



Aan:  
mevrouw M. Stegenga en mevrouw T. Koelewijn van de CDA fractie

In afschrift aan:  
Provinciale Staten van Utrecht

DATUM	14-12-2021	DOMEIN	Mobiliteit
NUMMER	UTSP-1556555036-538	CONTACTPERSOON	Derk Dohle
UW BRIEF VAN	11-11-2021	DOORKIESNUMMER	0653402295
UW NUMMER	8239D06B	E-MAILADRES	Derk.dohle@provincie-utrecht.nl
BIJLAGEN	Onderzoek Deltares, kaart damwanden Eem en onderzoek Nebest	ONDERWERP BEANTWOORDING SCHRIFTELIJKE VRAGEN	Damwanden in de Eem

Geachte mevrouw Stegenga en mevrouw Koelewijn,

Uw toelichting:

De watersportverenigingen uit Baarn en Amersfoort maken zich grote zorgen over de effecten van de nieuwe stalen damwanden die de provincie recent heeft geplaatst. Zij hebben daarop juridische stappen jegens de provincie ondernomen, omdat zij de ervaring hebben te weinig weerklank te krijgen op de zorgen die zij uitten. De zorgen van de watersportverenigingen zijn tweeledig. Zij zouden enerzijds zorgen hebben over de golfslag die volgens hen door de damwanden wordt versterkt en anderzijds de risico's die zij teweeg brengen voor dier en mens omdat de nieuwe damwanden het moeilijker zouden maken om uit het water te komen. Over of de nieuwe damwanden daadwerkelijk de golfslag veroorzaken zijn de provincie en de verenigingen het niet eens. U heeft over dit onderwerp de volgende vragen:

1. Is er onderzoek gedaan naar de veiligheid van deze wanden? Wat is daarbij het advies geweest? Hoe beoordeeld de provincie de veiligheid van de damwanden voor de watersporters?

**Antwoord:**

Ja, hier is onderzoek naar gedaan. Het betreft een vervanging van damwanden op gelijke hoogte en locatie, daarmee verslechtert de situatie niet. De damwanden worden op verschillende plaatsen voorzien van reddingsladders, fauna uitreed plaatsen (FUP's) en spoelgaten ten behoeve van de ecologische bermen. In bijgevoegd onderzoek van Deltares komt duidelijk naar voren dat de effecten van houten en stalen damwanden op golfslag gelijk zijn. Hiermee beoordelen wij de veiligheid als voldoende. Deze damwanden zijn al op veel locaties in de Eem toegepast, zie voor een overzicht van de huidige constructie en de geplande vervangingen de kaart in de bijlage.

2. Hoe verloopt de afstemming tussen de watersportverenigingen en de provincie over de zorgen die de watersportverenigingen hebben?

**Antwoord:**

Wij hebben hen uitvoerig betrokken bij de wijze waarop de werkzaamheden worden uitgevoerd. Er zijn meerdere overleggen geweest en wij hebben een haalbaarheidsstudie laten doen naar de door hen



gewenste aanpassing. Wij hebben hen voor aanvang geïnformeerd over onze keuzes hierin en de onderbouwing daarvan. Zij hebben een voorlopige voorziening aangevraagd om de aan ons door het Waterschap verleende vergunning buiten werking te laten stellen. Dit verzoek is door de rechtbank afgewezen. Tevens hebben zij bezwaar gemaakt bij het Waterschap waarover op 16 december een zitting staat gepland. Op 10 december is er een bestuurlijk overleg met hen om mogelijke verbeteringen richting de toekomst te bespreken. Ook worden zij betrokken bij de vorming van het nieuwe Beheersplan voor de Eem.

3. De watersportverenigingen geven aan dat het probleem eenvoudig zou kunnen worden verholpen door de damwanden 30 centimeter dieper te plaatsen. Hoe beoordeelt u dit advies?

**Antwoord:**

Wij hebben deze optie laten onderzoeken en dit was niet mogelijk op de trajecten waar dit jaar onderhoud plaatsvindt, zie hiervoor het bijgevoegde onderzoek van Nebest. De voornaamste redenen hiervoor zijn:

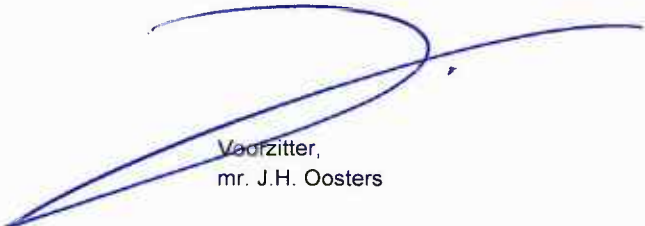
- Er ontstaat een risico ten aanzien van de nautische veiligheid door de aanwezigheid van een onzichtbaar (onder de waterspiegel) stalen opstand (een onzichtbaar 'mes') voor mensen en scheepvaart;
- Er ontstaat een reëel risico op uitspoeling van de berm in de vaarweg;
- Er dienen borden te worden geplaatst om de vaarweg te markeren, nu die niet meer volgt uit de zichtbare beschoeiing;
- De kosten van enkel de verlaagde aanleg van de damwand bedragen 150% van de kosten van een reguliere aanleg. Daarnaast komen nog de kosten voor de noodzakelijke aanvullende oeverbeschermingsmaatregelen en aanzienlijke extra onderhoudskosten.

In het algemeen gelden voor de Eem de volgende kanttekeningen bij deze maatregel:

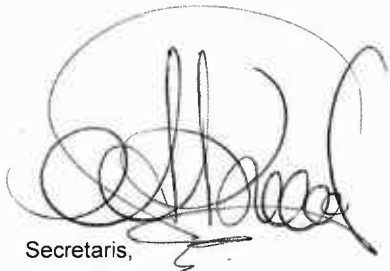
- Dat deze wijze van uitvoering vergt dat de stabiliteit van de gehele oever, en van het materiaal in de plasberm, geborgd moet kunnen worden. Hiervoor zal de beschikbare berm voldoende breed moeten zijn, om een voldoende flauw talud op te leveren om effectief te zijn;
- De Eem betreft een diepere waterweg, waardoor het stabiliseren en fixeren van de oeverconstructie technisch nog kritischer is en een nog groter horizontaal ruimtebeslag voor de berm wordt verlangd;
- De stabiliteit van de oever is van belang. De golven zullen zonder boven het water uitkomende beschoeiing hun energie volledig in de plasberm moeten kunnen kwijtraken. Het risico bestaat op het losslaan en uitspoelen van materiaal dat in de vaarweg terecht komt;
- De nautische veiligheid van gebruikers kan in het geding komen door een scherpe rand van de damwand onder de waterlijn;
- Het inkorten van damwanden is op zichzelf al een kostbare ingreep, omdat dit uitvoering van werkzaamheden onder water noodzakelijk maakt. Voorts zal ook de stabiliteit van de berm gegarandeerd moeten worden. Ook dit brengt extra kosten met zich, zowel voor realisatie als voor intensiever onderhoud nadien.

Het voorgaande maakt dat deze oplossing — zo al financieel haalbaar, want het onderwater aanleggen van damwanden is zeer kostbaar — zich ook om praktische en technische redenen niet leent voor iedere locatie langs de Eem. Er moet sprake zijn van voldoende ruimte voor een plasberm en ook de oever dient hiervoor geschikt te zijn. Daarnaast geldt dat verlaging van de damwanden de ecologische functie van de ecologische milieuberm zal aantasten. We blijven echter de komende jaren bezien waar deze, of andere oplossingen, toepasbaar zijn.

Hoogachtend,  
Gedeputeerde Staten van Utrecht,



Voorzitter,  
mr. J.H. Oosters



Secretaris,  
mr. drs. A.G. Knol-van Leeuwen

## Haalbaarheid en effectiviteit demping scheepsgolven op De Eem

Deskstudie-evaluatie van voorgestelde oeveraanspassingen



# Haalbaarheid en effectiviteit demping scheepsgolven op De Eem

## Deskstudie-evaluatie van voorgestelde oeveraanpassingen

**Auteur(s)**

M.P.C. de Jong

Bron afbeelding kaft: VANDIJKONLINE




## Haalbaarheid en effectiviteit demping scheepsgolven op De Eem

Deskstudie-evaluatie van voorgestelde oeveraanpassingen

<b>Oprachtgever</b>	Provincie Utrecht
<b>Contactpersoon</b>	A. Struijs
<b>Referenties</b>	Aanvraag per email (25-03-2021), emailofferte Deltares (01-04-2021), opdrachtgunning per email (14-04-2021)
<b>Trefwoorden</b>	De Eem, rivier, scheepsgolven, reflecties, golfdemping, damwanden, roeiers, beroepsvaart, pleziervaart

Documentgegevens	
<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	17-06-2021
<b>Projectnummer</b>	11207150-002
<b>Document ID</b>	11207150-002-HYE-0002
<b>Pagina's</b>	33
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

Auteur(s)	
	M.P.C. de Jong

	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	M.P.C. de Jong	A.J. Van der Hout	J.J. Schouten	29 april 2021, concept
0.2	M.P.C. de Jong	A.J. Van der Hout	J.J. Schouten	20 mei 2021, definitief tbv stakeholdermeeting
1.0	M.P.C. de Jong 	A.J. Van der Hout 	J.J. Schouten 	17 juni 2021, definitief na stakeholdermeeting

# Samenvatting

Roeiers en andere gebruikers van kleinere vaartuigen ervaren in de huidige situatie hinder van scheepsgolven op De Eem, een gekanaliseerde rivier in de Provincie Utrecht. De verticale kades langs een groot deel van deze gereguleerde rivier dragen door reflecties bij aan het onrustige golfbeeld op de rivier. Het aantal meldingen van hinder is toegenomen sinds recente renovatie van sommige van de verticale oever-secties. In februari 2021 heeft een aantal lokale verenigingen een memo met alternatieve oeverconstructies ingediend. Die alternatieven zijn bedoeld voor het introduceren van golfdemping. Zij zouden overwogen kunnen worden voor implementatie langs De Eem. De Provincie Utrecht heeft Deltares opdracht gegeven de technische effectiviteit en inpasbaarheid van de voorgestelde oeverontwerpen te beoordelen.

