een T100 situatie. De resultaten van de uitgevoerde T25 en T50 berekeningen zitten lineair tussen de uitkomsten van een T10 en T100 scenario.

6.4.1 Hydrologisch-hydraulische resultaten

In de basis zijn uit SOBEK enkel hydraulisch-hydrologische resultaten te herleiden.

Mortelbeek



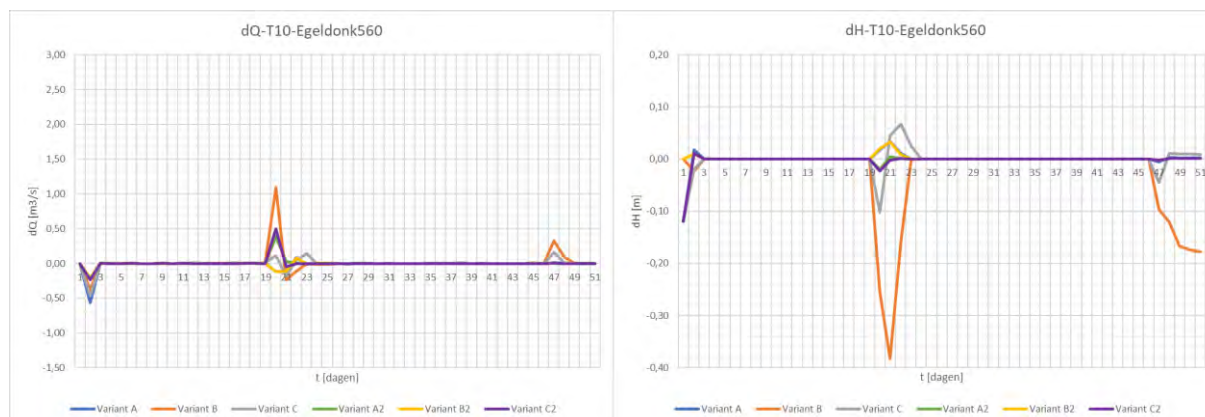
Figuur 38 Resultaten van de herinrichtingsvarianten Mortelbeek T10 (debiet Q en waterstand H) ten opzichte van het referentiemodel (stuwpannd Wernhout-Egeldonk)

- De waterberging ligt in het diepingesneden beekdal en heeft in de huidige situatie een drainerende werking op de grondwaterstand. Ook de waterberging Mortelbeek werkt daardoor drainerend op de grondwaterstand. Indien conserveringswater aanwezig is hoeft dit geen probleem te vormen, echter bij droge periodes is dit niet te garanderen.
- Iteratief blijkt dat maximaal $-1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ kan worden onttrokken uit stuwpannd Wielhoef-Wernhout. Een hoger debiet resulteert in hogere waterstanden waardoor het omliggende maaiveld sneller inundeert (variant A en A2). Om inundatie (=overstroming) van het omliggende maaiveld te voorkomen moeten de aanliggende kades hoger zijn dan de optredende waterstanden. In het geval van een T10 situatie is dit $+7,80 \text{ mNAP}$ en bij T100 $+8,01 \text{ mNAP}$. Het huidige maaiveld ligt tussen de $+7,00 \text{ mNAP}$ en $7,60 \text{ mNAP}$.
- Variant A en A2 onttrekken in de piek maximaal $-1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ uit stuwpannd Wielhoef-Wernhout (Aa of Weerij's) naar de waterloop Mortelbeek. Variant B, C en C2 onttrekken geen hoeveelheid water uit stuwpannd Wielhoef-Wernhout. In een "normale situatie" stroomt er $-0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ door de aangetakte Mortelbeek ten opzichte van de referentiesituatie. De onttrekking naar de nevenloop Mortelbeek zorgt tijdens een peeksituatie voor een verlaging van de waterstand in stuwpannd Wielhoef-Wernhout van 6 cm (T10 & T100)
- De duur van de piekonttrekking (T10) naar waterloop Mortelbeek (variant A en A2) is circa 11 dagen. Tijdens de piek wordt een hoeveelheid van ca. 260.000 m^3 extra onttrokken uit de Aa

of Weerijds dan tijdens een normale afvoer. De duur bij T100 is ca. 32 dagen en onttrekt tijdens de piek ca. 870.000 m³ extra vanuit de Aa of Weerijds.

- Variant B zorgt voor een debietverlaging (tot -0,50 m³/s; T10) in de Aa of Weerijds ten opzichte van de referentiesituatie, mede onder invloed van de aangelegde bodemval. Door de continue doorstroom zorgt variant B dat het afgevangen water -waardoor de debietsverlaging ontstaat- in een periode van twee dagen erna in de Aa of Weerijds terugvloeit. Deze vertraging van het eerste deel van de piek zorgt voor een debietverhoging in de twee opvolgende dagen (tot 0,30 m³/s). Door de vertraging bij variant B blijft de waterstand twee dagen – tijdens de piekafvoer – op een constant niveau (+6,61 mNAP; zie H-T10-Egeldonk). Een aanvullende berekening met de invloed van de bodemval zou als extra variant kunnen worden beschouwd.
- De effecten van de resultaten over stuwpand Wernhout-Egeldonk zijn idem aan de resultaten voor stuwpand Egeldonk-Bakkebrug aangezien beide meetpunten benedenstrooms zijn gelegen van de waterberging Mortelbeek. Wel zijn de debieten van andere orde grootte door instroom van andere waterlopen in het stroomgebied.
- De verhoogde bodem in de Aa of Weerijds bij variant A (stuwpand Wernhout-Egeldonk) veroorzaakt één op één de verhoogde waterstand (30 cm), zonder verhoogde bodem (variant A2) is er geen waterstandsverhoging. De verhoogde bodem zorgt er tevens voor dat na het piekdebet de waterloop Mortelbeek en waterberging Mortelbeek langzamer leeglopen (ter plaatse van aantakking waterloop Mortelbeek Aa of Weerijds). De maximalisering van de onttrekking uit stuwpand Wernhout-Egeldonk (-1,5 m³/s) geeft een beperking op de totale benutting van de potentiële bergingscapaciteit van de waterloop en waterberging Mortelbeek bij een verhoogde bodem.
- Uit de resultaten (T10) over stuwpand Wernhout-Egeldonk geeft enkel variant C en C2 een debietverlaging tijdens het piekmoment door de Aa of Weerijds in vergelijking met de referentiesituatie én waarbij in een later stadium geen verhoging van het debiet in de Aa of Weerijds optreedt. Ten opzichte van de referentiesituatie vangt variant C ca. 0,80 m³/s af gedurende 1 dag van de Aa of Weerijds. Dit geeft een verlaging op het waterstandsniveau (8 cm). Belangrijk is de trend tussen de T10, T25, T50 en T100 scenario. Door de verlaging van de inlaatconstructie ten opzichte van de referentiesituatie wordt de waterberging Mortelbeek bij variant C en C2 sneller gevuld. Hierdoor is er minder bergingscapaciteit beschikbaar om de daadwerkelijke piek af te vlakken. Bij T100 is een hogere afvoer in de Aa of Weerijds (variant C en C2) dan tijdens de referentiesituatie. Het omslagpunt ligt om en nabij een T25-scenario.
- Belangrijk argument om de inlaat te verlagen tot ca. +6,00 mNAP (met terugslagklep) bij variant C en C2 is om kleinere pieken die resulteren in frequentere waterstandsverhogen (tussen +6,00 mNAP en +6,40 mNAP) te conserveren tijdens drogere perioden. Hierdoor wordt de werking van waterberging Mortelbeek ook meer zichtbaar.
- Een verhoging van de uitlaatconstructie (van 50 cm) bij variant C2 vertraagt de uitstroom (debet) ten opzichte van variant C in zowel in stuwpand Wernhout-Egeldonk als Egeldonk-Bakkebrug doordat het water beperkt uit de waterberging Mortelbeek kan stromen. Variant C2 is representatief voor een situatie zonder uitlaatvoorziening aangezien de waterstand maximaal (T10) tot +6,59 mNAP reikt. Het verschil (beide stuwpanden) is 0,07 m³/s na 1 dag en 0,04 m³/s na dag 2. Lediging via infiltratie is niet meegenomen in de beschouwing. Dit resultaat is niet zichtbaar in de resultaten en dient nader onderzocht te worden.

Boontuinen



Figuur 39 Resultaten van de herinrichtingsvarianten Boontuinen T10 (debiet Q en waterstand H) ten opzichte van het referentiemodel (stuwpannd Wernhout-Egeldonk)

- Alle varianten van Boontuinen hebben geen effect op het stuwpand Wielhoef-Wernhout
- Het debiet tijdens het eerste deel van de piekafvoer in variant A en B2 over stuwpand Wernhout-Egeldonk (T10) is minder in vergelijking tot de referentiesituatie. In een T10 situatie wordt er ca. $-0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ afgevangen. Wanneer de netto bergingscapaciteit volledig is benut is de afvoer over stuw Egeldonk hoger ten opzichte van de referentiesituatie. Ditzelfde effect is te zien bij variant C over stuwpand Egeldonk-Bakkebrug waar eerst een relatief grote hoeveelheid afvoer ($-1,62 \text{ m}^3/\text{s}$) wordt afgevangen maar na het benutten van de volledige netto bergingscapaciteit (ca. 140.000 m^3) wordt de afvoer benedenstrooms (stuwpand Egeldonk-Bakkebrug) afgewenteld.
- De hoogteligging en/of sturing van kunstwerken is zeer relevant bij alle varianten. Ter vergelijking de resultaten van variant B en variant B2 bij een T10-situatie, het verschil van een “vrij afwaterende” (uitlaat lager zoals $+3,5 \text{ mNAP}$; variant B) en “netto berging” (uitlaat hoger zoals $+6,5 \text{ mNAP}$; variant B2) situatie. Duidelijk is te zien dat bij de vrij afwaterende situatie de waterberging Boontuinen functioneert als bypass over stuw Egeldonk (te zien aan de debietverhoging van $1,10 \text{ m}^3/\text{s}$ ten opzichte van de referentie) en de afvoer naar benedenstrooms (stuwpand Egeldonk-Bakkebrug) afwentelt tot zelfs $2,70 \text{ m}^3/\text{s}$ gedurende één dag. Dit leidt tot een verlaging van bijna 40 cm in stuwpand Wernhout-Egeldonk maar tot een verhoging van 12 cm in stuwpand Egeldonk-Bakkebrug.
- De hoogte van de inlaatconstructie zorgt voor een vertragend effect in het vollopen van de waterberging Boontuinen en het bereiken van effectieve bergingsvolume. Dit blijkt uit de resultaten van variant A (hoogteligging bodem $+6,1 \text{ mNAP}$) en variant C (resp. $+5,5 \text{ mNAP}$) De inlaathoogtes zijn idem, maar de bodemhoogte zorgt in het model voor de zichtbaarheid van dit effect. Variant C is bij aanvang van de piekafvoer al een groot deel van de bergingscapaciteit (26.000 m^3) verloren.
- Variant A2 en C2 hebben een verhoogde drempel ($+6,1 \text{ mNAP}$) van de inlaatconstructie in de “buitenbocht” ten opzichte van variant A en C ($+5,5 \text{ mNAP}$). De drempel van de inlaatconstructie in de “binnenbocht” blijft wel op $+5,5 \text{ mNAP}$ gehandhaafd ten opzichte van variant A en C. Uit variant A en C blijkt dat wegens de hoogteligging van de inlaatconstructie niet de volledige netto bergingscapaciteit kan worden benut. Bij variant A2 en C2 is in beide gevallen een debietverhoging ($0,39 \text{ m}^3/\text{s}$ bij A2 en $0,49 \text{ m}^3/\text{s}$ bij C2) totdat de drempel van de inlaatconstructie in de buitenbocht (één dag) is bereikt. De aantakking van de binnenbocht én

de lediging van deze extra berging in hetzelfde stuwpand (bovenstrooms van stuw Egeldonk) zorgt voor deze debietverhoging ten opzichte van de referentiesituatie. Wel daalt de waterstand in beide gevallen ca. 2 cm. vanwege de extra bergingscapaciteit in de “binnenbocht”. Na één dag wordt in beide gevallen de drempel van de inlaatconstructie bereikt en wordt de netto bergingscapaciteit in beide gevallen benut: variant A2: ca. 31.000 m³ en variant C2: ca. 46.000 m³. Het inlaatwerk mag na het benutten van de bergingscapaciteit niet ledigen via de inlaatconstructie waardoor het inlaatwerk regelbaar dient te worden.

Hydraulisch-hydrologische verschillen ten opzichte van de referentiesituatie (T10)								
Parameters			Mortelbeek					
		REF	A	A2	B	C	C2	
Netto bergingsvolume piekdebiet	V [m3]	15660	47520	45792	43200	68256	97256	
Waterstandsverlaging Wielhoef-Wernhout	dH [cm]		6,00	6,00	0,00	0,00	0,00	
Waterstandsverlaging Wernhout-Egeldonk	dH [cm]		-31,00	0,00	7,00	8,00	8,00	
Waterstandsverlaging Egeldonk-Bakkebrug	dH [cm]		1,00	0,00	4,00	5,00	5,00	
			Boontuinen					
		REF	A	A2	B	B2	C	C2
Netto bergingsvolume piekdebiet	V [m3]	19549	19872	45615	0	19872	119600	150800
Waterstandsverlaging Wielhoef-Wernhout	dH [cm]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Waterstandsverlaging Wernhout-Egeldonk	dH [cm]		-3,00	2,00	38,00	3,00	-10,00	3,00
Waterstandsverlaging Egeldonk-Bakkebrug	dH [cm]		0,00	2,00	-12,00	0,00	-7,00	0,00

Figuur 40 Netto bergingsvolume en waterstandsverlaging over de verschillende stuwpanden

6.4.2 Ecologische potenties

Op basis van expert judgement is per variant de impact op de ecologische waardes (intuïtief) bepaald. Voor het afwegingskader is een uitsplitsing gemaakt tussen 1. “KRW”, 2. “Functioneren natte EVZ” en 3. “Terrestrisch landnatuur”. In de huidige situatie staat voor beheertypen terrestrische natuur: Mortelbeek- N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos en voor Boontuinen- N12.06 Ruigteveld. Nadere ecologische uitwerking moet bij voorkeur aansluiten op de randvoorwaarden uit deze paragraaf. De varianten zijn per waterbergingsgebied ten opzichte van elkaar beoordeeld.

