RAPPORT

Rivierkundige berekeningen - nevengeul Coehoorn (Grave)

Klant:	Rijkswaterstaat ZN
Referentie:	BJ5649-RHD-WM-F2-RP-TM-0010a
Status:	Definitief/03
Datum:	8 oktober 2025

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

HASKONING NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Netherlands
Water & Maritime
Trade register number: 56515154

Telefoon: +31 88 348 70 00
E-mail: info@rhdhv.com
Website: royalhaskoningdhv.com

Titel document:	Rivierkundige berekeningen - nevengeul Coehoorn (Grave)
Ondertitel:	
Referentie:	BJ5649-RHD-WM-F2-RP-TM-0010a
Uw kenmerk	103-108a
Status:	Definitief/03
Datum:	8 oktober 2025
Projectnaam:	Visconnectiviteit Maas
Projectnummer:	BJ5649
Auteur(s):	Rivierkundig Modelleur Haskoning
Opgesteld door:	Rivierkundig Modelleur Haskoning
Gecontroleerd door:	Technisch Manager Haskoning
Datum:	10 juni 2025
Goedgekeurd door:	Technisch Manager Haskoning
Datum:	10 juni 2025
Classificatie:	Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. Haskoning Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van Haskoning Nederland B.V. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1 Inleiding 1
1.1 Aanleiding 1
1.2 Scope en projectgebied 1
1.3 Leeswijzer 2

2 Werkwijze en uitgangspunten 2

3 Systeemanalyse huidige situatie 4
3.1 Betrekkingslijnen 7
3.2 Meetreeksen 9
3.3 Stuwbeheer in de Maas 10
3.4 Ontwerpwaterstanden 13

4 Het ontwerp 14
4.1 Ontwerpproces 14
4.2 Definitief ontwerp 14
4.3 Te verwachten effecten 16
4.3.1 Hydraulische effecten 16
4.3.2 Morfologische effecten 17
4.4 Schematisatie maatregel in baseline 18

5 Systeemwerking geul 21
5.1 Ontwerpafvoer 21
5.2 Hydraulische karakteristieken 22
5.3 Morfologie 23

6 Rivierkundige beoordeling 28
6.1 Hoogwaterveiligheid 28
6.1.1 Hoogwaterreferentie in de as van de rivier 28
6.1.2 Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier 29
6.1.3 IJsafvoer 30
6.2 Hinder of schade door hydraulische effecten 31
6.2.1 Inundatiefrequentie van de uiterwaard 31
6.2.2 Stroombeeld in de uiterwaard 32
6.2.3 Stroombeeld in de vaarweg 33
6.2.4 Instroom retentiegebieden Maas 35
6.3 Morfologische effecten 36
6.3.1 Morfologisch effect op zomerbed 36

6.3.2 Morfologisch effect op winterbed 37

7 Conclusie 38

Referenties 40

Bijlagen 41

Bijlage 1 – Stroomsnelheden bij verschillende afvoeren 41

Tabellen

Tabel 1: Stuwpeilen in de Maas [m +NAP] (ref.[8.]) 10

Tabel 2: Ontwerpwaterstanden inclusief terugkeertijd bij Grave bovenstrooms ter hoogte van de inlaat (rivierkilometer 172,7) en Grave benedenstrooms ter hoogte van de uitstroom (rivierkilometer 176,00). 13

Tabel 3: scenario's en randvoorwaarden voor modellering. 22

Tabel 4: Conclusies per beoordelingsaspect van RBK6.0. 38

Figuren

Figuur 1-1: Projectgebied nevengeul Coehoorn. 2

Figuur 3-1: Hoogtemodel referentiesituatie. 5

Figuur 3-2: Ruwheden referentiesituatie. 6

Figuur 3-3: Afvoeroverschrijdingslijn voor de Maas bij St. Pieter, Maastricht [6.]. 7

Figuur 3-4: Afvoeroverschrijdingslijn voor de Maas te St. Pieter, ingezoomd op het functionele afvoerbereik van de nevengeul. 8

Figuur 3-5: Grafische weergave van de betrekkingslijnen van de Maas voor drie afvoerniveaus te St. Pieter, Maastricht [5.]. 8

Figuur 3-6: Waterstandsreeks te Grave (2000-2023). 9

Figuur 3-7: Debietreeks te Megen (2003-2023). 9

Figuur 3-8: Daggemiddelde waterstanden bij stuw Grave. 10

Figuur 3-9: Daggemiddeld verval over stuw Grave. 10

Figuur 3-10: Daggemiddelde debietreeks te Megen (2003-2022). 10

Figuur 3-11: Stuw Grave gekoppeld aan de John S. Thompsonbrug [9.][9.]. 11

Figuur 3-12: Relatie tussen waterstand en Maasafvoer resp. overschrijdingsduur bij de stuw Grave op basis van de betrekkingslijnen [6.]. 11

Figuur 4-1: Bovenaanzicht DO nevengeul Coehoorn. 15
Figuur 4-2: Standaard dwarsprofiel nevengeul Coehoorn. 16
Figuur 4-3: Hoogtemodel ontwerp variant visco_a10. 19
Figuur 4-4: Leggervegetatie klasse kaart. 20
Figuur 5-1 Afvoeren voor de verschillende scenario's, resultaten hydraulisch model. [3.] 21
Figuur 5-2 indicatie (op basis van vuistregels) Afvoerkarakteristieken van de nevengeul Coehoorn als functie van de Maasafvoer, links: nabij het inlaatwerk; rechts: nabij de uitstroomopening. 23
Figuur 5-3 Bij een Maasafvoer van 2.100 m^3/s: Links verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' en rechts de absolute stoomsnelheid voor de variant rond de Thompsonbrug. 25
Figuur 5-4 Bij een Maasafvoer van 3.200 m^3/s: Links verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' en rechts de absolute stoomsnelheid voor de variant rond de Thompsonbrug. 26
Figuur 5-5 Bij een Maasafvoer van 4.100 m^3/s: Links verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' en rechts de absolute stoomsnelheid voor de variant rond de Thompsonbrug. 26
Figuur 6-1: Waterstandseffect variant bij afvoer van 4.100 m^3/s. 29
Figuur 6-2: Waterstandseffect in het 2D-vlak (in m) t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een afvoer van 4.100 m^3/s. 30
Figuur 6-3: DO opgesplitst in tracés met dezelfde hoogteligging van bestaand maaiveld (AHN4). 32
Figuur 6-4: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 2.100 m3/s. 33
Figuur 6-5: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 2.100 m^3/s. 33
Figuur 6-6: Hoogtemodel van het projectgebied met de gebruikte bakenlijn voor dwarsstroming, de bakenlijn is aangegeven met de dikke lichtrode lijn. 34
Figuur 6-7: Dwarsstroming aan de rand van het zomerbed voor variant 'visco_a10', de referentie en het verschil bij een Maasafvoer van 2.100 m^3/s. De grijs aangegeven vlakken zijn locaties waar een kanttekening voor de toetsing voor dwarsstroming wordt gegeven. 35
Figuur 0-1: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 250 m^3/s. 41
Figuur 0-2: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 250 m^3/s. 41
Figuur 0-3: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 1.300 m^3/s. 42
Figuur 0-4: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 1.300 m^3/s. 42
Figuur 0-5: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 2.100 m^3/s. 43

Figuur 0-6: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 2.100 m^3/s. 43
Figuur 0-7: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 3.200 m^3/s. 44
Figuur 0-8: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 3.200 m^3/s. 44
Figuur 0-9: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 4.100 m3/s. 45
Figuur 0-10: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 4.100 m3/s. 45

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De huidige toestand voor macrofauna en vis in de Maas is nog niet op orde. Hierbij spelen de beperkte beschikbaarheid van stromend habitat en de connectiviteit voor vis (vispasseerbaarheid) een grote rol. Rijkswaterstaat (hierna: RWS) heeft daarom enkele verbetermaatregelen geselecteerd die uitgevoerd kunnen worden binnen het programma Kaderrichtlijn Water (KRW), waarvan de derde tranche loopt van 2022 t/m 2027.

Het project betreft de planuitwerking van oplossingmaatregelen om de huidige toestand van beschikbaarheid van stromend habitat en vispasseerbaarheid op orde te brengen. Om dit te realiseren wordt in deze planuitwerking de volgende maatregelen uitgewerkt:

- Aanleg van een stuw passerende nevengeul Coehoorn
- Onderhoud aan de vistrappen van Sambeek, Grave, Belfeld en Roermond
- Verlegging van de vispassage bij Linne en herprofilering van de vispassage bij Lith
- Nieuwe vistrap nabij stuw/sluiscomplex Lith

Voor het onderhoud aan de vistrappen, de verlegging van de vispassage bij Linne, herprofilering van de vispassage bij Lith en de nieuwe vistrap nabij stuw/sluiscomplex Lith is middels een kwalitatieve rivierkundige beoordeling bepaald dat deze niet verder beschouwd hoeven te worden in deze rivierkundige beoordeling.

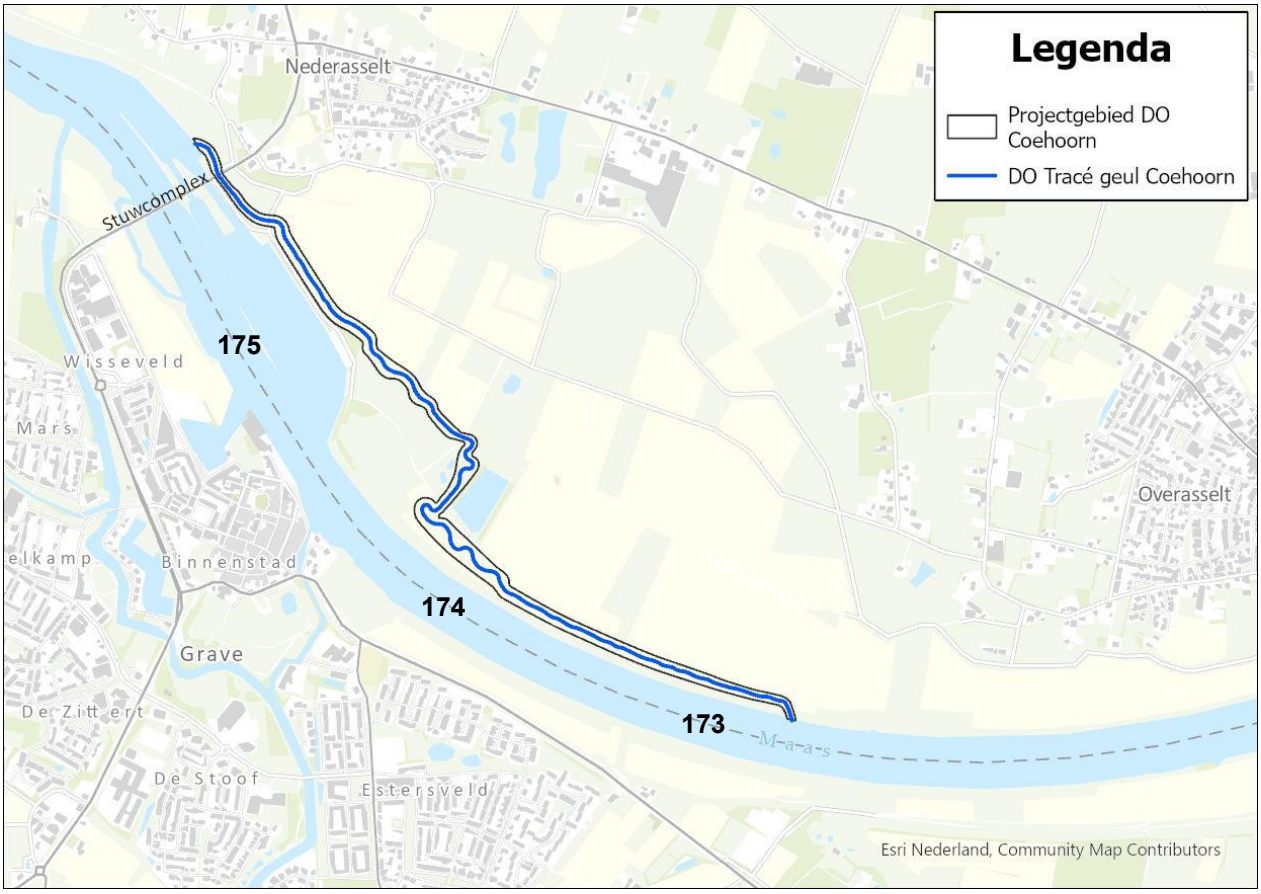
De nevengeul Coehoorn is daarentegen een maatregel die mogelijk impact heeft op het hydraulisch en morfologisch functioneren van de Maas, daarom wordt deze middels een rivierkundige beoordeling volgens het RBK6.0 beoordeeld.

1.2 Scope en projectgebied

Aan de noordelijke zijde van de Maas ter plaatse van Grave is in de uiterwaard een nevengeul genaamd Coehoorn voorzien in het project. In Figuur 1-1 is de huidige inrichting van het gebied te zien. Het gebied maakt onderdeel uit van het waterlichaam de Bedijkte Maas (R7). De buitendijkse inrichting van het gebied bestaat voornamelijk uit landbouw.

De inlaat van de nevengeul start aan de zuidzijde van de uiterwaard net iets benedenstrooms van Overasselt. Hier komt een inlaatwerk waarmee het debiet door de nevengeul bepaald kan worden. De nevengeul zal onder de brug doorgaan en dicht bij de stuw en de waterkering gepositioneerd zijn. De geul takt direct benedenstrooms van stuw Grave (westzijde) weer aan op de Maas.
Het plangebied heeft een oppervlakte van circa 1,5 km2 en bestaat vrijwel geheel uit gras- en bouwland langs de oevers van de Maas. Het plangebied ligt in de gemeente Heumen, in de provincie Gelderland.

Het ontwerp van de geul is verder gerapporteerd in de ontwerp nota DO Nevengeul Coehoorn.



Figuur 1-1: Projectgebied nevengeul Coehoorn.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de werkwijze en uitgangspunten van de rivierkundige beoordeling beschreven. Hoofdstuk 3 presenteert een beknopte systeemanalyse waarna in hoofdstuk 4 het optimalisatieproces om te komen tot een vergunbaar ontwerp is beschreven. De rivierkundige beoordeling van dit ontwerp is daarna gepresenteerd in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 geeft ten slot de conclusie van het rivierkundig onderzoek.

2 Werkwijze en uitgangspunten

Het ontwerp van de geul en de systeemwerking van de geul is gemaakt en getoetst op basis van modelberekeningen met D-Hydro. Hiervoor is een nieuw model opgesteld mij een nauwkeurig resolutie (celgrootte in de geul 0,5 bij 1 m), deze resolutie is veel nauwkeuriger dan we gebruiken bij de rivierkundige beoordeling. De opzet van het nauwkeurige model is gerapporteerd in: Resultaten modelstudie hydrologie (oppervlaktewater) Nevengeul Coehoorn [3.].

De rivierkundige beoordeling is uitgevoerd conform het RBK (rivierkundig beoordelingskader). De geul is hiervoor geschematiseerd in het aangeleverde baseline-maas-beno22_6-v2’ model. Dit is een grover model (celgrootte van 30 à 40 m) dan gebruikt is voor het ontwerp van de geul. De rivierkundige beoordeling is grotendeels uitgevoerd op basis van een kwantitatieve analyse door middel van deze modelberekeningen. Tevens is het voor een aantal aspecten niet relevant geacht om specifieke modelberekeningen uit te voeren,

zoals voor het effect op de afvoerverdeling. Hier is middels een kwalitatieve analyse een beoordeling gegeven over het effect van de ingrepen. De GIS-applicatie Baseline is gebruikt om het ontwerp te schematiseren en vervolgens is het 2D stromingsmodel D-Hydro toegepast om waterstanden en stroomsnelheden te simuleren. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij het maken van de rivierkundige modelberekeningen:

Referentie:

- Voor de Baseline-referentieschematisatie is ‘baseline-maas-beno22_6-v2’ uitgeleverd.
- Op verzoek van RWS-ZN is de referentieschematisatie uitgebreid met één maatregel welke een noodzakelijke verbetering en actualisatie van de referentiesituatie bevat. De aangeleverde schematisatie kwam niet overeen met de situatie in het veld, daarom heeft RWS-ZN ons gevraagd een update te doen van de oever aan de noordelijke zijde van de Maas benedenstrooms van stuw Grave. De maatregel is akkoord bevonden door RWS-ZN (mail door J. Ewals d.d. 20-1-2025).
    - Ma_upoever_a1
- Het kenmerk van de nieuwe referentie is ‘visco_ref’.

Baseline-maatregelen:

- Voor de herinrichting van de uiterwaard t.p.v. de voorziene locatie van nevengeul Coehoorn is een Baseline-maatregel gemaakt met het kenmerk ‘ma_visco_a10’;
- De ontwerpen van de maatregelen zijn gebaseerd op de ruimtelijke inrichtingskaart en AutoCAD-modellen aangeleverd door collega’s van RHDHV.

Baseline-variant:

- Baseline-maatregel ‘ma_visco_a10’ is ingemixt op ‘visco_ref’. De resulterende variant heeft het kenmerk: ‘visco_a10’. De vertaling van het definitief ontwerp naar modelbestanden (Baseline/D-Hydro) is weergegeven in Hoofdstuk 4.

D-HYDRO

- Baseline-variant ‘visco_a10’ is omgezet naar D-Hydro modelbestanden op basis van de schematisatie ‘dflowfm2d-maas-beno22_6_v2b’ met bijhorend rooster ‘grid-maas_40m-v1_net.nc’.

Model software:

- Baseline-versie 6.3.1;
- ArcGIS-versie 10.6.1;
- D-HYDRO Suite 2023.01.

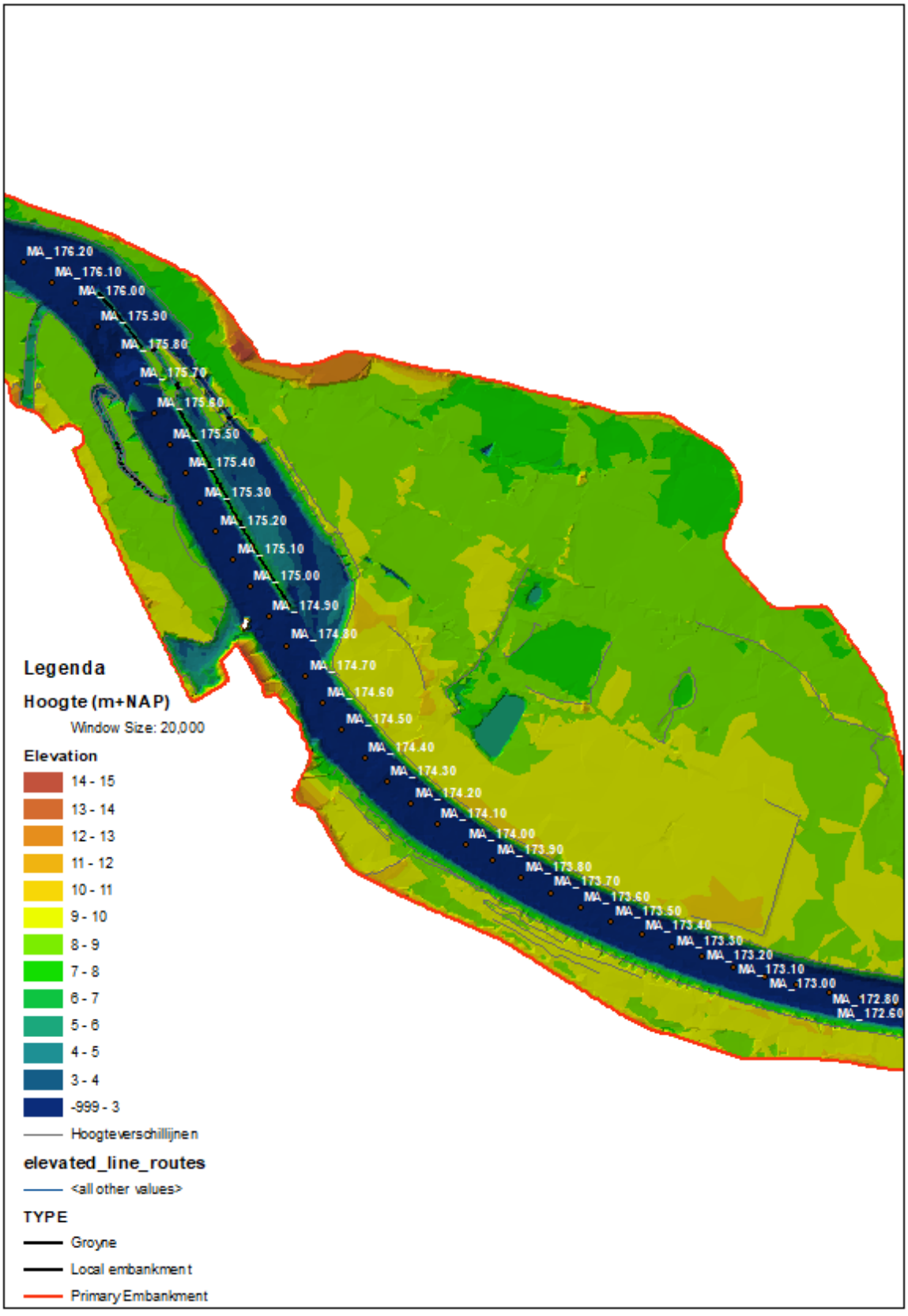
Werkwijze

- Zowel het ontwerp (‘visco_a10’) als de referentie (‘visco_ref’) zijn doorgerekend met afvoeren bij Lobith van 4.100 m^3/s, 3.200 m^3/s, 2.100 m^3/s, 1.300 m^3/s en 250 m^3/s;
- Voor de rivierkundige beoordeling is het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) versie 6.0 gebruikt;
- De morfologische effecten zijn beoordeeld op basis van expert judgment. Omdat er vrijwel geen verschillen in stroomsnelheden te zien zijn in de hoofdgeul bij afvoeren die er morfologisch toe doen. In Bijlage 1 zijn de verschillen in stroomsnelheden te zien voor de verschillende afvoeren. Om deze reden achten wij het niet noodzakelijk om D-FAST MI-berekeningen uit te voeren.