Als uitgangspunt van de evaluatie is eerst een uitwerking gemaakt van de verschillende typen golven en gerelateerde waterbeweging die langsvarende schepen opwekken. Het memo van de lokale verenigingen, en aanvullende informatie zoals aangeleverd door de Provincie, maakt duidelijk dat er vooral sprake lijkt te zijn van hinder als gevolg van secundaire scheepsgolven. Dat type golven is het patroon van kortere golven dat wordt opgewekt tijdens een scheepspassage. De verschillende alternatieve oeverconstructies zijn daarom voornamelijk in relatie tot het dempen van dat soort scheepsgolven beoordeeld.

Het door vaartuigen opgewekte patroon van secundaire golven zal eerst naar de oevers moeten lopen alvorens daar gedempt te kunnen worden. Dat betekent dat het direct door een passerende schip uitgestraalde golfpatroon er altijd zal zijn, ook in geval van golf-dempende oevers. Mede daarom zal de meest effectieve aanpak zijn om de golfenergie bij de bron aan te pakken en een lagere snelheidslimiet op De Eem op te leggen en actief te handhaven. Echter, de beroepsvaart zal een minimale snelheid vereisen om manoeuvreerbaar te blijven.

Het voorgestelde alternatief van een berm zou effectief kunnen zijn voor het bijdragen aan golfdemping op de Eem. Dat type constructie is al op enkele plaatsen langs De Eem aanwezig en zou op meer plekken geïntroduceerd kunnen worden, indien daar voldoende ruimte voor beschikbaar is. De diepte van de vaarweg vereist, in combinatie met een berm, aanvullende constructieonderdelen om een compacte stabiele oeveropbouw te garanderen. Daarbij geldt dat een dergelijk constructieonderdeel, zoals een damwand, golven niet moet verhinderen om de berm te bereiken maar tegelijkertijd wel voldoende stabiliteit aan de oever zal moeten bieden. Daarnaast dient zorggedragen te worden dat er geen afslag van grond of materialen gaat ontstaan, juist als gevolg van scheepspassages. Mogelijk dat daarom waterschappen een dergelijke oeverconstructie niet overal langs De Eem kunnen accepteren, vanwege de waterkerende oeverfunctie. En in geval van een onder de waterlijn aanwezige (scherpe) bovenrand zal ook de veiligheid voor de verschillende gebruikers een aandachtspunt zijn.

De meeste van de andere aangedragen alternatieven zijn niet effectief in het reduceren van golfreflecties of zijn niet praktisch inpasbaar. De verwachte beperkte effectiviteit is vooral gelinkt aan de eigenschappen van de scheepsgolven. De beperkte praktische inpasbaarheid is veelal gekoppeld aan de complexiteit en onderhoudsgevoeligheid van de voorgestelde concepten (bewegende delen) en/of aan het mogelijk hinderen van de beroepsvaart.

Het is een gegeven kenmerk van waterwegen zoals De Eem – met beperkte ruimte en met veel gebruikstypen – dat er enige mate van hinder optreedt tussen de verschillende gebruikers. Uiteraard dienen onveilige situaties voorkomen te worden, maar alle verschillende soorten gebruikers geheel hindervrij van elkaar de rivier te laten gebruiken zal in de praktijk niet mogelijk zijn. Uiteindelijk gaat het om een passende balans tussen gebruiksfuncties.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	Context	6
1.2	Aanpak en uitvoerenden	6
1.3	Rapportindeling	7
<b>2</b>	<b>Beschikbare informatie</b>	<b>8</b>
2.1	Beschikbare documenten	8
2.2	Samenvatting achtergrondinformatie	8
<b>3</b>	<b>Expert-interpretatie voorgestelde oeverconstructies</b>	<b>10</b>
3.1	Achtergrond scheepsgeïnduceerde golven	10
3.1.1	Introductie	10
3.1.2	Golven opgewekt bij sub-kritische scheepssnelheid	10
3.1.3	Golven opgewekt bij superkritische scheepssnelheid	13
3.1.4	Schatting hoogte en periode secundaire golven (sub-kritische vaarsnelheid)	13
3.2	Windgolven	15
3.3	Interpretatie van voorgestelde oeverontwerpen	16
3.3.1	Overzicht voorgestelde alternatieven	16
3.3.2	Alternatief 1 – aanbrengen van een berm	16
3.3.3	Alternatief 2 – schuin inslaan damwanden	19
3.3.4	Alternatief 3 – toevoegen van nevengeulen	20
3.3.5	Alternatief 4 – openingen maken in / verwijderen damwand	20
3.3.6	Alternatief 5 – meerdere opties voor introductie van stenen of openingen	21
3.3.7	Alternatief 6 – toepassen van oeverbeplanting	22
3.3.8	Alternatief 7 – verlagen maximum snelheid scheepvaart	23
3.4	Synthese	25
<b>4</b>	<b>Conclusies</b>	<b>27</b>
	<b>Referenties</b>	<b>28</b>
<b>A</b>	<b>Selectie van foto's site-visit 26 april 2021</b>	<b>29</b>
<b>B</b>	<b>Memo van de lokale verenigingen (feb. 2021)</b>	<b>33</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Context

De Eem, een gekanaliseerde rivier in de Provincie Utrecht, wordt gebruikt door beroepsvaart, door pleziervaart en door roeiers. Roeiverenigingen en andere gebruikers van kleinere vaartuigen melden op dit moment hinder op de Eem van golven opgewekt door andere gebruikers. Een groot deel van de oevers van de rivier bestaat uit verticale wanden. Die wanden zorgen voor reflecties van golven die bijdragen aan het onrustige golfbeeld.

Na recente werkzaamheden aan de oevers van de rivier is het aantal meldingen en/of de urgentie daarvan toegenomen. De recent uitgevoerde werkzaamheden bestaan uit onderhoud aan de oevers, waarbij door de Provincie Utrecht verticale stalen damwanden worden ingezet om de oevers te fixeren, doorgaans ter vervanging van verticale houten planken. De Provincie heeft deze aanpak gekozen vanwege beperkt ruimtebeslag en beperkt onderhoud. Een ander deel van de oevers moet nog aangepakt worden. Voor die delen zou nog een andere aanpak gekozen kunnen worden. En eventueel kunnen reeds vernieuwde secties aangepast worden.

Vanuit de roeiverenigingen is een memo opgesteld met daarin meerdere conceptuele oeverconstructies die als doel hebben om meer golfdemping op De Eem te introduceren. Het memo, gedateerd 15 februari 2021, is door de verenigingen aan de Provincie beschikbaar gesteld.

De Provincie Utrecht heeft Deltares gevraagd om feedback te geven op het memo met de voorgestelde alternatieve oeverconstructies. Die feedback is gericht op verwachte effectiviteit en praktische uitvoerbaarheid. De Provincie heeft aangegeven dat het daarbij van belang is dat de oplossingen duurzaam zijn, goed inpasbaar in de omgeving en ongevoelig zijn voor vandalisme of andere externe krachten (bijvoorbeeld ijsvorming). Fundamenteel uitgangspunt van mogelijke aanpassingen is dat de beroepsvaart te allen tijde niet belemmerd mag worden.

De in dit document beschreven analyse is gericht op de onderzoeksvraag en vormt dus niet een totaalevaluatie van alle relevante aspecten die rond de inrichting en het gebruik van De Eem spelen. De Provincie start in het najaar van 2021 met het opstellen van een nieuwe beheer- en inrichtingsvisie voor De Eem. Het huidige rapport levert daar inzichten en conclusies voor de beschouwde aspecten voor aan.

Deltares is een onafhankelijke Nederlandse kennis- en adviesorganisatie op het vlak van water, ondergrond en infrastructuur ([www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)). Deltares is een not-for-profit stichting, die onafhankelijk is van marktpartijen en overheden. Resultaten van onderzoek en advies van Deltares zijn altijd gebaseerd op de objectieve technische inhoud.

## 1.2 Aanpak en uitvoerenden

De evaluatie van het memo met alternatieve oeverconstructies is door Deltares uitgevoerd als een deskstudie. Dat wil zeggen dat expert-interpretaties zijn gemaakt van de beschikbare documenten en rapportages, maar zonder het uitvoeren van numerieke simulaties en berekeningen.