Mortelbeek

De mate waarin Mortelbeek A en A2 voor de KRW positief is (aantakking Mortelbeek-Aa of Weerij's min. 90% vrij passeerbaar is voor vissen en macrofauna), hangt sterk af van de stroming die in de verlengde Mortelbeek als nevengeul gerealiseerd wordt. In droge perioden moet er voor de gewenste soorten voldoende stroming zijn. Dit geldt ook voor de nevengeul van variant B. Als de stroming in deze varianten in de zomer in de nevengeulen wegvalt (en/of de nevengeul van variant A en A2 niet vrij optrekbaar is), is de verbetering van ecologie in deze varianten nihil. Gezien de extra lengte van variant A en A2 ten opzichte van de referentiesituatie (2,3 km) heeft de bijdrage in ecologie (KRW) een groot effect.

Boontuinen

Voor Boontuinen geldt voor de ecologie (KRW) als de kunstwerken minimaal 90% van de tijd vrij passeerbaar zijn en als er voldoende stroming wordt gerealiseerd een hoge ecologische bijdrage. Als de nevengeulen niet minimaal 90% vrij bereikbaar zijn, bijvoorbeeld omdat kunstwerken nodig zijn om te voorkomen dat het bovenstroomse stuwpand leegloopt, is een lagere ecologische waarde van toepassing. De nevengeulen vervangen bij voorkeur de huidige vispassage.

6.4.3 Haalbaarheid (financieel, korte termijn)

De (financiële) haalbaarheid van de herinrichtingsvarianten is in hoofdlijnen gebaseerd op het aantal wijzigingen dat een variant met zich meebrengt, het aantal kunstwerken en hoeveelheden/oppervlaktes (grond). Het overzicht is gemaakt op basis van expert judgement en weergegeven in Bijlage G. De subvarianten zijn min of meer gelijk aan de beoordeling van de hoofdvarianten. Uit de tabel blijkt dat bij Mortelbeek variant C en C2 de minste aanpassingen nodig zijn en dat varianten Mortelbeek A, A2 en Boontuinen variant C en C2 de meeste aanpassingen behoeven. Hierdoor zijn deze varianten minder haalbaar op korte termijn. De hoge kosten ontstaan met name door het grote aantal grondverzet en (regelbare) kunstwerken. Een andere belangrijke parameter is de grondaankoop bij verschillende varianten. In de situatie Mortelbeek moet voor variant A en A2 een groot aantal percelen worden verworven om de varianten uit te kunnen voeren. Voor de situatie Boontuinen geldt dat het huidige perceel eigendom is van Staatsbosbeheer. Aankoop en/of intensiever onderhoud door de invloed van varianten maakt het financieel minder haalbaar.

6.4.4 Omgeving en beleving

Naast de functionele invulling van de waterbergingsgebieden dient een “klimaatrobuust beekdal”, en dus de waterbergingsgebieden, volgens de pilot Vitaal buitengebied (Gemeente Zundert, 2020) ook een meerwaarde te bieden gericht op de omgeving. Indicatief wordt gekeken naar de (natuur)beleving van de waterbergingsgebieden voor de burgers van de gemeente Zundert. De tweede parameter die relevant is voor de betrokkenheid is het zichtbare hydrologische effect van een verandering in de waterbergingsgebieden. In acht moet worden genomen dat de al gevestigde ecologie zo min mogelijk verstoord dient te worden.

Mortelbeek variant A en A2 hebben een hoge toename van het oppervlak waarmee de zichtbaarheid van de varianten sterk wordt verhoogd én er zijn beperkte afgravingen in de waterberging benodigd waardoor de huidige ecologie en natuurwaarde kan worden behouden. Mortelbeek variant B heeft een hoge zichtbare waarde echter moet de bodem worden afgegraven (voor langdurigere ecologische doeleinden weliswaar) wat ten koste gaat van de huidige ecologische waarden. Mortelbeek variant C en C2 veranderen het hydrologische effect in de waterberging. Hoewel dit zichtbare niet direct opvalt is dit een pré ten opzichte van de referentiesituatie. Boontuinen variant A, A2, B en B2 hebben een hoog zichtbaar effect en er is beperkte invloed op de huidige ecologie. Boontuinen variant C en C2 behoeft een grote hoeveelheid wijzigingen ten nadele van de huidige ecologie daarentegen is het zichtbare effect zeer groot, met name bij variant C2.

7 Conclusies en aanbevelingen

Uit de resultaten van de hydrodynamische berekeningen blijkt dat:

- Uit de MCA-matrix (Figuur 41) blijkt dat voor waterbergingsgebied Mortelbeek variant C2 en Boontuinen variant A2 de voorkeur heeft. Deze varianten dienen nader uitgewerkt te worden.
- Mortelbeek variant C2 heeft verhoudingsgewijs de hoogste potentiële bijdrage in de reductie van de lokale wateroverlast (ca. 80.000 m³ extra netto waterberging bij een T10 situatie; een verhoging met een factor 5 t.o.v. de huidige situatie), een relatief hoge (financiële) haalbaarheid, en een relatief eenvoudige technische inpasbaarheid die op korte termijn te realiseren is. Bij voorkeur wordt Mortelbeek variant C2 uitgevoerd door de (huidige) inlaatconstructie te voorzien van een terugslagklep (stroomrichting Aa of Weerij -> waterberging Mortelbeek) met een drempel op +6,00 mNAP om frequente “hoogwatergolfjes” op te vangen. De uitlaatconstructie wordt aangepast met een knijpvoorziening, waardoor lediging deels plaatsvindt door infiltratie. De aan te passen in- en uitlaatconstructies dienen nader te worden gedimensioneerd. Mortelbeek variant C heeft overigens een minder hoog netto bergingsvolume dan variant C2.
- Boontuinen variant A2 bergt ruim tweemaal zoveel water als in de huidige (T10) situatie, en is financieel (op korte termijn) het meest haalbaar. De hoogtes en inregeling van de kunstwerken moet nader gedetailleerd worden.
- Boontuinen variant C2 (gelijk aan variant A2 met extra ontgraving) bergt bijna 8 keer zoveel water in de T10 situatie, maar wordt juist daardoor financieel minder haalbaar. De ecologische potenties van beide varianten is echter hoog, met name voor variant A2 waarbij de huidige ecologische waarden grotendeels gehandhaafd blijven.
- De verhoogde bodem in de Aa of Weerij (30 cm bij Mortelbeek variant A) om de drainagebasis in de zomer te verhogen veroorzaakt één op één de verhoging van de (hoog)waterstanden in stuwpand Wernhout-Egeldonk (30 cm) waar waterstandsverlaging juist is beoogd. Dit veroorzaakt (extra) overstrooming in het beekdal en dus op de direct aanliggende (agrarische) percelen. Het beoogde effect op de waterstandsverlaging in de Aa of Weerij door een deel van de hoogwaterafvoer door de nevengeul Mortelbeek te realiseren is nihil doordat de afvoer hier dient te worden gemaximeerd op 1,5 m³/s als gevolg van ongewenste (nieuwe) overstroomingen.
- Mortelbeek variant A2 heeft hoge (ecologische) potenties, draagt bij aan de beoogde doelstellingen (waterstandsverlaging, toename netto bergingsvolume) en heeft een hoge omgevingswaarde. Deze variant is op korte termijn echter financieel minder haalbaar, mede door de hoge kosten voor grondaankoop, grondverzet en kunstwerken.
- De afgraving van waterberging Mortelbeek een (extra) drainerende werking heeft mits er geen conserveringswater vastgehouden kan worden. Daarbij doet de afgraving afbreuk aan de omgevingswaarde. Mortelbeek variant B (met nevengeul in de waterberging) is hierdoor minder effectief, ondanks de redelijke waterstandsverlagingen over stuwpanden Wernhout-Egeldonk (7 cm) en Egeldonk-Bakkebrug (4 cm) in een T10 situatie. In een drogere periode daalt de waterstand en dus ook de waterstand in de nevengeul waardoor een hogere kwelflux ontstaat.
- Mortelbeek varianten A en A2, en Boontuinen varianten C en C2 hebben een lage financiële haalbaarheid en zijn daardoor niet op korte termijn uitvoerbaar. Grote kostenposten zijn grondverzet en nieuwe (regelbare) kunstwerken.

- Boontuinen varianten A en C hebben, door een geringe aanpassing van de drempelhoogte van de inlaatconstructies, een (minimaal) negatief effect op de waterstandverlaging in stuwpand Wernhout-Egeldonk (resp. 3 en 10 cm) in een T10 situatie. Varianten A2 en C2 zorgen met een verhoogde drempel (inlaatconstructie) in de buitenbocht wel voor het gewenste effect (resp. -2 en -3 cm) in een T10 situatie.
- Boontuinen variant B heeft hoge nadelige effecten voor de waterstandsverlaging en de netto bergingscapaciteit in een T10 (en andere) situatie(s) door het vrij afwaterende regime dat ontstaat. Parallel aan stuw Egeldonk voert variant B vrij afwaterend af waardoor deze als 'bypass' functioneert. De afwenting van (piek)debieten zorgt voor verhoogde waterstanden in stuwpand Egeldonk-Bakkebrug (+38 cm) in een T10 situatie.
- Boontuinen variant B2 heeft een beperkte meerwaarde op de beoogde doelstellingen en levert een geringe bijdrage op het gebied van netto bergingsvolume en waterstandsverlaging.

Multi criteria analyse varianten waterbergingen Mortelbeek en Boontuinen													
(Sub)criterium	Mortelbeek					Boontuinen					Voorkeursvariant		
	A	A2	B	C	C2	A	A2	B	B2	C	C2		
Waterstandsverlaging	-	+	++	++	++	-	+	-	-	-	+	Mortelbeek variant C2	9,5
Waterstandsverlaging stuwpand Wielhoef-Wernhout	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Mortelbeek variant C	8,5
Waterstandsverlaging stuwpand Wernhout-Egeldonk	-	0	+	+	+	0	+	++	0	+	+	Boontuinen variant A2	7,5
Waterstandsverlaging stuwpand Egeldonk-Bakkebrug	0	0	-	+	+	0	+	-	0	+	+	Mortelbeek variant A2	7
Netto bergingsvolume	+	+	0	++	+++	0	+	-	0	+	++	Boontuinen variant C2	6,5
Vertraging hoogwatergolf	+	+	+	++	++	+	+	-	0	++	++	Mortelbeek variant A	4
Ecologie algemeen	++	++	-	0	0	++	++	-	-	++	++	Boontuinen variant A	4
Ecologie-KRW	++	++	+	0	0	++	++	+	+	++	++	Mortelbeek variant B	3
Ecologie- "natte" ecologie	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	+	Boontuinen variant B2	3
Ecologie - terrestrisch	0	0	0	-	-	0	0	0	0	-/0	-/0	Boontuinen variant C	2,5
Waterconservering	++	++	-	+	+	+	++	+	+	+	++	Boontuinen variant B	0
Haalbaarheid (korte termijn; €)	---	---	0	++	++	-	-/0	0	0	---	---		
Omgeving en beleving	++	++	-	+/0	+/0	+	+	+	+	0	+		
TOTAAL (Σ+)	4	7	3	8,5	9,5	4	7,5	0	3	2,5	6,5		

Figuur 41 MCA-beoordeling van de herinrichtingsvarianten, selecteer CTRL+ scroll om het document/afbeelding te vergroten

- Aanbevolen wordt om de omringende kade van waterberging Mortelbeek en/of Boontuinen niet af te graven, waardoor mogelijkheden van waterconservering en/of hergebruik van water optimaal kunnen worden benut. Externe bronnen, zoals gezuiverde proces- en agrarische waterstromen, kunnen water naar de waterbergingsgebieden aanvoeren t.b.v. waterconservering en/of hergebruik. De voorkeursvarianten Boontuinen A2 en Mortelbeek C2 zijn het meest geschikt voor deze wateraanvulling op (middel)lange termijn.
- Aanbevolen wordt om bij de herinrichting van een waterbergingsvariant te kijken naar mogelijkheden om de belevingswaarde te verhogen met inachtneming van de huidige ecologische waarden.
- Voor beide voorkeursvarianten geldt dat in een volgende ontwerpfase de exacte dimensionering van doorsnedeprofielen en sturing van kunstwerken dient te worden bepaald.
- Berekeningsresultaten van lagere afvoeren zijn in de huidige modelschematisatie niet of nauwelijks representatief vanwege de conceptuele modelleringsaanpak;
- Voor betere een modelschematisatie en berekeningsresultaten wordt aanbevolen:
 - o Het modelconcept met composiethydrogrammen aan te passen naar een 'daadwerkelijke' neerslag-afvoer schematisatie op het niveau van geaggregeerde afwateringseenheden, waardoor lagere afvoeren en jaarrond berekeningen kunnen worden uitgevoerd;
 - o De meetreeksen (debiet en waterhoogte) ter hoogte van stuw Wielhoef, stuw Wernhout, stuw Egeldonk en stuw Bakkebrug te (blijven) meten en hierop het model in de toekomst te verbeteren;



- o Meer inzicht te krijgen in de relatie tussen grond- en oppervlaktewater om betere verwachtingen op te kunnen stellen, gericht op waterconservering en droogte-verdrogingsscenario's. Alsmede om een verbeterde relatie te leggen met het omringende (intensief agrarische) landgebruik.
- o Na doorvoering van bovengenoemde punten een 1D-2D berekening uit te voeren in relatie tot het landgebruik en overstromingen in en rondom het beekdal.

