

Herinrichtingsplan

Rivierloop Beneden Regge rond stuw Archem



Herinrichtingsplan

Rivierloop Beneden Regge rond stuw Archem

R.H.M. (Rutger) Eeftink

E: *****@*****

M: 06-*****

J. (Jelle) Wijngaards

E: *****@*****

M: 06-*****

Major Toegepaste Hydrologie
Hogeschool Van Hall Larenstein
Velp

Afstudeerders
Waterschap Vechtstromen
Almelo

Ing. A.M.J. (Anouk) Berendsen-Sloot
Docent Water
Hogeschool Van Hall Larenstein

Ir. A.H. (Gon) Eugelink
Teamleider Team Expertise en Advies 2
Waterschap Vechtstromen

1 juni 2017

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeeronderzoek naar een vervangende combinatie van maatregelen om het oppervlakte- en grondwaterpeil rond stuw Archem in de Beneden Regge te herstellen.

Als vierdejaarsstudenten van Hogeschool Van Hall Larenstein hebben wij de afgelopen vijf maanden onderzoek gedaan voor het waterschap Vechtstromen, welke kantoor houdt in Almelo. Wij volgen de opleiding Land- en Watermanagement en hebben in het derde jaar van onze opleiding gekozen voor de major Toegepaste Hydrologie. Onze hoofdtak tijdens het onderzoek was het vinden van een combinatie van maatregelen ter vervanging van stuw Archem die in 2012 door een calamiteit onklaar is geworden.

Zonder de vele adviezen van de medewerkers van het waterschap Vechtstromen was dit onderzoek niet tot stand gekomen. In het bijzonder danken wij onze interne begeleiders Gon Eugelink en Ben Ordemans voor de kans die we hebben gekregen om te mogen afstuderen bij het waterschap. Het was een leerzame en blikverruimende periode die ons handvaten heeft gegeven voor het werk dat wij in de toekomst mogen uitvoeren binnen het werkveld.

Almelo, juni 2017

Samenvatting

Dit afstudeeronderzoek is uitgevoerd in opdracht van het waterschap Vechtstromen. Door een calamiteit is stuw Archem, gelegen in de Beneden Regge, onklaar geworden en kan het gewenste stuwwaaipeil niet meer worden gehandhaafd. Uit een driejarige monitoring bleek dat de tijdelijke oplossing, een nooddrempel, het ontstane negatieve effect op het watersysteem onvoldoende verhelpt. Naar aanleiding hiervan ontstond de centrale vraag die als volgt luidt:

‘Wat is de meest geschikte inrichting van de rivierloop van de Beneden Regge rond stuw Archem om gewenste grondwaterstanden voor de functies natuur en landbouw te realiseren en daarnaast landschappelijke en recreatieve waarden te versterken?’

Het gebied wordt gekenmerkt door aanwezigheid van de, van oudsher, meanderende Beneden Regge die door het landschap heen stroomt. Het rivierdal wordt begrensd door enerzijds het Natura 2000-gebied ‘Vecht- en Beneden-Reggegebied’ en anderzijds landbouwgronden.

Naar aanleiding van de gebiedsbeschrijving zijn vier varianten geformuleerd:

- Cascadering in combinatie met bodemverhoging
- Cascadering in combinatie met meestromende geul
- Lange Drempel in combinatie met overstromingsvlakte
- Herstellen stuw en vispassage

Uit de Multi Criteria Analyse (MCA) bleek dat de cascadering in combinatie met een meestromende geul de voorkeursvariant is.

De hydraulische toetsing van het oppervlaktewatersysteem is uitgevoerd in SOBEK voor de volgende gebeurtenissen: 1/100Q, 1/4Q, T=1, T=10 en T=100. Uit de toetsing bleek dat tijdens een 1/100Q de waterstand terugkeert naar het niveau waarbij stuw Archem nog functioneert. Bij een 1/4Q zal er een lichte stijging van gemiddeld 22 centimeter plaatsvinden. Vanaf T=1 treedt de Beneden Regge buiten zijn oevers en worden de aanliggende bergingsgebieden gevuld met water. Bij T=100 stroomt het water met gemiddeld met 13 centimeter over de kades van de bergingsgebieden heen. Door het ontwerp van de voorkeursvariant te verfijnen kan deze wel voldoen aan waterveiligheid.

Het grondwaterstanden keren terug naar een niveau die representatief is voor de situatie waarin stuw Archem functioneert. Dit blijkt uit de grondwatersysteemanalyse die is uitgevoerd met iMOD. Er is bovendien een robuustheidstest uitgevoerd voor het grondwatersysteem. Dit is gedaan om vast te stellen of de voorkeursvariant robuust genoeg is volgens het KNMI'14-klimaatscenario W_h in 2050. Uit de analyse blijkt dat bij dit (meest extreme) klimaatscenario de grondwaterstand gemiddeld met 25 millimeter daalt. De grondwaterstanden in de rivierloop stijgen echter tussen de 10 en 20 centimeter. De cascadering uit de voorkeursvariant bestaat uit vier trajecten met achtereenvolgens twaalf, vijf, drie en drie drempels. De meest bovenstrooms gelegen drempel kent een drempelhoogte van 4,25 meter boven NAP en de meest benedenstrooms gelegen drempel kent een drempelhoogte van 2,71 meter boven NAP. De drempels bestaan uit een stalen damwand die ingepakt is met stortsteen zodat onderloopsheid wordt tegengegaan en de constructie een natuurlijker uiterlijk krijgt. Bovenstrooms van de meest bovenstrooms gelegen cascadering begint de drempel die uitmondt in de meestromende geul. Deze stroomt door het voormalige landbouwperceel ten oosten van stuw Archem om vervolgens uit te monden in de Beneden Regge. Tijdens lage afvoeren stroomt het laagwaterprofiel van de drempel mee om algengroei in de geul te beperken. Tijdens hoge afvoeren (vanaf T=1) stroomt het hoogwaterprofiel van de drempel mee waardoor het verlaagde maaiveld rond de meestromende geul als extra berging gaat fungeren. Uit de huidige situatie blijven stuw Linderbeek, het gemaal en de kunstwerken die het waterpeil in het landbouwgebied reguleren intact. Een (houten) fiets- en wandelbrug maakt het mogelijk de meestromende geul te passeren. Parallel aan de cascadering wordt een kanogoot gerealiseerd. De kanogoot verbetert de kanopasseerbaarheid van de Beneden Regge doordat kanoërs de kano niet hoeven te verlaten wanneer zij de cascadering passeren.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	8
1.1	Aanleiding	8
1.2	Kader	9
1.3	Probleemanalyse	10
1.4	Doel	10
1.5	Leeswijzer	10
1.6	Doelgroep	10
2	Methode	11
3	Gebiedsbeschrijving	13
3.1	Hoogte	13
3.2	Geologie	13
3.3	Bodem	14
3.4	Geomorfologie	14
3.5	Cultuurhistorie	14
3.6	Historisch rivierbeheer	15
3.7	Landgebruik	15
3.8	Watersysteem	15
3.8.1	Oppervlaktewatersysteem	15
3.8.2	Grondwatersysteem	16
3.8.3	Riviermorphologie	16
3.9	Recreatie	17
3.10	Ecologie	17
3.10.1	Natuur	17
3.10.2	KRW	17
3.11	SWOT	18
4	Varianten	19
4.1	Cascadering i.c.m. bodemverhoging	19
4.2	Cascadering i.c.m. meestromende geul	20
4.3	Lange drempel i.c.m. overstromingsvlakte	21
4.4	Herstellen stuw en vistrap	22

5	Multi Criteria Analyse	23
5.1	Criteria	23
5.2	MCA toetsing	24
6	Effect voorkeursvariant op hydraulische situatie.....	25
6.1	Hydraulische situatie voor 2012.....	25
6.1.1	Oppervlaktewater.....	25
6.1.2	Grondwater	27
6.2	Hydraulische situatie voorkeursvariant.....	27
6.2.1	Oppervlaktewater.....	27
6.2.2	Grondwater	30
6.3	Robuustheid grondwatersysteem	31
7	Technische uitwerking voorkeursvariant	32
7.1	Inrichtingsschets.....	32
7.2	Dimensionering cascadering	35
7.3	Dimensionering drempel meestromende geul	37
8	Conclusie en aanbevelingen.....	38
8.1	Conclusie	38
8.2	Aanbevelingen.....	39
9	Discussie	40
9.1	Interpretatie van resultaten	40
9.2	Beperkingen.....	40
10	Reflectie.....	41
10.1	Reflectie Rutger	41
10.2	Reflectie Jelle.....	41
	Bibliografie	42
	Figuren- en tabellenlijst.....	44
	Bijlagen	45
	Bijlage A, Hoogtekaart.....	45
	Bijlage B, Bodemkaart	46
	Bijlage C, Geomorfologische kaart	47

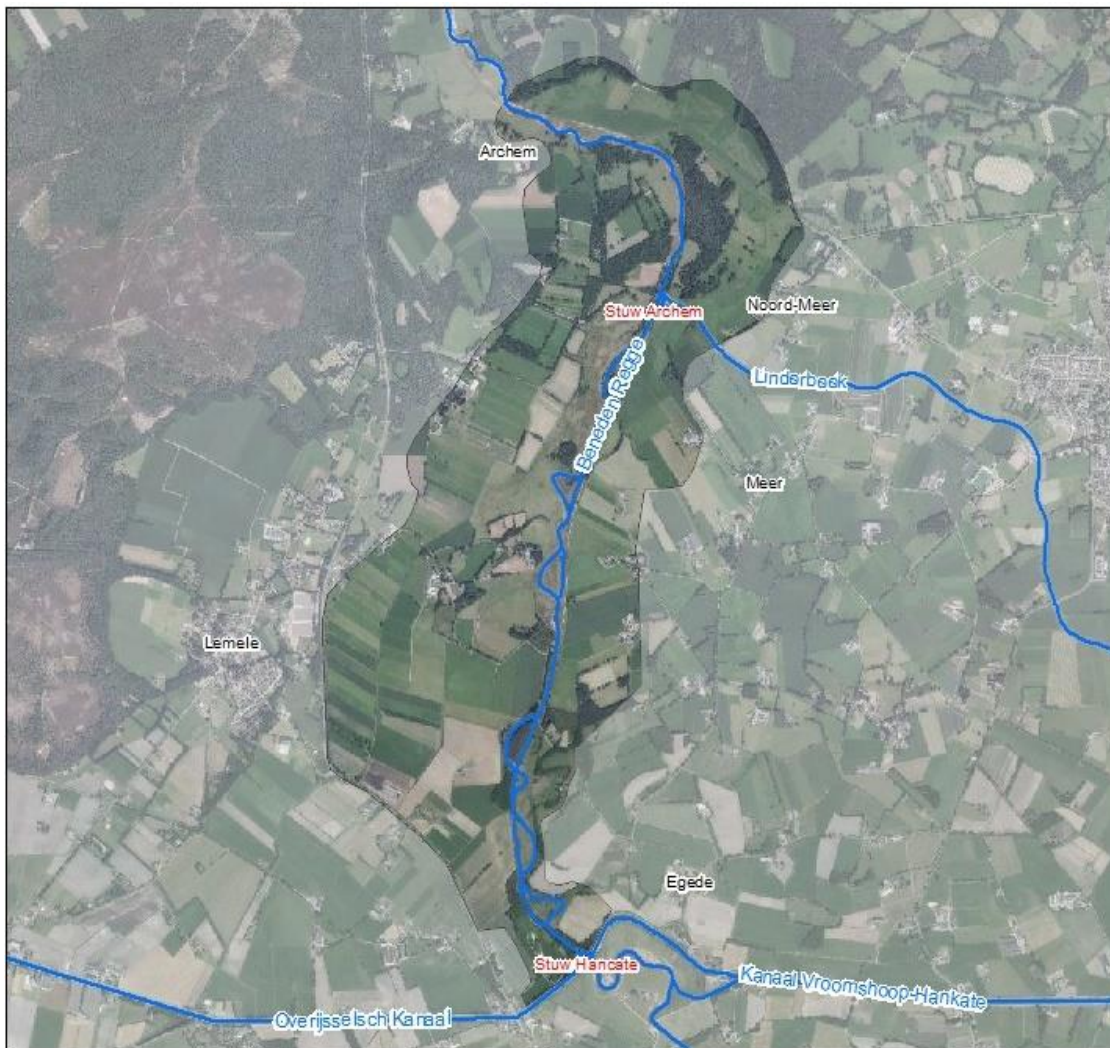
Bijlage D, Historische kaarten.....	48
Historische kaart 1850.....	48
Historische kaart 1890.....	49
Historische kaart 1925.....	50
Historische kaart 1970.....	51
Bijlage E, Cultuurhistorische kaart	52
Bijlage F, Kaart landgebruik 2012.....	53
Bijlage G, Oppervlaktewatersysteemkaart.....	54
Bijlage H, Oppervlaktewatersysteemkaart rond stuw Archem.....	55
Bijlage I, Kaarten inventarisatie grondwatersysteem	56
GLG 2010	56
GHG 2010	57
Verschil GHG en GLG 2010	58
Kwel- en wegzijgingskaart	59
Bijlage J, Kaart recreatie	60
Bijlage K, Uitwerking MCA.....	61
Bepaling wegingsfactoren.....	61
Beoordeling per variant	61
Bijlage L, Grafieken debieten en duurlijnen monitoringspunten.....	63
Regge Hankate (V-ST_053).....	63
Linderbeek Rohorst (V-ST_089).....	64
Linderbeek Archem (V-ST_011).....	65
Regge Archem (V-ST_010).....	66
Bijlage M, Grondwatersysteemanalyse.....	67
Grondwaterstanden nooddrempel	67
Grondwaterstanden functionerende stuw Archem	68
Grondwaterstanden voorkeursvariant.....	69
Grondwaterstanden voorkeursvariant W_h 2050	70
Bijlage N, Inrichtingsschets projectgebied	71
Bijlage O, Onderbouwing oppervlaktewatermodel	72
Bijlage P, Kaart bergingsgebieden en monitoringspunten	75
Bijlage Q, Kaart normering regionale wateroverlast.....	76
Bijlage R, Kaart natuur.....	77
Bijlage S, Kaart met kruinhoogten drempels cascadering.....	78

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het projectgebied concentreert zich rondom stuw Archem, gelegen ten westen van Den Ham in de provincie Overijssel (figuur 1). De stuw, die gelegen is in de Beneden Regge, bevindt zich in het westelijke gedeelte van het verzorgingsgebied van het waterschap Vechtstromen. De Beneden Regge begint ten zuiden van Diepenheim als waterinlaat van de Schipbeek en stroomt vervolgens als Boven Regge, Midden Regge en Beneden Regge tot de uitmonding in de Vecht nabij Ommen. De stuw bovenstrooms van stuw Archem is stuw Hankate. Stuw Vilsteren, gelegen in de Vecht, ligt benedenstrooms van stuw Archem. Stuw Vilsteren valt onder het beheer van het waterschap Drents Overijsselse Delta.

Stuw Archem is in februari 2012 bij een calamiteit (hoogwaterperiode) onklaar geworden. De gehele constructie verzakte waardoor de stuw zijn functie als peilregulerend kunstwerk verloor. Het gehanteerde zomer- en winterpeil (respectievelijk 4,4 m +NAP en 4,3 m +NAP) kan door deze calamiteit niet meer worden gehandhaafd. Omdat stuw Archem onherstelbaar beschadigd is geraakt is besloten om de klep van de stuw op de bodem te leggen. Vervolgens is ongeveer 150 meter bovenstrooms van stuw Archem een tijdelijke vaste drempel aangelegd met een zo hoog mogelijk stuwpeil (3,78 m +NAP). Dit vaste peil, dat aanzienlijk lager ligt dan het voormalige stuwpeil van stuw Archem, is gekozen om veiligheid bij piekafvoeren te kunnen garanderen.



Figuur 1: Projectgebied

Naar aanleiding van het uitvallen van stuw Archem ontstond de discussie of de stuw vervangen moet worden of dat dat er een stuwloze situatie gecreëerd kan worden overeenkomstig met de Reggevisie. Bij natuurbeheerders en agrariërs heerst er onzekerheid over het waterpeil van de Beneden Regge en de bijkomende effecten van een stuwloze situatie. Er wordt gevreesd dat een laag waterpeil zal resulteren in te lage grondwaterstanden voor de functies landbouw en natuur.

Er werd besloten om de grond- en oppervlaktewaterstanden voor een periode van drie tot vijf jaar te monitoren om het effect van de tijdelijke vaste drempel inzichtelijk te krijgen. De monitoring wees na drie jaar uit dat de tijdelijke vaste drempel onvoldoende effect heeft op de grondwaterstanden bovenstrooms van stuw Archem. De lage grondwaterstanden worden als nadelig ervaren door natuurbeheerders en agrariërs. Dit resulteert in verdroging van het Natura 2000-gebied Archemmaten en lagere gewasopbrengsten. Vanuit de functies landbouw en natuur is het dus wenselijk dat er een hoger waterpeil in de Beneden Regge gerealiseerd gaat worden om de ontstane verdroging van de omliggende percelen tegen te gaan (Waterschap Vechtstromen, sd).

1.2 Kader

Dit onderzoek vindt plaats in het kader van Natura 2000, de Kaderrichtlijn Water (KRW), Natuurnetwerk Nederland (NNN), de Reggevisie en KNMI'14-klimaatscenario's.

Natura 2000 is een Europees netwerk van beschermde natuurgebieden. In Natura 2000-gebieden worden diersoorten en hun natuurlijke leefomgeving beschermd om de biodiversiteit te behouden en te herstellen (Rijksoverheid, sd). De Beneden Regge is onderdeel van het Natura 2000-gebied Vecht- en Beneden-Reggegebied. De natuurgebieden Archemmaten, ten westen van stuw Archem, en de Eerderhooilanden, benedenstrooms van stuw Archem, vallen onder de Habitatrictlijn (HR).

De KRW is een Europese richtlijn die stelt dat alle Europese wateren voor 2027 zowel chemisch als ecologisch in orde moeten zijn (Rijkswaterstaat, sd). De Beneden Regge valt onder de KRW en er zijn plannen gemaakt om dit waterlichaam te laten voldoen aan de KRW-doelen.

NNN is provinciale wetgeving die ernaar streeft dat natuurgebieden met elkaar verbonden worden en dat er aansluiting gecreëerd wordt met het omringend agrarisch gebied (Rijksoverheid, sd). De Beneden Regge is onderdeel van het Reggedal wat onderdeel is van het NNN. Natuurnetwerk Nederland is de opvolger van de voormalige Ecologische Hoofdstructuur (EHS).

De Reggevisie is opgesteld door het voormalige waterschap Regge en Dinkel in 1998 en presenteert een visie voor de Regge in het jaar 2020. De Beneden Regge is onderdeel van de Laaglandregge¹. De functies landbouw en natuur staan hier voorop en geven vervolgens richting aan de inrichting en het beheer van het gebied. Er wordt gestreefd naar het benutten van de natuurlijke potenties van de Regge en de daarbij behorende landschapswaarden zodat de Laaglandregge de ecologische hoofdstructuur vormt. De Reggevisie streeft naar een stuwloze en dynamische Regge (Reggevisie, 1998). Naar aanleiding van de Reggevisie zijn diverse Reggeherstelprojecten uitgevoerd of in uitvoering.

Door klimaatverandering verandert het gemiddelde klimaat in Nederland. Er is onder andere kans op hogere piekafvoeren en langere perioden van droogte in de zomer. Om deze reden heeft het KNMI een aantal klimaatscenario's opgesteld waardoor in de toetsing van het grondwatersysteem rekening gehouden kan worden met het toekomstige klimaat (KNMI, sd). In dit onderzoek zal het KNMI'14-klimaatscenario W_h voor 2050 gebruikt worden.

¹ In de Reggevisie wordt onderscheid gemaakt tussen de Stadsregge en de Laaglandregge. Waarbij in de Stadsregge stedelijke functies richtinggevend zijn voor de ontwikkeling van het watersysteem, zijn in de Laaglandregge de functies landbouw en natuur richtinggevend voor de ontwikkeling van het watersysteem.

1.3 Probleemanalyse

Door het plaatsen een lagere vaste drempel ter vervanging van stuw Archem zijn de grondwaterstanden in de omliggende landbouw- en natuurgebieden gezakt. Om deze reden wordt er in dit onderzoek naar een geschikte invulling van de rivierloop nabij stuw Archem gezocht om te zorgen voor een optimale grondwaterstand voor de functies natuur en landbouw. Er dient rekening gehouden te worden met de beleidskades zoals beschreven in de vorige paragraaf. Een combinatie van maatregelen zou het waterpeil ter hoogte van de voormalige stuw Archem zodanig kunnen reguleren dat de grondwaterstanden in de landbouw- en natuurgebieden zo optimaal mogelijk zijn. Daarnaast zorgen maatregelen ervoor dat de landschappelijke en recreatieve waarden rondom stuw Archem versterkt worden. De centrale vraag die wordt onderzocht luidt als volgt:

Wat is de meest geschikte inrichting van de rivierloop van de Beneden Regge rond stuw Archem om gewenste grondwaterstanden voor de functies natuur en landbouw te realiseren en daarnaast recreatieve en landschappelijke waarden te versterken?

De centrale vraag zal beantwoord worden aan de hand van de volgende onderzoeksvragen:

1. *Wat zijn de relevante landschappelijke kenmerken in het gebied rond de rivierloop van de Beneden Regge ter hoogte van stuw Archem?*
2. *Wat zijn mogelijke combinaties van maatregelen om het waterpeil in de Beneden Regge ter hoogte van stuw Archem te reguleren?*
3. *Welke combinatie van maatregelen heeft de voorkeur in de rivierloop van de Beneden Regge rond stuw Archem met aandacht voor landbouw, natuur en recreatie?*
4. *Wat is het te verwachten effect van de voorkeursvariant op de hydrologische situatie in de rivierloop van de Beneden Regge rond stuw Archem met aandacht voor de klimaatscenario's voor 2050?*
5. *Wat is op basis van de voorkeursvariant de technische uitwerking van de rivierloop in de Beneden Regge rond stuw Archem?*

1.4 Doel

Er wordt gezocht naar een combinatie van maatregelen in de Beneden Regge rond stuw Archem die voorziet in de behoeften van de functies landbouw en natuur. Deze combinatie van maatregelen zal dienen ter vervanging van stuw Archem en resulteert in zo optimaal mogelijke grondwaterstanden voor de functies landbouw en natuur. De maatregelen moeten er verder voor zorgen dat de natuurlijke en recreatieve waarden rond stuw Archem versterkt worden. Het eindresultaat van het onderzoek is een technische uitwerking van de voorkeursvariant.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk twee wordt een methodische beschrijving gegeven per onderzoeksvraag. Dit hoofdstuk beschrijft de reproduceerbaarheid van het onderzoek. In hoofdstuk drie wordt een gebiedsbeschrijving gegeven van het projectgebied. De landschappelijke kenmerken zullen in dit hoofdstuk beknopt worden beschreven. In hoofdstuk vier worden vier varianten voor de inrichting van het projectgebied gepresenteerd. In hoofdstuk vijf wordt door middel van een Multi Criteria Analyse (MCA) de voorkeursvariant bepaald. In hoofdstuk zes wordt het effect van de voorkeursvariant op het oppervlakte- en grondwatersysteem berekend. In hoofdstuk zeven vindt er een technische uitwerking plaats van de voorkeursvariant. Deze zal bestaan uit een inrichtingsschets en een technische onderbouwing van de aan te brengen constructies.

1.6 Doelgroep

Dit rapport is opgesteld voor het waterschap Vechtstromen, de begeleidende docenten van hogeschool Van Hall Larenstein en overige belanghebbende en/of geïnteresseerde partijen.

2 Methode

In dit hoofdstuk wordt de methodiek van het onderzoek beschreven. Per onderzoeksvraag zal het deelproduct beschreven worden die bijdraagt aan het beantwoorden van de centrale vraag.

Wat zijn de relevante landschappelijke kenmerken in het gebied rond de rivierloop van de Beneden Regge ter hoogte van stuw Archem?

Alle relevante landschappelijke elementen worden in deze onderzoeksvraag geïnventariseerd. Het watersysteem is in deze analyse leidend. De volgende landschappelijke elementen worden geïnventariseerd: hoogte, bodem, geologie, geomorfologie, cultuurhistorie, historisch rivierbeheer, landgebruik, watersysteem, recreatie en tot slot de ecologie. Het watersysteem wordt onderzocht op basis van een studie van het grond- en oppervlaktewatersysteem en daarbij horende riviermorphologie. Daarnaast wordt de hoeveelheid aan kwel en/of wegzijging in het projectgebied onderzocht. Kaartmateriaal (ArcGIS) wordt bestudeerd om al deze landschappelijke aspecten te kunnen inventariseren. Een deel van dit kaartmateriaal is beschikbaar bij het waterschap Vechtstromen en overig kaartmateriaal is te vinden op het internet. De gebiedsbeschrijving wordt afgesloten met een sterkte-zwakteanalyse (SWOT). In de SWOT worden de kansen en bedreigingen binnen het studiegebied bepaald. Desbetreffende kansen en bedreigingen worden in de volgende onderzoeksvraag vertaald in maatregelen. Uiteindelijk wordt deze onderzoeksvraag beantwoord in kaarten en begeleidende teksten.

Wat zijn mogelijke combinaties van maatregelen om het waterpeil in de Beneden Regge ter hoogte van stuw Archem te reguleren?

Op basis van gesprekken binnen het waterschap Vechtstromen en uit de resultaten verkregen door middel van de SWOT worden er varianten (combinaties van maatregelen) geformuleerd voor de inrichting van het projectgebied. Bij de totstandkoming van de varianten wordt getracht om deze zo duurzaam, robuust en natuurlijk mogelijk te maken. De hydraulische effecten van de aangedragen varianten worden in deze deelvraag nog niet door hydraulische modellen onderbouwd. Het resultaat van deze onderzoeksvraag bestaat uit tekst en afbeeldingen om de varianten te visualiseren.

Welke combinatie van maatregelen heeft de voorkeur in de rivierloop van de Beneden Regge rond stuw Archem met aandacht voor landbouw, natuur en recreatie?

Op basis van de mogelijke varianten wordt een MCA (Multi Criteria Analyse) uitgevoerd om vast te stellen wat de meest geschikte variant is: de voorkeursvariant. Voor de MCA zijn criteria en wegingsfactoren opgesteld zodat de analyse zo objectief mogelijk kan worden uitgevoerd. De criteria waarop getoetst wordt zijn: veiligheid van de recreant, natuurlijke inrichting, vispasseerbaarheid, beleefbaarheid, beheer en onderhoud, ecologische impact, ruimtelijke impact en tot slot het genereren van energie uit waterkracht. De maatregel die de hoogste score krijgt in de MCA is de voorkeursvariant. Het resultaat van deze onderzoeksvraag zal bestaan uit tekst en begeleidende tabellen.

Wat is het te verwachten effect van de voorkeursvariant op de hydrologische situatie in de rivierloop van de Beneden Regge rond stuw Archem met aandacht voor de klimaatscenario's voor 2050?

In deze onderzoeksvraag wordt de voorkeursvariant hydraulisch getoetst. De voorkeursvariant voldoet hydraulisch als ten eerste de grondwaterstand weer rond het niveau zit voordat stuw Archem uitviel. Daarnaast mag de waterstand op de Beneden Regge tijdens lage afvoeren de grondwaterstanden in het omliggende gebied niet negatief beïnvloeden.

Om te bepalen of de voorkeursvariant hydraulisch voldoet worden de volgende situaties doorerekend in het oppervlaktewatermodel in SOBEK:

- 1/100Q (een afvoer die 347 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden)
- 1/4Q (een afvoer die 80 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden)
- T=1 (een afvoer die één keer per jaar voorkomt)
- T=10 (een afvoer die één keer per 10 jaar voorkomt)
- T=100 (een afvoer die één keer per 100 jaar voorkomt)

Desbetreffende gebeurtenissen worden gebruikt in de modellering omdat dit gebeurtenissen zijn die het waterschap Vechtstromen hanteert voor het doorrekenen van dergelijke watersystemen. Voor een uitgebreide onderbouwing van het oppervlaktewatermodel wordt verwezen naar bijlage O.

Het grondwatermodel ontvangt input vanuit het regionale grondwatermodel (WRD2013) en uit het gesimuleerde SOBEK-model. Uit het oppervlaktewatermodel worden de gebeurtenissen 1/100Q en 1/4Q gehaald die dienen als zomer- en winterpeil in het grondwatermodel. Vervolgens wordt er met een beschikbaar gestelde BATCH-file de conductiviteit van de waterlichamen in het projectgebied berekend. Desbetreffende waterlichamen worden verdeeld in infiltrerende en drainerende waterlichamen om het grondwatermodel te kunnen laten rekenen. Daarna is met een andere beschikbaar gestelde BATCH-file het grondwatermodel gesimuleerd. Het belangrijkste resultaat uit de modulatie is een kaart met stijghoogtes voor een periode van 27 jaar waarin onderscheid wordt gemaakt tussen winter- en zomerpeilen. Met de GxG-tool binnen iMOD worden vervolgens de verschillende grondwatertrappen berekend voor het eerste watervoerende pakket. De hiervoor beschreven methode wordt gebruikt om de GxG's te bepalen en in kaartvorm te presenteren voor de volgende situaties:

- Functionerende stuw Archem
- Nooddrempel
- Voorkeursvariant
- Voorkeursvariant inclusief klimaatscenario W_h

Voor de situatie waarin het klimaatscenario gemodelleerd is wordt de huidige verdamping- en neerslagreeks, die in het regionale grondwatermodel ingebouwd is, vervangen voor data die representatief is voor het KNMI'14-klimaatscenario W_h . Deze data is aangeleverd door Deltares.

Om een uitspraak te doen wat de invloed is van de voorkeursvariant is op het grondwaterniveau wordt het verschil bepaald tussen de situatie waarin stuw Archem functioneert en de situatie waarin de voorkeursvariant functioneert. Dit wordt gedaan voor de verschillende GxG's. Resultaten worden vertaald in kaartmateriaal. Tot slot wordt bepaald wat de invloed is van het (extreemste) klimaatscenario W_h op de voorkeursvariant. Hiermee wordt bepaald hoe robuust het grondwatersysteem is in het geval van de voorkeursvariant. De situatie waarin de voorkeursvariant functioneert wordt vergeleken met de situatie waarin stuw Archem functioneert. De resultaten van de GxG's worden gepresenteerd door middel van kaarten.

Wat is op basis van de voorkeursvariant de technische uitwerking van de rivierloop in de Beneden Regge rond stuw Archem?

In de laatste onderzoeksvraag wordt aandacht besteed aan de technische uitwerking van de voorkeursvariant. Desbetreffende technische uitwerking bestaat uit inrichtingsschetsen, de dimensies van de technische constructies en tot slot sfeerbeelden en schetsen. Met de technische uitwerking wordt een duidelijk beeld gecreëerd van de voorkeursvariant en de bijhorende technische constructies. Het resultaat van deze onderzoeksvraag bestaat uit teksten, schetsen, afbeeldingen en tabellen.

3 Gebiedsbeschrijving

In dit hoofdstuk volgt de gebiedsbeschrijving waarin alle aspecten van het landschap die invloed uitoefenen op het projectgebied worden geïnventariseerd. Het gaat hierbij om de hoogtekaart, bodem, geologie, geomorfologie, cultuurhistorie, historisch rivierbeheer, landgebruik, het watersysteem, recreatie en tot slot de ecologie. Uiteindelijk volgt een SWOT-tabel waarin op basis van de gebiedsbeschrijving de kansen en bedreiging voor het projectgebied worden bepaald.

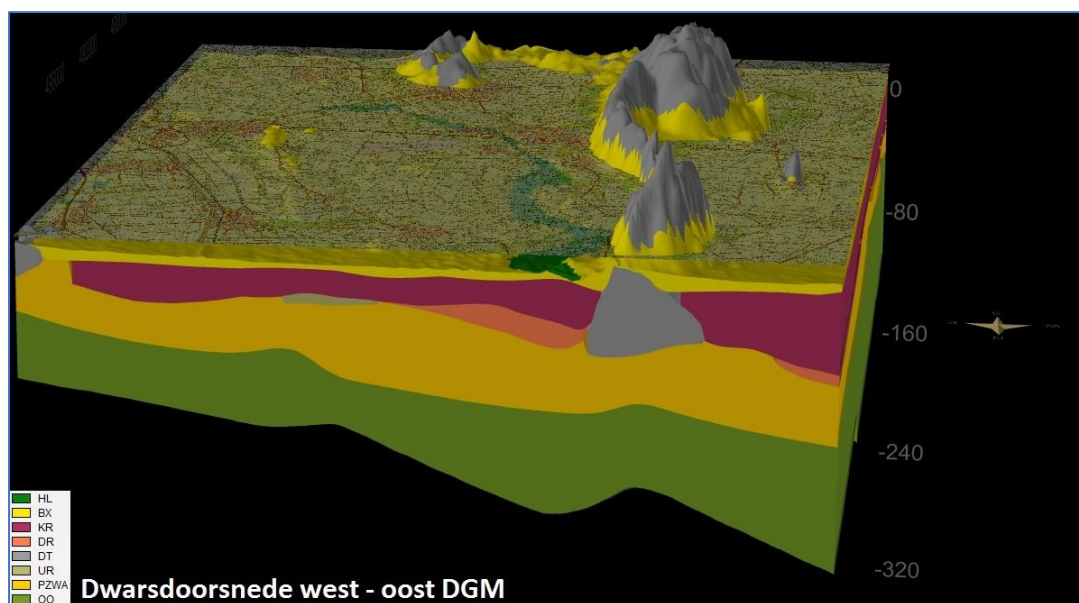
3.1 Hoogte

Het hoogste punt in het projectgebied is de Archemerberg die zich ten westen van het projectgebied bevindt (bijlage A). De Archemerberg is onderdeel van een stuwwal die ontstaan is in de laatste ijstijd (Weichselien). Het hoogste punt bedraagt 78 meter boven NAP. Oostelijk gelegen binnen het projectgebied zijn plaatselijke hoogteverschillen waarneembaar op de hoogtekaart. Deze hoogteverschillen zijn te verklaren door de aanwezigheid van essen. Het rivierdal waar de Beneden Regge door stroomt, vormt het laagste gebied binnen het landschap. Het laagste punt in het rivierdal bedraagt 2,5 meter boven NAP. Op de hoogtekaart zijn de (voormalige) meanders van de Beneden Regge nog duidelijk waarneembaar.

3.2 Geologie

Om de geologie te onderzoeken is er een dwarsdoorsnede gemaakt waarin de geologische gelaagdheid naar voren komt. Deze dwarsdoorsnede is gebaseerd op een DGM (Digitaal Geologisch Model). De dwarsdoorsnede is vanuit westelijke richting naar het oosten getrokken in (figuur 2). De voorzijde van de dwarsdoorsnede is de lijn die stuw Archem doorkruist.

De diepere formaties bestaan uit de formatie van Oosterhout (OO) en de formatie van Peize en de formatie van Waalre (PZWA). Op deze formatie bevindt zich de formatie van Drente (DR). Deze formatie bestaat uit glaciële afzettingen (zand en klei) gevormd in de voorlaatste ijstijd (Saalien). Onder invloed van stuwend landijs ontstond de Archemerberg. Na het Saalien is er een fluviatiele laag van zand en grind afgezet door de Rijn in het voormalige glaciële IJsseldalbekken. Dit wordt de formatie van Kreftenheye (KR) genoemd. In de laatste ijstijd (Weichselien) werd een nieuwe glaciële laag gevormd. Het betreft hier de formatie van Boxel (BX). Door dit glaciële pakket loopt tot slot een holocene laag. Deze bevindt zich in het rivierdal van de Beneden Regge waar een laag van riviersediment is afgezet. Verder bestaat dit holocene pakket uit essen, die ontstaan zijn onder invloed van menselijk ingrijpen (TNO, sd).