Het door de Provincie beschikbaar gestelde memo van de lokale verenigingen is beschouwd en van een technische interpretatie voorzien voor wat betreft verwachte toepasbaarheid voor de situatie op De Eem. Hierbij is gekeken naar: technische effectiviteit, robuustheid, inpasbaarheid, onderhoudsgevoeligheid en relatieve kosten.



Conform de onafhankelijke positie van Deltares is er niet gekeken naar implicaties (nadelen/voordelen) van technische uitkomsten en inzichten in relatie tot de verschillende betrokken partijen en stakeholders. En sowieso is niemand gebaad bij het implementeren van niet-effectieve ingrepen.

Deze expert-interpretatie is uitgevoerd door M.P.C. de Jong, expert hydrodynamica en infrastructuur bij Deltares. De interne kwaliteitscontrole (ISO9001) is uitgevoerd door A.J. van Hout, expert nautiek en hydrodynamica bij Deltares. Contactpersonen bij de opdrachtgever waren A. Struijs en F. Stafleu van de Provincie Utrecht. Daarnaast heeft B. van de Haar (Provincie Utrecht) achtergrondinformatie aangeleverd en hij heeft een site-visit door de expert van Deltares aan een groot deel van De Eem mogelijk gemaakt en georganiseerd. Dat bezoek, inclusief een vaartocht langs relevante riviersecties, heeft plaatsgevonden op 26 april 2021.

### 1.3 Rapportindeling

Het volgende hoofdstuk beschrijft de achtergrondinformatie die beschikbaar was voor het uitvoeren van de deskstudie, in aanvulling op het te evalueren memo. Hoofdstuk 3 beschrijft de uitkomst van de deskstudie. De belangrijkste conclusies van de uitgevoerde evaluatie staan samengevat in Hoofdstuk 4.

In Appendix A is een selectie opgenomen van de foto's die gemaakt zijn tijdens de site-visit op 26 april 2021.

In de hoofdtekst van deze rapportage zijn geen afbeeldingen overgenomen uit het oorspronkelijk memo van de lokale verenigingen. Ter referentie is dat memo integraal en ongewijzigd opgenomen in Bijlage B van deze rapportage. Die bijlage is dus geen onderdeel van het product van Deltares en is hier enkel opgenomen ter vastlegging. Voor de oorspronkelijke beschrijving van de door de lokale verenigingen voorgestelde alternatieven, inclusief opgenomen schetsen en fotomateriaal, wordt de lezer verwezen naar die bijlage.

## 2 Beschikbare informatie

### 2.1 Beschikbare documenten

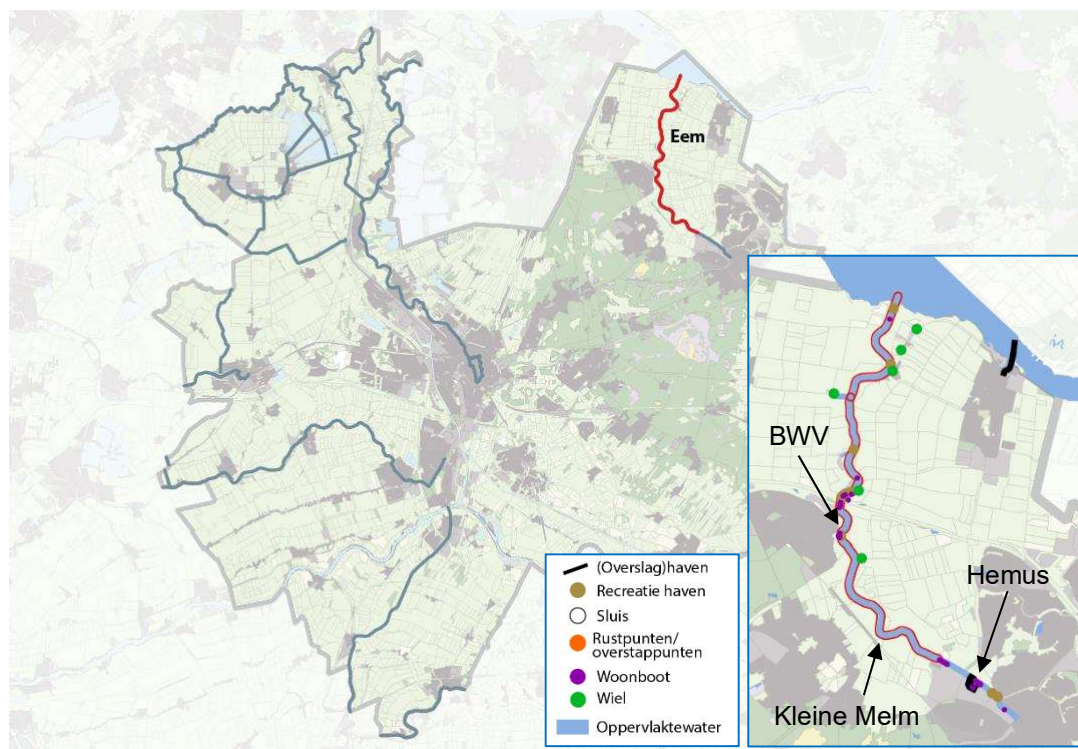
Hoofdonderwerp van deze deskstudie is het memo van Stichting Huis van de Watersport samen met Baarnse Watersportvereniging (BWV) De Eem en Roeivereniging Hemus ("Damwanden Eem - mitigerende oplossingen.pdf", gedateerd 15 februari 2021). Dit document is via de Provincie beschikbaar gesteld aan Deltares en is bijgevoegd aan het huidige rapport als Bijlage B.

De Provincie heeft daarnaast het 'Waterwegpaspoort' van De Eem met Deltares gedeeld, met daarin een algemene beschrijving van de rivier en de scheepvaart-klasse. In aanvulling daarop zijn via email verschillende kentallen en aanvullende karakteristieken door de Provincie met Deltares gedeeld. In de volgende sectie wordt de beschikbare informatie samengevat.

### 2.2 Samenvatting achtergrondinformatie

#### *De Eem*

De Eem is een gekanaliseerde rivier in de Provincie Utrecht (Figuur 2.1) met een lengte van 14,9 km en met veelal verticale, rechtopstaande oevers. Het Waterwegpaspoort vermeldt een representatieve waterdiepte van 3,4 m. De typische breedte beschikbaar voor de scheepvaart is ca. 40-50 m. De locaties van Roeivereniging Hemus en van BWV, waar vanuit naar verwachting activiteiten worden ondernomen verspreid over De Eem, staan bij benadering aangegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1: overzicht van de locatie en route van de Eem (uit: Waterwegpaspoort De Eem, aangeleverd door Provincie Utrecht).

Er is veelal weinig ruimte op de oevers, met andere infrastructuur of andere gebruiksfuncties vaak direct naast de rivier gelegen. Typische beschikbare breedte op de oever – haaks op de

rivier bekeken – is 5-8 m. Het oorspronkelijk veel bredere stroombed is in de loop van de tijd versmald en is niet meer voor die functie terug te zien in het landschap, ook al zijn er in het verleden ook lokaal weer enkele verbredingen uitgevoerd (eind jaren '70, begin jaren '80 van de 20<sup>e</sup> eeuw). Op dit moment laten vooral de bochten in de rivier nog de oude rivierkarakteristieken zien. Vanuit waterbewegingseigenschappen gezien, lijkt De Eem op dit moment effectief op een kanaal.

### *Scheepvaart*

Voor de beroepsvaart is De Eem Vaarwegklasse III (1000 ton) volgens CEMT<sup>1</sup>. Volgens de door de Provincie doorgegeven informatie betekent dit voor de beroepsvaart een maximale afmeting van 73 m x 8,20 m. De rivier is volgens BRTN<sup>2</sup> Recreatievaartklasse BM. Dat betekent gemotoriseerde recreatievaart met een diepgang tot 1.5 m.

De maximale vaarsnelheid is 12 km/uur voor beroeps- en recreatievaart. Nabij de Kleine Melm is er een riviersectie van 400 m waarin geen hinderlijke golfslag gemaakt mag worden (Figuur 2.1, rond hectometerpaal 4,5; het nulpunt ligt bij Amersfoort). Daarnaast is de maximale vaarsnelheid 6 km/uur:

- over een lengte van 2600 m nabij Baarn (tussen hectometerpaal 8,8 tot 11,4) en
- nabij de gemeentegrens van Amersfoort (tussen hectometerpaal 3,3 tot 0,0).

Beide rivierdelen met lage maximum vaarsnelheid liggen rond of nabij de locaties van de verenigingen, alhoewel de recreatieve activiteiten van de verenigingen naar verwachting langs een groter deel van De Eem plaats zullen vinden.

Volgens de Provincie maken jaarlijks ca. 750 beroepsvaartschepen gebruik van De Eem en zijn er ca. 8000 geregistreerde recreatieve vaartuigen (pleziervaart). In de praktijk zal een veelvoud daarvan jaarlijks recreatief gebruik maken van De Eem. Daarnaast zijn er de roeiers als gebruikers van De Eem.

### *Waterstanden*

De waterstanden op De Eem zijn voor een groot deel gereguleerd. Er wordt gestreefd naar Winterpeil van -0,40 m NAP en een Zomerpeil van -0,20 m NAP. Volgens de Provincie kunnen er echter ook grotere variaties in waterstanden optreden, met als extremen waterstanden in een bereik van -1,35 m NAP tot +0,40 m NAP.