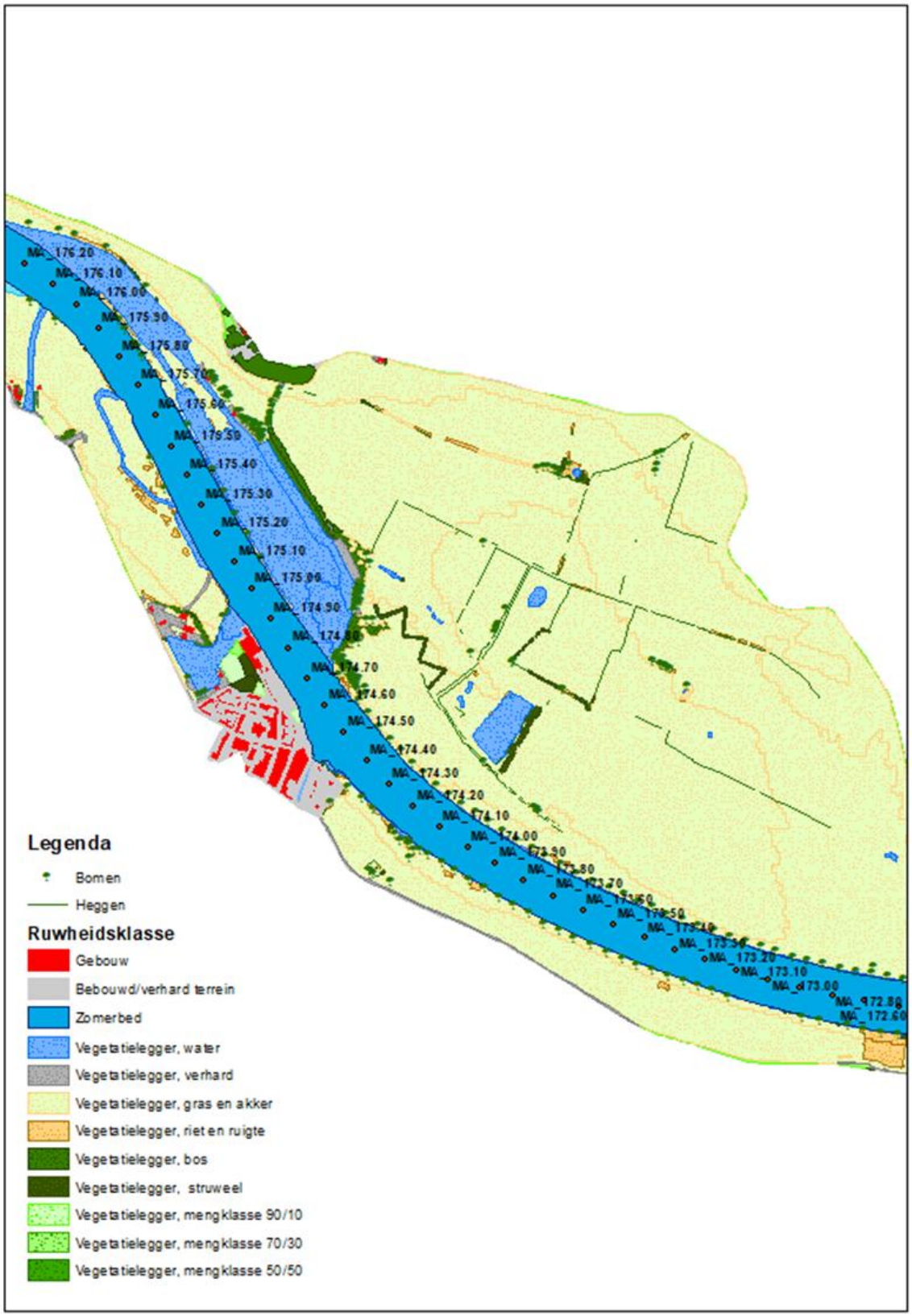
3 Systeemanalyse huidige situatie

Het plangebied van de voorziene nevengeul Coehoorn ligt langs de Maas tussen maaskilometers 172-176. Ter plaatse van maaskilometer 172 is de totale winterbreedte ~600 m en ter plaatse van stuw/sluiscomplex Grave is de totale winterbreedte ~500 m. Tussen maaskilometers 172 en 176 is de uiterwaard breder tot een winterbedbreedte van ~1600 m. De uiterwaard aan de noordzijde van de Maas waar nevengeul Coehoorn in is voorzien heeft een oppervlakte van ~240 ha. Aan de benedenstroomse kant van het plangebied bevindt zich het stuw/sluiscomplex Grave. De uiterwaard ter plaatse van de voorziene nevengeul Grave stroomt vol vanaf de benedenstroomse zijde van de stuw, bij een toenemende waterstand benedenstrooms van de stuw. Het laagste punt van de zomerkade (Maasoever) van de uiterwaard ligt op ongeveer 8,9 m NAP ter hoogte van rivierkilometer 173. De zomerkade overstroomt ongeveer bij een afvoer van de Maas van 2000 m^3/s wat ongeveer 1 x in de 6 jaar gebeurt. De benedenstroomse waterstand bij de stuw ligt dan op 8,3 m NAP. Alles in de uiterwaard onder de 8,3 m NAP staat dan al onderwater. In Figuur 3-1 zijn de hoogtes van het maaiveld te zien t.p.v. het projectgebied, Figuur 3-2 laat de ruwheidsklasses uit de vegetatielegger in het projectgebied zien.

De huidige waterstanden zijn gebaseerd op de betrekkingslijnen (paragraaf 3.1), meetreeksen (paragraaf 3.2) en stuwbeheer (paragraaf 3.3). Tot slot zijn de ontwerpwaterstanden die gebruikt zijn voor het ontwerp van de geul in paragraaf 3.4 gepresenteerd.



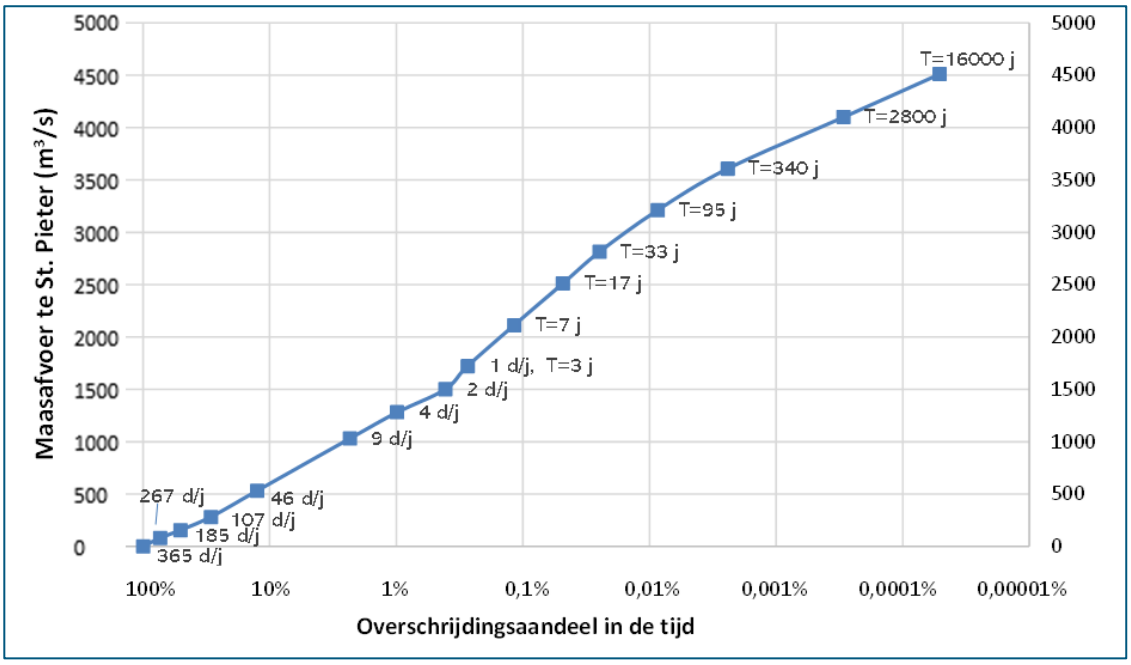
Figuur 3-1: Hoogtemodel referentiesituatie.



Figuur 3-2: Ruwheden referentiesituatie.

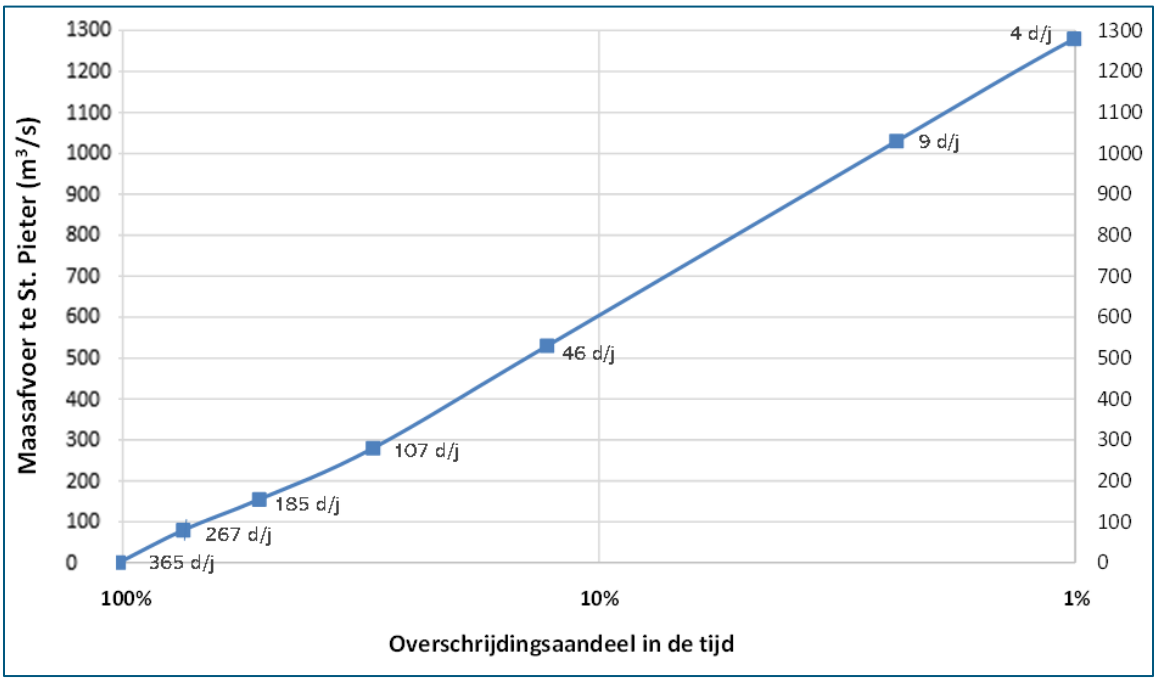
3.1 Betrekkingslijnen

De betrekkingslijnen geven een relatie aan tussen waterstanden in de Maas, afvoeren in een referentielocatie (St. Pieter te Maastricht of Borgharen-dorp) en een overschrijdingsduur van die afvoer (dagen per jaar) of herhalingstijd (jaren). Een betrekkingslijn geeft dus per Maaskilometer en per afvoer een bijbehorende waterstand aan. Figuur 3-3 laat de afvoeroverschrijdingslijn bij St. Pieter zien. De vertaling van Maasafvoeren naar waterstanden is in Figuur 3-5 voor drie karakteristieke afvoerniveaus weergegeven. Paragraaf 3.3 gaat nader in op wat dit voor de hydraulische randvoorwaarden bij de stuwen betekent. De ontwerpwaterstanden die gebruikt zijn voor het ontwerp van de geul staan in paragraaf 3.4.

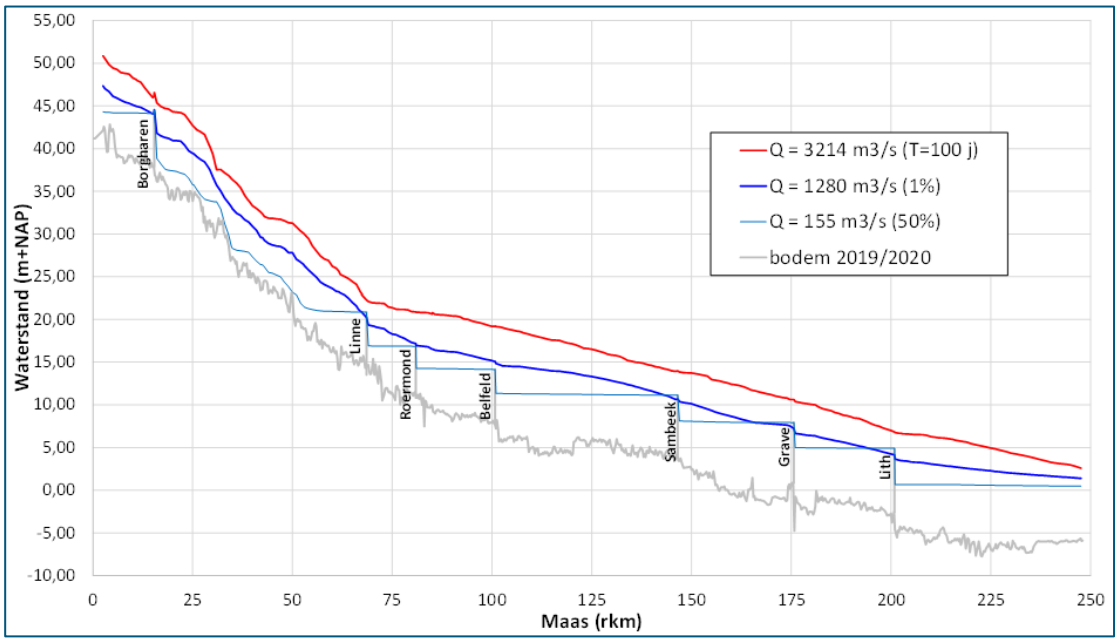


Figuur 3-3: Afvoeroverschrijdingslijn voor de Maas bij St. Pieter, Maastricht [6.].

Figuur 3-3 laat de afvoeroverschrijdingslijn bij St. Pieter zien. Figuur 3-4 toont het relevante afvoerbereik voor dit project, dat wil zeggen, met name de lage afvoeren. Onder hoogwateromstandigheden zal de nevengeul als onderdeel van de uiterwaard geheel overstroomd zijn en niet meer als geul herkenbaar zijn. Het is duidelijk dat de nevengeul niet voor dit hogere afvoerbereik ontworpen is.



Figuur 3-4: Afvoeroverschrijdingslijn voor de Maas te St. Pieter, ingezoomd op het functionele afvoerbereik van de nevengeul.



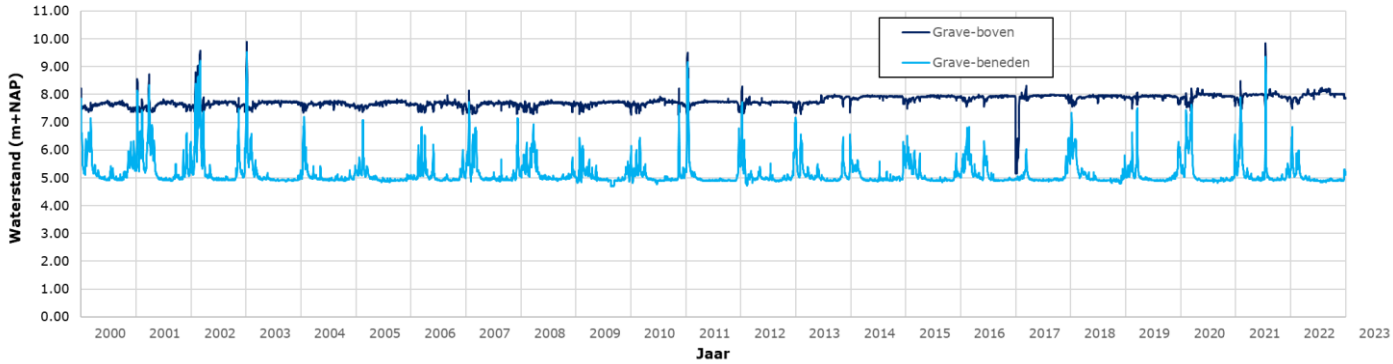
Figuur 3-5: Grafische weergave van de betrekkingslijnen van de Maas voor drie afvoerniveaus te St. Pieter, Maastricht [5.].

Figuur 3-5 laat een lengteprofiel van waterstanden in de Maas bij drie karakteristieke afvoerniveaus zien. Onder mediane omstandigheden (de meest representatieve toestand die even vaak overschreden als onderschreden wordt) bedraagt de Maasafvoer circa 155 m³/s. Dit is de ontwerpsituatie waarop de geul geoptimaliseerd wordt (185 d/j). De geul zal tot ongeveer een 1% - afvoer functioneren (circa 1280 m³/s te Maastricht). Figuur 3-5 laat zien dat dit afvoerniveau rondom het strijkdebiet van de meeste stuwen ligt. De T100-hoogwaterlijn is voor de nevengeul niet relevant maar ter kennisgeving weergegeven.

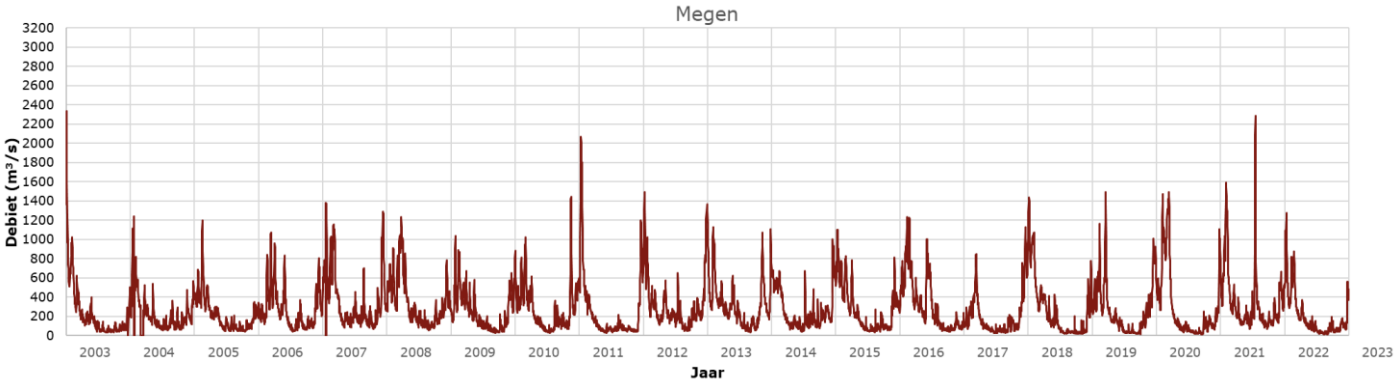
3.2 Meetreeksen

Waterstanden (2000-2022) en debieten (2003-2022)

Op basis van openbaar beschikbare meetreeksen [5.] is een analyse van waterstanden (23 jaar) bij de stuwen en debieten (20 jaar) gemaakt. De debietreeksen zijn beschikbaar bij de meetstations Eijsden (grens), St. Pieter-noord (Maastricht), Borgharen-dorp, Maaseik, Venlo en Megen. Voor de nevengeul Coehoorn wordt het debiet te Megen representatief verondersteld. Op basis van deze reeksen kan een inschatting gemaakt worden hoe de nevengeul langjarig functioneert, zie Figuur 3-6 en Figuur 3-7.



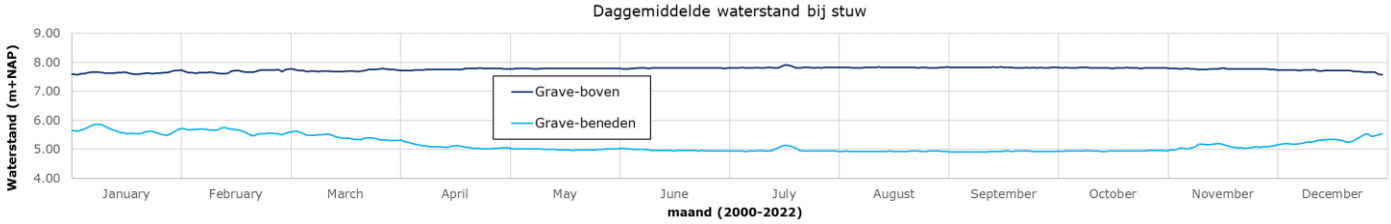
Figuur 3-6: Waterstandsreeks te Grave (2000-2023).



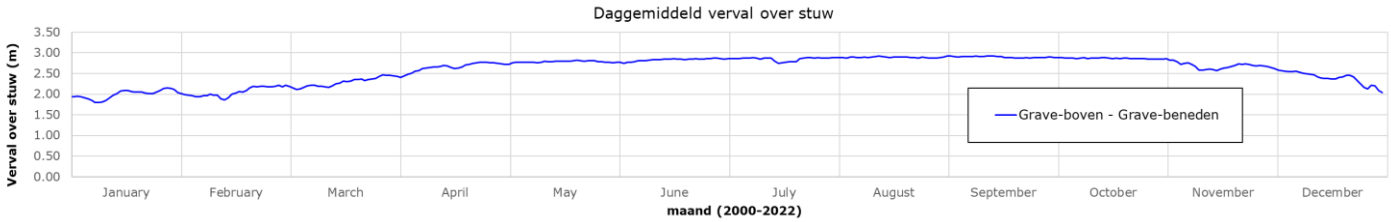
Figuur 3-7: Debietreeks te Megen (2003-2023).