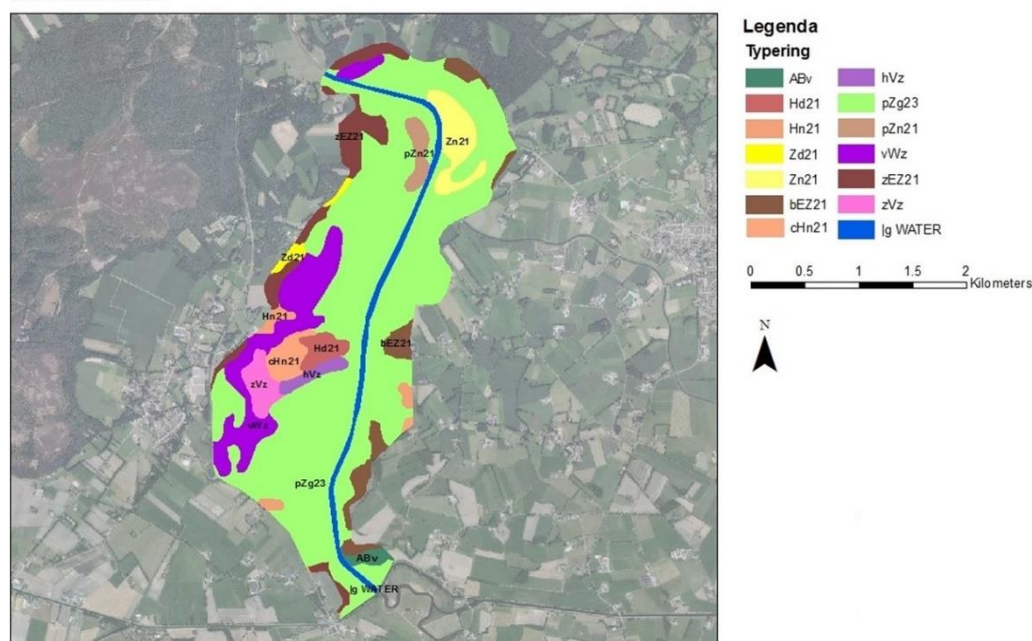


Figuur 2: Dwarsdoorsnede DGM

3.3 Bodem

De bodemkaart is afgebeeld in figuur 3 (en bijlage B). Het projectgebied bestaat grotendeels uit beekerdgronden met lemig fijn zand (pZg23). Deze bodem is typerend in het rivierdal van de Beneden Regge. Verder zijn er een aantal moerige gronden en venige gebieden aan te wijzen in het projectgebied: moerige eerdgronden met een moerige bovengrond op zand (vWz), koopveengronden op zand (hVz) en tot slot meerveengronden op zand zonder humuspodzol (zVz). De aanwezigheid van hoge bruine enkeerdgronden met leemarm en zwak lemig fijn zand (bEZ21) duidt op de aanwezigheid van. Nabij de rivier bevinden zich gooreerdgronden met leemarm en zwak lemig fijn zand (pZn21). Verder zijn er in het noordelijk deel van het projectgebied, nabij de oevers van de Beneden Regge, vlakvaaggronden met leemarm en zwak lemig fijn zand (Zn21) te vinden. Dit is een zandgrond die weinig tekenen van bodemvorming toont (Alterra, 2003).

Bodemkaart



Figuur 3: Bodemkaart projectgebied

3.4 Geomorfologie

Uit de geomorfologische kaart blijkt dat de laaggelegen beekdalbodem (2R5) overheerst in het projectgebied (bijlage C). In het westelijke gedeelte is de hooggelegen beekdalbodem (2R6) overheersend. Een beekdalbodem is onder invloed van water zonder getij-invalde ontstaan. In dit geval is dat de invloed van de Beneden Regge. Dekzandruggen (4K14) vormen de hogere delen in het landschap tussen deze beekdalbodems. In het oostelijk deel van het projectgebied zijn deze dekzandruggen op bepaalde locaties weggespoeld. Dit zijn vlakten van ten dele verspoelde dekzanden (2M9). Centraal gelegen in het projectgebied zijn enkele lage landduinen met bijhorende vlakten en laagten (4L8) te vinden.

3.5 Cultuurhistorie

De topografische kaarten waarin de topografie van de jaren 1850, 1890, 1925 en tot slot 1975 staan afgebeeld worden weergegeven in bijlage D. Wat opvalt is dat het projectgebied in 1850 al grotendeels ontgonnen is. Op de Archemerberg zijn nog woeste gronden te vinden.

De verkavelingsvormen zijn in loop der tijd nauwelijks veranderd. Aan de stuwwalflank is een strokenverkaveling te vinden terwijl richting de rivierloop de verkaveling verandert in een onregelmatige blokverkaveling. Op de hoger gelegen essen is bouwland te vinden terwijl de lager gelegen percelen dienstdoen als grasland.

Het noordelijke deel van het projectgebied is een stuk kleinschaliger dan het zuidelijke deel. Bebouwing is van oudsher geconcentreerd in kleinere leefgemeenschappen op de hoger gelegen essen. Tegenwoordig is de bebouwing binnen het projectgebied meer verspreid, door toedoen van de betere ontwatering van de lager gelegen gronden.

Net buiten het projectgebied zijn enkele landhuizen te vinden: huis Archem, kasteel Eerde, huis Eerder Es en havezate Egede (zie bijlage E). Voornamelijk kasteel Eerde is een belangrijk kasteel binnen de landgoederenzone gelegen nabij Ommen.

3.6 Historisch rivierbeheer

In bijlage D zijn de historische kaarten van de waterlopen van de jaren 1850, 1890, 1925 en 1970 te vinden. Uit de historische kaarten blijkt dat de Beneden Regge tot 1890 door het projectgebied meanderde. In 1925 was een gedeelte van de Beneden Regge al gekanaliseerd en vastgelegd tussen twee kades. In 1970 lag de complete Beneden Regge tussen kades. De kanalisering is uitgevoerd zodat het water sneller afgevoerd kan worden en wateroverlast in bovenstroomse gebieden voorkomen kon worden. Daarnaast zijn tal van afgesneden meanders uit het landschap verdwenen omdat ze zijn omgevormd tot agrarisch gebied.

De huidige ligging van de rivierloop van de Beneden Regge is de afgelopen vijf jaar sterk verandert ten opzichte van 1970. Op bepaalde locaties zijn de kades verwijderd en heeft de gekanaliseerde rivierloop weer de ruimte gekregen om te kunnen meanderen.

3.7 Landgebruik

Landbouw is de overheersende landgebruiksfunctie binnen het projectgebied (bijlage F). Dit valt op te maken uit de grote hoeveelheid bouwland (aardappelen, granen en maïs) en grasland (agrarisch gras). Verder worden de Archemermaten en Velderberg getypeerd als natuurgraslanden. In het noordelijk gedeelte van het projectgebied is loof- en naaldbos te vinden. Verspreide bebouwing die veelal dienstdoet als agrarisch bedrijf is in het gehele projectgebied waarneembaar.

3.8 Watersysteem

Om het watersysteem in het projectgebied te inventariseren is het oppervlakte-, en grondwatersysteem in kaart gebracht. Verder is onderzocht in welke mate er kwel en/of wegzijging optreedt in het projectgebied.

3.8.1 Oppervlaktewatersysteem

Er zijn twee kaarten gemaakt waarin de situatie van het oppervlaktewatersysteem wordt weergegeven: een kaart van het oppervlaktewatersysteem van gehele projectgebied en een kaart van het oppervlaktewatersysteem rond stuw Archem. Uit de gebiedsdekkende kaart (bijlage G) is op te maken dat de Beneden Regge centraal door het projectgebied stroomt. Er zijn een aantal kleinere waterlopen die het (agrarisch) gebied laten afwateren op de rivier. Stuwen (soms in combinatie met een gemaal) tussen de waterlopen en de rivier handhaven het waterpeil. Stuw Hankate en stuw Archem, met bijbehorende vispassages, zijn duidelijk waarneembaar op de kaart. Tot slot bevinden zich er een groot aantal duikers in de waterloop die parallel loopt aan de westelijke oever. Desbetreffende duikers zorgen ervoor dat landbouwwater niet in contact komt met het natuurgebied.

Ingezoomd op het oppervlaktewatersysteem rond stuw Archem (bijlage H) blijft het algemene beeld gelden. Diverse waterlopen, met als doel afwatering van het omliggende gebied, monden uit in de Beneden Regge met duikers. Tijdens een maatgevende afvoer van de Beneden Regge stroomt dit water vrij de rivier in. Echter tijdens hoge peilen van de rivier gaat de klep voor de duiker dicht. Hierdoor stroomt het water via een gemaal in de waterloop ten oosten van stuw Archem. Als de afvoer stagneert, pompt het gemaal het water weer via de duiker de rivier in. De tijdelijke vaste drempel is duidelijk waarneembaar, net als de stuw in de Linderbeek. Tot slot functioneert de vispassage bij stuw Archem niet meer doordat de bovenstroomse peilen zijn gedaald door het uitvallen van stuw Archem.

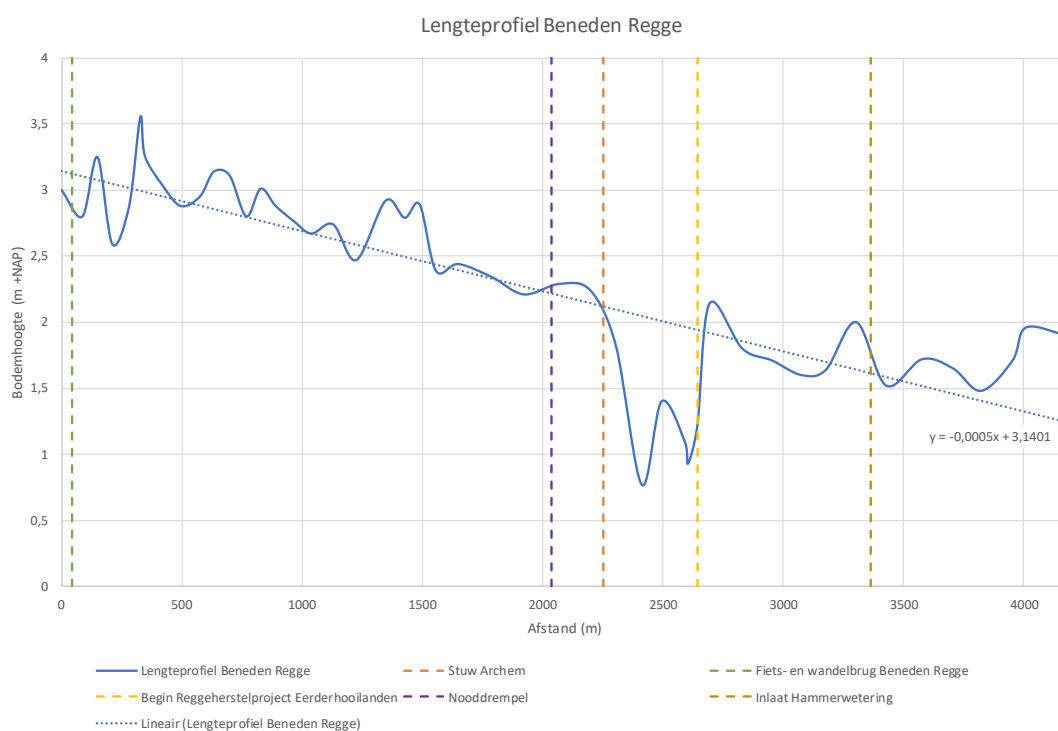
3.8.2 Grondwatersysteem

Op basis van de gemiddelde laagste grondwaterstand 2010 (GLG) en de gemiddelde hoogste grondwaterstand 2010 (GHG) kan er een uitspraak worden gedaan over de geohydrologische situatie van het projectgebied. Kaartmateriaal is te vinden in bijlage I. De GHG binnen het projectgebied varieert van tot aan het maaiveld in de lagere gelegen gebieden tot 434 centimeter onder maaiveld op de essen en op de percelen gelegen aan de stuwwal. De GLG varieert van 6 centimeter onder maaiveld tot 567 centimeter onder maaiveld.

De grootste fluctuaties vinden plaats op percelen nabij de stuwwalflank. Op percelen gelegen nabij de rivierloop van de Beneden Regge en in mindere mate percelen gelegen langs overige waterlopen fluctueert de grondwaterspiegel aanzienlijk minder. Er vindt kwel- en wegzijging plaats in het projectgebied onder invloed van de stuwwal en de rivierloop van de Beneden Regge. Op de Archemerberg infiltreert hemelwater. Het geïnfiltreerde water kwelt vervolgens op in het rivierdal van de Beneden Regge. Voornamelijk de percelen nabij de Eerderhooilanden worden sterk beïnvloed door kwel. Dit kan oplopen tot maximaal 15 millimeter per dag.

3.8.3 Riviermorphologie

De Beneden Regge is van oudsher een meanderende rivier. Dit betekent dat er van origine een grote variëteit is aan hydrologische en morfologische processen binnen het watersysteem. In het kader van het Reggeherstelproject Archem-Eerderhooilanden (opgeleverd in 2013) heeft het waterschap Vechtstromen de Beneden Regge benedenstrooms van stuw Archem laten hermeanderen. Verder is de bodembreedte verkleind en is er een bodemverhoging van circa 1,5 meter aangebracht. Dit heeft de dynamiek, die er tot 1890 was, in dit deel van de rivier hersteld. In figuur 4 is het lengteprofiel van de Beneden Regge te zien. Het lengteprofiel is gebaseerd op metingen van het waterschap. Het profiel begint bij de fiets- en wandelbrug, ter hoogte van de Grefeldijk, die de Beneden Regge kruist bovenstrooms van stuw Archem en eindigt aan de rand van het projectgebied benedenstrooms van stuw Archem. De bodemhoogten in de Beneden Regge vertonen variaties wat zich vertaalt in lage bodemhoogtes benedenstrooms van stuw Archem en hogere bodemhoogtes bovenstrooms van de nooddrempel. Het ontstane spoelgat benedenstrooms van stuw Archem is tot slot duidelijk waarneembaar in de grafiek.



Figuur 4: Lengteprofiel Beneden Regge

3.9 Recreatie

In bijlage J is een kaart opgenomen waarop de huidige ruiter-, wandel- en fietspaden, kanoroutes en tot slot het aanbod aan verblijfrecreatie op afgebeeld staan. Er is voldoende aanbod aan recreatieve paden in het gebied. Zo zorgt het (verharde) pad op het schouwpad van de Beneden Regge ervoor dat water van dichtbij beleefd kan worden door de recreanten. Verder doorkruist het Overijssels Havezatenpad het projectgebied. Net buiten het projectgebied, voornamelijk op de flank van de stuwwal, zijn genoeg vormen van verblijfrecreatie te vinden. Deze vormen van verblijfsrecreatie zijn bungalowparken, campings en groepsaccommodaties.

3.10 Ecologie

Om de ecologie te inventariseren wordt de Natura 2000 k en de Kader Richtlijn Water-waterlichamen (Midden Regge en Beneden Regge) bestudeerd.

3.10.1 Natuur

Het Natura 2000-gebied 'Vecht- en Beneden-Reggegebied' bevindt zich deels in het projectgebied (bijlage R). Binnen dit gebied is onderscheid gemaakt tussen het rivierengebied (uiterwaarden van de Beneden Regge) en de hogere zandgronden (onder andere het landgoed Eerde en de Archermerberg). De bodem van de hogere zandgronden is van oorsprong zuur en voedselarm, langs de Regge komen voedselrijkere bodemtypes voor veroorzaakt door sedimentaanvoer.

Inundaties met rivierwater zijn afgenomen dankzij normalisatie van de rivier. Hierdoor wordt er minder sediment neergelegd op de oevers. Het gebied valt onder de Habitatrictlijn (HR) (Ministerie van Economische Zaken, sd). Tot slot kent een landbouwperceel gelegen aan de rechteroever ter hoogte van stuw Archem, de typering 'nieuw te realiseren natuur, netto begrensd'. Dit perceel kan (voor zover bekend) omgevormd worden tot een natuurgebied (Rijksoverheid, sd).

3.10.2 KRW

Binnen het studiegebied vallen de volgende KRW-waterlichamen: Midden Regge en Beneden Regge). Deze twee waterlichamen zijn R6-waterlichamen volgens de KRW-typering.

Uit de toetsingstabellen waarin de ecologische toestand is, blijkt dat de ecologie in beide watergangen matig scoort. De macrofauna en overige waterflora scoren matig en de parameter vis in de Beneden Regge krijgt zelfs de score ontoereikend. In de Midden Regge scoort de parameter vis zelfs slecht. Het fosfaatgehalte is in beide waterlichamen ontoereikend. Tot slot is het matig gesteld met het gehalte stikstof in de bodem en is de zuurgraad niet kenmerkend voor de waterlichamen waardoor deze parameter matig scoort (Waterschap Vechtstromen, 2015).

In tabel 1 wordt een karakterisering van het type R6-waterlichaam gegeven. Desbetreffende eigenschappen zullen fungeren als randvoorwaarden bij het opstellen van varianten.

	Eenheid	Range
Verhang	m/km	< 1
Stroomsnelheid	cm/s	< 50
Geologie >50%		kiezels
Breedte	m	8-25
Oppervlak stroomgebied	km ²	100-200
Permanentie	-	nvt
Getijden	-	nvt

Tabel 1: Karakterisering type R6-waterlichaam (STOWA, 2012)

3.11 SWOT

In deze paragraaf wordt de SWOT-analyse uitgevoerd. Deze analyse wordt uitgevoerd door de sterktes, zwaktes, bedreigingen en kansen die het projectgebied kent te bepalen en op te nemen in tabel 2. Sterktes worden vertaald in bedreigingen, terwijl de zwaktes worden vertaald in kansen.

	Positief	Negatief
	Sterktes	Zwaktes
Intern	1. Natuurlijke hoogteverschillen in het landschap 2. Noordelijk deel projectgebied grenst aan landgoederenzone 3. Cultuurhistorische waarden essen 4. Uitgevoerde Reggeherstelprojecten (Velderberg en Klimaatbuffer Regge) 5. Aanwezigheid verblijfsrecreatie en recreatieve paden 6. Kleinschalig landschap noordelijk deel projectgebied 7. Groot areaal waardevolle natuur 8. Aanwezigheid (afgesneden) meanders	1. Kunstwerken in hoofdwaterlopen als obstakel voor vissen en een dynamische, natuurlijke Regge 2. Ongewenste grondwaterstanden landbouw en natuur bovenstrooms van stuw Archem 3. Wetgeving Natura 2000 beperkt ruimte voor ingrijpen 4. Veel verschillende perceeleigenaren (organisaties) 5. Wens landbouw tot schaalvergroting strijdig met het creëren van nieuwe natuur 6. Kunstwerken in hoofdwaterlopen als obstakel voor kanoërs 7. Spoelgat benedstrooms van stuw Archem 9. Gekanaliseerde deel Regge t.h.v. stuw Archem 10. Inrichting watersysteem onvoldoende voorbereidt op klimaatverandering 11. Waterkwaliteit Beneden en Midden Regge ontoereikend volgens KRW
Extern	Kansen 1. Mogelijkheid creëren nieuwe natuur in kader van Natura 2000 2. Extensieve landbouw in combinatie met extensief beheer waterlopen 3. Een stuwloze, natuurlijke en dynamische Regge 4. Aanwezige Natura 2000 uitbreiden met landbouwgrond 5. Gekanaliseerde deel Regge t.h.v. stuw Archem vervangen door een natuurlijke situatie 6. Water langer vasthouden in projectgebied 7. Water gebruiken als educatief instrument 8. Creëren bufferszones om waterveiligheid te waarborgen 9. Herstellen natuurlijk bodemverhang Regge	Bedreigingen 1. Klimaatverandering (grote piekafvoeren vs. droge perioden) 2. Intensievere landbouw: schaalvergroting, vermesting en snel afvoeren water 3. Hoge afvoer kwel vanaf stuwwal naar rivierdal Regge 4. Natuurgebieden nabij rivierloop Regge beperken ruimte tot ingrijpen 5. Hoge afvoer water uit hogergelegen delen binnen het projectgebied tijdens piekafvoer Regge

Tabel 2: SWOT-analyse projectgebied

4 Varianten

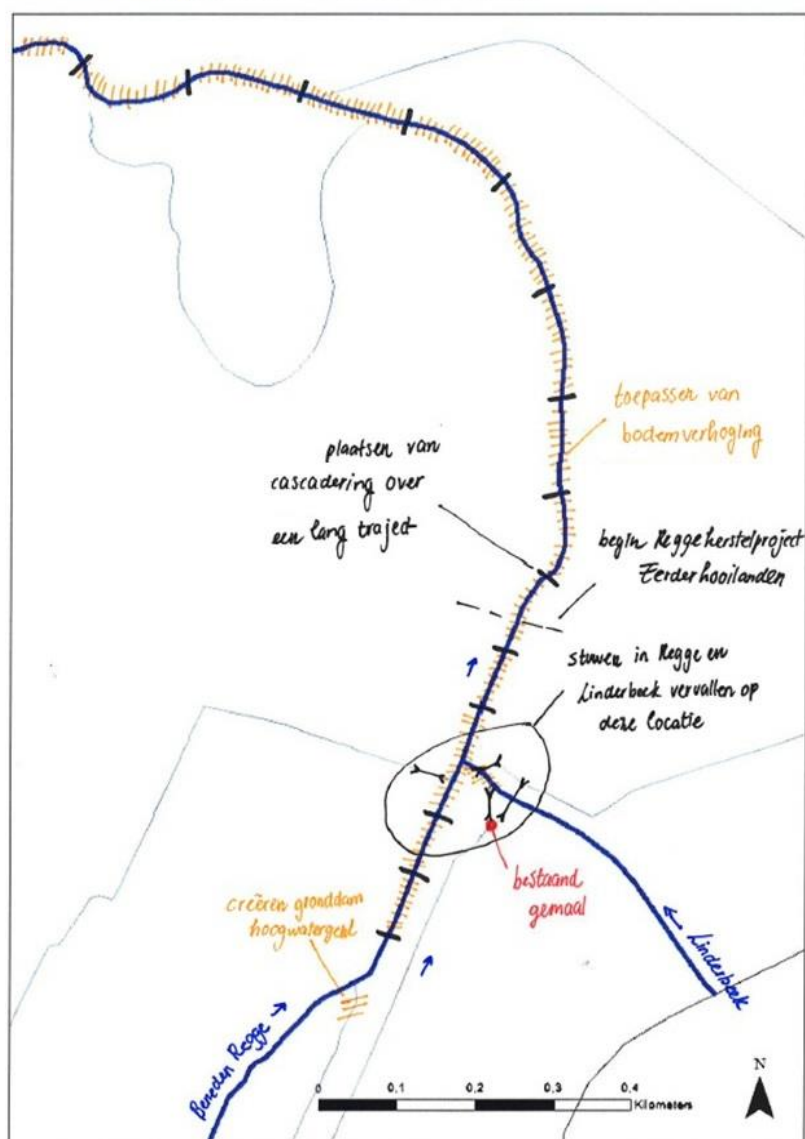
In dit hoofdstuk worden op basis van de gebiedsbeschrijving en de SWOT enkele varianten gepresenteerd en toegelicht. De focus bij de varianten ligt in eerste instantie op het verbeteren van de hydraulische situatie rond stuw Archem. Begeleidende afbeeldingen en schetsen dienen ter verduidelijking van de varianten.

4.1 Cascadering i.c.m. bodemverhoging

De eerst variant betreft het aanbrengen van een bodemverhoging (figuur 5). Het aanbrengen van de bodemverhoging zal gebeuren in combinatie met het aanleggen van een cascadering zodat de suppletie vast blijft liggen. De oevers worden vastgelegd in stortsteen om erosie, door toedoen van het meanderend proces, tegen te gaan. De stuw in de Linderbeek en in de Beneden Regge komen te vervallen bij deze variant.

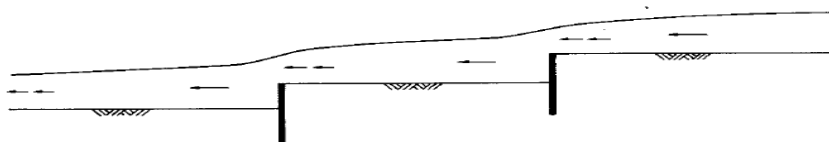
De cascadering bestaat uit een reeks van drempels die verspreid liggen over een traject die benedenstrooms van de Eerderhooilanden zal beginnen en ter hoogte van de voormalige stuw Archem zal eindigen. De kruinhoogten van de drempels gaan in benedenstroomse richting evenredig met de nieuwe verhanglijn van de bodem omlaag.

Cascadering i.c.m. bodemverhoging



Figuur 5: Schets variant cascadering in combinatie met bodemverhoging

Doordat er een bodemverhoging tussen de drempels toegepast wordt, fungeert de cascadering als een soort van bodemval (figuur 6). Een bodemval wordt toegepast om het verschil in bodemhoogte in een waterlichaam op te vangen. Hierdoor wordt de snelheid van het water beperkt en wordt vervolgens een lagere stroomsnelheid gerealiseerd door een afname van het verhang. Bij een bodemval is het van belang dat er voldoende waterdiepte is. Deze randvoorwaarde voorkomt dat de kritische stroomsnelheid bovenstrooms van de bodemval niet overschreden wordt en bodemerosie voorkomen wordt (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1988).

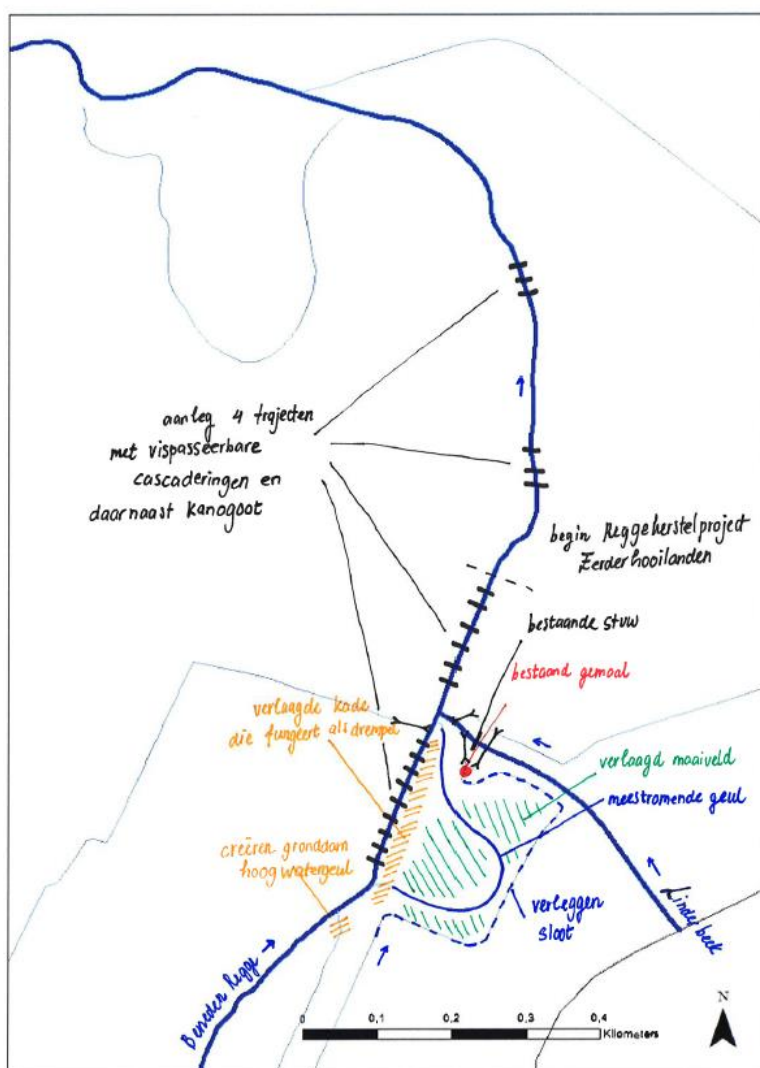


Figuur 6: Impressie bodemval (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1988)

4.2 Cascadering i.c.m. meestromende geul

De tweede variant is het aanleggen van een cascadering. Desbetreffende cascadering wordt gecombineerd met een meestromende geul die gelegen is in een voormalig landbouwperceel ten oosten van stuw Archem (figuur 7).

Cascadering i.c.m. meestromende geul



Figuur 7: Schets variant cascadering in combinatie met meestromende geul

De cascadering (figuur 8) bestaat uit een viertal trajecten met drempels. De cascadering fungeert bovendien als vispassage doordat er vertical slots (spleten) in het profiel van de drempel worden aangebracht. Naast de cascadering ligt een kanogoot waardoor kanoërs niet meer gehinderd worden tijdens het kanoën op de Beneden Regge (figuur 8).



Figuur 8: Stuw van Notter (Podt, 2012) en kanogoot Lateraalkanaal Almelo (eigen foto)

De meestromende geul heeft een basisafvoer en mondt vrij uit in de Beneden Regge. Bij piekafvoeren zal een groot deel van het water via de meestromende geul en het verlaagde maaiveld stromen. Dit resulteert in een verlaging van de waterstanden bovenstrooms van de geul in de rivier. De stuw in de Linderbeek blijft in deze variant behouden. De verlaagde kade die fungeert als drempel zal worden vastgelegd in stortsteen zodat deze niet erodeert.

4.3 Lange drempel i.c.m. overstromingsvlakte

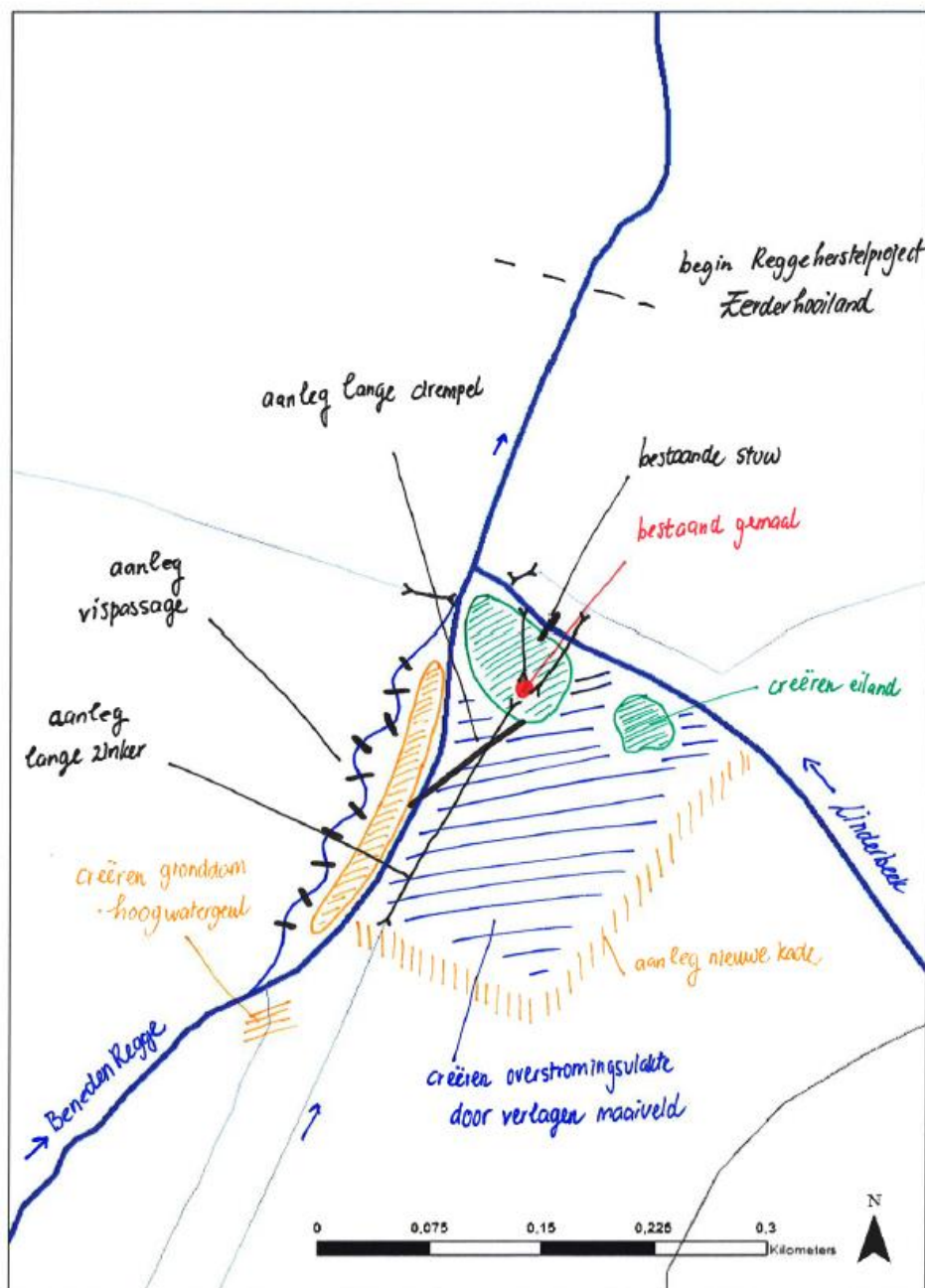
De derde variant is het creëren van een lange (enkele) drempel in combinatie met een overstromingsvlakte op het voormalige landbouwperceel op de rechteroever ter hoogte van stuw Archem (figuur 10). Verder wordt er een vispassage gerealiseerd ten westen van deze drempel (zoals in figuur 9). De overstromingsvlakte vormt een verbinding tussen de Linderbeek en de Beneden Regge. Daardoor is het peil op zowel de Beneden Regge als de Linderbeek onderhevig aan de kruinhoogte van deze lange drempel.



Figuur 9: Vispassage in de Bolscherbeek (eigen foto)

De stuw in de Linderbeek blijft behouden en zal tijdens piekafvoeren voor een versnelde afvoer van het water moeten zorgen.

Lange drempel i.c.m. overstromingsvlakte



Figuur 10: Schets variant lange drempel in combinatie met overstromingsvlakte

4.4 Herstellen stuw en vistrap

De laatste variant betreft het herstellen van de stuw en de bijhorende vistrap. Omdat de stuw onherstelbaar beschadigd is geraakt tijdens de calamiteit zal de complete stuw in dit geval vervangen moeten worden. De vistrap voldoet niet meer aan de hedendaagse eisen met betrekking tot vispasseerbaarheid en in zijn geheel vervangen moeten worden. Er wordt geadviseerd om een nieuwe klepstuw te realiseren die het peil bovenstrooms op de Beneden Regge reguleert. Deze variant herstelt de oude situatie, zoals deze was voor de calamiteit in 2012, waarbij de stuw nog in bedrijf is.

5 Multi Criteria Analyse

De keuze van de voorkeursvariant wordt bepaald door het uitvoeren van een Multi Criteria Analyse (MCA). De verschillende aangedragen varianten worden getoetst en beoordeeld aan de hand van diverse criteria.

5.1 Criteria

De volgende criteria worden opgenomen in de MCA:

- Veiligheid recreant
- Natuurlijke inrichting
- Vispasseerbaarheid
- Beleefbaarheid
- Beheer en onderhoud
- Ecologische impact
- Ruimtelijke impact
- Genereren energie uit waterkracht

Veiligheid recreant

In hoeverre de variant veilig is voor recreanten die recreëren nabij de variant wordt getoetst binnen dit criterium.

Natuurlijke inrichting

Binnen dit criterium wordt getoetst of de variant tot een natuurlijke inrichting van de rivierloop van de Beneden Regge rondom stuw Archem leidt.

Vispasseerbaarheid

Met het criterium vispasseerbaarheid wordt getoetst in welke mate de variant zorgt voor een vispasseerbare Beneden Regge rond stuw Archem.