---

<sup>1</sup> Conferentie van Europese Ministers van Verkeer

<sup>2</sup> Beleidsvisie RecreatieToervaart in Nederland

## 3 Expert-interpretatie voorgestelde oeverconstructies

### 3.1 Achtergrond scheepsgeïnduceerde golven

#### 3.1.1 Introductie

Als uitgangspunt voor het interpreteren van de voorgestelde alternatieve oeverontwerpen (Sectie 0), wordt in deze sectie eerst kort een beschrijving gegeven van scheepsgeïnduceerde golven. De eigenschappen van de scheepsgolven zullen randvoorwaardelijk zijn voor de haalbare effectiviteit van oeveroplossingen in de praktijk. Om verdere context te geven aan de door schepen opgewekte golfcondities zal in Sectie 3.2 ook een schatting gemaakt worden van typische lokale condities van door de wind opgewekte golven.

Een vaartuig heeft voornamelijk te maken met twee kritische snelheden: een rompsnelheid en een diepte-kritische snelheid<sup>3</sup>.

De rompsnelheid is gerelateerd is aan de lengte van het schip. Het praktische effect van de rompsnelheid is dat voor het bereiken van bepaalde snelheden een minimale scheepslengte benodigd is.

De diepte-kritische snelheid is gelinkt aan de snelheid van ondiep-water golven. Binnenvaartschepen en de meeste recreatievaart (niet speedboten) zullen onder de diepte-kritische snelheid varen. Dergelijke snelheden worden sub-kritische vaarsnelheden genoemd. De genoemde vaartuigen zijn water-verplaatsende schepen. Speedboten en andere zeer snelle vaartuigen kunnen planeren op het water, dat wil zeggen het vaartuig zo snel gaat dat de romp grotendeels uit het water is gekomen. Zij vallen tijdens die hoge vaarsnelheden dus niet meer onder de water-verplaatsende vaartuigen. Het golfpatroon dat zij daarbij maken is bovendien anders dan voor water-verplaatsende schepen. Op die manier kunnen zij ook boven de diepte-kritische snelheid varen. Dat worden superkritische vaarsnelheden genoemd.

In de volgende deelsecties worden de golven opgewekt door sub- en superkritisch varende schepen afzonderlijk beschreven.

#### 3.1.2 Golven opgewekt bij sub-kritische scheepssnelheid

Bij snelheden beneden de diepte-kritische snelheid zal een varend schip twee soorten golfsystemen opwekken: de primaire scheepsgolf en een secundair golfsysteem. De primaire golf is een waterstandsval in een gebied rondom het schip. Dat effect treedt op omdat het naar voren bewegende schip water voor zich wegduwt en dit langs het schip naar achteren moet stromen. Dat effect is het sterkst voor grote schepen ten opzichte van de doorsnede van de vaarweg. Het secundaire golfsysteem opgewekt door sub-kritisch varende schepen, genaamd Kelvin golfsysteem, bestaat uit twee soorten golven: transversale golven en divergerende golven (zie Figuur 3.1). Doorgaan zullen de divergerende golven dominant zijn. De hoogste golfhoogten treden op bij de interferentiepieken in het patroon, dat wil zeggen op de plekken waar de kammen van beide typen secundaire scheepsgolven samenvallen.

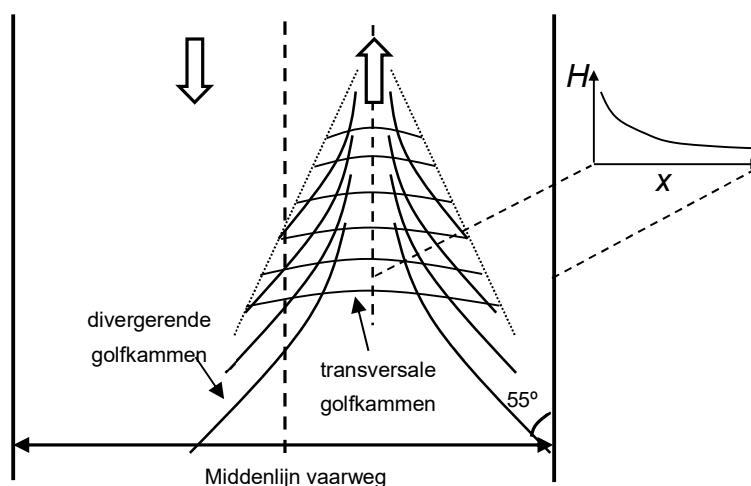
In open water zal dit patroon altijd in dezelfde vorm ontstaan als het schip beneden de kritische snelheid vaart. Bij het uitspreiden van een dergelijk patroon richting een oever of kade hebben

---

<sup>3</sup> Formeel gesproken is er ook nog een derde limietsnelheid die gekoppeld is aan de doorsnede van de vaarweg. Voor grote water-verplaatsende schepen in een smal kanaal kan die maatgevend zijn.

de divergerende golven altijd een inkomende hoek van ca.  $55^\circ$  met de langs-oever (Figuur 3.1). De hoogte van de secundaire golven opgewekt door een vaartuig is onder andere afhankelijk van de scheepssnelheid en de lokale waterdiepte.

De primaire scheepsgolf heeft doorgaans veel langere tijdschalen dan de secundaire golven. Kleinere vaartuigen aanwezig naast een groter schip zullen de primaire scheepsgolf voornamelijk als een tijdelijke waterstandsverlaging ervaren. De sterkte van die primaire golf, bij een gegeven scheepssnelheid, wordt grotendeels bepaald door de verhouding van de scheepsdoorsnede en de natte doorsnede van de vaarweg. Minder ruimte in die doorsnede resulteert in een sterkere primaire scheepsgolf. Daarbij stroomt het water in de primaire golf voornamelijk 'langs' de verticale oevers en zal er dus geen sprake zijn van een reflectie tegen de oeverconstructie. De oevers 'kaderen' daarbij de primaire golf enkel in. De primaire scheepsgolf gedraagt zich eerder als een stromingsfenomeen, gekoppeld aan de scheepssromp, dan als een lopende golf.



Figuur 3.1: schets van secundair golfpatroon opgewekt door een varende schip in een kanaal.

Secundaire scheepsgolven zijn veel korter, en zullen daardoor meer invloed op bewegingen van kleine vaartuigen hebben. En juist dat type golf zal reflecteren op de verticale oeverwanden. De huidige studie richt zich daarom voornamelijk op de secundaire golvensystemen.

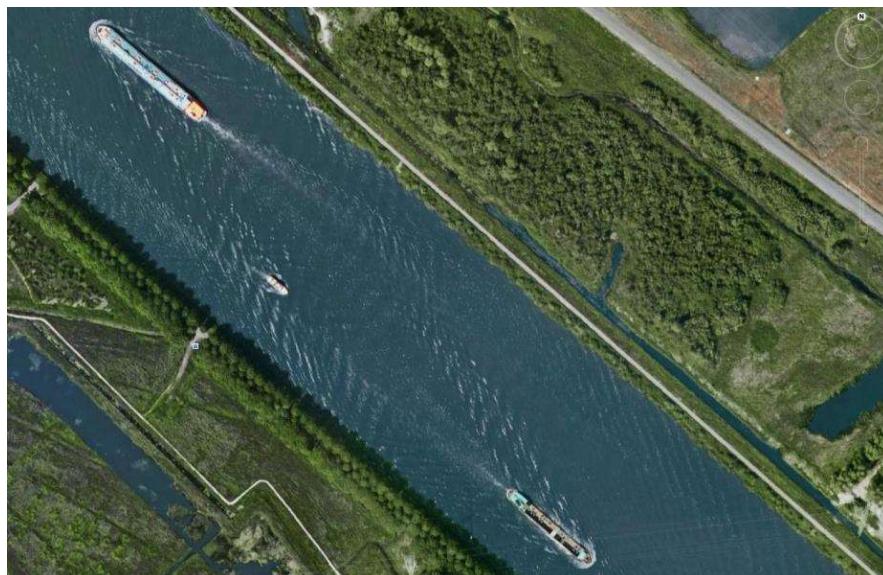
Het ontstaan van de vorm van het Kelvin-patroon met secundaire golven is niet afhankelijk van de grootte van het schip. Dit is geïllustreerd in Figuur 3.2, waarin een voorbeeld wordt gegeven van schepen met verschillende afmetingen die elk hetzelfde secundaire golfpatroon opwekken. Figuur 3.3 illustreert daarnaast dat het niet zo is dat grotere schepen noodzakelijkerwijs hogere golven op zullen wekken. Dat hangt namelijk ook af van vele andere factoren, waaronder de scheepssnelheid en rompvorm. In die afbeelding is zichtbaar dat in dit specifieke voorbeeld het kleinere schip de hoogste secundaire golven opwekt. Ook zijn reflecties van de oever zichtbaar rechtsonder in de afbeelding (aangegeven met gestippelde ovaal). De schets van het typische Kelvin-golvenpatroon uit Figuur 3.1 is in deze afbeelding herhaald ter illustratie.

