Oplegnotitie Kwistbeek VO-DO

Ons kenmerk VIF070

Datum 23-03-2026

Behandeld door [redacted]

1 KADER

Het Waterschap is van plan de benedenloop van de Kwistbeek her in te richten. Deze herinrichting richt zich op het traject Ingweg – uitstroom in de Maas en heeft als doel de ecologische waarde van het traject te verbeteren.

Het doel van deze oplegnotitie is het beschrijven van de verschillen tussen het voorlopig ontwerp (VO) en het definitief ontwerp (DO). Vervolgens worden de voor hydrologie relevante veranderingen uitgelicht. Daarnaast worden de belangrijkste punten uit het geohydrologisch rapport beschouwd.

Verder worden drooglegginsgskaarten getoond en toegelicht. Vervolgens worden deze drooglegginsgskaarten vergeleken met de resultaten uit het geohydrologisch rapport.

2 GEGEVENS

Voor het opstellen van deze oplegnotitie zijn meerdere gegevensbronnen beschikbaar, zoals hieronder genoemd. Indien het documenten van externe oorsprong betreft is de versie gebruikt zoals beschikbaar op de datum van het opstellen van deze notitie:

- Definitief Ontwerp Kwistbeek, Kragten
- Waterschapsverordening Waterschap Limburg
- Actueel hoogtebestand Nederland (AHN4), www.ahn.nl
- Rapport Geohydrologische effecten herinrichting Kwistbeek, DR70.IBM.20250217.IO.089.0.9-1, Witteveen en Bos – Arcadis, 03-04-2025
- Hydrologisch onderzoek herinrichting Kwistbeek, H2Opinion, 2023_026_Kwistbeek_hydrologieVO_3_0 (zie Bijlage 1)

3 VERGELIJKING VO-DO

Het definitief ontwerp (DO) is op een aantal locaties veranderd ten opzichte van het voorlopig ontwerp (VO). In dit hoofdstuk worden de belangrijkste hydrologisch relevante veranderingen toegelicht.

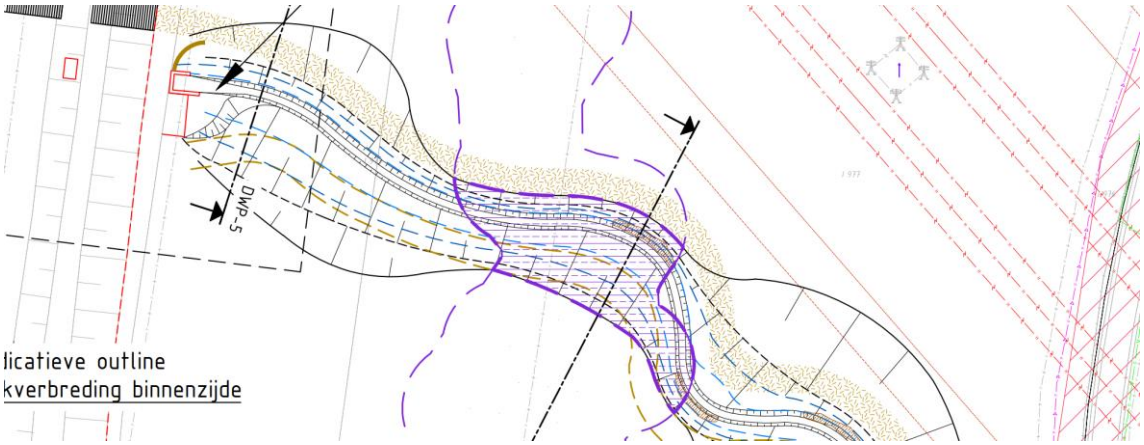
Een deel van de huidige loop van de Kwistbeek zal in het DO functioneren als een bergingssloot voor de kassen, die ten zuiden van deze bergingssloot gelegen zijn. Deze bergingssloot wordt aangesloten op de nieuwe beekloop door middel van een duiker met een terugslagklep, die aan het westelijke uiteinde van de bergingssloot gerealiseerd zal worden. Hierdoor kan de bergingssloot afwateren op de nieuwe beekloop, maar zal er geen water vanuit de nieuwe beekloop naar de bergingssloot stromen. Nabij het oostelijke uiteinde wordt een noodoverlaat vanuit de bergingssloot naar de nieuwe beekloop gerealiseerd. Deze noodoverlaat heeft een drempelhoogte van NAP +15,7 m. De bodem van de bergingssloot krijgt een

hoogte van NAP +14,75 m in het westen en NAP +14,85 m in het oosten. Door dit verhang stroomt het water in de bergingssloot richting de duiker met terugslagklep in het westen. De beekbodem ligt lager dan in het VO (ca. NAP +15,3 m), dit komt mede vanwege de inpassing van de overstort. In de huidige situatie heeft de beekbodem ter plaatse van de beoogde bergingssloot een bodemhoogte van NAP +14,67 m in het westen en NAP +13,74 m in het oosten.

Het traject van het DO is enigszins aangepast ten opzichte van het VO. Dit is hoofdzakelijk het gevolg van archeologische vondsten die zijn gedaan. Binnendijks is het tracé rondom de vondsten en de bijbehorende bufferzone gelegd (zie Afbeelding 1). Dit heeft voor een variatie in dwarsprofielen gezorgd. In het buitendijkse deel wordt het profiel ter plaatse van de grote vondst (gelegen tussen dijk en de weg Brangk) beperkt tot zijn twee fasen (zie Afbeelding 2). Hier wordt dus alleen het zomerbakje en het winterbakje gerealiseerd. Daarnaast ligt de buitendijks gelegen meander nabij de straat Vergelt, in het DO volledig buiten de zone van de hogedrukgasleiding (gevaarlijke inhoud).



Afbeelding 1. Binnendijks is het tracé rondom de (buffers) van de archeologische vondsten gelegd (paars gestreepte cirkels).

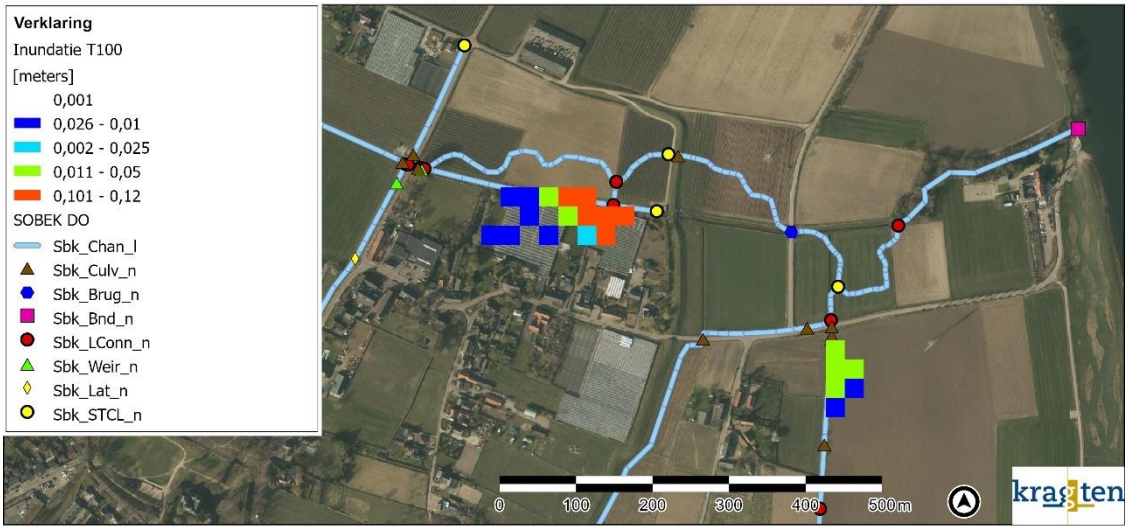


Afbeelding 2. Buitendijks is het profiel beperkt ter plaatse van de archeologische vondst (paar gearceerd vlak).

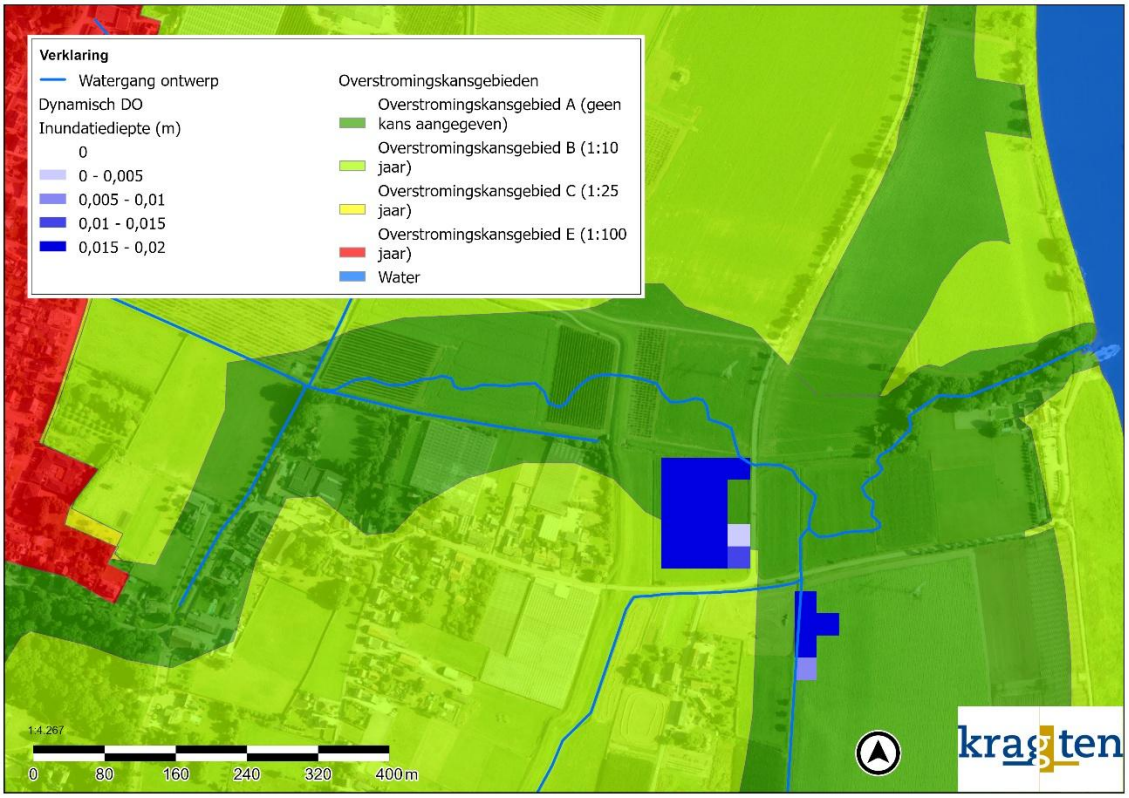
Hydrologische toetst wijziging profielen

Het zomerbakje en het winterbakje zijn niet fundamenteel verandert ten opzichte van het VO. Hoewel het tracé beperkt veranderd is, zijn bodemhoogten bijvoorbeeld niet gewijzigd. De resultaten voor de jaarlijkse terugkerende afvoeren van het VO gelden daarmee ook in belangrijke mate voor het DO. Belangrijker is het effect van de archeologische vondsten op de hogere delen van het dwarsprofielen. Deze delen zijn van

belang voor het opvangen van de piekafvoeren in de beek. Om te controleren wat het effect is van de nieuwe dwarsprofielen op piekafvoeren is een toetsberekening gemaakt met het 1D2D hydrologisch model zoals gebruikt voor het VO, maar dan met de nieuwe DO profielen. De maximale inundatie (uitgedrukt in meters waterdiepten) is getoond in Afbeelding 3 voor het VO en in Afbeelding 4 voor het DO.



Afbeelding 3. Inundatie in het VO in het geval van een T100 situatie.



Afbeelding 4. Inundatie in het DO in het geval van een T100 situatie.

Tussen het VO en DO is een verschil te zien in locaties die inunderen. Waar in het VO nog inundaties plaatsvinden vanuit de bergingssloot bij de kassen, zijn die in het DO niet meer aanwezig. Anderzijds ontstaan in het DO inundaties vanuit de Kwistbeek, net bovenstrooms van de weg Brangk. Deze inundaties

vinden plaats op het perceel gelegen tussen de Kwistbeek en de Donkerbemden. De maximale inundatiediepte in het DO is 0,02 m.

De profielversmalling in het tracé gelegen bij de archeologische vondsten leidt wel tot een verhoging in waterstanden. Doordat de profielversmalling met name heeft plaatsgevonden in de hogere delen van het profiel, heeft dit vooral effect op de waterstanden tijdens piekafvoeren. Voor een T100-afvoer zijn de waterstanden in het DO ongeveer 5 tot 10 cm hoger dan in het VO.

Om dit verschil in waterstanden tussen het DO en VO te compenseren, is gekeken naar het effect van het verbreden van de bodembreedte naar 2 m voor het beektracé van de Kwistbeek tussen stuw Ingweg en de noodoverlaat vanuit de bergingssloot. Dit leidt tot een maximale waterstandsverlaging van 3 cm. Dus, alleen het verbreden van de bodem compenseert niet het gehele effect van de versmalde bovenste delen in de dwarsprofielen. Vervolgens is gekeken of het verminderen van de ruwheid van de bodem leidt tot voldoende verlaging van de waterstanden in het DO. Hierbij is de ruwheid van het 'bakje' van 2 m breed verlaagd van k_s = 10 $m^{1/3}/s$ naar k_s =15 $m^{1/3}/s$. Dit leidt tot een waterstandsverlaging van maximaal 13 cm in dit deel van de beek. Dus, het versmallen van de profielen in het DO vanwege archeologische vondsten leidt tot waterstandsverhogingen van 5 tot 10 cm. Door tussen stuw Ingweg en de noodoverlaat van de bergingssloot de bodem van het tracé van de Kwistbeek te verbreden tot 2 m en de ruwheid te verlagen, wordt deze waterstandsverhoging van een T100-afvoer in het DO ten opzichte van het VO gecompenseerd voor dit deel van de beek.

Hydrologische toets ontwateringsroute Donkerbemden

Momenteel sluit de Donkerbemden aan op de Kwistbeek ten westen van de weg Brangk. Als gevolg van de tracéwijziging zal deze koppeling komen te vervallen. Daarnaast zal de Donkerbemden omgevormd worden tot een kwelgeul in een parallel lopend project (KRW Kwelgeulen, uitgevoerd door Waterschap Limburg, in opdracht van Rijkswaterstaat Zuid-Nederland). Het is daarom van belang dat de ontwatering van dit systeem in stand blijft. Er wordt daarom gekozen voor de realisatie van een nieuwe ontwateringsroute die begint bij de bestaande duiker van de Donkerbemden onder de Vergelt. Vervolgens buigt de nieuwe route naar het oosten en loopt parallel aan de Vergelt richting De Meer. Met behulp van een duiker (rond 700 millimeter) vervolgt de route zijn weg onder de Brangk. De ruimte tussen de hogedrukgasleiding en de weg Vergelt is zeer beperkt. De duiker is daarom ook nodig om de hogedrukgasleiding van de GasUnie te passeren. De duiker sluit vervolgens aan op De Meer. Om mogelijke vermenging van kwel- en beekwater te voorkomen wordt de duiker hier afgewerkt met een terugslagklep.

Voor de hydrologische toetst is met Waterschap Limburg afgestemd om uit te gaan van de lokaal geldende zonering van de Normering Regionale Wateroverlast. Het gebied staat in de Provinciale Omgevingsverordening aangeduid als een T10. Voor het bepalen van de afvoer wordt vervolgens de MA 2.0-kaart van het waterschap gehanteerd. Dit leidt tot de volgende afvoeren:

- Maatgevende afvoer volgens de MA 2.0-kaart: 43 liter per seconde;
- T10 met klimaatopslag (185% MA): 79,55 (≈ 80) liter per seconde.

Voor de watergang wordt een bodembreedte van een 0,5 meter aangehouden met 1:2 taluds. Deze heeft vanaf de huidige Donkerbemden tot aan de weg Brangk een lengte van 60 meter. De duiker heeft dus een diameter van 700 millimeter en een lengte (Brangk tot aan De Meer) van 60 meter. Voor de duiker wordt uitgegaan dat deze drie inspectieputten krijgt. Het hoogteverloop is als volgt:

- Bodemhoogte bij bestaande duiker Vergelt: NAP +14,3 meter;
- B.o.b. instroom duiker Brangk: NAP +14,2 meter;
- B.o.b. uitstroom duiker Brangk (in De Meer): NAP +14 meter.

De hydraulische toetsing is bijgevoegd in Bijlage 2. Voor de watergang komt de opstuwing uit op 3,4 centimeter. De duiker heeft een maximale opstuwing van 1,9 centimeter. In beide gevallen is dus sprake van een verwaarloosbare opstuwing bij deze piekafvoer. De opstuwing in de duiker valt bij gelijke lengte met de watergang lager uit vanwege de ruwheid. Beton is immers een stuk minder ruw dan een met gras begroeide watergang.

4 GEOHYDROLOGISCHE MODELSTUDIE

Witteveen en Bos-Arcadis heeft een geohydrologische modelstudie uitgevoerd (Rapport Geohydrologische effecten herinrichting Kwistbeek) om de effecten van de herinrichting (VO) van de benedenloop van de Kwistbeek op het geohydrologisch systeem te bepalen.

4.1 RESULTATEN

Uit de resultaten van de modellering volgt dat de herinrichting een lokaal effect tot een afstand van +/-200 meter heeft. Over het algemeen is het beeld dat de verlegging van de Kwistbeek zorgt voor een daling van de gemiddelde grondwaterstand (Afbeelding 5) en de GHG (Afbeelding 6) maximaal ca. 25 cm bovenstrooms van de dijk. De verlegging van de Kwistbeek zorgt voor lokaal verbeterde

ontwateringssituatie, waardoor deze daling optreedt. De oorzaak hiervan is de nieuwe ligging van de beek. De bodemhoogte van het ontwerp verschilt niet veel ten opzichte van de huidige situatie.

Op de locatie waar de Kwistbeek wordt gedempt en waar de stromingsrichting van de Donkerbemden zich draait richting het zuiden, stijgt het grondwater voor een GHG-, GLG- (Afbeelding 7) en gemiddelde grondwaterstandsituatie tot 25 cm. Deze stijging wordt veroorzaakt door het deels wegnemen van de ontwateringsfunctie door het dempen van dit deel van de beek. Het invloedsgebied van de stijgende grondwaterstand is het grootst bij de GLG-situatie en het kleinst voor de GHG-situatie.

De nieuwe meander van Kwistbeek (ten oosten van de weg Brangk) zorgt voor een daling van de GHG en gemiddelde grondwaterstand tot ca. 25 cm. Dit wordt veroorzaakt doordat deze meander een ontwaterende functie heeft in de nieuwe situatie. In de huidige situatie was de meander hier nog niet aanwezig en vond er ook geen ontwatering plaats in dit deel van het projectgebied. Ook de nieuwe verbinding tussen de Donkerbemden en De Meer heeft een ontwaterende functie en zorgt voor een grondwaterstandsdaling in de GHG-situatie.

4.1.1 EFFECTEN OP BEBOUWING

Regionaal zal de verlegging van de Kwistbeek niet tot significante verandering van de grondwaterstand leiden. Binnen het invloedsgebied staan enkele gebouwen en liggen voornamelijk agrarische percelen. De maximale verandering van de gemiddelde grondwaterstand en GHG is ter plaatse van deze panden kleiner dan 0,1 m. De GLG ter plaatse van bebouwing stijgt met minder dan 0,1 m. De ondergrond bevat nauwelijks zettingsgevoelige lagen die droog kunnen vallen als gevolg van de grondwaterstandverlaging. Daarnaast stijgt de GLG waardoor er geen risico is op zettingen. In de huidige situatie is de gemiddelde grondwaterstand en GHG meer dan 1 meter beneden maaiveld.

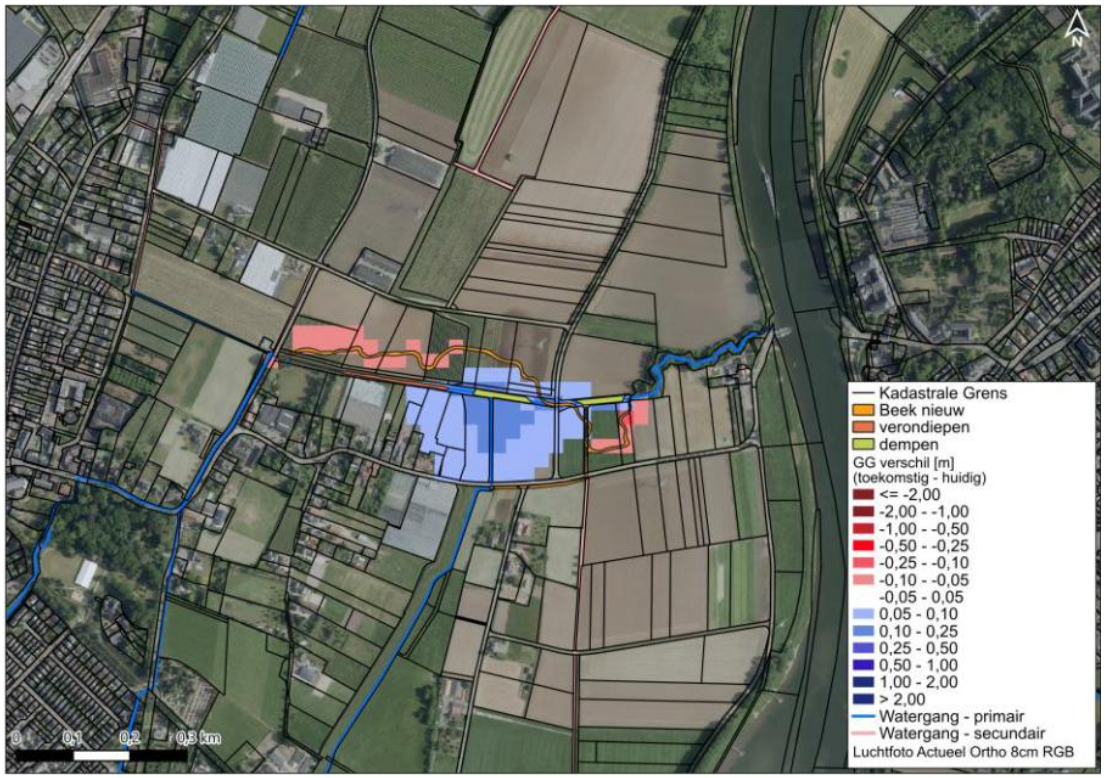
Alleen in relatief korte periode kan de grondwaterstand door hoogwater van de Maas minder dan 1 meter beneden maaiveld staan. Daarom wordt geen extra wateroverlast verwacht. De herinrichting zoals opgenomen in de berekeningen leidt niet tot negatieve effecten op gebouwen binnen het invloedsgebied.

4.1.2 EFFECTEN OP LANDBOUW

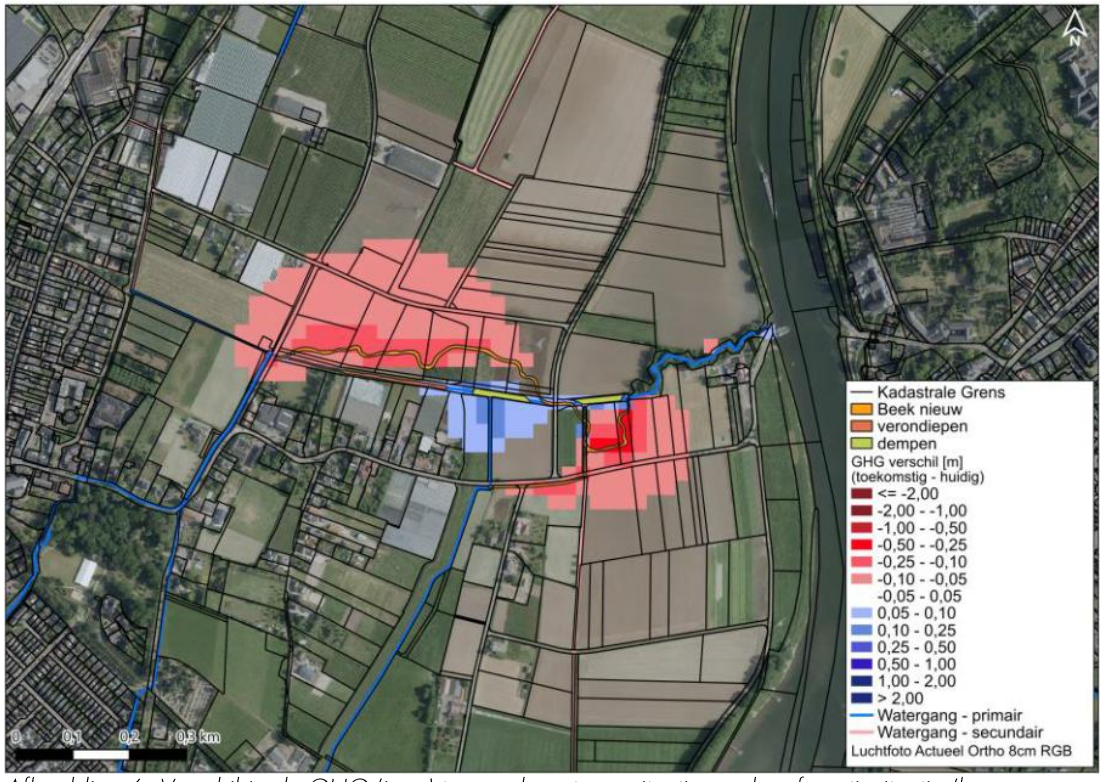
De agrarische gewassen bestaan voornamelijk uit graslanden en akkerlanden. In de huidige situatie is de gemiddelde grondwaterstand en de GHG gemiddeld meer dan 1 meter onder maaiveld. Behalve ter plaatse van de lagergelegen percelen zoals de percelen ten oosten en westen van de weg Brangk. In deze gebieden fluctueert de GHG rond maaiveld.

De agrarische gewassen zijn voornamelijk neerslaggevoed en beperkt afhankelijk van de grondwaterstand omdat over het algemeen de grondwaterstand dieper te vinden is dan de wortelzone (met uitzondering van de lagergelegen percelen). Een daling van de gemiddelde grondwaterstand en GHG heeft daardoor geen negatieve effecten op neerslag gevoede gewassen. Bovendien heeft een daling van de GHG voor laaggelegen percelen, die nu een beperktere ontwateringsdiepte hebben, een positieve bijdrage voor de gebruiksfunctie.

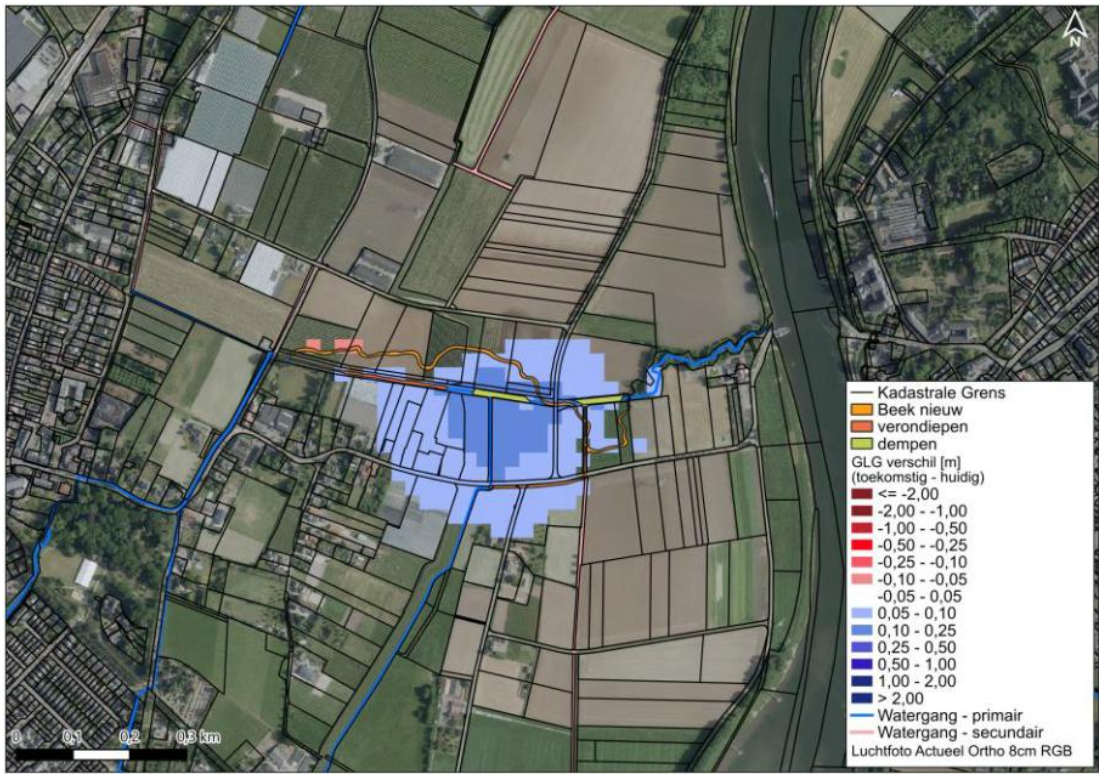
De verandering van de grondwaterstanden heeft vermoedelijk wel negatieve effecten op de lagergelegen percelen, voornamelijk het perceel tussen de Donkerbemden, gedempte Kwistbeek en de wegen Brangk en Vergelt. De stromingsrichting van de Donkerbemden gaat in het ontwerp richting het zuiden en watert vervolgens af naar De Meer. Deze lokale vernatting leidt mogelijk tot natschade op dit perceel.



Afbeelding 5: Verschil in de gemiddelde grondwaterstand (in m) tussen de ontwerpsituatie en de referentiesituatie (bron: Geohydrologische effecten herinrichting Kwistbeek, Arcadis, 2025).



Afbeelding 6: Verschil in de GHG (in m) tussen de ontwerpsituatie en de referentiesituatie (bron: Geohydrologische effecten herinrichting Kwistbeek, Arcadis, 2025).



Afbeelding 7: Verschil in de GLG (in m) tussen de ontwerpsituatie en de referentiesituatie (bron: Geohydrologische effecten herinrichting Kwistbeek, Arcadis, 2025).