Bibliografie

- AHN3. (2021). Opgehaald van AHN3: www.ahn.nl
- Coenen, J., Antheunisse, M., Beekman, J., & Beers, M. (2017). *Handreiking vispassages in Noord-Brabant*.
- Gemeente Zundert. (2020). *Pilot vitaal buitengebied*. Opgehaald van <https://www.zundert.nl/pilot-vitaal-buitengebied>
- KNMI. (2014). *Klimaatscenario's*.
- Lizard. (2021, januari). *Grondwaterstand Brabant*. Opgehaald van [https://grondwaterstand.brabant.nl/nl/map/topography,assetgroup\\$be1ef6a,wmslayer\\$42a9f70/point/groundwaterstation\\$14446/@51.4646,4.6625,19/Dec,28,2020-Mar,29,2021](https://grondwaterstand.brabant.nl/nl/map/topography,assetgroup$be1ef6a,wmslayer$42a9f70/point/groundwaterstation$14446/@51.4646,4.6625,19/Dec,28,2020-Mar,29,2021)
- PDOK. (2021). Opgehaald van www.pdok.nl
- PDOK. (2021). *AHN3*. PDOK.
- STOWA. (2018-31). *Standaard werkwijze voor de toetsing van watersystemen aan de normen voor regionale wateroverlast*. STOWA.
- Waterschap Brabantse Delta. (12 juni 2018). *Watersysteemanalyse Aa of Weerij*s. Breda.
- Waterschap Brabantse Delta. (2021). *Vastgestelde legger*. Opgehaald van wsbd.maps.arcgis.com
- Werkgroep "waterbergingen" pilot vitaal buitengebied. (2020). *Varianten, berekeningen en analyses herinrichting waterbergingen Mortelbeek en Boontuinen*. Zundert: Werkgroep "waterbergingen" pilot vitaal buitengebied.
- Witteveen+Bos. (2014). *NBW-toetsing cluster Aa of Weerij*s. Breda: Waterschap Brabantse Delta.

Bijlage A Legenda SOBEK

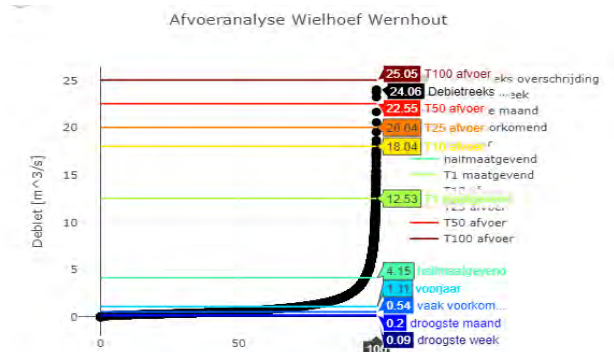
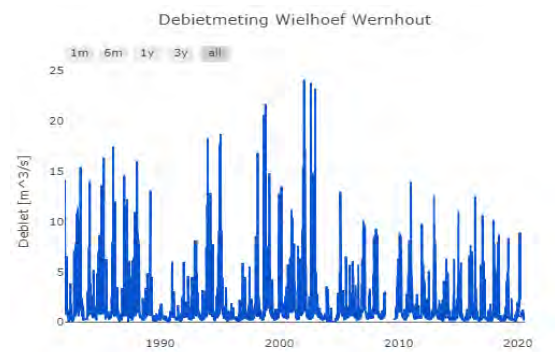
	12, Flow - Connection Node
	13, Flow - Connection Node with Storage and Lateral Flow
	14, Flow - Boundary
	16, Flow - Calculation Point
	17, Flow - Fixed Calculation Point
	18, Flow - Measurement Station
	19, Flow - Lateral Flow
	20, Flow - Cross Section
	21, Flow - Weir
	22, Flow - Universal Weir
	23, Flow - Orifice
	24, Flow - Culvert
	26, Flow - Bridge
	27, Flow - Pump Station
	28, Flow - General Structure
	29, Flow - Database Structure
	30, Flow - River Weir
	31, Flow - Advanced Weir
	32, Flow - River Pump
	33, Flow - Compound Structure
	34, Flow-RR Connection on Channel
	35, Flow-RR Connection on Flow Connection Node
	65, Flow - Extra Resistance
	67, Flow - Connection Node with Lateral Flow

Bijlage B Gecontroleerde en/of aangepaste waarden

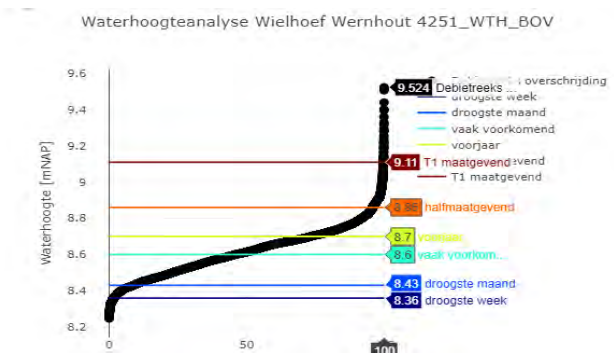
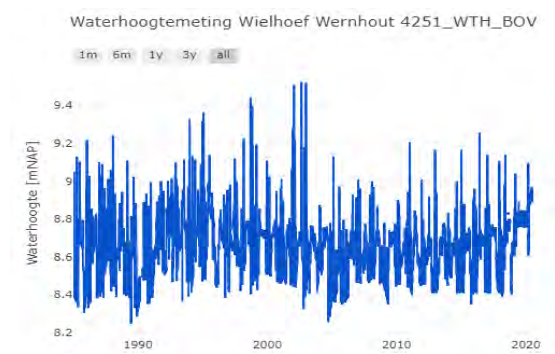
Gecontroleerde en/of aangepaste waarden				
Type	Name	Node type	Oude waarde	Nieuwe waarde
Lateral flow	BE_AAWE_B1	Runoffarea	9,39E+08	6,39E+08
Weir	731	Crest level	1	9,13
Weir	731	Width	9,75	2,5
Weir	731	Discharge Coefficient	1	0,8
Culvert	736	Length	3	12,5
Lateral flow with storage	357	Bottom level	9,5	9,15
Lateral flow with storage	357	Storage area	15000	8875
Weir	AWKST00558	Width	2,5	2,5
Weir	AWKST00558	Crest level	8,13	8,13
Weir	AWKST00558	Discharge coefficient	1	0,8
Weir	AWKST00558	Setpoint	8,5	8,85
Weir	AWKST00558	Maximum point	8,7	9
Weir	AWKST00559	Width	2,5	2,5
Weir	AWKST00559	Crest level	6,18	6,18
Weir	AWKST00559	Discharge coefficient	1	0,8
Weir	AWKST00559	Setpoint	6,8	7,1
Weir	AWKST00559	Maximum value	7,1	7,1
Weir	743	Width	7,05	4
Weir	743	Crest level	4	6,5
Weir	743	Discharge coefficient	1	0,8
Lateral flow with storage	355	Bottom level	6,55	6,05
Lateral flow with storage	355	Storage area	81000	58000
Culvert	744	Length	3	12,4
Lateral flow	AWLFCSZT_VA00079	Runoff area	1714476	25000
Lateral flow with storage	746	Bottom level	6,1	6,1
Lateral flow with storage	746	Storage area	101000	81455
Culvert	748	Length	3	9,55
Weir	747	Crest level	4	5,87
Weir	747	Width	6,4	4
Weir	AWKST00560	Width	7,5	2,5
Weir	AWKST00560	Crest level	5,08	4
Weir	AWKST00560	Discharge coefficient	1	1,1
Weir	AWKST00560	Setpoint	5,2	5,7
Weir	AWKST00561	Width	5	2,5
Weir	AWKST00561	Crest level	4	2,82
Weir	AWKST00561	Discharge coefficient	1	1
Weir	AWKST00561	Setpoint	4,2	4,5
Cross section		Friction Wielhoef - Wernhout	30	25
Cross section		Friction Wernhout - Egeldonk	40	58

Bijlage C Frequentieverdelingen afvoer- en waterhoogte (BRON: waterschap Brabantse Delta)

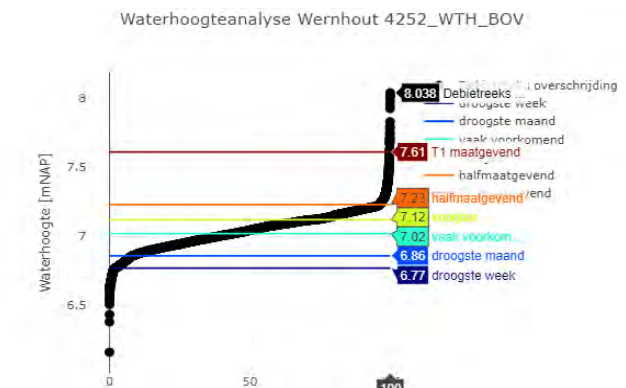
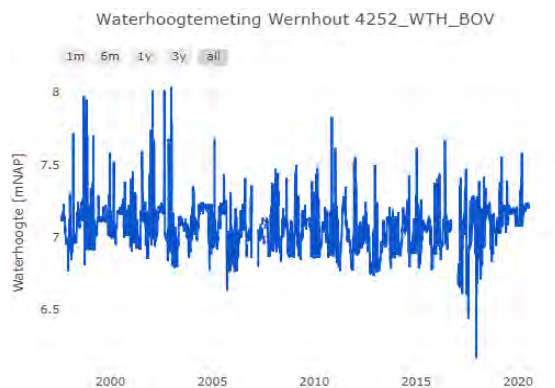
100% afvoeranalyse stuw Wielhoef



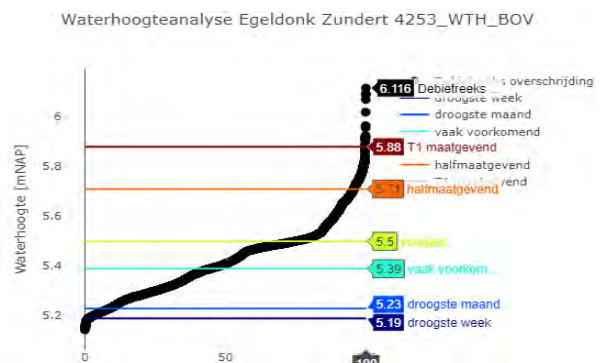
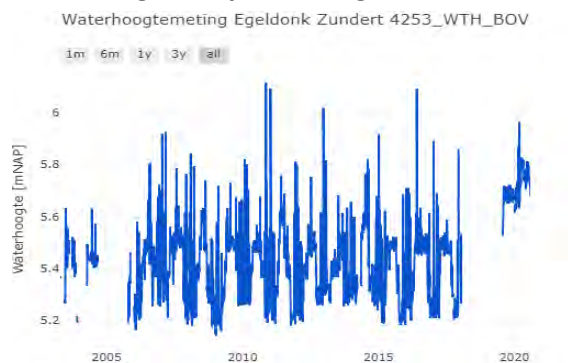
Waterhoogteanalyse stuw Wielhoef bovenstrooms



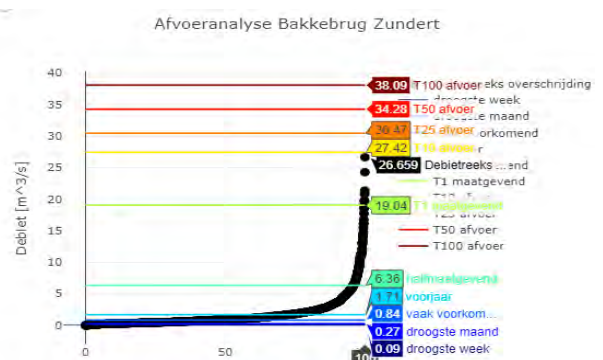
Waterhoogteanalyse stuw Wernhout bovenstrooms



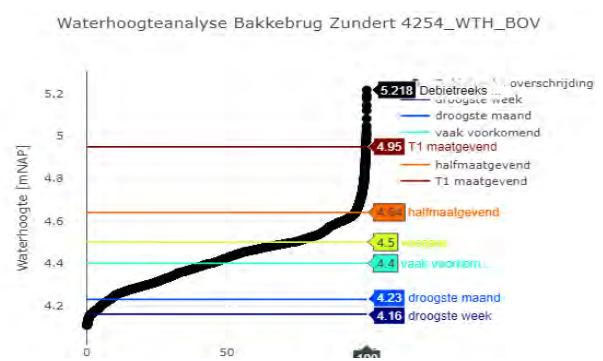
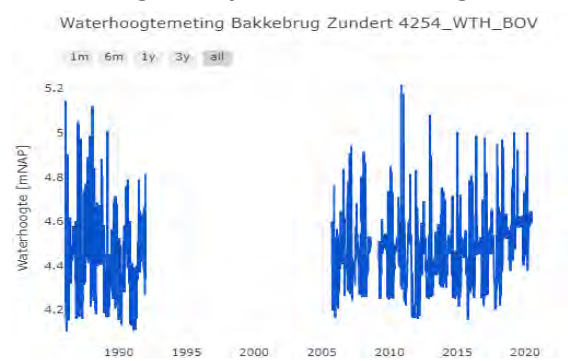
Waterhoogteanalyse stuw Egeldonk bovenstrooms