De bij de oever optredende golfhoogte in het Kelvin-golvenpatroon hangt af van een aantal factoren, waaronder de:

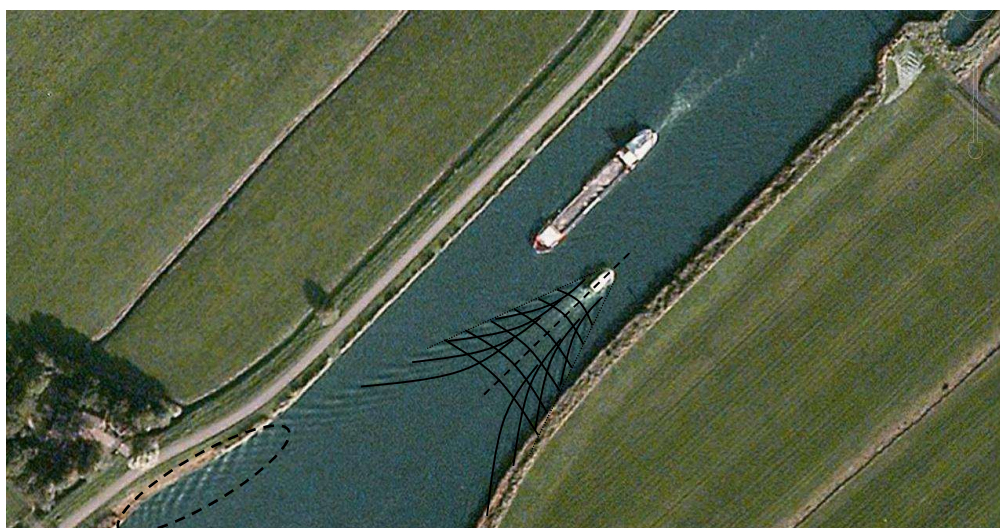
- snelheid van het schip door het water;
- lokale diepte van de vaarweg;
- afstand van de vaarlijn van het schip tot de oever.

Daarnaast zijn ook de scheepsvorm en de afmetingen van het schip van invloed.

Voor sub-kritisch varende schepen bestaan er verschillende semi-empirische rekenregels die op basis van onder andere de bovenstaande set parameters een inschatting geven van de secundaire golfhoogten. Daarnaast beschrijven die rekenregels het verloop van de golfhoogte als functie van de afstand tot de vaarlijn. Er bestaan meerdere versies van die rekenregels, die veelal gebaseerd zijn op trendfits van meetdata (zie Sorensen, 1997, voor een zeer compleet overzicht en evaluatie van verschillende formuleringen uit de literatuur). Het typische verloop van de hoogste golfkammen in het Kelvin-patroon volgens die vuistregel is geïllustreerd rechts in Figuur 3.1. Daarin staat de golfhoogte ( $H$ ) als functie van de afstand tot de vaarlijn van het schip ( $x$ ). De voor de huidige evaluatie toegepaste formuleringen zijn het meest gangbaar (zie bijvoorbeeld WL | Delft Hydraulics, 1996, en Erikson *et al.*, 2003, in PIANC Bulletin 114).



*Figuur 3.2: voorbeeld van interfererende golvensystemen van schepen van verschillende afmetingen (Amsterdam-Rijnkanaal, nabij Diemen). Bron originele afbeelding: Google Earth.*



*Figuur 3.3: voorbeeld verschil in golfhoogten voor verschillende schepen (Prinses Margrietkanaal, ten zuidwesten van Grouw). Bron originele afbeelding: Google Earth.*

De rekenregels gelden voor open water, dus zonder reflecties en zonder invloeden van niet-uniforme bodemligging en oevers. Voor een gedetailleerde beschouwing, en voor de volledige

weergave van dergelijke situaties, zijn uitgebreidere numerieke berekeningen benodigd. Echter, de binnen de huidige opdracht uit te voeren evaluatie van de voorgestelde oeverontwerpen kan goed uitgevoerd worden op basis van de orde-van-grootte waarden van golfhogten en -perioden uit de algemene rekenregels. De uitwerking van de hoogteschatting van de secundaire scheepsgolven voor de situatie op De Eem op basis van rekenregels uit de literatuur staat in Sectie 3.1.4.

### 3.1.3 **Golven opgewekt bij superkritische scheepssnelheid**

Super-kritisch varende kleinere schepen, zoals speedboten, liggen bij zeer hoge vaarsnelheid meer op het water dan er in (planerende vaartuigen). Dat maakt dat zij nagenoeg geen primaire scheepsgolf zullen opwekken, maar wel secundaire golven. Die secundaire golven komen onder een andere hoek richting de kade, meer parallel, dan in geval van het Kelvin golfpatroon bij water-verplaatsende vaartuigen. Afgezien van die andere hoek is het reflectiegedrag van deze versie van de secundaire scheepsgolven in geval van een verticale oever praktisch gelijk aan de secundaire golven van sub-kritisch varende schepen.

In tegenstelling tot de sub-kritisch varende schepen (Sectie 3.1.2), kan de hoogte van de secundaire scheepsgolven voor vaartuigen met super-kritische snelheid niet eenvoudig/eenduidig worden vastgesteld op basis van vuistregels. Dit is omdat de resulterende golfhogten erg afhankelijk zijn van onder andere het toegepaste motorvermogen en specifieke rompvormen.

Gegeven de snelheidslimieten op De Eem is het echter de vraag of er op die rivier veel vaartuigen met super-kritische snelheid zullen voorkomen. Alleen kleinere speedboten (<7 m lengte) zullen binnen de maximaal toegestane vaarsnelheid van 12 km/uur met super-kritische (romp-)snelheden kunnen varen. Bij lage vaarsnelheden (sub-kritisch) wekt ook de romp van een speedboot een Kelvin-golfpatroon op zoals beschreven in Sectie 3.1.2, omdat bij die snelheden de romp in het water ligt als een water-verplaatsend vaartuig.

Op basis van bovenstaande overwegingen worden in de volgende sectie de rekenregels voor sub-kritisch varende schepen gepast voor een kwantificering van de hoogte van de secundaire scheepsgolven op De Eem.

### 3.1.4 **Schatting hoogte en periode secundaire golven (sub-kritische vaarsnelheid)**

Op basis van de vuistregels uit de literatuur zijn de eigenschappen van de secundaire scheepsgolven op De Eem afgeleid zoals die de oeverconstructies zullen bereiken. Hierbij is binnen de mogelijkheden van de rekenregel uitgegaan van een bovengrens-schatting door een relatief hoge scheepssnelheid aan te houden (hoogste lokaal geldende snelheidslimiet) en een betrekkelijk kleine passeerafstand van de oever.

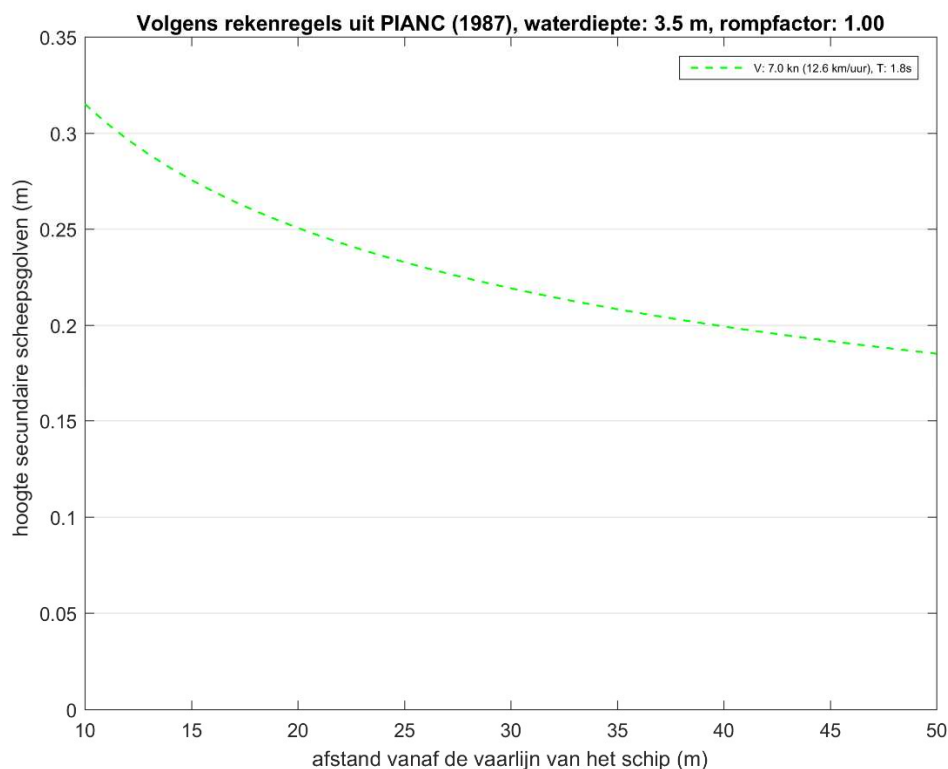
In de vuistregels zit een zogenaamde vormfactor  $\alpha$  ( $\leq 1$ ) die als schaalfactor op de uitkomsten van de rekenregel wordt toegepast. Die factor geeft de detailinvloeden van de scheepsromp en scheepstype weer. Voor de huidige haalbaarheidsstudie is die factor conservatief op 1 als bovengrens gezet, welke, in combinatie met de geselecteerde vuistregel ook wordt aanbevolen (PIANC, 1987, geciteerd in Sorensen, 1997).