5 TOETSING AAN ONTWATERINGSDIEPTE

Waterschap Limburg benoemt in het Waterbeheerprogramma 2022-2027 het volgende over ontwateringsnormen:

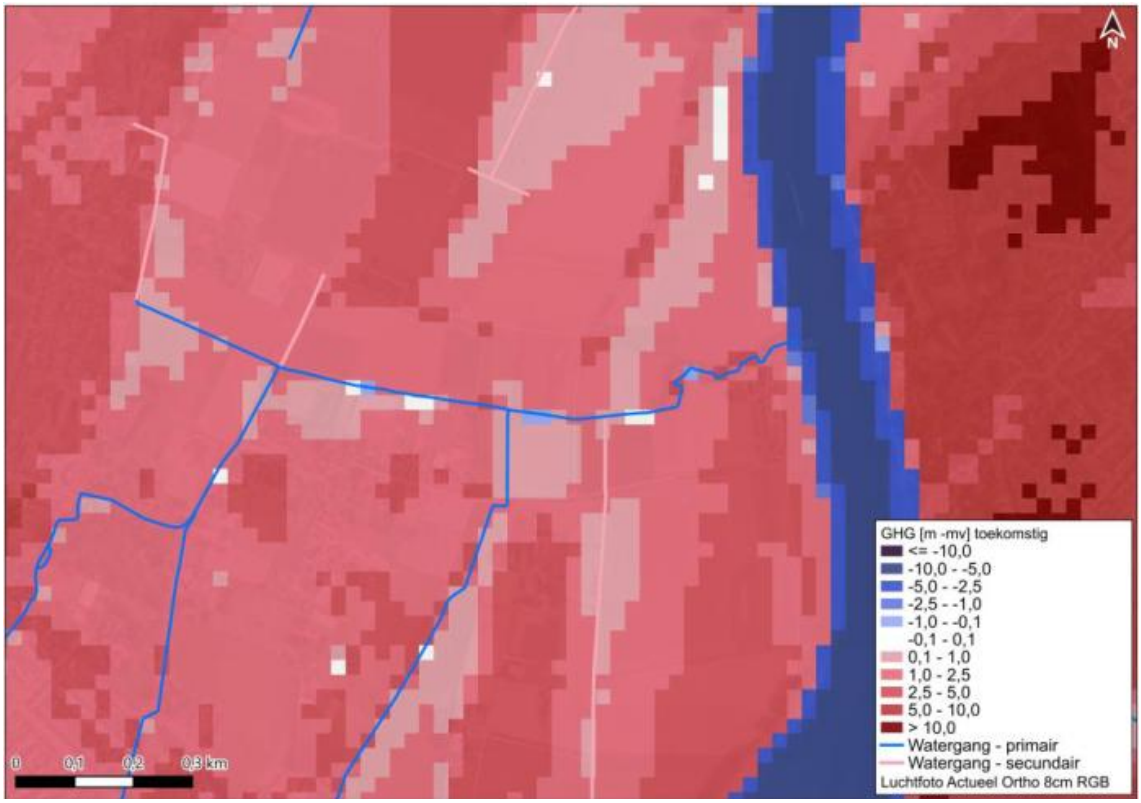
- "In agrarisch gebied buiten beekdalen en natuurbeken faciliteren we bij wijzigingen van grondgebruik tot maximaal de norm voor akkerbouw (zie Tabel 1). Diepwortelende gewassen zijn mogelijk op percelen die van nature een voldoende diepe ontwatering hebben.
- In beekdalen en natuurbeken geldt dat we streven naar herstel. We werken toe naar een ontwatering tot maximaal de graslandnorm en een natuurlijk peilverloop. Als de gewenste functie nog niet is gerealiseerd, faciliteren we het grondgebruik dat er op dat moment ligt."

Tabel 1: Toetsingswaarden ontwateringsdiepte

Bodemgebruik	**Maximale grondwaterstand onder normale omstandigheden*** in cm t.o.v. maaiveld**
Grasland	30 – 40
Akkerbouw	50 - 60
Diep wortelende gewassen	tot 100
Bebouwd gebied zonder kruipruimte	50 - 60
Bebouwd gebied met kruipruimte	100
Natuurterreinen	Variabel

* hierop sturen we volgens het principe 'hoog als het kan, laag als het moet'
** in de laagste delen van een beïnvloedbaar gebied

Afbeelding 8 geeft de GHG ten opzichte van maaiveld weer voor de ontwerpsituatie. Binnen het invloedsgebied van de beekverlegging (Afbeelding 5, Afbeelding 6 en Afbeelding 7) bevindt de GHG zich in het grootste deel 1,0 tot 2,5 m -mv. Het gebied waarin het laaggelegen perceel tussen de Donkerbemden, gedempte Kwistbeek en de wegen Brangk en Vergelt zich bevindt, heeft een GHG die tussen 0,1 m tot 1,0 m -mv gelegen is. Dit is ook het perceel waar de verhoging van de grondwaterstand (zoals beschreven in het vorige hoofdstuk) kan leiden tot natschade, omdat de GHG zich niet ver onder het maaiveld bevindt. Een mogelijke oplossing hiervoor is het afkopen van de natschade.



Afbeelding 8: GHG ten opzichte van maaiveld (m -mv) in de toekomstige situatie.

6 CONCLUSIE

De vergelijking tussen VO en DO laat zien dat er voor de jaarlijkse afvoeren niet veel veranderd is. De ontwerpwijzigingen hebben geen negatief effect op de inundatie bij piekafvoeren. Echter, de waterstanden stijgen voor een T100-afvoer ter plaatse van het versmalde beektracé vanwege de archeologische vondsten met ongeveer 5 tot 10 cm. Door tussen stuw Ingweg en de noodoverlaat van de bergingssloot de bodem van het tracé van de Kwistbeek tussen te verbreden tot 2 m en de ruwheid te verlagen, wordt deze waterstandsverhoging gecompenseerd voor dit deel van de beek.

Het geohydrologisch rapport concludeert dat de verlegging van de Kwistbeek niet tot significante verandering van de grondwaterstand zal leiden op regionale schaal. Op lokale schaal is de grondwaterstandsverandering maximaal 0,25 m met een invloedsgebied van maximaal 200 m. Binnen het invloedsgebied staan enkele gebouwen en liggen voornamelijk agrarische percelen. Verwacht wordt dat de beperkte verandering van de grondwaterstanden geen negatieve effecten heeft op de panden binnen het invloedsgebied. De agrarische gewassen zijn voornamelijk neerslaggevoed en beperkt afhankelijk van de grondwaterstand omdat over het algemeen de grondwaterstand dieper te vinden is dan de wortelzone (met uitzondering van de lagergelegen percelen). Een daling van de grondwaterstand en GHG heeft daardoor geen negatieve effecten op percelen met neerslag gevoede gewassen. Bij percelen met een beperkte ontwateringsdiepte is de grondwaterstandsdaling een positief effect.

De resultaten van de geohydrologische modelstudie tonen een negatief effect op de lagergelegen percelen, voornamelijk het perceel tussen de Donkerbemden, gedempte Kwistbeek en de wegen Brangk en Vergelt. De stromingsrichting van de Donkerbemden gaat in het ontwerp richting het zuiden en watert vervolgens af naar De Meer. Deze stromingsrichtingsverandering is nodig omdat bij realisatie van het nieuwe tracé van de Kwistbeek de Donkerbemden aldaar afgekoppeld wordt. Om afwatering te blijven garanderen is aansluiting op De Meer van belang. Echter, dit leidt tot een lokale vernatting met mogelijk natschade op het hierboven genoemde perceel. Ook de drooglegginskaart van de GHG toont aan dat de GHG ter plaatse van dit perceel minder dan 1,0 m -mv gelegen is.

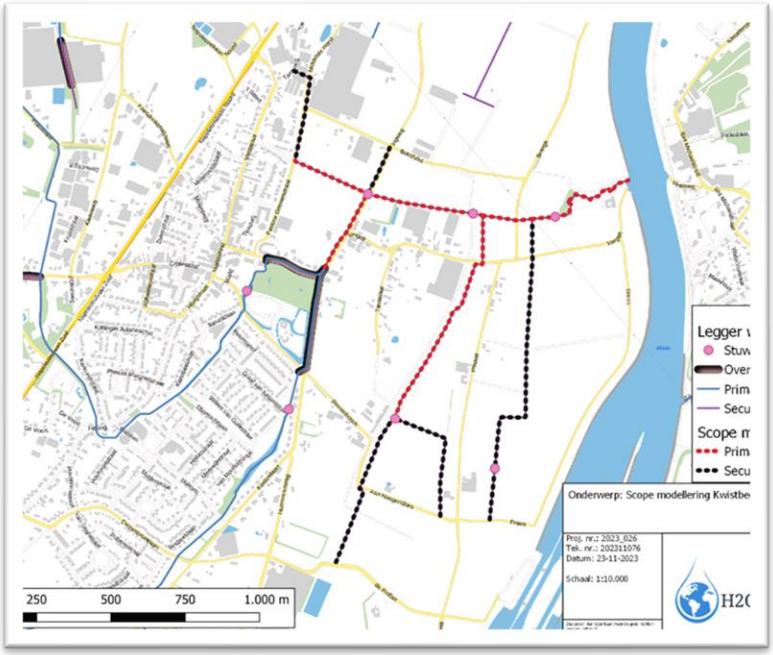
Bijlagen

1. Hydrologisch onderzoek herinrichting Kwistbeek, H2Opinion, 29-04-2024
2. Hydraulische toetsing watergang en duiker ontwateringsroute Donkerbemden

Bijlage 1 - Hydrologisch onderzoek herinrichting Kwistbeek, H2Opinion, 29-04-2024

Hydrologisch onderzoek herinrichting Kwistbeek

Onderzoek naar de effecten van de beoogde herinrichting in en rondom de Kwistbeek (VO-fase)





H_2Opinion
Croy 7
5653 LC, Eindhoven
www.H2Opinion.nl

Titel
Hydrologisch onderzoek herinrichting Kwistbeek

Subtitel
Onderzoek naar de effecten van de beoogde herinrichting in en rondom de Kwistbeek (VO-fase)

Kenmerk
R_2023_026_VO

Revisie
Versie 3.0

Datum
29-04-2024

Auteur(s)
[redacted] H_2Opinion
[redacted] H_2Opinion

In opdracht van:
Kragten B.V.

Opgesteld door:
H_2Opinion
Croy 7
5653 LC, Eindhoven
www.H2Opinion.nl
info@H2Opinion.nl

Inhoudsopgave

1. Inleiding 4
1.1. Aanleiding 4
1.2. Doelstellingen 4
1.3. Leeswijzer 4

2. Gebiedsbeschrijving 5
2.1. Topografie en grondgebruik 5
2.2. Hoogte 7
2.3. Geomorfologie 9
2.4. Bodem 10

3. Beleid en randvoorwaarden 11
3.1. Waterbeheerprogramma 2022- 2027 en omgevingsverordening 11
3.2. Normering Regionale wateroverlast 12
3.3. Kaderrichtlijn water 12
3.4. Randvoorwaarden doelsoorten 13

4. Werking grond- en oppervlaktewatersysteem (huidige situatie) 14
4.1. Oppervlaktewatermodellering 14
4.2. Samenvatting werking systeem 27

5. Maatregelen en effecten 28
5.1. Maatregelen 28
5.2. Effecten 33

6. Conclusie 49

Bijlage 50
Bijlage 1: Opbouw SOBEK-modellering 51
Bijlage 2: Frequentieanalyse afvoeren 58

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

Het Waterschap is voornemens de benedenloop van de Kwistbeek her in te richten. Deze herinrichting richt zich op het traject Ingweg – uitstroom in de Maas en heeft als doel de ecologische waarde van het traject te verbeteren.

De herinrichting valt samen met de geplande aanpassingen van de waterkeringen rondom Baarlo in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma van het Waterschap en beoogde ecologische aanpassingen van Rijkswaterstaat in het Maasdal. Beide plannen hebben invloed op de ligging en scope van de beoogde herinrichting van de Kwistbeek. In deze rapportage zijn de beperkingen rondom deze ontwikkelingen voor zover mogelijk meegenomen. De beschrijvingen en consequenties voor het ontwerp van deze onderdelen worden in latere fasen van de herinrichting naar noodzaak aangevuld en/of gecorrigeerd.

1.2. Doelstellingen

Het doel van de rapportage is als volgt:

- De beschrijving van de maatregelen ten behoeve van het verbeteren van de abiotische randvoorwaarden van de Kwistbeek;
- De uitwerking van de effecten van de beoogde maatregelen op reguliere afvoersituaties en afvoerextremen.

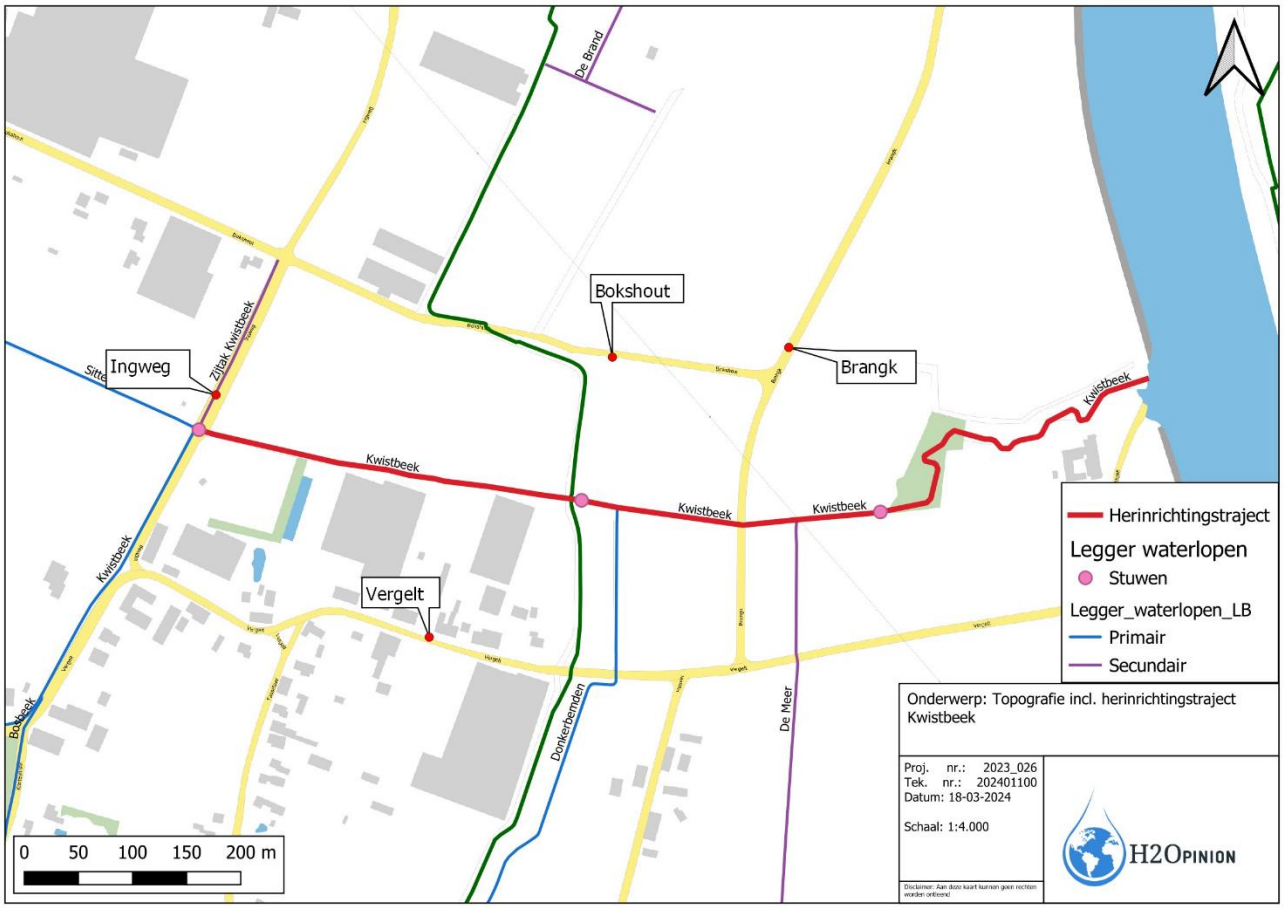
1.3. Leeswijzer

Het rapport is opgedeeld in 6 hoofdstukken. Een korte gebiedsbeschrijving is opgenomen in hoofdstuk 2. Het relevante beleid is opgenomen in hoofdstuk 3. Een beschrijving van de werking van het grond en oppervlaktewatersysteem is opgenomen in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 4 bevat eveneens een beschrijving van de SOBEK-modellering voor het oppervlaktewater. Hoofdstuk 5 bevat de beoogde maatregelen en effecten zoals voorzien in de VO-fase. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies en aanbevelingen.

2. Gebiedsbeschrijving

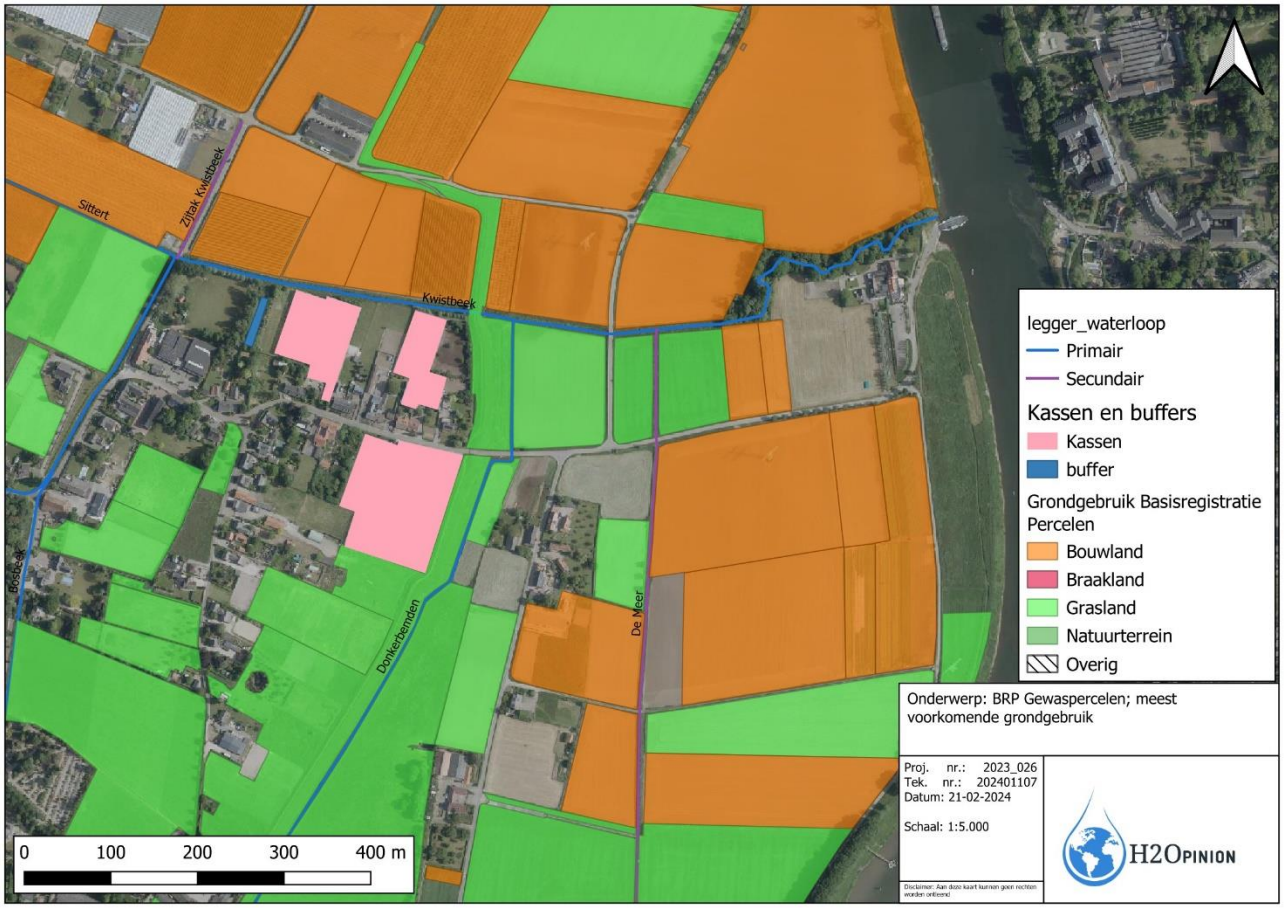
2.1. Topografie en grondgebruik

De Kwistbeek ontspringt in Panningen en stroomt via Baarlo naar de Maas. De benedenloop van de beek stroomt door het Maasdal en wordt doorsneden door een waterkering die het buurtschap Vergelt beschermt tegen hoge Maasstanden. Het herinrichtingstraject begint bij de Ingweg en eindigt in de Maas. Het traject tot aan de uitstroom in de Maas heeft reeds een geschikte ecologische inrichting. De beoogde maatregelen in de Kwistbeek zijn uitgewerkt in hoofdstuk 5. De Kwistbeek, omliggende waterlopen zoals de zijtakken de Donkerbemden en de Meer en relevante wegen zijn weergegeven in de volgende figuur.



Figuur 1: Topografie en herinrichtingstraject Kwistbeek. Waterkeringen in groen gemarkeerd.

Het meest voorkomende grondgebruik is weergegeven in de volgende afbeelding. De lagergelegen gronden zijn veelal, maar niet in alle gevallen, in gebruik als grasland. Een deel van de percelen zijn in gebruik als bouwland, waaronder enkele boomgaarden. Tussen de Ingweg en de waterkering liggen eveneens diverse kassen (zie volgende figuur). De aanwezigheid van de kassen is meegenomen bij de toetsing van de effecten.



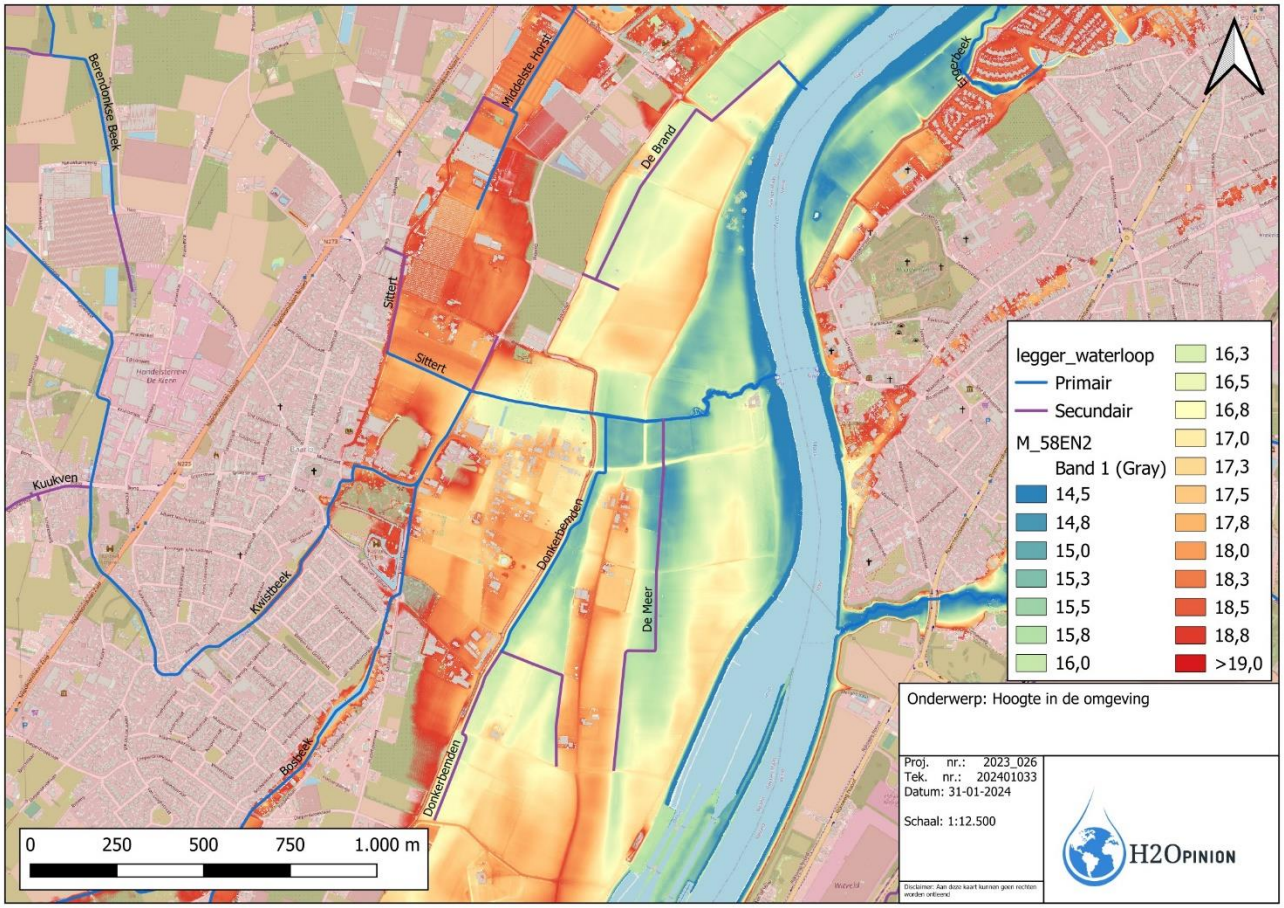
Figuur 2: Meest voorkomende grondgebruik op basis van de basisregistratie percelen (BRP)

2.2. Hoogte

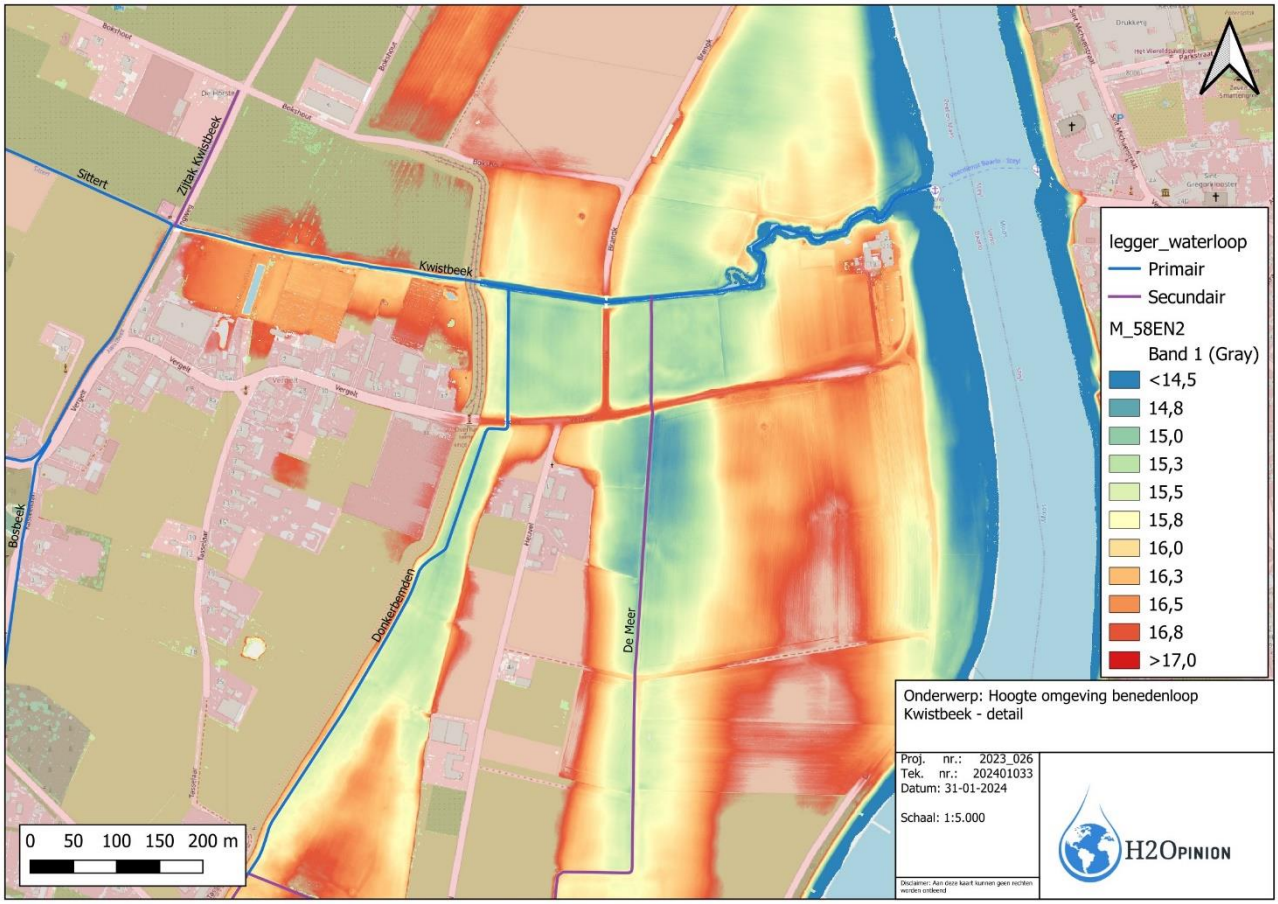
De hoogte van de Kwistbeek en omgeving is weergegeven in Figuur 3 en Figuur 4. De lagergelegen gronden aan de westzijde van de dijk (binnendijks) hebben een hoogte tussen 16,3 m NAP en 18,0 m NAP. Het overgrote gedeelte van deze gronden ligt hoger dan 18,0 m NAP. De gronden aan oostzijde van de dijk liggen een stuk lager en hebben een hoogte tussen de 15 m NAP en 16,5 m NAP.

Er zijn een drietal oude Maasgeulen zichtbaar. De twee Maasgeulen bevatten de waterlopen de Meer en de Brandt. Beide waterlopen stromen uit in de Kwistbeek. In het noorden, niet in het stroomgebied van de Kwistbeek, ligt de voormalige maasgeul die ontwaterd wordt via de waterloop 'De Brandt'. De Maasgeulen hebben een hoogteverloop van ca. 15,30 m NAP tot 14,70 m NAP.

De bebouwing (Vergelt 21) en de weg de Vergelt bij de uitstroom in de Maas ligt hoger dan 16,5 m NAP. De weg de Brangk ligt op circa 16,7 m NAP tot 17,0 m NAP. De laagstgelegen gronden langs de Kwistbeek hebben een hoogte van ca. 15,0 m NAP tot 15,1 m NAP. Langs de waterloop de Meer, bovenstrooms van de weg Vergelt, ligt een perceel op ca. 14,70 m NAP.



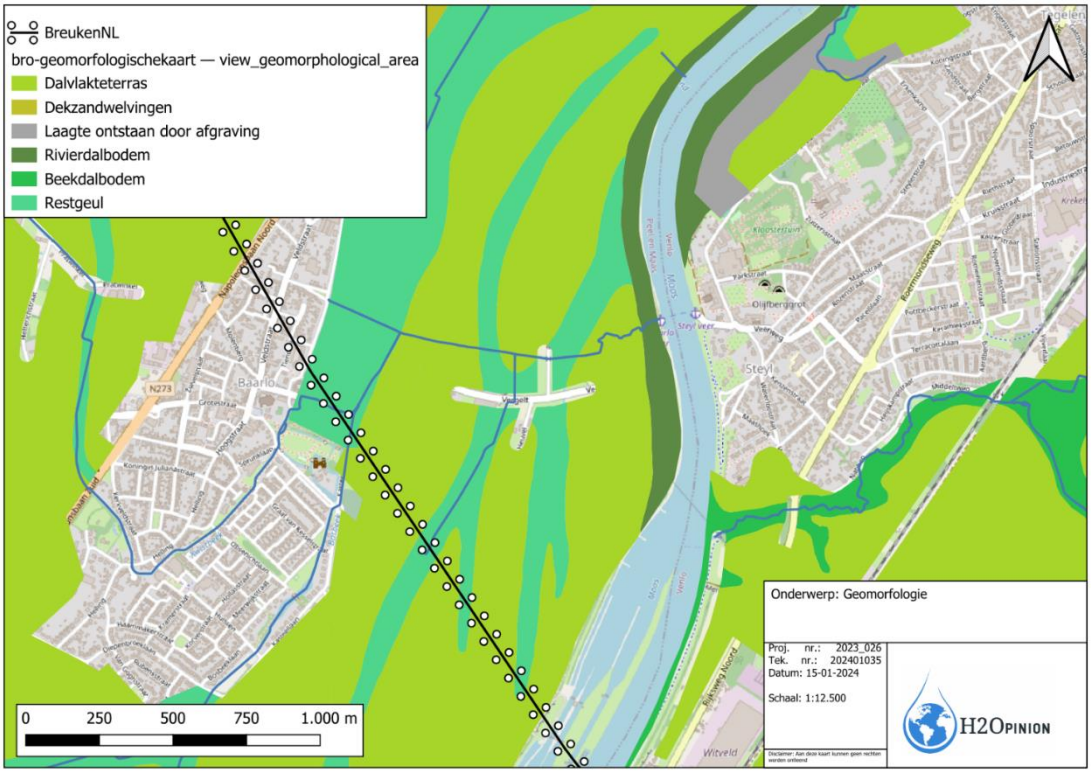
Figuur 3: Hoogtekaart omgeving Kwistbeek.



Figuur 4: Hoogtekaart omgeving Kwistbeek - detail.