Beleefbaarheid

Met het criterium beleefbaarheid wordt bepaald in welke mate een variant leidt tot een toegenomen beleefbaarheid van het landschap in het projectgebied.

Beheer en onderhoud

De mate van beheer en onderhoud wordt met dit criterium getoetst.

Ecologische impact

De impact op de ecologische situatie van de variant wordt getoetst binnen dit criterium.

Ruimtelijke impact

De impact op het landschap van een mogelijke variant wordt getoetst binnen dit criterium.

Genereren energie uit waterkracht

De mogelijkheid om energie te genereren uit waterkracht binnen de variant wordt getoetst middels dit criterium.

De varianten worden getoetst per criterium met een schaalniveau van een tot en met vijf. De schaalverdeling staat afgebeeld in tabel 4. Verder is aan elk criterium een wegingsfactor gehangen. De schaalverdeling van de wegingen staat afgebeeld in tabel 3.

5.2 MCA toetsing

In deze paragraaf wordt de voorkeursvariant bepaald door middel van een Multi Criteria Analyse (MCA). In het volgende hoofdstuk wordt de voorkeursvariant getoetst op hydraulisch functioneren.

De volgende varianten worden getoetst in de MCA:

- Cascadering in combinatie met bodemverhoging
- Cascadering in combinatie met meestromende geul
- Lange Drempel in combinatie met overstromingsvlakte
- Herstellen stuw en vispassage

De totaalscore per maatregel staat afgebeeld in tabel 6. De wegingsfactoren per criterium worden in tabel 5 weergegeven. Uit de MCA blijkt dat de cascadering in combinatie met meestromende geul, met een totaalscore van 101, de voorkeursvariant is. De lange drempel in combinatie met overstromingsvlakte scoort 94 punten. Dit maakt deze variant een prima alternatief voor de voorkeursvariant. Het herstellen van de stuw en vispassage blijkt minder gewenst met een score van 90. De cascadering in combinatie met bodemverhoging is de minst gewenste variant met een totaalscore van 71. De toelichting van de scorekeuzes is te lezen in bijlage K.

Weging	Betekenis
1	Licht
2	Redelijk licht
3	Neutraal
4	Redelijk zwaar
5	Zwaar

Schaal	Betekenis
1	Slecht
2	Matig
3	Voldoende
4	Goed
5	Zeer goed

Tabel 4: Wegingsfactoren criteria

Tabel 3: Beoordeling varianten

Veiligheid recreant	Natuurlijke inrichting	Vispasseerbaarheid	Beleefbaarheid	Beheer en onderhoud	Ecologische impact	Ruimtelijke impact	Genereren energie uit waterkracht
5	4	4	3	4	3	4	1

Tabel 5: Toekenning wegingsfactoren criteria

Maatregel	Veiligheid recreant	Natuurlijke inrichting	Vispasseerbaarheid	Beleefbaarheid	Beheer en onderhoud	Ecologische impact	Ruimtelijke impact	Genereren energie uit waterkracht	Totaalscore
Cascadering i.c.m. meestromende geul	4	3	5	4	3	4	3	3	101
Lange drempel i.c.m. overstromingsvlakte	2	2	4	4	4	4	4	4	94
Herstellen stuw en vispassage	3	1	4	3	4	2	3	5	90
Cascadering i.c.m. bodemverhoging	4	4	3	2	2	3	1	1	71

Tabel 6: Toekenning punten varianten

6 Effect voorkeursvariant op hydraulische situatie

In dit hoofdstuk wordt de voorkeursvariant hydraulisch getoetst. Voordat dit kan gebeuren moet echter eerst de hydraulische situatie voor 2012 gemodelleerd worden waarin stuw Archem nog functioneerde. Vervolgens kan het effect van de voorkeursvariant ten opzichte van deze oude situatie bepaald worden. Voor het modelleren van het oppervlaktewater wordt het programma SOBEK gebruikt. Het modelleren van het grondwater zal gebeuren met het programma iMOD. Dit programma vormt een schil rond het grondwatermodelleringsprogramma MODFLOW.

6.1 Hydraulische situatie voor 2012

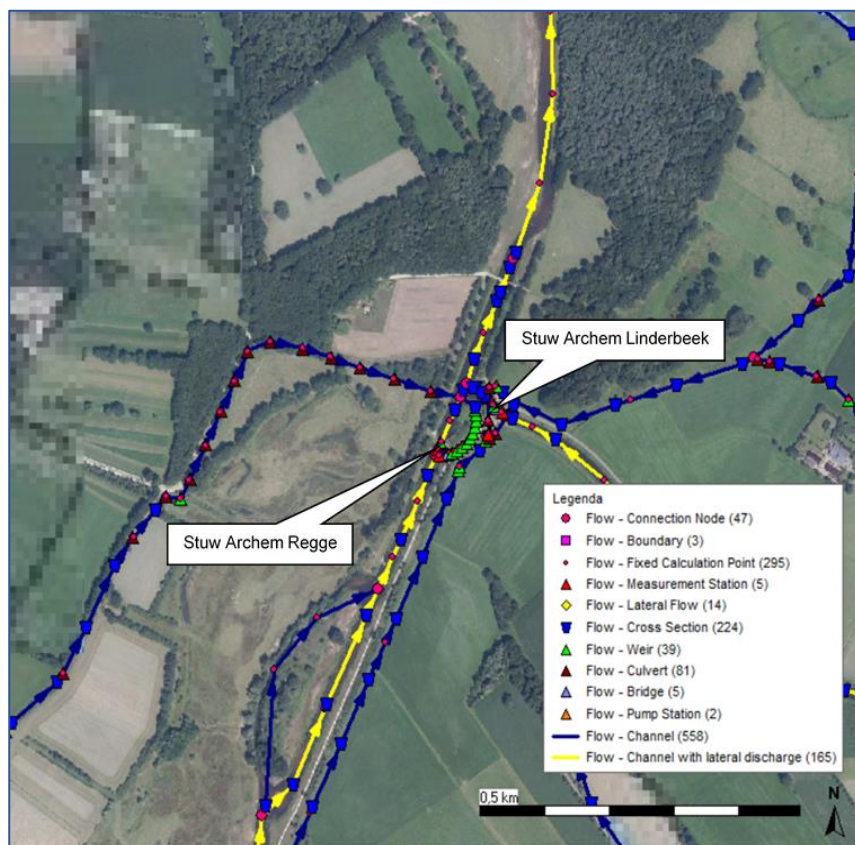
Allereerst zal de hydraulische situatie voor 2012 berekend worden voor het oppervlaktewater en het grondwater. In deze situatie is stuw Archem nog in bedrijf.

6.1.1 Oppervlaktewater

Voor het modelleren van het oppervlaktewatersysteem wordt gebruik gemaakt van een zelfgebouwd stationair eendimensionaal model binnen de Rural-module van SOBEK (voor modelonderbouwing zie bijlage O). Binnen één berekening (case) worden vijf gebeurtenissen doorgerekend. Het betreft hier de volgende gebeurtenissen:

- 1/100Q (een afvoer die 347 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden)
- 1/4Q (een afvoer die 80 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden)
- T=1 (een afvoer die één keer per jaar voorkomt)
- T=10 (een afvoer die één keer per 10 jaar voorkomt)
- T=100 (een afvoer die één keer per 100 jaar voorkomt)

In figuur 11 wordt een uitsnede van de schematisatie van het model weergegeven. De klepstuw Archem Regge in combinatie met een vistrap is duidelijk waarneembaar. Daarnaast is goed te zien dat de Linderbeek benedenstrooms van klepstuw Archem Linderbeek in de Regge uitmondt.



Figuur 11: Uitsnede schematisatie model huidige situatie

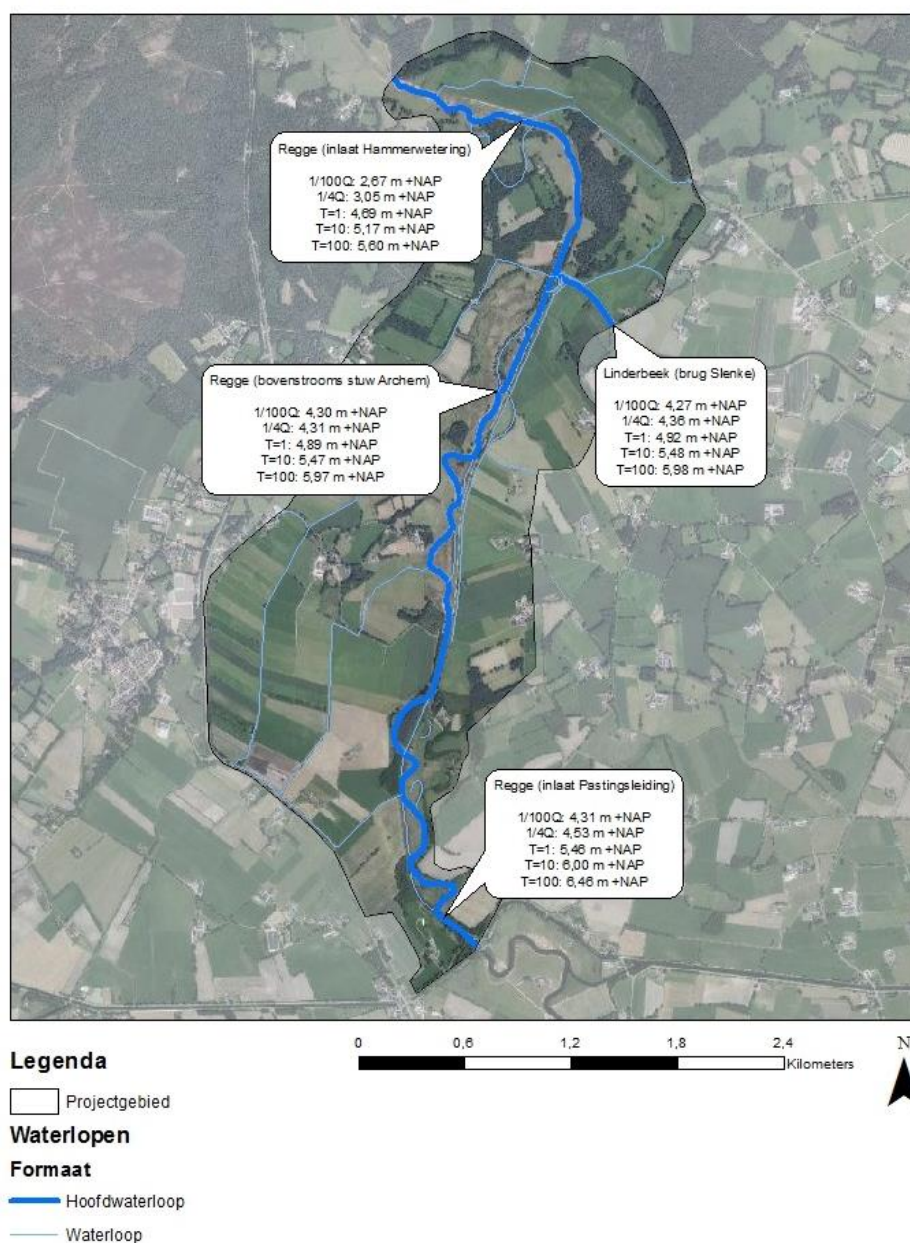
Als input voor het oppervlaktewatermodel zijn de debieten bij de monitoringspunten Regge Hankate (V-ST_053) en Linderbeek Rohorst (V-ST_089) gebruikt (Bijlage S). De debieten zijn bepaald door middel van het genereren van duurlijnen voor desbetreffende monitoringspunten (tabel 7).

		Regge Archem	Linderbeek Archem	Regge Hankate	Linderbeek Rohorst
		V-ST_010	V-ST_011	V-ST_053	V-ST_089
Gebeurtenis	1/100Q	1,32	0,35	1,23	0,62
	1/4Q	9,23	4,03	7,75	4,46
	T=1	45,00	19,00	44,00	17,50
	T=10	75,62	26,83	73,93	24,41
	T=100	106,25	34,66	103,87	31,32

Tabel 7: Debieten (m³/s) monitoringspunten Regge en Linderbeek

In bijlage L zijn de duurlijnen van de monitoringspunten, zoals hierboven beschreven, weergegeven. De modellering van de situatie voor 2012 levert een resultaat op zoals weergegeven is in figuur 12.

Waterstanden situatie voor 2012



Figuur 12: Resultaat modellering situatie voor 2012

6.1.2 Grondwater

Om de huidige grondwaterstand te bepalen zijn met het grondwatermodelleringsprogramma iMOD kaarten gegenereerd met grondwaterstanden voor verschillende situaties (bijlage M). Het betreft hier de volgende situaties:

- GLG (gemiddelde laagste grondwaterstand)
- GVG (gemiddelde voorjaars grondwaterstand)
- GHG (gemiddelde hoogste grondwaterstand)

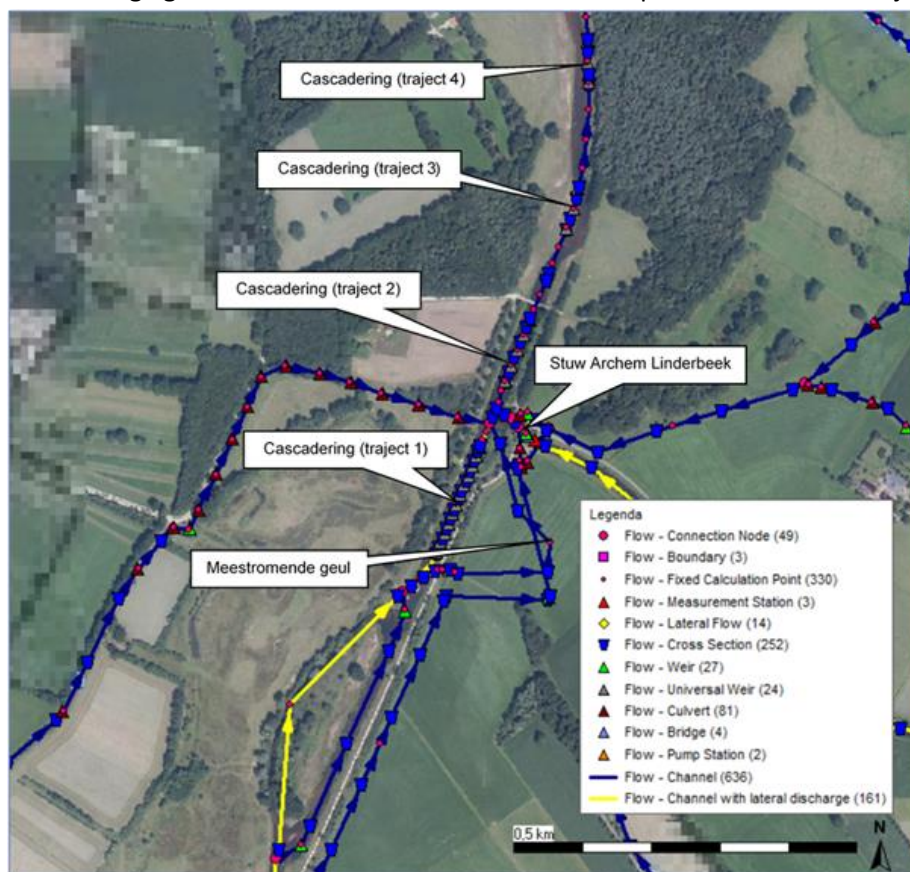
Uit de kaarten blijkt dat de grondwaterstanden door het uitvallen van stuw Archem zijn gedaald in de Archemermaten. Daarnaast zijn er lagere grondwaterstanden ontstaan bovenstrooms van stuw Archem langs de Beneden Regge. Dit is bovendien op te maken uit de kaarten waarin de verschillende GxG's staan afgebeeld die refereren naar de tijd voordat stuw Archem uitviel.

6.2 Hydraulische situatie voorkeursvariant

Op basis van de huidige situatie, waarbij stuw Archem nog in bedrijf is, wordt de invloed van de voorkeursvariant bepaald op het oppervlaktewater- en grondwatersysteem.

6.2.1 Oppervlaktewater

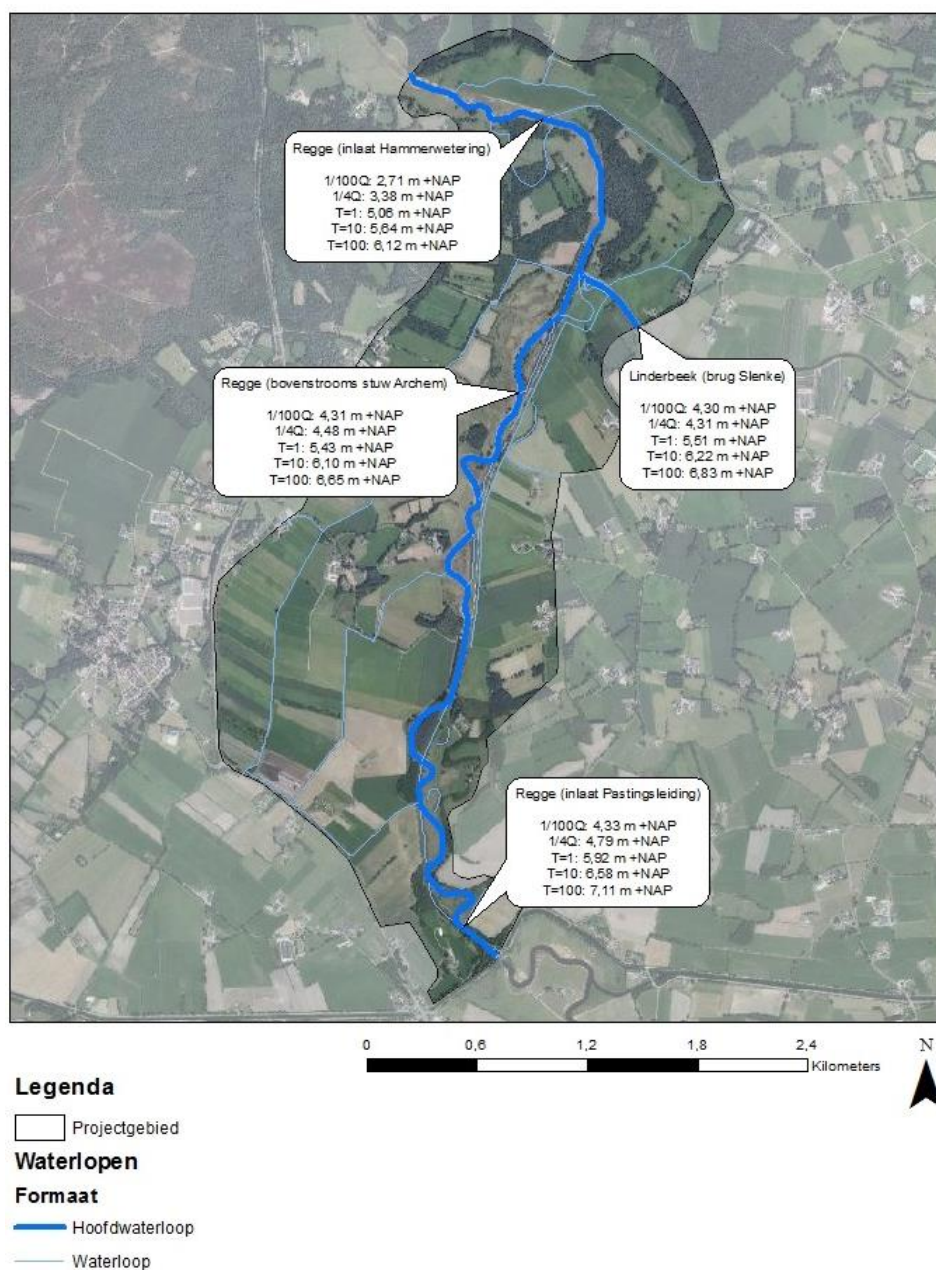
In figuur 13 wordt de schematisatie van het oppervlaktewatersysteem van de voorkeursvariant weergegeven. Ter hoogte van de voormalige nooddrempel begint de cascadering die fungeert als vispassage. De cascadering bestaat uit vier trajecten om de diversiteit en het natuurlijk beeld binnen de vispassage te versterken. Direct bovenstrooms van de eerste drempel van de cascadering is op de rechteroever een drempel gerealiseerd. Deze drempel voedt de daarachter gelegen meestromende geul en het verlaagde maaiveld tijdens extremere afvoeren ($T=1$, $T=10$ en $T=100$). De meestromende geul heeft aan de benedenstroomse zijde een vrije uitmonding in de Beneden Regge. Desbetreffende uitmonding ligt benedenstrooms van de laatste drempel van het eerste traject van de cascadering.



Figuur 13: Uitsnede schematisatie oppervlaktewatermodel voorkeursvariant

In figuur 14 wordt het resultaat van de oppervlaktewatermodellering van de voorkeursvariant weergegeven. In tabel 8 wordt het effect van de voorkeursvariant ten opzichte van de situatie voor 2012 toegelicht. Hieruit blijkt dat de waterstanden van de voorkeursvariant bij een 1/100Q nagenoeg hetzelfde zijn als de waterstanden van de situatie voor 2012. Er is zelf een minimale stijging berekent. Tijdens een 1/4Q blijkt dat de waterstand bovenstrooms van stuw Archem met 17 centimeter toeneemt. Bovenstrooms in de Beneden Regge, ter hoogte van de inlaat van de Pastingsleiding, is dit zelfs onder invloed van het verhang en de weerstand toegenomen tot een verhoging van 26 centimeter ten opzichte van de situatie voor 2012.

Waterstanden voorkeursvariant



Figuur 14: Resultaat modellering voorkeursvariant

		Regge (inlaat Hammerwetering)			Regge (bovenstrooms stuw Archem)		
		Maatregel	Referentie	Vershil	Maatregel	Referentie	Vershil
Gebeurtenis	1/100Q	2,71	2,67	0,04	4,31	4,30	0,01
	1/4Q	3,38	3,05	0,33	4,48	4,31	0,17
	T=1	5,06	4,69	0,37	5,43	4,89	0,54
	T=10	5,64	5,17	0,47	6,10	5,47	0,63
	T=100	6,12	5,60	0,52	6,65	5,97	0,68

		Linderbeek (brug Slenke)			Regge (inlaat Pastingsleiding)		
		Maatregel	Referentie	Vershil	Maatregel	Referentie	Vershil
Gebeurtenis	1/100Q	4,30	4,27	0,03	4,33	4,31	0,02
	1/4Q	4,31	4,36	-0,05	4,79	4,53	0,26
	T=1	5,51	4,92	0,59	5,92	5,46	0,46
	T=10	6,22	5,48	0,74	6,58	6,00	0,58
	T=100	6,83	5,98	0,85	7,11	6,46	0,65

Tabel 8: Effect voorkeursvariant ten opzichte van de huidige situatie

Vanaf de gebeurtenis T=1 zal de Regge buiten zijn oevers treden en stroomt het water naar de bergingsgebieden Velderberg en Archermaten (bijlage P). Bergingsgebied Velderberg heeft een gemiddelde maaiveldhoogte van 5,42 meter boven NAP en bergingsgebied Archermaten 5,31 meter boven NAP. Als deze gegevens vergeleken worden met de waterstanden uit tabel 8 dan kan worden vastgesteld dat tijdens deze gebeurtenis in het bergingsgebied Velderberg ongeveer 40 centimeter water op maaiveld zal staan. In het bergingsgebied Archermaten is dit 12 centimeter. Omdat deze bergingsgebieden een normering van regionale wateroverlast van T=1 toegekend hebben gekregen voldoet de voorkeursvariant op dit moment nog niet aan de gestelde eis (bijlage Q).

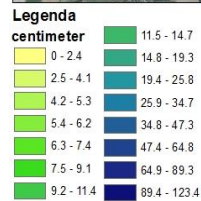
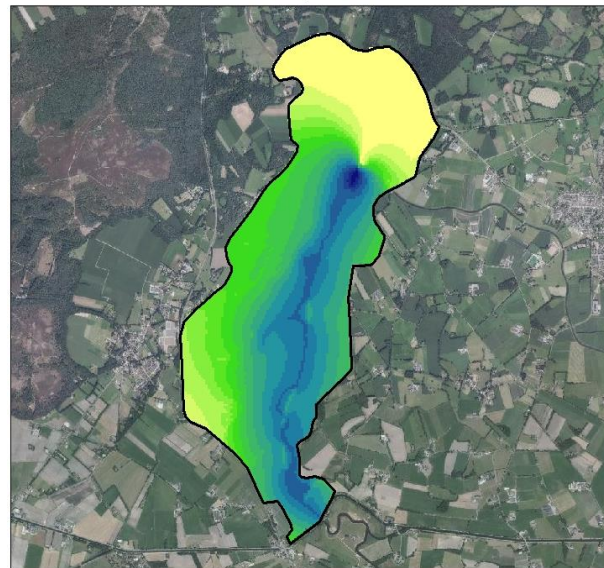
Bij de gebeurtenis T=100 is de waterstand bovenstrooms van stuw Archem 6,65 meter boven NAP. De kades rondom het bergingsgebied Archermaten liggen op 6,50 meter boven NAP. Dat betekent dat de voorkeursvariant op dit moment waterstanden realiseert die 15 centimeter te hoog zijn. Benedenstrooms van stuw Hankate is ongeveer hetzelfde van toepassing. De kades rondom het bergingsgebied Velderberg liggen op 7,00 meter boven NAP. Volgens het model zal tijdens de gebeurtenis T=100 hier een waterstand van 7,11 meter boven NAP gerealiseerd worden. Dat houdt in dat de waterstanden op deze locatie 11 centimeter te hoog zijn. Dit probleem kan simpel worden opgelost door kleine aanpassingen te verrichten in het ontwerp van de voorkeursvariant. Echter is er tijdens dit onderzoek onvoldoende tijd om deze aanpassingen uit te voeren.

Het gebruik van een stationair model voor het berekenen van waterstanden tijdens een niet-stationaire situatie is in veel gevallen niet mogelijk. Voor de extreem hoge afvoeren (vanaf T=1) is er namelijk sprake van een afvoergolf (niet-stationair) in plaats van een constante afvoer (stationair). Echter vinden er op het benedenstroomse traject van de Regge langdurige afvoergolven plaats die overeenkomen met de tijdspanne van één gebeurtenis in het stationaire model. Hierdoor is het in dit geval wel mogelijk om een niet-stationaire situatie te berekenen met een stationair model.

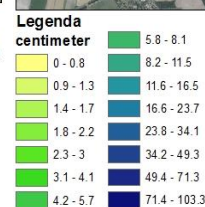
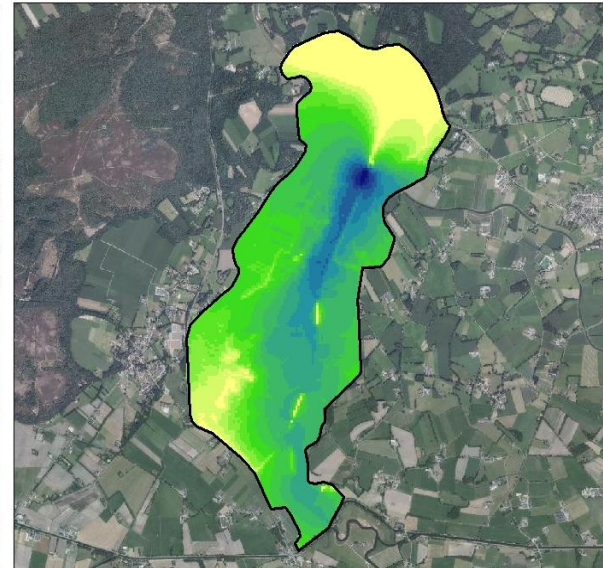
6.2.2 Grondwater

Het grondwaterniveau stijgt dankzij de voorkeursvariant. Dit is op te maken uit de kaarten waarin de verschillende GxG's zijn afgebeeld (bijlage M). Waarneembaar is dat de drogere plekken verdwenen zijn. Ook is de GHG rond de poelen in de Archemermaten vrijwel gelijk aan de hoogte van het maaiveld. Dit is goed te zien in figuur 15. In het figuur wordt een beeld geschetst wat het verschil is tussen de situatie waarin stuw Archem functioneert en de situatie waarin de voorkeursvariant geïmplementeerd is. Uit de analyse blijkt dat de grondwaterstand terugkeert naar het oude niveau en op sommige locaties zelfs (licht) stijgt. Uit de kaart waarop de toename van de GLG staat aangeduid valt op te maken dat de grondwaterstand in de poelen bij de Archemermaten duidelijk hoger komt te liggen. Als de situatie voor het uitvallen van stuw Archem wordt vergeleken met de situatie waarin de voorkeursvariant is gerealiseerd kan de conclusie getrokken worden dat de grondwaterstanden nagenoeg gelijk zijn. De verschillen zijn verwaarloosbaar.

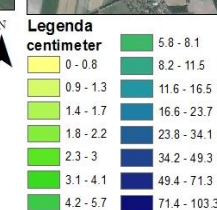
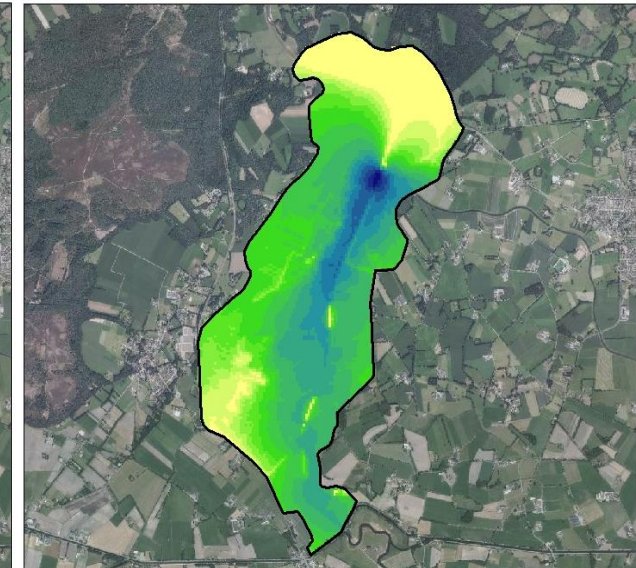
Invloed voorkeursvariant op GLG



Invloed voorkeursvariant op GVG



Invloed voorkeursvariant op GHG

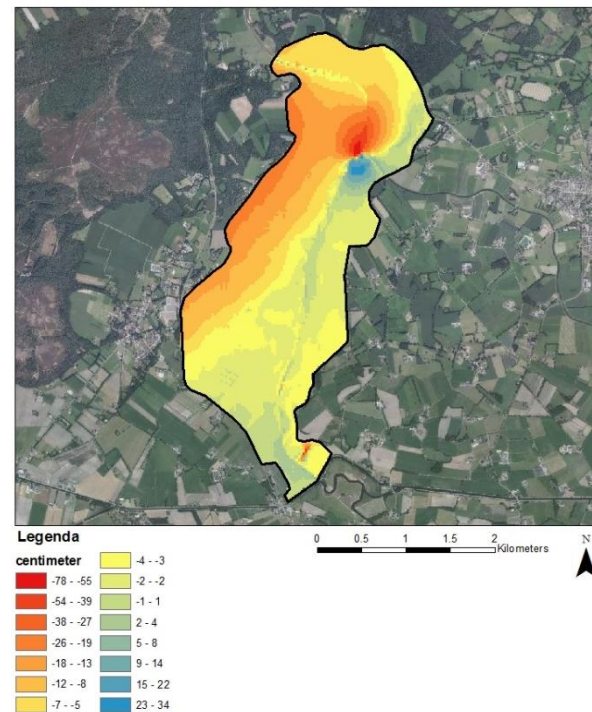


Figuur 15: Invloed voorkeursvariant op GxG's

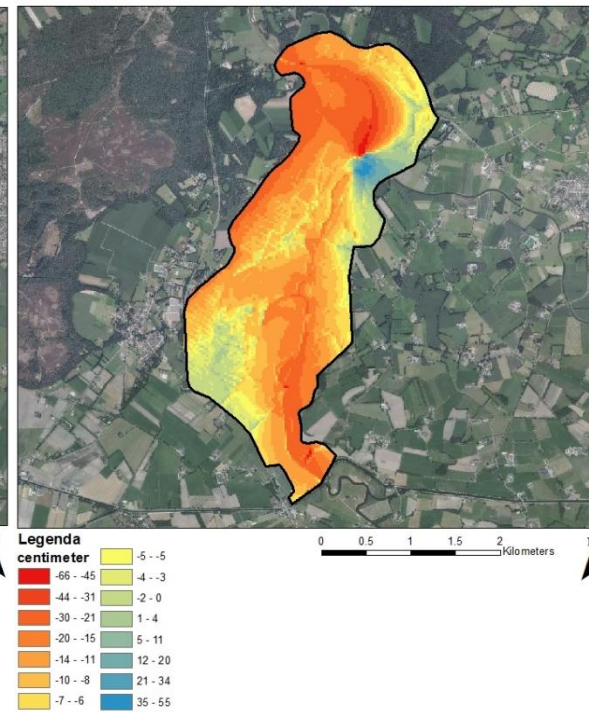
6.3 Robuustheid grondwatersysteem

Er is verder een robuustheidtest uitgevoerd om vast te stellen of het grondwatersysteem robuust genoeg is volgens het KNMI'14-klimaatsscenario W_h . Het klimaatsscenario W_h is het meest extreme scenario en staat voor een grote verandering van luchtstromingspatronen en een grote wereldwijde temperatuurstijging. Het klimaatsscenario is met iMOD gesimuleerd waardoor de verschillende grondwaterstanden bepaald zijn (bijlage M). De voorkeursvariant zoals deze berekend is in paragraaf 7.2.2 is vergeleken met de voorkeursvariant in het W_h -klimaatsscenario (figuur 16). Gemiddeld genomen is er vrijwel geen afname van de grondwaterstand (maximaal 25 millimeter). De toename in grondwaterstand wordt voornamelijk waargenomen in de rivierloop (10 tot maximaal 20 centimeter). De landbouwgronden verdrogen licht bij de GLG en GVG (tot maximaal 10 centimeter). Bij de GHG neemt deze met maximaal 20 centimeter af. Concluderend kan gesteld worden dat de voorkeursvariant robuust is voor het klimaatsscenario W_h in 2050.