De volgende waarden/uitgangspunten zijn toegepast:

- Breedte Eem ca. 40-50 m. Schip vaart op ca. 10-20 m uit de kant.
- Snelheid (tot aan) ca. 7 knopen (12 km/uur, ca 3.5 m/s)
- Waterdiepte ca. 3.5 m
- vormfactor  $\alpha = 1$

Figuur 3.4 toont de uitkomst van de rekenregel op basis van deze waarden, overeenkomstig met het geschetste verloop rechts in Figuur 3.1. De x-as van deze afbeelding staat dus haaks

op de vaarrichting van het schip. Een afstand van 10-20 m uit de vaarlijn komt globaal overeen met de positie van de oever. De oever zelf zit niet in de rekenregel, dus het effect van reflectie zit nog niet in deze schatting (hieronder nader op ingegaan). De grafiek laat zien dat er bij deze sub-kritische vaarsnelheid sprake is van een typische hoogte van de secundaire golven nabij oever van 0.2-0.3 m, in combinatie met een golfperiode van ca. 2 s. De beperkte lokale waterdiepte draagt bij aan de hoogte van de secundaire scheepsgolven. Speedboten en/of vaartuigen die de lokaal geldende snelheidslimiet overtreden kunnen hogere golven opwekken. Schepen die met een lagere snelheid varen dan de aangenomen snelheidslimiet zullen lagere golfhoogten opwekken.



*Figuur 3.4: hoogte secundaire golven als functie van laterale afstand tot de vaarlijn voor een schip varend met 7 kn (ca. 12 km/uur).*

Reflecties vanaf verticale wanden langs het kanaal kunnen lokaal tot maximaal een verdubbeling van de golfhoogte leiden. In de praktijk zal dat lager zijn. Een deel van het secundaire golfpatroon – de transversale golfkammen (Figuur 3.1) – loopt in de lengterichting van de vaarweg en zal dus niet (compleet) reflecteren. Daarnaast zit er ook enige tijd tussen het uitstralen van de golven en het reflecteren, waardoor het vaartuig en zijn direct uitgestraalde golfpatroon altijd iets voor lopen op de reflectiegolven. De inkomende en uitgaande (gereflecteerde) golfkammen lopen door elkaar en creëren daarmee een ‘eierdozenpatroon’ van golfhoogtes op enige afstand achter het schip. Zie het voorbeeld met de gestippelde ovaal aangegeven in Figuur 3.3. Merk op dat het resulterende complexe golfpatroon als gevolg van reflecties een golfperiode-onafhankelijk gedrag is, en dat het daarom niet noodzakelijkerwijs een indicatie is van resonantie (in het memo gesuggereerd).

In dat proces zullen aaneengesloten verticale houten oeverplanken (oude situatie, zie bijvoorbeeld Figuur A.5 in Appendix A) een praktisch identieke sterkte van golfreflectie



opleveren als een stalen damwand (nieuwe situatie)<sup>4</sup>. Wel kan een eventueel iets verschoven positie van de damwanden – richting de middenlijn van het kanaal – de beschikbare ruimte op de vaarweg hebben verkleind en daarmee de ervaren hinder hebben vergroot. Daarnaast kan het zigzag-profiel van de stalen damwanden er in principe aan bijdragen dat golfenergie niet-uniform en meer uitgespreid wordt gereflecteerd vanwege de ruimtelijk afwisselende oriëntatie van de damwandplank ten opzichte van de inkomende golfkammen. Echter, bij een kleine ribbelmaat van de damwand ten opzichte van typische golflengtes van secundaire golven (ca. 1.5-7 m, 1-2 s golfperiode) kan dat effect in de praktijk mogelijk beperkt blijken omdat de golven dan niet sterk door de individuele ribbels worden beïnvloed.

Het is daarmee voornamelijk het verticaal zijn van de constructie die de mate van reflectie dicteert, en die is niet veranderd. De recent vernieuwde oevers zijn daarom naar verwachting niet noodzakelijkerwijs verantwoordelijk voor een sterke verandering in de mate van reflectie. De door een deel van de gebruikers van De Eem als hinderlijk ervaren golfcondities, inclusief het optreden van reflecties, zullen er ook voor de recente renovatie van de oeversecties al geweest zijn.

De korte periode van de secundaire golven (1-2 s) is in het algemeen gunstig in relatie tot golfdemping, aangezien in de regel langere golven doorgaans het lastigste zijn om te dempen. Echter, ook voor deze kortere golven zal een passende oeverconstructie ingezet moeten worden, wil men voldoende energie uit deze golven kunnen wegnemen.

## 3.2 Windgolven

De hoogte van de door schepen opgewekte dient ook geïnterpreteerd te worden ten opzichte van lokaal door de wind opgewekte golven. In een soortgelijk project voor het Amsterdam-Rijnkanaal (2009) is eerder door Deltares een schatting gemaakt van golfcondities die op dat kanaal door de wind opgewekt werden. Uitgaande van een windsnelheid die 5% van de tijd werd overschreden (5-7 m/s) en een typische lengte waarover golven opgewekt kunnen worden van 5 km, werden in die studie golfhoogtes van ca. 0.2-0.3 m bij een golfperiode van 2 s berekend. Vanwege de bochten in De Eem, kan een lengte van 5 km hier als een heel ruime bovengrens gezien worden voor de lengte waarover de wind kan werken. Als conservatieve (hoge) schatting kunnen hier daarom soortgelijke golfcondities verwacht worden. Onder die aannames zullen de door de wind opgewekte golven voor wat betreft hoogte en periode zeer veel lijken op de secundaire scheepsgolven op De Eem. Echter, de richting van door de wind opgewekte golven zal primair in de lengterichting van de rivier zijn, terwijl de scheepgolven voor een deel onder een hoek met de oever opgewekt worden (Sectie 3.1.2).

Doorgaans zullen recreatieve roeiers minder vaak op dagen met hogere windsnelheden gaan roeien. Dat betekent dat op dagen dat de meeste roeiers gebruik zullen maken van De Eem de door de wind opgewekte golven (veel) lager zullen zijn dan de conservatieve schatting hierboven beschreven. Daardoor zal er voor de roeiers in de praktijk eerder sprake zijn van hinder door schepen opgewekte golven dan door de wind opgewekte golven. Bovendien kan de richting van de door grotere schepen opgewekte golven meer ongunstig zijn voor de respons van de roeiboten vanwege een deels meer zijwaarts inkomende golfkammen.

---

<sup>4</sup> Uitgaande van dezelfde hoogte van de bovenrand van de stalen damwanden als van de originele houten planken. Indien de nieuwe damwanden met een grotere hoogte worden geïnstalleerd dan de oorspronkelijke planken, dan kan er wel een vergroting van de golfreflectie optreden indien in de oude situatie er een groter deel van de golf over de plankenrij kon slaan.

### 3.3 Interpretatie van voorgestelde oeverontwerpen

#### 3.3.1 Overzicht voorgestelde alternatieven

Het memo van de lokale verenigingen beschrijft de volgende door hen voorgestelde alternatieven:

1. Berm achter (verlaagde) bestaande damwand, eventueel in combinatie met toevoegen van dempende materialen
2. Schuin inslaan van damwanden om zo een talud te vormen, in combinatie met een berm achter de damwand
3. Het toevoegen van nevengeulen
4. Openingen maken in de damwand / verwijderen van de damwand
5. Roosters of andere vormen of perforaties toevoegen in/op de damwand
  - a. Rubberen berm voor de damwand
  - b. Scharnierende platen voor de damwand ('the hinge')
  - c. Golfvormige geperforeerde platen voor de damwand ('the wally')
  - d. Horizontaal bewegende platen om energie uit de golven weg te nemen ('flex shore')
  - e. Met rotsen gevulde – bovenop afgedekte – openingen in de damwanden ('it rocks')
  - f. Geperforeerde platen voor de damwanden
6. Inzet van oeverbeplanting
7. Terugbrengen maximum snelheid (recreatief) scheepvaartverkeer

Het memo is door de verenigingen beschikbaar gesteld aan de Provincie ter overweging bij het uitwerken van de aanpak voor het onderhoud aan oevers langs de Eem. Volgens de auteurs van het memo is de aangehouden volgorde vanaf de naar hun verwachting meest kansrijke/dempende oplossing, naar minst kansrijk/dempend. Daarbij wordt door Deltares aangenomen dat Alternatief 7 een op zichzelf staande categorie is, omdat er daarin geen sprake is van een technische aanpassing aan de oevers. Dat die oplossing als laatste wordt genoemd wil daarmee dan niet zeggen dat die als minst kansrijk is gezien.

#### 3.3.2 Alternatief 1 – aanbrengen van een berm

##### *Beschrijving*

Damwanden minder hoog aanleggen, of inkorten, en een berm achter de verlaagde damwanden opnemen. Daarnaast worden meerdere hulpconstructies en materialen in het memo voorgesteld.

##### *Voordelen*

In potentie zeer goede dempingswerking. Bewezen en simpel concept. Geeft tegelijkertijd meer natuurwaarde.