100% afvoeranalyse stuw Bakkebrug



Waterhoogteanalyse stuw Bakkebrug bovenstrooms



Q_{Wielhoef}	Q-analyse [m^3/s]	Frequentieverdeling [m^3/s]	Factor [-]
T2	14,00 ¹	13,97	1,00
T10	18,04	18,26	1,01
T100	25,05	23,25	0,93
$Q_{\text{Bakkebrug}}$	$Q_{100\%}$ -analyse [m^3/s]	Meetreeks [m^3/s]	Factor [-]
T2	22,10 ¹	23,65	1,07
T10	27,42	26,66	0,97
T100	38,03	-	-
$H_{\text{bov;Wielhoef}}$	H-analyse [mNAP]	Meetreeks [mNAP]	Factor [-]
T2	9,26 ¹	9,21	0,99
T10	9,38 ¹	9,33	0,99
T100	9,53 ¹	9,51	1,00
$H_{\text{bov;Wernhout}}$	H-analyse [mNAP]	Meetreeks [mNAP]	Factor [-]
T2	7,65 ¹	7,59	0,99
T10	-	-	-
T100	8,00 ¹	8,01	1,00
$H_{\text{bov;Egeldonk}}$	H-analyse [mNAP]	Meetreeks [mNAP]	Factor [-]
T2	6,09 ¹	6,09	1,01
T10	-	-	-
T100	-	-	-
$H_{\text{bov;Bakkebrug}}$	H-analyse [mNAP]	Meetreeks [mNAP]	Factor [-]
T2	5,10 ¹	5,18	1,02
T10	-	-	-
T100	-	-	-

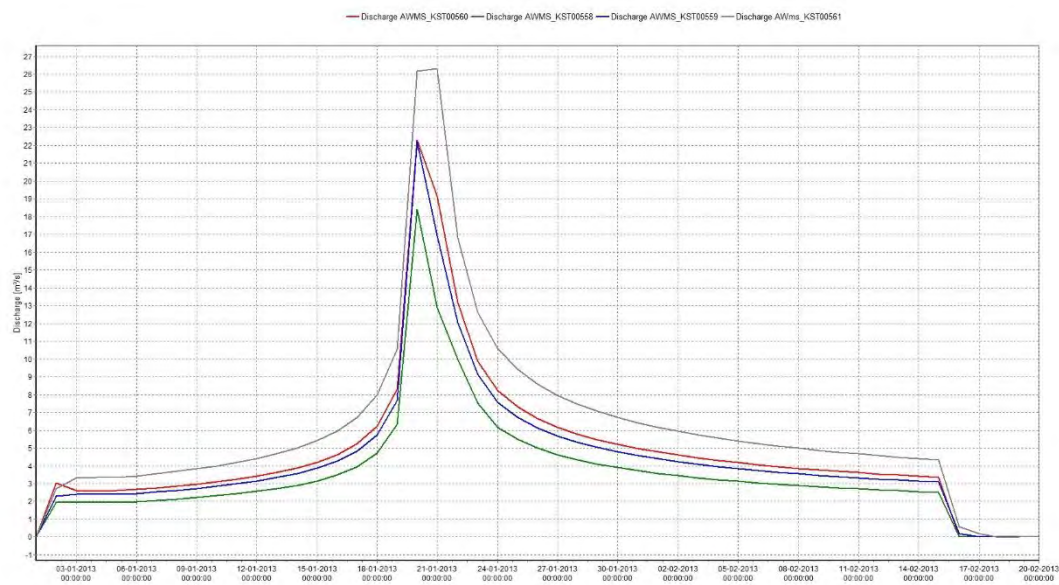
Tabel 2 Toegestane afwijkingen (=factor) meetreeks t.o.v. modelberekeningen. De meetreeks zijn piekafvoeren of maximale waterhoogtes die zijn gemeten in het veld. 1 geeft een geïnterpoleerde waarde

Bijlage D Resultaten plausibiliteitstoets

Onderstaand zijn de resultaten van de plausibiliteitstoets weergegeven.

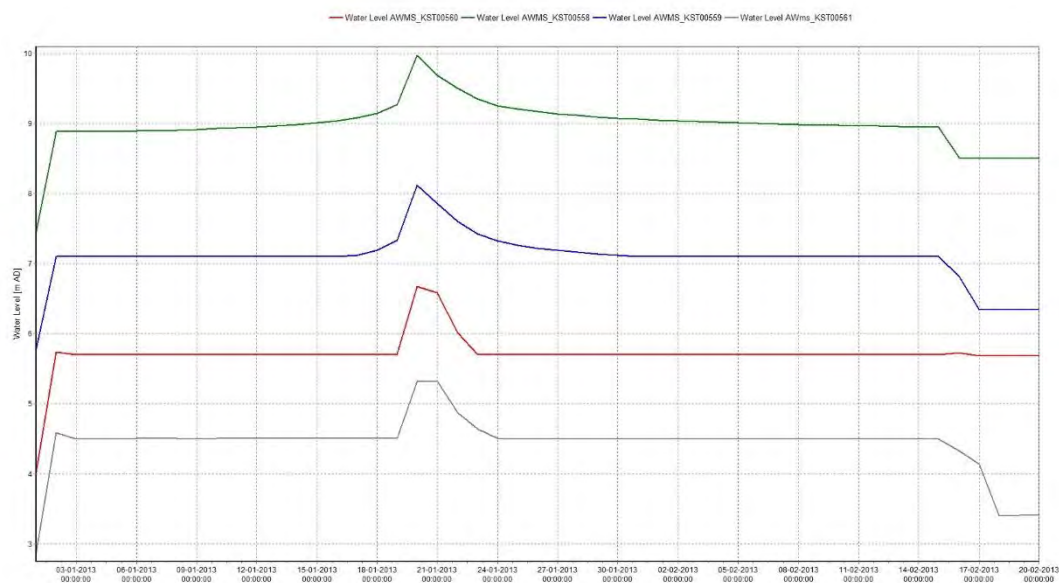
Q-T10-REF (debiet)

0058 (stuw Wielhoef), 0059 (stuw Wernhout), 0060 (stuw Egeldonk), 0061 (stuw Bakkebrug)



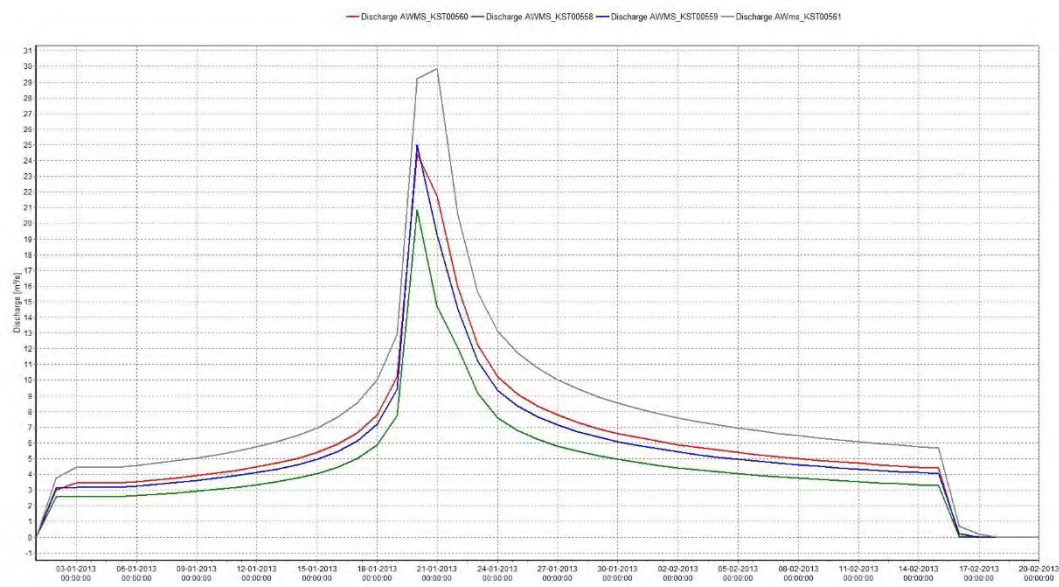
H-T10-REF (waterstand)

0058 (stuw Wielhoef), 0059 (stuw Wernhout), 0060 (stuw Egeldonk), 0061 (stuw Bakkebrug)



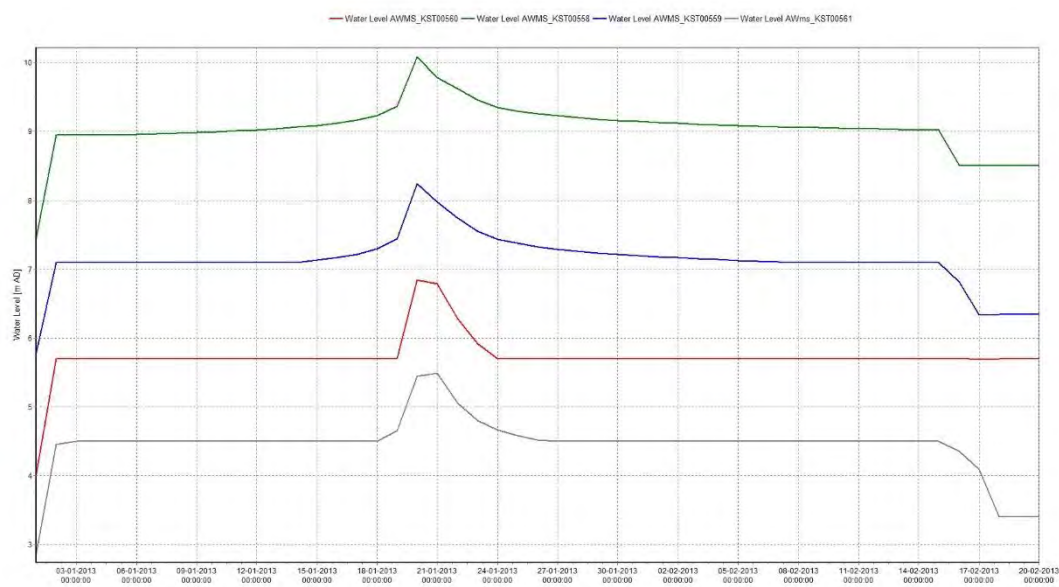
Q-T25-REF (debiet)

0058 (stuw Wielhoef), 0059 (stuw Wernhout), 0060 (stuw Egeldonk), 0061 (stuw Bakkebrug)



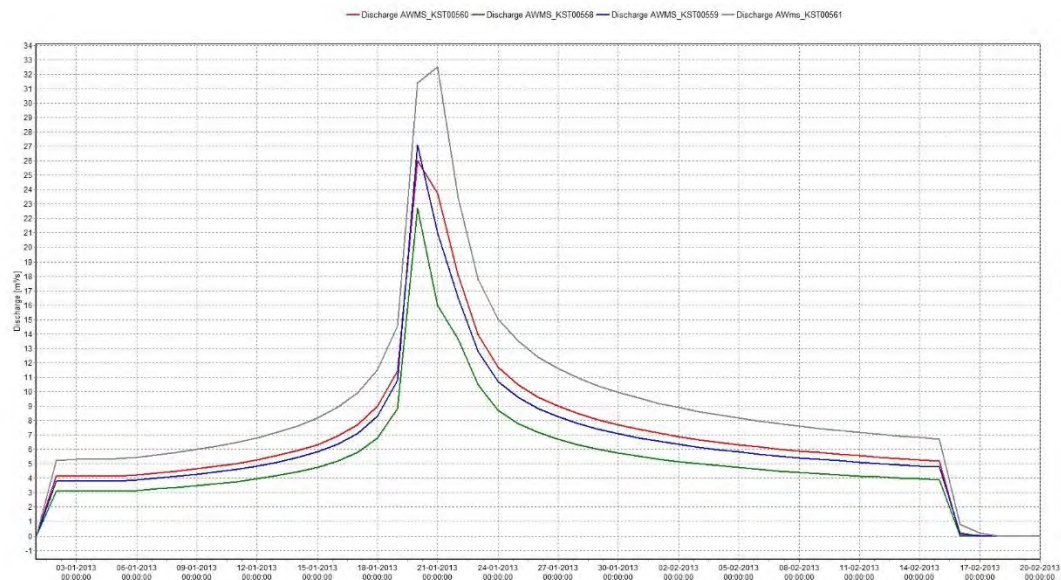
H-T25-REF (waterstand)

0058 (stuw Wielhoef), 0059 (stuw Wernhout), 0060 (stuw Egeldonk), 0061 (stuw Bakkebrug)