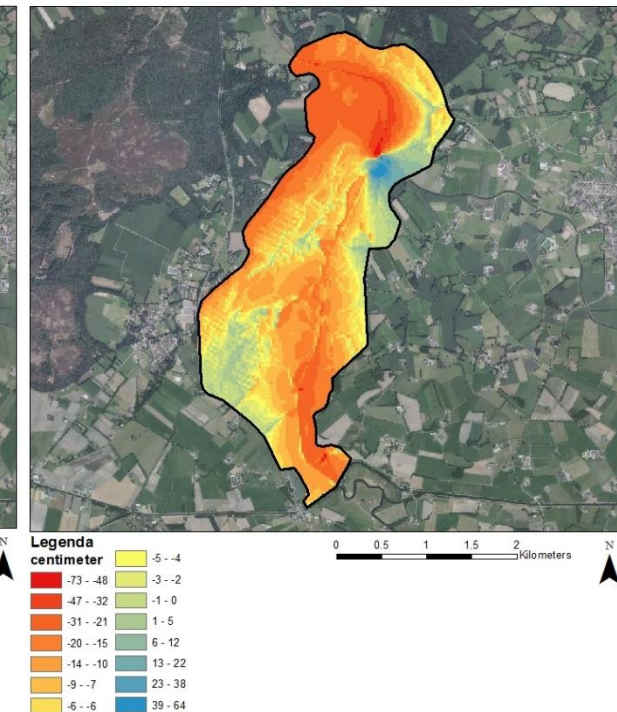
Invloed klimaatsscenario W_h op GLG



Invloed klimaatsscenario W_h op GVG



Invloed klimaatsscenario W_h op GHG



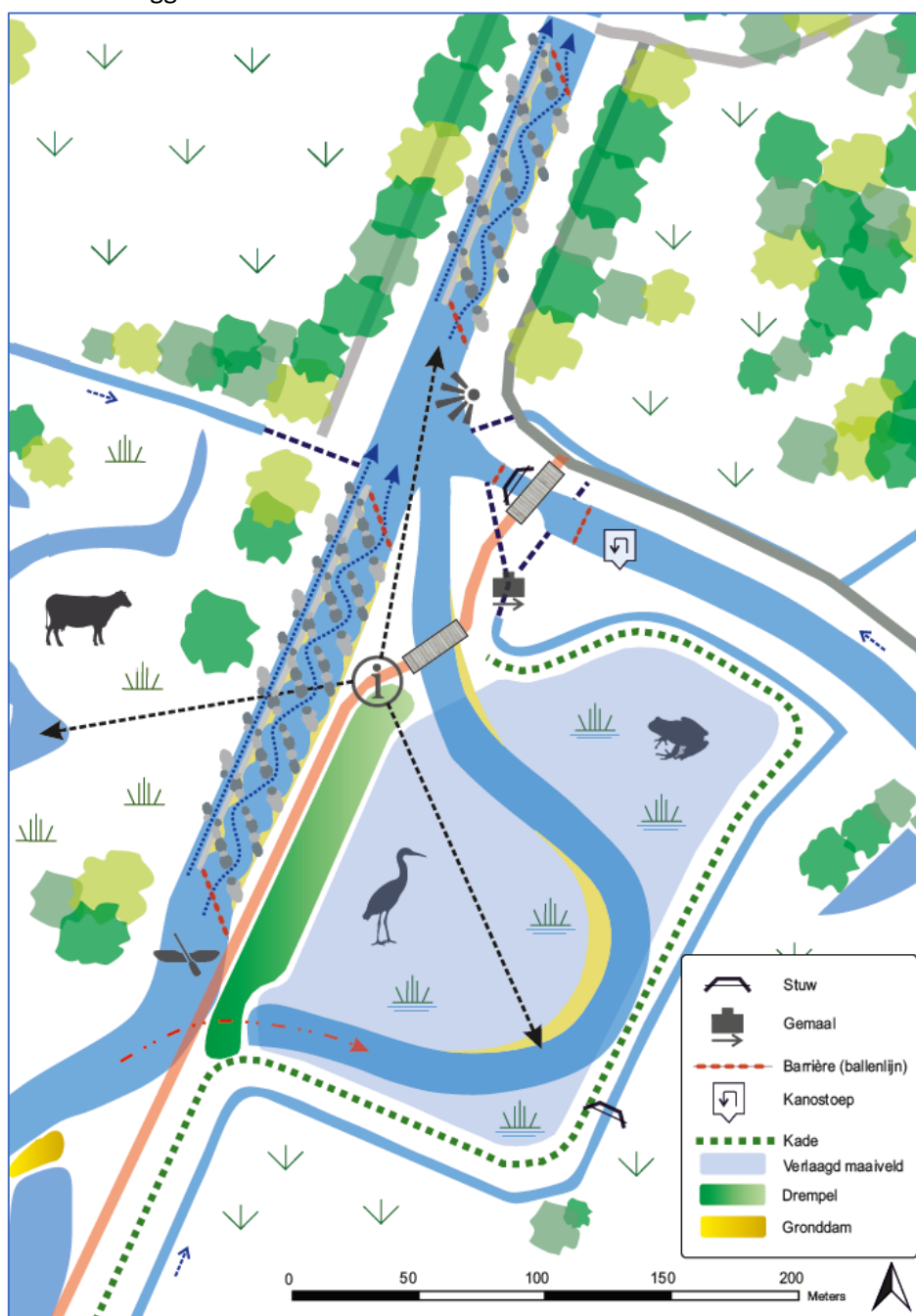
Figuur 16: Invloed klimaatsscenario op voorkeursvariant

7 Technische uitwerking voorkeursvariant

In dit hoofdstuk volgt de technische uitwerking van de voorkeursvariant. Deze uitwerking bestaat uit inrichtingsschetsen van de toekomstige situatie rond stuw Archem en geeft een beschrijving van dimensionering van de technische aspecten binnen het ontwerp.

7.1 Inrichtingsschets

In bijlage N bevindt zich de inrichtingsschets van de toekomstige situatie in het projectgebied. De nooddrempel en stuw Archem met bijhorende vistrap zijn verdwenen. Deze kunstwerken zijn vervangen door een cascadering in combinatie met een meestromende geul. De meestromende geul loopt middels een kleine meander door het landbouwperceel en heeft een vrije uitmonding in de Beneden Regge.

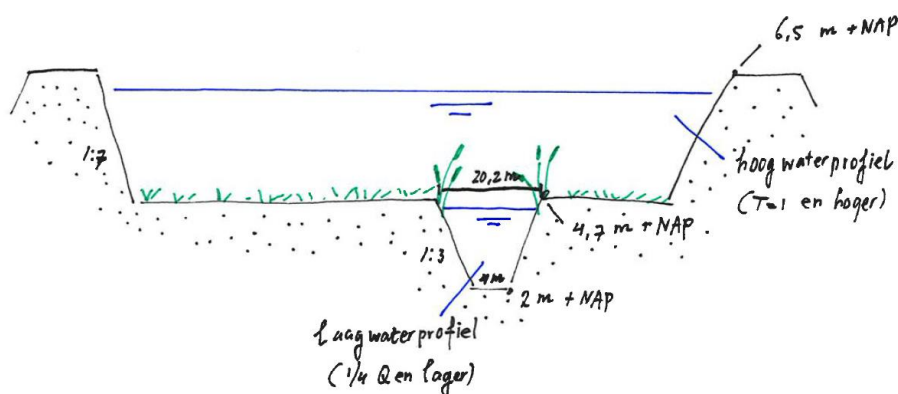


Figuur 17: Gedetailleerde inrichtingsschets voorkeursvariant

In figuur 17 staat de gedetailleerde inrichtingsschets van de voorkeursvariant afgebeeld. In het ontwerp zijn de volgende kunstwerken behouden vanuit situatie waarin stuw Archem functioneerde:

- De stuw in de Linderbeek en de bijhorende brug
- De verduikering afkomstig vanuit de Archemermaten
- Het gemaal, de sifon en de duikers die het waterpeil reguleren in het landbouwgebied ten oosten van de Beneden Regge

De watergang die het waterpeil in het landbouwgebied reguleert is omgelegd zodat hij zijn functie kan blijven uitoefenen. In deze watergang is een nieuwe stuw geplaatst om het water bovenstrooms vast te kunnen houden mits dit nodig is. Deze stuw dient ter vervanging van een stuw die in de huidige situatie aanwezig is. Om het perceel van de meestromende geul een kade aangelegd met de grond die is vrijgekomen bij het verlagen van het maaiveld. Verder wordt er materiaal gebruikt dat is vrijgekomen bij het verlagen van de kade voor het creëren van de drempel. De nieuwe kade vormt een barrière richting het aangrenzende landbouwgebied waardoor het perceel tijdens extreme hoge afvoeren (vanaf $T=1$) dient als bergingsgebied. De kade ligt op een hoogte van 6,5 meter boven NAP. Het laagwaterprofiel binnen de meestromende geul heeft een trapeziumvormig profiel dat altijd mee stroomt (figuur 18).



Figuur 18: Schets dwarsprofiel meestromende geul

Dit betekent dat tijdens een extreem lage afvoer van de Beneden Regge algengroei voorkomen kan worden door de stroming in de geul (van de Waal & van Donk, 2013). Het maaiveld binnen het hoogwaterprofiel zal door de waterstand in het laagwaterprofiel tijdens een $1/100Q$ en een $1/4Q$ drassig zijn. Dit biedt mogelijkheden om natte natuur te realiseren op desbetreffende locatie (zoals in figuur 19). De bodembreedte van het hoogwaterprofiel varieert per locatie. In de dwarsdoorsnede is daarom niet aangegeven wat de bodembreedte van het hoogwaterprofiel is.



Figuur 19: Sfeerbeeld natte natuur verlaagd maaiveld (Tubantia, sd)

De cascadering bestaat in het ontwerp uit vier trajecten die tevens dienstdoen als vispassage. De meest bovenstroomse cascadering bestaat uit 12 drempels waarvan de bovenstroomse drempel een drempelhoogte heeft van 4,25 meter boven NAP (bijlage S). Het eerste traject met 12 drempels wordt gevolgd door drie trajecten met achtereenvolgend vijf, drie en drie drempels. De laatste drempel van de meest benedenstroomse traject heeft een drempelhoogte van 2,71 meter boven NAP. Deze hoogte is vastgesteld door het berekenen van een 1/100Q van het zomerhalfjaar (april tot oktober). De drempels binnen de cascadering worden allemaal schuin in de rivierloop geplaatst zodat de overstortbreedte 44 meter bedraagt. In de volgende paragraaf wordt de dimensionering van de cascadering nader toegelicht.

Het huidige fiets- en wandelpad wordt deels verlegd. Voor het behouden van een rechtstreekse verbinding over de meestromende geul wordt er een nieuwe brug gerealiseerd. Het is van belang dat deze brug opgaat in het landschap en daarom wordt geadviseerd om een houten brug te realiseren (zoals in figuur 20) met een zo vrij mogelijke overspanning.



Figuur 20: Sfeerbeeld houten fiets- en wandelbrug (Meerdink Bruggen, sd)

Door het aanleggen van een kanogoot (zoals in figuur 8) parallel aan de cascadering wordt de bevaarbaarheid van de Beneden Regge verbeterd. Kanoërs kunnen de cascadering passeren zonder gebruik te hoeven maken van een kanostoep. Bij het ontwerpen van de kanogoot is het van belang dat er rekening gehouden wordt met het aanbrengen van glooiende lijnen in de bodem en zijwanden van de kanogoot (Waterschap De Dommel, 2014). Doordat de stuw in de Linderbeek intact blijft moet dit obstakel wel voorzien worden van een kanostoep.

Op het 'eiland' tussen de meestromende geul en de Beneden Regge is er ruimte voor het creëren van een locatie voor recreanten. Deze beschikbare ruimte kan gebruikt worden voor het plaatsen van informatieborden, bankjes en relevante kunstwerken. Vanaf het 'eiland' zullen er drie zichtlijnen gecreëerd worden:

- Vanaf het 'eiland' (over het eerste traject van de cascadering in de Beneden Regge) richting de Archermaten
- Vanaf het 'eiland' richting de meestromende geul
- Vanaf het 'eiland' richting de tweede traject van de cascadering in de Beneden Regge

Door het creëren van zichtlijnen worden de verschillende facetten van het landschap aan de recreant gepresenteerd. Het is van belang dat natuurlijke elementen zoals bomen of struiken verwijderd worden op bepaalde locaties om de zichtlijnen te realiseren of te versterken.

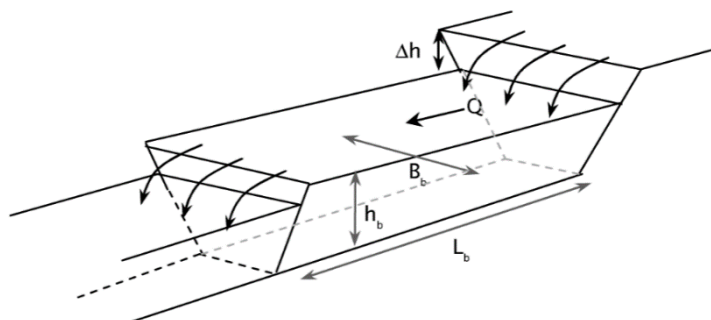
7.2 Dimensionering cascadering

Randvoorwaarden die het waterschap stelt voor het ontwerp van de cascadering die conform zijn aan een soortgelijke rivier als de Regge zijn:

- Een verval over de drempel van maximaal 7 centimeter.
- Een rustbassin heeft een minimale lengte van 10 tot 15 meter.
- Maximale stroomsnelheid van 1 m/s in de keel van de overlaat.
- De stromingsenergiedissipatie is maximaal 25 W/m³.
- De bodemhoogte van de vertical slot ligt 10 centimeter hoger dan de bodem van het bovenstroomse bassin.

Binnen de cascadering geldt dat het water van rustbassin naar rustbassin stroomt via drempels en spleten (zogenaamde vertical slots). Na de drempel of spleet moet het snelstromende water vertragen om in het bassin lage gemiddelde stroomsnelheden te krijgen zodat vissen kunnen rusten (Termes & Hakvoort, 2013). Door het berekenen van de stromingsenergiedissipatie (P) kan worden vastgesteld of het bassinvolume de inkomende stromingsenergie voldoende dempt (figuur 21). De formule van Larinier wordt gebruikt om de stromingsenergiedissipatie (P) te bepalen:

$$P = \rho * g * \frac{\Delta h}{V} = \rho * g * \frac{\Delta h}{L_b * H_b * B_b}$$



Figuur 21: Karakteristieke afmetingen van een bassin (Termes & Hakvoort, 2013)

Zoet water heeft een dichtheid (ρ) van 1000 kg/m³ en de valversnelling (g) bedraagt 9,81 m/s². Het verval over de drempel bovenstrooms van het bassin (Δh) is 5 centimeter. Omdat er binnen de cascadering verschillende afstanden tussen drempels worden gehanteerd, wijkt het bassinvolume per traject van elkaar af. In tabel 9 wordt per traject aangetoond dat het bassin voldoet aan de voorgeschreven stromingsenergiedissipatie.

Traject	Aantal drempels	Lb (m)	Bb (m)	Hb (m)	V (m3)	P (W/m3)	Check
1	12	15,00	19,15	0,90	258,53	1,90	voldoet
2	5	24,00	19,15	0,90	413,64	1,19	voldoet
3	3	30,00	19,15	0,90	517,05	0,95	voldoet
4	3	30,00	19,15	0,90	517,05	0,95	voldoet

Tabel 9: Controle eisen rustbassin cascadering

Om te toetsen of de stroomsnelheid in de keel van de overlaat voldoet wordt de wet van Torricelli gebruikt:

$$v = \sqrt{2g * \Delta h}$$

De kruin van de benedenstroomse drempel in het bassin is 7 centimeter lager dan de kruin van de bovenstroomse drempel in het bassin (bijlage S). In de wet van Torricelli wordt echter een verval over de drempel (Δh) van 5 centimeter gehanteerd. Het verschil van 2 centimeter valt te verklaren doordat er verhogingen van stortsteen gecreëerd zijn direct achter de drempel. Dit betekent dat het verval over de drempel ter plaatse van deze drempel 5 centimeter is. Dit resulteert in een stroomsnelheid (v) van 0,99 m/s op. Dit voldoet aan de gestelde randvoorwaarde van maximaal 1 m/s.

De afmetingen van de vertical slot wordt op basis van de stroomsnelheid bepaald met de volgende formules:

$$A = \frac{1/100Q}{v}$$

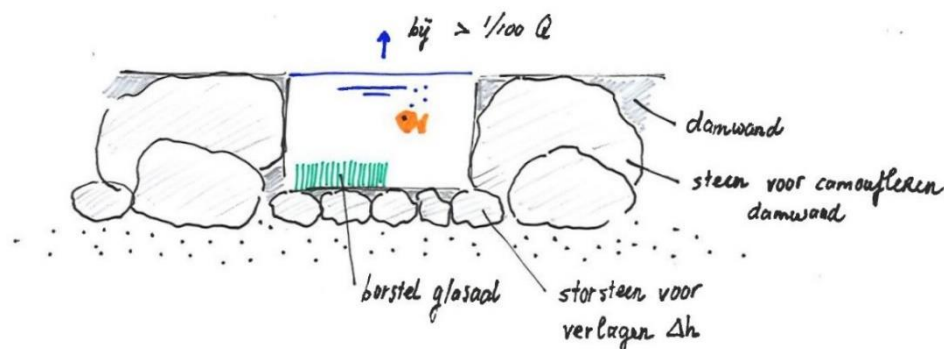
$$b_{vertical\ slot} = \frac{A}{h_{vertical\ slot}}$$

Omdat de afvoer tijdens een droge zomer ($1/100Q$) binnen de trajecten van elkaar verschillen (door uitmonding Linderbeek) variëren de afmetingen van de vertical slots. In tabel 10 worden de breedte van de vertical slots ($b_{vertical\ slot}$) gegeven. De hoogte van de vertical slots ($h_{vertical\ slot}$) is 0,8 meter en de breedte van de vertical slots varieert van 1,46 tot 2,29 meter.

Traject	Aantal drempels	1/100Q (m3/s)	v (m/s)	A (m2)	h vertical slot (m)	b vertical slot (m)
1	12	1,16	0,99	1,17	0,80	1,46
2	5	1,81	0,99	1,83	0,80	2,29
3	3	1,81	0,99	1,83	0,80	2,29
4	3	1,81	0,99	1,83	0,80	2,29

Tabel 10: Dimensionering vertical slots per traject cascadering

In figuur 22 is een schets van een gedeelte van de drempel met de vertical slot weergegeven. Tegen een stalen damwand worden stenen gepakt om de damwand te camoufleren. Daarnaast dienen de stenen ter voorkoming van achterloopsheid. Ter hoogte van de vertical slot zal stortsteen geplaatst worden. Om onderloopsheid te voorkomen zal er een worteldoek direct onder de stenen aangebracht moeten worden om dit tegen te kunnen gaan. Om glasaal de kans te geven om te migreren wordt er een borstel op de bodem van de vertical slot geplaatst worden (Aquatic Control Engineering, sd). De borstel verlaagt de stroomsnelheid en creëert luwe zones tussen de borstelharen.



Figuur 22: Schets drempel cascadering met vertical slot

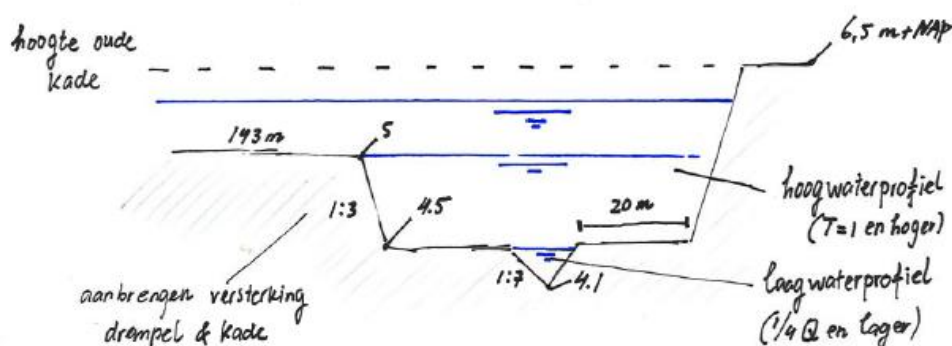
7.3 Dimensionering drempel meestromende geul

Door de kade aan de rechteroever van de Regge ter hoogte van de nooddrempel over een lang traject te verlagen kan de drempel fungeren als overloop bij extreme afvoeren van de Beneden Regge.

Er wordt een laagwater- en hoogwaterprofiel gerealiseerd (figuur 23). Het laagwaterprofiel dient tijdens de gebeurtenissen 1/100Q en 1/4Q als doorstroomopening. Het laagwaterprofiel is een V-vormig profiel met taluds van 1:7. De bodem van het profiel ligt op 4,1 m +NAP en heeft een breedte van 1 meter. De breedte bovenin het profiel is 6,6 meter en ligt op 4,5 m +NAP. Het laagwaterprofiel is zo gedimensioneerd dat de doorstroomopening geen invloed heeft op de afvoer over de cascadering. Door het creëren van het laagwaterprofiel is er een constante stroming gerealiseerd in de meestromende geul. Deze stroming zorgt ervoor dat de kans op algengroei tijdens droge, warme zomers duidelijk verminderd is.

Tijdens de gebeurtenissen T=1, T=10 en T=100 dient het hoogwaterprofiel als doorstroomopening. Het hoogwaterprofiel heeft een trapeziumvormig profiel met taluds van 1:3. De bodem ligt op 4,5 m +NAP en heeft breedte van 46,6 meter. De breedte bovenin het profiel is 49,6 meter en ligt op 5,0 m +NAP. Tijdens hoogwater op de Regge kan de afvoer boven het hoogwaterprofiel komen, waarna het water aan de linkerkant over een lange drempel van 143 meter stroomt.

Het is van belang dat kade en de drempel over de gehele breedte van de drempel ingepakt wordt in stortsteen of een soortgelijk materiaal, wat dient als versterking. Als dit niet naar behoren gebeurt, bestaat de kans dat de kade de krachten bij extreme afvoeren niet aankan en de kade met de bijhorende drempel bezwijkt.



Figuur 23: Schets drempel in kade

8 Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zal er antwoord gegeven worden op de centrale vraag die in de inleiding van dit rapport is gesteld. Vervolgens zullen er enkele aanbevelingen worden opgenomen voor een vervolgonderzoek.

8.1 Conclusie

In dit rapport is gezocht naar een antwoord op de centrale vraag:

‘Wat is de meest geschikte inrichting van de rivierloop van de Beneden Regge rond stuw Archem om gewenste grondwaterstanden voor de functies natuur en landbouw te realiseren en daarnaast landschappelijke en recreatieve waarden te versterken?’

Keuze voorkeursvariant

De voorkeursvariant heeft als doel om de oppervlakte- en grondwaterstanden op een zo optimaal mogelijk niveau te krijgen voor de functies landbouw en natuur. Verder moet de voorkeursvariant de landschappelijke en recreatieve waarden in het projectgebied versterken. Er zijn vier varianten opgesteld die kunnen dienen als voorkeursvariant. De eerste is een cascadering in combinatie met een bodemverhoging. Doordat er een cascadering wordt toegepast blijft de grondsuptie op zijn plaats liggen in de rivierloop. Doordat er een bodemverhoging tussen de drempels toegepast wordt fungeert de cascadering als een bodemval. De tweede variant is een cascadering in combinatie met een meestromende geul. De meestromende geul is gelegen in een voormalig landbouwperceel ten oosten van stuw Archem. De geul, en het verlaagde landbouwperceel, dienen als bufferzone in tijden van extreme piekafvoeren van de Beneden Regge. De derde variant betreft het creëren van een enkele lange drempel in combinatie met een overstromingsvlakte op het voormalige landbouwperceel ten oosten van stuw Archem. Een vispassage ten westen van de drempel wordt aangelegd ter bevordering van de vismigratie. De laatste variant betreft het herstellen van de klepstuw en het aanleggen van een verbeterde vistrap. De cascadering in combinatie met de meestromende geul is volgende de Multi Criteria Analyse de voorkeursvariant.

Hydraulisch effect voorkeursvariant

Uit de modelering waarin het oppervlaktewatersysteem wordt getoetst op hydraulisch functioneren, blijkt dat de waterstanden bij een 1/100Q vrijwel gelijk zijn aan de situatie waarin stuw Archem functioneert. Tijdens een 1/4Q stijgt de oppervlaktewaterstand tussen 17 en 26 centimeter. Vanaf T=1 lopen de bergingsgebieden Velderberg en Archermaten vol met water. Daardoor voldoet de voorkeursvariant respectievelijk met 12 en 40 centimeter niet aan de gestelde norm. Bij T=100 lopen de kades die rondom de bergingsgebieden Velderberg en Archermaten liggen respectievelijk met 11 en 15 centimeter over. Hiermee voldoet de voorkeursvariant net niet aan gestelde eis vanuit waterveiligheid. Door het verfijnen van de voorkeursvariant kan deze tekortkoming opgelost worden. Met het grondwatermodelleringsprogramma iMOD zijn de GLG, GVG en GHG bepaald voor de situatie waarin stuw Archem functioneert, waarin de nooddrempel het waterpeil handhaaft en tot slot waarin de voorkeursvariant het waterpeil reguleert. Uit de analyse blijkt dat in het geval de van de voorkeursvariant de grondwaterstand terugkeert naar het oude niveau (ten tijde dat stuw Archem in bedrijf was) en op sommige locaties zelfs (licht) stijgt. Voor het grondwatersysteem is ten slotte een robuustheidstest uitgevoerd om vast te stellen of het grondwatersysteem robuust genoeg is volgens het (meest extreme) KNMI'14-klimaatscenario W_h in 2050. Uit de analyse blijkt dat volgens dit klimaatscenario de grondwaterstand gemiddeld 25 millimeter afneemt. De grondwaterstanden in de rivierloop stijgen tussen de 10 en 20 centimeter. Echter verdrogen de landbouwgronden licht (maximaal 10 centimeter) en is de verdroging op de stuwwalflank het hoogst. Al met al is het de voorkeursvariant robuust genoeg volgens het klimaatscenario van 2050.

Technische uitwerking voorkeursvariant

De cascadering bestaat uit een serie van vier trajecten die tevens fungeert als vispassage. De drempels kennen allen een drempelbreedte van 44 meter en liggen schuin in de watergang om de overstortbreedte te vergroten. De meest bovenstrooms gelegen cascadering bestaat uit twaalf drempels waarvan de meest bovenstrooms gelegen drempel een drempelhoogte heeft van 4,25 meter boven NAP. Dit traject begint ter hoogte van de tijdelijke nooddrempel. Achtereenvolgend kennen de drie overige trajecten vijf, drie en drie drempels. De meest benedenstrooms gelegen drempel kent een drempelhoogte van 2,71 meter boven NAP. Desbetreffende drempelhoogte is vastgesteld door het berekenen van de waterstand bij een 1/100Q van het zomerhalfjaar. Parallel aan de cascadering wordt een kanogoot aangelegd om de bevaarbaarheid van de Beneden Regge te vergroten. Omdat de stuw in de Linderbeek behouden blijft kanostoep op deze locatie behouden.

De cascadering bestaat uit stalen damwanden die met stenen gecamoufleerd worden en zo een natuurlijker uiterlijk krijgen. Verder dienen deze stenen om achterloopsheid tegen te gaan. Vertical slots dienen als passage voor vissen tijdens een 1/100Q.

Ter hoogte van de meest bovenstroomse drempel binnen de cascadering begint de drempel die uitmondt in een meestromende geul. De meestromende geul is gesitueerd in een voormalig landbouwperceel. Desbetreffende drempel is zo gedimensioneerd dat er tijdens lage afvoeren (1/4Q of 1/100Q) een kleine afvoer is zodat de kans op algengroei kleiner wordt. Tijdens gebeurtenissen die groter of gelijk zijn dan $T=1$ stroomt de geul mee, inclusief het verlaagde maaiveld. De meestromende geul mondt benedenstrooms vrij uit in de Beneden Regge. Vanuit de huidige situatie blijft stuw Linderbeek inclusief bijbehorende brug en de duiker afkomstig vanuit de Archemer maten behouden. Ook het gemaal, de sifon en de duikers die het waterpeil reguleren in het landbouwgebied blijven intact. Het fietspad wordt deels verlegd en een nieuw aan te leggen (houten) fiets- en wandelbrug maakt het mogelijk om de meestromende geul te passeren.

8.2 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen voor het uitvoeren van een vervolgonderzoek zijn van toepassing:

- Onderzoeken wat de kosten zijn voor de realisatie van de voorkeursvariant. In dit rapport is geen rekening gehouden met de kosten van de herinrichting.
- Een grondbalans opstellen zodat er bekend is wat het tekort dan wel overschot aan grond voor het uitvoeren van de voorkeursvariant.
- De voorkeursvariant op een dergelijke wijze aanpassen of verfijnen dat het resultaat vanaf $T=1$ wel voldoet aan de gestelde normen. Het SOBEK-model zal hiervoor beschikbaar gesteld moeten worden.
- Een technische uitwerking opstellen voor de kanogoot. Literatuuronderzoek geeft hier momenteel onvoldoende uitsluitsel over.
- Het maken van technische tekeningen in AutoCAD van de verschillende constructies binnen de voorkeursvariant.

9 Discussie

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek geïnterpreteerd en de beperkingen van het onderzoek toegelicht.

9.1 Interpretatie van resultaten

Het resultaat van het onderzoek ligt in lijn met het doel zoals deze is geformuleerd in de onderzoeksopzet. De cascadering, in combinatie met de meestromende geul, voorziet tijdens alle gemodelleerde gebeurtenissen in de behoeften van de functies landbouw en natuur. De variant vervangt de klepstuw en resulteert in een verbetering van de grondwaterstanden in het projectgebied. Verder worden de recreatieve - en landschappelijke waarden versterkt.

De uitkomst van het onderzoek valt te verklaren door de randvoorwaarden die gesteld zijn vanuit de verschillende relevante beleidsstukken. In de Reggevisie wordt gesproken over een stuwloze, dynamische Regge waar het belang van de functies landbouw en natuur voorop staan. Doordat een compleet natuurlijke situatie niet haalbaar is binnen het projectgebied is ervoor gekozen om een variant te bedenken die op een technische manier zo dicht mogelijk deze visie benadert. De cascadering in combinatie met de meestromende geul is naar onze mening de variant die hier het best op aansluit, zonder het respect voor de natuurlijke waarden uit het oog te verliezen. Mede doordat de cascadering gecamoufleerd met natuurlijke materialen zodat deze er natuurlijker uitziet.

Ten grondslag aan het resultaat ligt uiteraard de huidige manier van denken waarbij het belang van het terugbrengen van natuurlijke watersystemen in het landschap voorop staat.

9.2 Beperkingen

Een beperking is het gebrek aan data binnen het waterschap Vechtstromen. Vanuit het programma Geonis (een digitale werkomgeving van het waterschap Vechtstromen die een flexibele schil om ArcGIS vormt) was er niet altijd de benodigde data aanwezig om mee aan de slag te gaan. Daarnaast kende de aanwezige data vanuit Geonis af en toe tekortkomingen. Dit resulteerde vervolgens in een proces van het valideren van de data om deze vervolgens dermate aan te passen zodat deze wel bruikbaar was voor het onderzoek.

Verder was het wachten op data een beperking. Het duurde soms erg lang om goede data te ontvangen waardoor vertraging is opgelopen in bepaalde onderdelen van het onderzoek. Echter was er ruimte voor tegenslagen opgenomen in de planning waardoor dit niet direct problemen veroorzaakte.

Doordat het waterschap aangaf dat er geen financiële belemmering was kan het zo zijn dat er tijdens de keuze van de voorkeursvariant onvoldoende rekening gehouden is met de haalbaarheid.

Uiteindelijk kan blijken dat op basis van de eventuele hoge kosten het waterschap, in tegenstelling tot ons advies, kiest voor een andere variant.

10 Reflectie

In dit hoofdstuk vindt er een reflectie plaats over het handelen van de opdrachtnemers met betrekking tot het afstudeeronderzoek. De opdrachtnemers zullen afzonderlijk een reflectie uitvoeren hoe zij de afstudeerperiode hebben ervaren.

10.1 Reflectie Rutger

Ik heb de afstudeerperiode ervaren als een leuke en leerzame periode. Omdat ik in het derde jaar van de opleiding al een keer stage hebben mogen lopen bij het waterschap Vechtstromen was ik, in tegenstelling tot Jelle, al bekend met het reilen en zeilen binnen het waterschap. Dit had als voordeel dat we in het begin van de afstudeerperiode een vliegende start konden maken met het onderzoek. De begeleiding van Gon Eugelink en Ben Ordelmans heb ik als prettig ervaren. Gon was verantwoordelijk voor de algemene begeleiding terwijl Ben de inhoudelijke begeleiding op zich nam. Deze taakverdeling was voor ons duidelijk en werkte daarnaast erg praktisch. Voor vragen konden we altijd bij de begeleiders terecht. Dit leverde af en toe leerzame en blikverruimende discussies op.

Omdat Jelle en ik in het verleden al meerdere projecten samen hebben mogen uitvoeren weten we wat we elkaar hebben. We weten van elkaar waar onze capaciteiten en interesses liggen en hebben deze tijdens de afstudeerperiode weten te benutten. Daarnaast zijn we het in de meeste gevallen met elkaar eens. Dit resulteerde in een efficiënte en prettige samenwerking.

Tijdens de afstudeerperiode ben ik een paar keer met mijn neus flink op de feiten gedrukt. Het inzetten van uren van werknemers en de kosten die daarmee gemoeid zijn is niet het eerste waar je over nadenkt als afstudeerder. Blijven communiceren en begrip hebben voor de situatie van een ander zijn punten waar ik mijzelf op verbeterd heb en waar in de toekomst op moet blijven letten.

We kwamen er tijdens het proces achter dat het beschrijven van afzonderlijke maatregelen niet geschikt was om (door middel van een MCA-toetsing) te vertalen naar combinaties van maatregelen. Daarom is uiteindelijk besloten om varianten (combinaties van maatregelen) te beschrijven en deze vervolgens te toetsen door middel van de MCA. Dit leverde uiteindelijk een objectievere toetsing op.

10.2 Reflectie Jelle

Ik vond de afstudeerperiode een leerzame periode. Doordat ik al regelmatig met Rutger heb samengewerkt verliep het onderzoeksproces soepel. Verder ben ik erachter gekomen dat het regelen van zaken in het werkveld heel anders is als op school. Een voorbeeld is dat ik graag hulp wilde met het opstellen van het grondwatermodel. De persoon die zich beschikbaar had gesteld had dit niet teruggekoppeld naar zijn leidinggevende, wat voor enige frictie toen der tijd zorgde.

Over de methode waarop het onderzoek heeft plaatsgevonden ben ik tevreden. Naar mijn mening is de gekozen methode namelijk de beste om een onderzoek als deze aan te pakken. Echter had ik graag nog een tweede variant hydraulisch willen toetsen. Hier was helaas geen tijd voor.

Doordat er weinig tijd was hebben we als projectgroep ervoor gekozen om afzonderlijk bezig te gaan met de modellering. Zo ben ik bezig geweest met het grondwatermodel, maar niet met het oppervlaktewatermodel. Ik ben al vaardig (genoeg) met het oppervlaktewatermodel, maar ik had Rutger graag wat meer willen laten zien van het grondwatermodel. Over de organisatie ben ik tevreden. De interne begeleiding was goed en je kon zo bij collega's terecht bij vragen. Echter heb ik zelf bij een ander waterschap stagegelopen waar het flexwerken al verder gevorderd is. Dit heeft mijn persoonlijke voorkeur, omdat op deze manier niet de bekende eilandjes ontstaan. Tijdens het afstudeerproces had ik nog een tentamen die ik moest halen. Ik heb gemerkt dat dit voor mij een drukke tijd was. Volle werkdagen op kantoor en tot 's avonds laat leren. Echter heeft dit niet voor problemen gezorgd in de planning. Al met al was het zoals ik al zei een leerzame periode.

Bibliografie

Tijdens dit onderzoek is er gebruikt gemaakt van de volgende bronnen:

Alterra. (2003). *Bodemkaart van Nederland digitaal*. Wageningen. Opgeroepen op Februari 21, 2017

Aquatic Control Engineering. (sd). *Aquatic Control Engineering*. Opgeroepen op Mei 28, 2017, van <http://www.aquaticcontrol.co.uk/products/fish-friendly/hdpe-eel-and-elver-passes>

Bosch, S. (sd). *Hydroconsult*. Opgeroepen op Mei 10, 2017, van <http://www.hydroconsult.nl/pages/sub/21337/excel2sobek.html>

KNMI. (sd). *KNMI'14 klimaatscenario's*. Opgeroepen op Februari 17, 2017, van KNMI: http://www.klimaatscenarios.nl/scenarios_samengevat/

Meerdink Bruggen. (sd). Opgeroepen op Mei 9, 2017, van http://www.meerdinkbruggen.nl/portfolio_category/houten-bruggen/

Ministerie van Economische Zaken. (sd). *Vecht- en Beneden-Reggegebied*. Opgeroepen op Maart 1, 2017, van Ministerie van Economische Zaken: <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=5&id=n2k39&topic=introductie>

Podt, M. (2012, Maart 16). *Regge - Stuw van Notter - Vistrap*. Opgehaald van <http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/68599435.jpg>

(1998). *Reggevisie*. Almelo: Waterschap Regge en Dinkel.