Daggemiddelde waterstanden en debieten

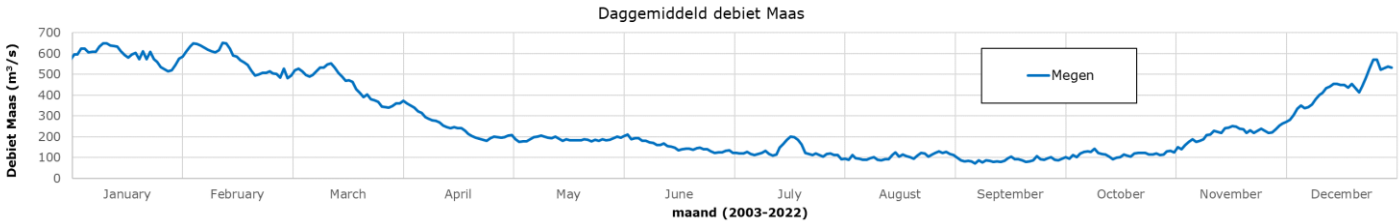
Vanwege de ecologische doelstelling van de nevengeul is het mogelijk relevant om onderscheid tussen seizoenen te maken. Om deze reden zijn ook daggemiddelde waterstanden (Figuur 3-8) en Maasdebieten (Figuur 3-10) geanalyseerd op basis van de datum in de geanalyseerde jaren. Uit de waterstanden over de stuw blijkt dan ook het beschikbare verval (Figuur 3-9) de aandrijvende kracht voor de stroming door de nevengeul aanwezig te zijn. In de grafieken valt het effect van het hoogwater van juli 2021 op; een effect dat zelfs uitgesmeerd over 20 jaren nog te zien is maar niet representatief voor een normaal jaar is.



Figuur 3-8: Daggemiddelde waterstanden bij stuw Grave.



Figuur 3-9: Daggemiddeld verval over stuw Grave.



Figuur 3-10: Daggemiddelde debietreeks te Megen (2003-2022).

3.3 Stuwbeheer in de Maas

Sinds de oplevering van Programma Maaswerken (2015) is het stuwbeheer gewijzigd, omdat in de stuwen Sambeek en Grave peilopzet is toegepast. Dit stuwbeheer is in de betrekkingslijnen [6.] verwerkt. Tabel 1 geeft de actuele stuwpeilen in de Maas weer.

Stuw Grave stuurt een groot deel van de tijd op het een stuwpeil van NAP+7,90 meter bij meetpunt Mook. De reden hiervoor is het zorgen van voldoende waterdiepte voor de scheepvaart in sluis Heumen. Door het sturen op meetpunt Mook zal de waterstand bij stuw Grave dalen totdat de waterstand bij Grave-Boven gelijk is aan NAP+7,25m. Vanaf dat moment wordt gestuurd op het handhaven van deze waterstand bij Grave-Boven en zal de waterstand bij meetpunt Mook gaan toenemen.
Opgemerkt moet worden dat uit de meetreeksen en betrekkingslijnen blijkt dat in de praktijk de waterstand onder normale omstandigheden bij Grave boven (rond de inlaat) rond de NAP+7,90 meter bij de stuw ligt en deze bij hoger debieten daalt tot 7,62 m NAP (dag gemiddelde), de dag gemiddelde zijn niet lager (zie paragraaf 3.2).

Tabel 1: Stuwpeilen in de Maas [m +NAP] (ref.[8.])

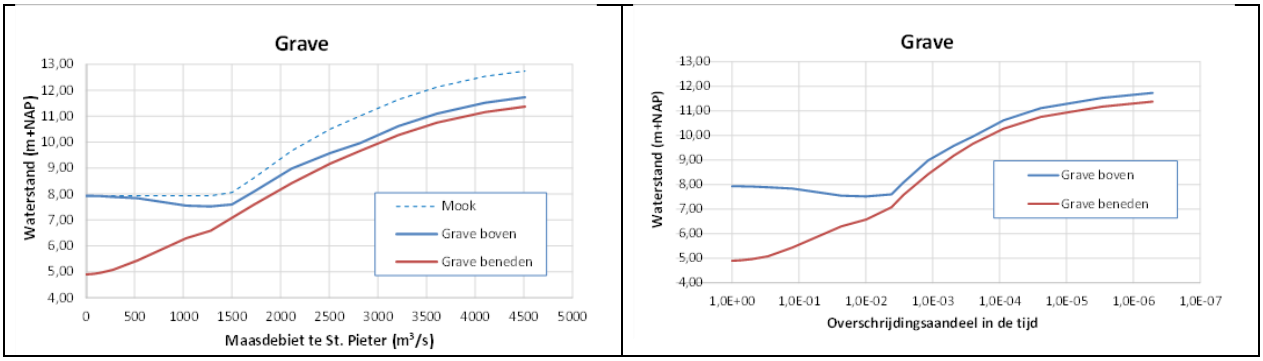
Stuurpunt	Borgharen	Linne	Roermond	Belfeld	Sambeek	Grave	Lith
1	Limmel 44,10 (zomer) 44,05 (winter)	Heel-boven 20,85	Roermond-boven 16,85	Heel-beneden 14,10	Sambeek-boven 11,10	**Mook** **7,90**	Lith-boven 4,90

2				Belfeld-boven 14,05	Well-dorp 11,70	**Grave-boven** **7,25**	Megen 5,40
3					Sambeek-boven 10,85		

Figuur 3-11: Stuw Grave gekoppeld aan de John S. Thompsonbrug [9.][9.].

Bovenstaande maakt duidelijk dat de stuwpasserende nevengeul Coehoorn in een complex stelsel van onnatuurlijke randvoorwaarden, die op grotendeels economische overwegingen gebaseerd zijn, moeten functioneren.

Wat dit voor de waterstanden bij de stuw Grave betekent, volgt uit de grafieken van Figuur 3-12. Hierin staat de relatie tussen de waterstand en de Maasafvoer (QH-relatie) in de linker grafiek en de overschrijdingsduren van de waterstanden (TH-relatie) staan in de rechter grafiek. Hierin zijn de Maasdebieten in overschrijdingsduren vertaald. Het waterstandsverschil over de stuw vormt de hydraulische randvoorwaarde voor het te ontwerpen (of te renoveren) object (vispassage of stuwpasserende nevengeul) en is de aandrijvende kracht voor de stroming.



Figuur 3-12: Relatie tussen waterstand en Maasafvoer resp. overschrijdingsduur bij de stuw Grave op basis van de betrekkingslijnen [6.].

Als ontwerprandvoorwaarden dient de grafiek rechts als volgt afgelezen te worden: omdat bij toenemend Maasdebiet het verval over de stuw afneemt, is een overschrijdingsduur van het debiet tegelijk de onderschrijdingsduur van het bijbehorende verval. De x-as is hierbij logaritmisch. De eerste rasterlijn (bij x is 1,0E+00 = 100%) is hierbij de absolute bovengrens van het beschikbare verval. De tweede rasterlijn (bij x is 1,0E-01 = 10%) geeft het verval dat gedurende 10% van de tijd wordt onderschreden, ofwel gedurende 90% van de tijd minimaal beschikbaar is. De derde rasterlijn (bij x is 1,0E-02 = 1%) geeft het verval weer dat gedurende 99% van de tijd minimaal beschikbaar is. Dit is circa 3,5 dag per jaar en ligt veelal rondom het moment van strijken van de betreffende stuw.

Bij lage Maasafvoeren is er dus een maximaal verval beschikbaar en vice versa (grafieken links). Bij lage Maasafvoeren is er echter beperkt debiet voor de vispassages en nevengeul beschikbaar (de waterbeschikbaarheid is niet in de grafieken af te lezen). Dat betekent dat de debieten soms met behulp van een inlaatwerk beperkt moeten worden. Bij toenemende Maasafvoeren is er meer debiet beschikbaar, maar wordt het verval geringer. Dit betekent dat de objecten een omgekeerde relatie tussen verval en debiet zullen hebben. Deze onnatuurlijke relatie tussen beschikbaar verval en gewenst debiet kan alleen met behulp van een gestuurd regelwerk gerealiseerd worden.

3.4 Ontwerpwaterstanden

In Tabel 2 zijn de ontwerpwaterstanden weergegeven die horen bij verschillende terugkeertijden, oftewel hoeveel dagen per jaar een bepaalde waterstand in de Maas wordt overschreden. Dit is van belang om te bepalen hoe vaak per jaar/ hoeveel dagen per jaar het debiet en welke waterstand voorkomt voor het ontwerpen van de geul. Deze waterstanden zijn afgeleid van de betrekkingslijnen en komen goed overeen met de meetreeksen.

Tabel 2: Ontwerpwaterstanden inclusief terugkeertijd bij Grave bovenstrooms ter hoogte van de inlaat (rivierkilometer 172,7) en Grave benedenstrooms ter hoogte van de uitstroom (rivierkilometer 176,00).

Afvoer ter hoogte van St. Pieter [m³/s]	0	80	155	280	530	1030
Overschrijdingsduur/frequentie	365 d/j	267 d/j	185 d/j	107 d/j	46 d/j	9 d/j
Waterstand Grave boven [m NAP]	7,95	7,93	7,92	7,90	7,87	7,68
Waterstand Grave beneden [m NAP]	4,90	4,92	4,97	5,09	5,46	6,33

Afvoer ter hoogte van St. Pieter [m³/s]	1280	1500	1722	2113	2512	4511
Overschrijdingsduur/frequentie	4 d/j	2 d/j	1 d/j, T=3 j	T=7 j	T=17 j	T=16000 j
Waterstand Grave boven [m NAP]	7,66	7,75	8,26	9,20	9,86	11,93
Waterstand Grave beneden [m NAP]	6,64	7,12	7,62	8,47	9,26	11,48

4 Het ontwerp

4.1 Ontwerpproces

Binnen het project is een integraal ontwerpproces doorlopen om tot een schetsontwerp en definitief ontwerp te komen voor de nevengeul Coehoorn. De beginfase van het DO stond in het teken van het optimaliseren en uitwerken van het schetsontwerp dat voor de zomer ter inzage is gegaan. Er zijn verschillende zienswijzen binnengekomen op het ontwerp. Na individuele gesprekken met grondeigenaren en een informatieavond is input opgehaald vanuit de omgeving voor het voorlopig ontwerp. Dit heeft geleid tot een aantal nieuwe inzichten die verder zijn onderzocht en uitgewerkt; voor meerdere delen van de geul zijn varianten uitgewerkt en onderzocht. In samenwerking met de provincie Gelderland en gemeente Heumen zijn varianten en uitwerkingen tijdens twee ontwerpsessies uitgewerkt. Ook zijn er een tweetal ‘thematafels’ georganiseerd voor de onderwerpen cultuurhistorie en recreatie. Met kenners van het gebied zijn wensen en kansen i.r.t. de nieuwe geul geïnventariseerd en op kaart gezet. Parralel aan het verder uitwerken van het ontwerp zijn onderzoeken gedaan voor thema's zoals ecologie, archeologie en grondwater. Hiermee zijn effecten inzichtelijk gemaakt en is het ontwerp verder aangescherpt.
Na de definitieve tracékeuze voor deze fase van het ontwerp is de inpassing van de geul verder uitgewerkt met de input vanuit de ontwerpsessies en thematafels.

4.2 Definitief ontwerp

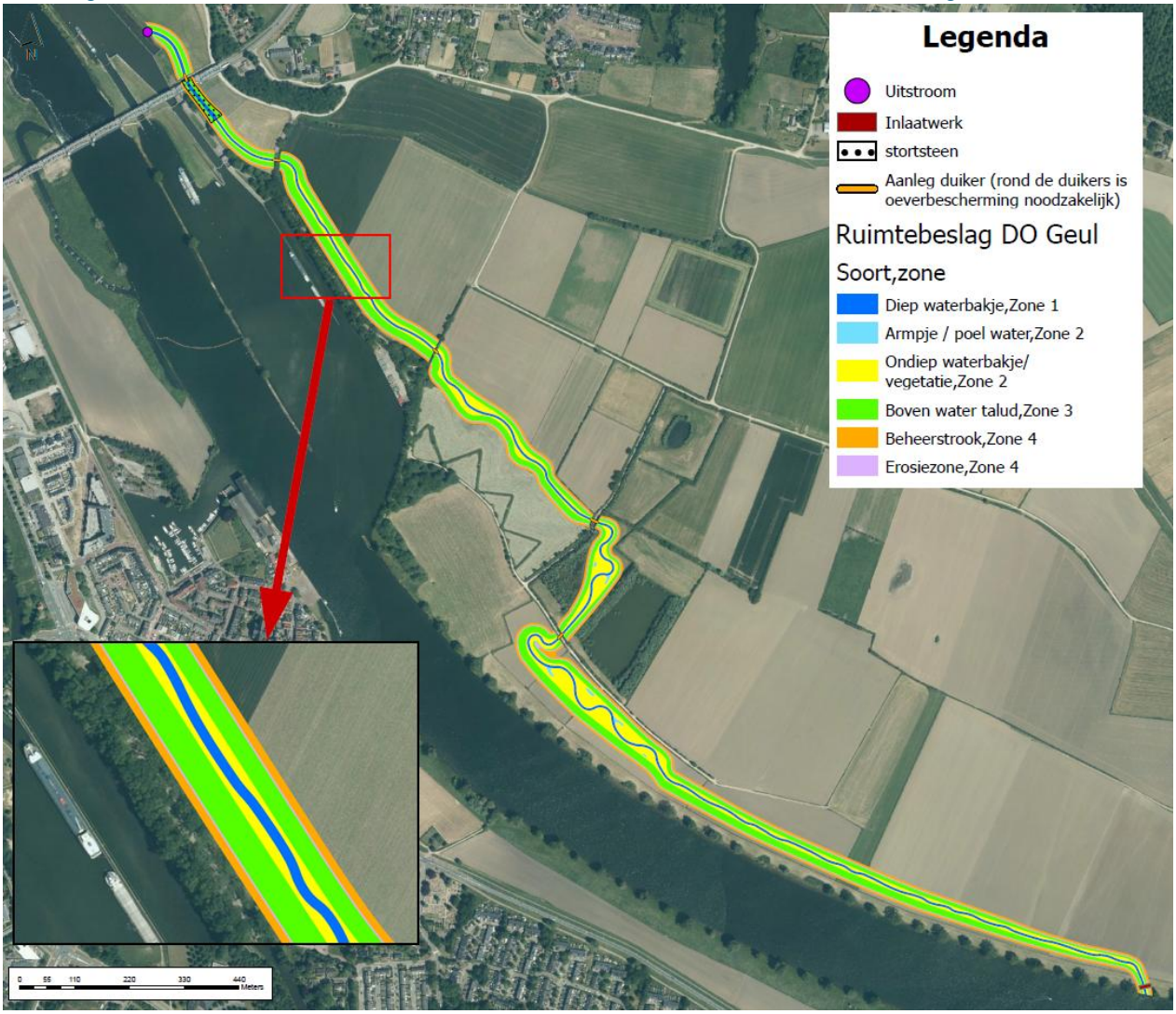
De stuw passerende nevengeul heeft een lengte van ongeveer 3,3 kilometer, waarbij een verval van 3 meter wordt overbrugd (bovenstrooms stuwpeil – benedenstrooms stuwpeil). Deze lengte betreft het minimum wat nodig is om zonder aanvullende kunstwerken in de geul het hoogteverschil te overbruggen. De optredende stroomsnelheid in het diepste gedeelte van de geul betreft maximaal 0,8 m/s, de gemiddelde stroomsnelheid in het stroomvoerende bakje ligt tussen de 0,4 en 0,6 m/s bij deze snelheid zal er erosie op treden. Om toch een stabiel profiel te houden zal het diepere bakje van de geul bekleed worden met grind. In het ondiepere deel ligt de stroomsnelheid lager ook zullen de oevers hier meer begroeid zijn met vegetatie, waardoor deze zone stabiel zal blijven. De erosie- en sedimentatieprocessen in de geul zullen beperkt zijn. Door het gebruik van verschillend substraat, dieper bakje (zone 1) grind en ondiepe deel zand/klei met vegetatie voldoet de geul wel aan de eisen vanuit KRW voor het substraat.

De nevengeul wordt gerealiseerd aan de zuidzijde van de uiterwaard van de Nederasseltsche en Overasseltsche uiterwaarden, dicht bij de Maas. Dit is het deel van de uiterwaard dat vroeger buitendijks lag, ten zuiden van ‘Den Ouden Dijk’ (een historische waterkering die inmiddels verdwenen is). Hier zijn de archeologische verwachtingswaarden dan ook laag (Kroonwerk Coehoorn uitgezonderd). Door deze ligging worden cultuurhistorische waarden zoals historische wegen en de Maasheggen slechts beperkt geraakt en kan een groot deel van het agrarisch gebruik van gronden behouden worden.

De inlaat van de nevengeul start aan de zuidzijde van de uiterwaard net iets benedenstrooms van Overasselt. Hier komt een inlaatwerk waarmee het debiet door de nevengeul gereduceerd kan worden (in het geval van droogte). De geul zal onder de Thompsonbrug doorgaan en dicht bij de stuw en de waterkering gepositioneerd zijn. De geul ligt hier op minimaal 50 meter van de dijk. Op dit traject wordt ook een mitigerende maatregel voor het wegnemen van het risico op piping bij de waterkering genomen. De geul takt direct benedenstrooms van stuw Grave (westzijde) weer aan op de Maas.

Waar er mogelijkheden zijn om de bestaande landschapskenmerken te versterken of de zichtbaarheid van elementen te vergroten, is gezocht naar win-win ontwerpoplossingen. Het grondwerk rondom Kroonwerk Coehoorn wordt door aanleg van de geul beter zichtbaar en beleefbaar. De stervorm van de Kroonwerk wordt versterkt door het aanleggen van de geul aan de noordzijde van het kroonwerk met een lichte meandering die de vorm van het kroonwerk volgt. De recreant kan langs de geul wandelen en hiermee

ontstaat er zicht richting het Kroonwerk die in de huidige situatie niet aanwezig zijn; op dit moment ligt het Kroonwerk ‘verstopt’ in het landschap. Dit alles draagt bij aan het historische karakter van het gebied. Aan de oostzijde van de uiterwaard (ten oosten van het NNN-gebied) ligt de geul dicht bij de Maas. De zone tussen de Maas en geul sluit hiermee zoveel mogelijk aan op het bestaande NNN gebied. De aanleg van de geul met beheerstroken biedt ook kansen voor nieuwe wandel-/struinverbindingen.



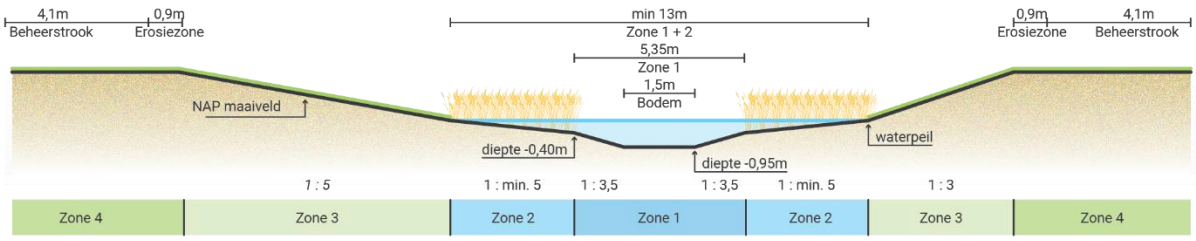
Figuur 4-1: Bovenaanzicht DO nevengeul Coehoorn.

Op basis van de KRW-doelen en daaruit afgeleiden soorten (Vis en Marcofauna) gepresenteerd in zijn de bandbreedtes voor waterdiepte (0,1 m - 1,5 m) en stroomsnelheid (0,1 m/s - 0,8 m/s) vastgesteld. Om invulling te geven varieert de dimensionering van nevengeul Coehoorn over de lengte. Zo zijn er naast het basisprofiel, Figuur 4-2, zes andere principeprofielen vastgesteld en gebruikt in het ontwerp van nevengeul Coehoorn. Daarnaast is er een minimale breedte van het waterprofiel (zone 1 en 2) vastgesteld van 13 m, zodat de geul nog licht kan meanderen binnen deze zone. Daar waar meer ruimte is, is deze zone vergroot om zo interessante habitat te realiseren.

Vanuit ecologie is juist de variatie in diepte en stroomsnelheid van belang. Dit wordt verkregen door de geul aan te leggen als een getrapt profiel waarmee deze variatie gerealiseerd wordt. Dit wordt tevens gerealiseerd door de geul te laten meanderen en te kiezen voor asymmetrische oevers. Het basisprofiel bestaat uit een getrapt systeem met een hoofdgeul (zone 1) waar - bij een geknepen debiet (1 m3/s) -

altijd water in blijft stromen en een zone (2) dat bij het ontwerpwaterpeil een ondiepe waterzone is. Het profiel mag asymmetrisch zijn. Het profiel bestaat uit vier zones (zie Figuur 4-2):

- Zone 1: stroomvoerende middengeul. In dit gedeelte is de diepte en stroomsnelheid het grootst. Taluds zijn minimaal 1:3,5 en de bodembreedte is 1,5 meter.
- Zone 2: ondiepe oever met flauw, minimaal talud van 1:5 (lokaal wordt 1 op 3,5 ook toegestaan bij asymmetrische oevers).
- Zone 3: droge oever zone / bovenwater taluds, minimaal 1:3, aan Maaszijde meestal 1 op 5, in verband met stabiliteit.
- Zone 4: beheerstrook van 4,1 meter + erosiezone 0,9 meter, dus in totaal 5 meter breed aan beide zijdes van de nevengeul.