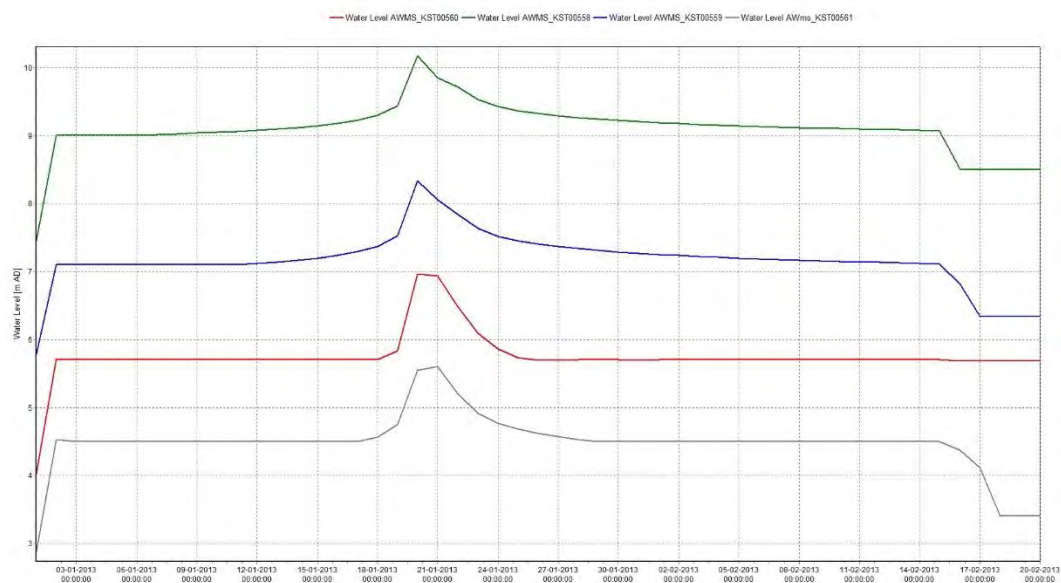
Q-T50-REF (debiet)

0058 (stuw Wielhoef), 0059 (stuw Wernhout), 0060 (stuw Egeldonk), 0061 (stuw Bakkebrug)



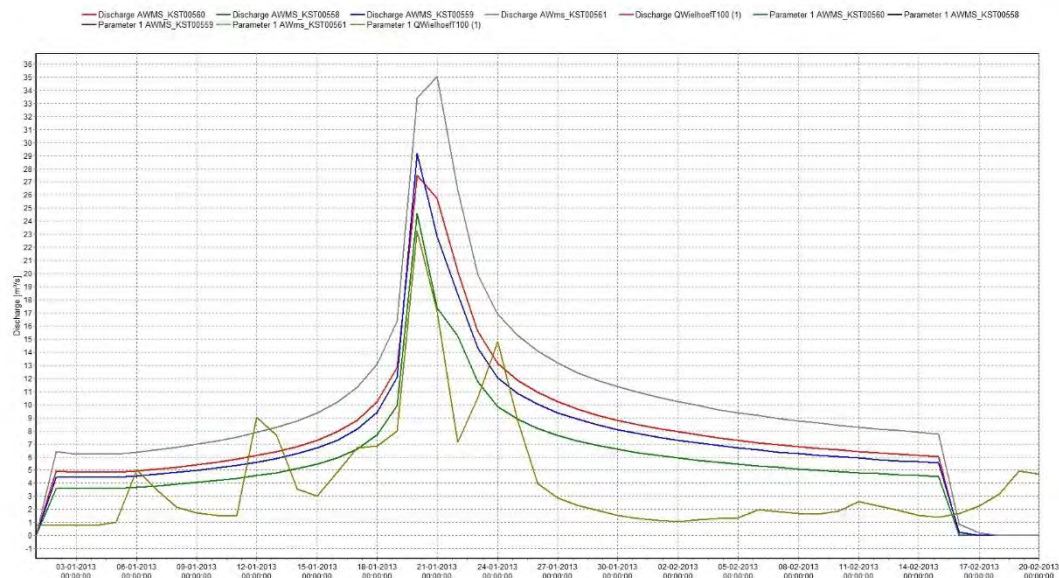
H-T50-REF (waterstand)

0058 (stuw Wielhoef), 0059 (stuw Wernhout), 0060 (stuw Egeldonk), 0061 (stuw Bakkebrug)



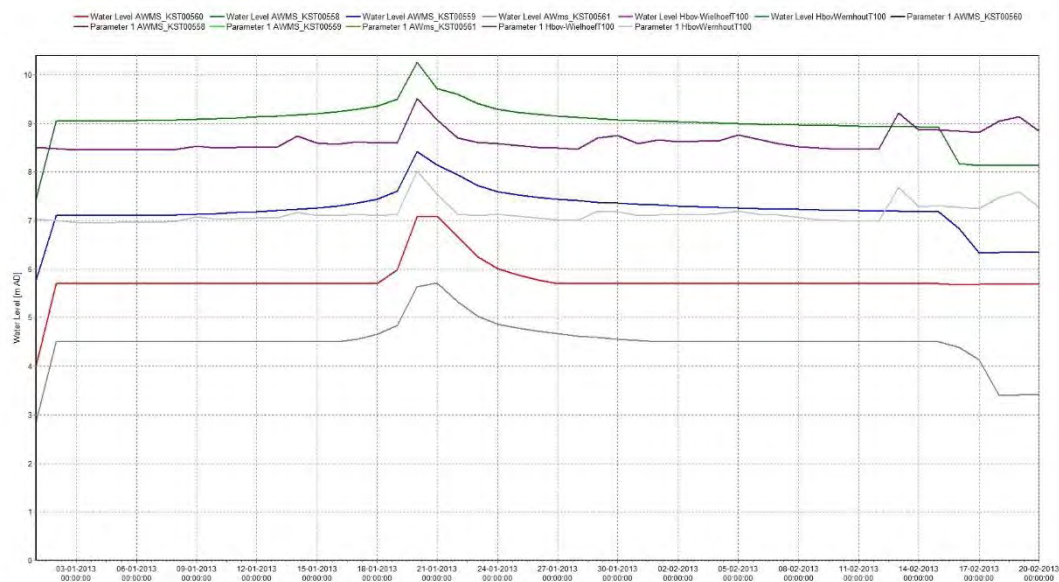
Q-T100-REF (debiet)

0058 (stuw Wielhoef), 0059 (stuw Wernhout), 0060 (stuw Egeldonk), 0061 (stuw Bakkebrug)



H-T100-REF (waterstand)

0058 (stuw Wielhoef), 0059 (stuw Wernhout), 0060 (stuw Egeldonk), 0061 (stuw Bakkebrug)



Bijlage E Afwegingskader met relevante criteria

Op basis van de onderstaande toetscriteria is op basis van expert judgement en de resultaten uit de rekenexercitie een afweging gemaakt.

Toetsingscriterium	Ehd	Toetswaarde/score
Hydrologisch/hydraulisch/morfologisch		
Minimale stroomsnelheid waterlopen	m/s	Sedimentatie < 0,05 m/s (Hjulström curve)
Maximale stroomsnelheid waterlopen	m/s	Erosie > 0,3 m/s (Hjulström curve)
Debiet Aa of Weerij en nevengeulen bij verschillende herhalingsstijden	m ³ /s	Ter hoogte van stuwen Wielhoef, Wernhout, Egeldonk, Bakkebrug, en in nevengeulen
Maandgemiddeld debiet Aa of Weerij en nevengeulen bij nat, gemiddeld en droog jaar	m ³ /s	Ter hoogte van stuwen Wielhoef, Wernhout, Egeldonk, Bakkebrug, en in nevengeulen
Waterhoogteverandering Aa of Weerij - statisch (T5, T10, T25, T50 en T100)	m	Locaties nog te bepalen
Waterhoogteverandering (maandgemiddeld) Aa of Weerij - dynamisch (nat, gemiddeld en droog jaar)	m	Locaties nog te bepalen
Bergingscapaciteit - statisch (volume 'lege bak')	m ³	Theoretische inhoud waterbergingen
Bergingscapaciteit - dynamisch (volume 'water in bak')	m ³	Volume water dat wordt geborgen
Watervoerendheid (stromend) nevengeulen	d/j	
Infiltratiesnelheid statische waterberging	m/s	Nader te bepalen door doorlatendheidsonderzoek
Vulsnelheid waterbergingen	m/s	Uit deze parameter kan het gedrag worden afgeleid van een bergingsgebied hoe snel deze volloopt en ledigt
Ecologie (KRW R4)		
Minimale stroomsnelheid nevengeulen (in waterberging en eventueel verlengde Mortelbeek)	m/s	0,2-0,5 m/s is goed; 0,1-0,2 m/s matig en kleiner dan 0,1 m/s slecht
Lengte nevengeulen (in waterberging en eventueel verlengde Mortelbeek)	m	Variant met maximale lengte krijgt hoogste score; mede afhankelijk van stroomsnelheid
Vismigratiebarrières in, voor en na nevengeulen (in waterberging en eventueel verlengde Mortelbeek)	-	Bijvoorbeeld: geen barrière; barrière(s) met vispassage die in extreme situatie (minder 10% van jaar) dicht staat; barrière(s) met vispassage die vaak (10-40%) dicht staat en permanente barrière(s)
Dimensies (natte profiel) nevengeulen (in waterberging en eventueel verlengde Mortelbeek)	m ²	Geulvormend (vol bij T1-afvoer) is goed; lagere klassen nog definiëren
Afvoer door nevengeulen (in waterberging en eventueel verlengde Mortelbeek)	m ³ /s	Minimaal T1 volledig door nevengeul is goed (voldoende voor gewenste erosie en sedimentatie); lagere klassen nog definiëren
Diepte nevengeulen (in waterberging en eventueel verlengde Mortelbeek)	m	0,2-0,8 m is goed (Handreiking Ontwikkeling Waterlopen)
Beek begeleidend bos langs nevengeulen (in waterberging en eventueel verlengde Mortelbeek)	%	>40% is goed (>60% zeer goed); 20-40% matig; <20% ontoereikend (<10% slecht)
Leefgebied vergroten (bestaande nevengeul/strang aantakken of berging permanent verbinden)	ha	Nog invullen (mede afhankelijk van stroming en [voor berging] periode en duur van inundatie)
Ecologie (EVZ)		
EVZ-inrichting geschikt voor doelsoorten (uitgesplitst)	-	Geschiktheid migratie, leefgebied, voortplantings- en overwinteringsbiotoop
Bont dikkopje: Vochtige, grazige vegetaties	-	Minimaal 20% vochtige, grazige vegetatie aanwezig + Minimaal 10% bospaden en bosranden aanwezig
Weidebeekjuffer: vrijwel altijd stromend water, met een vrij hoge zuurstofverzadiging. Grote variatie in snel en langzaam stromende delen. Aanwezigheid ruige, overhangende oevervegetatie en drijvende of in het water hangende planten voor de ei-afzet.	-	-Maximaal 50% beschaduwing aanwezig -Minimaal 20% ruige, overhangende oevervegetatie aanwezig -Minimaal 20% water vegetatie aanwezig -Minimaal zuurstofgehalte van 6 mg/l -Minimale stroomsnelheid van 0,03 m/s
Levendbarende hagedis: gevarieerd landschap met open plekken	-	Strooisellagen, houtrillen en open plekken aanwezig; Oppervlak stapstenen 0,5 – 1 ha
Ilsvogel: Visrijk, helder, open, stromend water, met overhangende takken boven water (foerageer plek). Oeverzone met steile oever (broedplaats buitenbocht meander)	-	-Minimale breedte van het water 2 m -Minimaal 10% overhangende takken in de nabijheid van het water -Minimaal 10% van de oeverzone met steile oevers, wanden, aardkluiten of omgevallen bomen -Maximaal 500 meter afstand van steile oevers tot het water

Roodborsttapuit: Structuurrijk open gebied met geleidelijke overgangen van ruig schraal grasland naar gevarieerde struweelzone.	-	-Minimaal 10% rietland aanwezig -Minimaal 10% ruigte aanwezig -Minimaal 20% structuurrijke open gebieden aanwezig -Minimaal 10% lage bomen of struiken aanwezig -Minimaal 10% grashalmen en mos aanwezig
Habitat Hermelijn: open plekken, in bossen, houtwallen, duinen, akkers, vochtig terrein, waar voldoende dekking tegen predatoren aanwezig is.	-	-Minimaal oppervlakte van geschikt leefgebied 4 ha aanwezig -Minimaal 20% dekking aanwezig in de vorm van houtwallen, heggen, bosjes of andere begroeiing -Minimaal 10% aanwezigheid van mol of konijn holen in het gebied
Ecologie (overig)		
Frequentie inunderen van gebieden (bijvoorbeeld in berging)	Freq./j	Bij voorkeur één langere periode per jaar; nog nader definiëren
Periode in het jaar dat gebieden (bijvoorbeeld in berging) inunderen	-	Januari-mei is optimaal; zomer is onnatuurlijk plus risico op blauwalgenbloei
Duur inunderen van gebieden (bijvoorbeeld in berging)	mnd	4-5 maanden is optimaal; 2-3 maanden is redelijk; 1-2 maanden is matig; < 1 maand is te kort
Water- en bodemkwaliteit (Blauwalgen)		
Beperkte verblijftijd (doorstroming) om bloei te voorkomen; relevant bij afdamming hoogwatergeul en bij waterconservering in de zomermaanden	dag	< 3 dagen is zeer goed; 3-10 dagen is voldoende; 10-20 dagen is matig-ontoereikend; > 20 dagen is slecht
Periode van waterconservering of stagnatie in hoogwatergeul of in nevengeul in Boontuinen	-	Winter-voorjaar hooguit gering risico; zomer groot risico; najaar beperkt risico
Water- en bodemkwaliteit (overig)		
Aanwezigheid doorspoelmogelijkheden i.v.m. calamiteiten	-	Nader in te vullen
Verlaging van nutriëntenconcentraties	-	Verwachte vermindering van uit- en afspoeling e.d. en/of verhoging van vastlegging is positief
Mate van sedimentatie en ophoping in hoogwatergeul, bergingen en stagnante strangen	-	Nader invullen
Samenstelling nutriënten en verontreinigingen in sediment en slib		Nader invullen
Onderhoud, omgeving, etc.		
Frequentie van maaien	Freq./j	Bij voorkeur geen regulier onderhoud nodig; 1 keer per jaar is matig; meer dan 1 keer per jaar te veel
Toegankelijkheid voor onderhoudsvoertuigen	-	Nevengeulen alleen voor noodgevallen; berging afhankelijk van toegestane vegetatie; nader invullen
Overlast van muggen	-	Tijdelijk stilstaand (ondiep) water kan leiden tot risico op muggenoverlast; zorg voor mogelijkheden natuurlijke predatoren van larven, poppen en imago's.
'Bouwen met Natuur' waar mogelijk toepassen d.m.v. beschaduwning door beplanting, maaibeheer, plaatselijk erosie- en sedimentatieprocessen op gang brengen	-	Nader invullen
Recreatief medegebruik (nader invullen)		Nader invullen

Bijlage F Resultaten rekenexercitie

Onderstaand zijn de resultaten weergegeven uit de rekenexercitie (Q en H T10, T25, T50 en T100).