Rijksoverheid. (sd). *Natura 2000*. Opgeroepen op Februari 3, 2017, van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/natuur-en-biodiversiteit/inhoud/natura-2000>

Rijksoverheid. (sd). *natuurnetwerk nederland*. Opgeroepen op Februari 14, 2017, van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/natuur-en-biodiversiteit/inhoud/natuurnetwerk-nederland>

Rijkswaterstaat. (sd). *Kaderrichtlijn water*. Opgeroepen op Februari 14, 2017, van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/wetten-regels-en-vergunningen/natuur-en-milieuwetten/kaderrichtlijn-water/index.aspx>

STOWA. (2012). *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2015-2025*. Amersfoort.

Termes, P., & Hakvoort, H. (2013). VISTRAP: een gereedschap om vispassages hydraulisch te ontwerpen. *Stromingen*.

TNO. (sd). *Nomenclator*. Opgeroepen op Februari 21, 2017, van TNO: <https://www.dinoloket.nl/overzichtstabel>

Tubantia. (sd). *Tubantia*. Opgeroepen op Mei 28, 2017, van <http://www.tubantia.nl/achterhoek/natte-natuur-in-stelkampsveld-gaat-door~a702c4d8/>

van de Waal, D., & van Donk, E. (2013, Oktober 10). Algen bestrijden?! *NEMO Kennislink*.

Waterschap De Dommel. (2014, September 23). *Waterschap De Dommel*. Opgeroepen op Mei 24, 2017, van <https://www.dommel.nl/algemeen/actueel/werk-in-uitvoering/gerealiseerde-projecten/dommel-door-boxtel/dommel-door-boxtel.html>

Waterschap Vechtstromen. (sd). Opgeroepen op Februari 2, 2017, van <http://www.vechtstromen.nl/waterbeheerplan/strategie-beleid/uitdagingen/>

Waterschap Vechtstromen. (2015, November 10). *Factsheet waterlichamen KRW 2016-2021*. Opgeroepen op Februari 24, 2017, van Waterschap Vechtstromen: https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/Factsheets/December2015Publiek/Oppervlaktewater/factsheet_OW_44_Waterschap_Vechtstromen_2015-11-10-03-49-38.pdf

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum. (1988). *Cultuur technisch vademecum*. Utrecht.

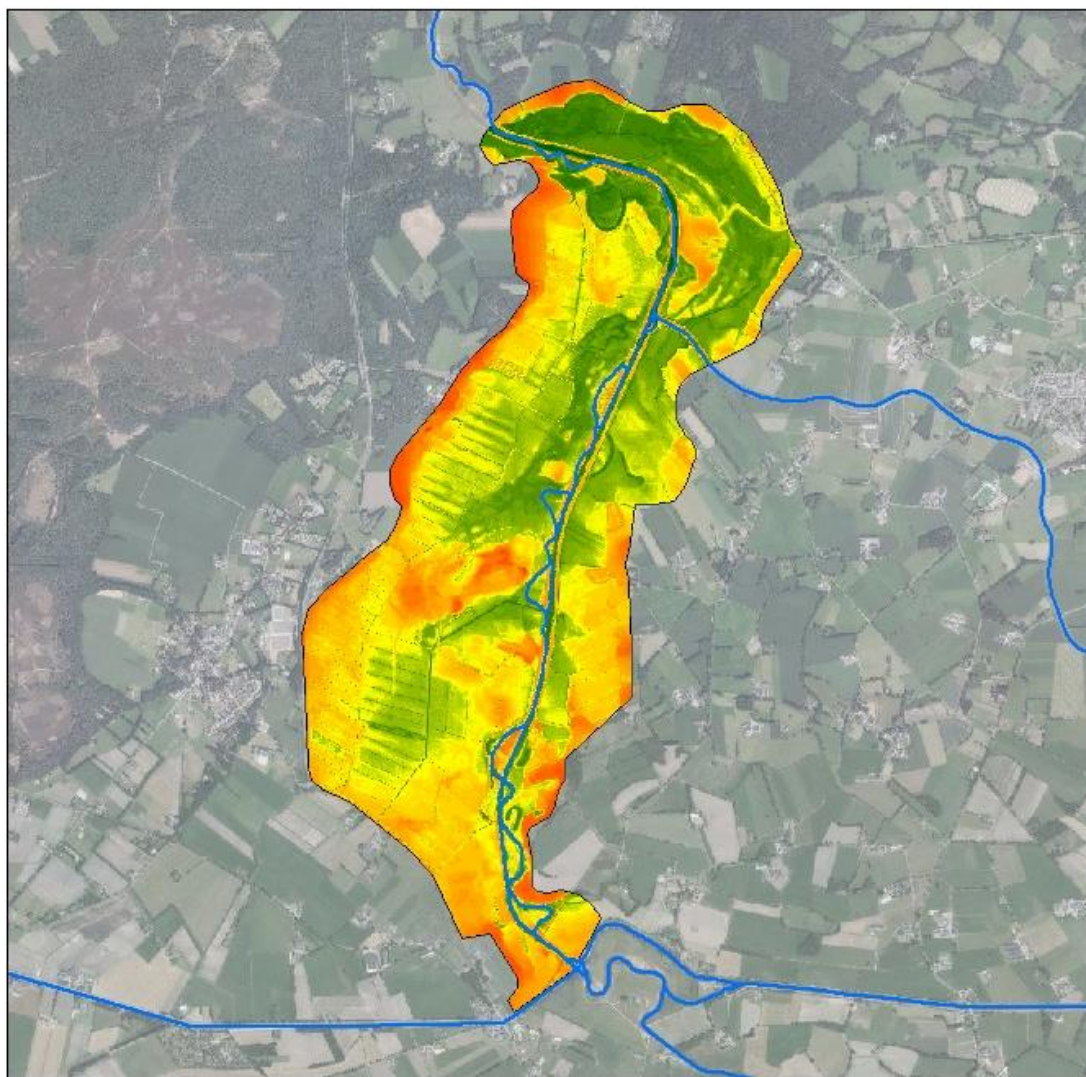
Figuren- en tabellenlijst

Figuur 1: Projectgebied	8
Figuur 2: Dwarsdoorsnede DGM	13
Figuur 3: Bodemkaart projectgebied	14
Figuur 4: Lengteprofiel Beneden Regge	16
Figuur 5: Schets variant cascadering in combinatie met bodemverhoging	19
Figuur 6: Impressie bodemval (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1988)	20
Figuur 7: Schets variant cascadering in combinatie met meestromende geul	20
Figuur 8: Stuw van Notter (Podt, 2012) en kanogoot Lateraalkanaal Almelo (eigen foto)	21
Figuur 9: Vispassage in de Bolscherbeek (eigen foto)	21
Figuur 10: Schets variant lange drempel in combinatie met overstromingsvlakte	22
Figuur 11: Uitsnede schematisatie model huidige situatie	25
Figuur 12: Resultaat modellering situatie voor 2012	26
Figuur 13: Uitsnede schematisatie oppervlaktewatermodel voorkeursvariant	27
Figuur 14: Resultaat modellering voorkeursvariant	28
Figuur 15: Invloed voorkeursvariant op GxG's	30
Figuur 16: Invloed klimaatscenario op voorkeursvariant	31
Figuur 17: Gedetailleerde inrichtingsschets voorkeursvariant	32
Figuur 18: Schets dwarsprofiel meestromende geul	33
Figuur 19: Sfeerbeeld natte natuur verlaagd maaiveld (Tubantia, sd)	33
Figuur 20: Sfeerbeeld houten fiets- en wandelbrug (Meerdink Bruggen, sd)	34
Figuur 21: Karakteristieke afmetingen van een bassin (Termes & Hakvoort, 2013)	35
Figuur 22: Schets drempel cascadering met vertical slot	36
Figuur 23: Schets drempel in kade	37
Figuur 24: Voorbeeld opbouw SOBEK-middel met vijf gebeurtenissen	72
Figuur 25: Kalibratie Regge Archem (V-ST_010)	73
Figuur 26: Kalibratie Regge Hankate (V-ST_053)	74
 Tabel 1: Karakterisering type R6-waterlichaam (STOWA, 2012)	17
Tabel 2: SWOT-analyse projectgebied	18
Tabel 3: Beoordeling varianten	24
Tabel 4: Wegingsfactoren criteria	24
Tabel 5: Toekenning wegingsfactoren criteria	24
Tabel 6: Toekenning punten varianten	24
Tabel 7: Debieten (m3/s) monitoringspunten Regge en Linderbeek	26
Tabel 8: Effect voorkeursvariant ten opzichte van de huidige situatie	29
Tabel 9: Controle eisen rustbassin cascadering	35
Tabel 10: Dimensionering vertical slots per traject cascadering	36
Tabel 11: Resultaat kalibratie Regge Archem (V-ST_010)	73
Tabel 12: Resultaat kalibratie Regge Hankate (V-ST_053)	74

Bijlagen

Bijlage A, Hoogtekaart

Hoogte



Legenda

- Projectgebied
 Hoofdwaterloop

AHN

Hoogte (m +NAP)

- 2,6 - 3,3
 3,4 - 3,8
 3,9 - 4,3
 4,4 - 4,6
 4,7 - 4,8
 4,9 - 5

- 5,1 - 5,2
 5,3 - 5,3
 5,4 - 5,4
 5,5 - 5,5
 5,6 - 5,5
 5,6 - 5,6
 5,7 - 5,7
 5,8 - 5,8
 5,9 - 5,9

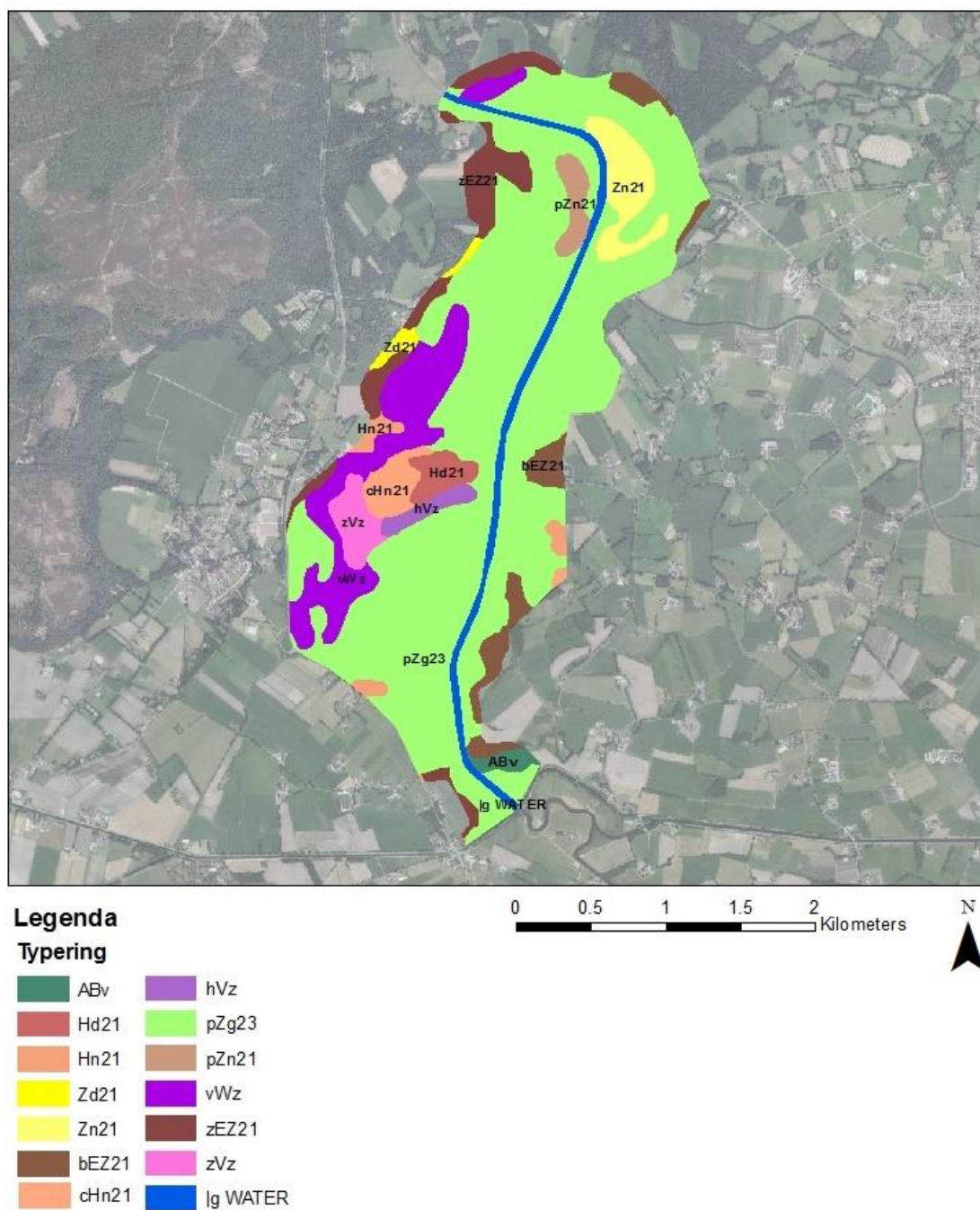
- 6 - 6,1
 6,2 - 6,4
 6,5 - 6,7
 6,8 - 7,1
 7,2 - 7,7
 7,8 - 8,4
 8,5 - 9,3
 9,4 - 10,5
 10,6 - 12

0 0,5 1 1,5 2 Kilometers



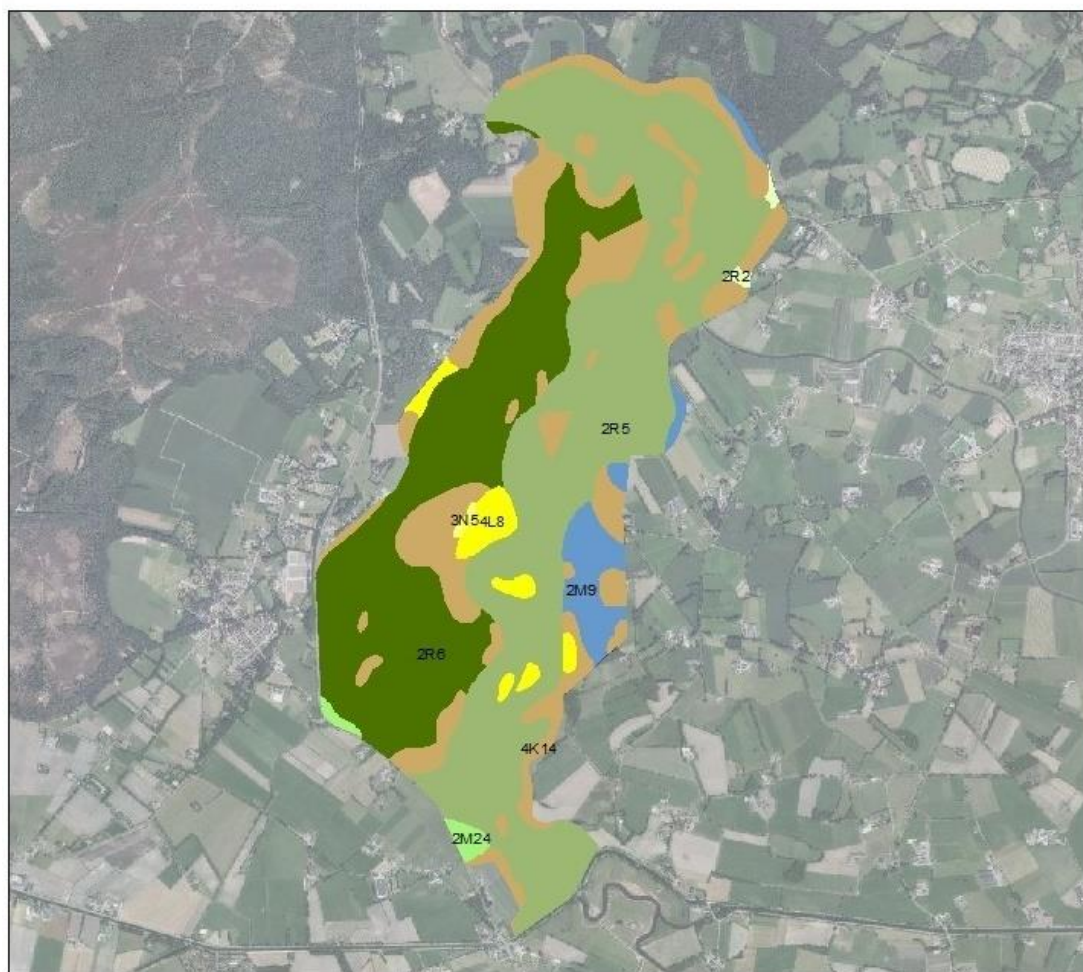
Bijlage B, Bodemkaart

Bodemkaart



Bijlage C, Geomorfologische kaart

Geomorfologie



Legenda

0 0.5 1 1.5 2 Kilometers



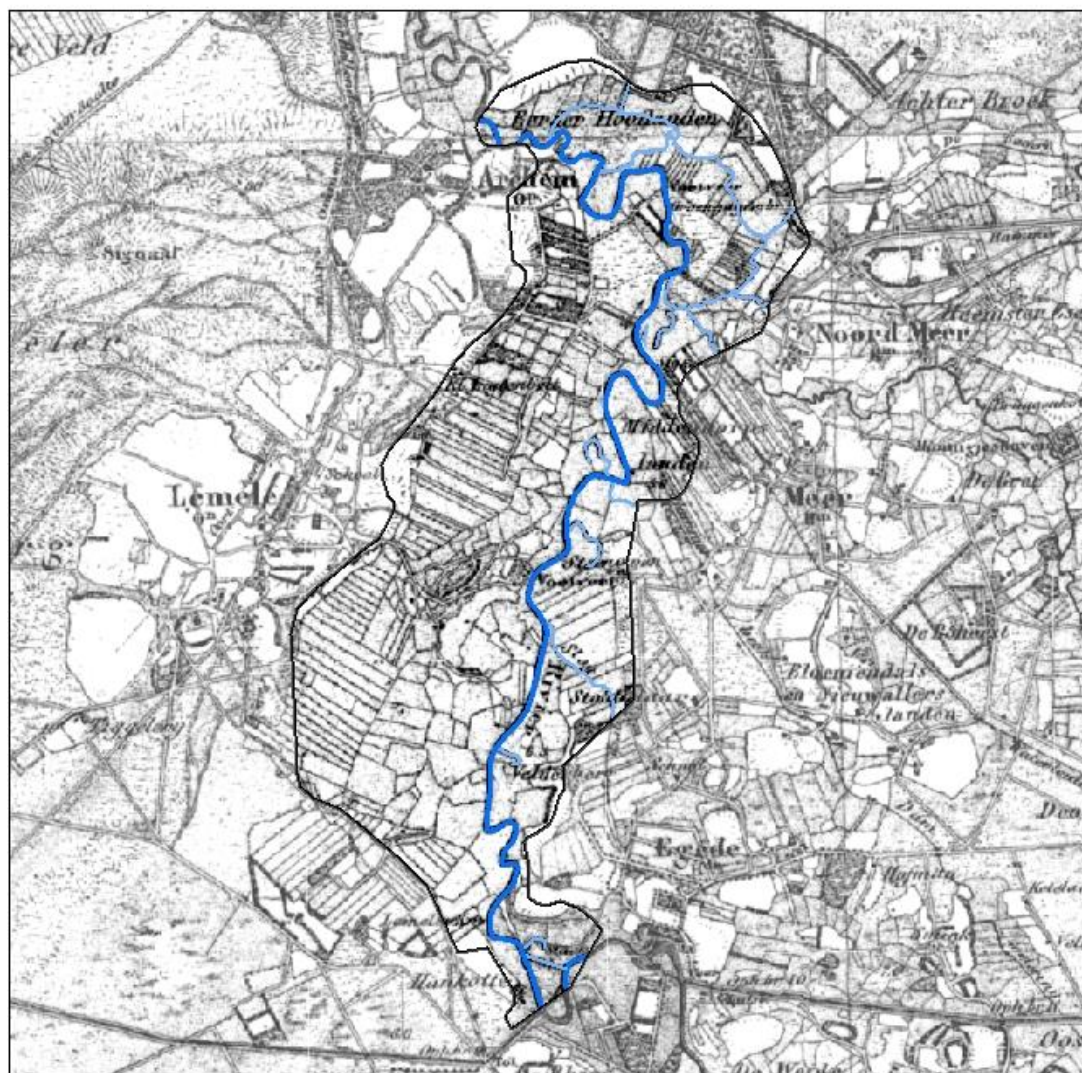
Type

- 2R6 Beekdakbodem, zonder veen, hooggelegen
- 2R5 Beekdalbodem, zonder veen, laaggelegen
- 2M24 Beekoverstromingsvlakte
- 2R2 Dalvormige laagte, zonder veen
- 4K14 Dekzandrug (+/- oud-bouwlanddek)
- 3N5 Laagte zonder randwal (incl. uitblazingsbekken), niet moerassig
- 4L8 Lage landduinen met bijbehorende vlakten en laagten
- 2M9 Vlake van ten dele verspoelde dekzanden

Bijlage D, Historische kaarten

Historische kaart 1850

Historie (1850)

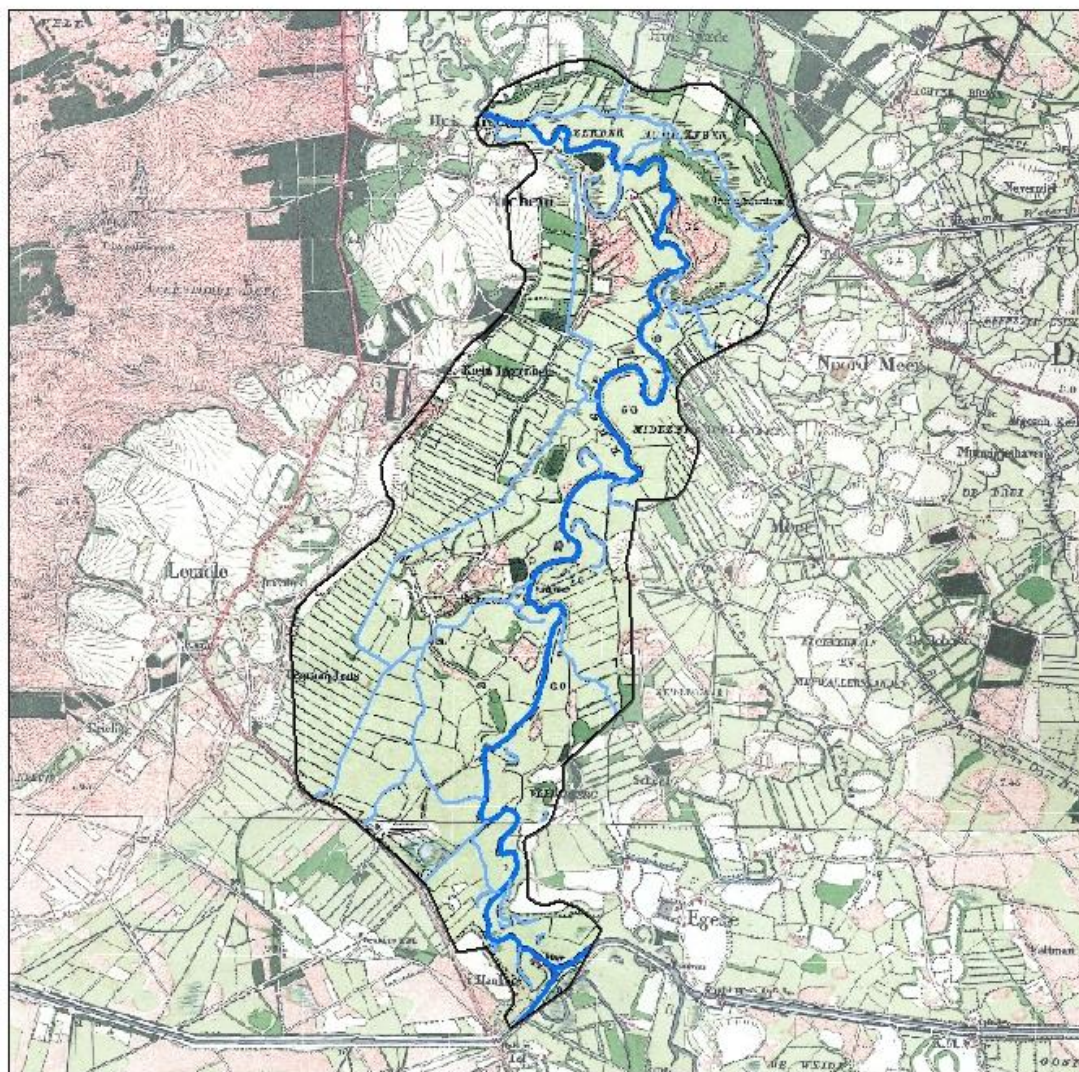
**Legenda**
 Projectgebied
Waterlopen (1850)**Formaat**
 Hoofdwaterloop

 Waterloop

0 0,5 1 1,5 2
Kilometers


Historische kaart 1890

Historie (1890)



Legenda

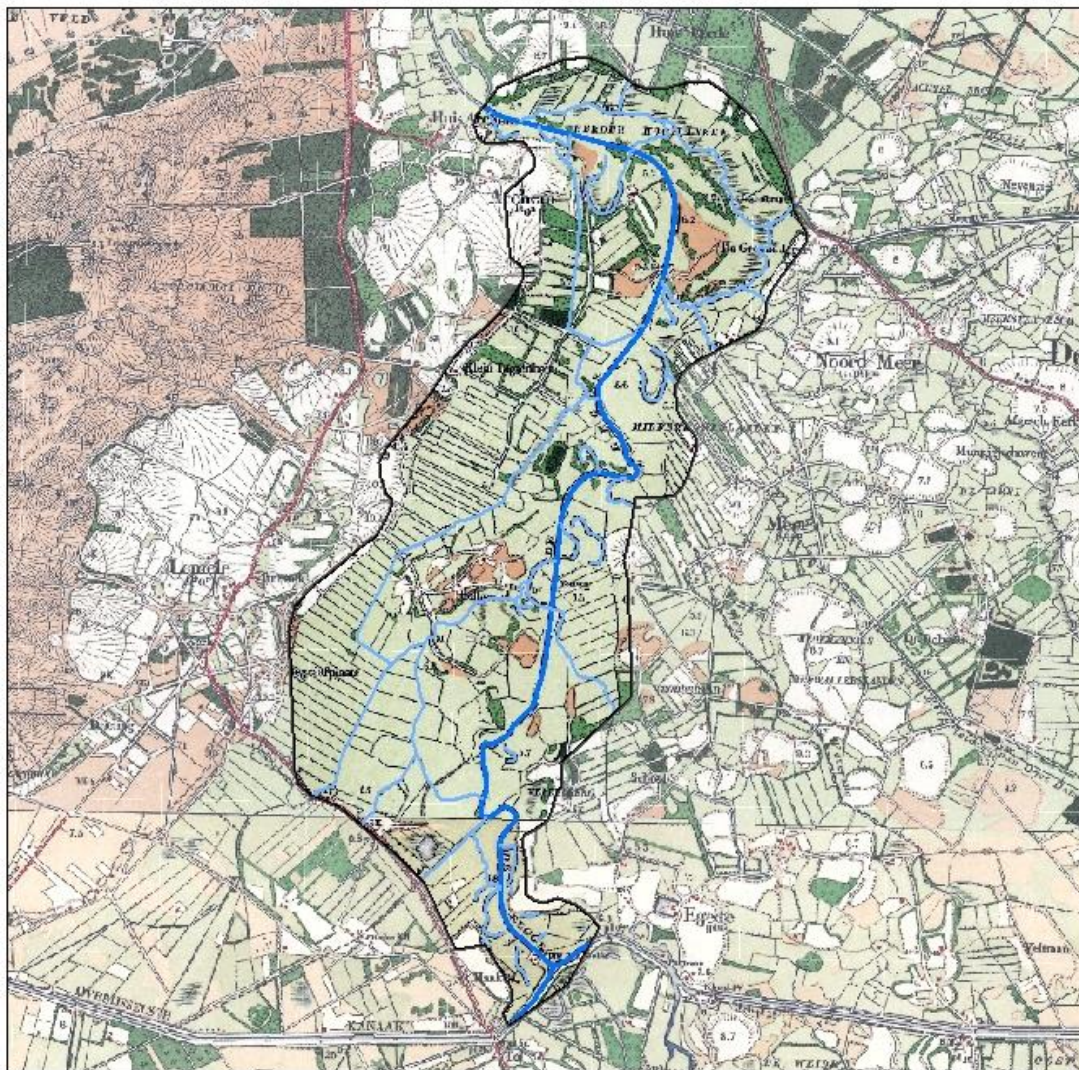
 Projectgebied
Waterlopen (1890)

Formaat

 Hoofdwaterloop
 Waterloop

Historische kaart 1925

Historie (1925)



Legenda

 Projectgebied

Waterlopen (1925)

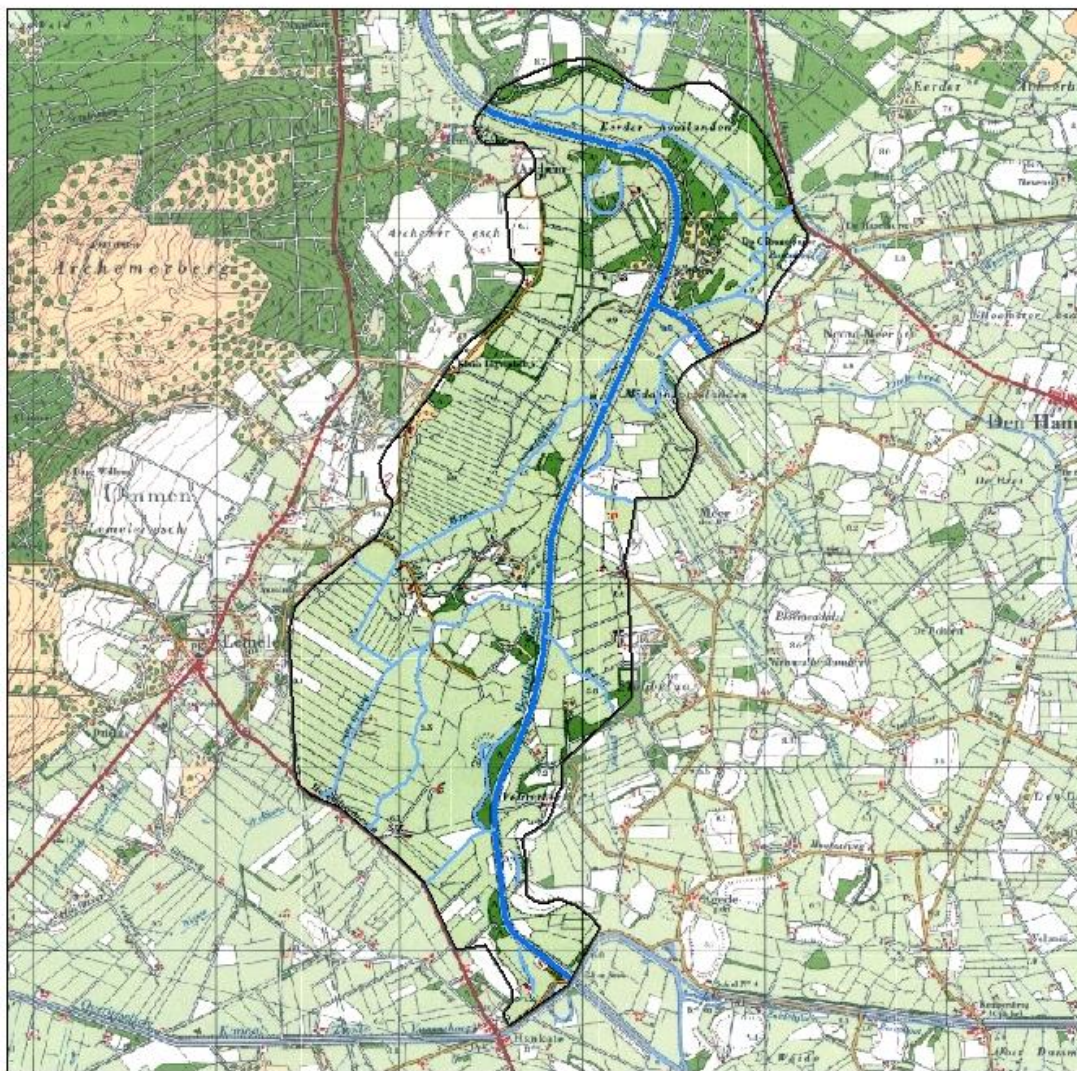
Formaat

 Hoofdwatervat

 Watervat

Historische kaart 1970

Historie (1970)



Legenda

Projectgebied

Waterlopen (1970)

Formaat

Hoofdwaterloop

Waterloop

Bijlage E, Cultuurhistorische kaart

Cultuurhistorie

**Legenda**

- Projectgebied
- Hoofdwaterloop

Monumenten**Categorie**

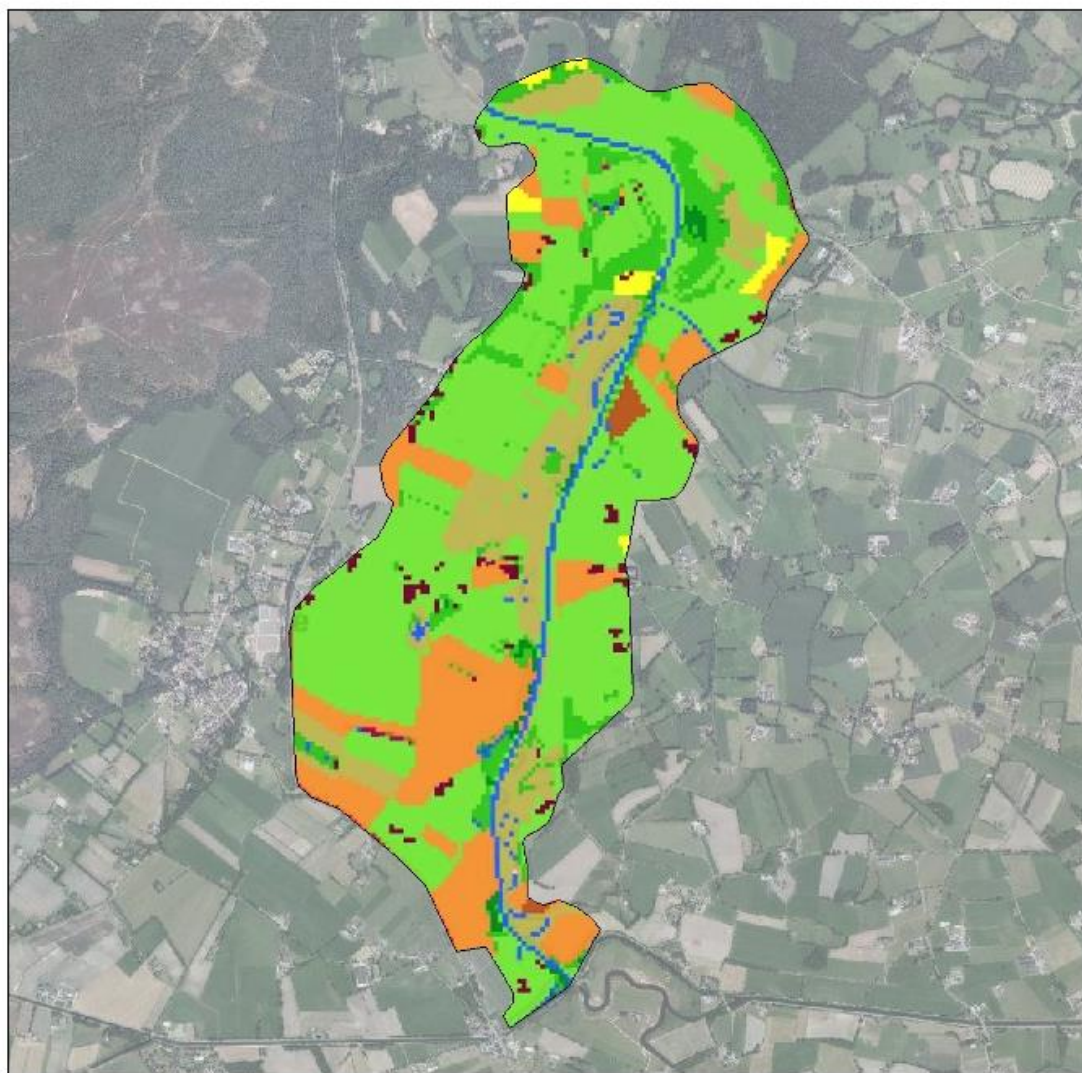
- Agrarische gebouwen
- Gebouwen, woonhuizen
- Kastelen, landh. ed.
- Kerkelijke gebouwen
- Losse objecten, ed.
- Buitenplaatsen