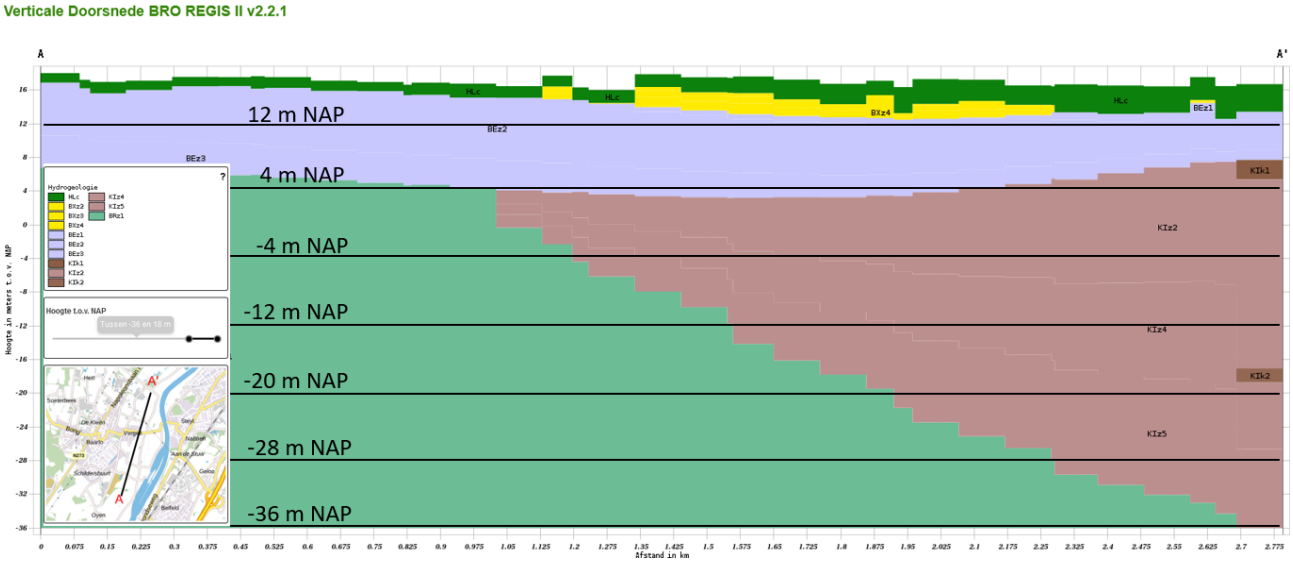
2.3. Geomorfologie

De geomorfologie in de omgeving van de Kwistbeek is weergegeven in Figuur 5. Het beekdal van de Kwistbeek bestaat met name uit dalvlakteterras en restgeulen van de Maas. Er is een geologische breuk in het gebied aanwezig ten zuidwesten van de Ingweg. De breuk reikt niet tot het bovenste watervoerende pakket en heeft geen effect op het her in te richten gedeelte van de Kwistbeek.



Figuur 5: Geomorfologie omgeving de Kwistbeek.

De geologische opbouw van het gebied is inzichtelijk gemaakt op basis van het REGIS-model. De opbouw is weergegeven in Figuur 6. De toplaag bestaat uit een holocene deklaag boven op een laag zand (Boxtel - zand). Onder deze lagen bevindt zich een dik zandpakket van de formatie van Beesel. De holocene deklaag bevat veelal klei.

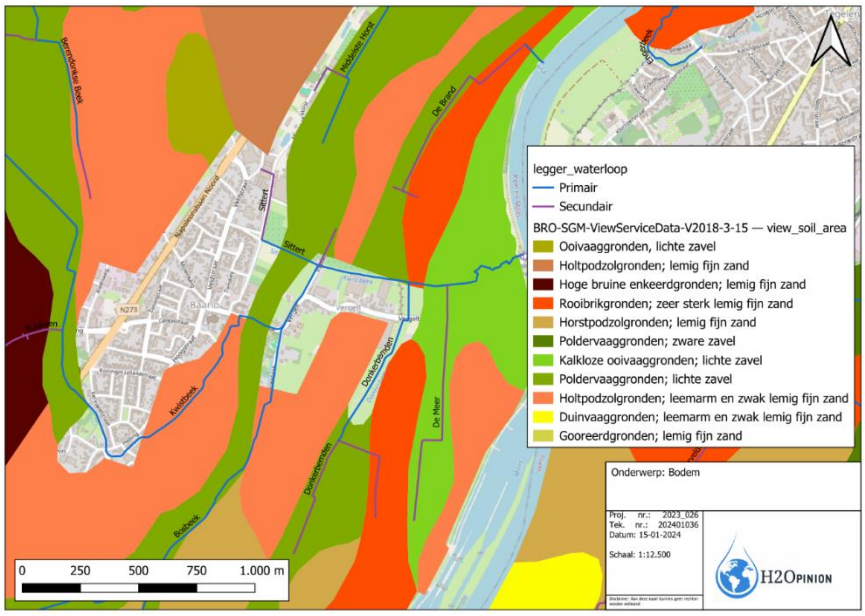


Figuur 6: Geologische doorsnede op basis van REGIS II v. 2.2.1.

2.4. Bodem

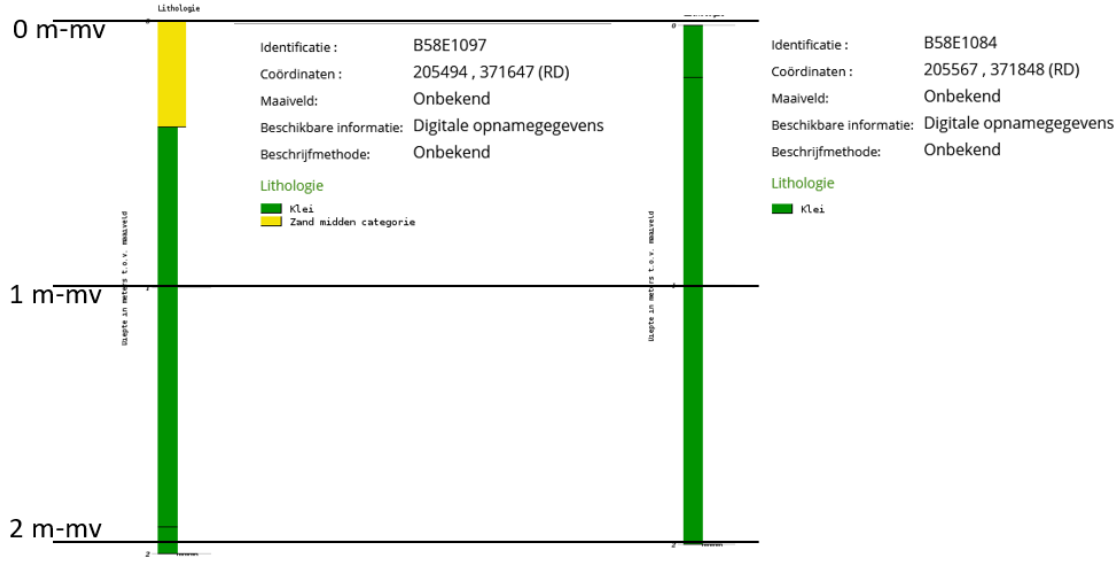
De bodemtypes in de omgeving van de benedenloop van de Kwistbeek zijn weergegeven in Figuur 7. De Maasgeulen zijn duidelijk zichtbaar. De volgende bodemtypes zijn aanwezig:

- In de benedenstroomse zijde van de Kwistbeek vanaf de weg de Brangk bestaat uit kalkloze ooivaaggronden met lichte zavel. Dit zijn de Maasgeulen het dichtste bij de Maas.
- Bovenstrooms van de weg de Brangk bestaat de bodem uit stroken van;
    - Poldervaaggronden, ook met lichte zavel (oude dalen en maasgeulen)
    - Rooibrikgronden; zeer sterk lemig fijn zand (hogere delen/oude dekzandruggen of rivierduinen)
    - Horstpodzolgronden; lemig fijn zand (hogere delen/oude dekzandruggen of rivierduinen)



Figuur 7: Bodemtypes in het stroomgebied van de Kwistbeek.

De ondergrond bestaat voornamelijk uit lagen van zand en ziltige klei. Op de hogere delen is een toplaag van fijn zand aanwezig. Deze zandige toplaag is circa 40 cm dik. De ondergrond is slecht doorlatend. Een voorbeeld van de bodemopbouw is weergegeven in de volgende figuur.



Figuur 8: Bodemopbouw Maasdal Kwistbeek

3. Beleid en randvoorwaarden

3.1. Waterbeheerprogramma 2022- 2027 en omgevingsverordening

In het Waterbeheerprogramma 2022-2027 zijn de ontwateringsnormen voor de verschillende gebruiksfuncties opgenomen. Deze normen zijn[1]:

Tabel 1: Ontwateringsnormen uit het waterbeheerprogramma 2022-2027

Bodemgebruik	Maximale grondwaterstand onder normale omstandigheden* in cm t.o.v. maaiveld**
Grasland	30 – 40
Akkerbouw	50 - 60
Diep wortelende gewassen	tot 100
Bebouwd gebied zonder kruipruimte	50 - 60
Bebouwd gebied met kruipruimte	100
Natuurterreinen	Variabel

* hierop sturen we volgens het principe 'hoog als het kan, laag als het moet'
** in de laagste delen van een beïnvloedbaar gebied

Tabel 1 - Maximale grondwaterstanden per type grondgebruik waarop we sturen met peilbeheer in leggerwatergangen

Een vertaling van de toetsingsnormen naar drooglegginsnormen is als volgt[2]:

> *De toetsing van de wintersituatie vindt plaats op basis van een situatie die ca. 20 dagen per jaar voorkomt (50% maatgevende afvoer). De toetsing van de zomersituatie vindt plaats op basis van een situatie die ca. 200 dagen per jaar voorkomt (20% maatgevende afvoer). De toetsingswaarden zijn:*

Tabel 2: Toetsingsnormen gebruiksfuncties op basis van drooglegginseisen.

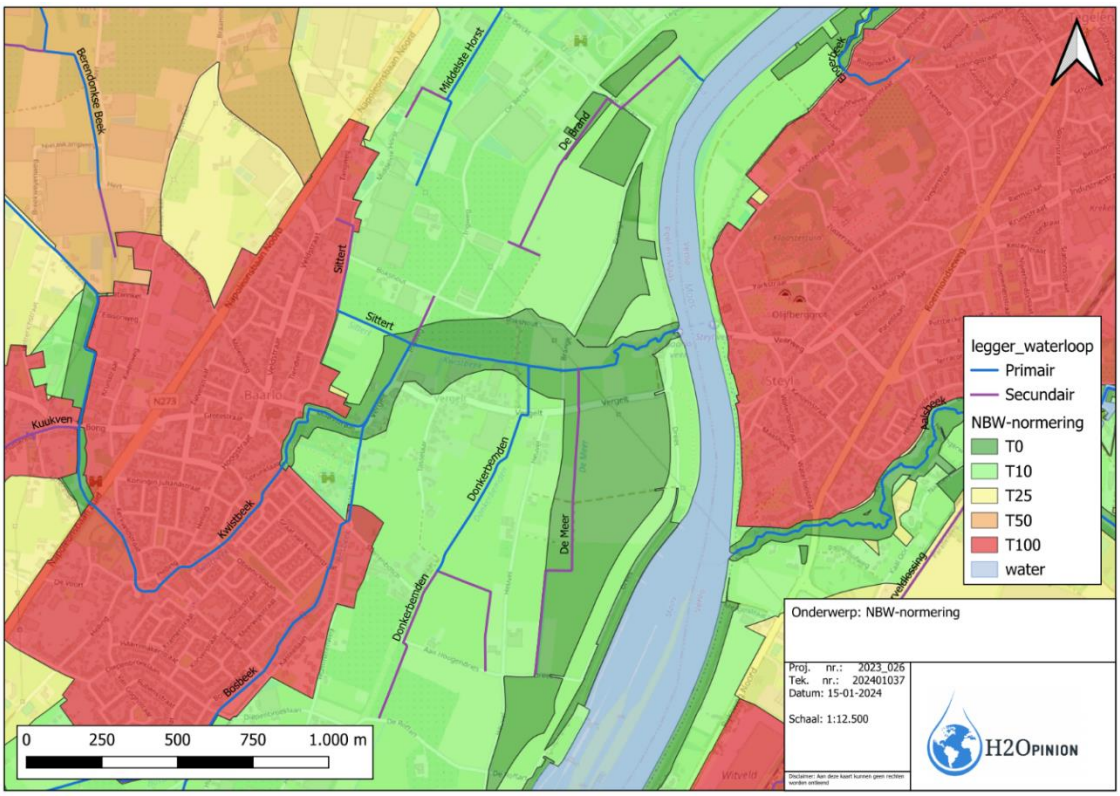
Grondgebruik	Drooglegging wintersituatie	Drooglegging zomersituatie
Grasland	60 cm – maaiveld	30 cm – maaiveld
Bouwland	80 cm – maaiveld	50 cm – maaiveld
Tuinbouw	80 cm – maaiveld	50 cm – maaiveld
Diep wortelende gewassen	100 cm – maaiveld	80 cm – maaiveld
Glastuinbouw	100 cm – maaiveld	80 cm – maaiveld
Bebouwingskernen (vloer- of bouwpeil)	100 cm – maaiveld	100 cm – maaiveld
Bebouwing in buitengebied	Gelijk aan omgeving	Gelijk aan omgeving

[1] Bron: Waterschap Limburg, Werkwijze hydrologie binnen projecten – verzameldocument, 10-2023
[2] Bron: Waterschap Limburg, Werkwijze hydrologie binnen projecten – verzameldocument, 10-2023

3.2. Normering Regionale wateroverlast

De Normering Regionale Wateroverlast van het gebied is zowel in de omgevingsverordening als in het waterbeheerprogramma 2022-2027 opgenomen. Het grootste deel van de traject Kwistbeek Ingweg- Maas ligt in een gebied zonder normering of een 1:10 normering gebied. De percelen naast de zijtak de Donkerbemden hebben een 1:10 normering.

Op de rechteroever bovenstrooms van de kruising met de waterkering is er bebouwing en kassen/glastuinbouw aanwezig. Deze percelen hebben in de huidige situatie een 1:0 normering. Een 1:0 normering past hier niet bij de huidige gebruiksfuncties. Het uitganspunt is dat de situatie niet mag verslechteren als gevolg van de beoogde wijzigingen aan de Kwistbeek. Voor de kassen en bebouwing is uitgegaan van een normering van 1:50 voor de aanwezige kassen en/of een 1:100 normering voor bebouwing. De normering regionale wateroverlast is weergegeven in de volgende figuur.



Figuur 9: Normering Regionale Wateroverlast Kwistbeek op basis van de omgevingsverordening (geldig vanaf 01-01-2024)

3.3. Kaderrichtlijn water

De Europese Kaderrichtlijn Water verplicht de EU-lidstaten tot het behalen van ecologische en chemische doelen in alle oppervlaktewateren. Het benedenstrooms traject vanaf de instroom de Meer – Maas heeft de kenmerken van een KRW-type R13. Het algemeen beoogde KRW-type is een R4. De kenmerken van de hierboven benoemde typen zijn als volgt:

Tabel 3 – KRW Types Kwistbeek.

Omschrijving	KRW R4	KRW R13
Bodembreedte	0-3m	0-3m
Verhang	0,5-1,0 m/km	>1m/km
Afvoer (5-50%MA)	0,00015-1,125 m3/s	0,0001-1,22 m3/s
Stroomsnelheid (gem. 5% MA)	0,03-0,50 m/s	0,50-0,75 m/s
Bodemsamenstelling	Zandig met slib en grindbanken	Zandig met slib, grindbanken en keien
Geologie	Kiezel	Kiezel

3.4. Randvoorwaarden doelsoorten

De minimale waterdiepte is gebaseerd op de soorteisen van het potentieel meest bepalende vissoorten. De doelsoorten voor de benedenloop van de Kwistbeek zijn als volgt:[3]

- Rivierdonderpad
- Bermpje
- Riviergrondel
- Serpeling
- Kopvoorn

De randvoorwaarden van de doelsoorten vis zijn opgenomen in de volgende tabel.

Tabel 4: minimale waterdieptes op basis van doelsoorten vissoorten.

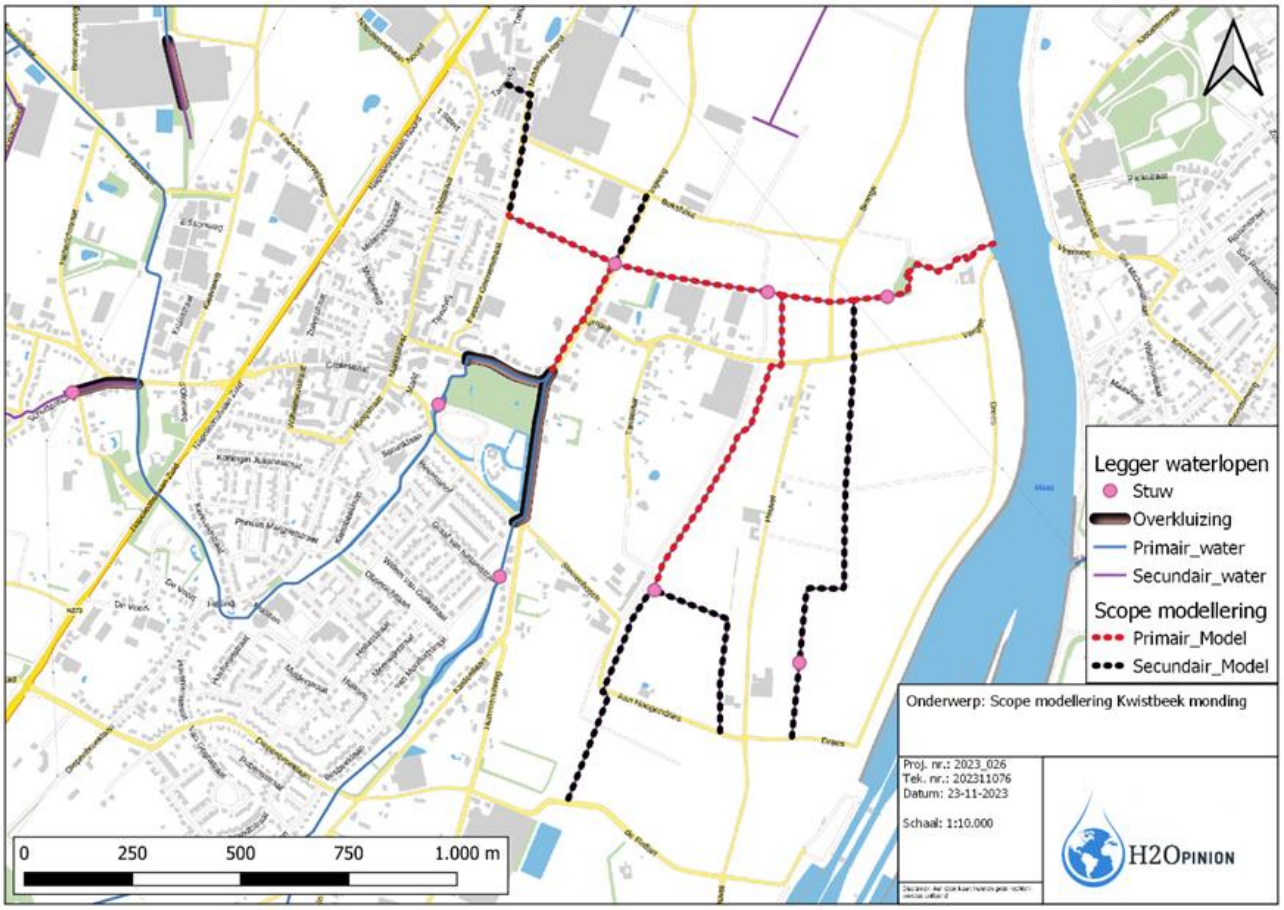
	Minimale gewenste waterdiepte (m)	Maximale stroomsnelheid (m/s)	Migratieperiode
Rivierdonderpad	>0,3	<0,5 m/s (KRW R4)	Maart-mei
Bermpje	0,15	<0,5 m/s (KRW R4)	Half mei – half juni
Riviergrondel	0,25	<0,5 m/s (KRW R4)	Eind april-juni
Serpeling	0,30	<0,5 m/s (KRW R4)	Februari-half mei
Kopvoorn	0,32-0,40	<0,5 m/s (KRW R4)	Maart-juni

[3] Bron: Waterschap Limburg

4. Werking grond- en oppervlaktewatersysteem (huidige situatie)

4.1. Oppervlaktewatermodellering

Ten behoeve van de oppervlaktewatermodellering is het door het waterschap aangeleverde SOBEK-model WSKWIS.lit gebruikt. Het model betreft een gekalibreerd en gevalideerd 1D-model (hernoemd naar WSKWIS_1D.lit). Het model is geactualiseerd met behulp van de beschikbare landmeetdata (dwarsprofielen, kunstwerken) en beschikbare afvoergegevens. De modelweerstanden zijn gebaseerd op de waarden zoals genoemd in het document 'Werkwijzen hydrologie binnen projecten – verzameldocument' (versie 10-2023) en zijn te zien in Bijlage 1. Het gekalibreerde en gevalideerde model is gebruikt voor de analyse van de lage afvoeren. Het tweede model (hernoemd naar WSKWIS_2D.lit betreft een 1D/2D-model om de omstandigheden bij hoge afvoersituaties te simuleren. Details over de opbouw van het model zijn te zien in Bijlage 1. De scope van de modellering is weergegeven in de volgende afbeelding. De Kwistbeek mondt benedenstrooms van stuw Belfeld uit in de Maas. Er is in de berekeningen een referentiepeil voor de reguliere stand van de Maas van 11,40 m NAP gehanteerd (waterpeil Maas betrekkingslijn voor een afvoer van 80 m^3/s in de Maas).



Figuur 10: Overzichtskaart beekherstelproject Kwistbeek.

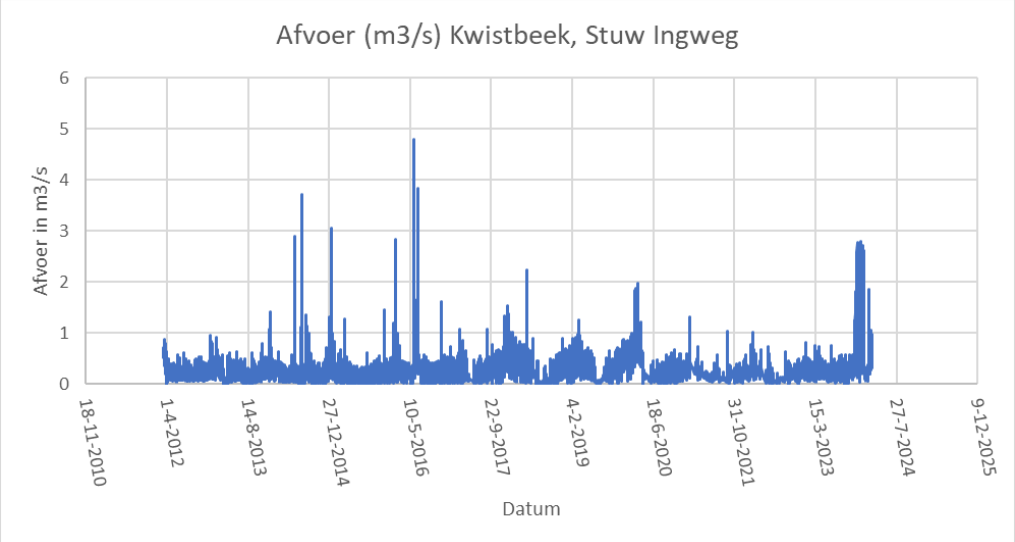
4.1.1 Afvoeren

4.1.1.1 Afvoeren op basis van duurlijnmethode

Op basis van de duurlijnmethode van de beschikbare afvoergegevens van de Kwistbeek, te Ingweg zijn de volgende afvoeren bepaald. De afvoeren zijn weergegeven in de volgende tabel. De afvoeren gedurende afvoerextremen worden dynamisch getoetst gedurende een zomersituatie. Op basis van een modelstudie (zie 4.1.1.2) blijkt dit voor het studiegebied de meest bepalende situatie te zijn voor optredende waterpeilen. De afvoeren zonder en met klimaatopslag zijn weergegeven in de volgende tabel.

Tabel 5: Berekende (afgeronde) afvoeren op basis van de duurlijnanalyse ten behoeve van modellering. Waarden kolom 'nulwaarden' is gehanteerd voor toetsing van de lage afvoeren.

Afvoersituatie	Herhalingstijd	%MA (referentie)	Kwistbeek, Ingweg (m3/s) tot 28-02-24 zonder nulwaarden		Ingweg (m3/s) tot 28-02-24 zonder nulwaarden Incl. klimaatopslag	Klimaatopslag factor ontwerpsituatie
			Basis model	Extrapolatie jaarlijkse piek (T10-T100)	Extrapolatie jaarlijkse piek (T10-T100)	Percentage
Basisafvoer	330 d/j overschreden	5	0,057	0,058	0,058	0%
Zomerafvoer	200 d/j overschreden	20	0,160	0,160	0,160	0%
Voorjaarsafvoer	100 d/j overschreden	30	0,237	0,241	0,241	0%
Halve maatgevende afvoer	20 d/j overschreden	50	0,515	0,519	0,519	0%
Jaarlijkse piekafvoer	1 d/j	100	1,413	1,564	1,564	0%
T=10	1x/10 jaar	175	2,473	2,737	3,011	10%
T=25	1x/25 jaar	200	2,826	3,128	3,441	10%
T=50	1x/50 jaar	220	3,109	3,441	4,129	20%
T=100	1x/100 jaar	250	3,533	3,910	4,692	20%



Figuur 11: Afvoer in de Kwistbeek, meetpunt stuw Ingweg. Periode 04-2012 tot 11-2023/02-2024.

4.1.1.2 Afweging dynamische versus stationaire afvoerextremen

De werkwijzen hydrologie van Waterschap Limburg (versie 10/2023) geven richtlijnen voor doorrekening van afvoerextremen. Daarbij is er een dynamische rekenmethode (afvoergolf) en stationaire rekenmethode (continue afvoer). De uitgangspunten van beide methoden zijn als volgt:

- Dynamische methode: Zomerweerstanden en afvoergolf horende bij een T=10/25/50/100-situatie. Stuwen staan op zomerstand.
- Stationaire methode: Winterweerstanden en continue afvoer horende T=10/25/50/100-situatie. Stuwen staan op winterstand.

De maximale afvoeren van de verschillende rekenmethoden is als volgt:

Tabel 6: Maximale afvoer dynamische en stationaire rekenmethode (huidige situatie zonder klimaatopslag). Beoordeling maximaal optredende waterpeilen rekenmethode bij Ingweg (benedenstrooms stuw; huidige situatie zonder klimaatopslag; waterstanden afgerond op 5 cm).

Afvoersituatie	Dynamische afvoer in m3/s (excl. klimaatopslag)	Stationaire afvoer in m3/s (model, excl. klimaatopslag)	Maximale waterstand Ingweg benedenstrooms stuw dynamisch zomer in m NAP	Maximale waterstand Ingweg benedenstrooms stuw stationair winter in m NAP
T=10	2,521	2,739	15,95	15,75
T=25	2,893	3,130	16,00	15,85
T=50	3,333	3,443	16,10	15,90
T=100	3,574	3,912	16,15	15,95

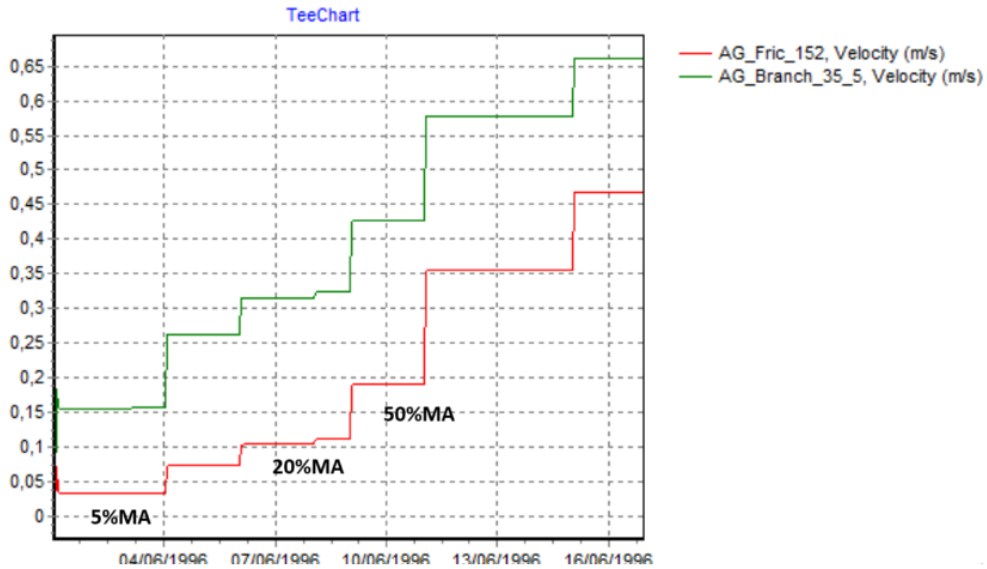
Op basis van de bovenstaande tabel levert de zomersituatie met dynamische afvoergolf de hoogste waterpeilen op. De effecten van het plan zijn bepaald op basis van de dynamische zomersituatie.

4.1.2 Stroomsnelheden

De berekende stroomsnelheden in de Kwistbeek vanaf de Ingweg tot aan de Maas voor de huidige situatie zijn weergegeven in Figuur 12.

Op het traject Ingweg-dijkkruising ligt de stroomsnelheid tussen de ca. 0,15 m/s en 0,3 m/s gedurende een basisafvoer (5% MA, ca. 330 d/j overschreden) en zomerafvoer (20% MA, ca. 200 d/j overschreden). Voor een halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA, ca. 20 d/j overschreden) is de stroomsnelheid circa 0,4 m/s.

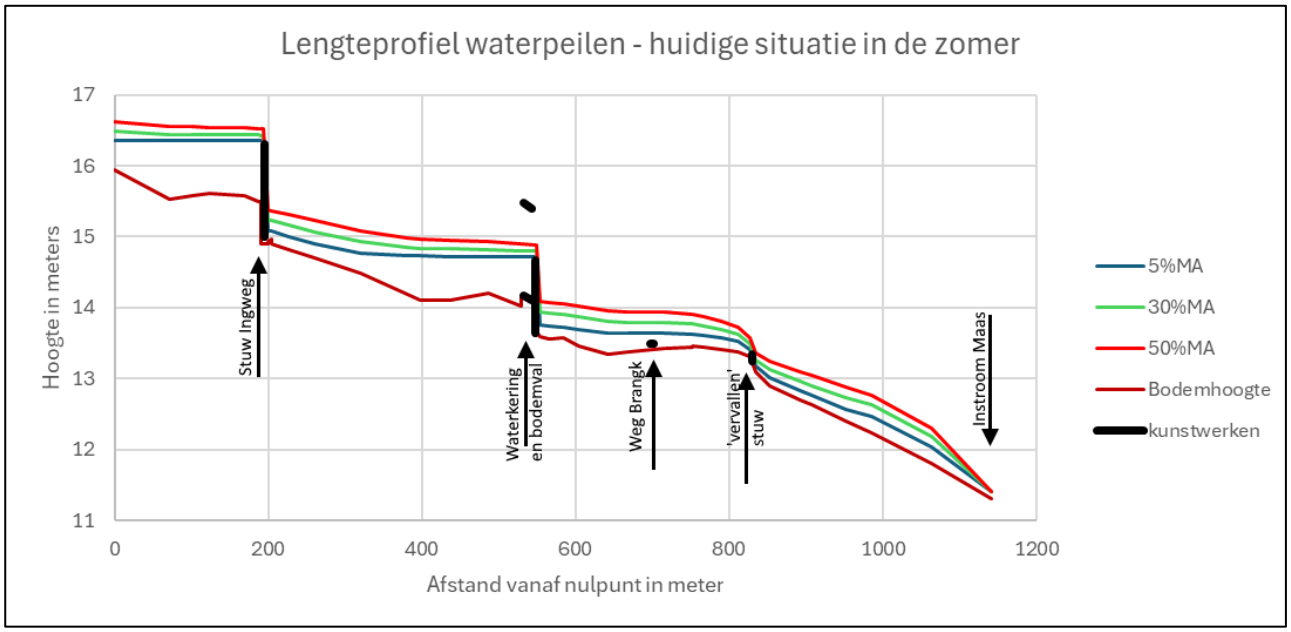
Op het traject dijkkruising-vervallen stuw ligt de stroomsnelheid tussen de ca. 0,05 m/s en 0,1 m/s gedurende een basisafvoer (5% MA, ca. 330 d/j overschreden) en zomerafvoer (20% MA, ca. 200 d/j overschreden). Voor een halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA, ca. 20 d/j overschreden) is de stroomsnelheid circa 0,2 m/s.