Debiet (Q) en debietverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dQ) T10

Waterberging Mortelbeek



Debiet (Q) en debietverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dQ) T25

Waterberging Mortelbeek



Debiet (Q) en debietverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dQ) T50

Waterberging Mortelbeek



Debiet (Q) en debietverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dQ) T100

Waterberging Mortelbeek



Waterstand (H) en waterstandsverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dH) T10

Waterberging Mortelbeek



Waterstand (H) en waterstandsverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dH) T25 Waterberging Mortelbeek



Waterstand (H) en waterstandsverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dH) T50

Waterberging Mortelbeek



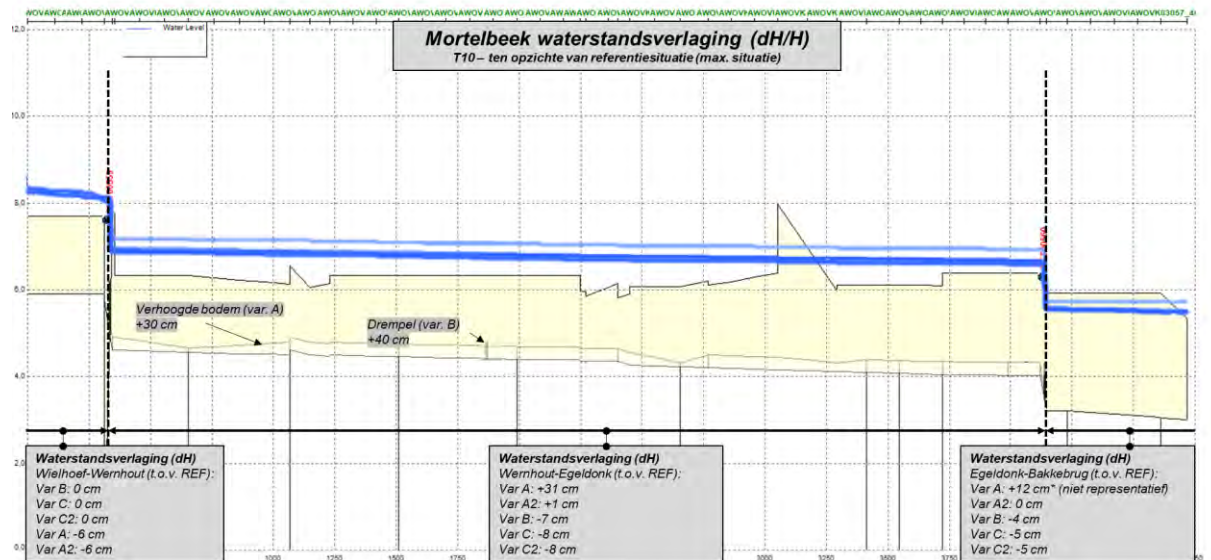
Waterstand (H) en waterstandsverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dH) T100

Waterberging Mortelbeek



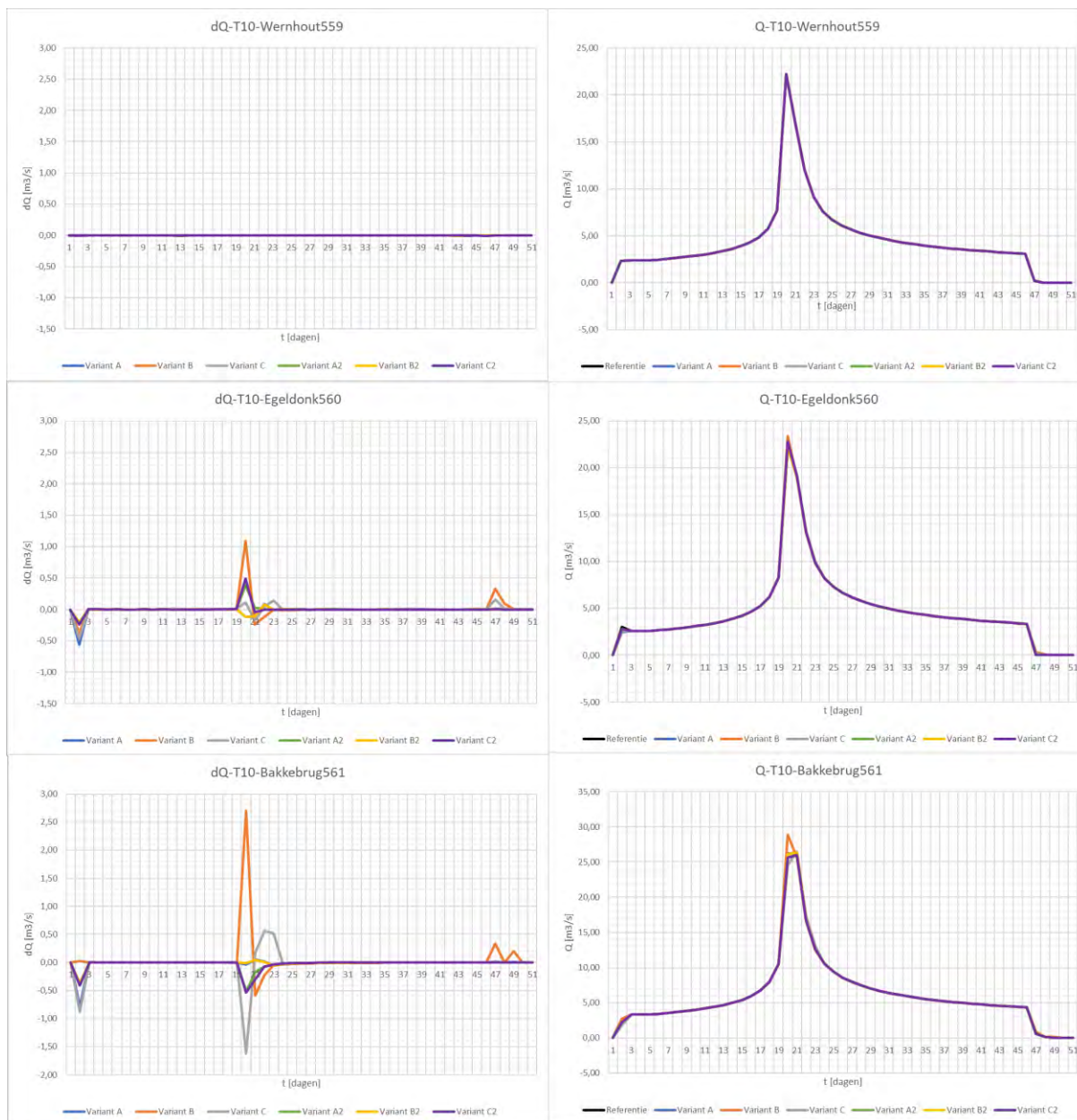
Waterstand (H) en waterstandsverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dH) T10

Waterberging Mortelbeek - lengteprofiel



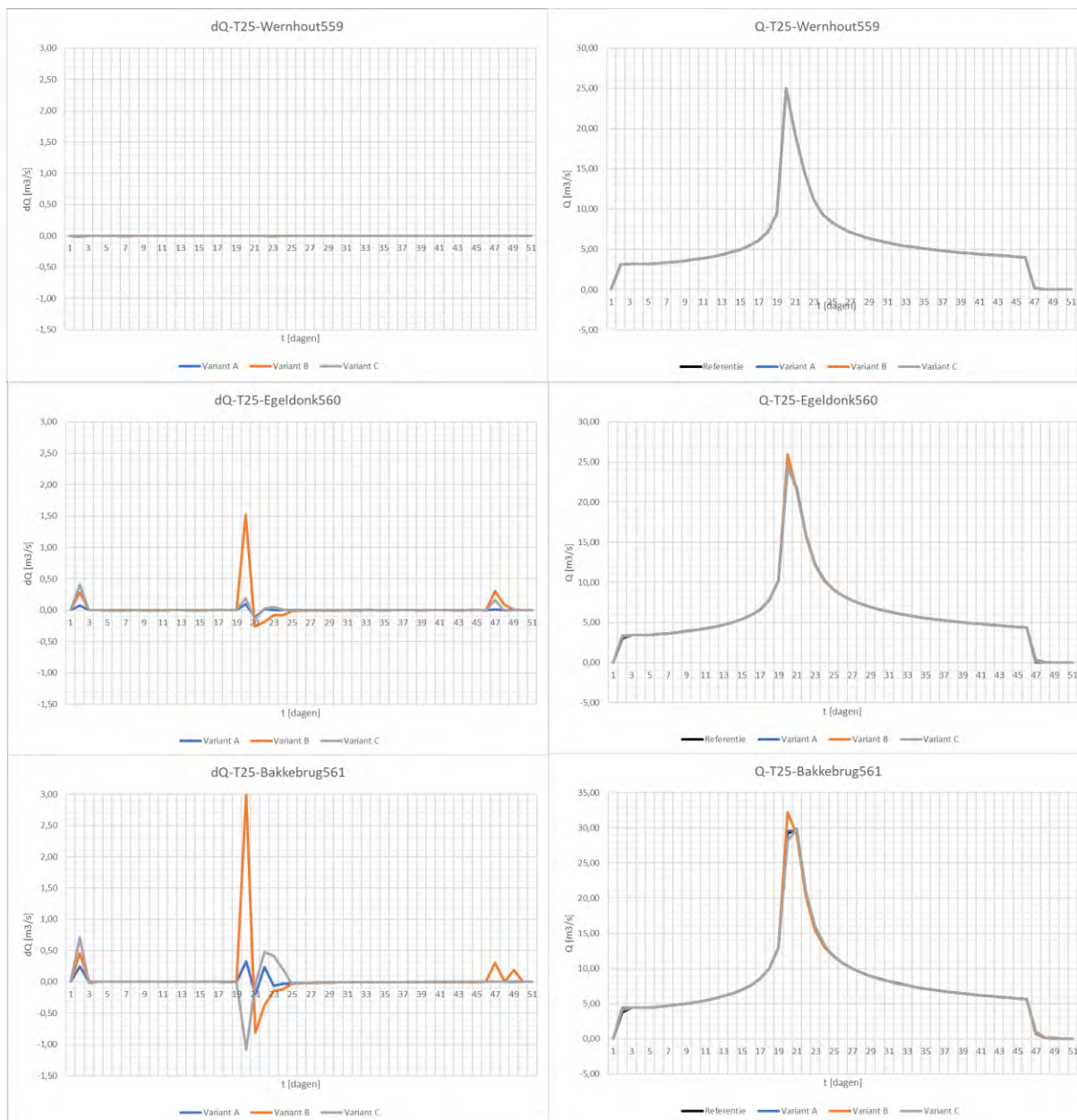
Debiet (Q) en debietverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dQ) T10