Figuur 4-2: Standaard dwarsprofiel nevengeul Coehoorn.

4.3 Te verwachten effecten

4.3.1 Hydraulische effecten

Hoogwaterveiligheid

Het is de verwachting dat nevengeul Coehoorn leidt tot een minimale bovenstroomse waterstandsdaling doordat de ingreep getypeerd kan worden als een rivierverruimende maatregel. De verruiming ontstaat door het aanleggen van de geul, wat het de oppervlakte van het dwarsprofiel van het winterbed vergroot. Daarentegen komt er wat extra verruwing in de uiterwaard door de ontwikkeling van riet/ruigte en mogelijk hier en daar wat ruwere vegetatie dan grasland. De verruwing van de uiterwaard zal het waterstandsverlagend effect dempen en daarom wordt verwacht dat deze bovenstroomse waterstandsdaling minimaal zal zijn. Bij ingrepen die een waterstandsverlagend effect hebben, ontstaat benedenstrooms van de waterstandsdaling in bijna alle gevallen een lokale opstuwing. Hier ligt het benedenstroomse deel van de maatregel ter hoogte van de benedenstroomse kant van stuw/sluiscomplex Grave. Het lokale opstuwingseffect zal door het verval van stuw/sluiscomplex Grave naar verwachting bovenstrooms van de stuw plaatsvinden.

Inundatiefrequentie

De hoogtes van oevers en zomerkades bepalen het moment van inunderen van een uiterwaard. In het planvoornemen zijn, m.u.v. het inlaatwerk en de uitlaat van nevengeul Coehoorn, geen wijzigingen aan de

hoogtes en locaties van oevers opgenomen. De uiterwaarden liggen, m.u.v. lokale laagtes, op dezelfde hoogte en op veel plekken hoger dan de Maasoever. Wel wordt er verwacht dat nevengeul Coehoorn ervoor zorgt dat de uiterwaarden via een andere vorm inunderen, namelijk vanuit de nevengeul zelf. Lokale laagtes zullen vollopen vanuit nevengeul Coehoorn, daarbij blijft de inundatiefrequentie van de uiterwaarden hetzelfde aangezien de hoogte van de uiterwaarden vergelijkbaar is met de hoogte van de Maasoever.

Dwarsstroming
Als gevolg van het planvoornemen is het de verwachting dat de dwarsstroming in de buurt van het inlaatwerk lichtelijk toeneemt. Het inlaatwerk laat een afvoer tussen de 2-4 m^3/s in nevengeul Coehoorn, wat in verhouding met de Maasafvoer minimaal is. Het inlaatwerk ligt ook in de binnenbocht van de Maas, t.p.v. de binnenbocht wordt over het algemeen al kleinere dwarsstromingen in de richting van de uiterwaard verwacht.

4.3.2 Morfologische effecten

Morfologische effecten in hoofdgeul
De morfologische effecten in de hoofdgeul als gevolg van de nevengeul Coehoorn zullen naar verwachting optreden ter plaatse van het inlaatwerk en bovenstrooms van stuw/sluiscomplex Grave. Ter plaatse van het inlaatwerk zullen de stroomsnelheden iets groter worden aangezien hier een onttrekking plaatsvindt van gemiddeld 2,3 m^3/s, aangezien deze onttrekking in verhouding klein is met de Maasafvoer is de te verwachte toename in stroomsnelheid ook klein (en zeer lokaal). Door de geringe toename in stroomsnelheid bij het inlaatwerk wordt de kans op erosie hier ook in geringe mate groter. Door de onttrekking zullen de stroomsnelheden benedenstrooms van het inlaatwerk (richting stuw/sluiscomplex Grave) afnemen, wat zal leiden tot een toename in sedimentatie. Een stuw/sluiscomples is in principe een barrière voor sedimenttransport en hier hoopt sediment zich op. Rijkswaterstaat heeft aan de bovenstroomse kanten van stuwen/sluizen al een baggerinspanning, daarom wordt er verwacht dat deze lichte toename in sedimentatie niet voor een vergroting van de beheerinspanning zal leiden.

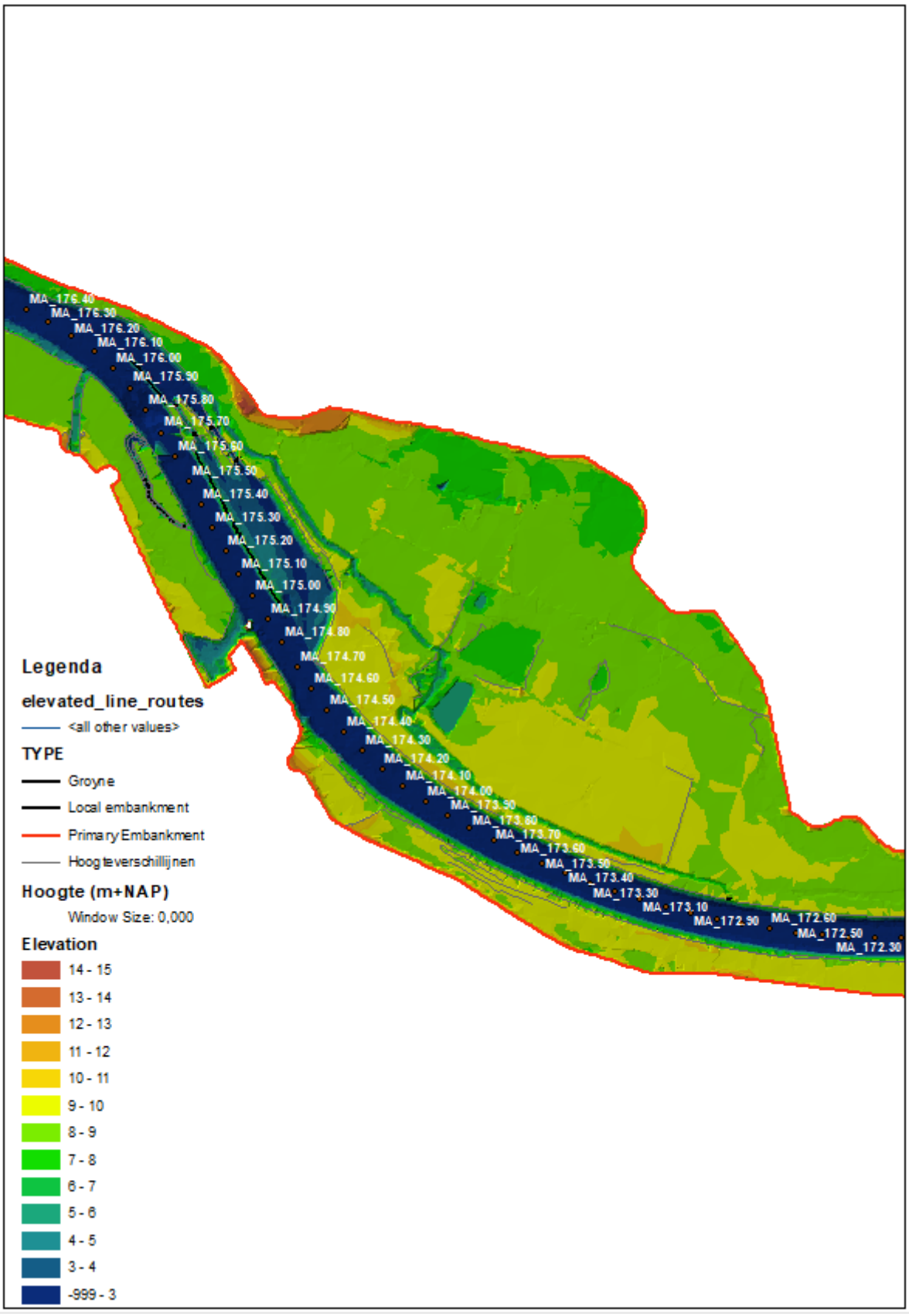
Morfologische effecten in nevengeul
Het ontwerp van de nevengeul is erop gericht een stabiele geometrie van de geul te bewerkstelligen. Eventuele morfodynamiek is hiermee onverenigbaar, omdat er van bovenstroomse zijde sedimentarme (of zelfs sedimentloos) Maaswater uit de bovenste waterlaag van deze gestuwde rivier wordt binnengelaten middels een inlaatwerk. Elk sedimenttransport in de geul betekent dan per saldo erosie. Na volgroeiing van de gewenste begroeiing (riet en ruigte) zal de bodem stabiel zijn. De steile oevers zijn voorzien van een grasmat en water bereikt deze oevers slechts zelden. Daarnaast wordt in de erosiegevoelige zone (zone 1, zie Figuur 4-2) van de geul grind aangebracht om erosie te voorkomen. Middels het ontwerp en de genomen maatregelen is de verwachting dat er weinig tot geen sedimentatie of erosie in de nevengeul zal plaatsvinden.

Morfologische effecten in uiterwaard
Zoals eerder beschouwd in paragraaf 4.3.1 zal de inundatiefrequentie van de uiterwaard nauwelijks veranderen. De verwachting is dat de stroomsnelheden in de uiterwaard ook nauwelijks zullen veranderen (alleen rond de geul zelf). Daarom zijn er geen negatieve morfologische effecten te wachten in de uiterwaard.

4.4 Schematisatie maatregel in baseline

Hoogtemodel

Op basis van 3D ontwerp (bron: ACAD_BJ5649-TEK-Grave-Model.dwg) is de maatregel opgezet in baseline zie Figuur 4-3. Doordat de geul small is (diepe bakje 13m) en de roostercellen groot 40m is in overleg met RWS ervoor gekozen om de insteek niet te schematiseren als hoogteverschillijn maar als breuklijnen. De vertaling van hoogteverschillenen/overlaten naar het rooster resulteerde namelijk in het dichtzetten van veel roostercellen die haaks op de geul staan, wat tot een grote opstuwing resulteerde. Deze opstuwing is niet te recht omdat het ontwerp juist veel extra ruimte (in volume) creëert.

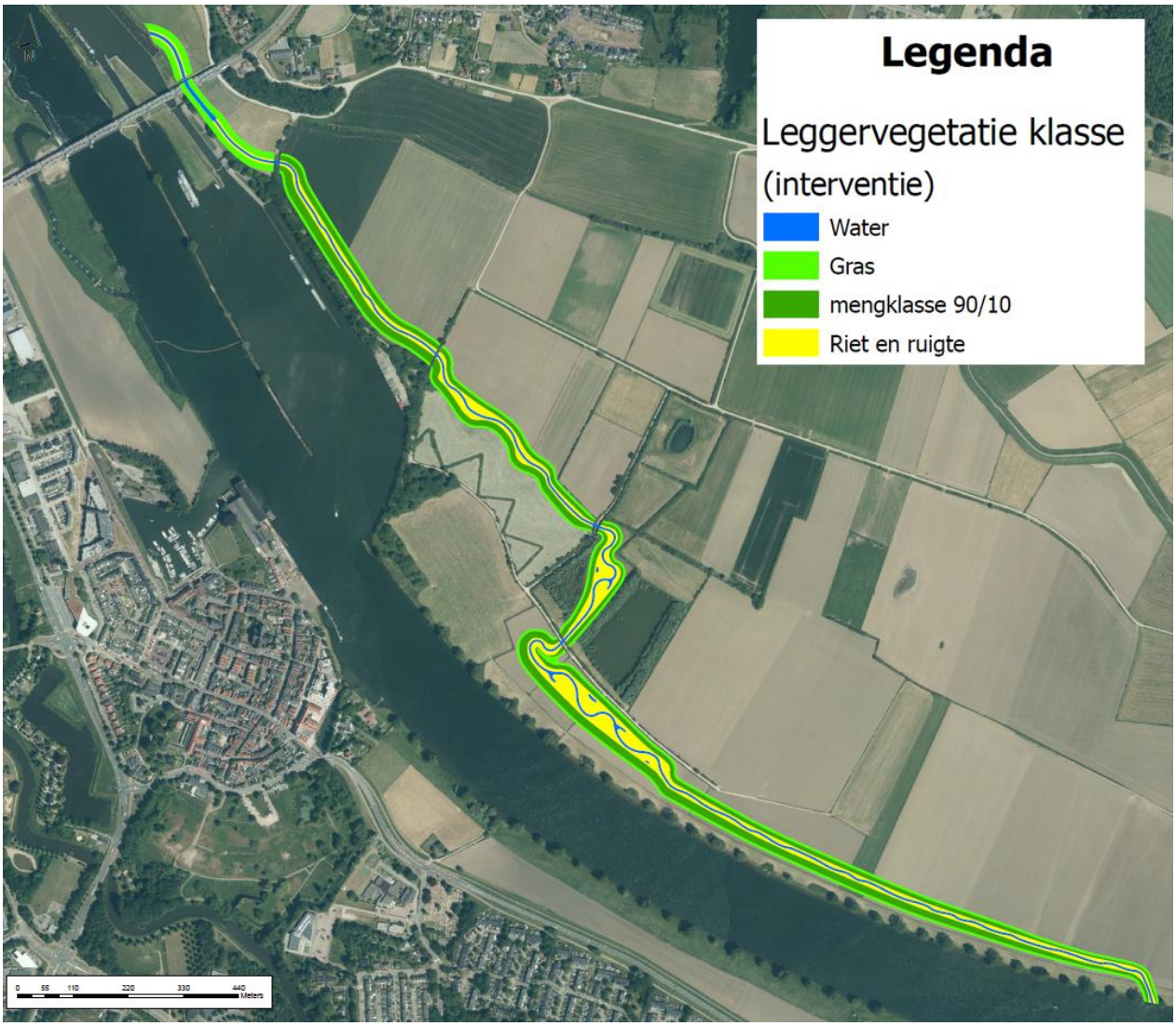


Figuur 4-3: Hoogtemodel ontwerp variant visco_a10.

Ruwheid

De vegetatiekaart in Figuur 4-4 gebruikt. In het ontwerp wordt 1 boom gekapt, deze boom is ook in baseline verwijderd. Heggen zijn in het ontwerp alleen verwijderd te hoogte van de duiker zelf, omdat hier water stroomt.

Na verschillende iteratie berekening bleek dat de extra ruwheid rond de Thompsonbrug leidde tot veel waterstandsopstuwing bij MHW, omdat de uiterwaard hier smaller wordt (soort flessenhals). Bij de Thompsonbrug zijn de taluds (zone 3) daarom niet als 90/10 geschematiseerd maar als gras/akker, zie Figuur 4-4.



Figuur 4-4: Leggervegetatie klasse kaart.

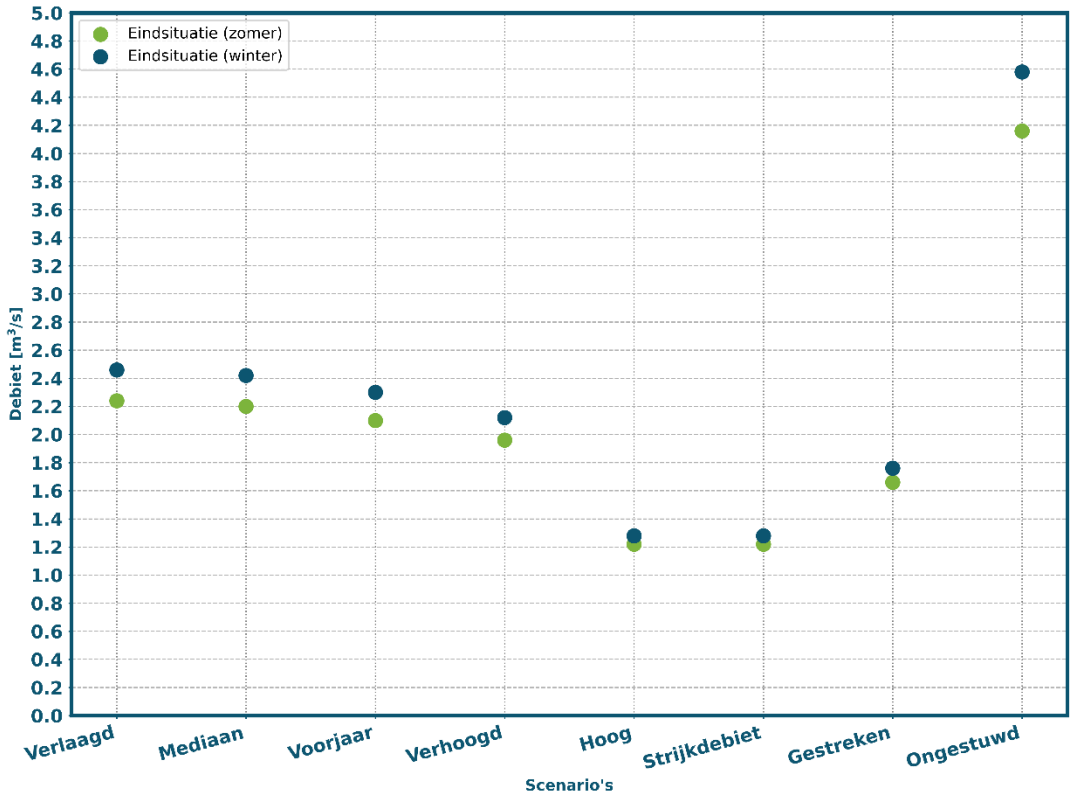
5 Systeemwerking geul

Het ontwerp van de geul en de systeemwekring van de geul is gemaakt en getoetst op basis van modelberekeningen met D-Hydro. Hiervoor is een nieuw model opgesteld met een nauwkeurig resolutie (celgrootte in de geul 0,5 bij 1m), dit is gerapporteerd in: Resultaten modelstudie hydrologie (oppervlaktewater) Nevengeul Coehoorn[3.]. Dit model (en rapportage) samen met de gegevens uit de huidige situatie wordt gebruikt bij het beschrijven van de systeemwerking van de geul. De werking van de geul bij hoogwaterafvoeren (>2000 m3/s), wanneer de uiterwaard volledig meestroomt wordt in de rivierkundige beoordeling (hoofdstuk 6) beoordeeld met het aangeleverde 'dflowfm2d-maas-beno22_6_v2b' model.

De toetsing van de hydraulische stroomsnelheid en waterdiepte aan ecologische doelen is opgenomen in het DO rapport[1.]

5.1 Ontwerpafvoer

In de Technische uitgangspunten van de geul (TUN[4.]) is vastgesteld dat het ontwerpdebiet van de nevengeul ligt op 1,5 tot 2,5 m^3/s bij mediane waterstand. Uit de hydraulische berekeningen[3.] blijkt dat de afvoer in de zomer gemiddeld op 2,2 m^3/s ligt en in de winter op 2,4 m^3/s. Het verschil in afvoer wordt veroorzaakt door dat de geul meer weerstand heeft door vegetatie in de zomer. Dit is wel afhankelijk van waterstanden op de Maas (bovenstrooms en benedenstroom). Figuur 5-1 laat het debiet voor verschillende situaties zien uit Tabel 3.



Figuur 5-1 Afvoeren voor de verschillende scenario's, resultaten hydraulisch model. [3.]

Tabel 3: scenario's en randvoorwaarden voor modellering.

Scenario	Afvoer Maas [m^3/s]	over-schrijding	Naam	Peil inlaat [m+NAP]	Peil uitlaat [m+NAP]	Waterstandsverschil [m]
1	80	267 d/j	verlaagd	7,93	4,92	3,01
2	155	**185 d/j**	mediaan	7,92	4,97	2,95
3	280	107 d/j	voorjaar	7,90	5,09	2,82
4	530	46 d/j	verhoogd	7,87	5,46	2,41
5	1030	9 d/j	hoog	7,68	6,33	1,34
6	1280	4 d/j	strijkdebiet	7,66	6,64	1,03
7	1500	2 d/j	gestreken	7,75	7,12	0,63
8	1722	1 d/j, T=3 j	ongestuwd	8,26	7,62	0,64

Dat het debiet afneemt tot het strijkdebiet en daarna weer toeneemt is komt doordat het bovenstroomse peil in de Maas bij de inlaat ook afneemt en vervolgens weer toeneemt. Daarnaast neemt het verval af wanneer het Maas debiet toeneemt (zie waterstandsverschil Tabel 3).

Bij watertekort kan het debiet door de geul geknepen worden naar ongeveer 1 m^3/s (door één schuif dicht te zetten en de andere gedeeltelijk te knijpen). Bij dit debiet functioneert de geul nog. Bij extreme droogte is het mogelijk de geul in het uiterste geval in zijn geheel dicht te zetten (door beide schuiven te sluiten). Bij hoogwater, waarbij de stuw wordt gestreken en stroming door de uiterwaard optreedt, zal het debiet in de geul onderdeel van de uiterwaardstroming worden en toenemen ten opzichte van de ontwerpsituatie.

Naar verwachting zal een debietreductie niet vaak plaatsvinden. Als deze plaatsvindt, zal het in de zomermaanden zijn. Het volledig afsluiten van de nevengeul zal een zeldzame gebeurtenis zijn en is ecologisch niet gewenst. Exacte getallen zijn hiervoor niet te geven, omdat de beheerder (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland) nog geen kwantitatieve voorwaarden heeft vastgesteld waaronder de nevengeul afgesloten dient te worden. Het relatief lage ontwerpdebiet, waar in het ontwerp voor gekozen is en waarbij nog aan de ecologische doelstellingen wordt voldaan, draagt eraan bij dat de frequentie van debietreductie en van volledig afsluiten geminimaliseerd is.