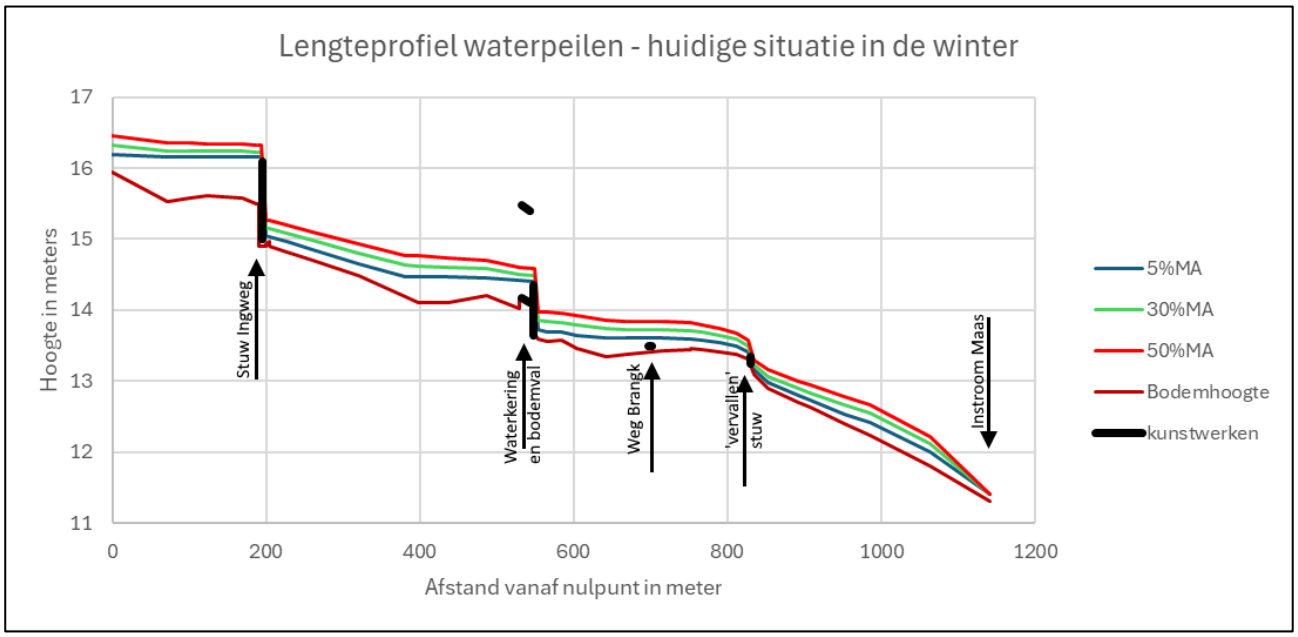
Figuur 12: Berekende stroomsnelheden in de Kwistbeek gedurende een basisafvoer (5% MA), zomerafvoer (20% MA) en halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA). Traject Ingweg-dijkkruising (groen) en dijkkruising-vervallen stuw (rood).

4.1.3 Waterpeilen en waterdieptes reguliere omstandigheden Kwistbeek

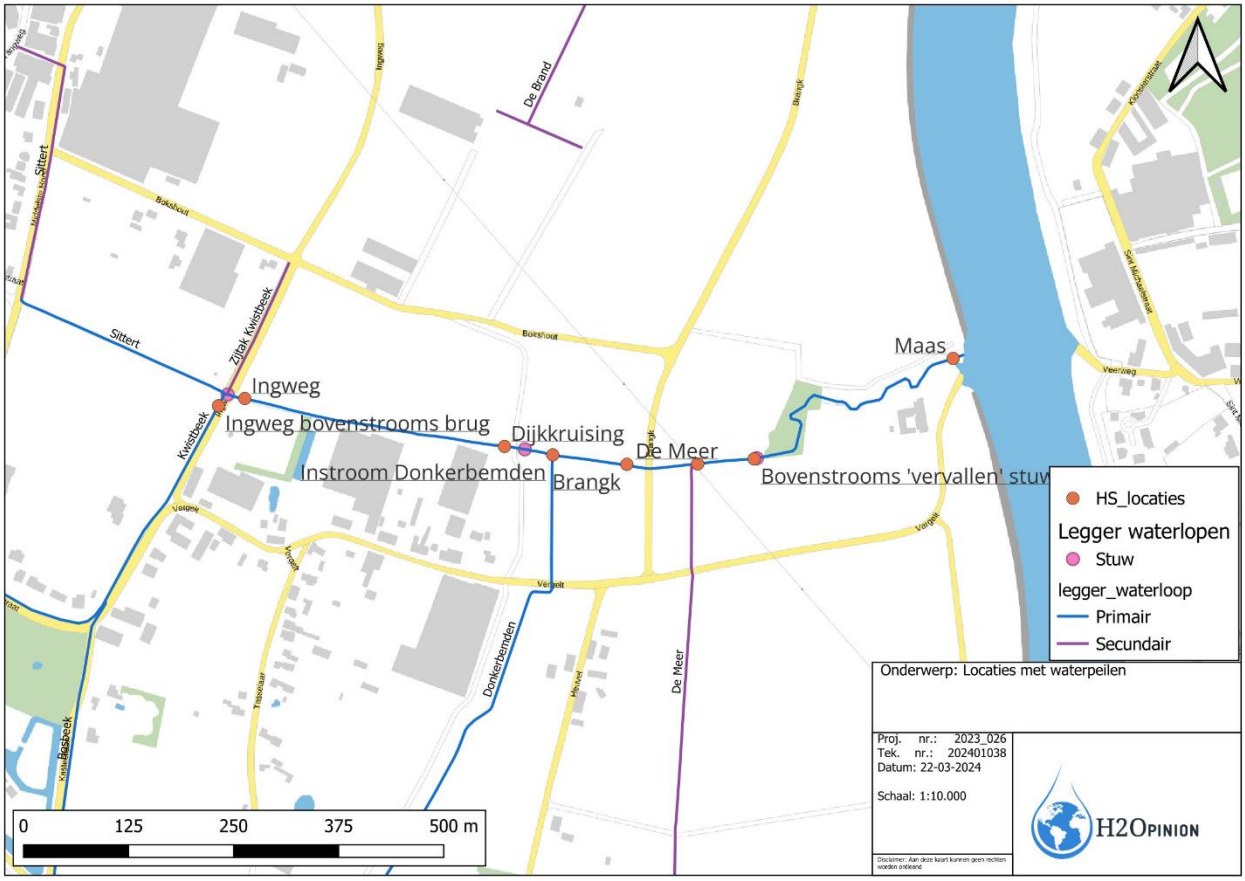
De waterpeilen in de Kwistbeek zijn berekend met behulp van het gekalibreerde 1D SOBEK-model (Bijlage 1). Hierbij zijn de reguliere peilen in de beek bepaald voor de basisafvoer (5% MA; ca. 330 dagen/jaar overschreden), zomerafvoer (20% MA; ca. 200 dagen/jaar overschreden) en een halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA; ca. 20 dagen/jaar overschreden). De berekende waterpeilen en waterdiepten gedurende verschillende afvoersituaties van de Kwistbeek zijn te zien in de volgende afbeeldingen.



Figuur 13: Berekende waterpeilen in m NAP over het lengteprofiel van de Kwistbeek traject Ingweg – Maas gedurende een basisafvoer (5% MA), voorjaarsafvoer (30% MA) en halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA) in de zomer (zomerstuwstanden en zomerweerstanden)



Figuur 14: Berekende waterpeilen in m NAP over het lengteprofiel van de Kwistbeek traject Ingweg – Maas gedurende een basisafvoer (5% MA), voorjaarsafvoer (30% MA) en halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA) in de winter (winterstuwstanden en winterweerstanden)



Figuur 15: Locaties van de stuwen en weergegeven locaties waterpeilen en waterdieptes uit de SOBEK-modellering.

Tabel 7: Berekende waterpeilen in de Kwistbeek in de huidige situatie in de zomer. Waarden afgerond op 5 cm.

Locatie	Waterpeil Basisafvoer, ca. 330 d/j overschreden	Waterdiepte Basisafvoer, ca. 330 d/j overschreden	Waterpeil voorjaarsafvoer, ca. 100 d/j overschreden	Waterdiepte voorjaarsafvoer, ca. 100 d/j overschreden	Waterpeil Halve jaarlijkse piekafvoer, ca. 20 d/j overschreden	Waterdiepte Halve jaarlijkse piekafvoer, ca. 20 d/j overschreden
	5%MA		30%MA		50%MA	
	m NAP	m	m NAP	m	m NAP	m
Ingweg bovenstrooms brug*	16,35	0,80	16,45	0,90	16,55	1,00
Ingweg benedenstrooms stuw	15,10	0,20	15,20	0,30	15,35	0,45
Dijkkruising	14,70	0,70	14,80	0,80	14,90	0,90
Uitstroom Donkerbemden	13,75	0,15	13,90	0,30	14,05	0,45
Brangk	13,65	0,25	13,80	0,40	13,95	0,55
De Meer	13,65	0,20	13,75	0,30	13,90	0,45
Bovenstrooms 'vervallen' stuw	13,50	0,15	13,60	0,25	13,70	0,35
Maas	11,40	nvt	11,40	nvt	11,40	nvt

*in de praktijk is deze stuw geautomatiseerd met een peilsturing; dit is niet meegenomen voor een worst-case benadering van de potentiële effecten.

De waterdiepte varieert in de huidige situatie in de zomer tussen de 15 en 60 cm voor een basisafvoer en tussen de 35 en 80 cm voor een halve jaarlijkse piekafvoer. Het waterpeil varieert sterk over het lengteprofiel

door de aanwezige stuwen (huidige dijkkruising en vervallen stuw in het benedenstroomse deel) en vlakke delen. De aanwezige stuwen zorgen voor opstuwing van het waterpeil in de vlakke delen van de loop. Op de trajecten met relatief groot verhang (direct benedenstrooms van stuw Ingweg en het deel vanaf de samenkomst van de zijtak 'De Meer' tot aan de Maas) is de waterdiepte beperkt (ca 10-20 cm) bij een basisafvoer.

Tabel 8: Berekende waterpeilen in de Kwistbeek in de huidige situatie in de winter. Waarden afgerond op 5 cm.

Locatie	Waterpeil Basisafvoer, ca. 330 d/j overschreden	Waterdiepte Basisafvoer, ca. 330 d/j overschreden	Waterpeil voorjaarsafvoer, ca. 100 d/j overschreden	Waterdiepte voorjaarsafvoer, ca. 100 d/j overschreden	Waterpeil Halve jaarlijkse piekafvoer, ca. 20 d/j overschreden	Waterdiepte Halve jaarlijkse piekafvoer, ca. 20 d/j overschreden
	5%MA		30%MA		50%MA	
	m NAP	m	m NAP	m	m NAP	m
Ingweg bovenstrooms brug*	16,15	0,60	16,25	0,70	16,35	0,80
Ingweg benedenstrooms stuw	15,05	0,15	15,20	0,30	15,25	0,35
Dijkkruising	14,40	0,40	14,50	0,50	14,60	0,60
Uitstroom Donkerbemden	13,70	0,10	13,85	0,25	13,95	0,35
Brangk	13,60	0,25	13,75	0,40	13,85	0,50
De Meer	13,60	0,15	13,70	0,25	13,80	0,35
Bovenstrooms 'vervallen' stuw	13,40	0,15	13,60	0,35	13,60	0,35
Maas	11,40	nvt	11,40	nvt	11,40	nvt

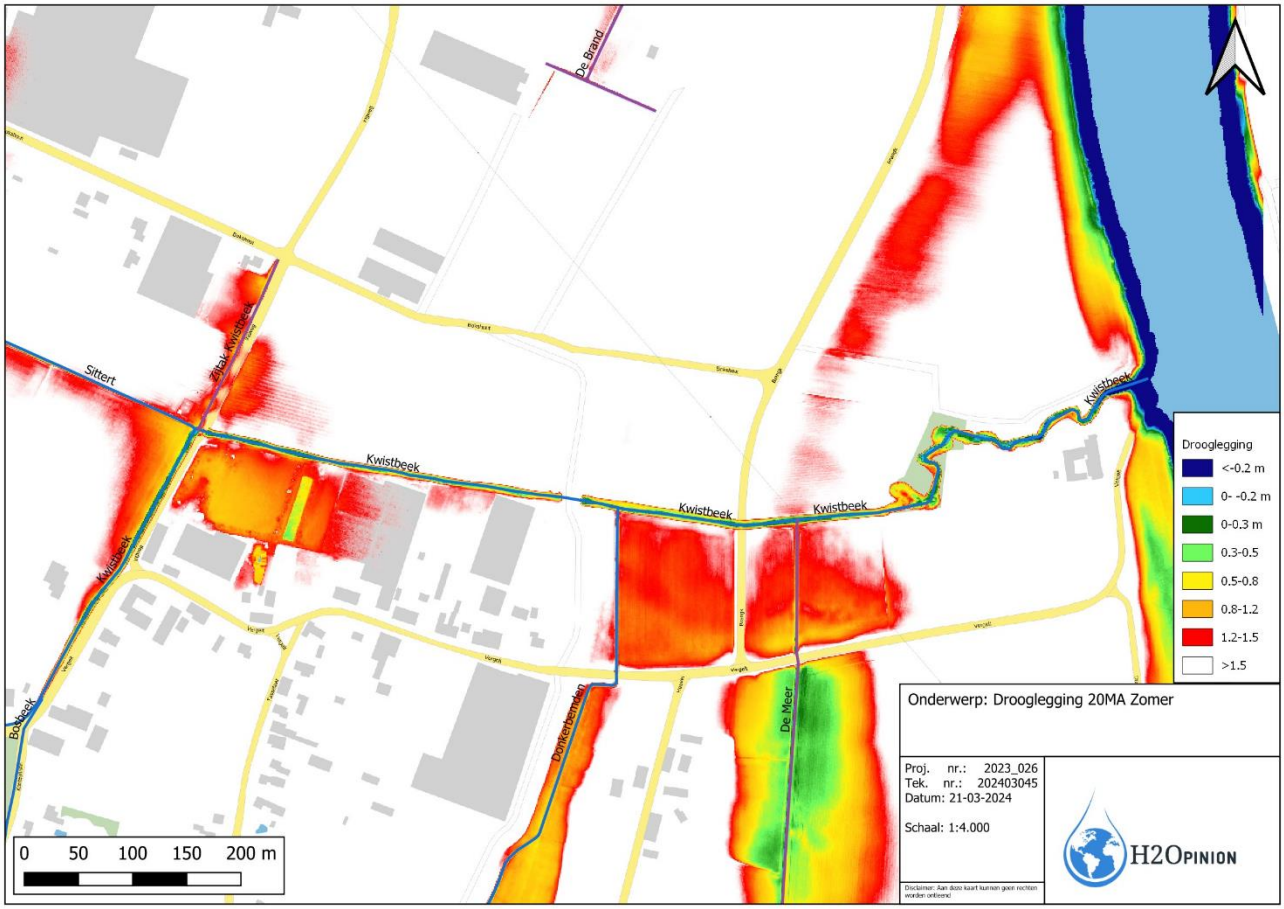
*in de praktijk is deze stuw geautomatiseerd met een peilsturing; dit is niet meegenomen voor een worst-case benadering van de potentiële effecten.

4.1.4 Drooglegging

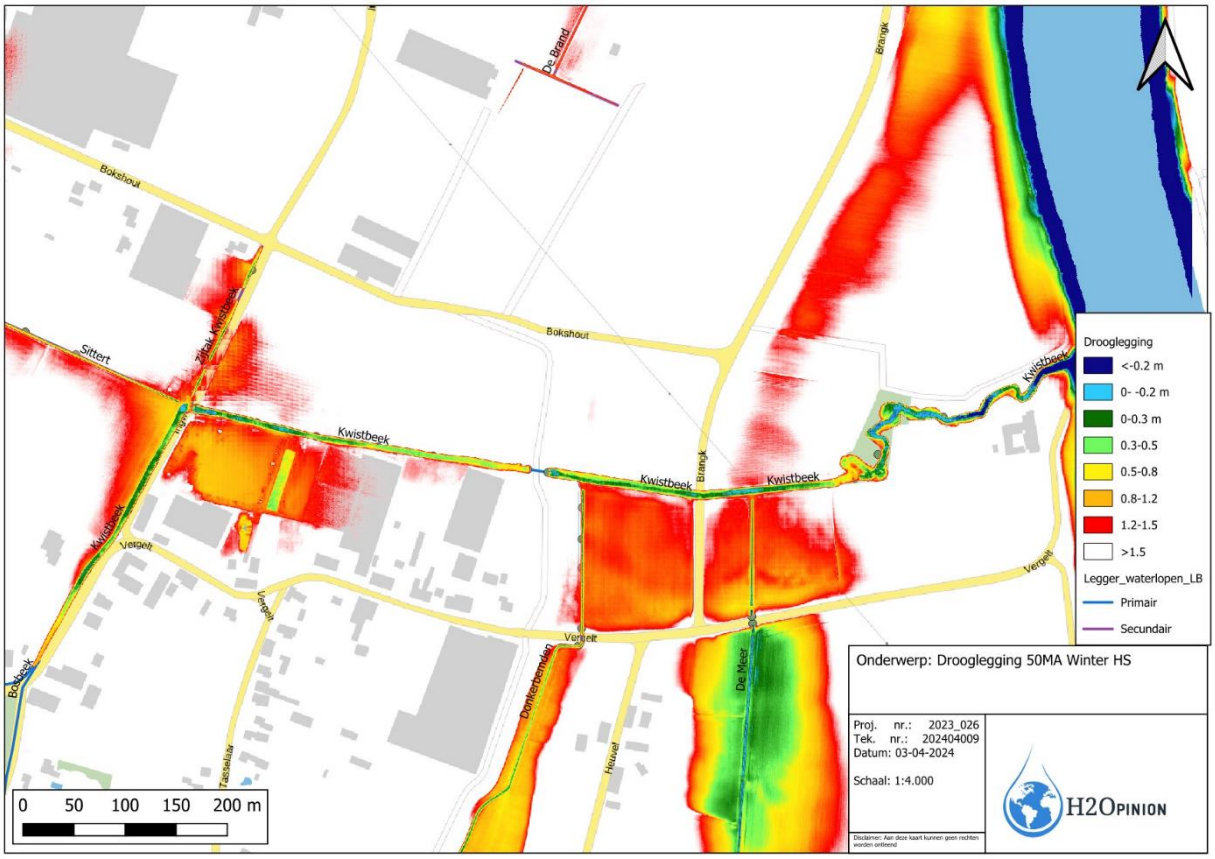
De drooglegging in de omgeving voor de huidige situatie is weergeven in Figuur 16 en Figuur 17. De drooglegging is uitgewerkt voor de scenario's:

- 20%MA (ca. 200 d/j overschreden) in de zomer
- 50%MA (ca. 20 d/j overschreden) in de winter.

In de zomersituatie ligt de drooglegging veelal hoger dan 0,8 m-maaiveld. Dit is groter dan de drooglegginsnorm voor akkerbouw in de zomer (minimaal 50 cm-maaiveld in de zomer). De percelen langs de Meer (zuidzijde weg Vergelt) vormen een uitzondering. De drooglegging ligt hier tussen 20 en 50 cm-maaiveld. De drooglegginsnorm wordt op dit akkerbouwperceel in de huidige situatie niet behaald.



Figuur 16: Drooglegging in de huidige situatie gedurende een zomerafvoer (20%MA) in de zomer. Zomerweerstanden en zomerstuwstanden.



Figuur 17: Drooglegging in de huidige situatie gedurende een winterafvoer (50%MA) in de winter. Winterweerstanden en winterstuwstanden.

De drooglegging gedurende een wintersituatie (50%MA; ca. 20 d/j overschreden) is aanzienlijk kleiner. De drooglegging ligt veelal tussen 0,2 m-maaiveld en 0,6 m-maaiveld. Dit is minder dan de drooglegginsnorm van 80 cm-maaiveld in de winter. De hoger gelegen gronden hebben een drooglegging tussen 0,7 m-maaiveld en 2,0m-maaiveld. Langs de watergang ‘de Meer’ is lokaal sprake van een drooglegging gelijk aan maaiveld. Dit wordt veroorzaakt door een bodemval langs de waterloop ‘De Meer’ die het waterpeil in de Meer opstuwt.

4.1.5 Inundaties afvoerextremen

De berekende inundatie bij afvoerextremen is in beeld gebracht voor de volgende situaties. Waarden excl. klimaatopslag:

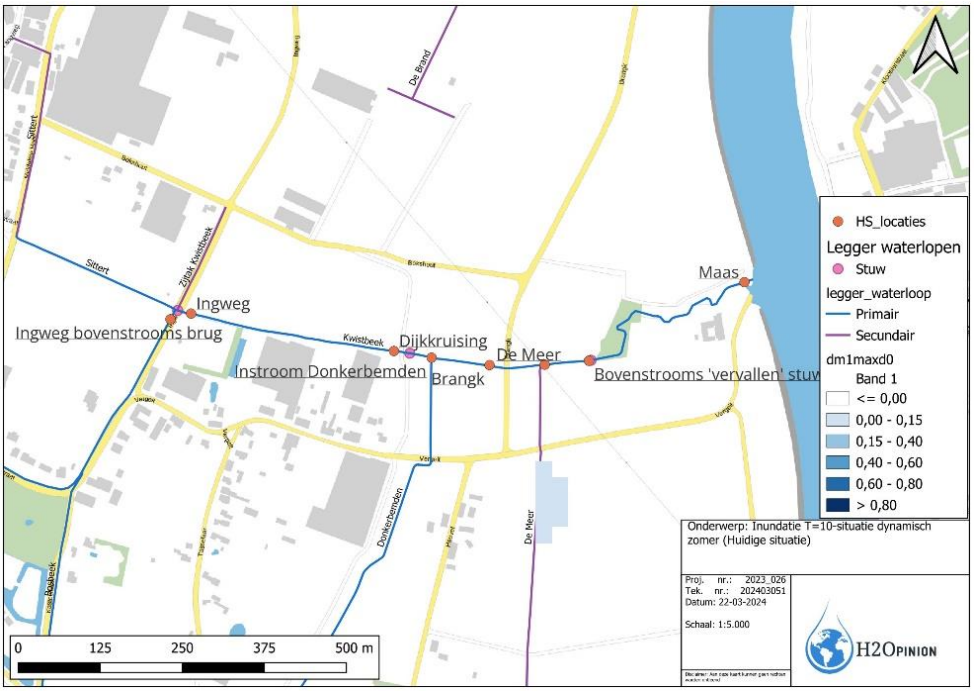
1. T=10-situatie: T=10 afvoer Kwistbeek (max 2,5 m3/s) met een normale Maastand (11,40 m NAP).
2. T=25-situatie: T=25 afvoer Kwistbeek (max 2,9 m3/s) met een normale Maastand (11,40 m NAP).
3. T=50-situatie: T=50 afvoer Kwistbeek (max 3,3 m3/s) met een normale Maastand (11,40 m NAP).
4. T=100-situatie: T=100-afvoer Kwistbeek (max 3,6 m3/s) met een normale Maasstand (11,40 m NAP).

<u>T10-situatie Kwistbeek, Normale Maasstand</u>

De berekende waterpeilen en mate van inundatie gedurende een T=10-situatie is weergegeven in Tabel 9 en figuur 18.

Tabel 9: Berekende waterpeilen in de Kwistbeek tijdens een T=10-afvoersituatie (huidige situatie) in de zomer. Waarden afgerond op 5 cm.

Locatie	Waterpeil T=10-situatie (m NAP)
Kwistbeek	
Ingweg bovenstrooms brug	17,00
Ingweg	15,95
Dijkkruising	15,35
Donkerbemden	14,60
Brangk	14,40
De Meer	14,35
Bovenstrooms 'vervallen' stuw	14,10
Maas	11,40



Figuur 18: Berekende inundatie gedurende een T=10-afvoersituatie (huidige situatie).

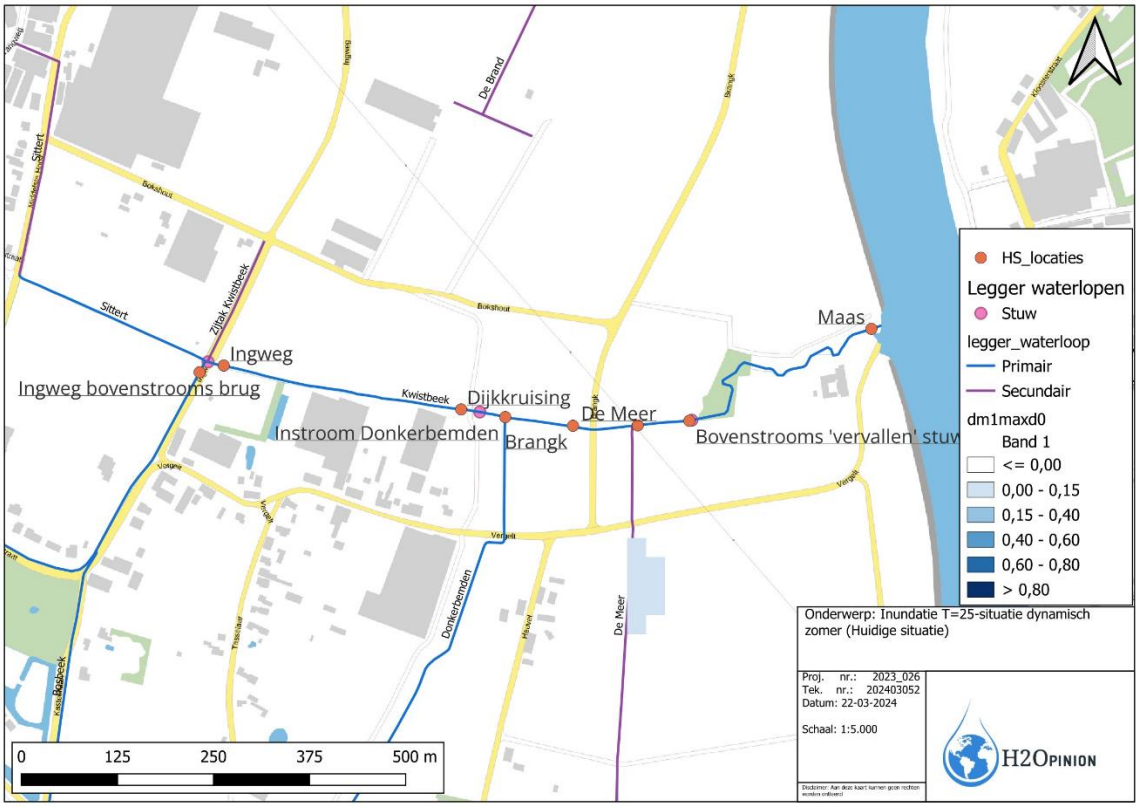
Er treedt inundatie op tijdens een T = 10 afvoersituatie benedenstrooms van de waterkering op de percelen rondom de Kwistbeek en zijtak de Meer.

T25-situatie Kwistbeek, Normale Maasstand

De berekende waterpeilen en mate van inundatie gedurende een T=25-situatie is weergegeven in de volgende tabel en figuur.

Tabel 10: Berekende waterpeilen in de Kwistbeek tijdens een T=25-afvoersituatie (huidige situatie) in de zomer. Waarden afgerond op 5 cm.

Locatie	Waterpeil T=25-situatie (m NAP)
Kwistbeek	
Ingweg bovenstrooms brug	17,10
Ingweg	16,00
Dijkkruising	15,45
Donkerbemden	14,65
Brangk	14,45
De Meer	14,40
Bovenstrooms 'vervallen' stuw	14,15
Maas	11,40



Figuur 19: Berekende inundatie gedurende een T=25-afvoersituatie (huidige situatie).

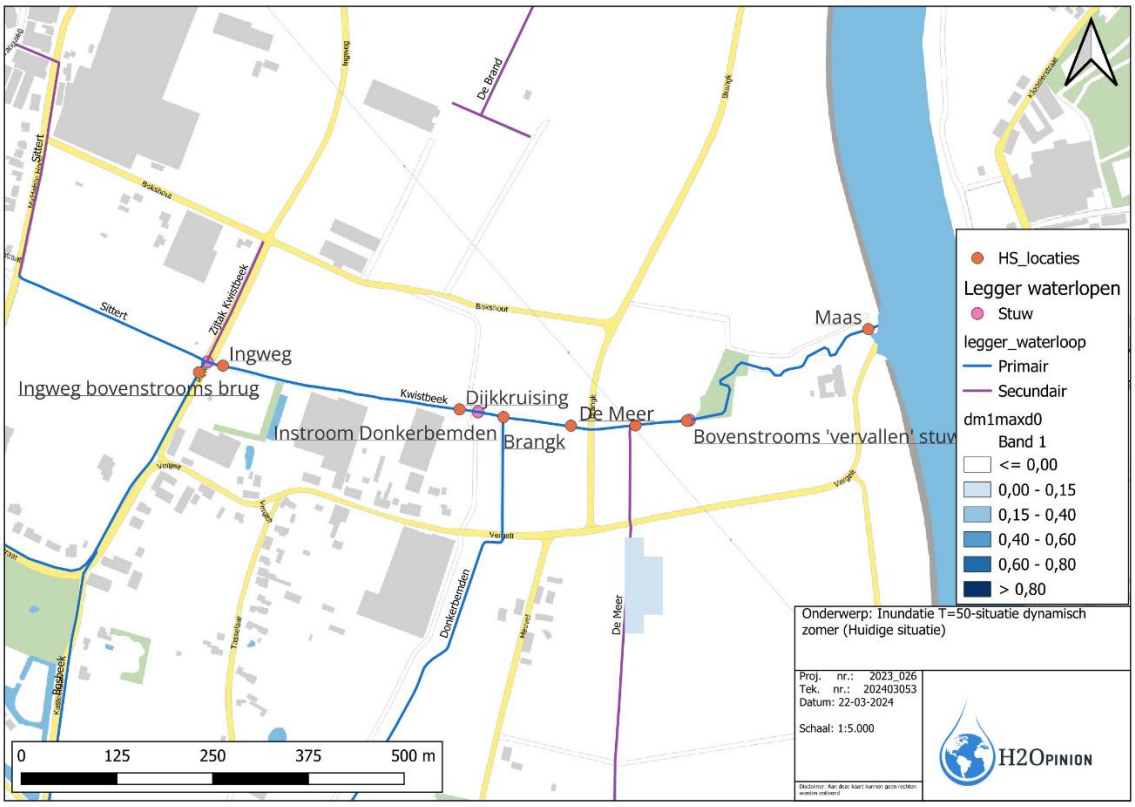
Er treedt geen inundatie op tijdens een T = 25 afvoersituatie op de percelen met een 1:25 normering

T50-situatie Kwistbeek, Normale Maasstand

De berekende waterpeilen en mate van inundatie gedurende een T=50-situatie is weergegeven in de volgende tabel en figuur.