Waterberging Boontuinen



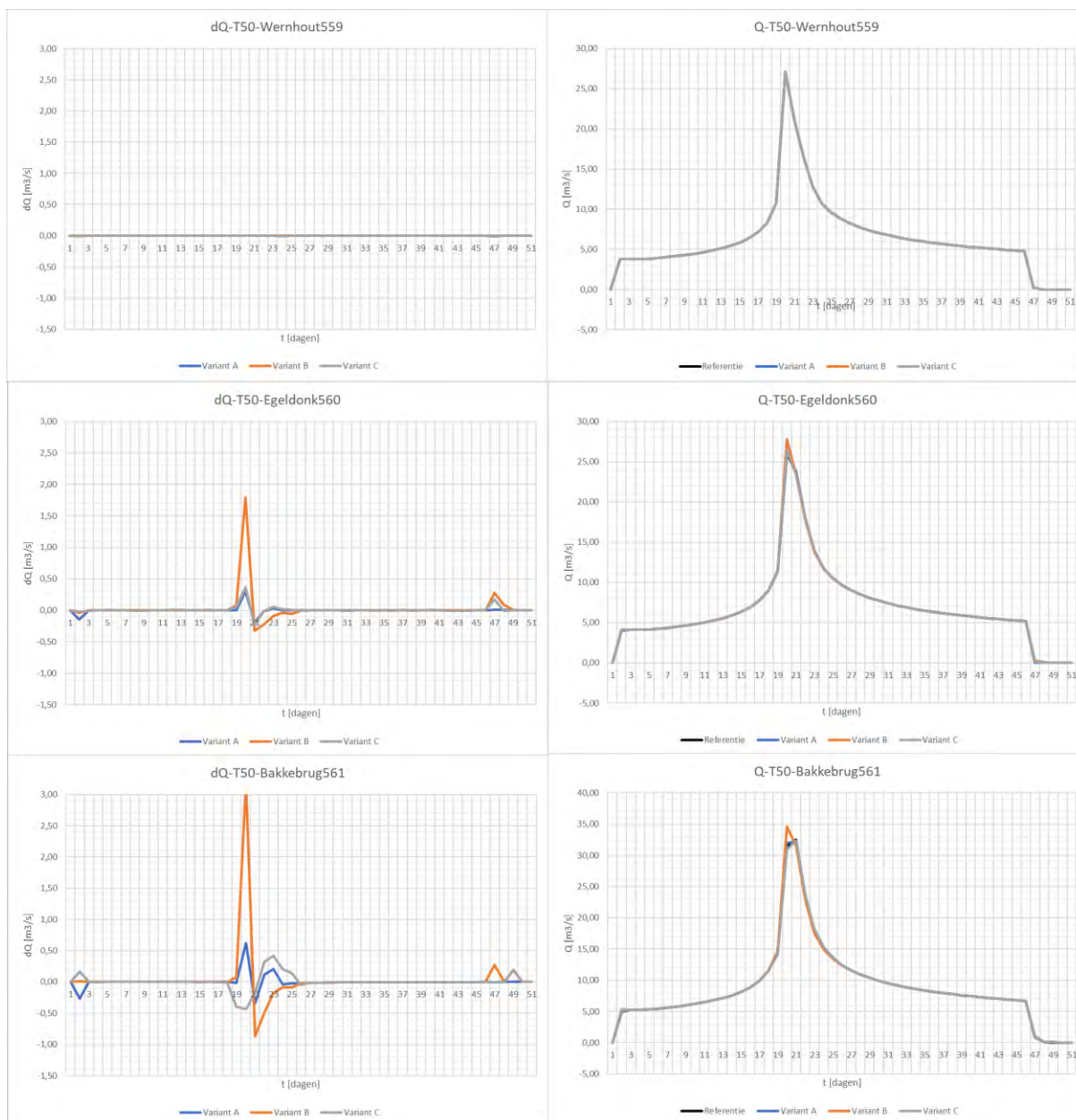
Debiet (Q) en debietverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dQ) T25

Waterberging Boontuinen



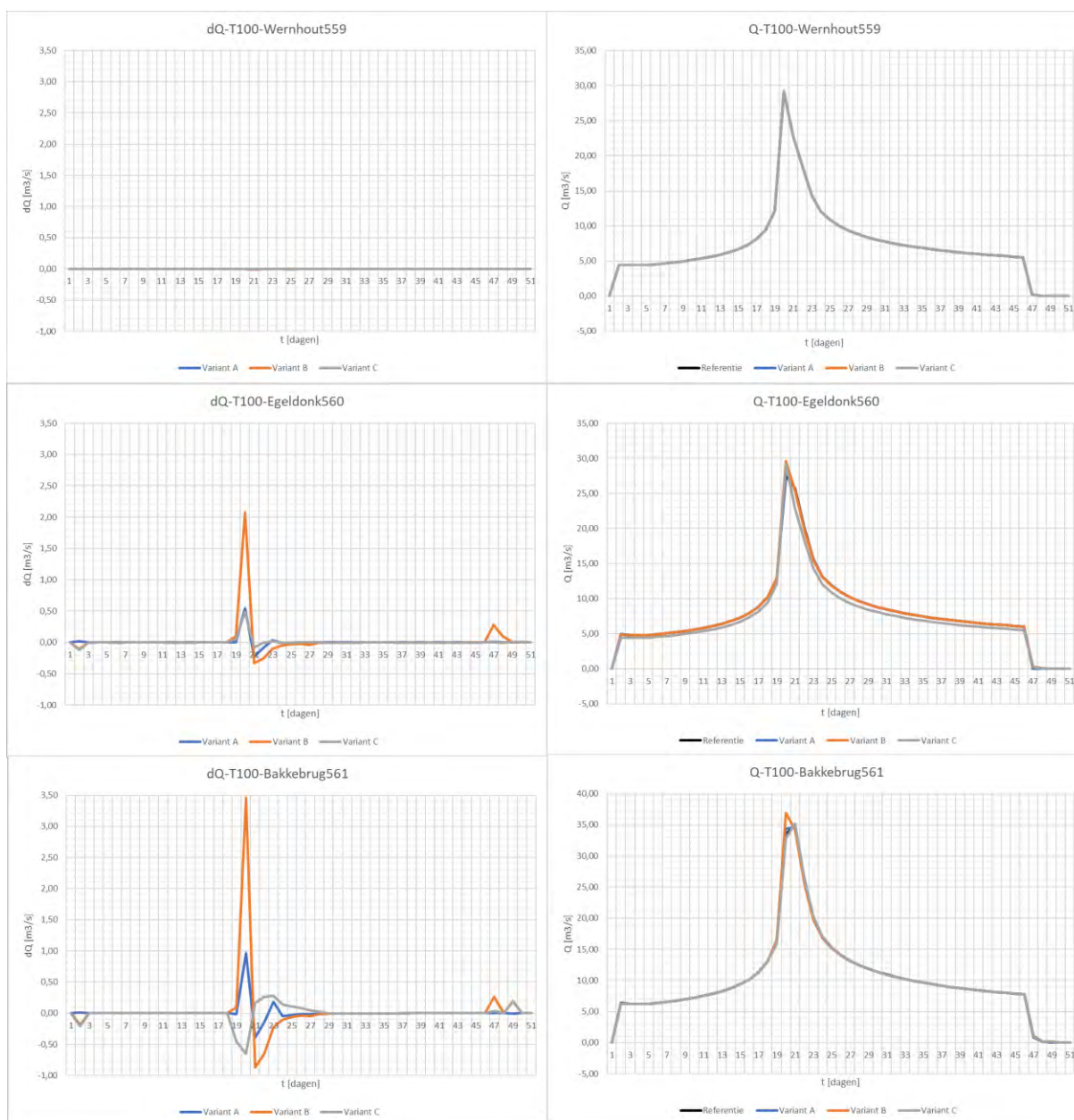
Debiet (Q) en debietverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dQ) T50

Waterberging Boontuinen



Debiet (Q) en debietverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dQ) T100

Waterberging Boontuinen



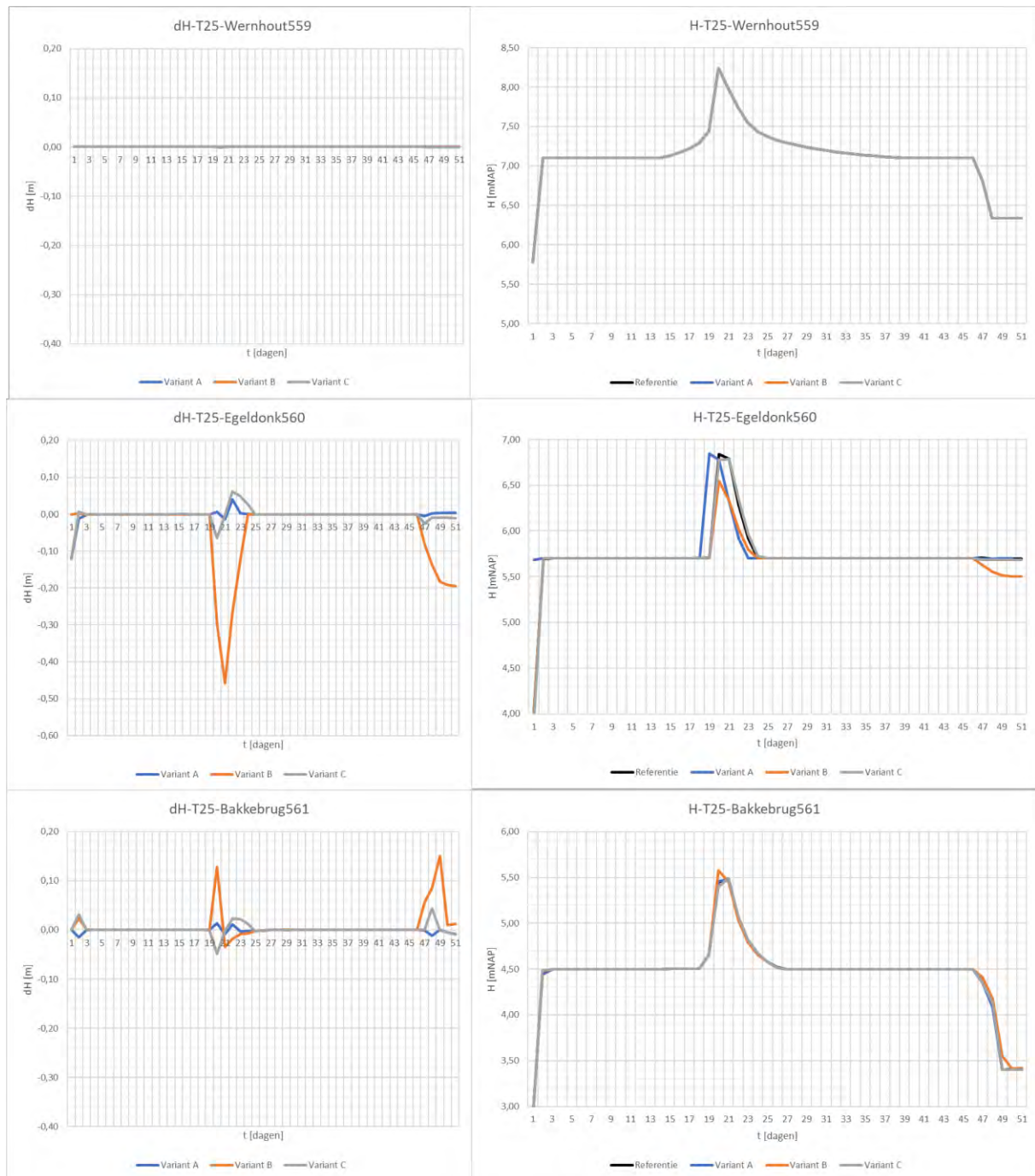
Waterstand (H) en waterstandsverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dH) T10

Waterberging Boontuinen



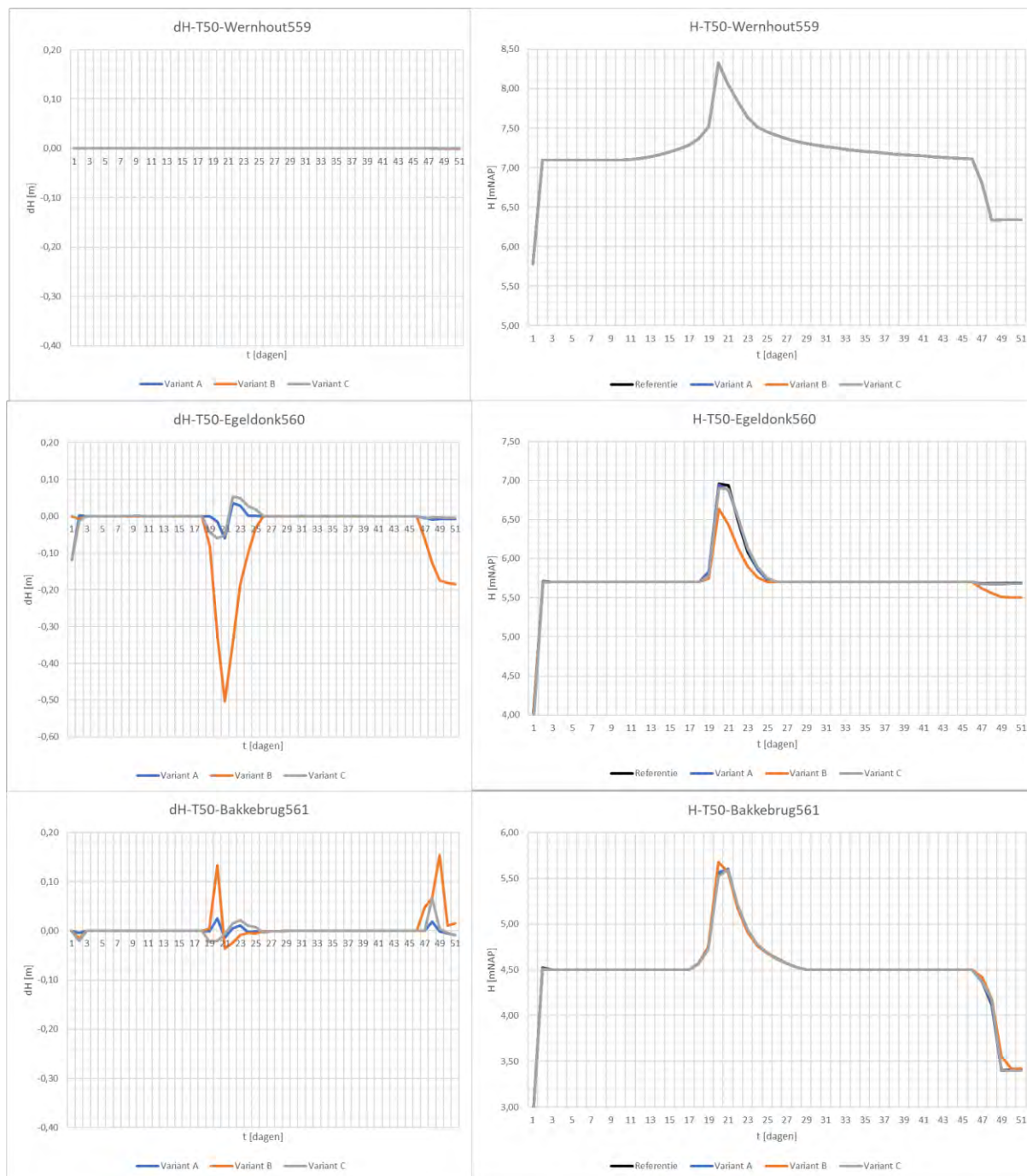
Waterstand (H) en waterstandsverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dH) T25