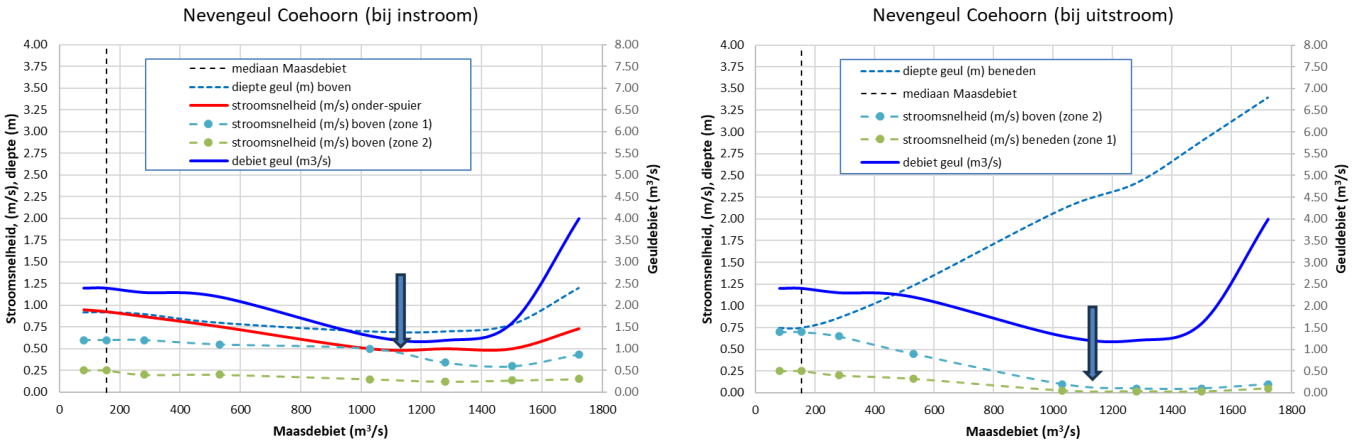
Bij hoogwater, waarbij de stuw wordt gestreken en stroming door de uiterwaard optreedt, zal het debiet in de geul onderdeel van de uiterwaardstroming worden en toenemen ten opzichte van de ontwerpsituatie. Het waterstandsverschil tussen inlaat en geul neemt echter ook steeds verder af waardoor het debiet maar beperkt zal toenemen in vergelijking met de huidige situatie.

5.2 Hydraulische karakteristieken

Afhankelijk van de peilfluctuaties op de Maas beneden- en bovenstrooms, variëren de hydraulische karakteristieken in de geul. De grafieken van Figuur 5-2 laten een inschatting (op basis van vuistregels en resultaten hydraulisch model [3.]) van enkele karakteristieken van de nevengeul zien, zoals de diepte (in de geul-as), stroomsnelheden in de zones 1 en 2 en het geuldebiet bij een geopend inlaatwerk. De beide grafieken maken ook duidelijk dat er een groot verschil in karakteristieken is tussen de beide getoonde locaties: geheel bovenstrooms (bij inlaat) respectievelijk geheel benedenstrooms (monding). Dit is onvermijdelijk omdat stroomopwaarts van de stuw veel minder peilfluctuatie optreedt dan stroomafwaarts van de stuw. Bij een toenemend Maas debiet zal de geul vanaf benedenstrooms volstromen door de

toename van het benedenstroomse stuwpeil. Dit vertaalt zich aan het begin van de nevengeul in een geringere fluctuatie van de geuldiepte dan aan het einde van de nevengeul. Het omgekeerde verschil geldt voor de stroomsnelheden (stroomsnelheid neemt af wanneer de waterdiepte toeneemt).

Hierbij moet opgemerkt worden dat het grootste deel van de tijd de karakteristieken rondom de verticale (streepjes)lijn aan de orde zullen zijn (mediane Maasafvoer). Rondom dit punt zijn de ontwerpkarakteristieken aan beide uiteinden van de geul (en in het tussenliggende gebied) identiek. Dit is dan ook geen toeval, maar een bewust ontwerpuitgangspunt in de TUN[4.] zodat de hydraulische karakteristieken over de lengte van de geul zo uniform mogelijk te krijgen.



Figuur 5-2 indicatie (op basis van vuistregels) Afvoerkarakteristieken van de nevengeul Coehoorn als functie van de Maasafvoer, links: nabij het inlaatwerk; rechts: nabij de uitstroomopening.

Voor een totaalbeeld van de karakteristieken (waterdiepte en stromsnelheid) voor de verschillende scenario's (afvoeren en zomer en winter) wordt verwezen naar de 2D kaarten die ontsloten zijn in een html GIS-viewer[7.]. Voordeel van deze GIS-viewer is dat er op elke locatie ingezoomd kan worden om het stroombeeld of waterdiepte te kunnen zien, tevens kan je eenvoudig wisselen van scenario.

5.3 Morfologie

Het ontwerp is erop gericht een stabiele geometrie van de geul te bewerkstelligen. Eventuele morfodynamiek is hiermee onverenigbaar, omdat er van bovenstroomse zijde sedimentarm (of zelfs sedimentloos) Maaswater uit de bovenste waterlaag van deze gestuwde rivier wordt binnengelaten. Elk sedimenttransport in de geul betekent dan per saldo erosie. Dit zou alleen met intensief onderhoud of een terugleidingsysteem van het sediment gemitigeerd kunnen worden. Dit zijn naar ons oordeel ongewenste oplossingsrichtingen. Een geul waarin weinig tot geen sedimenttransport optreedt, verdient daarom de voorkeur. De morfologische effecten vinden op twee schaal niveaus plaats: morfologie in de geul zelf en de morfologische effecten in de Maas en uiterwaard. In deze paragraaf beschrijven we de morfologische effecten in de geul zelf. In paragraaf 6.3 worden de effecten in de Maas en uiterwaard beschreven.
De morfologische effecten worden beschreven voor drie kenmerkende situaties:

1. Situatie mediane afvoer

Op kleine schaal is enige herverdeling van sediment in zone 2 tijdelijk mogelijk zolang de vegetatie in deze zone nog niet ontwikkeld is. Om in zone 2 eerst voldoende vegetatie te laten groeien zal na aanleg

het debiet door de geul beperkt worden tot circa 1,1 m^3/s (overgangsbeheer). Door het dichtzetten van één schuif en de tweede schuif in te stellen op een doorlaat hoogte van 35 cm, hierbij ligt de waterdiepte in de geul op circa 65 cm. Zone 1 is beschermd met grind (zie paragraaf 3.4.8 ontwerpnota[1.]), waardoor hier geen erosie op zal treden. De waterdiepte op de overgang van zone 1 naar zone 2 is hier maximaal 0,2 cm en de stroomsnelheid ligt hier in deze situatie onder de 0,3 m/s, Bij deze diepte en stroomsnelheid kan rietmoeras (riet/ruigte) zich goed ontwikkelen, deze waardes sluiten namelijk goed aan op de ontwerpeisen van riet uit de Leidraad decompositie van het ministerie van infrastructuur en waterstaat. Erosie bij stroomsnelheden kleiner dan 0,3 m/s zal tevens beperkt zijn. Wanneer er vegetatie aanwezig is in zone 2 (na circa 1 jaar) zullen beide schuiven volledig opengezet worden, waarbij de inlaat niet meer geknepen wordt. Doordat het inlaatwerk het debiet van de geul het eerste jaar knijpt zal bij hogere afvoeren de stroomsnelheid gelijk of lager (benedenstrooms) zijn door de geul. Na volgroeiing van zone 2 zal de bodem hier bij een hoger debiet en stroomsnelheid ook stabiel zijn. De oevers van zone 3 (talud 1:3) zullen van een grasmat voorzien zijn. Het water bereikt deze oevers beperkt, waardoor het gras hier goed kan groeien. Door het aanwezig gras zullen de oevers stabiel blijven.

2. Situatie bij hogere afvoeren tot meestromen van uiterwaard (<2000 m3/s)

Zoals al beschreven in paragraaf 5.2 zal de geul bij een toenemend Maas debiet vanaf benedenstrooms volstromen door de toename van het benedenstroomse stuwpeil. Dit vertaalt zich aan het begin van de nevengeul in een geringere fluctuatie van de geuldiepte dan aan het einde van de nevengeul. Het omgekeerde verschil geldt voor de stroomsnelheden (stroomsnelheid neemt af wanneer de waterdiepte toeneemt).
Bij een toenemend debiet door de Maas neemt de benedenstroomse waterdiepte toe en dus ook de waterdiepte in de geul. Wanneer de waterdiepte in de geul toeneemt zal de stroomsnelheid hier in de geul afnemen. Wanneer de oevers begroeid zijn met riet/ruigte en gras is hier nauwelijks erosie te verwachten.

Voor zone 3 geldt dat afhankelijk van de kwaliteit van de grasmat, een met gras beklede oever kan stroomsnelheden van 1,5 á 2,5 m/s weerstaan gedurende 100 uur achter elkaar, conform CUR201 (RWS, 1999) [2.]. Bij afvoeren tot 2.000 m^3/s is de maximale stroomsnelheid in de geul lager dan 1 m/s (zie Kaartenbijlage Nevengeul Coehoorn - Resultaten Modelstudie Hydrologie[7.]. De verwachting is hiermee dat de grasmat blijft liggen en de erosie beperkt zal zijn.

3. Situatie hoge afvoeren, wanneer de uiterwaard meestroomt (>2000 m3/s)

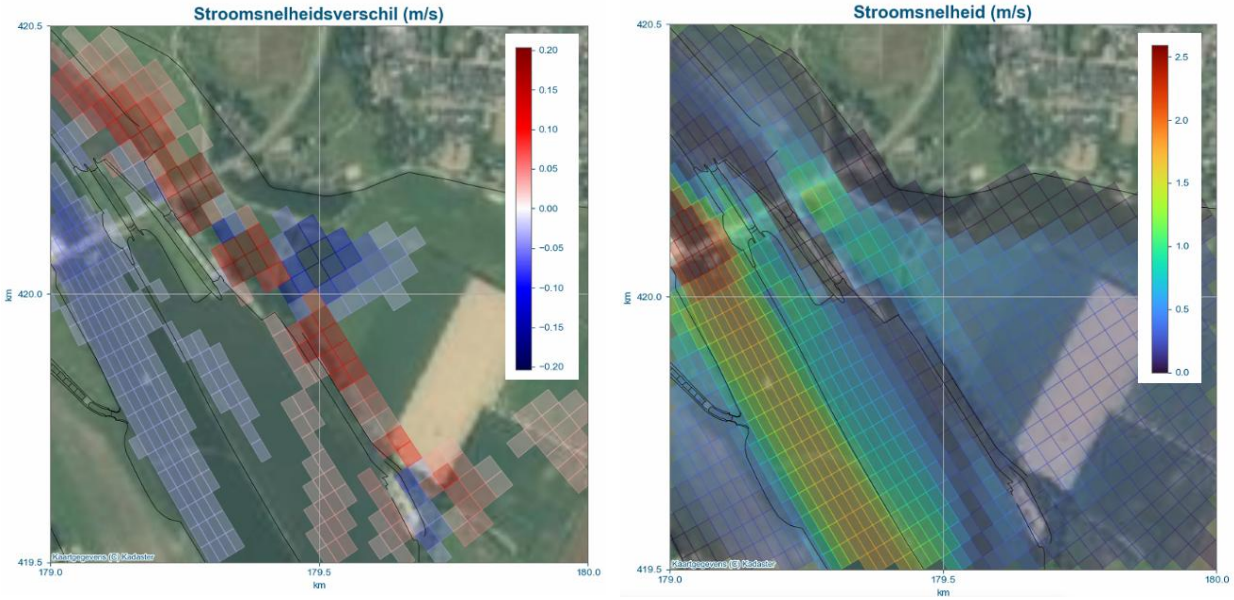
Deze situatie komt maar beperkt voor circa 1 x in de 6 jaar. Over het algemeen zullen de stroomsnelheden lager zijn in de geul dan de stroomsnelheden onder dagelijkse omstandigheden. Dit komt doordat de gehele uiterwaard onder waterstaat en het water dus veel ruimte heeft om te stromen (zie figuren in de bijlage 1) bij hogere afvoeren neemt de stroomsnelheid veel al af in de uiterwaard en komt de absolute stroomsnelheid niet boven de 1 m/s. Uitzondering hierop is de Thompsonbrug, omdat dit het smalste stuk is in de uiterwaard, neemt de stroomsnelheid hier wel toe. De stroomsnelheid rond de Thompsonbrug is voor de afvoeren 2100, 3200 en 4100 m3/s weergeven in de figuren: Figuur 5-3, Figuur 5-4 en Figuur 5-5. De maximale stroomsnelheid onder de Thompsonbrug ligt op 1,65 m/s bij MHW, bij lager afvoeren ligt deze stroomsnelheid onder de 1,5 m/s). In het algemeen geld dat wanneer de vegetatie goed is ontwikkeld (goede grasmat en riet ruigte zone) dat de oevers stabiel zullen blijven. Oevers bekleed met gras kunnen stroomsnelheden van 1,5 á 2,5 m/s weerstaan gedurende 100 uur achter elkaar, conform CUR201 (RWS, 1999) [2.].

Bescherming pijlers Thompsonbrug, ankers sluis en beschermingszone dijk.

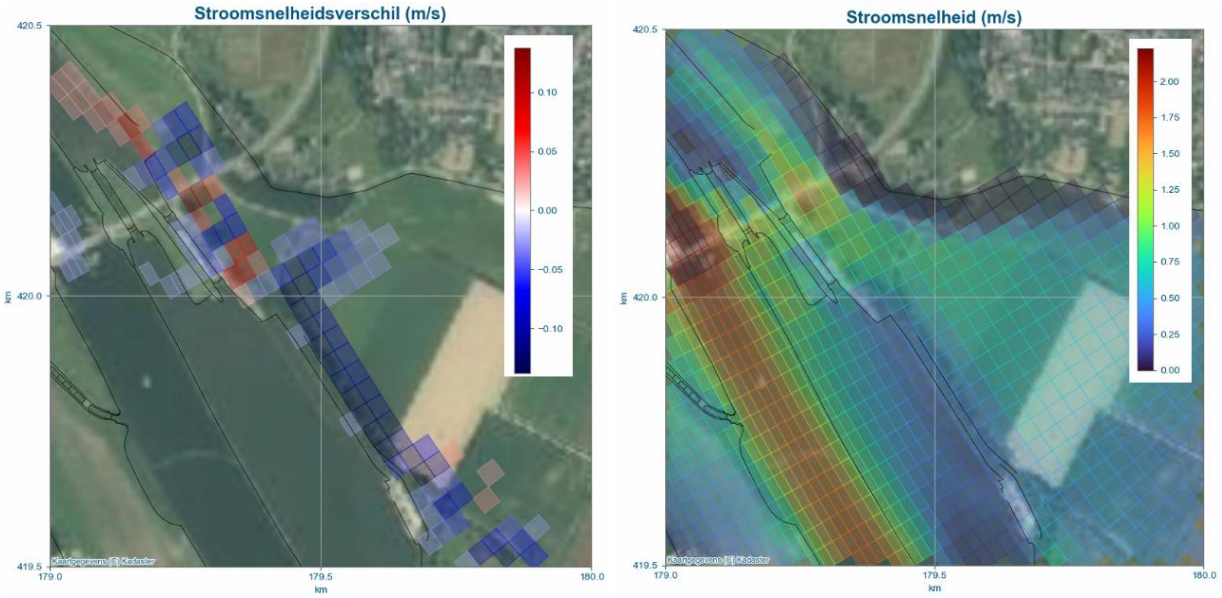
Bij de uitstroom van de geul rond de Thompsonbrug is voor gekozen om de oevers te beschermen omdat:

1. De stabiliteit van de pijlers van de Thompsonbrug hiermee geborgd blijft (erosie is hier niet toegestaan).
2. De ankers van de sluis beschermd blijven
3. De geul niet binnen de 50 m zone van de teen van de dijk zal komen (eis vanuit het waterschap)
4. De geul op een deel van dit traject smal is en hier een talud van 1 op 2 heeft. Om erosie op dit steilere talud te voorkomen is ook oeverbescherming noodzakelijk.
5. Wanneer de uiterwaard in zijn geheel mee gaat stromen (gebeurt niet vaker dan 1 keer in de 6 jaar) neemt de stroomsnelheid hiertoe tot max 1,65 m/s (Figuur 5-3, Figuur 5-4 en Figuur 5-5.). Bij goed ontwikkelde graszone/rietzone zou dit geen probleem moeten zijn voor erosie. Of de grasmat zich hier voldoende kan ontwikkelen is niet helemaal zeker omdat dit stukje bij de oeverlijn vaak onder water staat door schommeling van benedenstroomse stuwpeil. Gras blijft nog goed indien dit minder dan 30 dagen onder water staat.

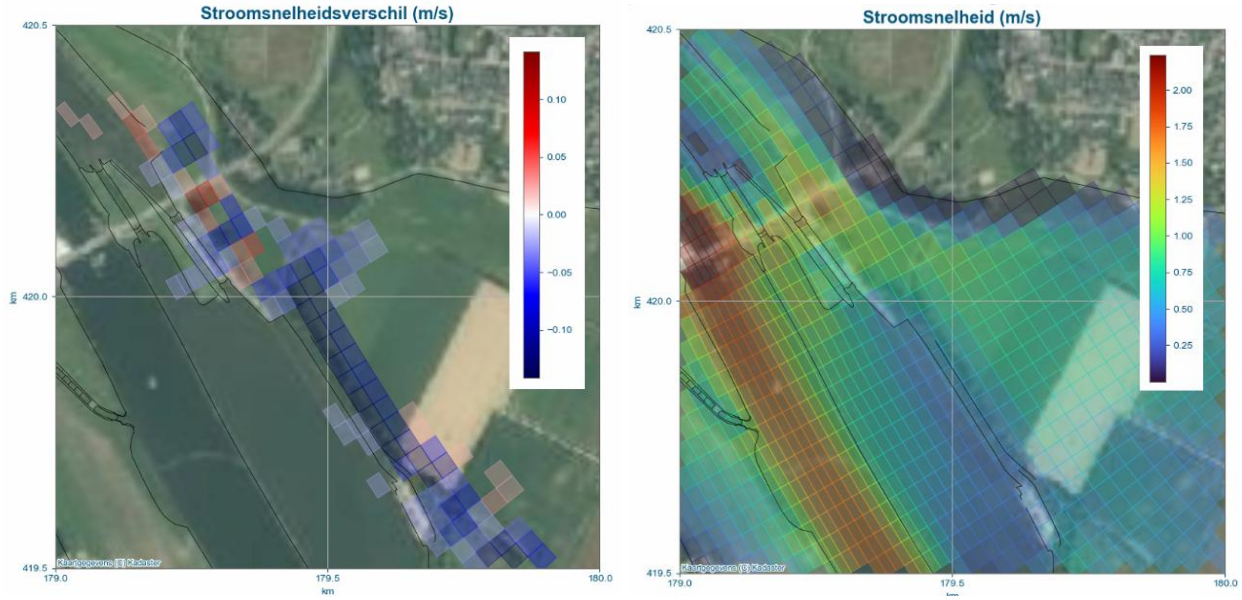
Bij het versmalde stuk bij pijlers Thompsonbrug is de oeverbescherming doorgetrokken tot aan de bovenkant van het talud om het 1 op 2 talud stabiel te houden. Na de brug is de oeverbescherming aangebracht tot 6 m+NAP. Boven deze waterstand zal zeker een goede grasmat ontstaan (staat niet vaker dan 20 dagen per jaar onder water) waarmee de oever stabiel zal blijven.



Figuur 5-3 Bij een Maasafvoer van 2.100 m^3/s: Links verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' en rechts de absolute stoomsnelheid voor de variant rond de Thompsonbrug.



Figuur 5-4 Bij een Maasafvoer van 3.200 m^3/s: Links verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' en rechts de absolute stoomsnelheid voor de variant rond de Thompsonbrug.



Figuur 5-5 Bij een Maasafvoer van 4.100 m^3/s: Links verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' en rechts de absolute stoomsnelheid voor de variant rond de Thompsonbrug.

Erosie zone

Omdat de geul door het toepassen van grind en oeverbescherming zoveel mogelijk stabiel wordt gehouden is de kans op erosie klein. Deze vastgestelde beperkte erosiezone van 90 cm aan weerszijden van de geul op maaiveldhoogte was al vastgesteld in de TUN [4.] (zie paragraaf 2.3.2), deze zone biedt met deze inzichten voldoende veiligheidsmarge.

Erosiezone (interventielijn) (paragraaf 2.3.2 TUN [4.])
In het standaardprofiel wordt een talud van 1:3 en 1:5 gehanteerd. Onder normale omstandigheden is het niet te verwachten dat hier erosie zal optreden, zeker wanneer het talud begroeid is geraakt. Mocht er erosie plaatsvinden, dan zal dit als eerst binnen het profiel gebeuren. De kans dat dit buiten de insnijding gebeurd is klein. Veiligheidshalve hanteren we een interventieruimte van 0,9 m aan weerszijden (standaardwaarde).

Mocht erosie plaatsvinden buiten deze erosiezone, dan zal er ingegrepen moeten worden. Met op deze wijze vastgestelde zones (buiten het profiel) is er genoeg tijd voor interventies als het lijntje overschreden dreigt te worden. Hiervoor is periodieke monitoring wel noodzakelijk.

6 Rivierkundige beoordeling

Voor de rivierkundige beoordeling toetsen we de effecten van de maatregel geul Coehoorn op hoogwaterveiligheid, hinder of schade door hydraulische effecten en morfologische effecten.

Hoogwaterveiligheid toetsen we op de Hoogwaterreferentie in de as van de rivier (aspect 1.1), Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier (aspect 1.2) en ijsafvoer (aspect 1.5).

Hinder of schade door hydraulische effecten toetsen we op inundatiefrequentie van de uiterwaard (aspect 2.1), stroombeeld in de uiterwaard (aspect 2.2), stroombeeld in de vaarweg (aspect 2.3) en instroom retentiegebieden Maas (aspect 2.6).