Archeologische monumenten**Categorie**

- Terrein van archeologische betekenis
- Terrein van hoge archeologische waarde

Bijlage F, Kaart landgebruik 2012

Landgebruik 2012



Legenda

 Projectgebied

0 0,5 1 1,5 2 Kilometers



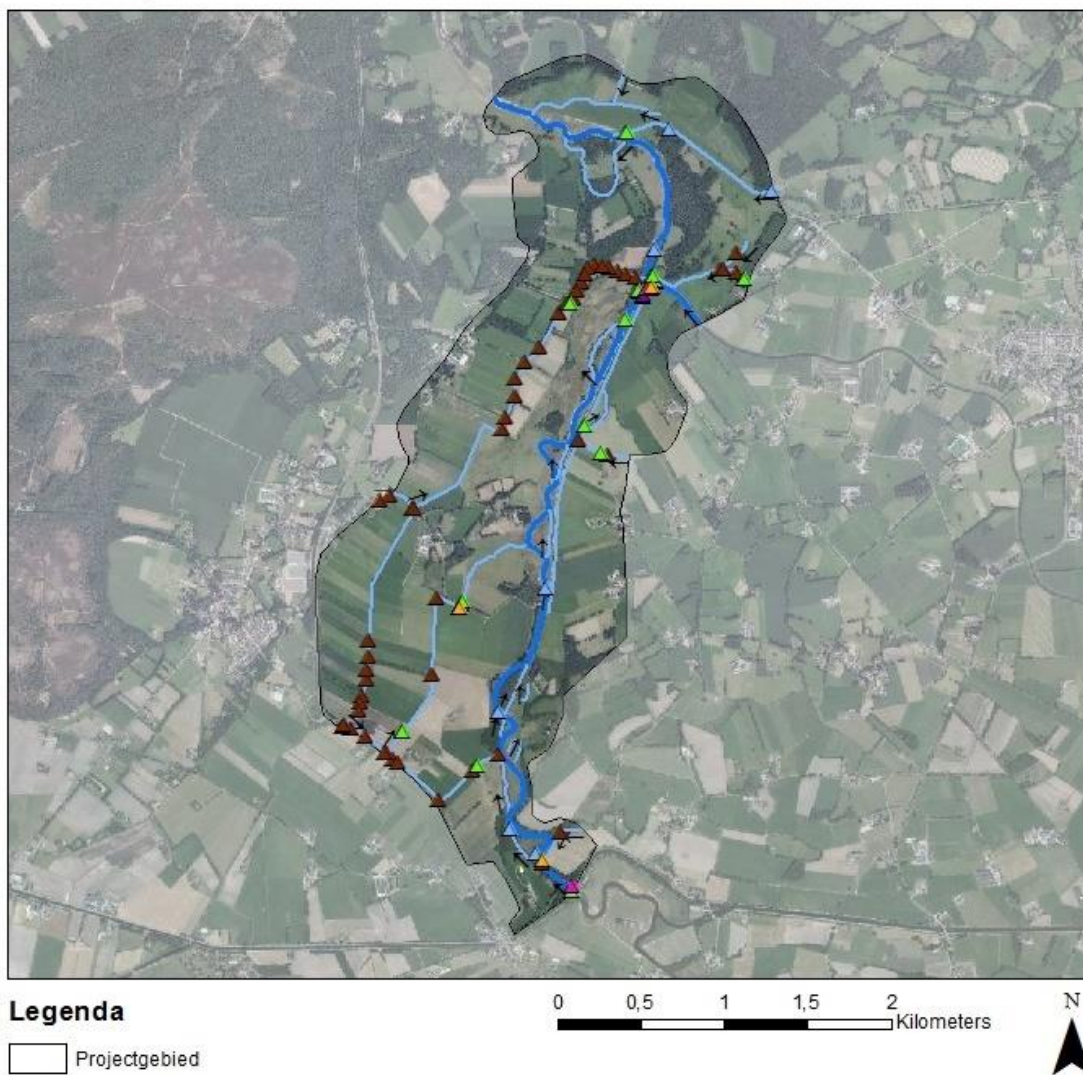
LGN7

Om schrijving

 Aardappelen	 Mais
 Granen	 Bebouwing in het buitengebied
 Loofbos	 Natuurgraslanden
 Naaldbos	 Agrarisch gras
 Zoet water	

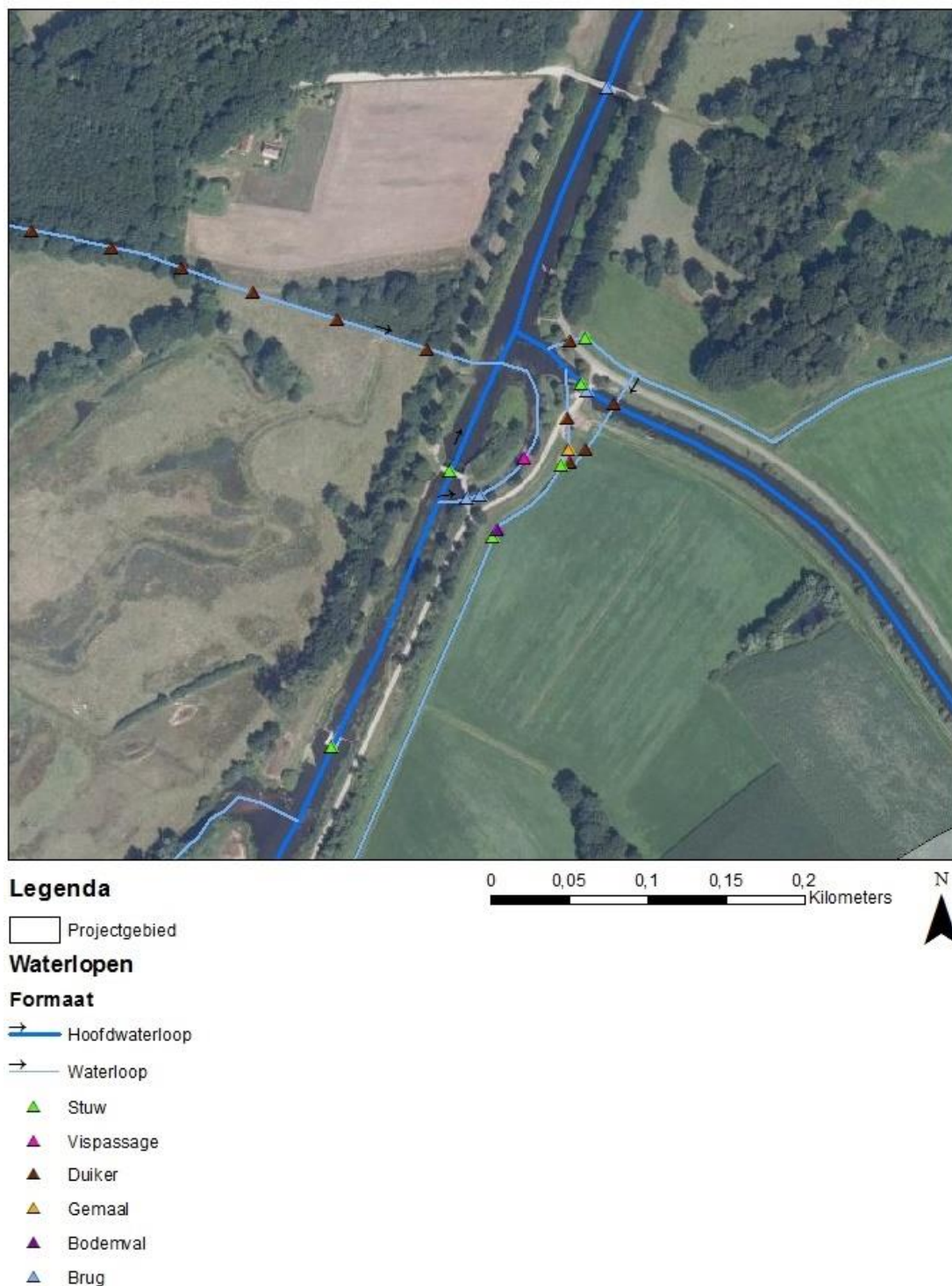
Bijlage G, Oppervlaktewatersysteemkaart

Watersysteem



Bijlage H, Oppervlaktewatersysteemkaart rond stuw Archem

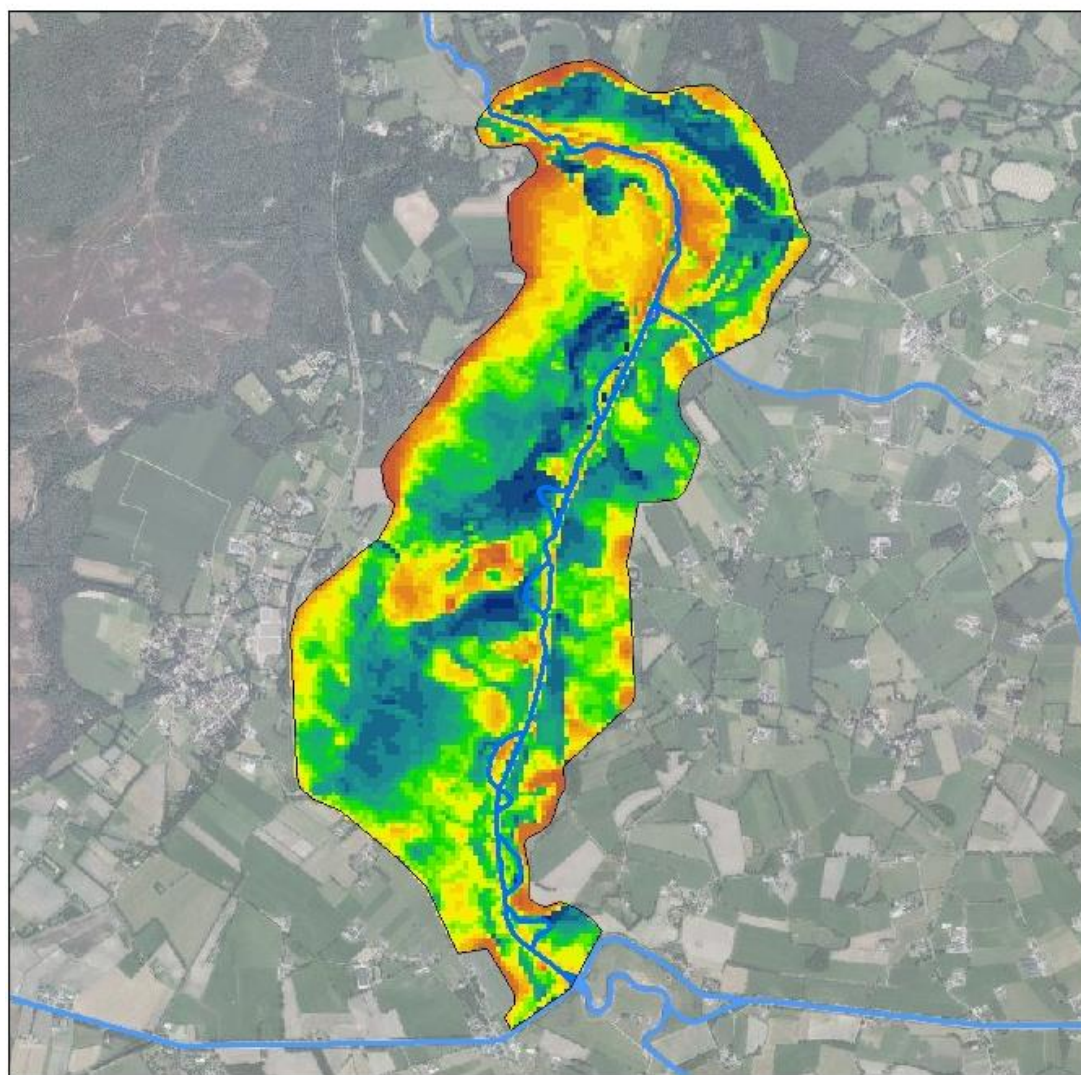
Watersysteem rond stuw Archem



Bijlage I, Kaarten inventarisatie grondwatersysteem

GLG 2010

GLG 2010

**Legenda**

- Projectgebied
 Hoofdwaterloop

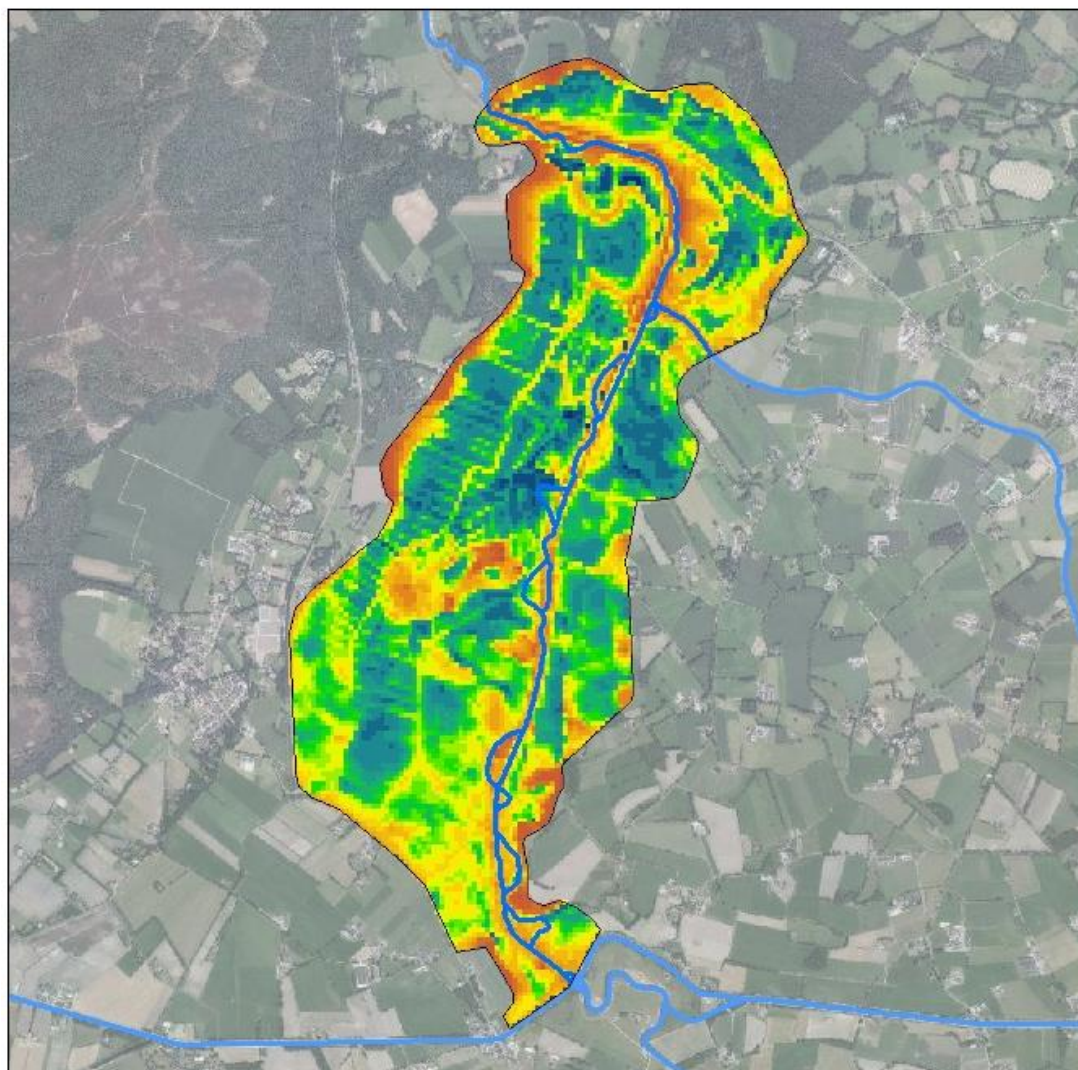
0 0,5 1 1,5 2 Kilometers

**GLG (cm-mv)****VALUE**

6 - 35	109 - 112	187 - 214
36 - 57	113 - 118	215 - 252
58 - 73	119 - 125	253 - 302
74 - 86	126 - 135	303 - 367
87 - 95	136 - 147	368 - 454
96 - 103	148 - 164	455 - 567
104 - 108	165 - 186	

GHG 2010

GHG 2010

**Legenda**

- Projectgebied
 Hoofdwaterloop

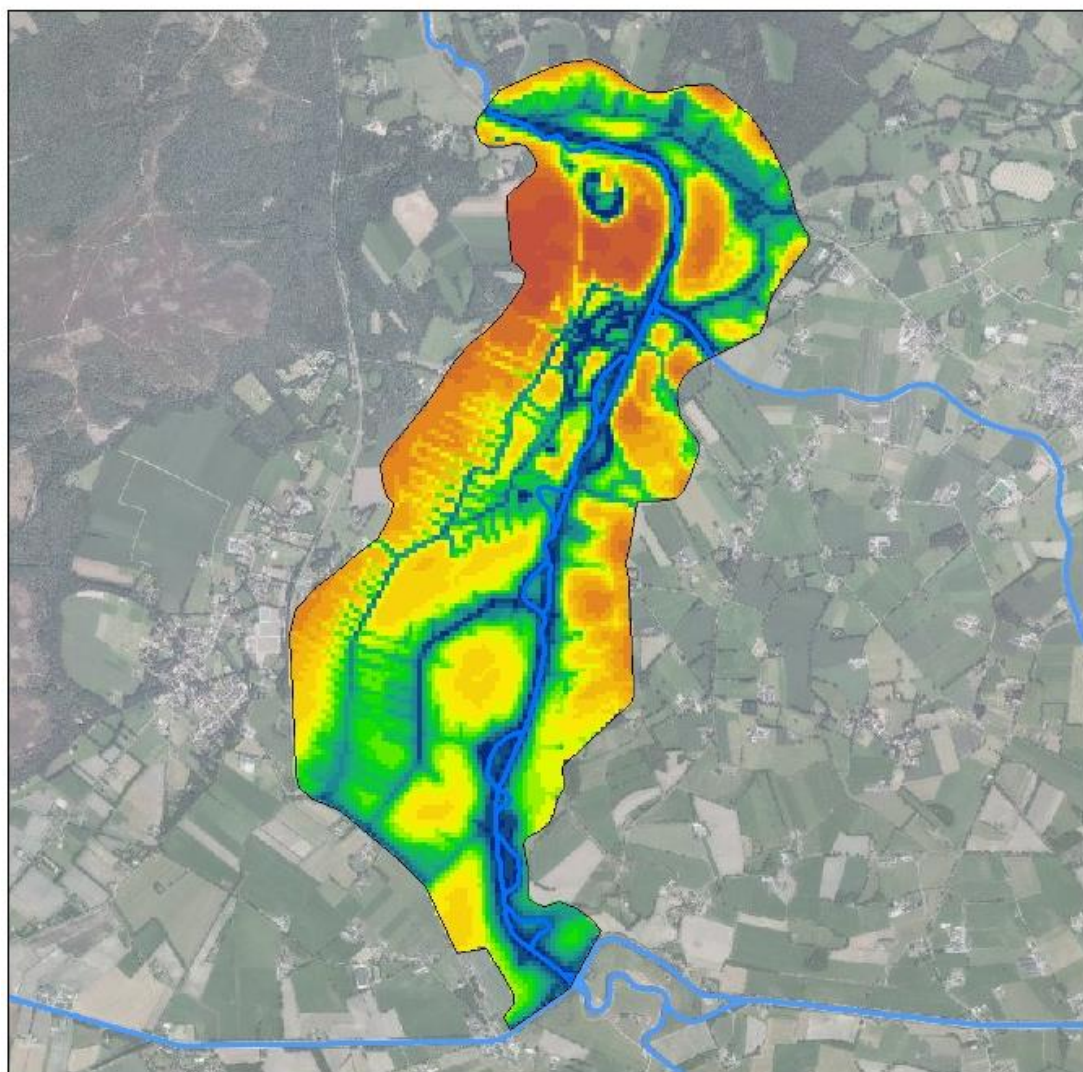
0 0,5 1 1,5 2 Kilometers

**GHG (cm-mv)****VALUE**

-57 - -32	31 - 33	96 - 119
-31 - -14	34 - 37	120 - 152
-13 - 0	38 - 43	153 - 196
1 - 11	44 - 51	197 - 254
12 - 19	52 - 62	255 - 331
20 - 25	63 - 76	332 - 434
26 - 30	77 - 95	

Verschil GHG en GLG 2010

Verschil GHG en GLG



Legenda

Projectgebied

Hoofdwaterloop

0 0,5 1 1,5 2 Kilometers



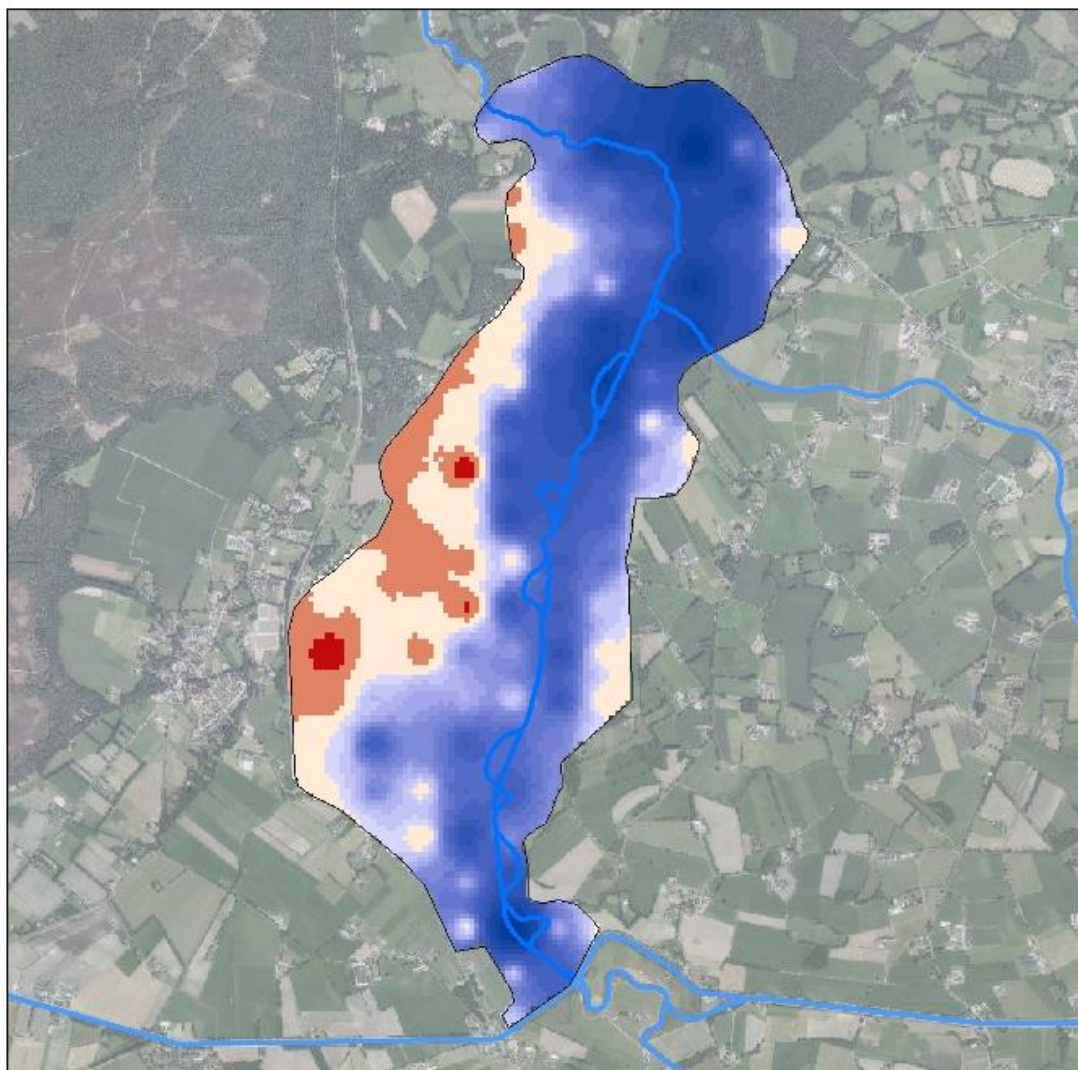
Verschil GHG en GLG (cm)

VALUE

1 - 14	60 - 63	97 - 105
15 - 25	64 - 67	106 - 116
26 - 35	68 - 71	117 - 129
36 - 42	72 - 75	130 - 145
43 - 49	76 - 81	146 - 163
50 - 55	82 - 88	164 - 185
56 - 59	89 - 96	

Kwel- en wegzijgingskaart

Kwel en wegzijging



Legenda

- Projectgebied
- Hoofdwaterloop

0 0,5 1 1,5 2 Kilometers

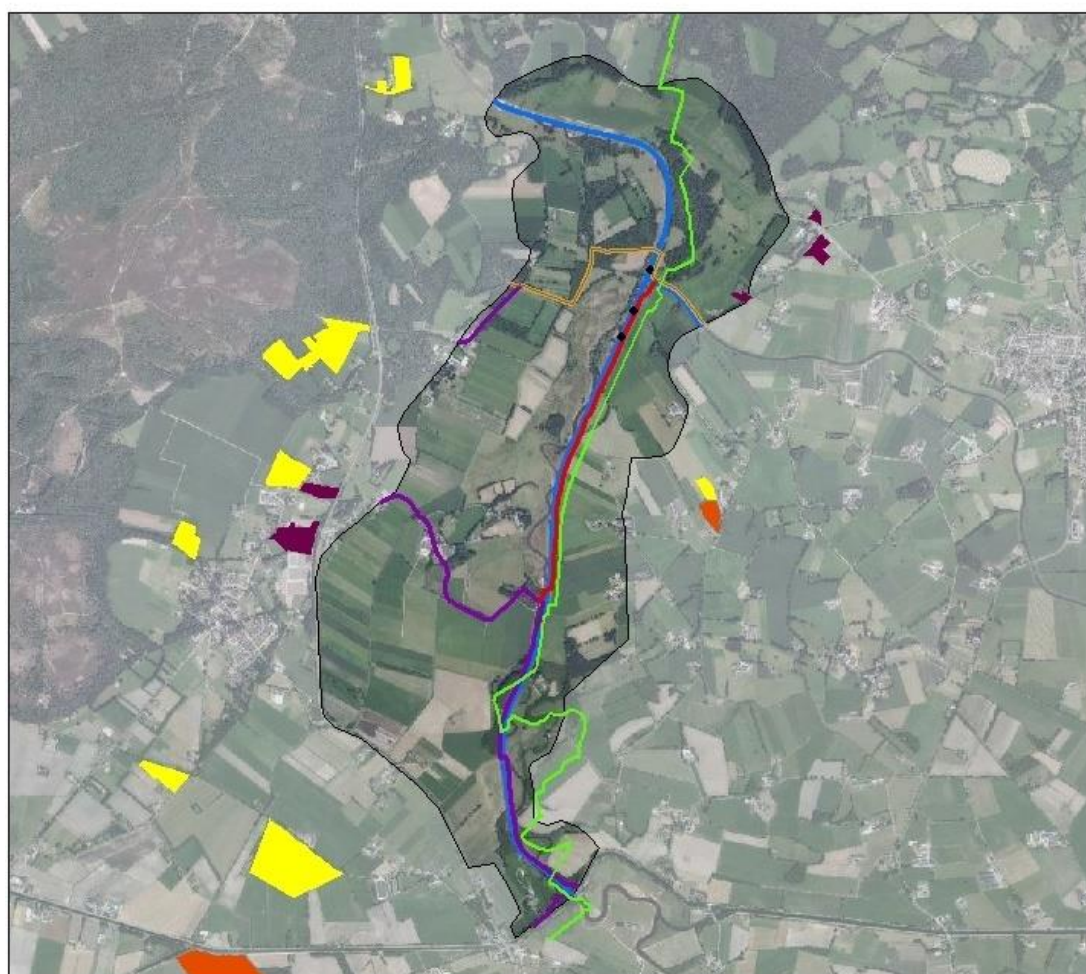


Kwel en wegzijging projectgebied (mm/dag)

11,5 - 15	2,1 - 2,5	0,6 - 0,7
8,8 - 11,4	1,7 - 2	0,3 - 0,5
6,8 - 8,7	1,5 - 1,6	0,1 - 0,2
5,2 - 6,7	1,2 - 1,4	-0,5 - 0
4,1 - 5,1	1,1 - 1,1	-1,2 - -0,6
3,2 - 4	1 - 1	-2,1 - -1,3
2,6 - 3,1	0,8 - 0,9	

Bijlage J, Kaart recreatie

Recreatie



Legenda

Fiets en Wandelpaden

Type

- Fietspad en wandelpad (onverhard)
- Fietspad over bestaande weg
- Ruiterroute en fietspad
- Havezatenpad

Kano voorzieningen

- ◆ Kano overdraagplaats
- Kanoroute

Verblijfsrecreatie

Type

- Bungalowpark
- Camping
- Groepsaccomodatie

0 0.5 1 1.5 2 Kilometers



Bijlage K, Uitwerking MCA

Bepaling wegingsfactoren

De veiligheid van de recreant die recreëert in het projectgebied is erg belangrijk voor het waterschap. De recreant mag namelijk geen lichamelijk letsel oplopen door toedoen van een specifieke inrichting van het projectgebied. Daarom is gekozen om dit criterium zwaar mee te laten wegen. Het waterschap vindt een natuurlijke inrichting van de rivierloop belangrijk. Daarom is gekozen voor een redelijke zware weging van dit criterium. Vispasseerbaarheid is, mede door de gestelde doelstellingen vanuit de KRW, een belangrijk criterium. Daarom is gekozen voor een redelijke zware weging van dit criterium. Het criterium beleefbaarheid is niet heel erg belangrijk, maar zeker ook niet onbelangrijk. Daarom kent dit criterium een neutrale wegingsfactor. Beheer en onderhoud is een belangrijk criterium. Dit kan namelijk een grote kostenpost vormen voor het waterschap. Daarom is de wegingsfactor voor dit criterium redelijk zwaar. Het criterium ecologische impact heeft een neutrale weging toebedeeld gekregen. Dit heeft als reden dat het waterschap de ecologische waarden wil verbeteren. Echter mag dit nooit ten koste gaan van de veiligheid. Ruimtelijke impact heeft een zware weging. Dit omdat grote ingrepen het (natuurlijke) processen binnen het projectgebied verstoren. Tot slot heeft het criterium genereren van energie uit waterkracht een lichte wegingsfactor. Energie genereren uit waterkracht is belangrijk, echter is de kans klein dat dit op grote schaal toegepast kan worden in het projectgebied.

Beoordeling per variant

Cascadering i.c.m. bodemverhoging

Desbetreffende variant scoort goed op het criterium veiligheid voor recreanten. Doordat kanoërs zonder hinder kunnen doorvaren is hun veiligheid gegarandeerd. Het criterium natuurlijke inrichting krijgt de score goed. Dit doordat de maatregelen onder waterspiegel worden uitgevoerd. Visueel ziet het er dan natuurlijk uit. De vispasseerbaarheid scoort voldoende. Vissen kunnen migreren, echter zijn er weinig luwe plekken binnen het lange traject waar de vis kan rusten. De beleefbaarheid van de variant scoort matig. Omdat de maatregelen onder waterspiegel zijn uitgevoerd kan de recreant de variant niet beleven. Het criterium beheer en onderhoud scoort eveneens matig. De watergang zou regelmatig onderhouden moeten worden om ervoor te zorgen dat deze niet dichtslibt. Daarnaast moet in de gaten gehouden worden hoe de maatregelen zich houden in een meanderend proces. De ecologische impact scoort een voldoende. De ecologische toestand wordt namelijk verbeterd doordat alle stuwen verdwijnen. Echter zijn er, zoals eerder vermeld, weinig luwe plekken in de rivierloop. Het criterium ruimtelijke impact scoort slecht. Dit komt doordat de rivierloop op bepaalde locaties moet worden vastgelegd wat tegen de natuurlijke processen ingaat. Verder neemt de variant veel ruimte in beslag in de rivierloop. Tot slot wordt een onlangs opnieuw ingericht gebied (Eerderhooilanden) weer op de schop gezet. Het criterium genereren van energie uit waterkracht scoort tot slot slecht. Dit omdat het, met de kennis van nu, onmogelijk is om energie te kunnen genereren door middel van deze variant. De uiteindelijke totaalscore bedraagt 71 punten wat deze variant de minst gewenste variant maakt.

Cascadering i.c.m. meestromende geul

Desbetreffende variant is veilig voor recreanten. Kanoërs kunnen dankzij de kanogoten de variant eenvoudig passeren. De meestromende geul is bovendien veilig genoeg door het aanleggen van bruggen en recreatieve paden. Daarom krijgt dit criterium de score goed toegekend. De cascadering scoort voldoende voor criterium natuurlijke inrichting. De cascadering kan gecamoufleerd worden door gebruik te maken van stenen, waardoor deze toch een natuurlijke uitstraling krijgt. Het verlaagde maaiveld nabij de meestromende geul zal daarnaast veel planten en dieren aantrekken. De variant scoort zeer goed voor vispasseerbaarheid. Doordat er gekozen is om meerdere trajecten in te richten met cascades wordt de diversiteit vergroot. Daarnaast zijn er voldoende luwe plekken in de bassins tussen de drempels aanwezig.

De variant scoort goed voor het criterium beleefbaarheid. De variant is namelijk duidelijk zichtbaar in het projectgebied. Verder is het een innovatief voorstel wat de beleefbaarheid van de variant versterkt. De cascadering scoort voldoende voor het criterium beheer en onderhoud. De meestromende geul vraagt naar verwachting om aardig wat onderhoud en beheer om de gewenste situatie te bereiken. De ecologische impact is gescoord op goed. Dit omdat de meestromende geul, inclusief het verlaagde maaiveld, de ecologische waarden zullen versterken. De ecologische waarden in de rivierloop gaan naar verwachting stijgen doordat er luwe plekken ontstaan in en rond de cascades. Het criterium ruimtelijke impact scoort voldoende. Het traject waar ingrepen worden uitgevoerd is aardig groot. Tot slot scoort het laatste criterium, het genereren van energie uit waterkracht, een voldoende. Er zou energie gewonnen uit het verval van de stuw in de Linderbeek, echter is het rendement waarschijnlijk laag. De uiteindelijke totaalscore is 101. Dit betekent dat desbetreffende variant de voorkeurvariant is.