##### *Interpretatie*

Het toepassen van een berm, of natuurberm, achter een verlaagde damwand zou effectief kunnen zijn in het dempen van de secundaire scheepsgolven. De stabiliteit van de gehele oever, en van het materiaal in de plasberm, moet geborgd worden en vraagt extra aandacht. Bovendien zal de berm voldoende breed moeten zijn (haaks op de rivierrichting) om zo een voldoende flauw talud op te leveren om echt effectief te zijn. Begroeiing in de berm zal bijdragen aan het dempen van de golfenergie. Een aanvullend effect ontstaat indien kammen over de oeverrand de plasberm in slaan, ook al zal in die situatie de 'onderkant' van de golf – de golfbeweging lager in de waterkolom – alsnog reflecteren.

Merk op dat de afbeeldingen in het memo een zeer ondiep hoofdwater laten zien, terwijl hier verhoudingsgewijs over een diepere waterweg gaat. Het stabiliseren en fixeren van de

oeverconstructie bij een diepere waterweg is technisch kritischer, en resulteert in geval van taluds in een groter horizontaal ruimtebeslag, dan voor een ondiepe situatie.

Over het algemeen gesproken is een berm het meest effectief om golven te dempen indien de bermhoogte rond de momentane gemiddelde waterstand ligt, waaromheen de golfbeweging optreedt. Aandachtspunt voor De Eem is dat de waterstand kan variëren. Normaal zijn variaties beperkt tot enkele decimeter, maar in extreme situaties loopt dat op tot meer dan een meter. Dat betekent dat bij een lagere waterstand de golven alsnog tegen de damwanden onder de hoogte van plasberm zouden kunnen reflecteren. Een logische gedachte zou dan zijn om de damwanden nog verder te willen verlagen, maar dat vraagt veel meer ruimte voor de plasberm er achter om vanaf dat lagere punt met een passende helling de oever te vormen. Bovendien zal dan de stabiliteit van de gehele constructie in het geding kunnen komen. Hierbij speelt ook dat de primaire scheepsgolf van de schepen effectief een stroming langs de oever veroorzaakt. Daarbij zijn de grotere schepen die gebruik maken van De Eem mogelijk maatgevend. Zonder een harde bescherming zal die stroming ook langs het bovenste (aarden, 'zachte') deel van de oever gaan optreden, waardoor erosie-problemen kunnen ontstaan, zeker in combinatie met het opwoelende effect van de secundaire scheepsgolven (hieronder nader beschouwd). De beperkte breedte van de rivier betekent dat schepen in een redelijk smalle doorsnede varen en mogelijk dicht langs de oevers, waardoor er mogelijk een betrekkelijk sterke retourstroming ontstaat.

Ook de stabiliteit van de (natuurlijke) oever zelf zal aandacht vragen. De golven zullen in de plasberm hun energie kwijt kunnen raken, maar zorgen daar ook voor een extra belasting op de ondergrond die daardoor beschadigd zou kunnen worden. Dat zou bijvoorbeeld kunnen leiden tot losslaan van grondmateriaal en het uitspoelen van materiaal dat mogelijk in de vaarweg terecht kan komen (hier wordt onder Alternatief 6 nader op ingegaan, Sectie 3.3.7). Hierbij speelt ook dat de waterkerende functie van de oevers niet in gevaar mag komen. Om die reden is het mogelijk voor de lokale waterschappen niet acceptabel om overal langs De Eem natuurlijke, zachte oevers aan te leggen.

Ook de veiligheid van gebruikers dient beschouwd te worden, zeker indien er een scherpe rand van de oeverconstructie onder de waterlijn zal zijn. In het memo wordt voorgesteld om de bovenkant van de damwand te markeren met een stenenkorf (gabion, schanskorf) of andere steenbestorting. De korven zouden inderdaad ingezet kunnen worden als markering, echter zullen zij niet sterk bijdragen aan de demping, en mogelijk de reflecties juist weer iets toe kunnen laten nemen ten opzichte van een plasberm zonder een dergelijke elementen. Het meeste effect zou kunnen ontstaan indien de golfkammen over de korven kunnen slaan, maar daarbij geldt het eerder genoemde aandachtspunt van de variaties in de waterstanden.

Stenen materialen tegen de damwand aan, zoals in het memo ook in afbeeldingen wordt geïllustreerd, werkt goed in situaties met veel meer horizontale ruimte, maar hier zal dat lastig inpasbaar zijn. Natuurlijke hellingen van gestort materiaal, maar ook toepasselijke hellingen van gezette steen, zullen dermate zijn dat de teen van de constructie betrekkelijk ver de vaarweg in kunnen steken als de gehele constructie niet naar buiten (van de rivier-as af) opgeschoven kan worden. Dit zal ongewenst zijn voor de beroepsvaart.

Andere materialen die als voorbeeld aangehaald worden om ingezet te worden op de oever, zeker de 'harde' oplossingen, zijn veelal bedoeld ter bescherming van de achterliggende berm in relatie tot de golfbelasting op de aarden oever. Bij sommige van de in het memo geciteerde voorbeelden staat dat ook in de overgenomen informatie vermeld. Daarbij wordt golfenergie veelal eerder weggehouden van de oever, deels door reflectie, dan dat toegepaste constructies vooral demping van de golven opleveren. Daarbij is de resulterende golf op de vaarweg in dergelijke projecten doorgaans niet het aandachtspunt, zeker als op die andere locaties sowieso weinig hinder van golven op de vaarweg wordt ervaren. Dat soort constructies en

materialen hier in willen zetten voor golfdemping, en met het doelgebied juist gericht op de vaarweg, is mogelijk niet passend en minder effectief dan door de auteurs van het memo gehoopt.

De voorgestelde begroeide rollen zijn ook doorgaans bedoeld als bescherming van de oever, onder andere tegen golfslag, en als verfraaiing en vergroening van een oever. Effectief blijft de verticale wand die de golf 'ervaart' praktisch ongewijzigd en zal dus ook de mate van reflectie niet veel veranderen. Bij zwaardere golfbelasting zal bovendien de bevestiging van de rollen zeker aandacht vragen zodat zij niet losraken. Daarnaast zal de variatie in waterstand op De Eem ervoor kunnen zorgen dat de rollen soms droog komen te staan, waardoor de vegetatie in die rollen mogelijk afsterft.

De rubberen bermrand die onder dit alternatief in het memo van de verengingen wordt geïntroduceerd wordt ook onder Alternatief 5 beschreven. In principe kan een dergelijke berm werken indien de kammen van de door de schepen opgewekte golven deels in die goot 'vallen'. Maar de goot kan zich opvullen met water en mogelijk dat er zelfs een soort golf in de goot mee gaat lopen met het golfpatroon opgewekt door het schip. Het memo beschrijft daarbij niet hoe het water dat in de goot komt weer af kan stromen. Ook kan er vuil in de goot gaan ophopen. De rubberen opstaande randen zullen er primair voor zorgen dat alleen het bovenste deel van de golfkam over kan slaan. De rubberen opzet-rand aan de onderkant van het profiel zal weinig effect hebben op de golfbeweging, aangezien de golfbeweging verspreid over het bovenste deel van de waterkolom optreedt en niet alleen aan het oppervlak. Bij een uitstekende breedte van het profiel van ongeveer 1 m, zoals vermeld in de schets in het memo, is het de vraag hoe stijf de constructie is. Mogelijk dat het rubberen profiel door zijn eigengewicht en naar voren stekende profiel sterk zal gaan vervormen. Men kan de constructie stijver maken, maar dan wordt het vooral ook een zware constructie en bovendien zal daarmee de golfreflectie waarschijnlijk weer toenemen. De voorkant van het rubberen profiel lijkt redelijk verticaal, waardoor de golven er waarschijnlijk sowieso vooral vanaf gaan reflecteren en alleen een klein deel van de golfkam zou in theorie opgevangen kunnen worden. Al met al dus meerdere technische aandachtspunten en een zeer onzekere werking van deze rubberen bermrand.

#### *Relatieve kosteninschatting*

Inkorten van damwanden kan een kostbare ingreep zijn, zeker als dat tot redelijk diep uitgevoerd zal moeten worden. Tegelijkertijd zal juist ook de stabiliteit van de oever gegarandeerd moeten worden en moet er voldoende ruimte zijn om een bermconstructie met passende helling te introduceren. Ook voor nieuw aan te leggen oeverdelen zal de stabiliteit van de oever en het ruimtegebruik doorslaggevend zijn.

Een plasberm wordt al langs sommige secties van De Eem toegepast. Ervaringen met aanlegkosten, onderhoud en effectiviteit van deze oevervorm langs die stukken van De Eem zouden gebruikt kunnen worden om een inschatting te maken voor die aspecten. Op basis van die ervaring kan dan overwogen worden deze oplossing langs andere secties van de rivier toe te gaan passen, indien de beschikbare ruimte zich daarvoor leent. Daarbij hebben ook de waterschappen een belang bij een gedegen en zo min mogelijk onderhoudsgevoelige oeverconstructie.

#### *Uitkomst evaluatie*

Enkel kijkend naar de ingrepen zelf, is het inzetten van een plasberm waarschijnlijk het beste praktisch implementeerbaar van de set aan voorgestelde alternatieven in het memo. Bovendien is de werking van deze aanpak op golfdemping, mits goed en passend toegepast, effectief. Ervaringen van delen van de oevers langs De Eem waar een soortelijke toepassing al wordt ingezet zouden gebruikt kunnen worden om inzicht te krijgen in de effectiviteit in de praktijk, en in kosten voor aanleg en onderhoud. Aandachtspunten zijn gelinkt aan het

garanderen van demping bij variaties in rivierwaterstand en het garanderen van de stabiliteit van de oever en het oevermateriaal. De waterkende functie van de oever is essentieel voor de waterschappen en zal niet in het geding kunnen komen. Bovendien dient er op de oever ruimte te zijn om een dergelijke oeverconstructie te implementeren.