Tabel 11: Berekende waterpeilen in de Kwistbeek tijdens een T=50-afvoersituatie (huidige situatie) in de zomer. Waarden afgerond op 5 cm.

Locatie	Waterpeil T=50-situatie (m NAP)
Kwistbeek	
Ingweg bovenstrooms brug	17,15
Ingweg	16,10
Dijkkruising	15,50
Donkerbemden	14,70
Brangk	14,50
De Meer	14,45
Bovenstrooms 'vervallen' stuw	14,20
Maas	11,40



Figuur 20: Berekende inundatie gedurende een T=50-afvoersituatie (huidige situatie).

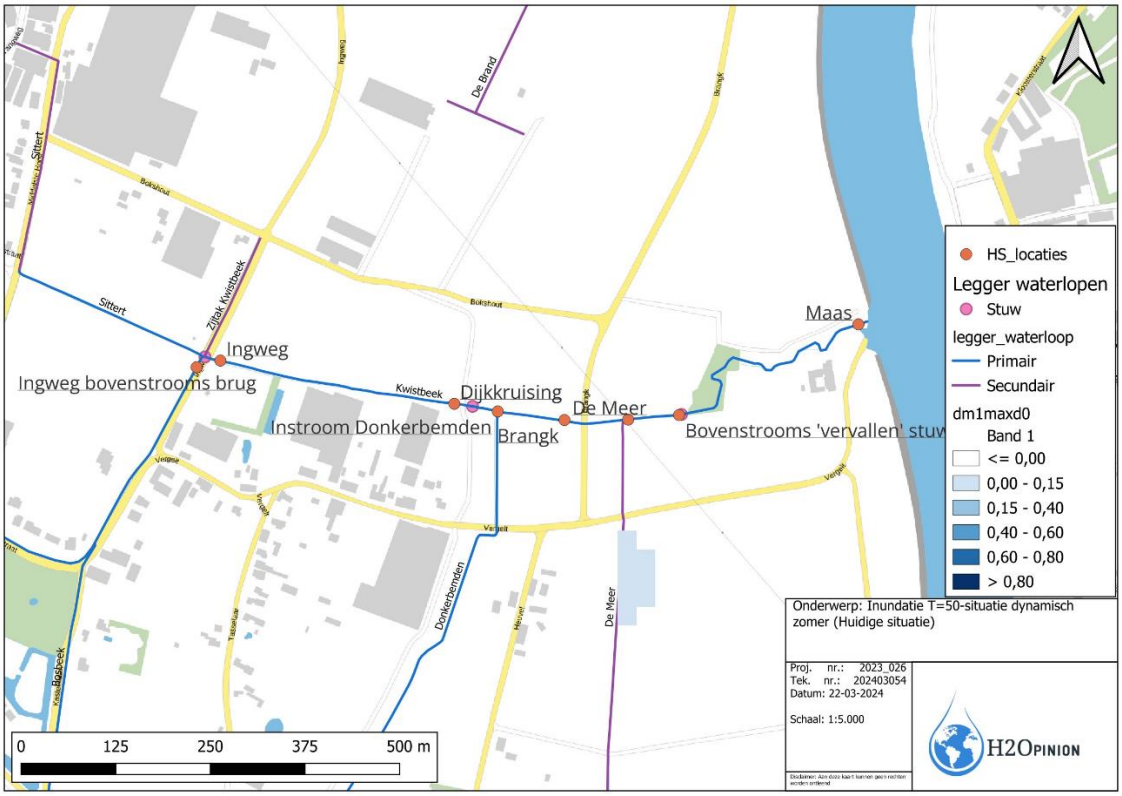
Er treedt geen inundatie op tijdens een T = 50 afvoersituatie op de percelen met een 1:50 normering.

T100-situatie Kwistbeek, Normale Maasstand

De berekende waterpeilen en mate van inundatie gedurende een T=100-situatie is weergegeven in de volgende tabel en figuur.

Tabel 12: Berekende waterpeilen in de Kwistbeek tijdens een T=100-afvoersituatie (huidige situatie) in de zomer. Waarden afgerond op 5 cm.

Locatie	Waterpeil T=100-situatie (m NAP)
Kwistbeek	
Ingweg bovenstrooms brug	17,20
Ingweg	16,15
Dijkkruising	15,60
Donkerbemden	14,75
Brangk	14,55
De Meer	14,50
Bovenstrooms 'vervallen' stuw	14,25
Maas	11,40



Figuur 21: Berekende inundatie gedurende een T=100-afvoersituatie (huidige situatie).

Er treedt geen inundatie op tijdens een T = 100 afvoersituatie op de percelen met een 1:100 normering.

Tijdens de hoge afvoeren treedt er inundatie op in de Kwistbeek op het traject Dijkkruising – benedenstrooms samenkomst zijtak 'De Meer'. De inundatie is beperkt tot de laag gelegen delen rondom de zijtak De Meer. Er treedt geen inundatie op tijdens een T = 10 afvoersituatie op de percelen met een 1:10 normering. De weg de 'Vergelt' ligt op circa 16,8 m NAP en zal tijdens een T = 100 afvoersituatie ook niet inunderen.

4.2. Samenvatting werking systeem

De benedenloop van de Kwistbeek ligt in het Maasdal. De ondergrond bestaat hoofdzakelijk uit een kleilaag. Lokaal zijn zandlagen op de klei aanwezig dit met name op de hogere delen waar zich dekzandruggen en rivierduinen bevinden. Het traject Ingweg – Maas wordt doorsneden door een waterkering en wordt in de huidige situatie gestuwd via één stuw. Een bodemval (feitelijk stuw) benedenstrooms van de waterkering/dijkkruising en de bodemhoogte van de dijkkruising beheerst het binnendijkse peil op het traject Ingweg-dijkkruising. De (vervallen) stuw benedenstrooms van de weg Brangk heeft een in de praktijk nog maar een klein opstuwend effect van het waterpeil benedenstrooms van de dijkkruising, in de Meer en Donkerbemden. Deze stuw is in functie vervallen. De Kwistbeek staat gedurende hoge Maasafvoeren onder invloed van waterpeilen van de Maas. Bij reguliere Maasafvoeren kan de Kwistbeek vrij afwateren.

5. Maatregelen en effecten

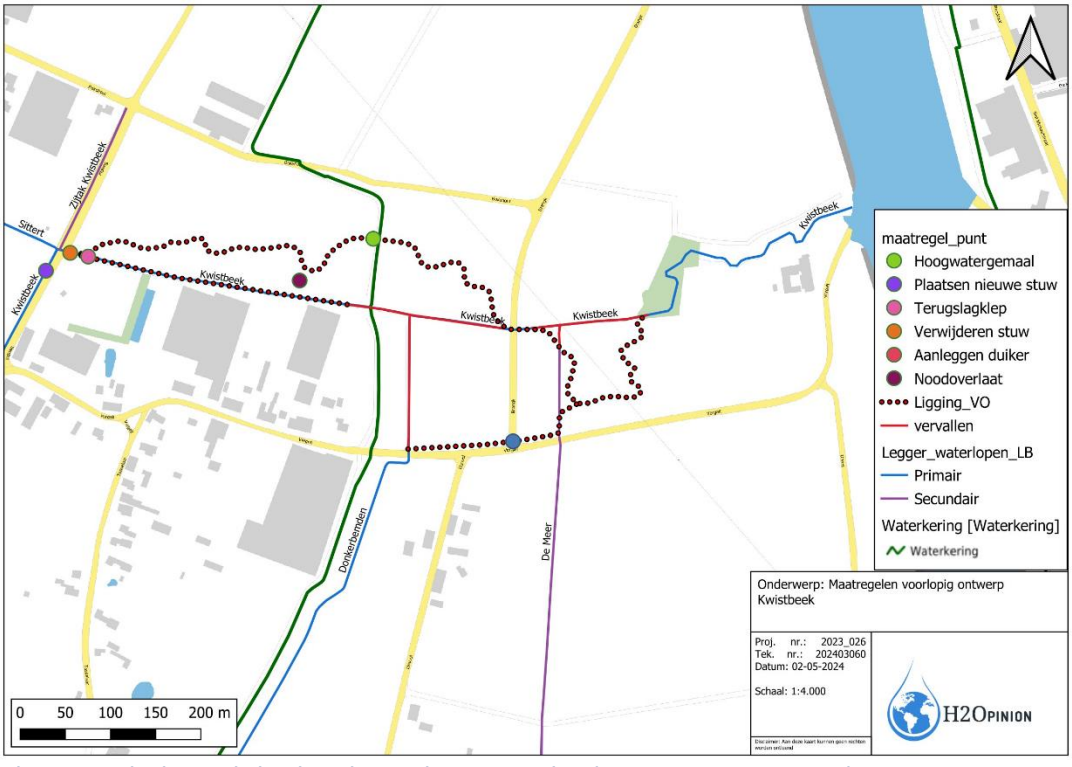
5.1. Maatregelen

5.1.1 Maatregelen Kwistbeek

De beoogde maatregelen aan het watersysteem van de Kwistbeek zijn als volgt:

- Verplaatsen stuw Ingweg voor een betere toestroom en vermindering hydraulische weerstand stuwlocatie. Nieuwe beoogde locatie ligt ca. 200 m bovenstrooms van de Ingweg. Stuwregime huidige stuw blijft gehandhaafd.
- Aanpassen ligging en bodemhoogte Kwistbeek. De modelweerstanden zijn weergegeven in tabel 13. De beoogde bodemhoogtes zijn:
    - Ingweg benedenstrooms : 14,90 m NAP
    - Dijkkruising : 14,10 m NAP
    - Weg Brangk : 13,80 m NAP
    - De Meer : 13,40 m NAP
    - Vervallen stuw/bosje : 13,00 m NAP
- Verwijderen bestaande bodemval en stuw dijkkruising
- Verwijderen constructie ‘vervallen stuw’
- Omvormen huidige Kwistbeek tussen Ingweg en waterkering tot hemelwaterbuffer voor aanliggende kassen; zie paragraaf 5.1.2.
- Aanpassen aansluiting Donkerbemden richting de Meer. Huidige ligging Donkerbemden vervalt in potentie als gevolg van aanleg kwelgeulen (autonome ontwikkeling); zie paragraaf 5.1.3.
- Vernieuwen hoogwatergemaal Kwistbeek; zie paragraaf 5.1.4.

De ligging van het ontwerp is weergegeven in Figuur 22.



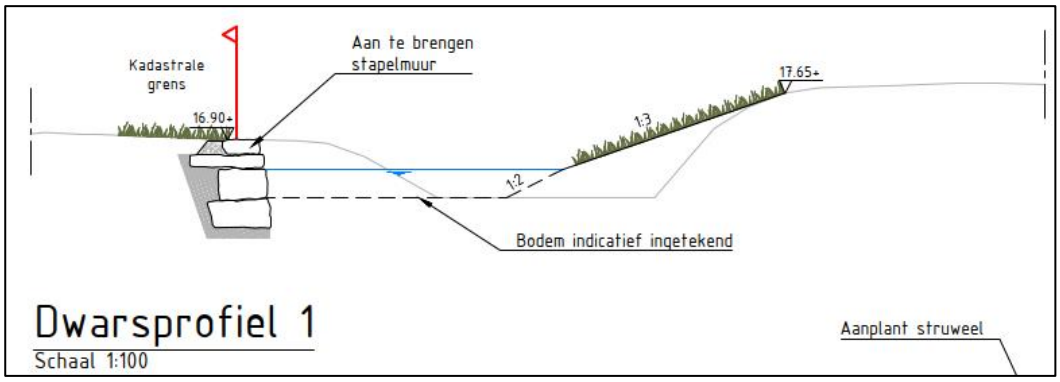
Figuur 22: Ligging Kwistbeek en beoogde maatregelen (ontwerp: VO 27-3-2024).

De modelweerstanden bij reguliere en hoge afvoeren zijn als volgt:

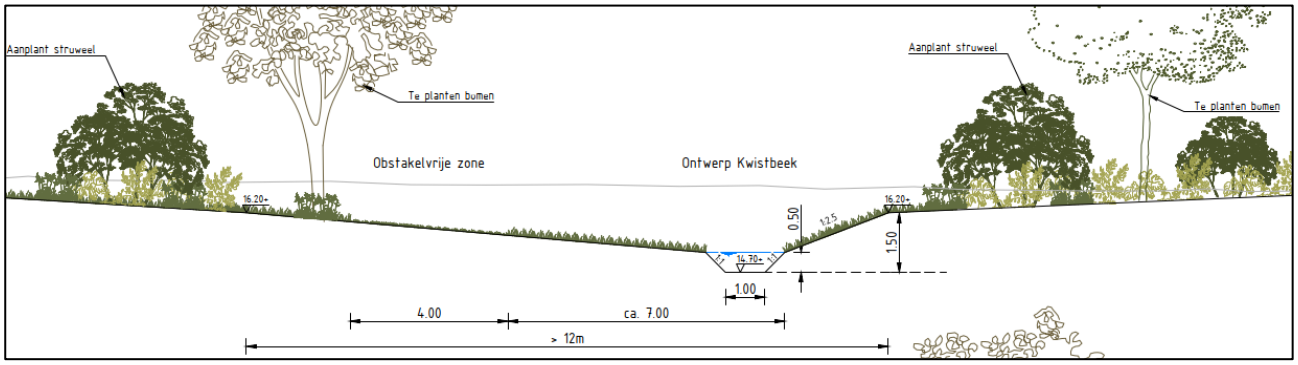
Tabel 13: Gebruikte modelweerstanden (huidige situatie en ontwerpsituatie).

Traject	Kstricker zomer		Kstricker winter	
	Huidig	**Ontwerp**	**Huidig**	**Ontwerp**
Kwistbeek Ingweg – Dijkkruising	15	10	25	15
Kwistbeek Dijkkruising-'vervallen' stuw	15	10	25	15
'vervallen' stuw – Maas	15	15	25	25
Secundaire lopen	15	15	25	25

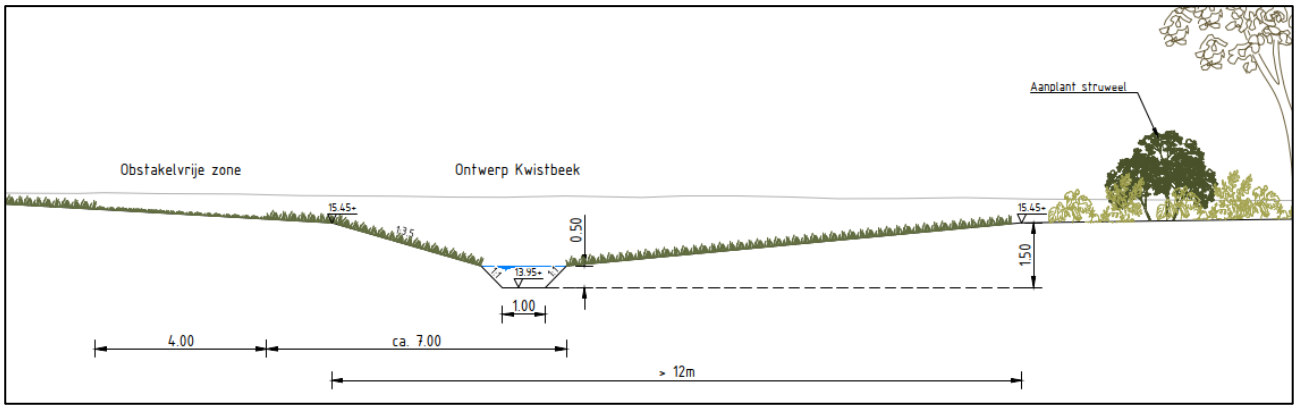
Het beoogde dwarsprofiel is weergegeven in de volgende afbeelding. Het dwarsprofiel gaat in het model vanaf de 1e fase van 50 cm diepte en 1 m bodembreedte met talud 1:1 over naar de 2e fase met een talud van 1:3 tot 1:10.



Figuur 23: Principe ontwerp dwarsdoorsnede bovenstrooms Ingweg (bodembreedte 1,0 meter).



Figuur 24: Principe ontwerp dwarsdoorsnede Ingweg - Dijkkruising (bodembreedte 1,0 meter).



Figuur 25: Principe ontwerp dwarsdoorsnede Dijkkruising – 'Vervallen' stuw (bodembreedte 1,0 meter).

5.1.2 Afvoer kassen

Er zijn 3 kassen die in de huidige situatie op de Kwistbeek afwateren. Om de afwatering mogelijk te behouden wordt de huidige Kwistbeek omgevormd tot afwateringssloot voor de kassen. De kassen zijn echter veelal ongebufferd. Om de hydraulische stress van de kassen op de Kwistbeek te verminderen (vermindering piekafvoeren) wordt de alternatieve afwatering ingericht als buffer. De indicatieve afwatering van de kassen in de huidige situatie is als volgt:



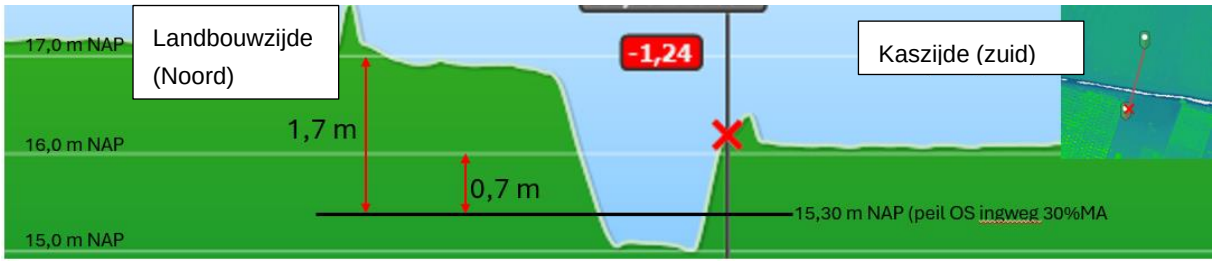
Figuur 26: Indicatieve afwateringsrichting kassen Kwistbeek.

Er wordt bij de berekening van de gewenste hoeveelheid berging uitgegaan van de gewenste berging conform huidig beleid van het Waterschap: berging van 100 mm ten opzichte van het aanwezige verharde oppervlak. Van kas nr. 3 wordt aangenomen dat deze op termijn wordt verwijderd. Deze wordt niet meegenomen in de uiteindelijke gewenste restopgave voor berging.

Tabel 14: Oppervlaktes en restopgave kassen

kas	Oppervlak (m2)	Bergingsopgave (mm)	Afstroming (m3)	Aanwezige buffer (m2)	inschatting bergingshoogte (m)	Berging buffer (m3)	Restopgave (m3)
1	6900	100	690	530	0,5	265	425
2	4470	100	447	0	0	0	447
3	15200	100	1520	0	0	0	0
		SOM	2657			**SOM**	872

Als er uitgegaan wordt van het invullen van de bergingsopgave van 100 mm (beleid waterschapsverordening) in de 'oude' beek is er een aanpassing van het bestaande profiel nodig (vorm, oppervlak). De volgende doorsnede geeft een weergave van de rekenhoogtes voor potentiële berging. De stromingsrichting van de huidige (en te vervallen) Kwistbeek wordt in de ontwerpsituatie omgedraaid richting de Ingweg. Er wordt een terugslagklep tussen de Kwistbeek en beoogde buffer geplaatst om de capaciteit van de buffer te waarborgen (plaatsing aan zijde Kwistbeek).



Figuur 27: schematische uitwerking berging afstroming kassen.

Er wordt uitgegaan van een potentiële bergingshoogte van 0,7 meter (max. bergingshoogte 16,0 m NAP). De benodigde oppervlakte (excl. taluds) komt daarmee neer op:

872 m^3/0,7 m = 1245 m^2

Met een trajectlengte van ca. 290 meter gaat het om een minimale profielbreedte van ca. 4,3 meter.
De leegloop wordt ingesteld op een leegloop van 2 l/s/ha met een terugslagklep (ca. 3 l/s; opening schuif knijpvoorziening ca. 5 cm). De stromingsrichting is richting de Ingweg.

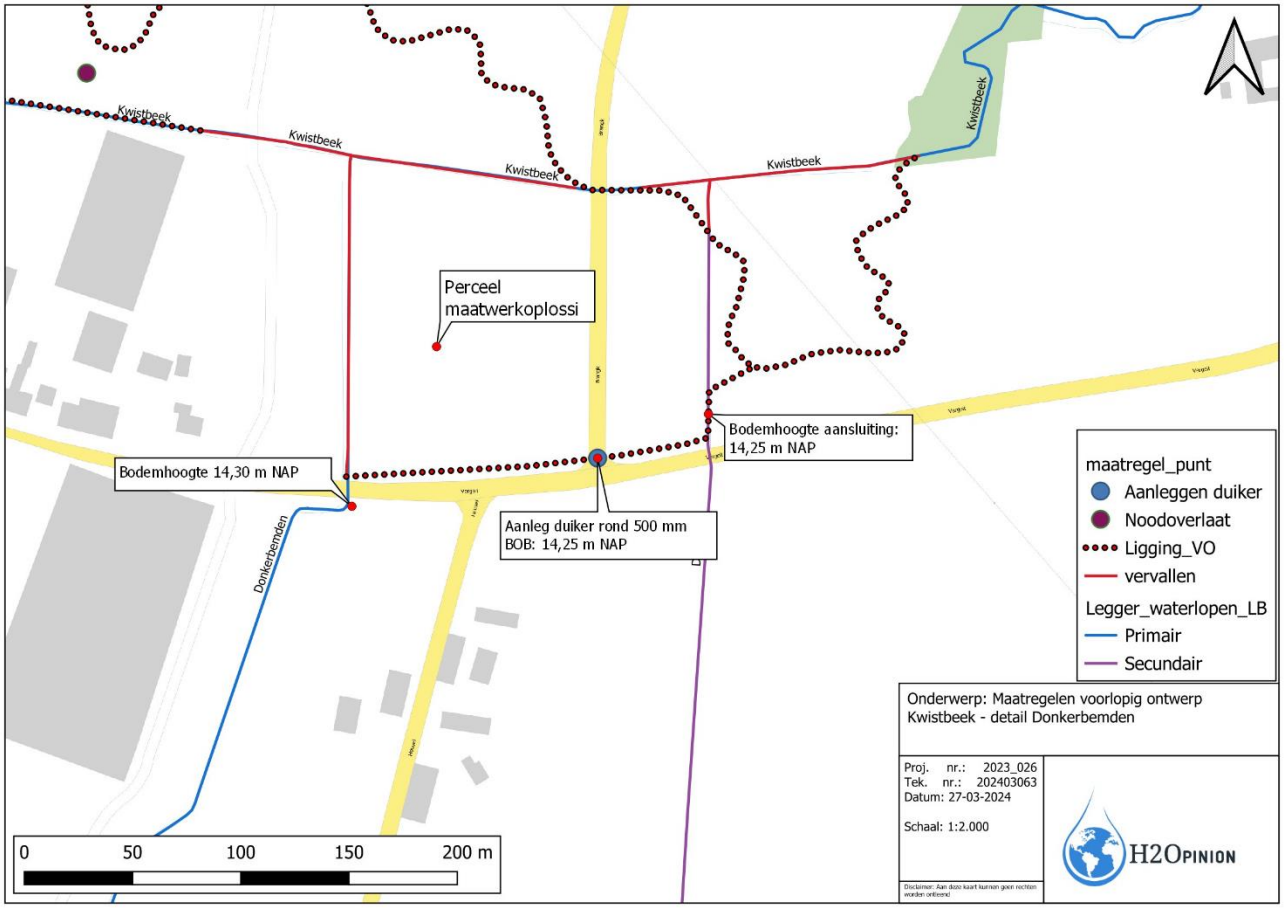
Er wordt rekening gehouden met een noodoverlaat om inundaties bij afvoerextremen te voorkomen als gevolg van opstuwing vanuit de Kwistbeek. Deze wordt in het DO in de berekeningen meegenomen. Noodoverlaat op 16,0 m NAP. Locatie onder 5.1.1 reeds gemarkeerd.

5.1.3 Afwatering Donkerbemden

De afwatering van de Donkerbemden kan door aanpassing van het lengteprofiel van de Kwistbeek niet meer op hetzelfde niveau plaats vinden. Om te zorgen dat de Donkerbemden kan afwateren, ongeacht of de waterloop vervalt als gevolg van de aanleg van een kwelgeul (geen onderdeel herinrichting Kwistbeek), is een aanpassing van de afwateringsrichting noodzakelijk. De verwachtte vernatting van het perceel tussen de weg Vergelt en de Kwistbeek (zie paragraaf 5.2) is niet weg te nemen met de aanpassing van de Donkerbemden. Hier is maatwerk noodzakelijk. [PM wat dit maatwerk uiteindelijk is]. De maatregelen voor behoud van de ontwatering van de Donkerbemden is als volgt:

- Koppeling van de Donkerbemden met de waterloop de Meer. Deze verbinding wordt parallel aan de weg Vergelt gelegd (noordzijde). Bodembreedte waterloop 0,5 m; talud 1:1,5.
- Aanleg van een duiker onder de weg ‘Brangk’

Mocht de aanleg van een kwelgeul bij de Donkerbemden doorgaan, dan vervallen de maatregelen zoals benoemd in deze paragraaf. Een detail van de maatregelen is weergegeven in de volgende afbeelding.



Figuur 28: Detail maatregelen verbinding Donkerbemden – de Meer.

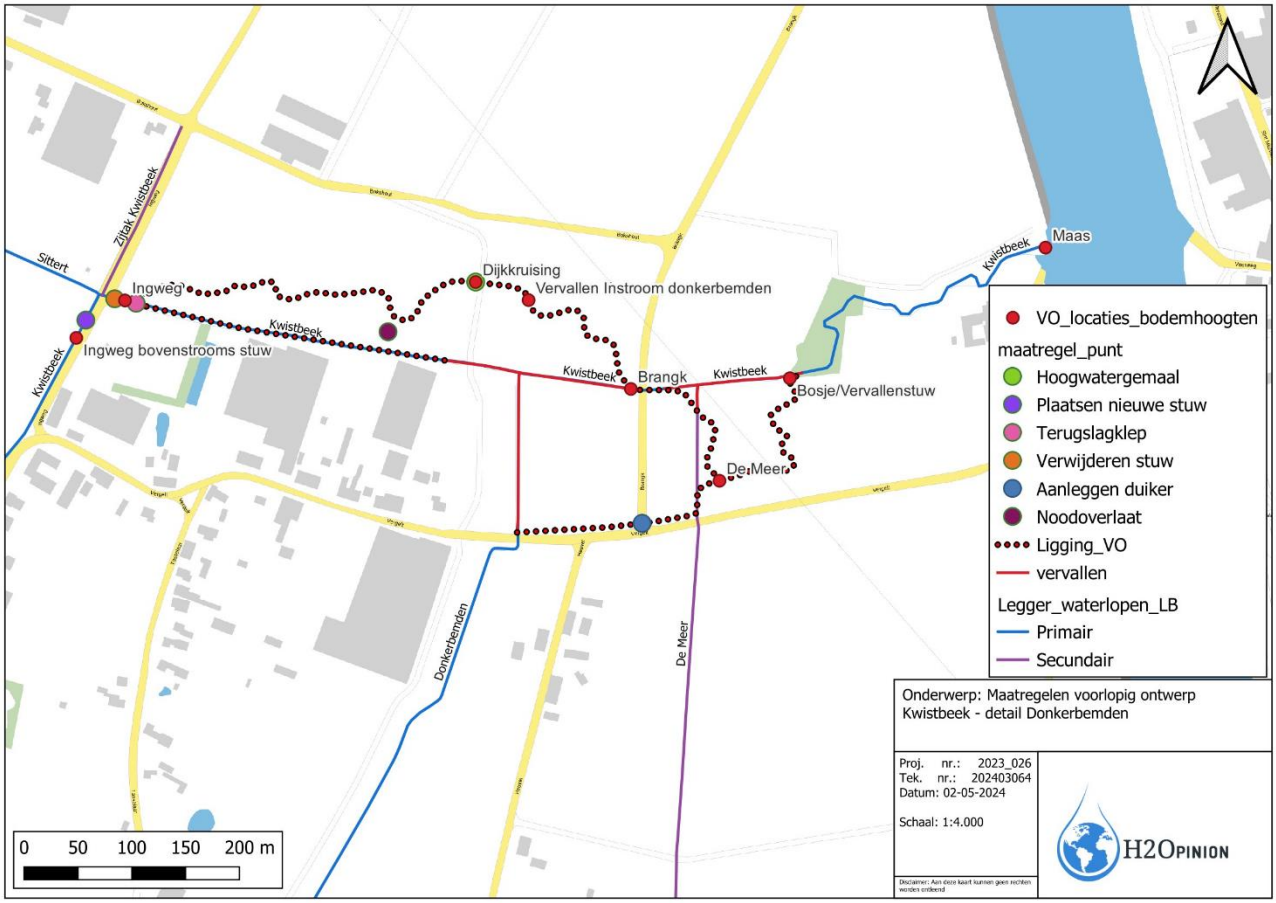
5.1.4 Hoogwatergemaal Kwistbeek

[PM]

5.2. Effecten

5.2.1 Effecten reguliere afvoeren

De locaties voor beoordeling van de waterpeilen in de ontwerpsituatie zijn weergegeven in de volgende afbeelding. Door de beoogde wijziging in ligging van de Kwistbeek is het niet één op één mogelijk om de waterpeilen van de locaties van de huidige situatie te vergelijken met het ontwerp. De locaties voor beoordeling van de waterpeilen in de ontwerpsituatie zijn weergegeven in de volgende afbeelding.



Figuur 29: Modellocaties bepaling waterpeilen en waterdieptes SOBEK-modellering van de ontwerpsituatie.

5.2.1.1. Effect op waterpeilen en waterdieptes

Zomersituatie

De berekende waterpeilen en waterdieptes in de ontwerpsituatie in de zomer zijn weergegeven in de volgende tabellen.

Tabel 15: Berekende waterpeilen voor het ontwerp gedurende een zomersituatie (zomerweerstanden en zomerstuwstanden).

Locatie	Waterpeil Basisafvoer, ca. 330 d/j overschreden	Waterdiepte Basisafvoer, ca. 330 d/j overschreden	Waterpeil voorjaarsafvoer, ca. 100 d/j overschreden	Waterdiepte voorjaarsafvoer, ca. 100 d/j overschreden	Waterpeil Halve jaarlijkse piekafvoer, ca. 20 d/j overschreden	Waterdiepte Halve jaarlijkse piekafvoer, ca. 20 d/j overschreden
	5%MA		30%MA		50%MA	
	m NAP	M	m NAP	m	m NAP	m
Ingweg bovenstrooms stuw	16,35	0,75	16,45	0,85	16,55	0,95
Ingweg	15,15	0,25	15,45	0,55	15,65	0,75
Dijkkruising	14,40	0,30	14,70	0,60	14,90	0,80
Vervallen instroom Donkerbemden	14,30	0,30	14,60	0,60	14,85	0,85
Brangk	14,05	0,25	14,30	0,50	14,55	0,75
De Meer	13,70	0,25	13,95	0,50	14,15	0,70
Bosje/ vervallen stuw	13,10	0,15	13,30	0,35	13,45	0,50
Maas	11,40	nvt	11,40	nvt	11,40	nvt

Tabel 16: Verschil tussen de huidige situatie en het ontwerp (OS - HS) voor de Kwistbeek gedurende reguliere afvoersituaties in de zomer.