Lange drempel i.c.m. overstromingsvlakte:

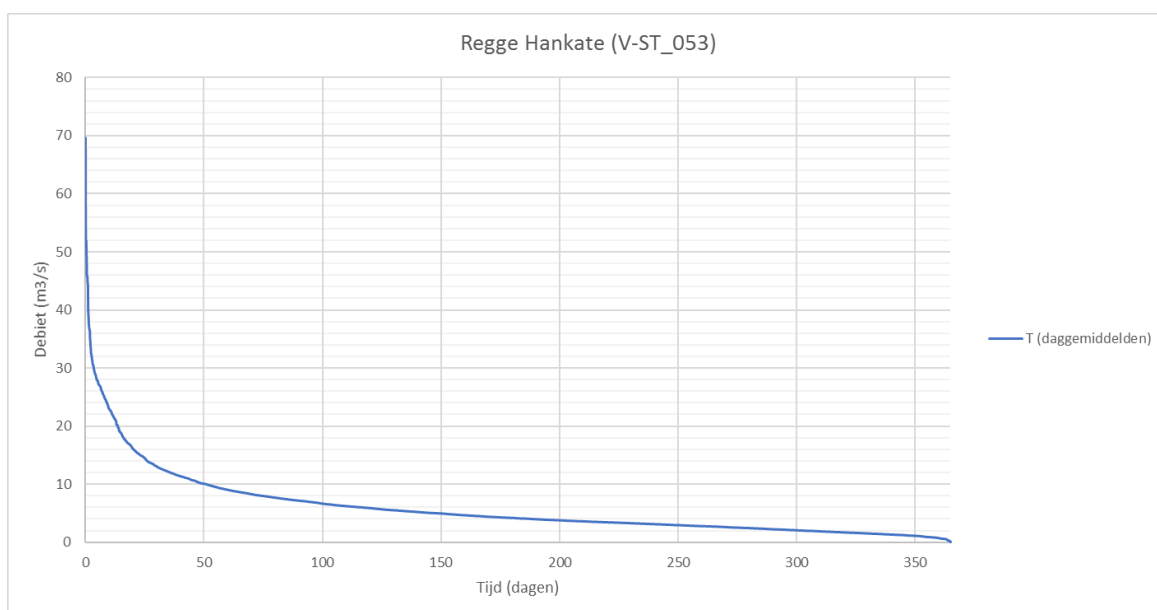
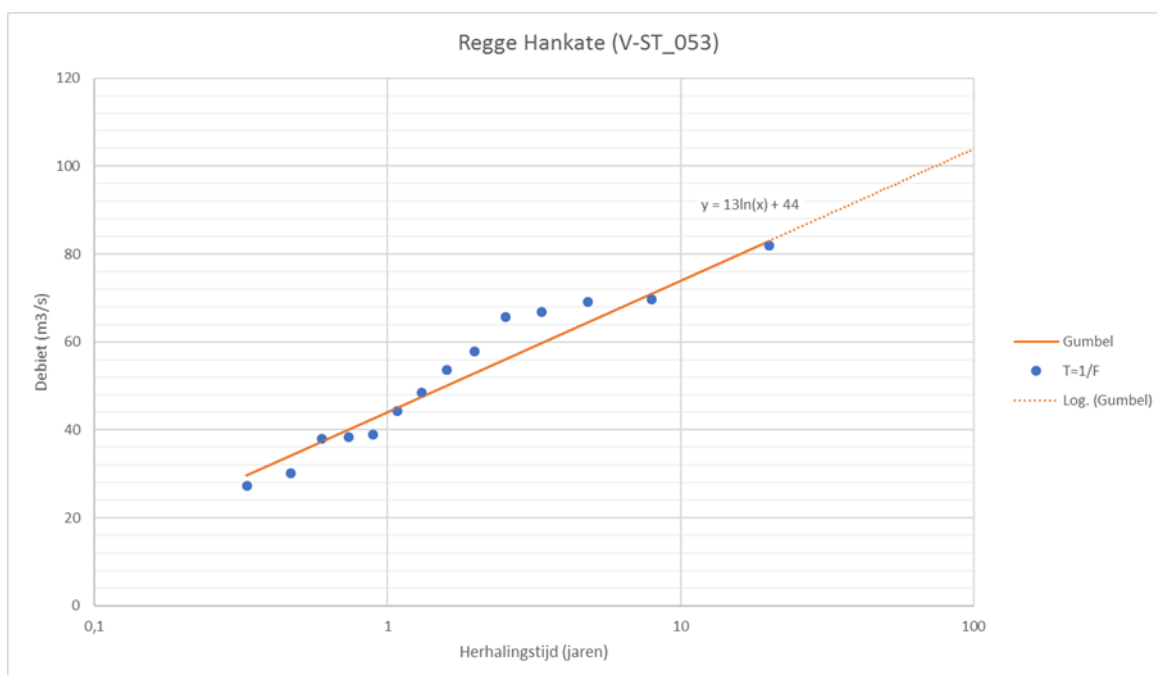
Het criterium veiligheid voor recreanten scoort matig. Dit omdat kanoërs nog steeds moeten uitstappen middels een kanostoep. Verder kan de lange drempel, inclusief het grote verval op desbetreffende locatie, zorgen voor gevaarlijke situaties voor de kanoër. De variant is niet echt natuurlijk. Er bevinden zich behoorlijk wat niet-natuurlijke constructies in de variant. Om deze reden scoort het criterium natuurlijke inrichting de score matig. Desbetreffende variant is goed vispasseerbaar dankzij de gerealiseerde vispassage. Echter zijn er door de geringe afstand tussen de drempels naar verwachting weinig luwe plekken in de vispassage. Ook het ontbreken van een lokstroom kan problemen opleveren. Er is naar verwachting weinig beheer en onderhoud nodig in deze variant. Hierdoor heeft dit criterium de score goed toebedeeld gekregen. De ecologische impact van de variant scoort goed. Op de overstromingsvlakte krijgen verschillende plant- en diersoorten kans om zich te kunnen ontwikkelen. Het criterium ruimtelijke impact krijgt de score goed. Dit doordat de variant een relatief klein gebied beïnvloedt. Echter is het jammer dat het traject tussen de brug en de bocht, waar nu nog kades liggen, niet wordt meegenomen in deze variant. Tot slot zijn er kansen om energie te genereren uit water. Dit kan bijvoorbeeld toegepast worden bij de stuw in de Linderbeek en de lange drempel. De totaalscore bedraagt 94 punten. Dit betekent dat desbetreffende variant net niet de voorkeursvariant is. Echter zou de variant een goede vervangende mogelijkheid zijn voor de voorkeursvariant.

Herstellen stuw en vispassage

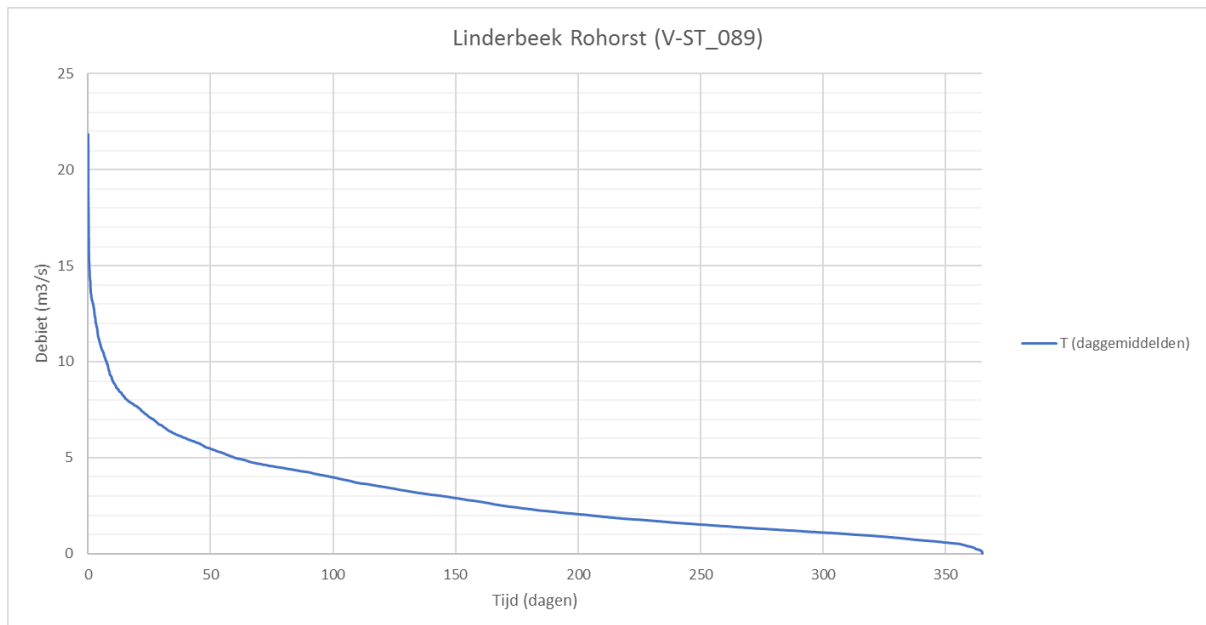
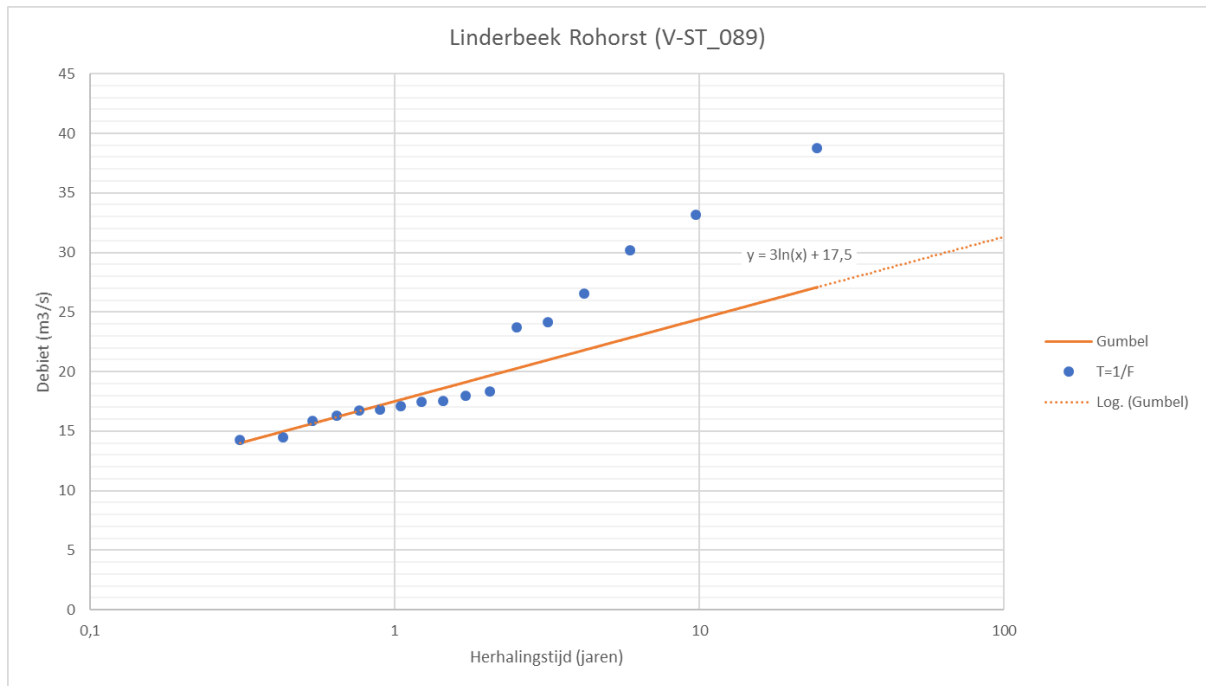
Het criterium veiligheid van de recreant scoort een voldoende. Dit omdat kanoërs dankzij de kanostoep kunnen oversteken. Verder verbeterd de veiligheid van de recreant niet ten opzichte van de huidige situatie. De variant zorgt voor een onnatuurlijk inrichting. Hierdoor scoort het criterium natuurlijke inrichting slecht. De vispasseerbaarheid is goed. Dit doordat er een nieuwe vispassage aangelegd wordt die voldoet aan de huidige eisen. Het criterium beleefbaarheid scoort een voldoende. Dit omdat de variant een traditionele variant is. De variant is niet vernieuwend genoeg. De variant resulteert in weinig beheer en onderhoud. Daarom kent desbetreffende variant de score goed. De ecologische impact van de variant is niet al te groot. De nieuwe vispassage zorgt ervoor dat vissen kunnen migreren. Echter verbeterd de situatie voor de rest niet. Om deze redenering scoort de variant matig. Desbetreffende variant gebruikt een relatieve kleine ruimte. Echter is het jammer het traject tussen de brug en bocht dat tussen de kades ligt niet gebruikt wordt. Daarom scoort de variant voor dit criterium voldoende. De variant kan uitstekend energie genereren uit waterkracht. De stuw in de Regge is hier uitermate geschikt voor. Daarom kent dit criterium de score zeer goed. De totaalscore bedraagt 90 punten. Dit maakt desbetreffende variant overduidelijk niet de voorkeursvariant.

Bijlage L, Grafieken debieten en duurlijnen monitoringspunten

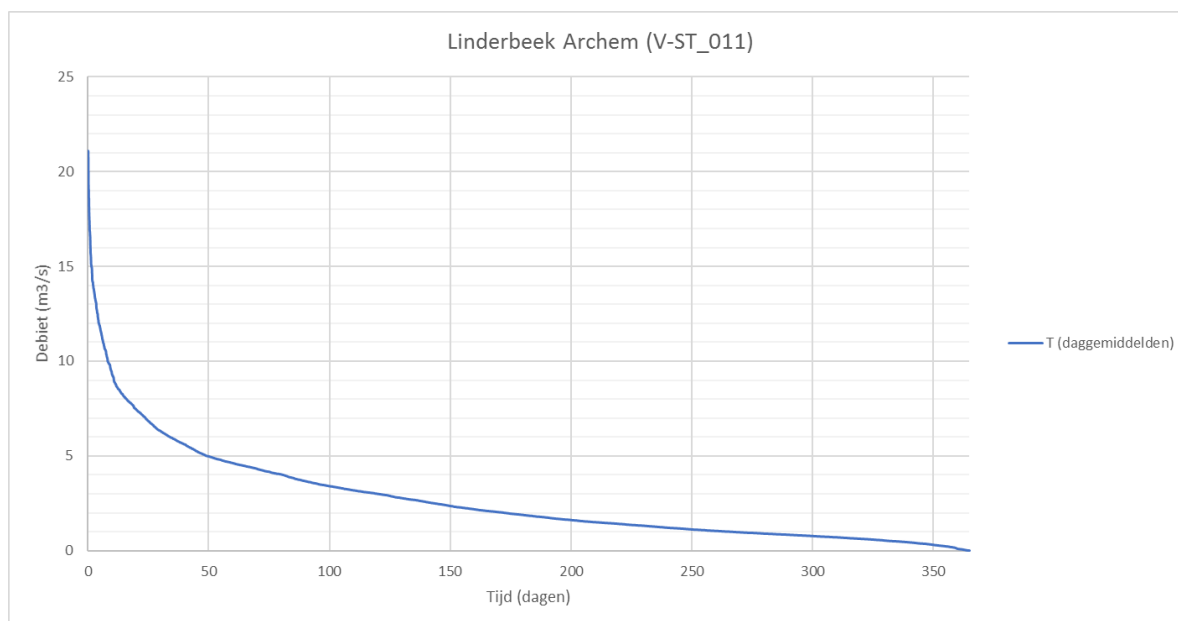
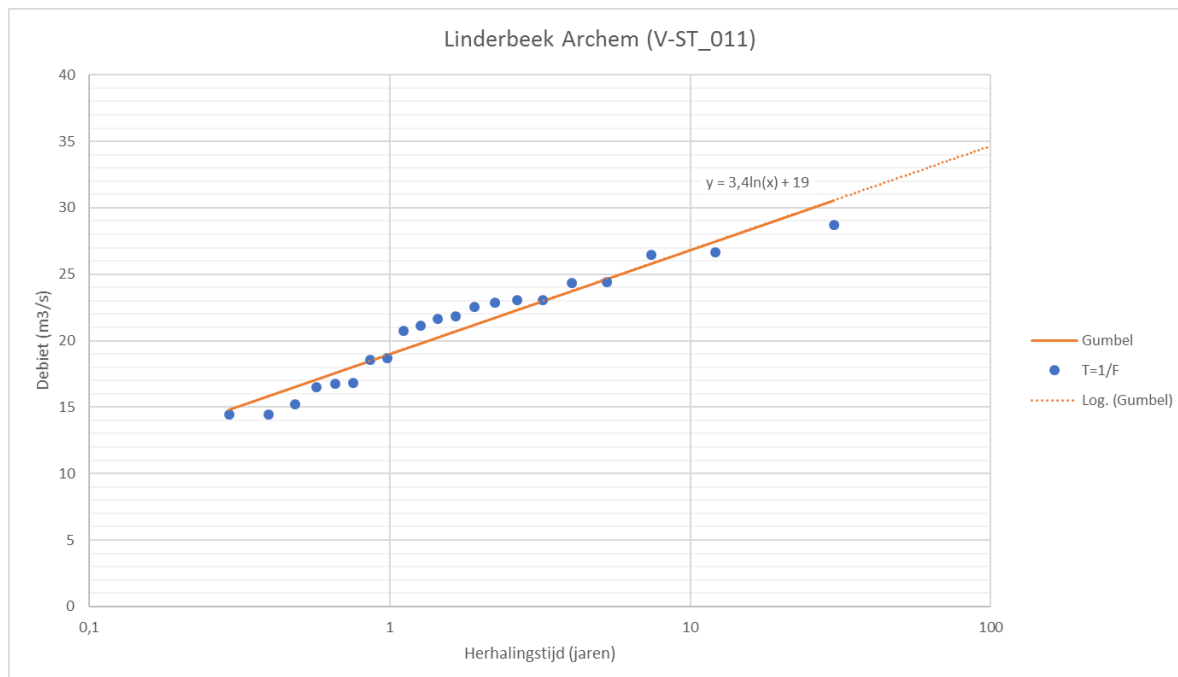
Regge Hankate (V-ST_053)



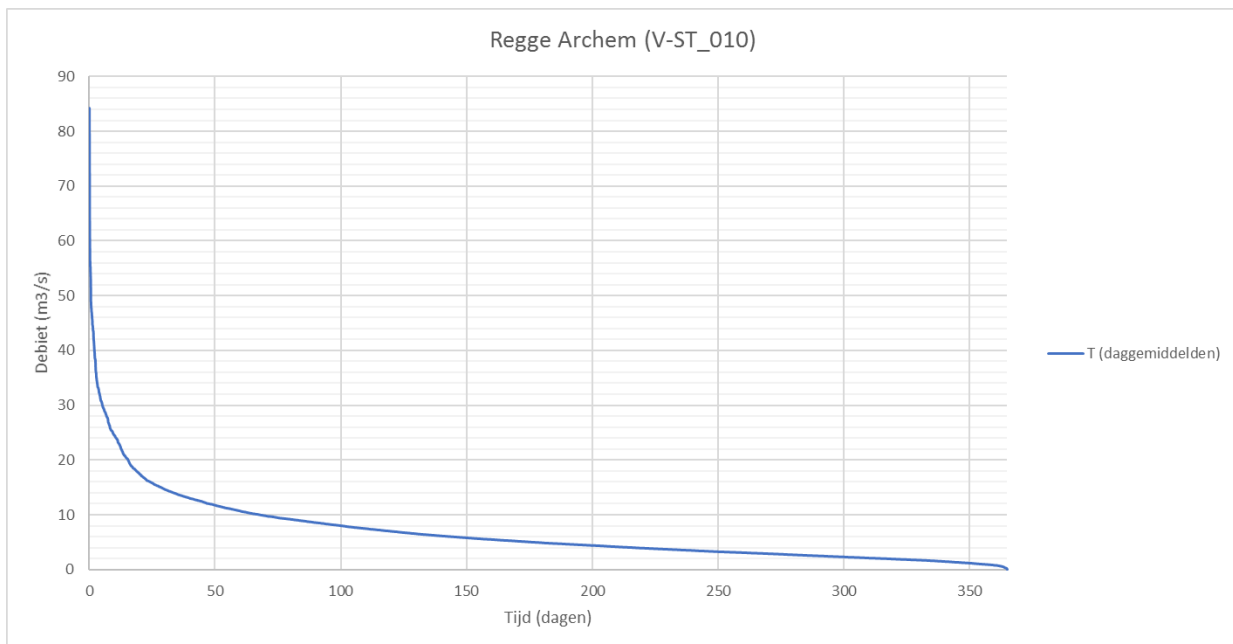
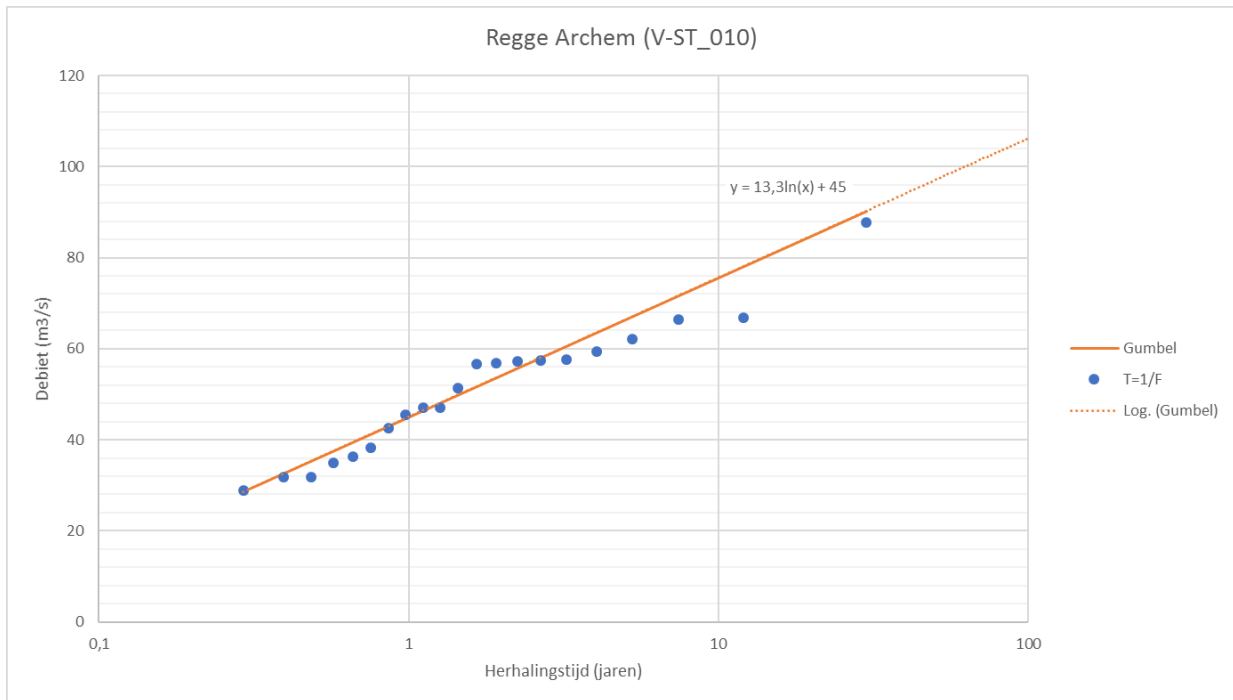
Linderbeek Rohorst (V-ST_089)



Linderbeek Archem (V-ST_011)



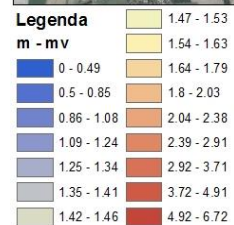
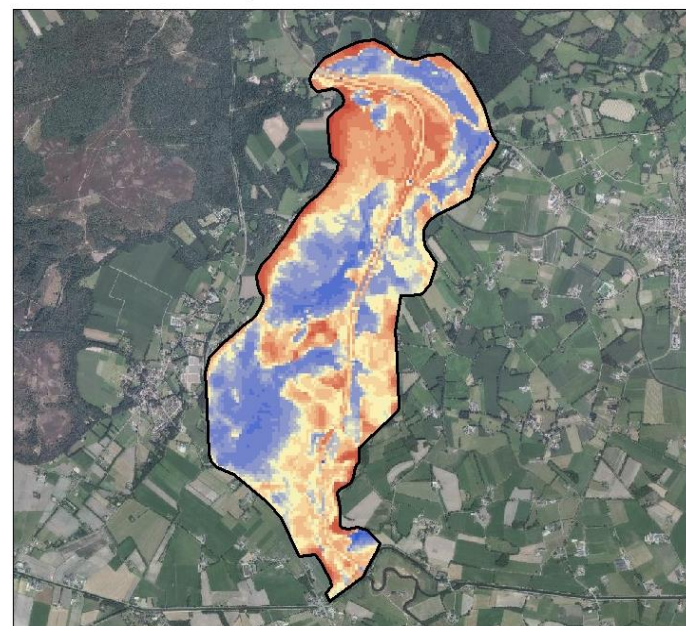
Regge Archem (V-ST_010)



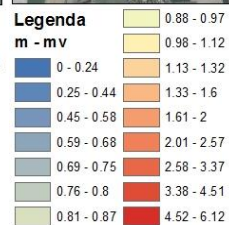
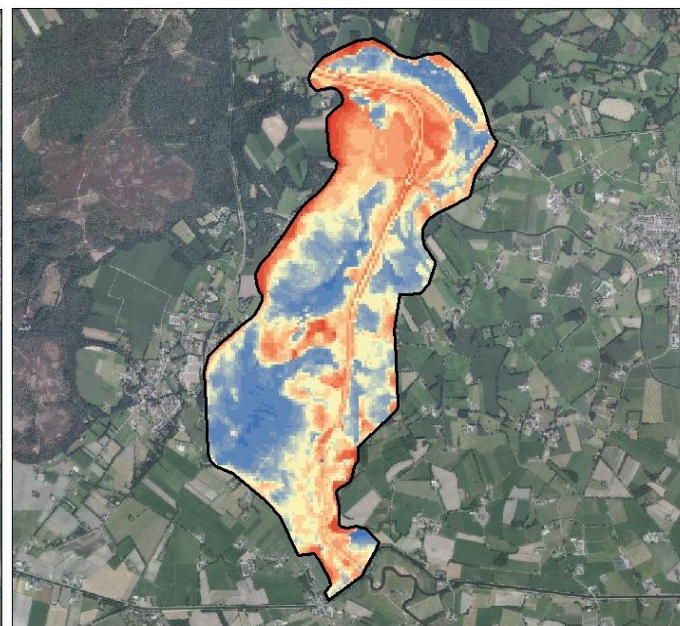
Bijlage M, Grondwatersysteemanalyse

Grondwaterstanden nooddrempel

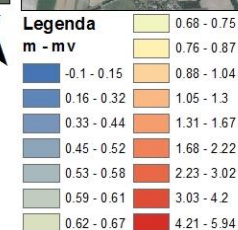
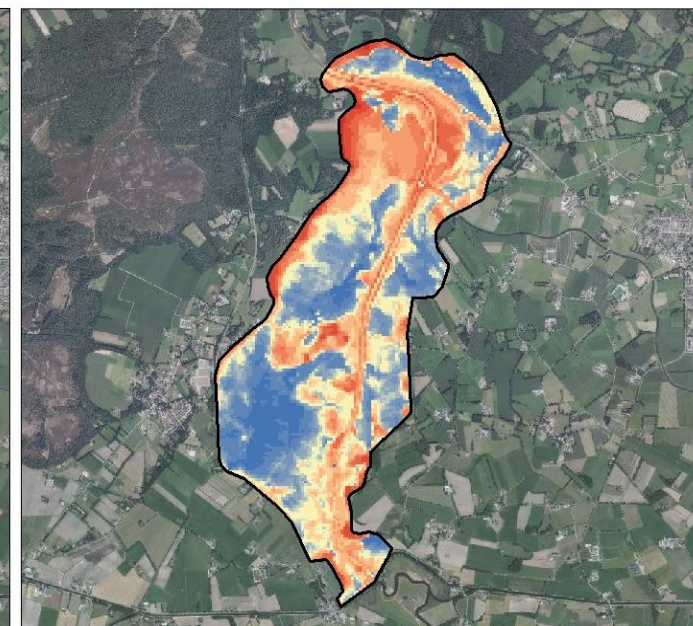
Situatie Nooddrempel: GLG



Situatie Nooddrempel: GVG

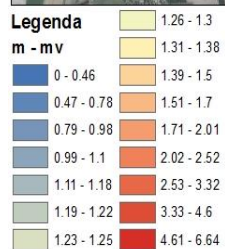
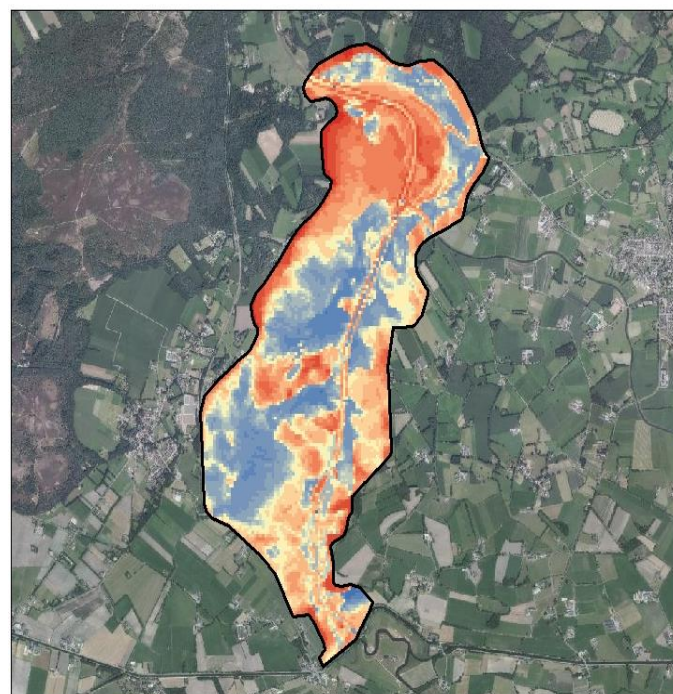


Situatie Nooddrempel: GHG



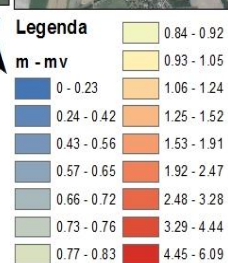
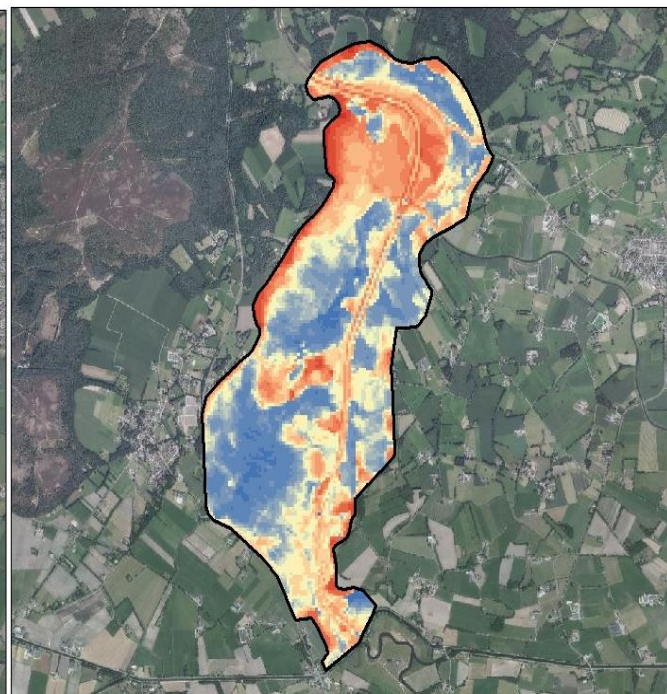
Grondwaterstanden functionerende stuw Archem

Situatie functionerende stuw: GLG



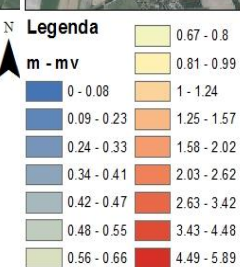
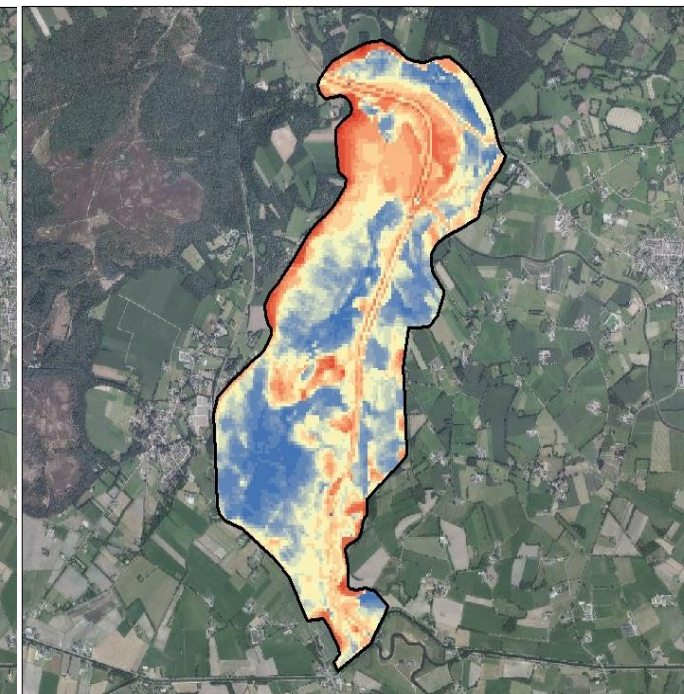
0 0.5 1 1.5 2 Kilometers

Situatie functionerende stuw: GVG



0 0.5 1 1.5 2 Kilometers

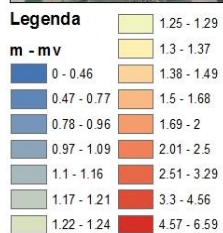
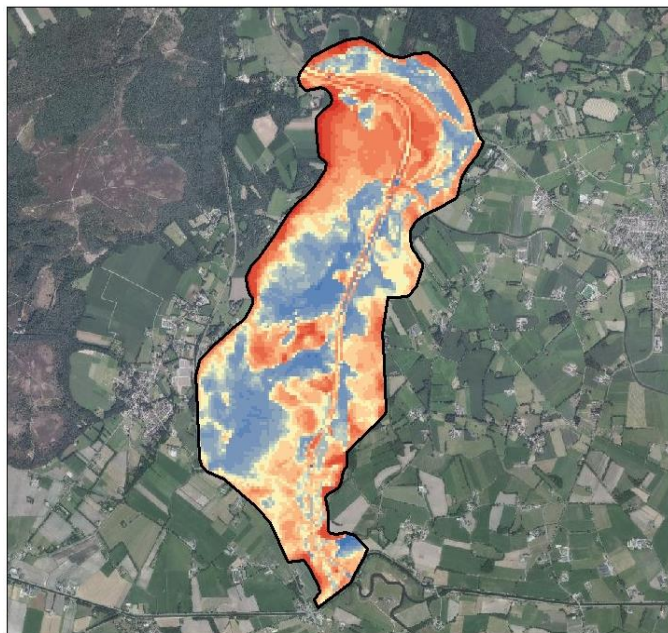
Situatie functionerende stuw: GHG