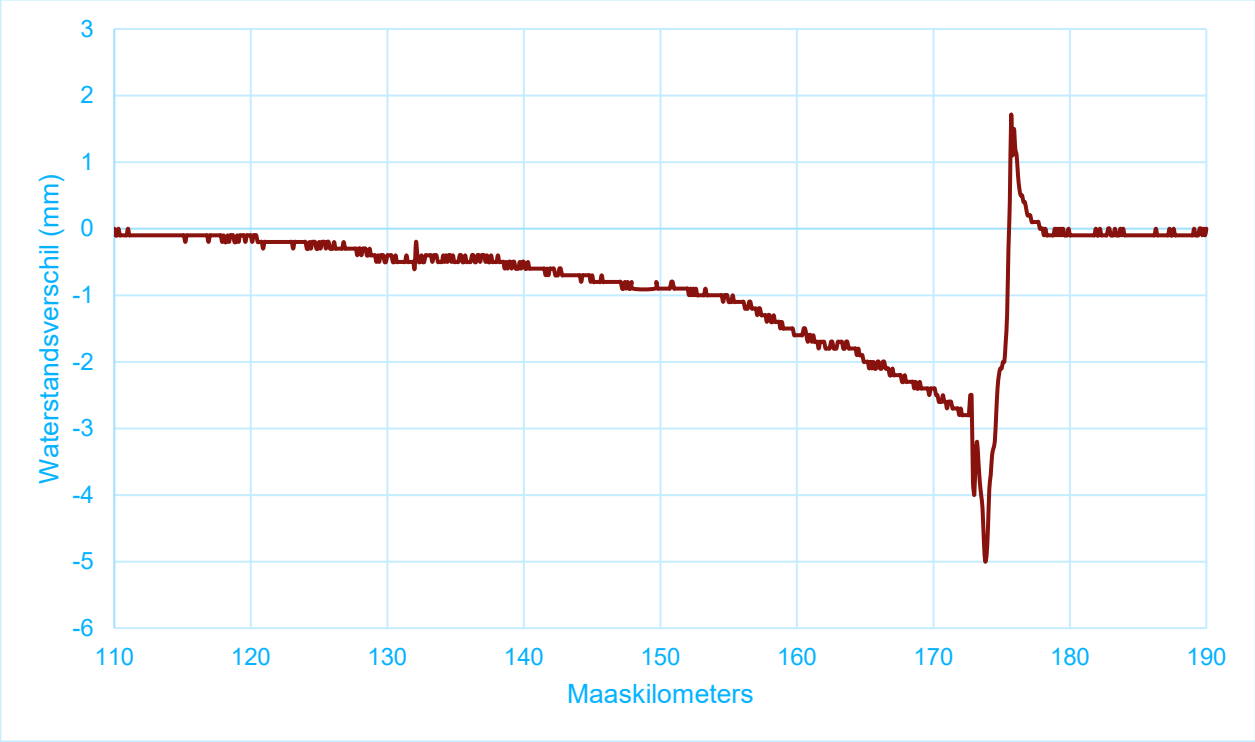
Morfologische effecten toetsen we op sedimentatie en erosie van het zomerbed (aspect 3.1) en sedimentatie en erosie van de uiterwaard en nevengeulen (aspect 3.2).

6.1 Hoogwaterveiligheid

6.1.1 Hoogwaterreferentie in de as van de rivier

De voorwaarde bij de beoordeling van het waterstandseffect ten gevolge van ingrepen in het rivierengebied is dat zij in principe niet mogen leiden tot een verhogen van de waterstanden. De waterstand wordt getoetst t.o.v. de Hoogwaterreferentie (HWR). Vanwege onnauwkeurigheden in modelberekeningen wordt bij de beoordeling van berekende waterstandsverschillen een grens van 1 mm opstuwing gehanteerd.

Figuur 6-1 laat zien dat de variant niet aan de voorwaarde voldoet om onder de 1 mm opstuwing te blijven. Ter hoogte van Maaskilometer 175,9 vindt een maximale lokale opstuwingspiek plaats van 1,7 mm.



Figuur 6-1: Waterstandseffect variant bij afvoer van 4.100 m^3/s.

Daarnaast vindt er bovenstrooms van de ingrepen een waterstandsverlagend effect plaats welke ter hoogte van Maaskilometer 173,8 een maximum bereikt van -5,0 mm. Het RBK6.0 schrijft voor dat een benedenstrooms piekje is toegestaan indien is voldaan aan de volgende drie voorwaarden:

1. Indien het ontwerp geoptimaliseerd is, én
2. Indien er sprake is van een ruime netto waterstandsverlaging; d.w.z. dat het oppverlak van de verhogingsdriehoek vele malen kleiner is dan de verlagingsdriehoek (zgn. ‘zaagtandmethode’), én
3. Indien de waterstandsverhoging bij derden zoveel mogelijk wordt voorkomen.

(1) Aan de eerste voorwaarde wordt voldaan omdat het ontwerp door middel van meerdere iteraties geoptimaliseerd, zie Hoofdstuk 4. Daarnaast zijn er 10 varianten doorgerekend (waarbij vooral ruwheidsaanpassingen gedaan zijn).

(2) Het voldoen aan de tweede voorwaarde wordt aangetoond middels de ‘zaagtandmethode’. In Figuur 6-1 is het waterstandsverhogende oppervlak vele malen groter (meer dan 45x) dan het waterstandsverlagende oppervlak. Zodoende is het toepassen van de ‘zaagtand’ geoorloofd.

(3) Aan de derde voorwaarde wordt ook voldaan doordat de waterstandsverhoging slecht lokaal optreedt en geen invloed heeft op derden. Dit is in sectie 5.1.2 onderbouwd.

6.1.2 Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier

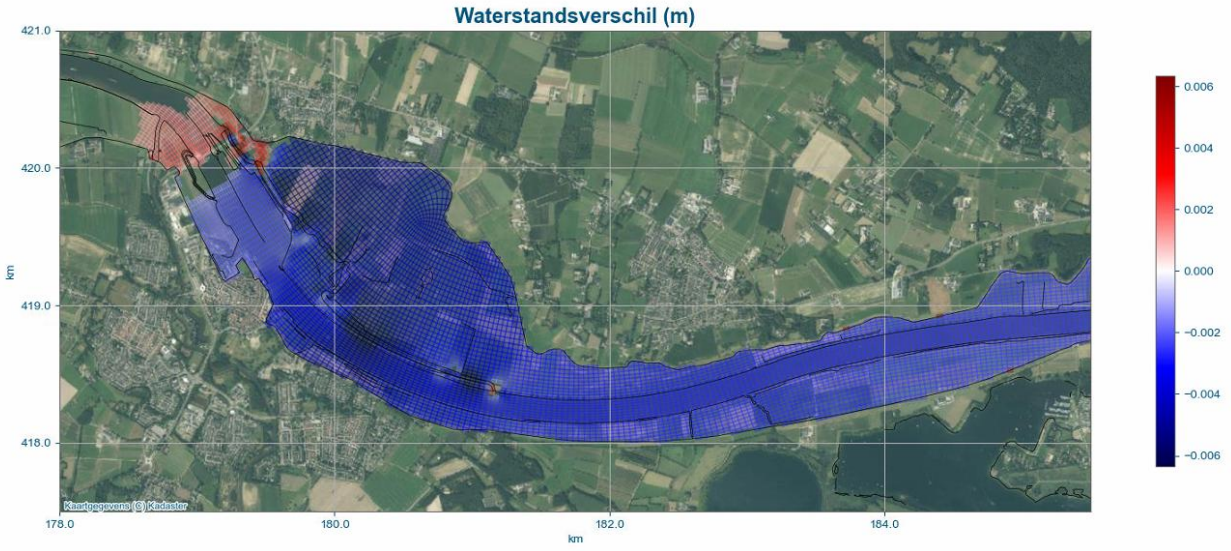
Als gevolg van een ingreep in een uiterwaard kan de lokale stroming veranderen waardoor er in de omgeving van de ingreep veranderingen in waterstand en stroomsnelheid ontstaan. Door lokale opstuwing kan het effect van een ingreep buiten de as van de rivier, zoals aan de waterkering, afwijken van het effect op de as. Dit aspect van het RBK6.0 gaat hierop in.

Het effect van de maatregel op de waterstand bij Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier is weergegeven in Figuur 6-2. De effecten in de uiterwaard komen overeen met de waterstandseffecten op de as van de rivier.

Als gevolg van de nieuwe geul in de uiterwaard (maaiveld vergraving) stroomt een groter deel van de afvoer bij hoge afvoeren door de uiterwaard, waardoor het water op deze locaties beter afgevoerd kan worden. Dit veroorzaakt in de uiterwaard een waterstandverlagend effect tot maximaal 6 mm. Het waterstandsverlagend effect werkt verder door in de uiterwaarden bovenstrooms.

Nabij de Thompsonbrug en bij het stuw en sluiscomplex Grave zien we een waterstandverhogend effect als gevolg van het stuw en sluiscomplex en de lokale flessenhals in de rivier. De grootste opstuwing vindt plaats nabij de banddijk van Waterschap Rivierenland, namelijk een opstuwing van maximaal 5 mm. Per saldo is er een waterstandsverlagend effect langs de banddijk van Waterschap Rivierenland.
Aan de zuidkant langs de dijk van Waterschap Aa en Maas is de opstuwing maximaal 2 mm. De effecten langs de banddijk dienen te worden voorgelegd aan Waterschap Rivierenland en Waterschap Aa en Maas.

Naast de belangen van het waterschap worden door de waterstandseffecten geen andere belangen van derden beïnvloed. Enkele millimeters verschil in waterstand tijdens de Hoogwaterreferentie op percelen van derden veroorzaakt geen ongewenste effecten.



Figuur 6-2: Waterstandseffect in het 2D-vlak (in m) t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een afvoer van 4.100 m^3/s.

6.1.3 IJsafvoer

Binnen het ontwerp van geul Coehoorn vinden er, buiten de wijziging aan de instroom en uitstroom, enkel ingrepen plaats binnen de uiterwaard, buiten het directe invloedsgebied van het zomerbed. Naar ons oordeel heeft deze maatregel geen effect op de afvoer van ijs of de vorming van ijsdammen. Deze conclusie is gebaseerd op:

- De ingrepen hebben vooral betrekking op wijzigingen in vegetatie of veranderingen van het huidige maaiveld. Maar in geen geval is er sprake van het aanleggen of uitbreiden van aangetakte (neven)geulen of het aantakken van bestaande strangen op het zomerbed. Bij de instroom van geul Coehoorn wordt een instroomwerk gerealiseerd, deze scheidt de geul van het zomerbed.
- Er vinden geen verandering plaats aan de vormgeving van bestaande kribben, langsdammen of andere geleidingswerken langs de vaargeul (zoals een verdedigde gestrekte oever). Het

instroomwerk bij de instroom van geul Coehoorn heeft een vergelijkbare vorm als de bestaande oever. De geleiding van ijs wordt daarmee niet negatief beïnvloed.

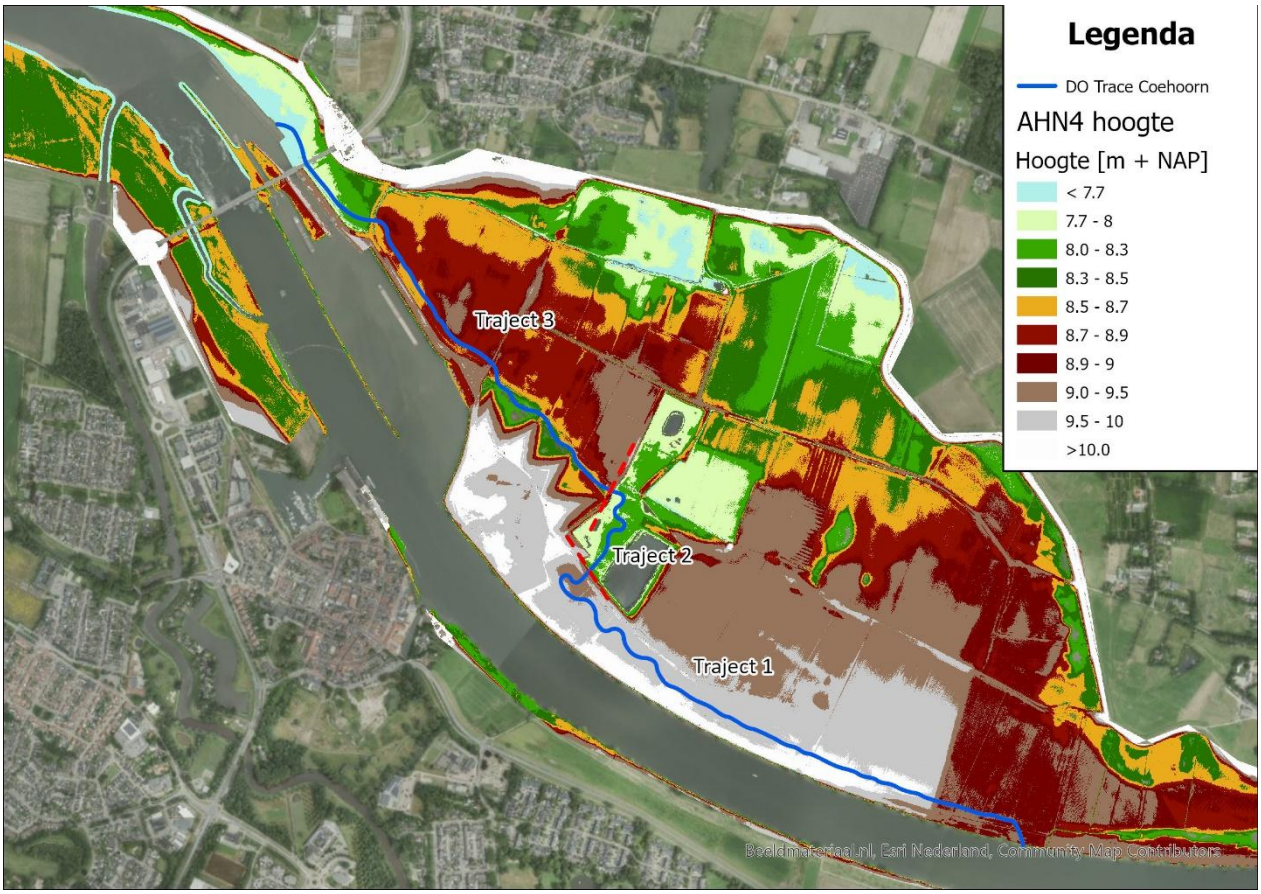
6.2 Hinder of schade door hydraulische effecten

6.2.1 Inundatiefrequentie van de uiterwaard

Als gevolg van een ingreep kan de frequentie van instromen van (delen van) de uiterwaard wijzigen. Dit kan nadelig zijn voor omwonenden, voor de bereikbaarheid of voor de natuurontwikkeling. Dit aspect uit het RBK6.0 gaat daarop in. Een verandering van de inundatiefrequentie mag niet leiden tot nadelige gevolgen voor de gebruikers van een gebied en/of benedenstroomse gebieden. Bij nadelige effecten moet in overleg met de belanghebbenden een oplossing worden gevonden.

In de huidige situatie stroomt de uiterwaard vol vanaf benedenstroomse zijde, door het toenemen van het benedenstroomse peil. Via de aanwezige watergangen zal de uiterwaard meestijgen met het benedenstroomse stuwpeil totdat de Maasoevers bovenstrooms overstromen. Het laagste punt van de zomerkade bovenstrooms (Maasoever) van de uiterwaard ligt op ongeveer 8,9 m+NAP ter hoogte van rivierkilometer 173. De zomerkade overstroomt ongeveer bij 2000 m^3/s wat ongeveer 1 x in de 6 jaar gebeurt. De benedenstroomse waterstand ligt dan op 8,3 m+NAP. Hiervoor is alles onder de 8,3 m+NAP al overstroomt door de benedenstroomse waterstand (via watergangen). In de nieuwe situatie met geul zal alles onder de 8,3 m+NAP ook mogelijk iets sneller overstromen.

Wanneer de uiterwaard vanaf bovenstroomse zijde nog net niet overstroomt, namelijk bij een waterstand lager dan 8,9 m+NAP bij rivierkilometer 173, dan is de waterstand in de geul hoger dan in de huidige situatie. Op traject 1 en 3 (zie Figuur 6-3) zal de inundatiefrequentie niet veranderen omdat de oevers hier hoger liggen dan de waterstand in de geul. Op traject 1 komt de waterstand tussen de 8,6 en 8,8 m+NAP liggen, op dit traject liggen de oevers van de geul op 9 m+NAP en op traject 3 ligt de waterstand tussen de 8,3 m en 8,5 m+NAP, waarbij de oevers boven de 8,5 m+NAP liggen. Op traject 2 komt de waterstand rond de 8,5 m+NAP te liggen, de oevers liggen hier lager waardoor de waterstand in dit gebied circa 20 cm hoger ligt dan in de huidige situatie. Deze situatie komt slechts 1x in de 6 jaar voor, ook de duur is kort (minder dan 1 dag), wanneer de waterstand toeneemt (boven de 8,9 m+NAP bij rivierkilometer 173) zal de gehele uiterwaard vollopen op dezelfde wijze als in de huidige situatie. De verandering in inundatiefrequentie zal daarom zeer beperkt zijn, waarbij er geen hinder voor derden wordt verwacht wordt. Daarentegen stroomt het water uit de uiterwaard na een hoogwater ook sneller weg dan in de bestaande situatie door het afvoerende effect van de geul.



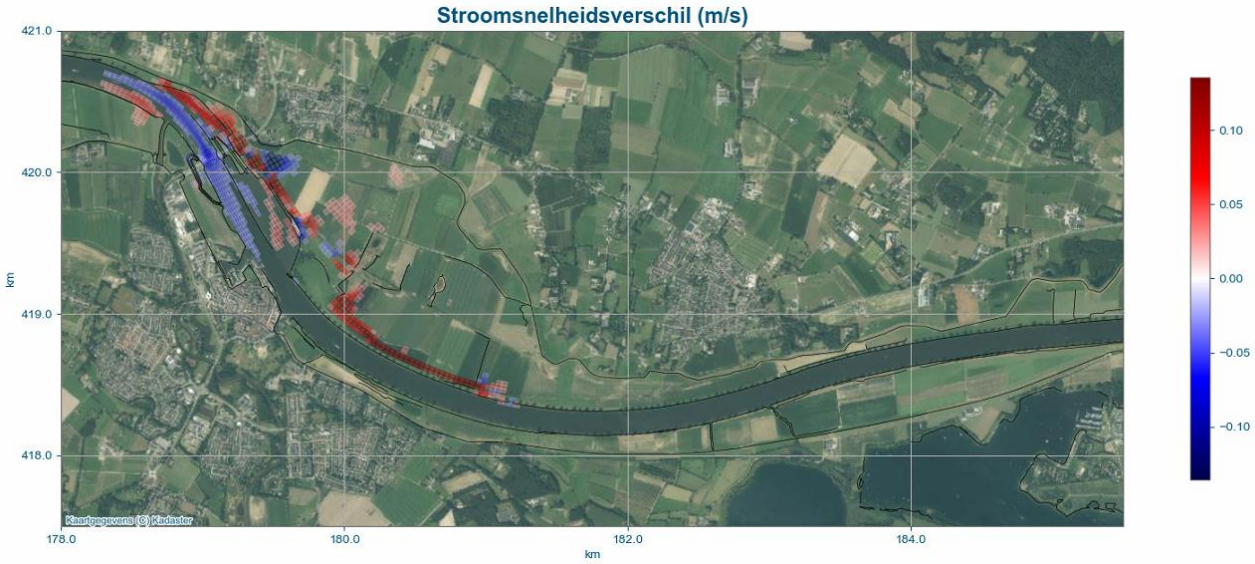
Figuur 6-3: DO opgesplitst in tracés met dezelfde hoogteligging van bestaand maaiveld (AHN4).

6.2.2 Stroombeeld in de uiterwaard

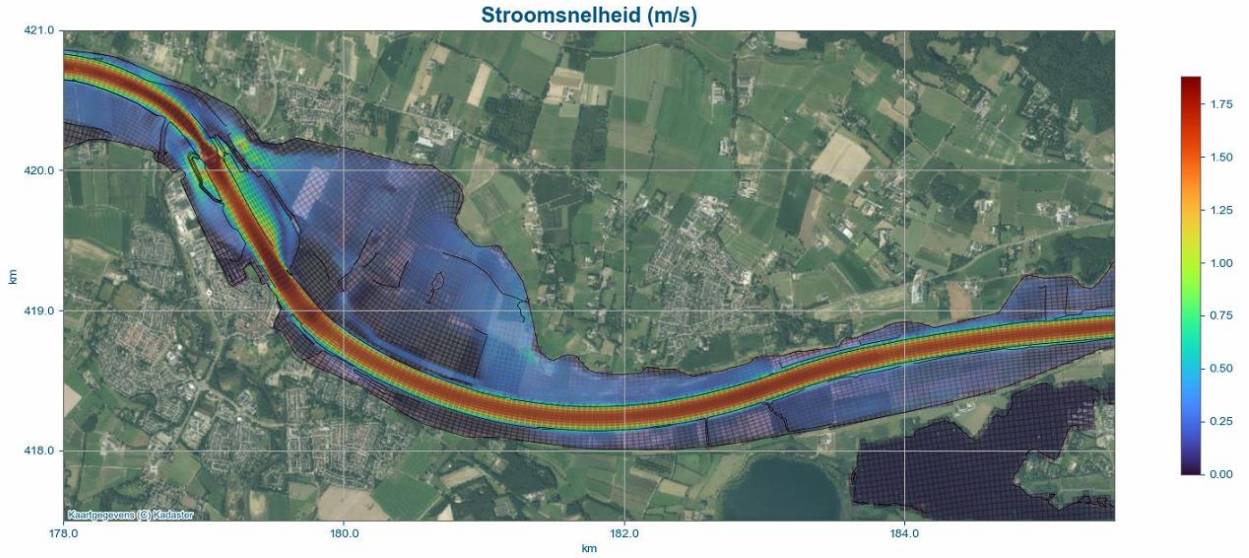
Door ingrepen langs de rivier kunnen (lokale) stroomsnelheden in de uiterwaard veranderen. Dit kan resulteren in lokale erosie bij constructies als kribben, gebouwen, kaden, wegen, maar ook langs randen van plassen en geulen. De mate van eventuele effecten wordt ingeschat door het beoordelen van de verandering van de grootte en richting van de stroomsnelheden bij afvoer van 2.100 m^3/s. Bij een Maasafvoer van 250 m^3/s en 1.300 m^3/s zijn er als gevolg van de maatregel geen stroomsnelheidsverschillen te zien in de rekencellen. De verandering in stroombeeld bij een afvoer van 2.100 m^3/s is weergegeven in Figuur 6-4. Figuur 6-5 toont de absolute stroomsnelheden in de variant bij een afvoer van 2.100 m^3/s.