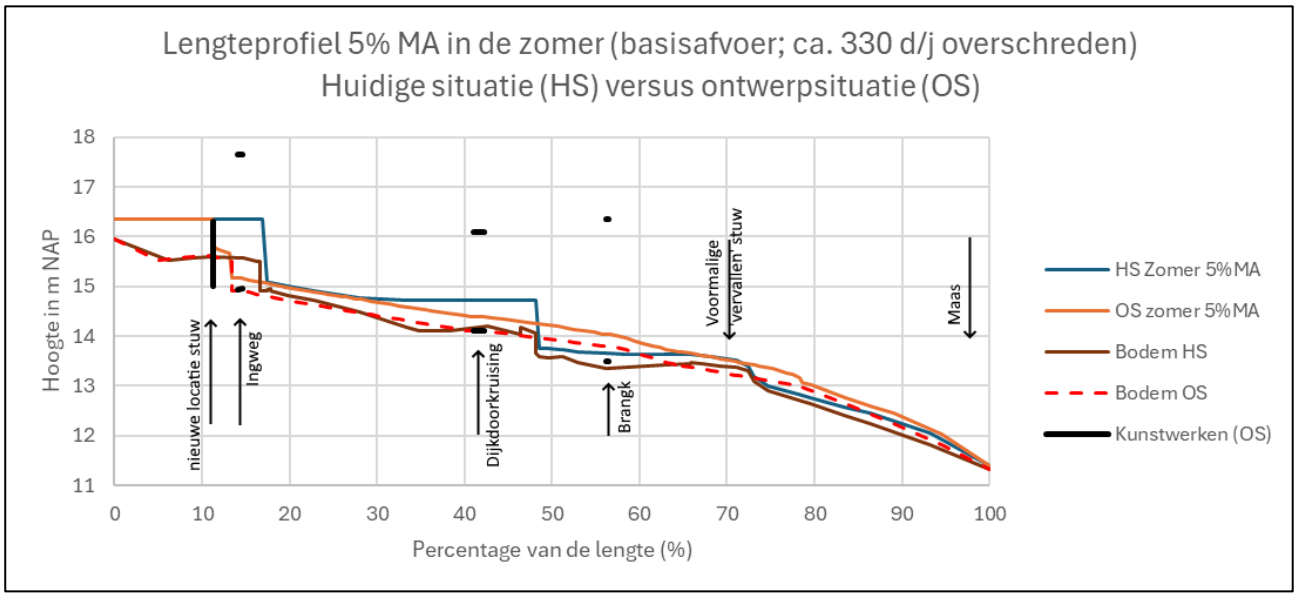
Locatie ontwerpsituatie	Referentie locatie huidige situatie	Verschil* in waterpeil (m) Basisafvoer, ca. 330 d/j overschreden	Verschil in waterpeil (m) Voorjaarsafvoer, ca. 100 d/j overschreden	Verschil in waterpeil (m) Halve jaarlijkse piekafvoer, ca. 20 d/j overschreden
		5%MA	20%MA	50%MA
		m NAP	m NAP	m NAP
Ingweg bovenstrooms stuw	Ingweg bovenstrooms brug	0	0	0
Ingweg	Ingweg benedenstrooms stuw	0,05	0,25	0,30
Dijkkruising	Dijkkruising	-0,30	-0,10	0
Vervallen instroom Donkerbemden	Uitstroom Donkerbemden	0,55	0,70	0,80
Brangk	Brangk	0,40	0,50	0,60
De Meer	De Meer	0,05	0,20	0,25
Bosje/ vervallen stuw	Bovenstrooms 'vervallen' stuw	-0,40	-0,30	-0,25
Maas	Maas	0	0	0

* Door de beoogde wijziging in ligging van de Kwistbeek is het alleen mogelijk om één op één de waterpeilen te vergelijken op de opgenomen locaties.

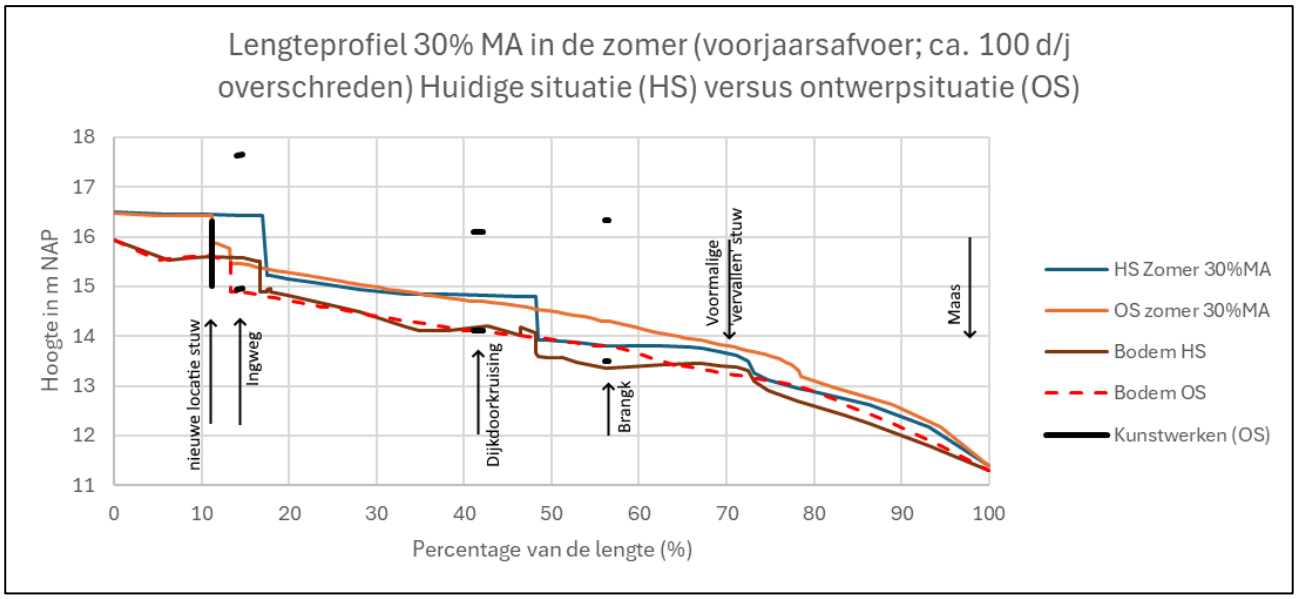
De waterdieptes liggen in de ontwerpsituatie vanaf de Ingweg tot de instroom van waterloop De Meer tussen 0,25 m bij een basisafvoer (5% MA, ca. 330 d/j overschreden) en 0,80 m bij een halve jaarlijkse piekafvoer

(50% MA, ca. 20 d/j overschreden). De minimale waterdieptes liggen daarmee bij een basisafvoer ca. 5-7 cm lager dan de soorteisen van Rivierdonderpad, Serpeling en Kopvoorn. Voor het traject 'Bosje/vervallen stuw – Maas ligt de waterdiepte bij een basisafvoer rond 15 cm diepte . De randvoorwaarden voor de soorten worden daarmee niet behaald. Er zijn echter lokaal stroomkuilen aanwezig die als rustplek voor de soorten kunnen fungeren. Er is daarmee geen beperking ten aanzien van de hydrologische randvoorwaarden voor de beoogde soorten te verwachten.

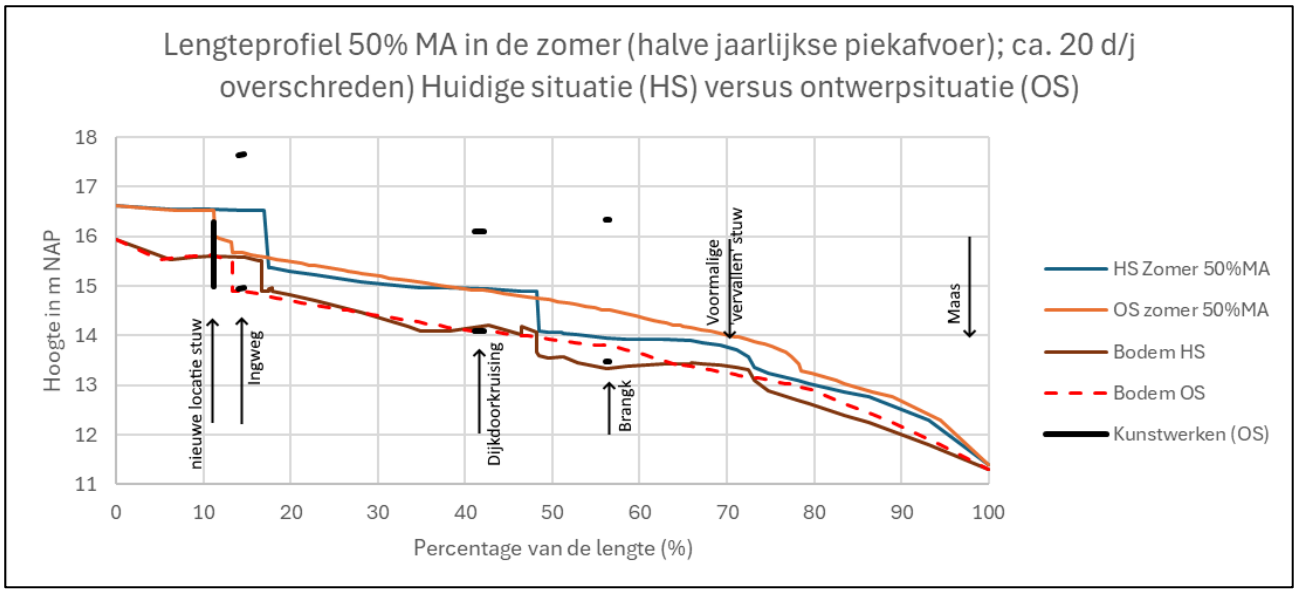
De stijgingen ten opzichte van de huidige situatie zijn het als gevolg van het langere tracé van de Kwistbeek in combinatie met bodemverhoging en toename in vegetatieweerstanden. Bij een basisafvoer gaat het om een stijging van 50 cm bij de weg Brangk (bij instroom Donkerbemden ca. 55 cm). Bij een halve jaarlijkse piekafvoer gaat het om een stijging van 60 cm t.o.v. de huidige situatie bij de Brangk en 25 cm bij instroom van waterloop 'De Meer. De beoordeling van de effecten op de drooglegging zijn opgenomen in paragraaf 5.1.3. De lengteprofielen met de bodemhoogtes en waterpeilen in de zomersituatie gedurende een basisafvoer, voorjaarsafvoer en halve jaarlijkse piekafvoer zijn weergegeven in de volgende afbeeldingen



Figuur 30: Lengteprofiel waterstanden gedurende een basisafvoer (5% MA; ca. 330 d/j; zomerweerstanden met zomerstuwstanden) in de zomer; huidige situatie (blauw) versus ontwerpsituatie (oranje)



Figuur 31: Lengteprofiel waterstanden gedurende een voorjaarsafvoer (30% MA; ca. 200 d/j; zomerweerstanden met zomerstuwstanden) in de zomer; huidige situatie (blauw) versus ontwerpsituatie (oranje)



Figuur 32: Lengteprofiel waterstanden gedurende een halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA; ca. 20 d/j; zomerweerstanden met zomerstuwstanden) in de zomer; huidige situatie (blauw) versus ontwerpsituatie (oranje)

Wintersituatie

De berekende waterpeilen en waterdieptes in de ontwerpsituatie in de winter zijn weergegeven in de volgende tabellen.

Tabel 17: Berekende waterpeilen voor het ontwerp gedurende een wintersituatie (winterweerstanden en winterstuwstanden).

Locatie	Waterpeil Basisafvoer, ca. 330 d/j overschreden	Waterdiepte Basisafvoer, ca. 330 d/j overschreden	Waterpeil voorjaarsafvoer, ca. 100 d/j overschreden	Waterdiepte voorjaarsafvoer, ca. 100 d/j overschreden	Waterpeil Halve jaarlijkse piekafvoer, ca. 20 d/j overschreden	Waterdiepte Halve jaarlijkse piekafvoer, ca. 20 d/j overschreden
	5%MA		30%MA		50%MA	
	m NAP	M	m NAP	m	m NAP	m
Ingweg bovenstrooms stuw	16,15	0,55	16,25	0,65	16,30	0,70
Ingweg	15,10	0,20	15,35	0,45	15,55	0,65
Dijkkruising	14,35	0,25	14,60	0,50	14,80	0,70
Vervallen instroom Donkerbemden	14,30	0,30	14,55	0,55	14,75	0,75
Brangk	14,00	0,20	14,20	0,40	14,45	0,65
De Meer	13,60	0,15	13,85	0,40	14,05	0,60
Bosje/ vervallen stuw	13,10	0,15	13,25	0,30	13,35	0,40
Maas	11,40	nvt	11,40	nvt	11,40	nvt

* Door de beoogde wijziging in ligging van de Kwistbeek is het alleen mogelijk om één op één de waterpeilen te vergelijken op de opgenomen locaties.

Tabel 18: Verschil tussen de huidige situatie en het ontwerp (OS - HS) voor de Kwistbeek gedurende reguliere afvoersituaties in de winter.

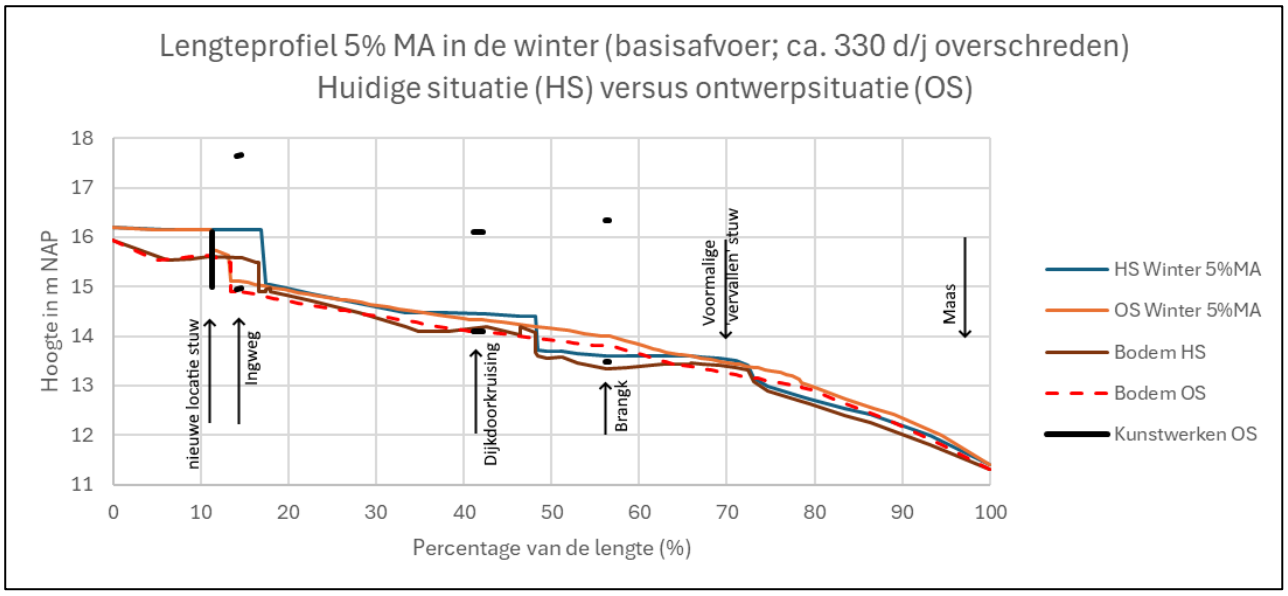
Locatie ontwerpsituatie	Referentie locatie huidige situatie	Verschil* in waterpeil (m) Basisafvoer, ca. 330 d/j overschreden	Verschil in waterpeil (m) Voorjaarsafvoer, ca. 100 d/j overschreden	Verschil in waterpeil (m) Halve jaarlijkse piekafvoer, ca. 20 d/j overschreden
		5%MA	20%MA	50%MA
		m NAP	m NAP	m NAP
Ingweg bovenstrooms stuw	Ingweg bovenstrooms brug	0	0	-0,05
Ingweg	Ingweg benedenstrooms stuw	0,05	0,15	0,30
Dijkkruising	Dijkkruising	-0,05	0,10	0,20
Vervallen instroom Donkerbemden	Uitstroom Donkerbemden	0,50	0,70	0,80
Brangk	Brangk	0,40	0,55	0,60
De Meer	De Meer	0	0,15	0,25
Bosje/ vervallen stuw	Bovenstrooms 'vervallen' stuw	-0,30	-0,35	-0,25
Maas	Maas	0	0	0

* Door de beoogde wijziging in ligging van de Kwistbeek is het alleen mogelijk om één op één de waterpeilen te vergelijken op de opgenomen locaties.

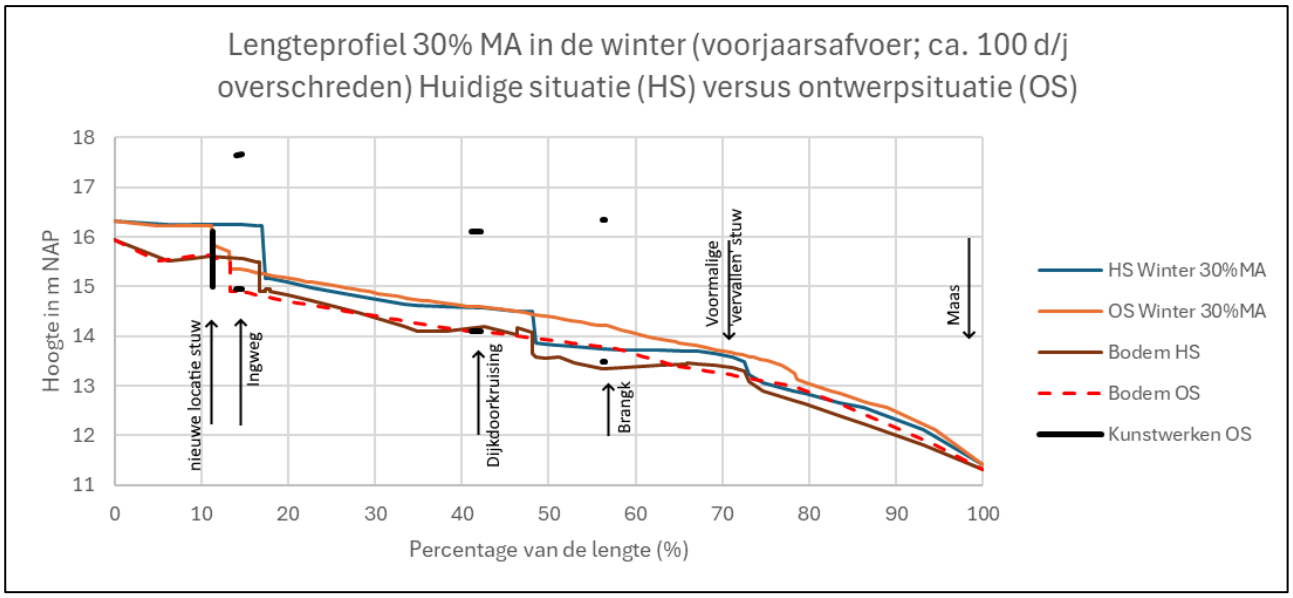
De waterdieptes liggen in de ontwerpsituatie in de winter vanaf de Ingweg tot de instroom van waterloop De Meer tussen 0,15 m bij een basisafvoer (5% MA, ca. 330 d/j overschreden) en 0,80 m bij een halve jaarlijkse

piekafvoer (50% MA, ca. 20 d/j overschreden). De minimale waterdieptes liggen daarmee bij een basisafvoer ca. 10-12 cm lager dan de soorteisen van Rivierdonderpad, Serpeling en Kopvoorn. Voor het traject 'Bosje/vervallen stuw – Maas ligt de waterdiepte bij een basisafvoer rond 15 cm diepte . De randvoorwaarden voor de soorten worden daarmee niet behaald. Er zijn echter lokaal stroomkuilen aanwezig die als rustplek voor de soorten kunnen fungeren. Er is daarmee geen beperking ten aanzien van de hydrologische randvoorwaarden voor de beoogde soorten te verwachten.

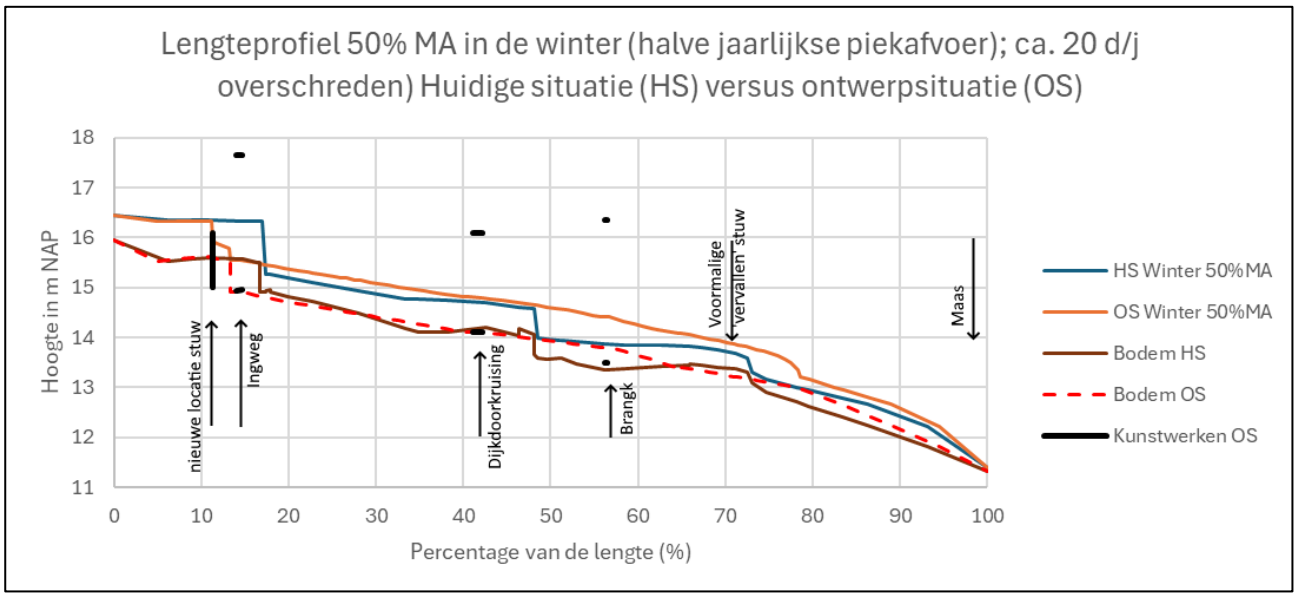
De stijgingen ten opzichte van de huidige situatie zijn het als gevolg van het langere tracé van de Kwistbeek in combinatie met bodemverhoging en toename in vegetatieweerstanden. Bij een basisafvoer gaat het om een stijging van 40 cm bij de weg Brangk (bij instroom Donkerbemden ca. 50 cm). Bij een halve jaarlijkse piekafvoer gaat het om een stijging van 60 cm t.o.v. d e huidige situatie bij de Brangk en 25 cm bij instroom van waterloop 'De Meer. Bij de voormalige instroom van de Donkerbemden gaat het om een stijging van 80 cm ten opzichte van de huidige situatie in de winter. De beoordeling van de effecten op de drooglegging zijn opgenomen in paragraaf 5.2.1.3. De lengteprofielen met de bodemhoogtes en waterpeilen in de wintersituatie gedurende een basisafvoer, voorjaarsafvoer en halve jaarlijkse piekafvoer zijn weergegeven in de volgende afbeeldingen



Figuur 33: Lengteprofiel waterstanden gedurende een basisafvoer (5% MA; ca. 330 d/j; winterweerstanden met winterstuwstanden) in de winter; huidige situatie (blauw) versus ontwerpsituatie (oranje)



Figuur 34: Lengteprofiel waterstanden gedurende een voorjaarsafvoer (30% MA; ca. 100 d/j; winterweerstanden met winterstuwstanden) in de winter; huidige situatie (blauw) versus ontwerpsituatie (oranje)



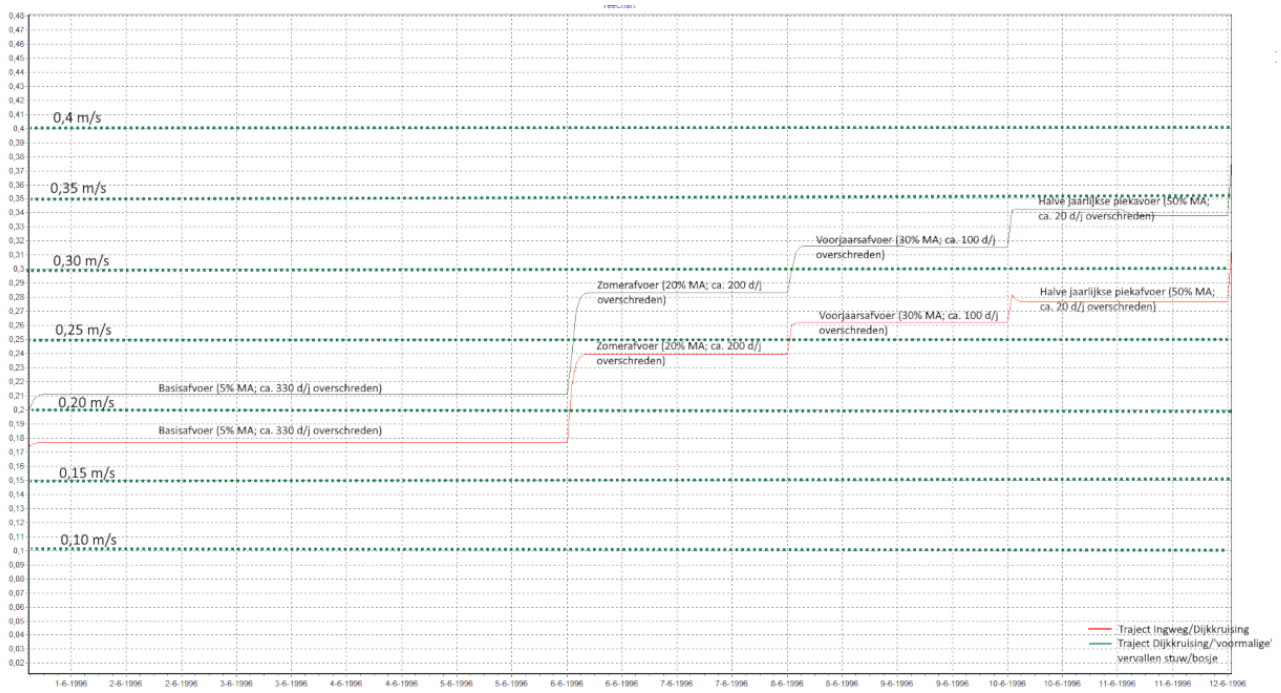
Figuur 35: Lengteprofiel waterstanden gedurende een halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA; ca. 20 d/j; winterweerstanden met winterstuwstanden) in de winter; huidige situatie (blauw) versus ontwerpsituatie (oranje)

5.2.1.2. Effect op stroomsnelheden

De stroomsnelheden in de ontwerpsituatie zijn weergegeven in de volgende figuur. Op het traject Ingweg-dijkkruising ligt de stroomsnelheid gedurende een zomersituatie tussen de ca. 0,18 m/s gedurende een basisafvoer (5% MA, ca. 330 d/j overschreden) en 0,24 m/s gedurende een zomerafvoer (20% MA, ca. 200 d/j overschreden). Voor een halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA, ca. 20 d/j overschreden) is de stroomsnelheid circa 0,28 m/s.

Op het traject dijkkruising-vervallen stuw/bosje ligt de stroomsnelheid tussen de ca. 0,21 m/s gedurende een basisafvoer (5% MA, ca. 330 d/j overschreden) en 0,28 m/s gedurende een zomerafvoer (20% MA, ca. 200 d/j overschreden). Voor een halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA, ca. 20 d/j overschreden) is de stroomsnelheid circa 0,34 m/s.

De stroomsnelheden liggen in de ontwerpsituatie gedurende een basis- en zomerafvoer binnen de bandbreedte van 0,1 en 0,5 m/s. Dit valt binnen de randvoorwaarden voor een KRW-type R4-waterloop. De randvoorwaarde voor stroomsnelheden voor het traject Ingweg-vervallen stuw/bosje worden daarmee behaald.



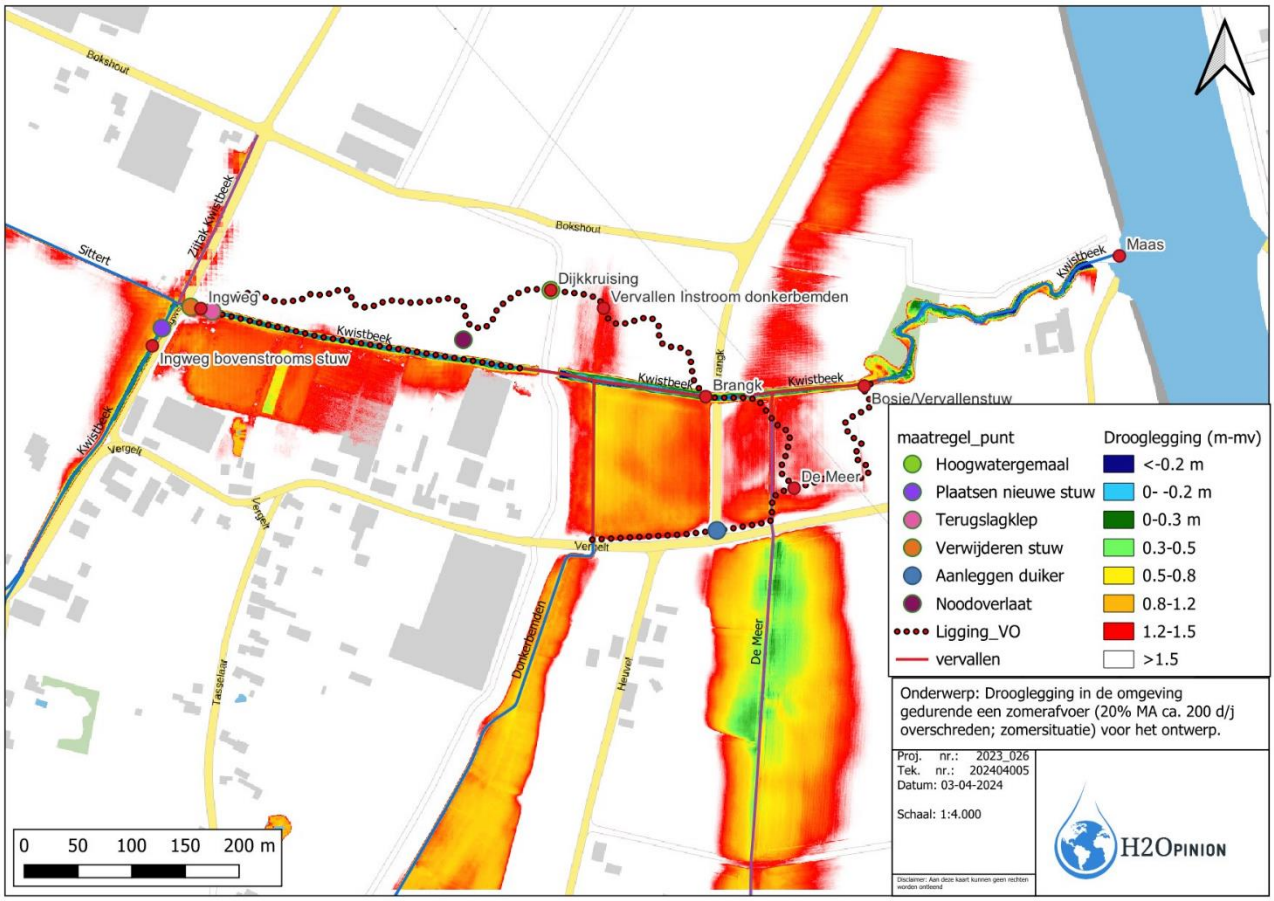
Figuur 36: Berekende stroomsnelheden gedurende een basisafvoer (5% MA), zomerafvoer (20% MA) en halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA). Traject Ingweg-dijkkruising (rood) en dijkkruising-vervallen stuw/bosje (groen).