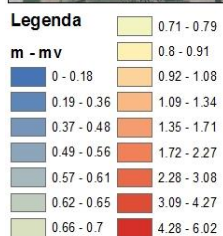
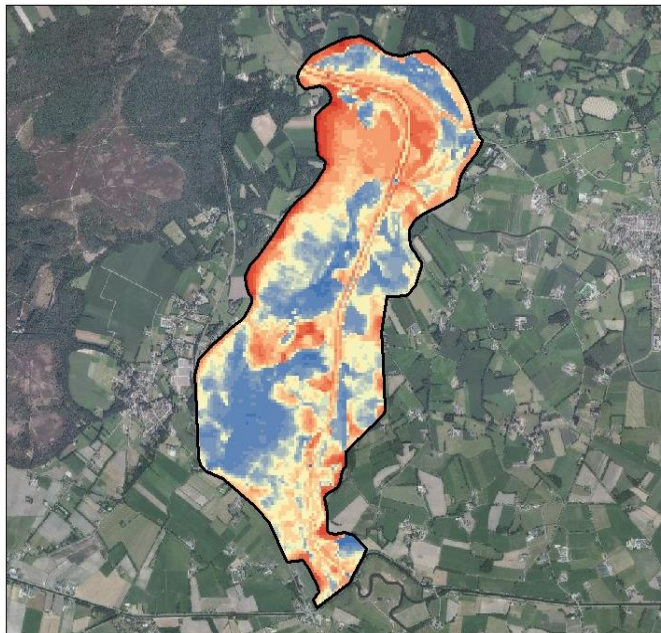
0 0.5 1 1.5 2 Kilometers

Grondwaterstanden voorkeursvariant

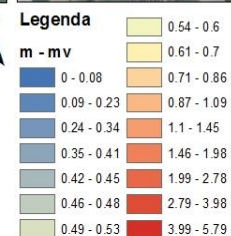
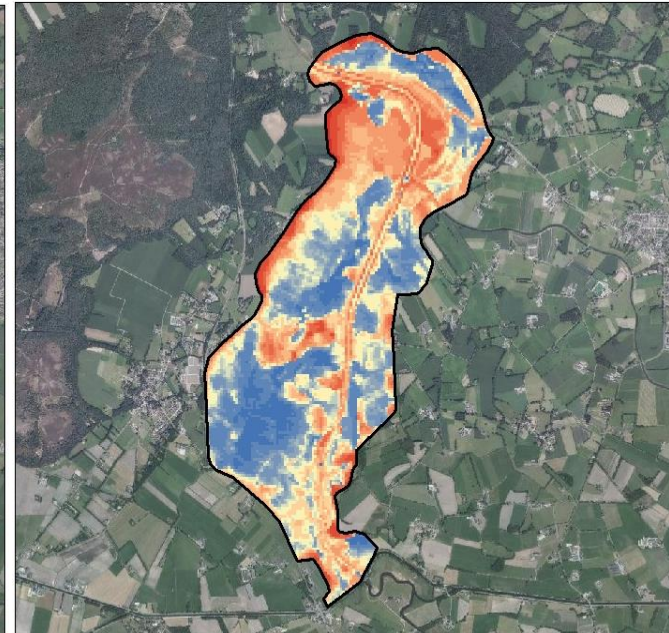
Situatie voorkeursvariant: GLG



Situatie voorkeursvariant: GVG

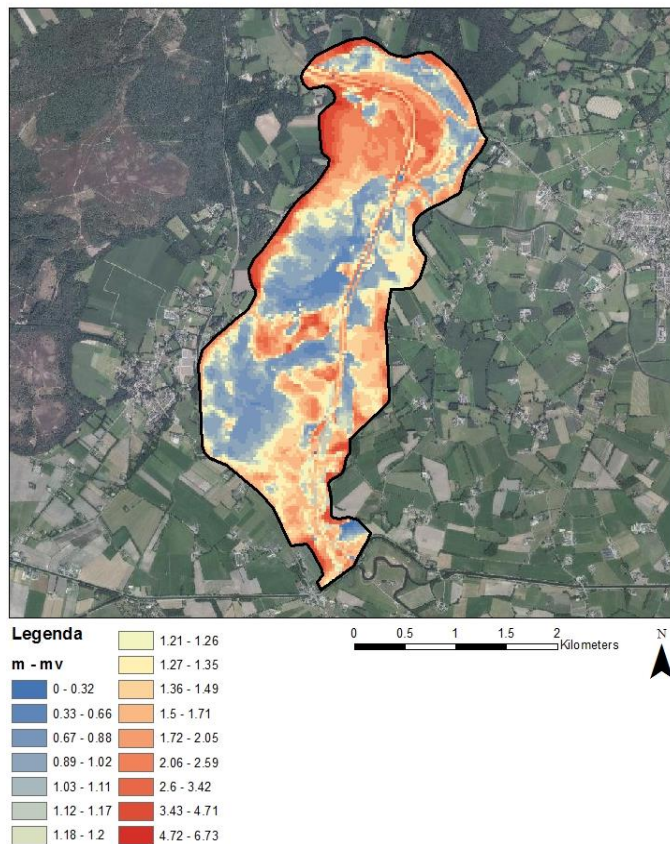


Situatie voorkeursvariant: GHG

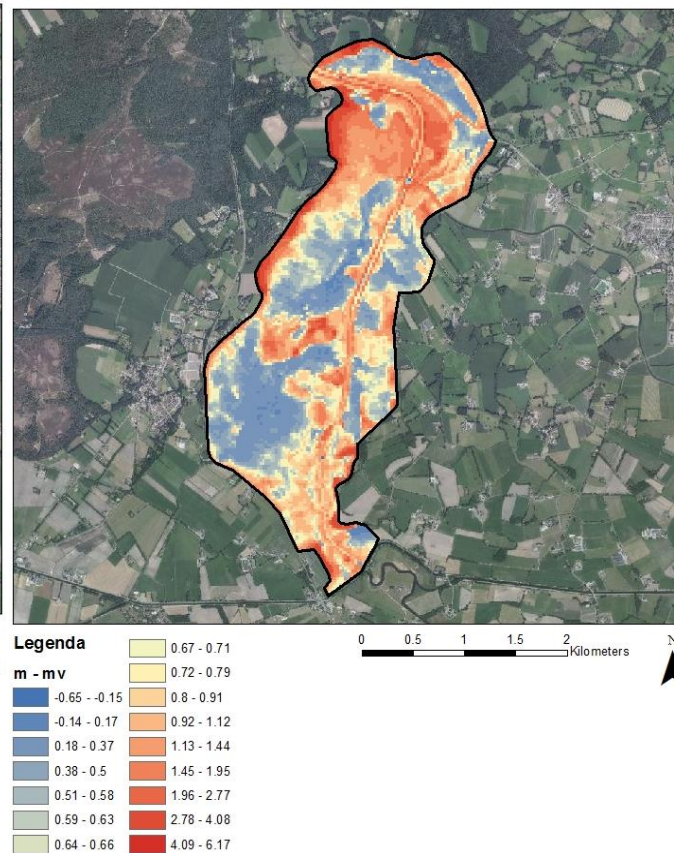


Grondwaterstanden voorkeursvariant W_h 2050

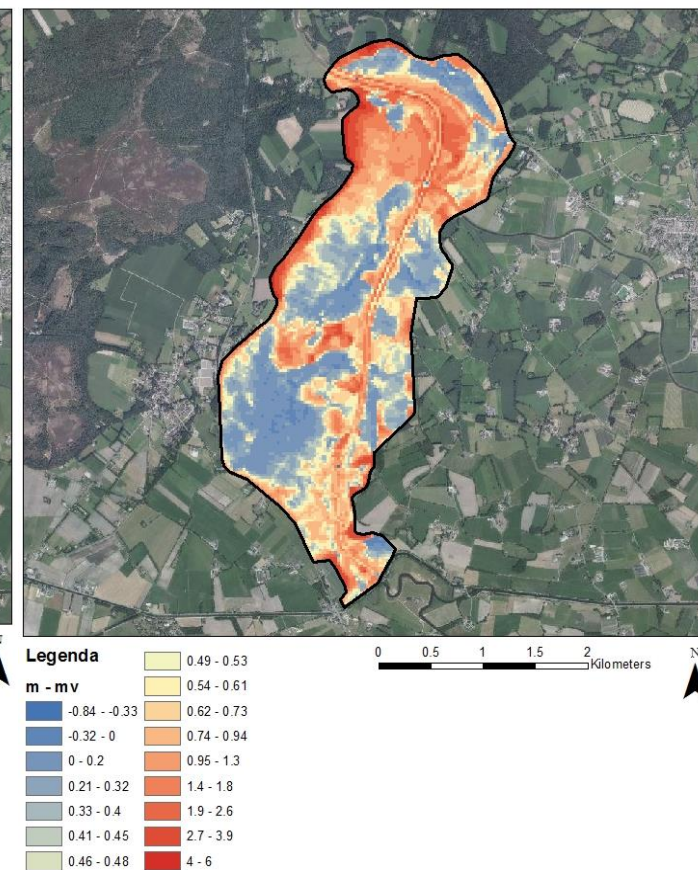
Klimaatscenario W_h voorkeursvariant: GLG



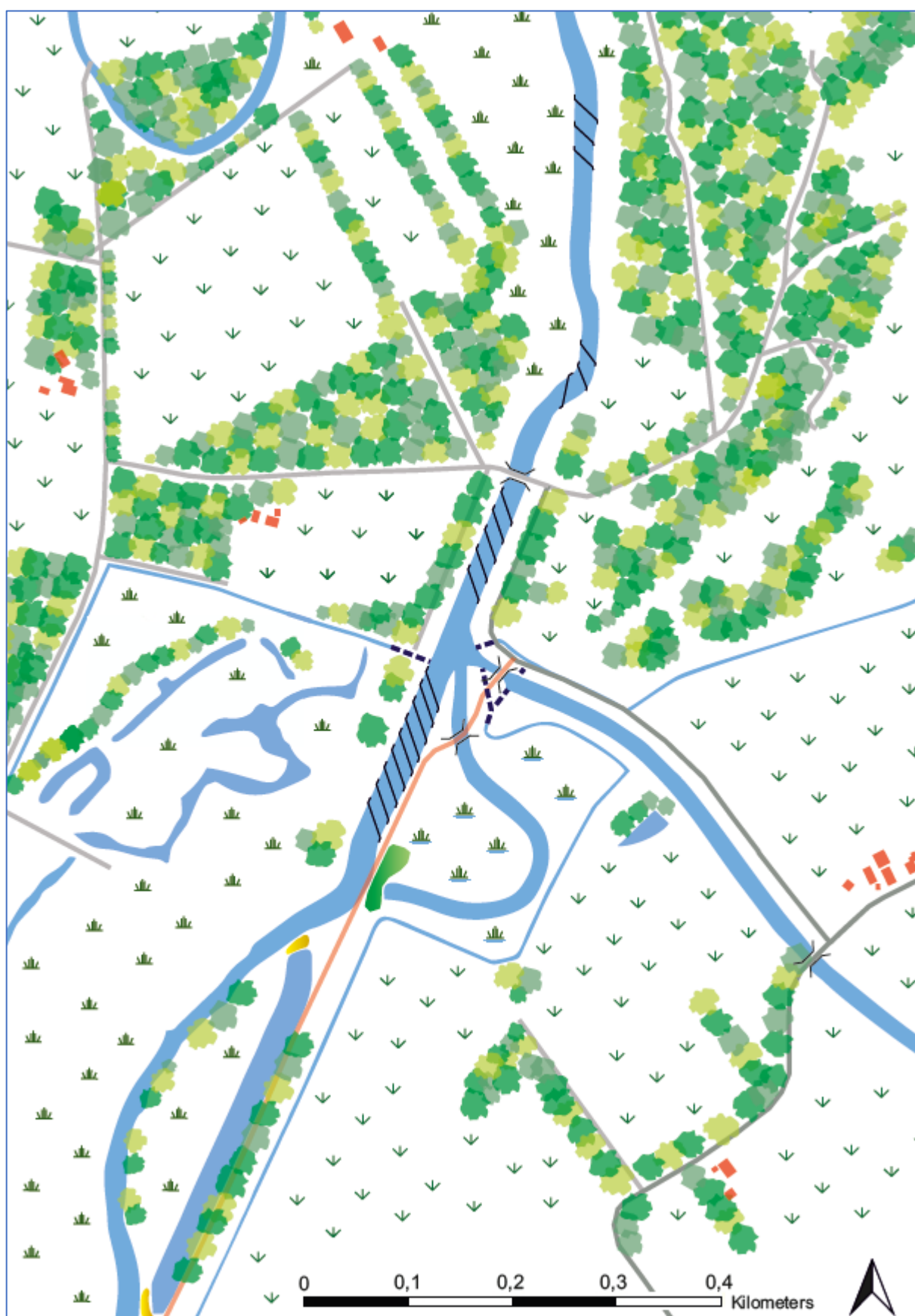
Klimaatscenario W_h voorkeursvariant: GVG



Klimaatscenario W_h voorkeursvariant: GHG



Bijlage N, Inrichtingsschets projectgebied

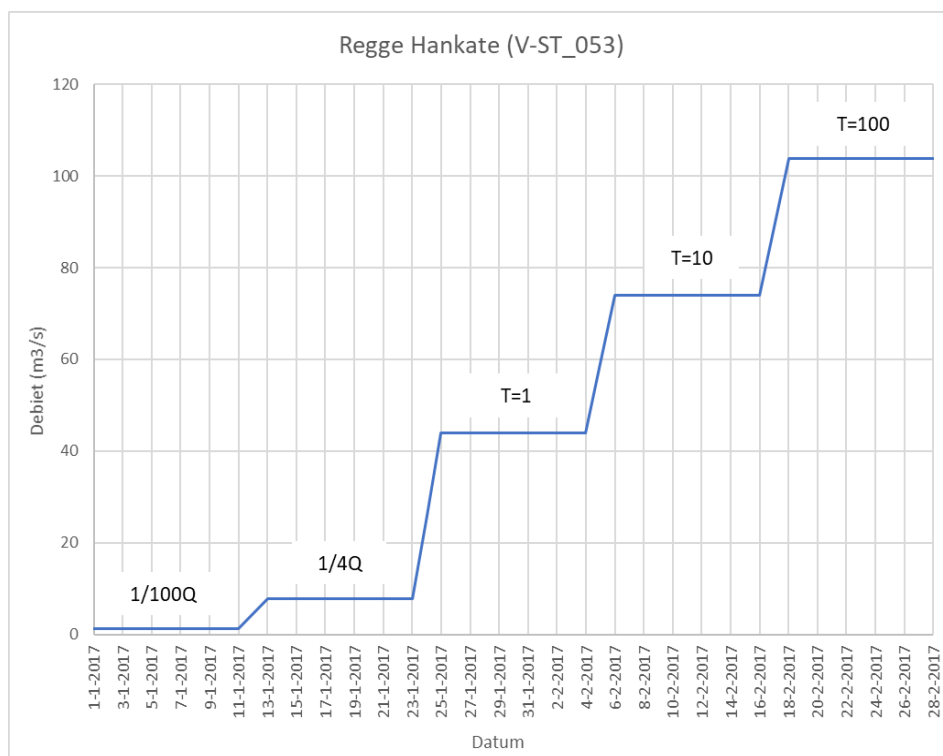


Bijlage O, Onderbouwing oppervlaktewatermodel

Het waterschap Vechtstromen heeft voor dit onderzoek een SOBEK-model beschikbaar gesteld voor het stroomgebied van de Regge (het Reggemodel). Dit model blijkt echter niet nauwkeurig genoeg door het ontbreken van de Linderbeek en overige waterlopen. Bovendien is het model afkomstig uit 1998, wat het model sterk verouderd maakt.

Daarom is besloten om een nieuw SOBEK-model te bouwen voor de situatie waarbij stuw Archem nog in bedrijf is. Het betreft hier een eendimensionaal, stationair model gebouwd binnen de landelijke module (1DFLOW Rural).

Er is gekozen voor dit modeltype omdat er in dit geval vijf gebeurtenissen in één berekening (case) gesimuleerd kunnen worden (figuur 24). De opbouw van het Reggemodel, waarbij eveneens vijf gebeurtenissen in één keer worden gesimuleerd, fungeert hierbij als voorbeeld. Deze manier van rekenen heeft als voordeel dat het sneller is dan een niet-stationaire berekening.



Figuur 24: Voorbeeld opbouw SOBEK-middel met vijf gebeurtenissen

Op basis van de afvoervakken, afkomstig uit Geonis², is er een netwerk gebouwd in SOBEK. Op dit netwerk komen de knopen te liggen van de kunstwerken en dwarsprofielen die eveneens afkomstig zijn uit Geonis.

Omdat de knopen nog geen data bevatten moeten deze gevuld worden met data vanuit Geonis. Na het handmatig valideren van de data is de data bruikbaar als input voor het model. Het handmatig invullen van de data in het model is een tijdrovend en foutgevoelig karwei. Daarom is gebruik gemaakt van de tool Excel2SOBEK (Bosch, sd). Deze tool vult snel en efficiënt het SOBEK-model met de data afkomstig uit Geonis.

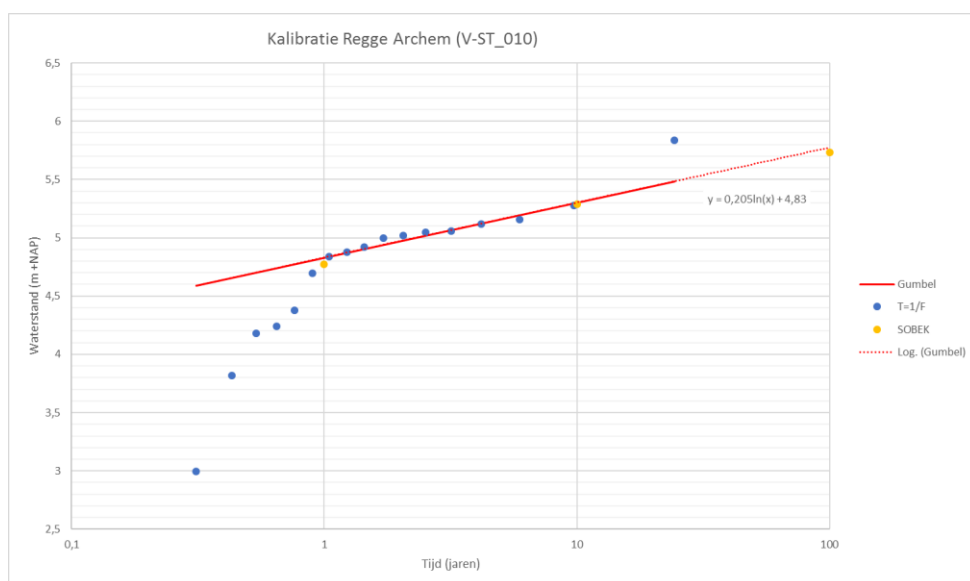
² Geonis is het ArcGIS-platform van het waterschap Vechtstromen die helpt bij het beheren en onderhouden van ondergrondse infrastructuur.

De bovenstroomse grenzen van het model zijn gevuld met debieten voor de verschillende gebeurtenissen. Desbetreffende debieten zijn verkregen door het maken van duurlijnen van de gevalideerde meetreeksen (afkomstig van het waterschap) van de volgende monitoringspunten:

- Regge Hankate (V-ST_053)
- Linderbeek Rohorst (V-ST_089)

Voor het genereren van een duurlijn voor de gebeurtenissen T=1 en hoger is gebruik gemaakt van de Langbein-transformatie. Deze transformatie heeft als voordeel dat er rekening gehouden wordt met meerdere pieken in één jaar. Sommige secundaire pieken in andere jaren kunnen hoger zijn geweest dan de piek waar je op dat moment naar kijkt. In dat geval onderschat je de overschrijdingsfrequentie van zo'n piek. Vervolgens wordt er op basis van de berekende herhalingstijd een Gumbel-kansverdeling gefit aan deze waarden. De kansverdeling resulteert in afvoeren voor de verschillende gebeurtenissen. Het genereren van een duurlijn voor de gebeurtenissen een 1/4Q en een 1/100Q gebeurt door daggemiddelde waarden van het winterhalfjaar van een meetreeks van groot naar klein te sorteren. Deze waarden worden in de grafiek uitgezet tegen de dagen in een jaar. Dit levert een duurlijn op waaruit de afvoeren voor de gebeurtenissen een 1/4Q en een 1/100Q bepaald kunnen worden.

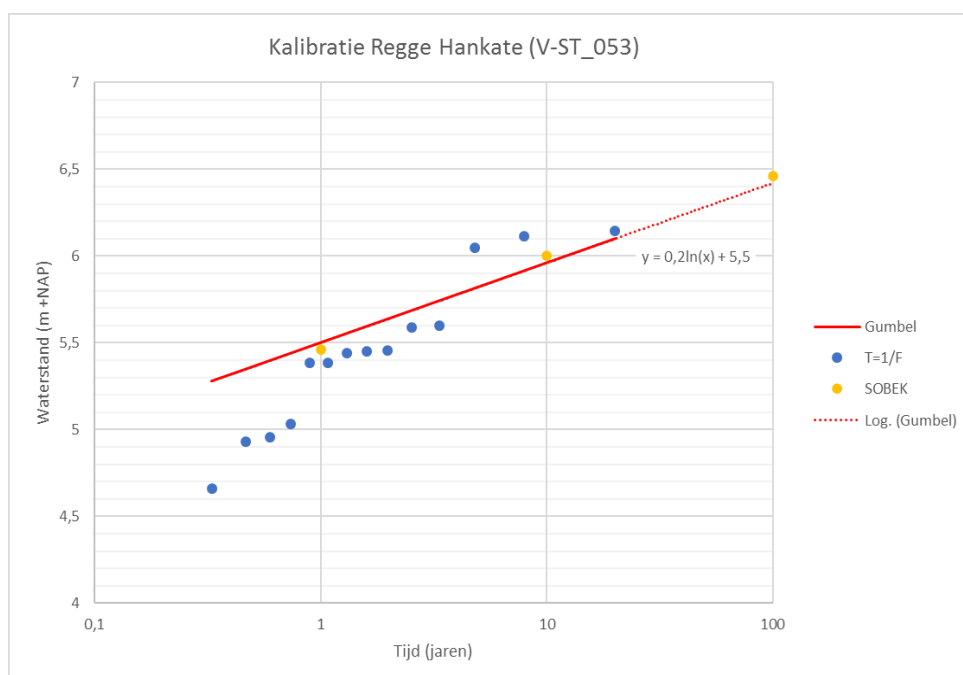
De benedenstroomse grens van het model in de Regge is gevuld met waterstanden voor de verschillende gebeurtenissen. Deze waterstanden zijn afkomstig uit het gesimuleerde Regge-model. Het SOBEK-model is vervolgens gesimuleerd en gekalibreerd. De kalibratie vindt plaats op basis van rekenpunten die benedenstrooms van stuw Hankate (V-ST_053) en stuw Archem (V-ST_010) liggen. Van desbetreffende monitoringspunten waren er respectievelijk meetreeksen van 14 en 17 jaar beschikbaar om de resultaten uit het model aan te kunnen fitten. De berekende waterstanden zijn vergeleken met duurlijnen van desbetreffende monitoringspunten. Door het aanpassen van de weerstand in de watergangen in het SOBEK-model is het resultaat van de modellering gefit aan de duurlijnen (figuur 25 en figuur 26).



Figuur 25: Kalibratie Regge Archem (V-ST_010)

Gebeurtenis	Waterstand SOBEK (m +NAP)	Waterstand duurlijn (m +NAP)	Verschil (cm)
1/100Q	2,67	2,66	0,58
1/4Q	3,12	3,02	10,15
T=1	4,77	4,83	6,00
T=10	5,29	5,30	1,20
T=100	5,73	5,77	4,41

Tabel 11: Resultaat kalibratie Regge Archem (V-ST_010)



Figuur 26: Kalibratie Regge Hankate (V-ST_053)

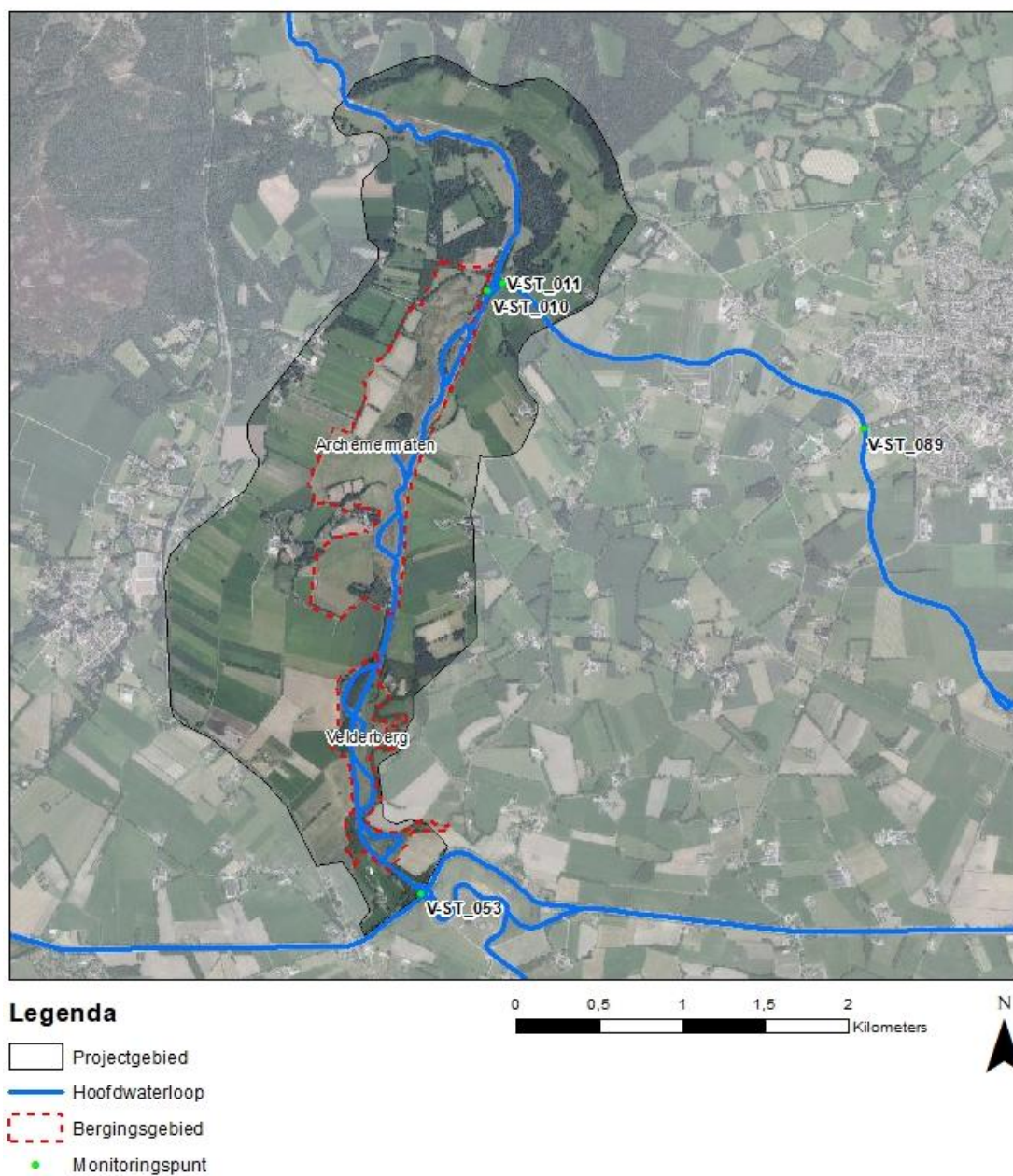
Gebeurtenis	Waterstand SOBEK (m +NAP)	Waterstand duurlijn (m +NAP)	Vershil (cm)
1/100Q	4,31	4,34	2,86
1/4Q	4,53	4,53	0,10
T=1	5,46	5,50	4,00
T=10	6,00	5,96	3,95
T=100	6,46	6,42	3,90

Tabel 12: Resultaat kalibratie Regge Hankate (V-ST_053)

Het gekalibreerde SOBEK-model vormt de basis voor het berekenen van het effect van de voorkeursvariant op het watersysteem. Het aanpassen van de modelschematisatie zal uiteindelijk resulteren in waterstanden die representatief zijn voor de verschillende gebeurtenissen.

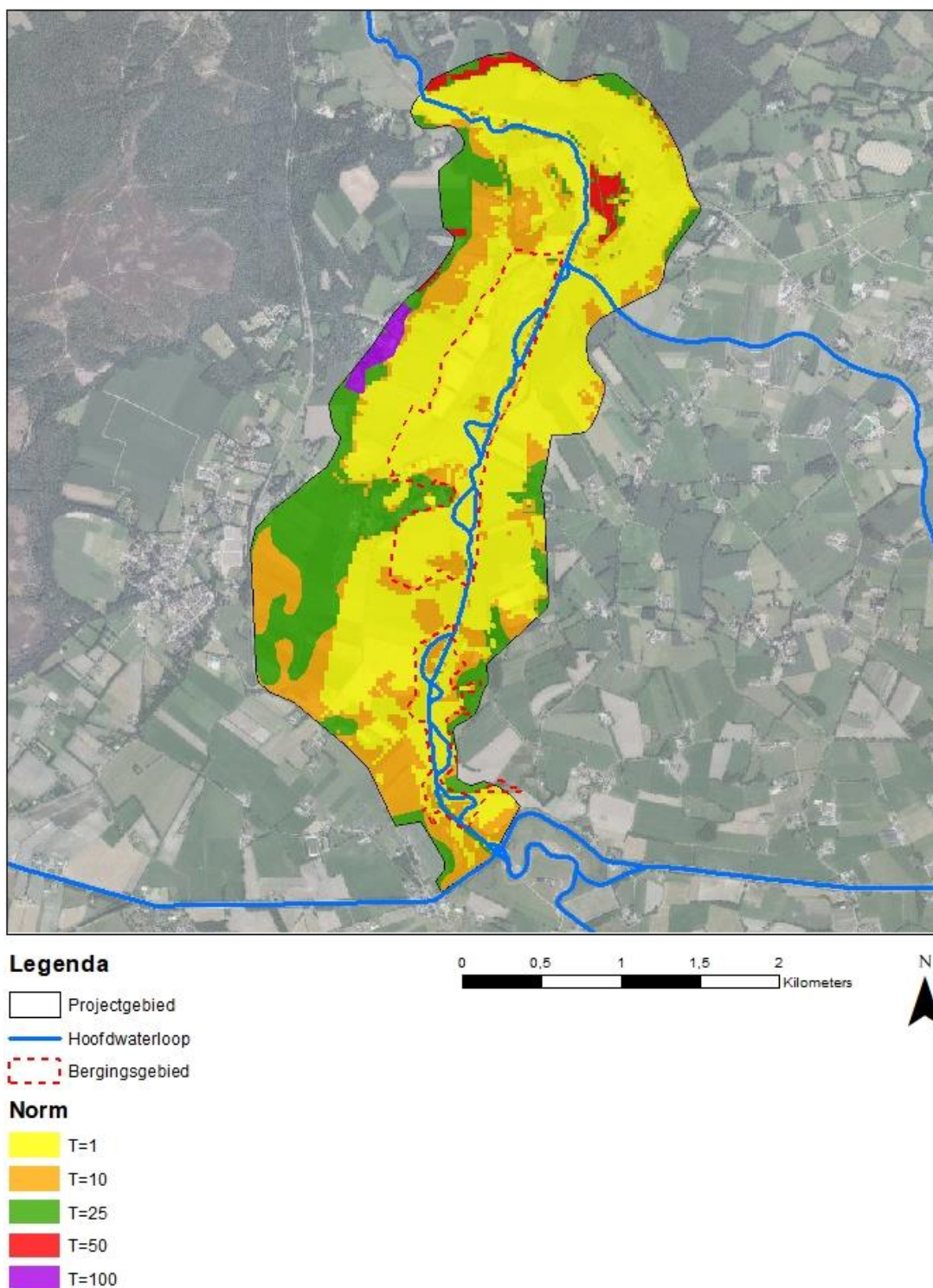
Bijlage P, Kaart bergingsgebieden en monitoringspunten

Bergingsgebieden en monitoringspunten



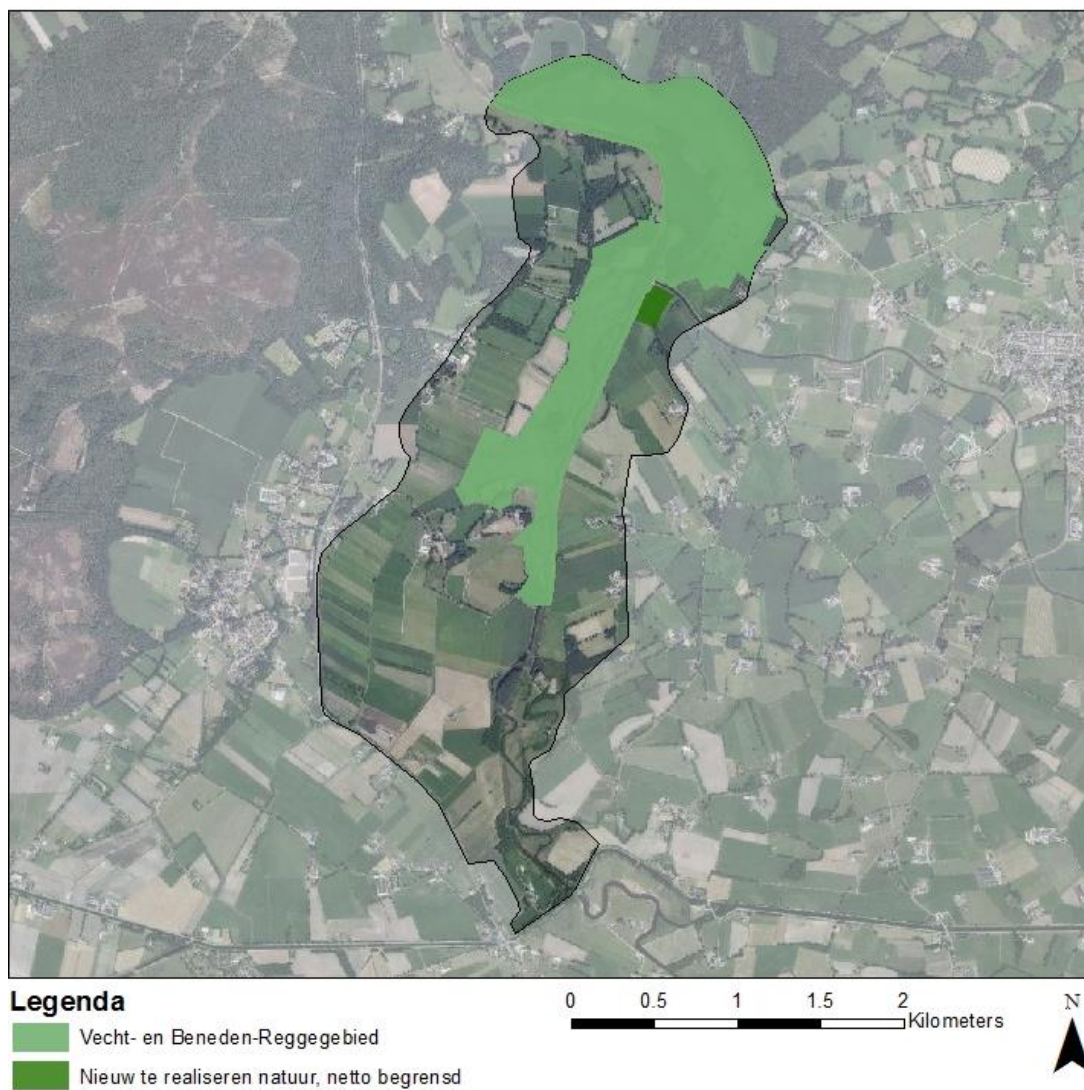
Bijlage Q, Kaart normering regionale wateroverlast

Normering regionale wateroverlast



Bijlage R, Kaart natuur

Natuur



Bijlage S, Kaart met kruinhoogten drempels cascadering

Kruinhoogten drempels cascadering



Legenda

▲ Kruinhoogte drempel (m +NAP)

Waterlopen

Formaat

— Hoofdwaterloop

— Waterloop