Als gevolg van de maatregel geul Coehoorn neemt, bij een afvoer van 2.100 m^3/s, de stroomsnelheid in de uiterwaard toe met 0,15 m/s. Deze toename is daarentegen enkel ter plaatse van de geul Coehoorn, waar dit ook te verwachten is. Onder de Thompsonbrug neemt de stroomsnelheid ook met 0,15 m/s toe in de uiterwaard, dit leidt tot een absolute stroomsnelheid van 1,5 m/s. Deze absolute stroomsnelheid vindt plaats in geul Coehoorn zelf, hier wordt een oeverbescherming aangebracht om te zorgen dat de geul niet verder morfologisch veranderd (om ook de stabiliteit van de pijlers van Thompson brug te garanderen). Benedenstrooms van de Thompsonbrug neemt de stroomsnelheid in de uiterwaard toe met 0,10 m/s langs de dijk. Daarentegen zijn de absolute stroomsnelheden hier al relatief laag, namelijk 0,75 m/s. Dergelijke stroomsnelheden in de uiterwaard resulteren normaliter niet in ongewenste lokale erosie langs de randen van geulen en dijken. De absolute stroomsnelheden blijven onder de kritische grens van erosie van een met gras beklede oever of dijk. Afhankelijk van de kwaliteit van de grasmat, kan een met gras beklede oever stroomsnelheden van 1,5 á 2,5 m/s weerstaan gedurende 100 uur achter elkaar, conform

CUR201 (RWS, 1999). Er is dus geen extra risico op ongewenste erosie langs de randen van geulen of aan de dijk.



Figuur 6-4: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 2.100 m3/s.



Figuur 6-5: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 2.100 m^3/s.

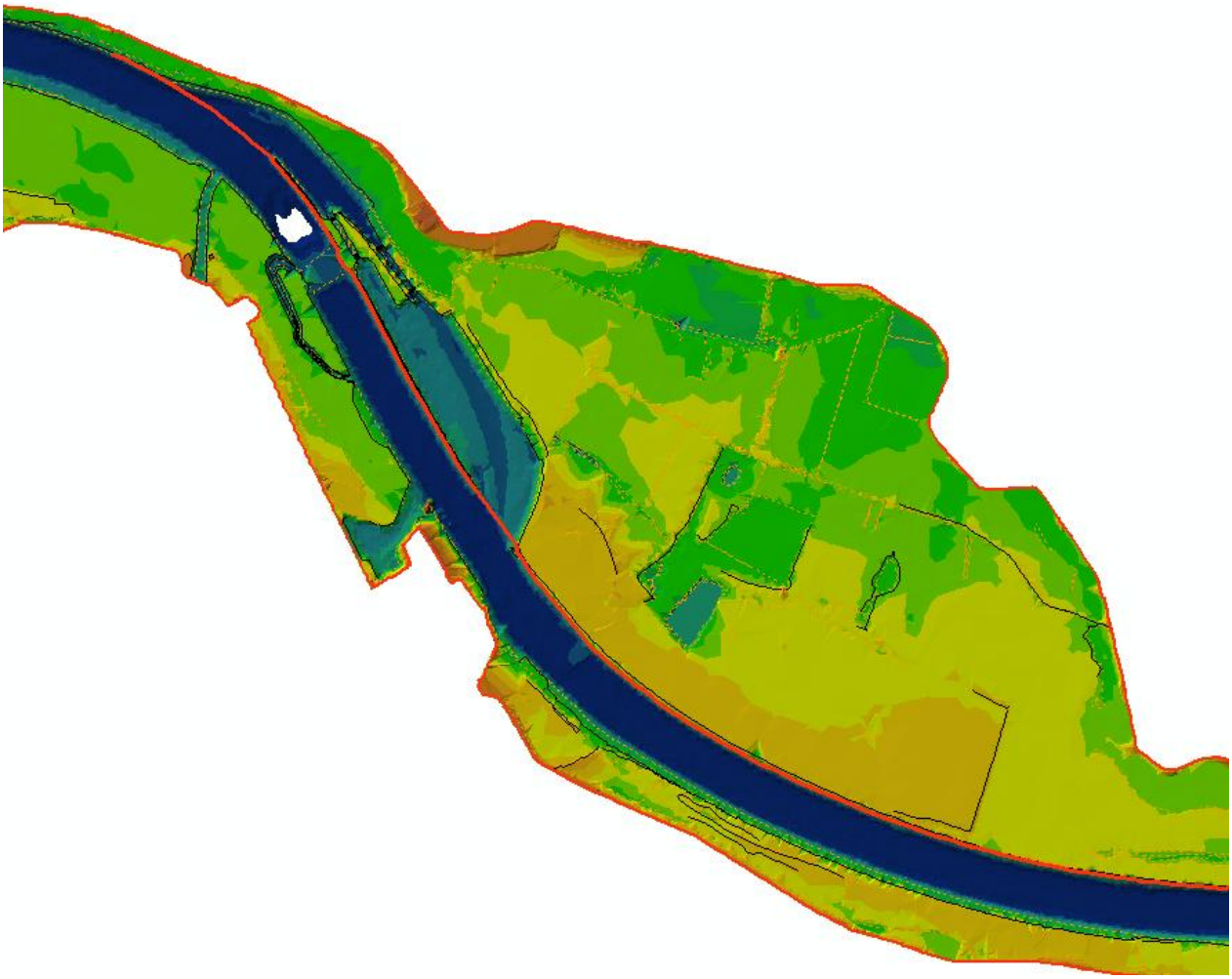
6.2.3 Stroombeeld in de vaarweg

Bij een stroming van de uiterwaard naar de hoofdgeul en omgekeerd (bijvoorbeeld bij de aan- of aftakking van een nevengeul of andere ingreep in de uiterwaard) ontstaan dwarsstromingen. In mindere mate treedt deze dwarsstroming ook op bij stroming in en uit kribvakken. Deze dwarsstromingen kunnen hinderlijk zijn voor de scheepvaart en de veiligheid (navigatie) nadelig beïnvloeden. Dit is aspect 2.3 van het RBK 6.0. Ingrepen mogen niet resulteren in een absolute dwarsstroming in de vaarweg die groter is dan 0,15 m/s bij een debiet van meer dan 50 m^3/s. Bij kleine debieten (< 50 m^3/s) geldt conform de Richtlijnen Vaarwegen

(2020) een maximale dwarsstroomsnelheid van 0,30 m/s. Indien de dwarsstroming in de referentiesituatie al boven de normen zit, dan geldt dat de ingreep geen toename van de dwarsstroming mag veroorzaken.

Bij lage afvoeren (250 en 1300 m^3/s) zijn er geen veranderingen in de stroomsnelheid te zien (zie Bijlage 1), waardoor er ook geen verandering in dwarsstroming te verwachten is. Bij de afvoer van 2100 m^3/s zijn er wel veranderingen in de dwarsstroming te zien, bij deze afvoer stroomt de uiterwaard namelijk ook mee. Deze afvoer komt ongeveer 1 x in de 7 jaar voor. In overleg met RWS is besloten dat deze afvoer representatief is voor het beoordelen van de dwarsstroming. De dwarsstroming wordt bepaald voor beroepsvaart met een scheepslengte van 186,5 m en een diepgang van 3,5 m. De dimensies voor de beroepsvaart zijn afkomstig uit het RBK6.0.

Ter plaatse van Grave heeft de Maas gestrekte oevers, in de berekening voor de dwarsstroming is hiermee ook gerekend. In Figuur 6-6 is de gebruikte bakenlijn voor de bepaling van de dwarsstroming te vinden, de gebruikte bakenlijn is bepaald middels het zomerbed vlak volgend uit de aangeleverde baseline schematisatie.



Figuur 6-6: Hoogtemodel van het projectgebied met de gebruikte bakenlijn voor dwarsstroming, de bakenlijn is aangegeven met de dikke lichtrode lijn.

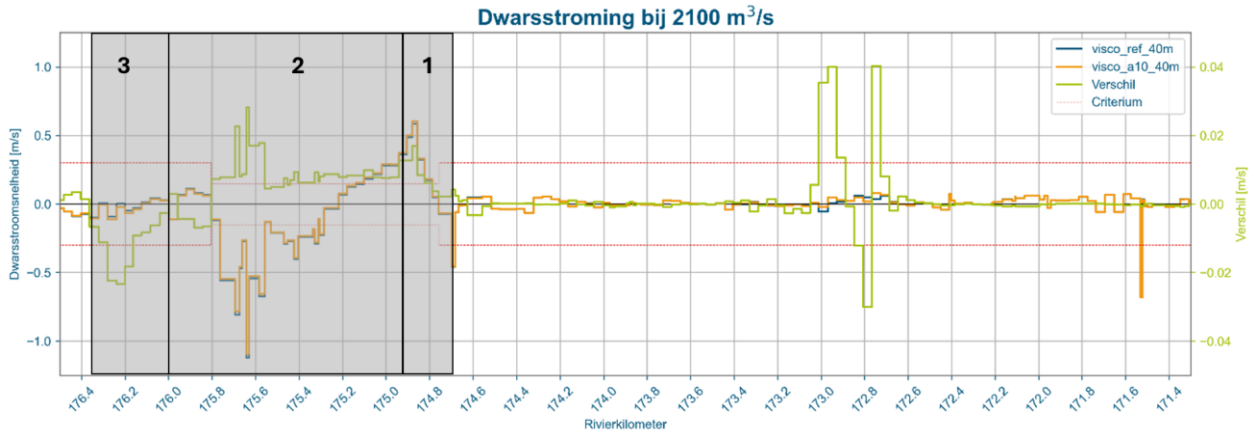
De bepaling van de dwarsstroming ter plaatse van een stuw/sluiscomplex is complex aangezien schepen gebruik maken van het sluiscomplex tot een afvoer van 1.300 m^3/s en bij afvoeren hoger dan 1.300 m^3/s

de stuw gestreken is en schepen hierover kunnen varen. Figuur 6-7 laat de dwarsstroming als gevolg van de geul Coehoorn. Van rivierkilometer 171,4-174,7 valt de dwarsstroming overal ruim binnen de normen. Bij rivierkilometer 172,8 ligt het inlaatwerk van de geul Coehoorn, we zien hier een toename in de dwarsstroming van 0,04 m/s, maar de dwarsstroming ligt hier nog steeds ruim binnen de normen.

Verder vallen in Figuur 6-7 de grijze vlakken op, voor de toetsing op dwarsstroming op deze locaties wordt een kanttekening meegegeven.

- In het grijze vlak 1 uit Figuur 6-7, rivierkilometer 174,7-174,9, is de dwarsstroming bepaald op de locatie waar schepen van het zomerbed richting het sluiscomplex varen tot een afvoer van 1.300 m^3/s aan de bovenstroomse zijde van de stuw. De dwarsstroomsnelheden zijn hier over het algemeen al relatief hoog aangezien veel water richting de geul van het sluiscomplex gaat. Het is daarom ook logisch dat hier een relatief grote dwarsstroming plaatsvindt. De relatief grote dwarsstroming is richting een bevaarbaar deel van de rivier.
- In het grijze vlak 2 uit Figuur 6-7, rivierkilometer 174,9-176,0, vindt zich het stuwcomplex plaats. Op deze locatie vindt enkel scheepvaart plaats bij afvoeren groter dan 1.300 m^3/s . Daarbij zien we benedenstrooms van de stuw een kleine verbetering in de dwarsstroming bij de grootste absolute dwarsstroming.
- In het grijze vlak 3 uit Figuur 6-7, rivierkilometer 176,0-176,35, is benedenstrooms van het stuw- en sluiscomplex. Tot een afvoer van 1.300 m^3/s maakt de scheepvaart gebruik van het sluiscomplex, bij hogere afvoeren varen schepen van zowel beneden- als bovenstroomse zijde over de gestreken stuw. In dit vlak vallen de dwarsstroomsnelheden overal binnen het criterium.

Ter plaatse van een stuw- en sluiscomplex is het logisch dat de dwarsstroming niet binnen de normen valt door de aftakkingen van de hoofdgeul naar het sluiscomplex. In dit geval zijn er minimale verslechteringen en enkele verbeteringen. Er is meer verbetering dan verslechtering en de grootste absolute dwarsstroming wordt verbeterd.



Figuur 6-7: Dwarsstroming aan de rand van het zomerbed voor variant 'visco_a10', de referentie en het verschil bij een Maasafvoer van 2.100 m^3/s. De grijs aangegeven vlakken zijn locaties waar een kanttekening voor de toetsing voor dwarsstroming wordt gegeven.

6.2.4 Instroom retentiegebieden Maas

Door nieuwe grootschalige ingrepen in het rivierbed kan het voorkomen dat retentiebekkens of grote bergingsgebieden niet meer optimaal functioneren doordat de ontwerpwaterstanden veranderen, maar de vaste overlaathoogte/drempelhoogte niet.

De retentiegebieden Lateraalkanaal-West Noord en Lateraalkanaal-West Zuid liggen zover bovenstrooms van de maatregel met stuwen ertussen dat de maatregel geul Coehoorn geen effect hierop kan hebben. Het effect op de waterstand t.p.v. van het retentiegebied Lob van Gennep a.g.v. maatregel geul Coehoorn is een waterstandsdaling van ongeveer 1 mm. Dit verschil is minimaal en is berekend met de hoogwaterreferentie. Het waterstandsverschil zal kleiner zijn voor lagere afvoeren. Het effect is zo gering dat het functioneren van het retentiegebied Lob van Gennep niet negatief wordt beïnvloed door geul Coehoorn.

6.3 Morfologische effecten

6.3.1 Morfologisch effect op zomerbed

De invloed van de geul op de morfologie van de Maas is naar ons oordeel verwaarloosbaar. Het geuldebiet dat aan het Maasdebiet onttrokken wordt, is verhoudingsgewijs zo gering dat er van enige invloed geen sprake kan zijn. Bij lage Maasdebieten is de debietonttrekking naar verhouding wel substantieel, maar in dit lage afvoerbereik is de Maas hoe dan ook morfologisch inactief. Dit geldt zeker in de nabijheid van de stuw, waar het water nagenoeg stilstaat. Het morfologisch actieve afvoerbereik van de Maas betreft vooral de hogere Maasdebieten waarbij de stuw gestreken is. Juist in dit afvoerbereik zal de geul vrijwel geen invloed op de hydraulica (en daardoor ook op de morfologie) van de Maas hebben. Het waterstandseffect bij uiterwaardstroming is ongeveer neutraal, omdat de profielverruiming en de toename van de vegetatie tegengesteld uitwerken en met elkaar ongeveer een neutraal effect hebben, hetgeen ook uit de hoogwatersimulaties blijkt (paragraaf 5.1.1) Het gevolg hiervan is dat er in dit hogere, morfologisch actieve afvoerbereik geen afvoer aan de Maas wordt onttrokken, zodat er ook geen morfologisch effect op het zomerbed kan zijn.

In de figuren in Bijlage 1 zijn de verschillen in stroomsnelheden in het zomerbed te zien bij alle doorgerekende afvoeren. Enkel bij de afvoer van 2.100 m^3/s zien we een lichte afname van de stroomsnelheden voor en na de stuw, wat tot sedimentatie zou kunnen leiden. Op deze locaties vindt er echter geen scheepvaart plaats en daarnaast vindt er aan de bovenstroomse zijde van de stuw al regulier baggerwerk plaats omdat dit een bekende locatie is waar sediment zich ophoopt. Als gevolg van de geul Coehoorn zal er mogelijk een lichte toename in sedimentatie zijn net voor de stuw, maar de beheerinspanning zal gelijk blijven aangezien hier al regulier gebaggerd wordt. Aan de benedenstroomse zijde van de stuw vindt er ook een lichte afname van stroomsnelheden plaats. Aangezien dit aan de benedenstroomse zijde van de stuw plaatsvindt is de verwachting dat dit geen effect op de morfologie heeft. Dit wordt aangenomen aangezien een stuw sedimentaanvoer drastisch verminderd, het overgrote deel van het sediment wordt accumuleert zich aan de bovenstroomse zijde van de stuw. Enkel fijn sediment dat zich in de bovenste lagen van het water bevindt passeert de stuw. Daarnaast is de verwachting dat door de grotere stroomsnelheden aan de benedenstroomse zijde van de stuw het fijne sediment in suspensie blijft en hier zich dus niet afzet.

Er wordt geconcludeerd o.b.v. bovenstaande beschouwing dat de afname in stroomsnelheid bij een afvoer van 2.100 m^3/s rond de stuw geen nadelige gevolgen heeft voor de morfologie van de Maas als gevolg van de geul Coehoorn. Daarnaast zien we bij de andere afvoeren hetzelfde effect als 2.100 m^3/s maar in minder mate of zelfs geen enkel effect op de stroomsnelheden in het zomerbed. Al met al kan er geconcludeerd worden dat de maatregel geul Coehoorn geen negatief effect op de morfologie van het zomerbed van de Maas.

6.3.2 Morfologisch effect op winterbed

De nevengeul bevindt zich in het winterbed. In dit deel van de effectbeoordeling kijken we daarom naar de geul en zijn directe omgeving. Zoals in de ontwerpnota 0 uiteengezet, is het ontwerp erop gericht een stabiele geometrie van de geul te bewerkstelligen. Eventuele morfodynamiek is hiermee onverenigbaar, omdat er van bovenstroomse zijde sedimentarm (of zelfs sedimentloos) Maaswater uit de bovenste waterlaag van deze gestuwde rivier wordt binnengelaten. Elk sedimenttransport in de geul betekent dan per saldo erosie. Dit zou alleen met intensief onderhoud of een terugleidingsysteem van het sediment gemitigeerd kunnen worden. Dit zijn oplossingsrichtingen, waar niet voor is gekozen. De keuze is gevallen op een stabiele morfologisch inactieve geometrie. Op kleine schaal is enige herverdeling van sediment in zone 2 (zie Figuur 4-2) tijdelijk mogelijk zolang de vegetatie in deze zone nog niet ontwikkeld is. Om in zone 2 eerst voldoende vegetatie te laten groeien zal na aanleg het debiet door de geul beperkt worden tot circa 1,2 m^3/s (door het dichtzetten van 1 schuif in het inlaatwerk), bij dit debiet is de waterstand circa 30 à 40 cm lager dan in de uiteindelijke situatie (bij 2,4 m^3/s). In zone 1 staat dan water en op de randen van zone 2, zone 1 is beschermd met grind, waardoor hier geen erosie op zal treden. De stroomsnelheid op de randen van zone 2 is dan laag waardoor er ook geen erosie optreedt. Wanneer er vegetatie aanwezig is in zone 2 (na circa 1 jaar) zal de dichtgezette schuif open worden gezet. Na volgroeiing van zone 2 zal de bodem hier bij een hoger debiet ook stabiel zijn. De steile oevers hiernaast (talud 1:3) zullen van een grasmat voorzien zijn. Het water bereikt deze oevers slechts zelden. En wanneer dit gebeurt, zullen hier de reguliere stroomsnelheiden van de uiterwaard gelden, waardoor ook deze oevers als stabiel beschouwd kunnen worden. De vastgestelde beperkte erosiezone van 90 cm aan weerszijden van de geul op maaiveldhoogte is in dat opzicht een voldoende veiligheidsmarge. Afhankelijk van de kwaliteit van de grasmat, kan een met gras beklede oever stroomsnelheden van 1,5 á 2,5 m/s weerstaan gedurende 100 uur achter elkaar, conform CUR201 (RWS, 1999) [2.]. Bij afvoeren tot 2.100 m^3/s is de maximale stroomsnelheid in de uiterwaard rond de 1,50 m/s, er is dus geen extra risico op ongewenste erosie in het winterbed als gevolg van de maatregel geul Coehoorn.

Er is geen aanleiding om voor morfologische effecten in het winterbed naast de geul te vrezen, omdat het stroombeeld slechts zeer beperkt beïnvloed wordt. Erosie van de uiterwaard zal niet optreden omdat de stroomsnelheden slechts minimaal toenemen bij verschillende afvoeren. Sedimentatie op de uiterwaard zal niet optreden omdat geen extra sediment vanuit het zomerbed naar het winterbed getransporteerd zal worden.

7 Conclusie

Het ontwerp ‘visco_a10’ is beoordeeld volgens alle aspecten uit het rivierkundig beoordelingskader (RBK6.0), deze beoordeling is samengevat in Tabel 4. Het ziet er naar uit dat er geen aspecten zijn die een vergunning in de weg zouden moeten staan. Wel zal de waterstandstoename langs de dijk (max 5 mm Waterschap Rivierenland en 2 mm Waterschap Aa en Maas) ter acceptatie voorgelegd moeten worden aan de kering beheerder.

Tabel 4: Conclusies per beoordelingsaspect van RBK6.0.