5.2.1.3. Effecten drooglegging

Zomersituatie

De kassen hebben in een zomersituatie een drooglegging van ca. 1,0 m-mv (norm zomer: 0,8 m-mv). Bij de graslandpercelen ter hoogte van de Donkerbemden gaat het om een drooglegging van 0,65 m-maaiveld (norm zomer: 0,3 m-mv). De percelen langs de waterloop de Meer (bovenstrooms weg Vergelt) vormen een uitzondering met een drooglegging tussen 0,25 m-maaiveld en 0,5 m-maaiveld. Hier wordt de drooglegginsnorm voor akkerbouw in zowel de huidige als ontwerpsituatie niet behaald. Voor de rest van de functies worden de drooglegginsnormen in de ontwerpsituatie gedurende een zomersituatie behaald. Er is geen negatief effect van de wijzigingen op het behalen van de drooglegginsnormen in de zomer te verwachten.

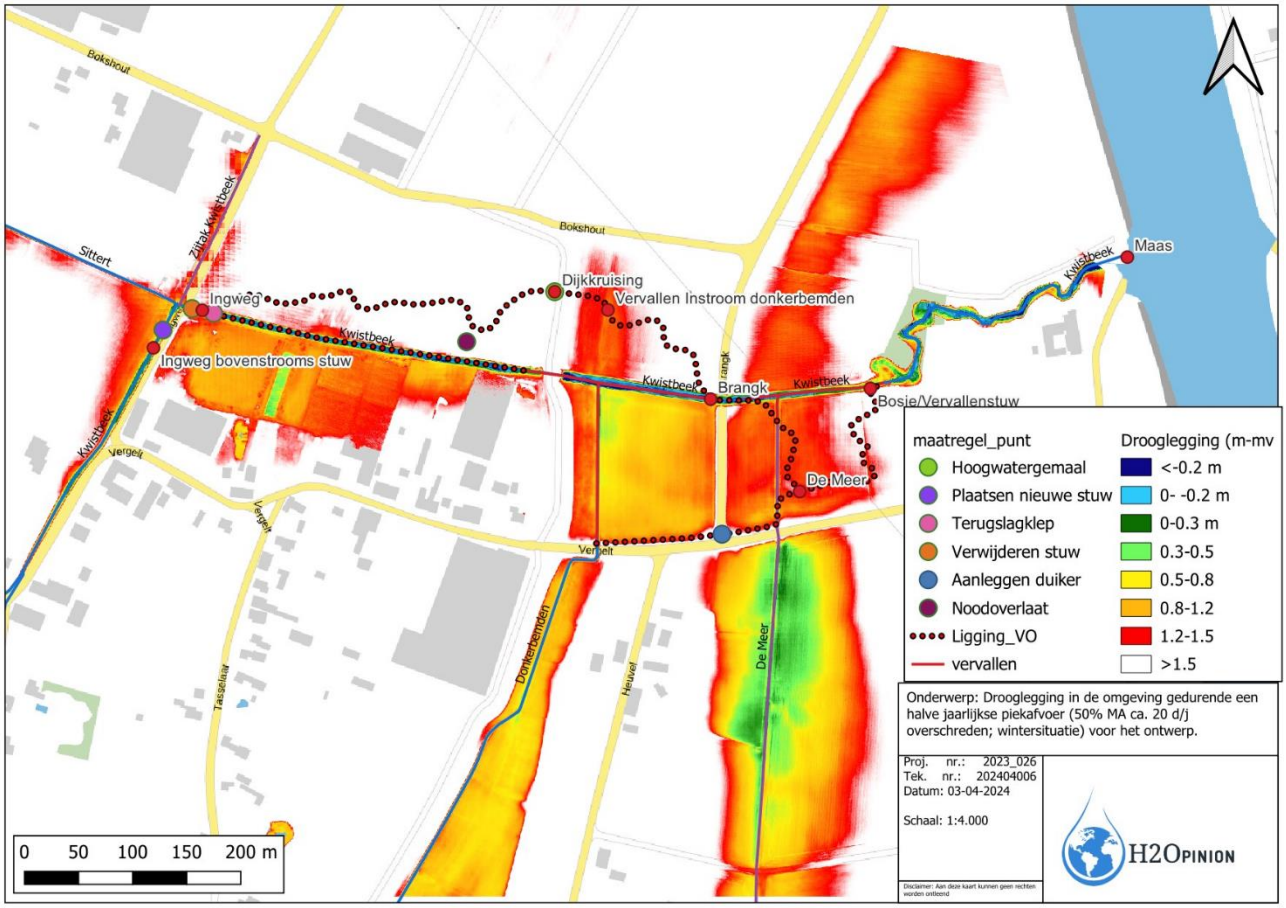
[Disclaimer grondgebruik: Het huidige grondgebruik is bepaald op basis van het meest voorkomende grondgebruik. Sommige percelen zijn grasland op basis van de analyse van het meest voorkomende grondgebruik. De toekomstige inrichting van de Kwistbeek kan beperkingen geven voor toekomstige omvormingen naar bouwland. Dit is met name geldend voor percelen tussen de weg Vergelt en de Kwistbeek (benedenstroomse zijde waterkering); Dit is een nadere discussie voor de DO-fase]



Figuur 37: Drooglegging ontwerpsituatie gedurende een zomerafvoer (20% MA; ca. 200 d/j overschreden) in de zomer.

Wintersituatie

De kassen hebben in een wintersituatie een drooglegging van ca. 0,9 m-mv (norm winter: 1,0 m-mv). Bij de graslandpercelen ter hoogte van de Donkerbemden gaat het om een drooglegging van 0,6 m-maaiveld (norm winter: 0,6 m-mv). De percelen langs de waterloop de Meer (bovenstrooms weg Vergelt) vormen een uitzondering met een drooglegging tussen 0,25 m-maaiveld en 0,5 m-maaiveld. Hier wordt de drooglegginsnorm voor akkerbouw in zowel de huidige als ontwerpsituatie niet behaald. Voor de rest van de functies worden de drooglegginsnormen in de ontwerpsituatie gedurende een wintersituatie behaald. Voor de kassen moet in de DO-fase beoordeeld worden of aanvullende maatregelen nodig zijn om de verandering in drooglegging te compenseren.



Figuur 38: Drooglegging ontwerpsituatie gedurende een halve jaarlijkse piekafvoer (50% MA; ca. 20 d/j overschreden) in de winter.

5.2.2 Effecten afvoerextremen

De berekende inundatie bij afvoerextremen (zomersituatie) is in beeld gebracht voor de volgende situaties. Dit zijn de waarden inclusief klimaatopslag:

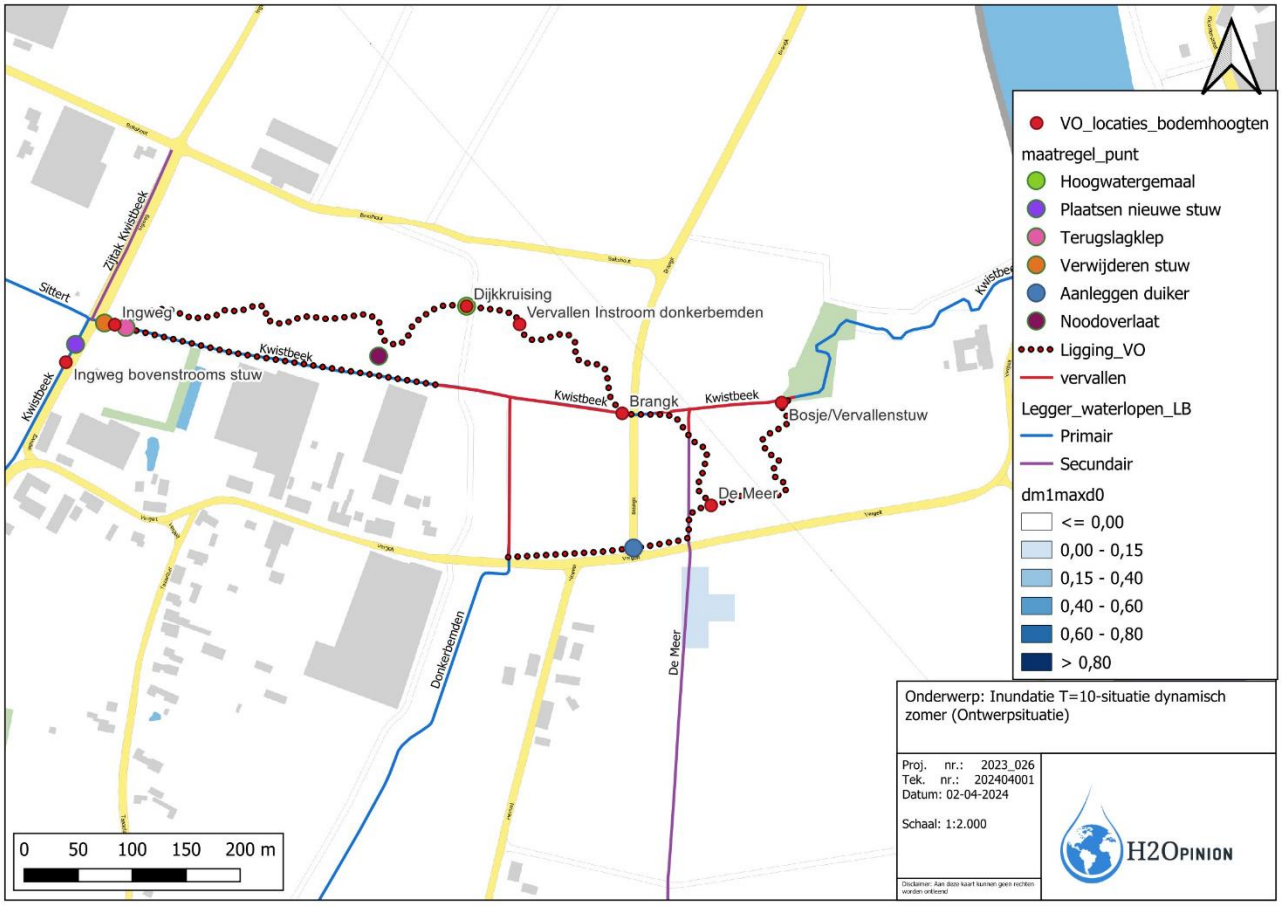
1. T=10-situatie: T=10 afvoer incl. klimaat (10%) Kwistbeek (max 2,73 m^3/s) met een normale Maastand (11,4 m NAP).
2. T=25-situatie: T=25 afvoer incl. klimaat (10%) Kwistbeek (max 3,15 m^3/s) met een normale Maastand (11,4 m NAP).
3. T=50-situatie: T=50 afvoer incl. klimaat (20%) Kwistbeek (max 3,96 m^3/s) met een normale Maastand (11,4 m NAP).
4. T=100-situatie: T=100-afvoer incl. klimaat (20%) Kwistbeek (max 4,27 m^3/s) met een normale Maasstand (11,40 m NAP).

5.2.2.1 T10-situatie Kwistbeek, Normale Maasstand

De berekende waterpeilen en locaties van de weergegeven waterpeilen en mate van inundatie gedurende een T=10-situatie (zomersituatie) is weergegeven in de volgende tabel en figuur.

Tabel 19: Berekende waterpeilen in de Kwistbeek tijdens een T=10-afvoersituatie (zomersituatie met zomerstuwstanden en zomerweerstanden; ontwerpsituatie incl. klimaatopslag).

Locatie		Waterpeil T=10-situatie (m NAP)		Verschil (ontwerp – huidig) (m)
		Kwistbeek		
Locatie ontwerpsituatie	**Referentie locatie huidige situatie**	**Huidig (excl. klimaat)**	**Ontwerp (incl. klimaat)**	*
Ingweg bovenstrooms stuw	**Ingweg bovenstrooms brug**	17,00	17,00	0
Ingweg	**Ingweg benedenstrooms stuw**	15,95	16,25	+0,30
Dijkkruising	**Dijkkruising**	15,35	15,55	+0,20
Vervallen instroom Donkerbemden	**Uitstroom Donkerbemden**	14,60	15,40	+0,60
Brangk	**Brangk**	14,40	15,05	+0,65
De Meer	**De Meer**	14,35	14,70	+0,35
Bosje/ vervallen stuw	**Bovenstrooms 'vervallen' stuw**	14,10	13,90	-0,20
Maas	**Maas**	11,40	11,40	0



Figuur 39: Berekende inundatie gedurende een T=10-afvoersituatie voor het ontwerp (zomersituatie met zomerstuwstanden en zomerweerstanden; ontwerpsituatie incl. klimaatopslag).

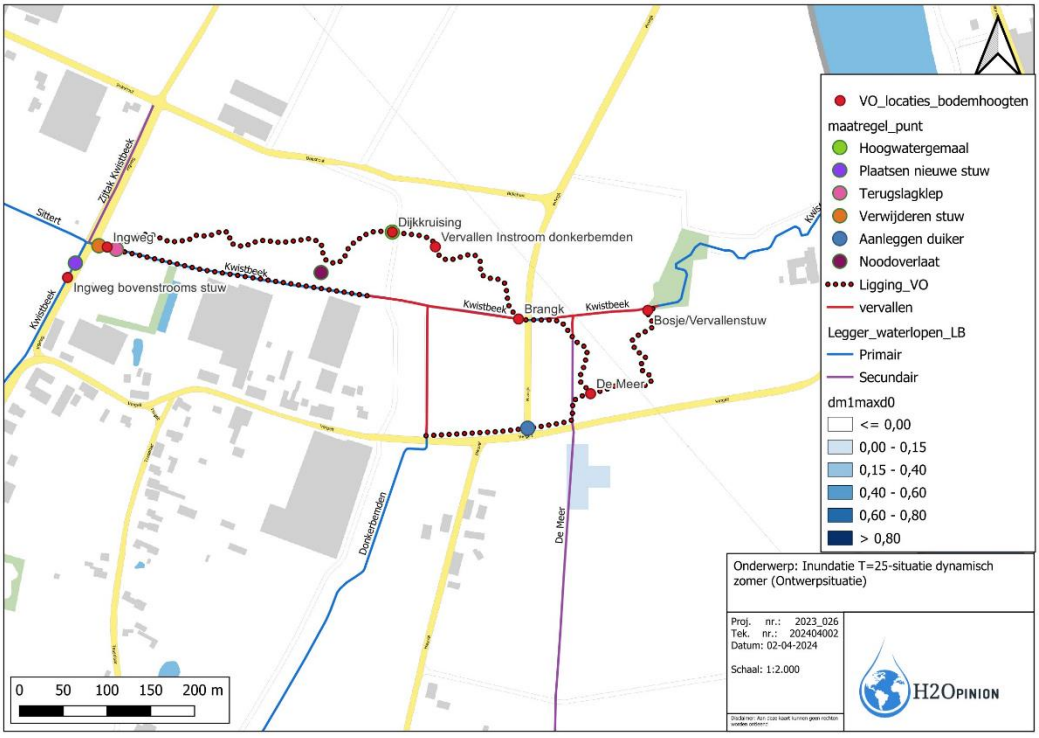
De locaties met inundatie blijven gelijk tussen de huidige situatie en het ontwerp. Er treedt voor het ontwerp inundatie op tijdens een T = 10 afvoersituatie op de percelen naast de Meer met een T=0 normering. De inundatiediepte is circa 10 tot 30 cm en blijft gelijk aan de huidige situatie.

5.2.2.2 T25-situatie Kwistbeek, Normale Maasstand

De berekende waterpeilen en mate van inundatie gedurende een T=25-situatie (zomersituatie) is weergegeven in de volgende tabel en figuur.

Tabel 20: Berekende waterpeilen in de Kwistbeek tijdens een T=25-afvoersituatie (zomersituatie met zomerstuwstanden en zomerweerstanden; ontwerpsituatie incl. klimaatopslag).

Locatie		Waterpeil T=25-situatie (m NAP)		Verschil (ontwerp – huidig) (m)
		Kwistbeek		
Locatie ontwerpsituatie	**Referentie locatie huidige situatie**	**Huidig (excl. klimaat)**	**Ontwerp (incl. klimaat)**	*
Ingweg bovenstrooms stuw	**Ingweg bovenstrooms brug**	17,10	17,05	-0,05
Ingweg	**Ingweg benedenstrooms stuw**	16,00	16,30	+0,30
Dijkkruising	**Dijkkruising**	15,45	15,65	+0,20
Vervallen instroom Donkerbemden	**Uitstroom Donkerbemden**	14,65	15,45	+0,80
Brangk	**Brangk**	14,45	15,15	+0,70
De Meer	**De Meer**	14,40	14,75	+0,35
Bosje/ vervallen stuw	**Bovenstrooms 'vervallen' stuw**	14,15	13,95	-0,20
Maas	**Maas**	11,40	11,40	0



Figuur 40: Berekende inundatie gedurende een T=25-afvoersituatie voor het ontwerp (zomersituatie met zomerstuwstanden en zomerweerstanden; ontwerpsituatie incl. klimaatopslag).

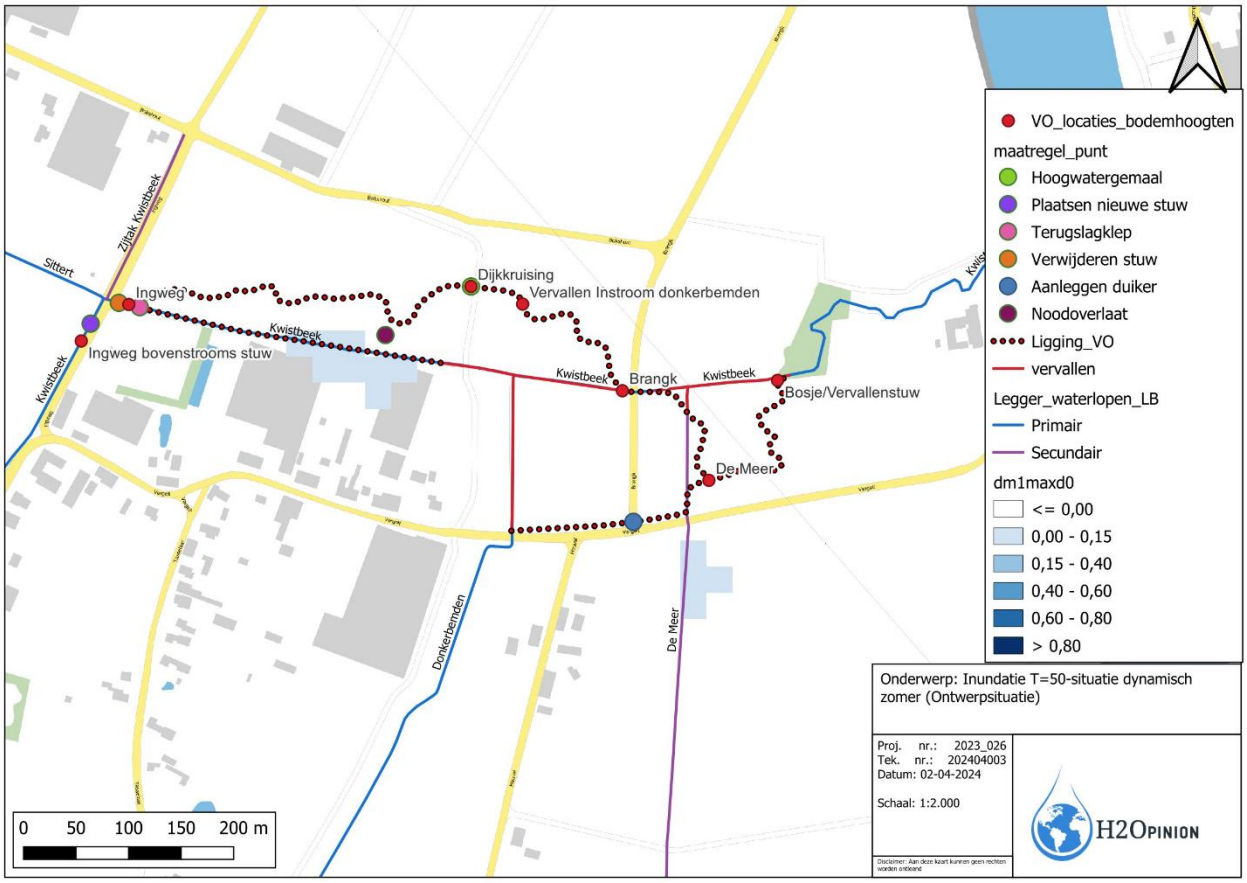
De locaties met inundatie blijft vrijwel gelijk tussen de huidige situatie en de ontwerpsituatie. Er is net als in de huidige situatie sprake van inundatie langs de waterloop de Meer. De inundatiediepte en oppervlak is hier nagenoeg gelijk ten opzichte van de huidige situatie.

5.2.2.3 T50-situatie Kwistbeek, Normale Maasstand

De berekende waterpeilen en mate van inundatie gedurende een T=50-situatie (zomersituatie) is weergegeven in de volgende tabel en figuur.

Tabel 21: Berekende waterpeilen in de Kwistbeek tijdens een T=50-afvoersituatie (zomersituatie met zomerstuwstanden en zomerweerstanden; ontwerpsituatie incl. klimaatopslag).

Locatie		Waterpeil T=50-situatie (m NAP)		Verschil (ontwerp – huidig) (m)
		Kwistbeek		
Locatie ontwerpsituatie	Referentie locatie huidige situatie	Huidig (excl. klimaat)	Ontwerp (incl. klimaat)	*
Ingweg bovenstrooms stuw	Ingweg bovenstrooms brug	17,15	17,15	0
Ingweg	Ingweg benedenstrooms stuw	16,10	16,40	+0,30
Dijkkruising	Dijkkruising	15,50	15,80	+0,30
Vervallen instroom Donkerbemden	Uitstroom Donkerbemden	14,70	15,55	+0,85
Brangk	Brangk	14,50	15,25	+0,75
De Meer	De Meer	14,45	14,85	+0,40
Bosje/ vervallen stuw	Bovenstrooms 'vervallen' stuw	14,20	13,95	-0,25
Maas	Maas	11,40	11,40	0



Figuur 41: Berekende inundatie gedurende een T=50-afvoersituatie voor het ontwerp (zomersituatie met zomerstuwstanden en zomerweerstanden; ontwerpsituatie incl. klimaatopslag).

Er treedt, net als in de huidige situatie inundatie op bij de percelen langs de waterloop de Meer. Er is geen verandering in de mate van inundatie op deze locatie als gevolg van de maatregelen te verwachten. Bovenstrooms van de waterkering treedt inundatie op gedurende een T=50 situatie als gevolg van terugstuwing vanuit de Kwistbeek. Een terugslagklep tussen de 'oude Kwistbeek' en de Kwistbeek kan deze inundatie gedurende kortdurende afvoergolven voorkomen. De aanleg van een noodoverlaat op een hoogte van 16,0 m NAP tussen de Kwistbeek (zie maatregelenkaart) voorkomt inundatie van de kassen als gevolg van piekafvoeren in de Kwistbeek.

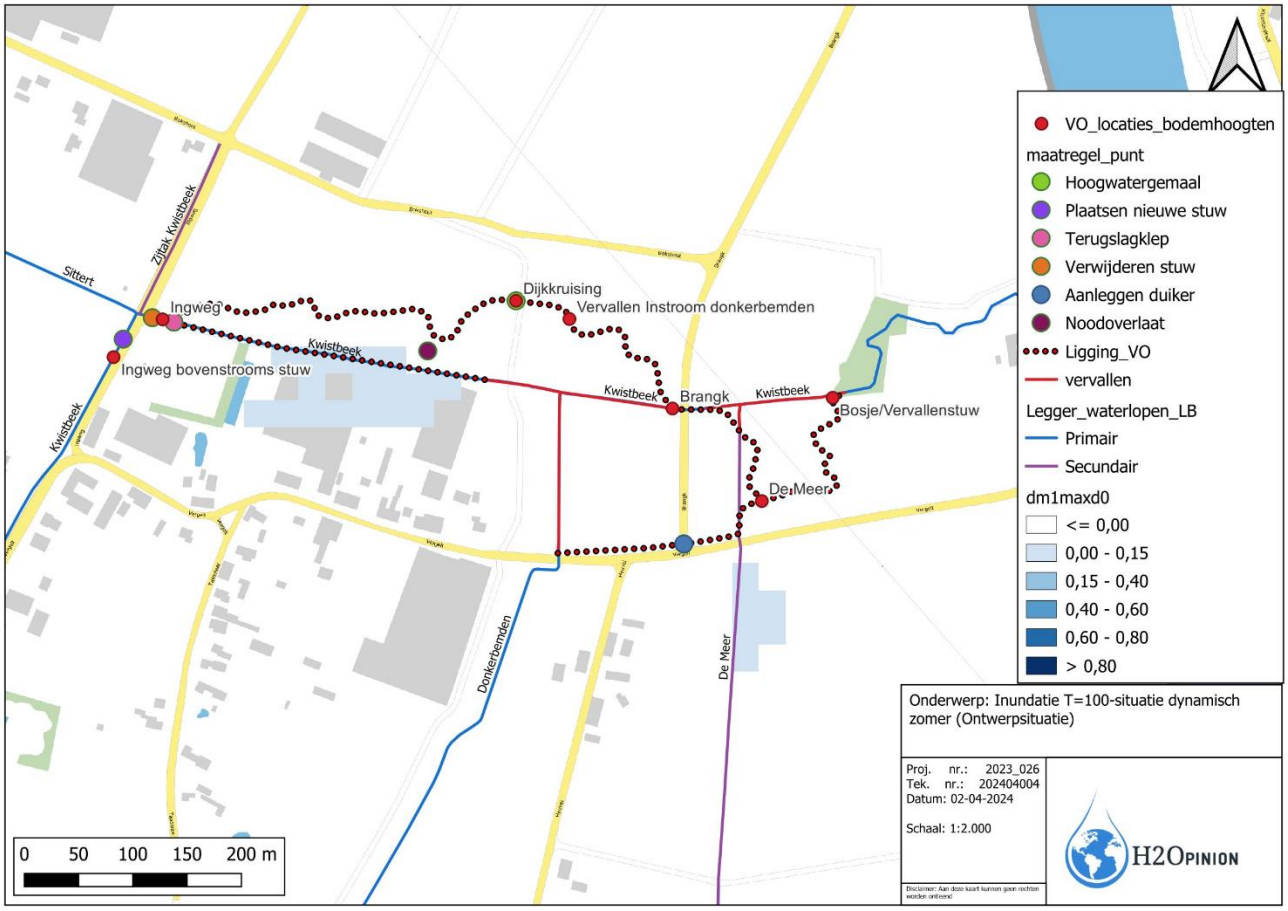
5.2.2.4 T100-situatie Kwistbeek, Normale Maasstand

De berekende waterpeilen en mate van inundatie gedurende een T=100-situatie (zomersituatie) is weergegeven in de volgende tabel en figuur.

Tabel 22: Berekende waterpeilen in de Kwistbeek tijdens een T=100-afvoersituatie (zomersituatie met zomerstuwstanden en zomerweerstanden; ontwerpsituatie incl. klimaatopslag).

Locatie		Waterpeil T=100-situatie (m NAP)		Verschil (ontwerp – huidig) (m)
		Kwistbeek		
Locatie ontwerpsituatie	**Referentie locatie huidige situatie**	**Huidig (excl. klimaat)**	**Ontwerp (incl. klimaat)**	*
Ingweg bovenstrooms stuw	**Ingweg bovenstrooms brug**	17,20	17,20	0
Ingweg	**Ingweg benedenstrooms stuw**	16,15	16,45	+0,30
Dijkkruising	**Dijkkruising**	15,60	15,90	+0,30
Vervallen instroom Donkerbemden	**Uitstroom Donkerbemden**	14,75	15,60	+0,85
Brangk	**Brangk**	14,55	15,25	+0,70
De Meer	**De Meer**	14,50	14,85	+0,35
Bosje/ vervallen stuw	**Bovenstrooms 'vervallen' stuw**	14,25	14,10	-0,15
Maas	**Maas**	11,40	11,40	0

Er treedt, net als in de huidige situatie inundatie op bij de percelen langs de waterloop de Meer. Er is geen verandering in de mate van inundatie op deze locatie als gevolg van de maatregelen te verwachten. Bovenstrooms van de waterkering treedt, net als gedurende een T=50-situatie (ontwerpsituatie), inundatie op gedurende een T=100 situatie als gevolg van terugstuwing vanuit de Kwistbeek. Een terugslagklep tussen de 'oude Kwistbeek' en de Kwistbeek kan deze inundatie gedurende kortdurende afvoergolven voorkomen. De aanleg van een noodoverlaat op een hoogte van 16,0 m NAP tussen de Kwistbeek (zie maatregelenkaart) voorkomt inundatie van de kassen als gevolg van piekafvoeren in de Kwistbeek.



Figuur 42: Berekende inundatie gedurende een T=100-afvoersituatie voor het ontwerp (zomersituatie met zomerstuwstanden en zomerweerstanden; ontwerpsituatie incl. klimaatopslag).

6. Conclusie

De herinrichting van de benedenloop van de Kwistbeek richt zich op het verbeteren van da abiotische omstandigheden tussen de Ingweg in Baarlo en de Maas. De huidige inrichting van de beek past niet bij de beoogde doelen van een R4 waterloop op zand (Ingweg – bosje/vervallen stuw) en R13 (vanaf vervallen stuw/bosje tot aan de Maas.

Naast het uitvoeren van de herinrichting van de Kwistbeek lopen er twee andere ontwikkelingen die effect hebben op de inrichting. Rijkswaterstaat heeft voornemens om kwelgeulen aan te leggen benedenstrooms van de waterkering naast de Donkerbeemden. Tevens is er vanuit het hoogwaterbeschermingsprogramma plannen om de waterkeringen te verhogen. Er bestaat daarnaast de wens om de huidige doorkruising van de Kwistbeek met de waterkering te verleggen naar een locatie die beter te bereiken en beheren is.

De huidig voorgenomen plannen omvatten het verleggen van delen van de Kwistbeek en het uitsmeren van de verhanglijn. De stuw bij de waterkering (combinatie bodemval/stuw) komt te vervallen. De ‘vervallen stuw’ (alleen nog een bodemval) wordt in de ontwerpsituatie eveneens verwijderd. Het uitvoeren van de beoogde maatregelen zorgt voor een constantere lage stroomsnelheid en een verbetering (verhoging) van de waterdieptes ten opzichte van de huidige situatie. Lokaal zullen de randvoorwaarden van de doelsoorten niet behaald worden, over het grotere geheel zullen echter voldoende rust- en paaiplekken ontstaan waardoor de onderschrijding van de gewenste waterdieptes niet tot problemen zullen leiden. De beoogde plannen passen daarmee binnen de doelen passend bij een R4-type waterloop binnen het traject waar de maatregelen voorzien zijn.

De aanpassingen in het dwarsprofiel en van de bodemhoogtes leiden voor zowel lage afvoeren als hoge afvoeren tot veranderingen in waterpeilen. Gedurende een zomersituatie worden de gewenste drooglegginge in de ontwerpsituatie behaald. Uitzondering is een zone langs de waterloop de Meer (zuidzijde weg Vergelt). Hier wordt in zowel de huidige als ontwerpsituatie in dezelfde mate de gewenste drooglegging voor akkerbouw niet behaald. Gedurende een ontwerpsituatie zorgt de vernatting voor een drooglegging van maximaal 90 cm bij de kassen. Dit is lager dan de norm van 1,0 m-mv in de winter. Bij de kassen zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk om negatieve effecten van het plan te voorkomen.