Waterberging Boontuinen



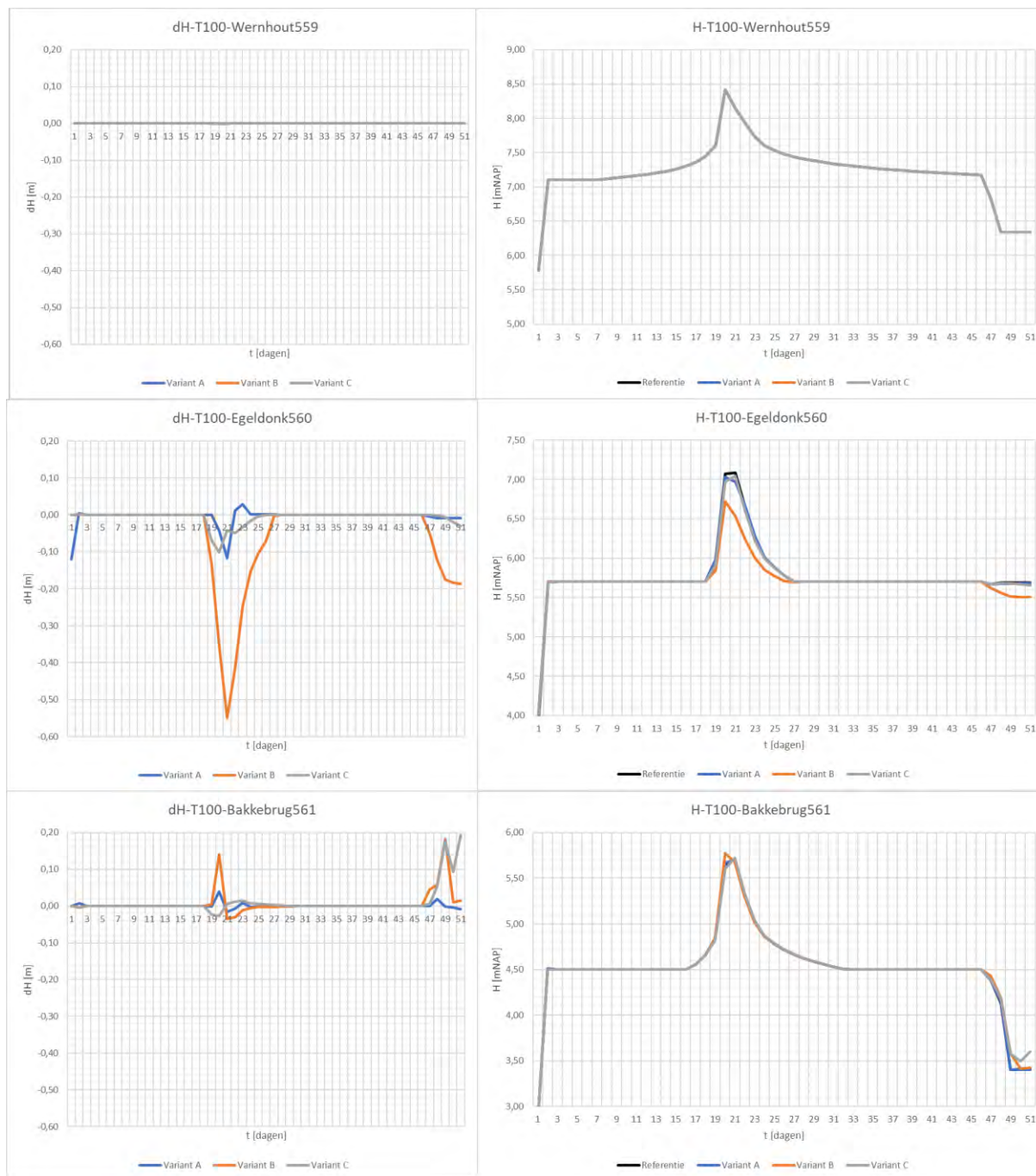
Waterstand (H) en waterstandsverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dH) T50

Waterberging Boontuinen



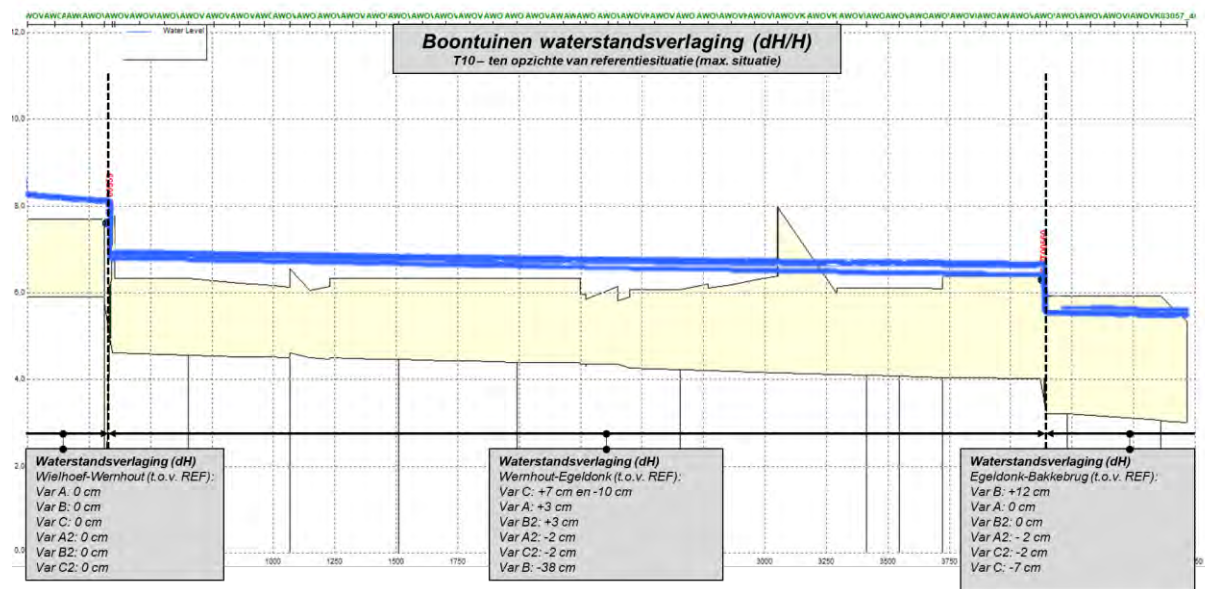
Waterstand (H) en waterstandsverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dH) T100

Waterberging Boontuinen



Waterstand (H) en waterstandsverandering ten opzichte van de referentiesituatie (dH) T10

Waterberging Boontuinen - lengteprofiel



Bijlage G Onderbouwing hoeveelheden

Zoom in met CTRL + scroll

Element/kunstwerk	Mortelbeek			Schattingen				
	A	B	C	L (m)	D/h (m)	B (m)	V (m3)	A (ha)
Inlaat 'Mortelbeek' bovenstrooms stuw Wielhoef (afsluitbare (en regelbare?) duiker)	1							
Grondaankoop nieuw tracé Mortelbeek	ca. 2,5 ha			1.100		25		2,8
Vergraven nieuw tracé Mortelbeek	ca. 3.500 m3			1.100	1	3	3.300	
Herprofilering bestaand tracé Mortelbeek	ca. 1.500 m3			1.100	0,5	3	1.650	
Aanbrengen vegetatie	langs Mortelbeek	in waterberging						
Aanleg kade rechter oever benedenstrooms deel Mortelbeek (ca. 1.500 m3)	ca. 1.500 m3			350	1	5	1.750	
Afsluitbare duikers (regelbaar?) Mortelbeek - waterberging	2							
Regelbare bodemklep/stuw (aantakking Mortelbeek - Aa of Weerij)	1							
Aanpassen bestaande uitlaat waterberging Mortelbeek (verhogen/regelbaar)	1							
Afsluiten/verwijderen bestaande inlaat waterberging Mortelbeek	1							
Verondiepen Aa of Weerij (0,3 m) traject stuw Wernhout - Egeldonk	ca. 15.000 m3			5.000	0,3	10	15.000	
Afgraven bestaande kade Aa of Weerij - waterberging		ca. 5.000 m3		450	2	5	4.500	
Verwijderen in- en uitlaatconstructie waterberging		2						
Graven nevengeul in waterberging		ca. 5.000 m3		600	1,5	6	5.400	
Aanleg drempel Aa of Weerij (grind)		100 m3		10	0,5	25	125	
Verdieping waterberging (gem. ca. 0,4 m)		ca. 20.000 m3	ca. 20.000 m3		0,4		22.800	5,7
Verwijderen niet gewenste vegetatie		in waterberging	in waterberging					
Aanpassen hoogteligging bestaande in- en uitlaatconstructies		2						
In- en uitlaatconstructies regelbaar maken			2					
Element/kunstwerk	Boontuinen			Schattingen				
	A	B	C	L (m)	D/h (m)	B (m)	V (m3)	A (ha)
Aanleg (regelbare?) inlaatconstructie (bovenstrooms aftakken strang ('binnenbocht'))	1	1	1					
Aanpassing drempel uitlaatconstructie strang ('binnenbocht')	1		1					
Aanpassing (hoogteligging drempel/regelbaar) inlaatconstructie nevengeul ('buitenbocht')	1		1					
Aanpassing (hoogteligging drempel) uitlaatconstructie nevengeul ('buitenbocht')	1		1					
Herprofilering strang ('binnenbocht')	ca. 2.000 m3		ca. 2.000 m3	400	0,25	20	2.000	
Herprofilering nevengeul ('buitenbocht')	ca. 4.000 m3		ca. 4.000 m3	750	0,5	10	3.750	
Duiker door 'hoge rug'		1						
Vergraven nieuw tracé strang/nevengeul ('binnenbocht')		ca. 6.000 m3		150	2	20	6.000	
Aanleg nieuwe (regelbare?) uitlaatconstructie strang/nevengeul ('binnenbocht')	1							
Verwijderen huidige inlaatconstructie strang ('binnenbocht')	1							
Verdieping waterberging 'binnenbocht' (gem. ca. 0,3 m)			ca. 4.000 m3		0,3		4.500	1,5
Verdieping waterberging 'buitenbocht' (gem. ca. 0,3 m)			ca. 15.000 m3		0,3		15.300	5,1
Aanpassing hoogteligging drempel inlaatconstructie 'buitenbocht' Boontuinen								
Aanpassing hoogteligging drempel uitlaatconstructie 'buitenbocht' Boontuinen								

Bijlage H (Relevante) afbeeldingen veldbezoeken



Figuur 42 Aa of Weerijis (Wernhout)



Figuur 43 Boontuinen (binnenbocht)



Figuur 44 Boontuinen (binnenbocht)



Figuur 45 Boontuinen (buitenbocht)



Figuur 46 Boontuinen (buitenbocht)



Figuur 47 Boontuinen (informatiebord, naam verkeerd)



Figuur 48 Boontuinen (uitlaatconstructie)



Figuur 49 Boontuinen (uitlaatconstructie buitenbocht)



Figuur 50 Entree vispassage



Figuur 51 Sluiskens (bergingsgebied)



Figuur 52 Sluiskens (bergingsgebied)



Figuur 53 Sluiskens (inlaatconstructie)



Figuur 54 Sluiskens (uitlaatsconstructie)



Figuur 55 Sluiskens (bergingsgebied)



Figuur 56 Stuw Bakkebrug (overlaatconstructie)



Figuur 57 Stuw Bakkebrug (peil +4.50)



Figuur 58 Stuw Bakkebrug (vispassage)



Figuur 59 Stuw Bakkebrug



Figuur 60 Stuw Egeldonk



Figuur 61 Stuw Egeldonk (peil +5.70)



Figuur 62 Stuw Egeldonk



Figuur 63 Stuw Wernhout



Figuur 64 Stuw Wernhout



Figuur 65 Stuw Wernhout



Figuur 66 Stuw Wernhout



Figuur 67 Stuw Wernhout (benedenstrooms)



Figuur 68 Stuw Wernhout (overlaatconstructie)



Figuur 69 Stuw Wernhout (peil +7.10)



Figuur 70 Stuw Wernhout (vispassage)



Figuur 71 Stuw Wernhout (vispassage)



Figuur 72 Stuw Wielhoef (overlaatconstructie)



Figuur 73 Stuw Wielhoef (peil +8.85)



Figuur 74 Stuw Wielhoef (vispassage)



Figuur 75 Stuw Wielhoef



Figuur 76 Inlaatconstructie Mortelbeek (afbeelding vanuit waterberging)



Figuur 77 Inlaatconstructie Mortelbeek (afbeelding vanaf overkant oever)



Figuur 78 Extra schotbalken boven onderkant inlaatconstructie Mortelbeek



Figuur 79 Aa of Weerijds langs waterberging Mortelbeek, in de oever de hoogwaterlijn te zien aan de bruin/groene overgang



Figuur 80 Uitlaatconstructie waterberging Mortelbeek



Figuur 81 Rechts waterloop Mortelbeek en links de kade om waterberging Mortelbeek



Figuur 82 Water in waterberging Mortelbeek



Figuur 83 Water in waterberging Mortelbeek



Figuur 84 Grondwaterpunt



Figuur 85 Afbeelding uit waterberging Mortelbeek



Figuur 86 Afbeelding uit waterberging Mortelbeek



Figuur 87 Afbeelding uit waterberging Mortelbeek