Asp.	Te beoordelen effect	Criterium	Effect van de ingreep	Voldoet ja/nee
1.1	Maatregel in stroomvoerend deel rivier: Hoogwaterreferentie in de as van de rivier	Stroomvoerend: geen waterstandsverhoging op de as van de rivier bij Hoogwaterreferentie	Ontwerp leidt tot een maximale opstuwingspiek van 1,7 mm op de as van de rivier.	Ja, aan voorwaarden ‘benedenstroomse piek’ uit bijlage 4 sectie 2.2 (RBK6.0) is voldaan.
1.2	Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier	Geen waterstandverhoging langs de hoge grondenlijn of primaire waterkering bij de Hoogwaterreferentie.	Langs de bandijk vindt een waterstandsverhoging plaats van 5 mm.	Effect moet ter goedkeuring worden voorgelegd aan de dijkbeheerders.
1.5	IJsafvoer	Een goede geleiding van water en ijs dient gewaarborgd te blijven	Geen effect, ingrepen gaan geen effect hebben op de ijsafvoer.	Ja
2.1	Inundatiefrequentie van de uiterwaard	De mate van verandering van inundatiefrequentie bij afvoeren die afhankelijk zijn van de lokale situatie en de ingreep die beoordeeld wordt.	Weinig tot geen extra hinder voor derden op vlak van inundatiefrequentie	Ja
2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	De mate van de verandering van de grootte en richting van de stroomsnelheden voor situatie waarbij de betreffende uiterwaard onder water staat.	Geen groot effect, er ontstaan grotere stroomsnelheden in de uiterwaard in geul Coehoorn die worden opgevangen met maatregelen. Daarnaast zullen de resulterende absolute stroomsnelheden als gevolg van geul Coehoorn niet resulteren in hinder of schade aan objecten.	Ja
2.3	Stroombeeld in vaarweg	Dwarsstroomsnelheid op de rand van de vaarweg: De ingreep is toegestaan mits de absolute dwarsstroming in de vaarweg niet groter is dan 0,15 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een debiet groter dan 50 m3/s. Of het moet aantoonbaar zijn dat de toename padbreedte schip t.g.v. dwarsstroom maximaal ½B is; De ingreep is toegestaan, mits de absolute dwarsstroming in de vaarweg niet groter is dan 0,3 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een debiet kleiner dan 50 m3/s;	Er zijn lokaal verbeteringen en verslechteringen aanwezig. Dwarsstroomsnelheden die buiten het criterium vallen liggen op locaties waar schepen niet varen of schepen van en naar het sluiscomplex varen. Op deze locaties is het niet erg dat de dwarsstroomsnelheden wat groter zijn. Er wordt zodoende geadviseerd de effecten als neutraal te bestempelen.	Ja
2.7	Instroom retentiegebieden Maas	Geen negatieve effecten op het functioneren van retentiegebieden langs de Maas, namelijk Lateraalkanaal-West Noord, Lateraalkanaal-West Zuid en Lob van Gennep.	Weinig tot geen effect bij HWR. Effecten zijn nog geringer bij lagere afvoeren. Er wordt zodoende geadviseerd de effecten als neutraal te bestempelen.	Ja

Asp.	Te beoordelen effect	Criterium	Effect van de ingreep	Voldoet ja/nee
3.1	Sedimentatie en erosie van het zomerbed	Bij erosie: Geen verlaging gemiddelde bodemligging en geen oevererosie, beperkte ontgronding bij constructies per hoogwater. Bij sedimentatie: Geen vermindering vaargeulafmetingen bij lage tot gemiddelde rivierafvoeren; geen verhoging MHW op lange termijn. In het algemeen: Beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten en behouden veiligheid scheepvaartverkeer.	Minimale afname van stroomsnelheden in het zomerbed net voor het stuwcomplex zal leiden tot minimale extra aanzanding. Hier wordt normaal gesproken al gebaggerd, dit leidt dus niet tot extra beheerinspanning. Daarnaast zijn de stroomsnelheidsverschillen in het zomerbed zeer klein, waardoor de morfologische effecten klein zullen zijn.	Ja
3.2	Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeulen	Bij sedimentatie: Beperkte sedimentatie t.o.v. beheerskosten. Bij erosie: Geen bodemerosie langs waterkering; stroomsnelheid nevengeul bankfull < 0,3 m/s; geen bodemerosie langs waterkering.	Geen effecten verwacht, significante aanzanding en erosie in de uiterwaard of in de geul Coehoorn. Geen grootschalige erosie langs kades, oevers of andere objecten.	Ja

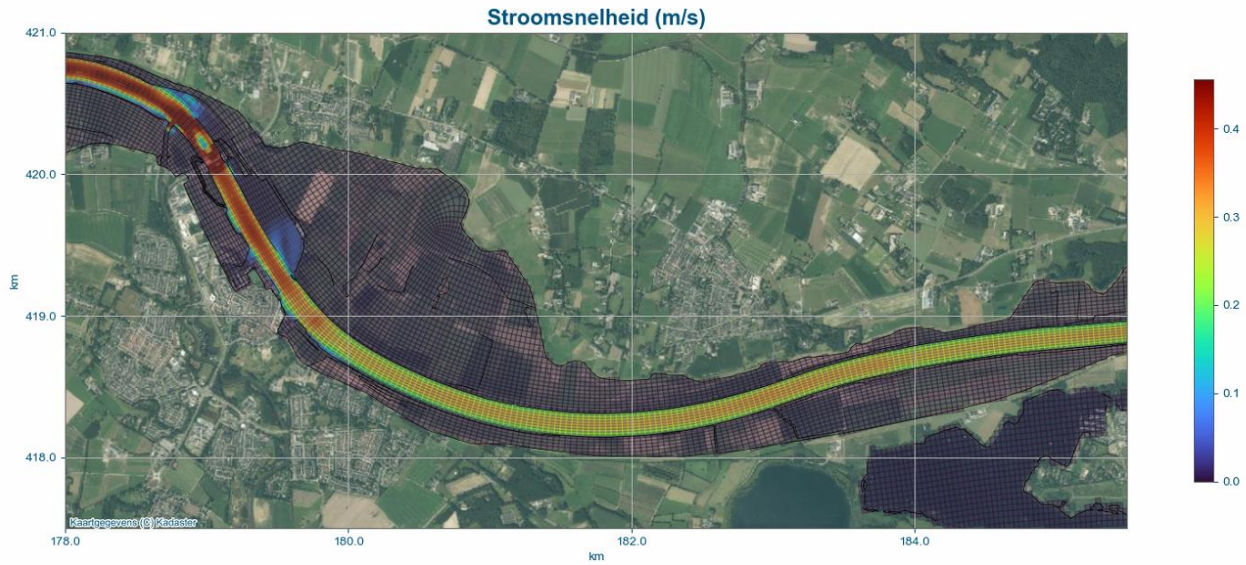
Referenties

[1.] RHDHV (2025). 102-109 Ontwerpnota DO Nevengeul Coehoorn
[2.] RWS. (1999). CUR 201 Natuurvriendelijke oevers: belasting en sterkte. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
[3.] RHDH (2025). Resultaten modelstudie hydrologie (oppervlaktewater) Nevengeul Coehoorn.
[4.] RHDHV – december 2024 - Technische Uitgangspuntennotitie DO nevengeul Coehoorn
[5.] https://waterinfo.rws.nl
[6.] Rijkswaterstaat, geldigheidsperiode 01-11-2023 – 31-10-2024, Betrekkingslijnen Maas
[7.] Kaartenbijlage Nevengeul Coehoorn - Resultaten Modelstudie Hydrologie
[8.] ARCADIS (B. van Dongen, D.G. Meijer), 16-07-2009, Peilopzet stuwpanden Grave en Sambeek, Hydraulische studie naar toekomstig stuwbeheer Zandmaas
[9.] Delbressine R., Kurvers S., Ankum A. van, Maes B., 25 januari 2023, Rijkswaterstaat Zuid-Nederland Stuwen in de Maas

Bijlagen

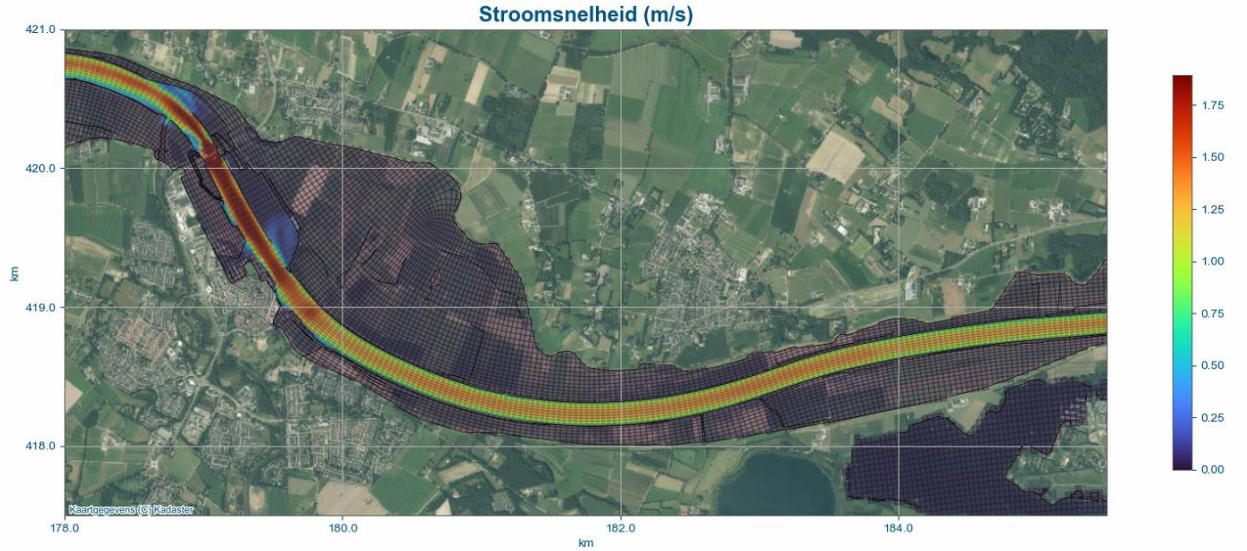
Bijlage 1 – Stroomsnelheden bij verschillende afvoeren

Figuur 0-1: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 250 m^3/s.

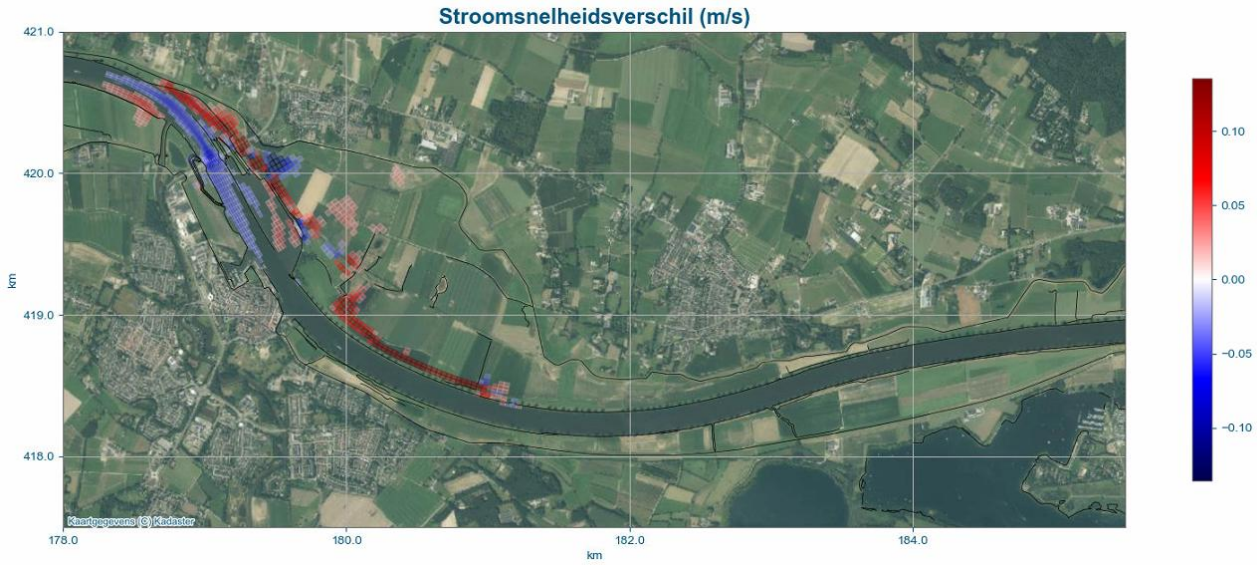


Figuur 0-2: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 250 m^3/s.

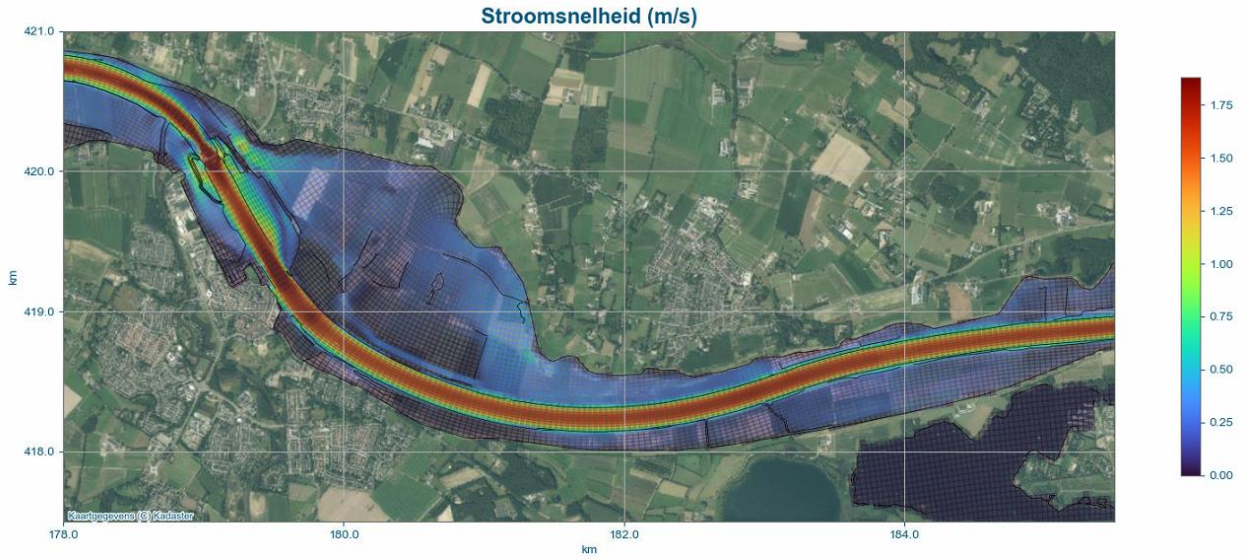
Figuur 0-3: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 1.300 m^3/s.



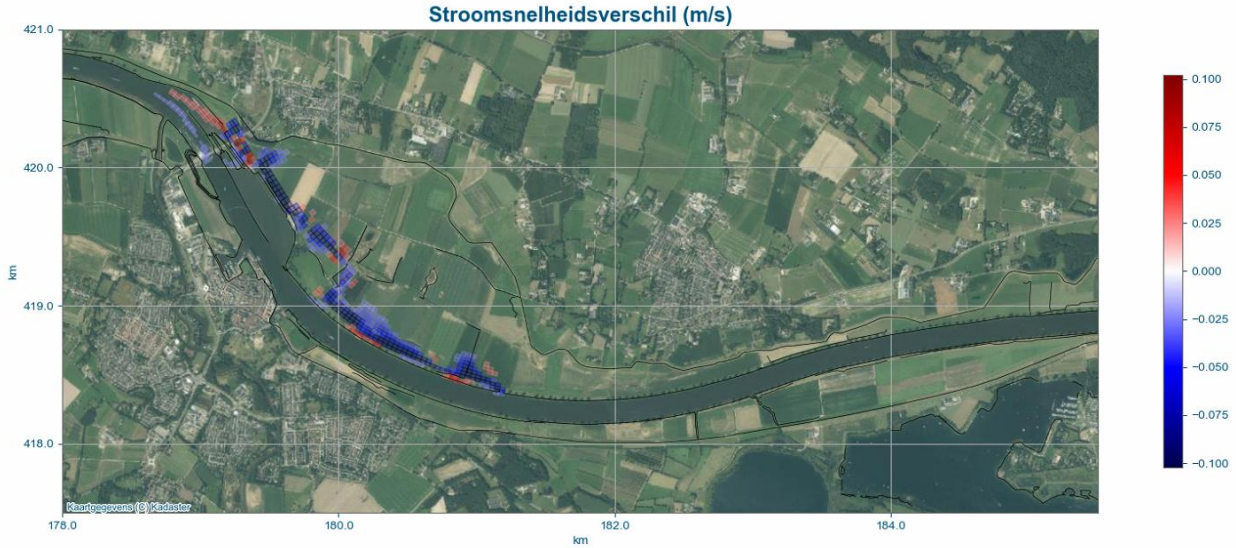
Figuur 0-4: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 1.300 m^3/s.



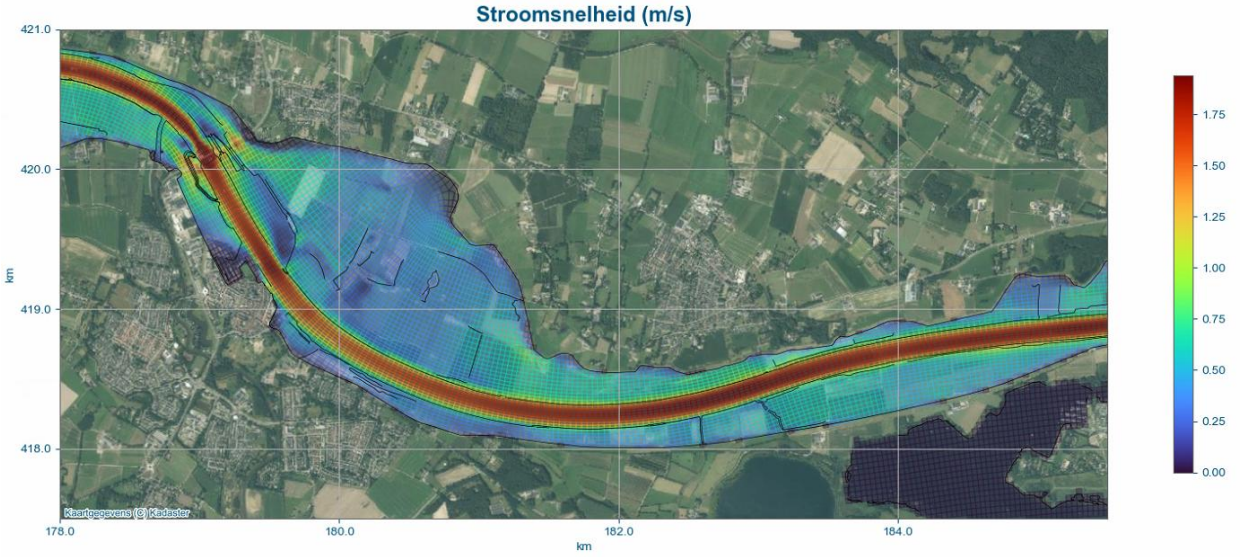
Figuur 0-5: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 2.100 m^3/s.



Figuur 0-6: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 2.100 m^3/s.

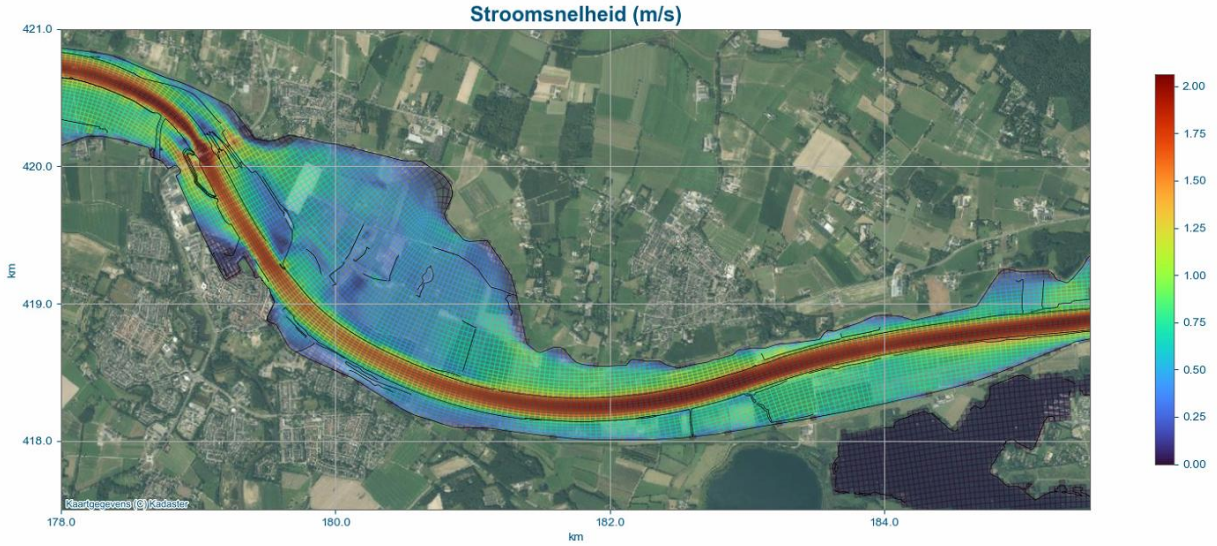


Figuur 0-7: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 3.200 m³/s.



Figuur 0-8: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 3.200 m³/s.

Figuur 0-9: Verschil in stroomsnelheid in het 2D-vlak t.o.v. de referentie voor variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 4.100 m3/s.



Figuur 0-10: Absolute stroomsnelheden van variant 'visco_a10' bij een Maasafvoer van 4.100 m3/s.