Voor de afvoerextremen is er benedenstrooms van de waterkering geen wijziging van het inundatierisico gedurende een T=10, T=25, T=50 en T=100 situatie als gevolg van het ontwerp. De inundaties bovenstrooms van de waterkering (bij de kassen) gedurende een T=50 en T=100-situatie kan voorkomen worden met de aanleg van een noodoverlaat. Dit wordt meegenomen in de DO-fase. Het gaat in beide gevallen om een doorrekening van de ontwerpsituatie *inclusief* klimaat.

Bijlage

Bijlage 1: Opbouw SOBEK-modellering 51
Bijlage 2: Frequentieanalyse afvoeren 58

Bijlage 1: Opbouw SOBEK-modellering

SOBEK modellering reguliere afvoersituaties

Basis voor het model : WSKWIS.lit

Lage afvoeren

Cases : 10 '190423-Kwistbeek-Zomer-02MA-1MA-NewKASLAT'

Hoge afvoergolven op basis van cases:

T100 : 18 '190423-Kwistbeek-Zomer-T100-NewKASLAT-50mmBergingAsperges'

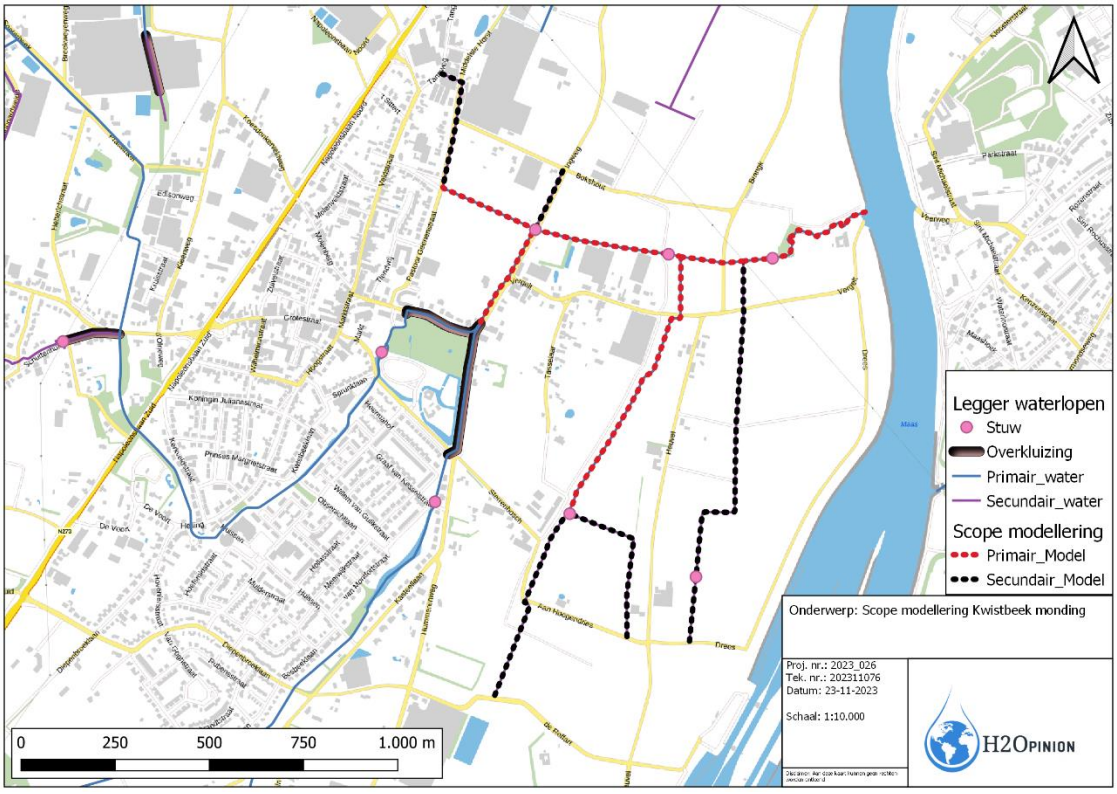
T50 : 17 '190424-Kwistbeek-Zomer-T50-NewKASLAT'

T25 : 13 '190424-Kwistbeek-Winter-T25-NewKASLAT'
/ Afleiding op basis van de T50 golf en duurlijnmethode

T10 : 14 '190424-Kwistbeek-Zomer-T10-NewKASLAT'

Schematisatie

De geschematiseerde waterlopen in de SOBEK-modellering van de beek zijn opgenomen in de volgende afbeelding.



Figuur 43: Waterlopen in SOBEK-schematisatie.

Kunstwerken

Primair

Stuw AG_S_KWI_KWI_0003 (stuw ID 97517; Kwistbeek Ingweg)
Automatisering (model) : ja op AG_MeetStat_13
Stuwbreedte : 3,0 m
Fase 3 (vnml. zomer) : 16,3 m NAP
Fase 1 (vnml. winter) : 16,1 m NAP
Afvoercoëfficient (Ce) : 1,00

Stuw AG_S_KWI_KWI_0002 (stuw ID 97516)
Automatisering (model) : nee
Stuwbreedte : 3,0 m
Fase 3 (vnml. zomer) : 14,67 m NAP
Fase 1 (vnml. winter) : 14,36 m NAP
Afvoercoëfficient (Ce) : 1,00

Stuw AG_S_KWI_KWI_0001 (stuw ID 97515)
Automatisering (model) : nee
Stuwbreedte : 3,1 m
Fase 3 (vnml. zomer) : 13,67 m NAP
Fase 1 (vnml. winter) : 13,67 m NAP
Afvoercoëfficient (Ce) : 1,00

Secundair

Stuw AG_S_STUW_4215 (stuw ID 96803)
Automatisering (model) : nee
Stuwbreedte : 2,0 m
Fase 3 (vnml. zomer) : 15,67 m NAP
Fase 1 (vnml. winter) : 15,67 m NAP
Afvoercoëfficient (Ce) : 1,00

Stuw AG_S_STUW_4214 (stuw ID 98649)
Automatisering (model) : nee
Stuwbreedte : 0,5 m
Fase 3 (vnml. zomer) : 15,55 m NAP
Fase 1 (vnml. winter) : 15,55 m NAP
Afvoercoëfficient (Ce) : 1,00

Dwarsprofielen

Er zijn geen wijzigingen in de dwarsprofielen ten opzichte van het aangeleverde model.

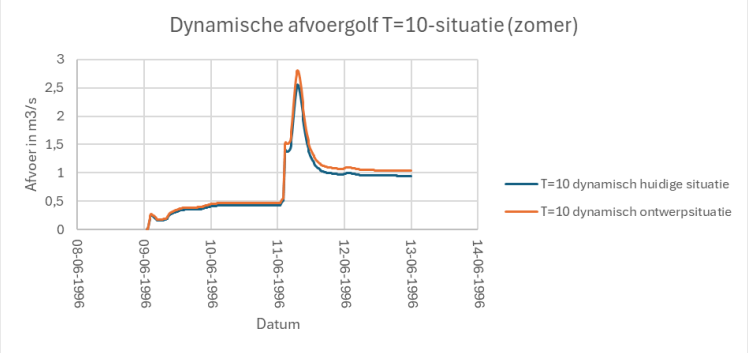
Afvoeren

Tabel 23: Berekende (afgeronde) afvoeren.

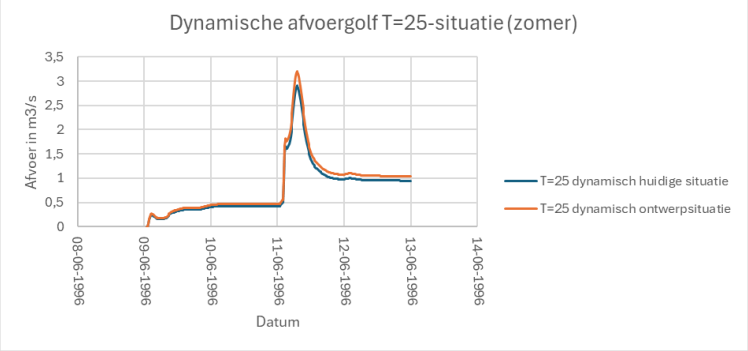
Afvoersituatie	Herhalings-tijd	%MA (referentie)	Kwistbeek, Ingweg (m3/s)
Basisafvoer	330 d/j overschreden	5	0,058
Zomerafvoer	200 d/j overschreden	20	0,160
Voorjaarsafvoer	100 d/j overschreden	30	0,241
Halve maatgevende afvoer	20 d/j overschreden	50	0,519
Jaarlijkse piekafvoer	1 d/j	100	1,564
T=10	1x/10 jaar	175	3,011
T=25	1x/25 jaar	200	3,441
T=50	1x/50 jaar	220	4,129
T=100	1x/100 jaar	250	4,692

Hoge afvoeren

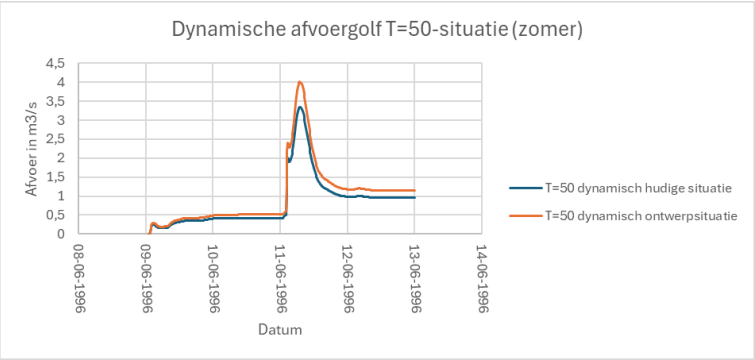
De afvoergolven van de hoge afvoeren zijn weergegeven in de volgende figuren.



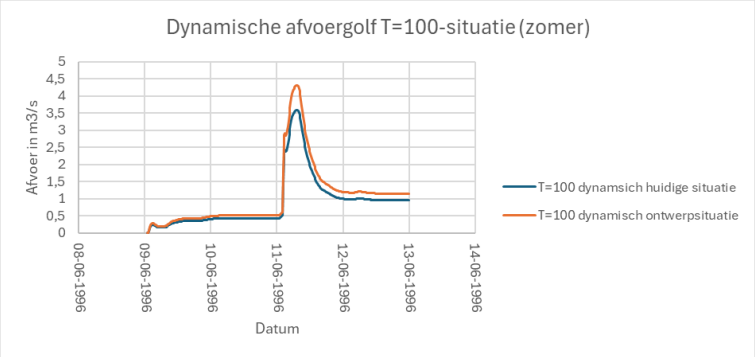
Figuur 44: Afvoergolf T10 afvoersituatie in de zomer; huidig en ontwerpsituatie



Figuur 45: Afvoergolf T25 afvoersituatie in de zomer; huidig en ontwerpsituatie



Figuur 46: Afvoergolf T50 afvoersituatie in de zomer; huidig en ontwerpsituatie



Figuur 47: Afvoergolf T100 afvoersituatie in de zomer; huidig en ontwerpsituatie

Ruwheidsgrid
D:\SOBEK213\WSKWIS.LIT\FIXED\181029-dem-clip.asc
Hoogtegrid
..\FIXED\181106-RUW-CLIP.ASC

Invoer afvoeren

De afvoeren zijn toegevoegd op de hoofdlopen van het systeem van de Kwistbeek en de zijtakken. De totaalafvoer gebaseerd op de duurlijn zijn verdeeld over de primaire en secundaire lopen. De overige zijtakken hebben een constante afvoer van 1 l/s ten behoeve van modelstabiliteit.

Validatie afvoeren

Uit de validatie van de gemodelleerde ten opzichte van de gemeten afvoeren volgt het volgende overzicht:

Tabel 24: Gemeten versus gemodelleerde afvoeren, Reguliere afvoersituaties (tot T = 100 - 250% MA).

Q validatie	Herhalingstijd	Meetpunt Kwistbeek, Ingweg Afvoer (m3/s)	Model (WSKIST.lit case 10) Afvoer (m3/s)	Model (Kal-val 3) Afvoer (m3/s)
MA		Meting	Model	Model
5	330 d/j overschreden	0,058	0,15	0,058
20	200 d/j overschreden	0,160	0,193	0,160
30	100 d/j overschreden	0,241	0,255	0,241

50	20 d/j overschreden	0,519	0,513	0,519
100	1 d/j	1,564	1,062	1,564
175	1x/10 j	3,011		3,011
200	1x/25 j	3,441		3,441
220	1x/50 j	4,129		4,129
250	1x/100 j	4,692		4,692

De gemodelleerde afvoeren gedurende reguliere afvoersituatie verschillen zeer beperkt van de gemeten afvoeren (analyse op basis van duurlijnmethode).

Modelweerstanden

De modelweerstanden zijn gebaseerd op de waarden in het aangeleverde model voor de zomersituatie en wintersituatie. Overige weerstanden zijn toegewezen zoals genoemd in het document 'Werkwijzen hydrologie binnen projecten – verzameldocument' (versie 10-2023). De modelweerstanden zijn als volgt:

Tabel 25: Modelweerstanden (Strickler (Ks)) zoals toegepast in de SOBEK-modellering.

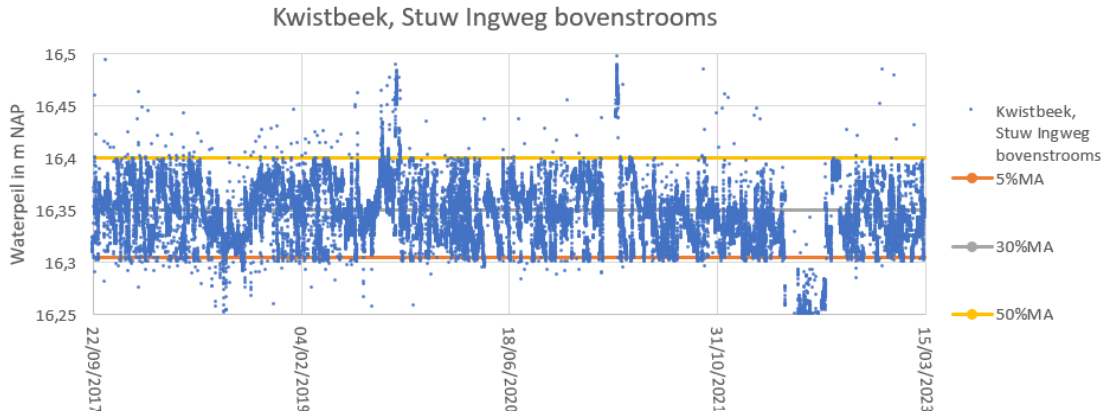
Omschrijving	Zomer	Winter	Toelichting
Hoofdlopen			
Kwistbeek, Ingweg	20	25	
Zijtakken/secundaire lopen			
Genormaliseerde waterlopen	15	25	
Betegelde waterlopen	30	30	

Validatie/kalibratie Waterpeilen
Er zijn twee waterstandsmeetpunten aanwezig direct boven- en benedenstrooms van de stuw Ingweg.

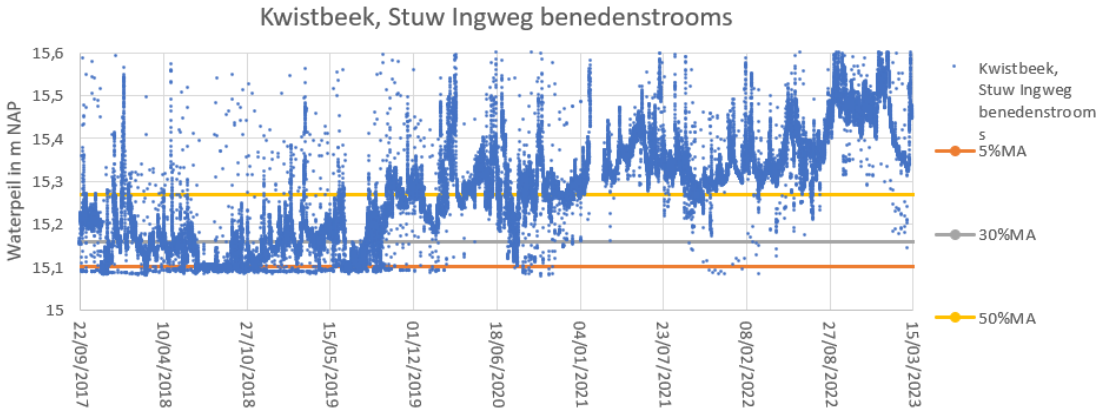
De volgende metingen van de waterpeilen zijn gebruikt voor de kalibratie en validatie van het model:

- Kwistbeek, stuw Ingweg bovenstrooms; Kwistbeek, OKWIS01_boven_H; (uurdata)
- Kwistbeek, stuw Ingweg benedenstrooms; Kwistbeek, OKWIS01_beneden_H; (uurdata)

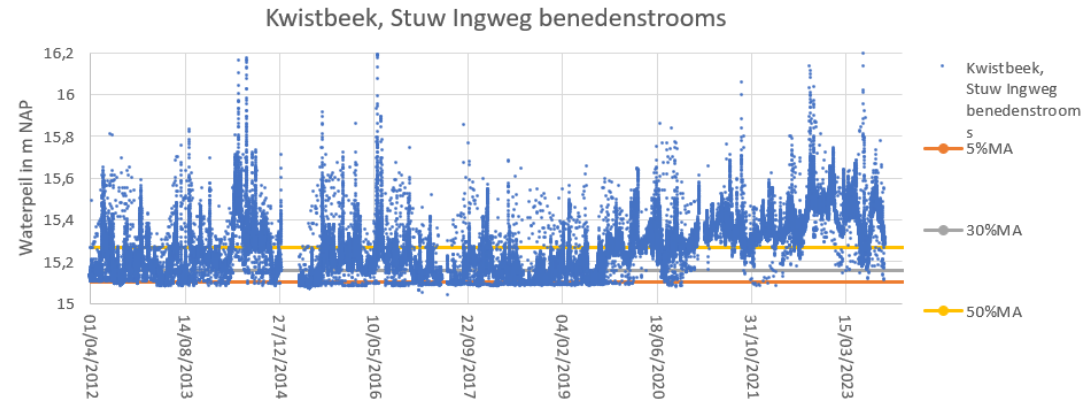
<u>Validatie</u>
De validatieresultaten zijn als volgt:



Figuur 48: Gemeten waterstanden Kwistbeek, Beekherstel 1 stuw Ingweg bovenstrooms (blauwe punten) versus gemodelleerde waterstanden (lijnen); zomersituatie.



Figuur 49: Gemeten waterstanden Kwistbeek, Beekherstel 1 stuw Ingweg benedenstrooms (blauwe punten) versus gemodelleerde waterstanden (lijnen). Periode September 2017 tot Maart 2023; zomersituatie.



Figuur 50: Gemeten waterstanden Kwistbeek, Beekherstel 1 stuw Ingweg benedenstrooms (blauwe punten) versus gemodelleerde waterstanden (lijnen). Volledige reeks; zomersituatie.

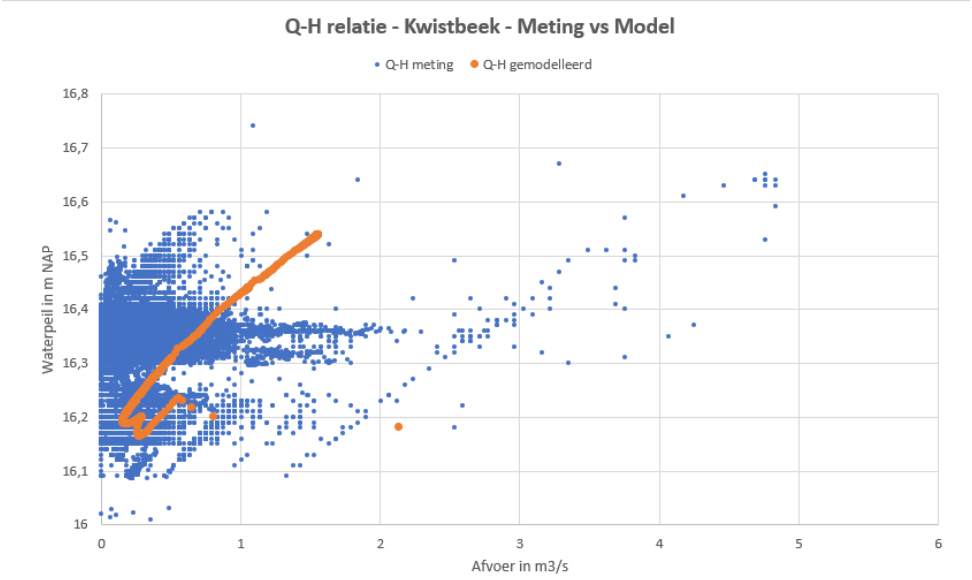
De gemodelleerde waterstanden bij het meetpunt liggen binnen de bandbreedte van de gemeten waterstanden. Hiermee geeft het model een goede weergave van de waterstanden gedurende reguliere afvoersituaties.
De waterstanden benedenstrooms van stuw Ingweg zijn gemiddeld circa 5 cm hoger na circa September 2019. De gemodelleerde waterstanden 5%- 50% MA wijken af van de gemeten waterstanden voor de periode September 2019 – huidig. Dit kan te maken hebben met de stuwinstelling bij KWI_0002. De geregistreerde klephoogte ligt tussen de 14 en 14,9 m NAP. De huidige weerstand voor het traject stuw Ingweg – Maas is Manning 0,05 (Ks = 20). Er is dus wel iets verandert maar de verandering zijn dermate klein. Dus er kan met het huidige model een betrouwbare effectenstudie gedaan kan worden.

Kalibratie

De kalibratie van het SOBEK-model is uitgevoerd aan de hand van de volgende meetpunten

- Kwistbeek
  - Kwistbeek, Stuw Ingweg; OKWIS01_Q (uurdata)
  - Waterpeil meetpunt Kwistbeek, Beekherstel 1 (uurdata)

De Qh relatie op basis van het model (oranje) versus de metingen (blauw) bij meetpunt is weergegeven in de volgende afbeelding.

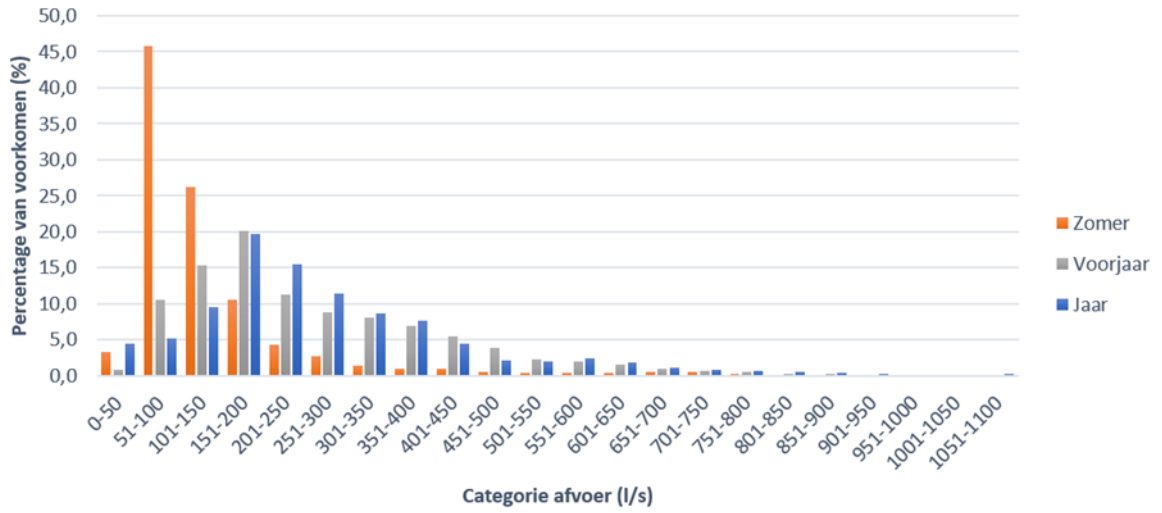


Figuur 51: Qh relatie-Zomersituatie.

De metingen geven geen duidelijke Qh-relatie weer tussen de gemeten waterstanden en afvoeren. Dit omdat de meetpunten direct boven en benedenstrooms van een geautomatiseerde stuw liggen.
Er kan niet met duidelijkheid aangegeven worden dat het model op basis van de beschikbare gegevens na een kalibratie en validatie een goede weergave van de Qh-werking geeft. Echter op basis van de (hydrologische) aannames is het model voldoende geschikt om de verschillen in waterstanden, diepten en stroomsnelheden tussen de huidige situatie en het ontwerp te bepalen.

Bijlage 2: Frequentieanalyse afvoeren

Op basis van een frequentieanalyse is bepaald hoe vaak verschillende afvoeren voorkomen. Dit is gedaan voor over het gehele jaar, de zomerperiode (juni-september) en het voorjaar (maart-juni). De verdeling van de afvoerenfrequentie is weergeven in de volgende figuur.



Figuur 52: Frequentie van voorkomen van verschillende afvoeren in de Kwistbeek te stuw Ingweg.

Tabel 6: Percentage van voorkomen verschillende afvoeren.

Afvoer categorie (l/s)	Zomer (%)	Voorjaar (%)	Totaal/jaar (%)
0-50	3,2	0,8	4,5
51-100	45,8	10,5	5,2
101-150	26,2	15,3	9,5
151-200	10,5	20,1	19,7
201-250	4,3	11,3	15,5
251-300	2,8	8,8	11,4
301-350	1,4	8,0	8,6
351-400	0,9	6,9	7,6
401-450	1,0	5,4	4,5
451-500	0,5	3,9	2,2
501-550	0,4	2,3	2,0
551-600	0,4	2,0	2,4
601-650	0,3	1,6	1,9
651-700	0,5	0,9	1,1
701-750	0,5	0,6	0,9
751-800	0,2	0,5	0,6
801-850	0,1	0,3	0,5
851-900	0,1	0,2	0,4
901-950	0,1	0,2	0,2
951-1000	0,1	0,1	0,2
1001-1050	0,1	0,1	0,1
1051-1100	0,0	0,1	0,2
1101-1300	0,1	0,1	0,5
1301-1500	0,1	0,0	0,3

1501-1700	0,1	0,0	0,1
1701-1900	0,1	0,0	0,1
1901-2400	0,1	0,0	0,0
2401-2900	0,1	0,0	0,0

De afvoeren in de zomer zijn duidelijk lager in het voorjaar of over het totale jaar. In de zomer zijn de afvoeren 3,2% van de tijd lager dan 50 l/s. In de zomer (periode met laagste afvoer) ligt de afvoer 90% van de tijd tussen 50 l/s en 350 l/s. Op basis van de analyse van het totale jaar komen de afvoeren tussen 50 en 250 l/s 70% van de tijd voor (ca. 340 d/j).

Bijlage 2 - Hydraulische toetsing watergang en duiker ontwateringsroute Donkerbemden

Toetsing watergang:

Opdrachtgever:	Waterschap Limburg
Project:	Beekherstel Kwistbeek
Projectnummer:	VIF070
Opgesteld door:	CC
Datum:	13-1-2026
Bestand:	g_ontwateringsroute_Donkerbemden_Hydraulica basis.xlsm

Profielkeuze	watergang			
Bodembreedte	b	[mm]	500	
Waterhoogte	h	[mm]	300	
Talud links	1:	-	2	
Talud rechts	1:	-	2	
Breedte op waterlijn		[mm]	1700	
Nat oppervlak	A	[m^2]	0,330	(b * h) + ($\frac{1}{2}$ · b_{links} * h) + ($\frac{1}{2}$ · b_{rechts} * h)
Natte omtrek	P	[m]	1,842	b + $l_{schuin\ links}$ + $l_{schuin\ rechts}$
Hydraulische straal	R	[m]	0,179	A / P

Debietbepaling op basis van	vrije invoer		
Invoer debiet	Q	[m^3/s]	0,0800

Algemeen				
Zwaartekracht versnelling	g	[m/s2]	9,81	
Kinematische viscositeit	ν	[m^2/s]	1,310E-06	afvalwater (10°C)
Dichtheid	P	[kg/m^3]	1000	afvalwater (10°C)
Equivalente zandruwheid	k	[mm]	100,0	volgens Nikuradse
Chézy-coëfficiënt	C	[$m^{1/2}/s$]	23,985	18 * log ((12 * R) / k)
Gemiddelde snelheid	v	[m/s]	0,242	Q / A
Helling energielijn	I	[‰]	0,57	v^2 / C^2 * R
Schuifspanning	t	[N/m2]	1,002	P * g * R * I
Getal van Reynolds	R_e	[-]	33160	(v * R) / ν

Wrijvingsverlies				
Debiet	Q	[m^3/s]	0,080	
Gemiddelde snelheid	v	[m/s]	0,242	Q / A
Lengte leiding	L	[m]	60,00	
Snelheidshoogte		[m]	0,003	v^2 / 2g
Energiehoogteverschil	ΔH	[m]	0,034	((2g * L) / (C^2 * R)) * (v^2 / 2g)
Overige verliezen				
Intredeverlies	ΔHi	[m]	0,001	(0,5*v2/2g)
Uittredeverlies	ΔHu	[m]	0,003	1,0*v2/2g
Putten aantal		[-]	0,00	
subtotaal		[m]	0,000	(Δhi + Δhu) * aantal
Totaal energieverlies	z	[m]	0,034	ΔH + (Δhi + Δhu) * aantal

Toetsing duiker:

Opdrachtgever:	Waterschap Limburg
Project:	Beekherstel Kwistbeek
Projectnummer:	VIF070
Opgesteld door:	CC
Datum:	13-1-2026
Bestand:	260113-VIF070-Toets_duiker_Brangk_Hydraulica basis.xlsm

Profielkeuze	ronde buis			
Diameter (inwendig)	D	[mm]	700	
Vulling	y	[%]	100,0	
Middelpuntshoek	α	[rad]	6,28	2 * boogcos(1 - 2 * y / 100)
Straal (inwendig)	r	[mm]	350	½ * D
Nat oppervlak	A	[m²]	0,385	D^2 / 8 * (α – sinα)
Natte omtrek	P	[m]	2,199	D * α / 2
Hydraulische straal	R	[m]	0,175	A / P

Debietbepaling op basis van	vrije invoer			
Invoer debiet	Q	[m³/s]	0,0800	

Algemeen				
Zwaartekracht versnelling	g	[m/s2]	9,81	
Kinematische viscositeit	v	[m²/s]	1,310E-06	afvalwater (10°C)
Dichtheid	P	[kg/m³]	1000	afvalwater (10°C)
Equivalente zandruwheid	k	[mm]	2,0	volgens Nikuradse
Chézy-coëfficiënt	C	[m^1/2/s]	54,381	18 * log ((12 * R) / k)
Gemiddelde snelheid	v	[m/s]	0,208	Q / A
Helling energielijn	I	[‰]	0,08	v² / C² * R
Schuifspanning	t	[N/m2]	0,143	P * g * R * I
Getal van Reynolds	R_e	[-]	27770	(v * R) / ν

Wrijvingsverlies				
Debiet	Q	[m³/s]	0,080	
Gemiddelde snelheid	v	[m/s]	0,208	Q / A
Lengte leiding	L	[m]	60,00	
Snelheidshoogte		[m]	0,002	v² / 2g
Energiehoogteverschil	ΔH	[m]	0,005	((2g * L) / (C² * R)) * (v² / 2g)
Overige verliezen				
Intredeverlies	ΔHi	[m]	0,001	(0,5*v2/2g)
Uittredeverlies	ΔHu	[m]	0,002	1,0*v2/2g
Putten aantal		[-]	3,00	
subtotaal		[m]	0,010	(Δhi + Δhu) * aantal
Totaal energieverlies	z	[m]	0,015	ΔH + (Δhi + Δhu) * aantal