### 3.3.3 **Alternatief 2 – schuin inslaan damwanden**

#### *Beschrijving*

De kern van dit alternatief is dat damwanden (of andere constructiedelen) langs de oever onder een hoek worden aangebracht in plaats van verticaal.

#### *Voordelen*

Voordeel van deze aanpak – in de versie zoals voorgesteld – is dat ruimtebeslag mogelijk beperkt kan blijven. Bovendien is, indien goed implementeerbaar, de oever met deze aanpak gefixeerd.

#### *Interpretatie*

Om een significante reductie van golfreflecties te krijgen is waarschijnlijk een helling nodig die veel flauwer is dan zoals die aangenomen lijkt te zijn in het aangedragen alternatief. Anders zal er alsnog nog een significant deel van de inkomende golfenergie kunnen reflecteren. Daarmee is het voordeel van minder ruimtebeslag van dit alternatief snel teniet gedaan, wil het een significant effect hebben op de golfdemping.

Voor hogere golven, zoals opgewekt door speedboten of (te) snel varende pleziervaart, zal een talud relatief effectief kunnen zijn. Dit alternatief is bovendien effectiever indien de golfkammen afgevangen kunnen worden en voor een deel 'over de rand slaan'. Dat betekent dat een combinatie met een plasberm gunstig zal zijn, zoals ook in het memo geschetst. Maar daarmee zou dit alternatief erg lijken op Alternatief 1, en is de schuine wand voor de plasberm niet perse benodigd. Daarbij zal de schuine wand in combinatie met een plasberm ook een groter ruimtebeslag opleveren.

Het memo spreekt over 'kortere damwanden', maar daarmee wordt dan naar verwachting vooral de bovenkant van de damwanden bedoeld. De constructie zal wel voldoende ver de ondergrond ingebracht moeten worden wil deze voldoende sterkte hebben. De afbeeldingen die ter illustratie van dit alternatief zijn toegevoegd in het memo tonen waarschijnlijk een stenen bestorting op een talud en geen damwandoplossing.

Damwanden worden – voor zover bekend – doorgaans niet ingezet voor dergelijke schuine constructies. Het is daarom zeer de vraag of damwanden of soortgelijke constructieonderdelen zich goed zullen lenen voor dergelijke schuine plaatsing. Voor taluds wordt veelal gebruik gemaakt van een (gezette) stenen bescherming, maar ook hiervoor geldt dat dit in combinatie met voldoende flauwe taluds zal moeten zijn. En daarmee wordt het ruimtebeslag van dit alternatief vergroot, zoals hierboven reeds genoemd.

Indien er direct naast de rivier niet veel ruimte is om uit te wijken naar buiten, dan zal een groot deel van een hellingconstructie zich uitstrekken tot in de vaarweg, met minder waterdiepte voor beroepsvaart tot gevolg.

#### *Relatieve kosteninschatting*

Een schuine constructie, en zeker indien voorzien met damwanden (indien technisch haalbaar), zal zeer veel kostbaarder zijn dan een standaard verticale damwand.

#### *Uitkomst evaluatie*

Vooral praktische bezwaren in relatie tot de aanleg van een schuine wand maakt dat dit alternatief naar verwachting in de praktijk niet inpasbaar en voldoende effectief gemaakt kan worden. Voor de inzet van een plasberm (Alternatief 1) is een schuine wand ook niet benodigd.

### **3.3.4 Alternatief 3 – toevoegen van nevengeulen**

#### *Beschrijving*

Voorgesteld wordt om nevengeulen toe te voegen aan de rivier.

#### *Voordelen*

Natuurwaarden. Variatie in rivierlandschap. Lokaal (bij af- en aantakpunten) meer ruimte voor verspreiding van golfenergie. In theorie mogelijk opsplitsing van verkeersstromen?

#### *Interpretatie*

Indien de hoofdtak van de rivier de functie van beroepsvaart en pleziervaart zal blijven vervullen dan is er alleen bij het af- en aantakpunt van een nevengeul een effect op de hoofdtak en op de golfcondities daarin. Op die locaties zullen door schepen opgewekte golven zich beter kunnen verspreiden en minder 'opgesloten' worden op de hoofdtak van de rivier. Echter, indien een kleinschalige berm bedoeld wordt direct langs de rivier, dan lijkt daarmee dit alternatief opnieuw op Alternatief 1.

Als een nevengeul groot genoeg zou zijn voor het scheiden van functies, dan zou je verschillende verkeersstromen en gebruik kunnen scheiden. Maar wil je dat kunnen doen dan zijn de afmetingen van de nevengeulen zo groot dat je eigenlijk een 2<sup>e</sup> rivier hebt aangelegd. Dat zal in de praktijk niet haalbaar, en waarschijnlijk niet wenselijk, zijn.

Grootste belemmering is dat, om echt sprake te laten zijn van nevengeulen, er erg veel meer ruimte in de breedte van de rivier nodig is. De in het memo geciteerde afbeelding bij dit alternatief toont dat eigenlijk al.

#### *Relatieve kosteninschatting*

Dit hangt sterk af van de grootte en uitgebreidheid van de toegevoegde nevengeulen. Kan vele malen duurder zijn dan de standaardoplossing met damwanden. Indien zeer kleinschalig, dan is dit effectief een variatie op Alternatief 1, en dan zullen de kosten soortgelijk zijn aan die voor dat alternatief.

#### *Uitkomst evaluatie*

Vanwege groot ruimtegebruik, mogelijk alleen lokale effecten, of zeer gelijkende aanpak als Alternatief 1, wordt dit alternatief niet als praktisch uitvoerbaar gezien.

### **3.3.5 Alternatief 4 – openingen maken in / verwijderen damwand**

#### *Beschrijving*

In Alternatief 4 worden openingen in de damwand voorgesteld en wordt gesproken over nevengeulen. De afbeeldingen die hierbij zijn opgenomen laten echter primair plasbermen zien, overeenkomstig Alternatief 1.

#### *Voordelen*

Effectieve golfdemping indien golfkammen over de bermrand kunnen slaan en/of als deze in een plasberm kunnen uitdempen.

#### *Interpretatie*

Echt een opening in de damwand maken kan niet zonder een andere vorm van ondersteuning van de oever. Daar is de oever te steil voor. Juist vanwege die steilheid en beperkte ruimte zal

oorspronkelijk voor de damwanden gekozen zijn. Indien met losse steen of soortgelijke oplossingen wordt gewerkt dan zullen materialen onder een hoek moeten worden aangebracht (talud). Bij het onbelemmerd laten van de vaarweg zou dat betekenen dat de rivieroever sterk naar buiten zal moeten worden verlegd. Dat betekent zeer veel meer ruimtegebruik, mocht die beschikbaar zijn.

#### *Relatieve kosteninschatting*

Aanlegkosten van de constructie zelf zouden van dezelfde orde kunnen zijn als voor de aanleg van een standaard damwand, maar extra aandacht zal nodig zijn voor het fixeren van de oever. Dit brengt grotere onzekerheid in stabiliteit van oever en lange-termijn onderhoudskosten. Indien er geen ruimte is naast de rivier, dan mogelijk zeer veel extra kosten voor beschikbaar krijgen van die ruimte, indien überhaupt praktisch mogelijk.

#### *Uitkomst evaluatie*

Alleen openingen maken in de damwand zal niet voldoende zijn. Ook in dit alternatief is het vooral de berm achter de opening die golfdemping kan creëren. Het werkzame onderdeel in dit alternatief is daarmee een variatie op Alternatief 1.

### **3.3.6 Alternatief 5 – meerdere opties voor introductie van stenen of openingen**

#### *Beschrijving*

Onder Alternatief 5 worden meerdere variaties van randen, platen, perforaties en lamellen geïntroduceerd.

#### *Voordelen*

Beperkt ruimtegebruik. Te implementeren in combinatie met de bestaande damwanden. Daarmee goede basisfixatie van de oever.

#### *Interpretatie*

Een deel van de voorgestelde aanpassingen onder Alternatief 5 zijn gebaseerd op 'hinderen' van de golf door deze via openingen of platen te laten bewegen. Bij dergelijke constructies is het de bedoeling door wrijving/weerstand, via wervels en andere turbulentie energie uit de golf te halen. Van belang daarbij is dat de golf dan niet meer als slingerbeweging maar lokaal als kleinschalige stroming moet worden gezien. Indien er lange tijd sprake is van een stroming, en waarbij er energie uit die stroming kan worden onttrokken, dan zullen dergelijke maatregelen in theorie effect kunnen hebben. Echter, de uitdaging in de huidige situatie is dat de golven een zeer korte periode van 1-2 s hebben. De golfkam zal tegen de geperforeerde wand aankomen, maar voor de stroming door de overdruk als gevolg van de golfkam goed en wel door die openingen op gang zou kunnen komen is de golfkam voor de damwand al weer een golfdal geworden. Het resultaat is dat de golf de perforaties in de wand, of andere toegevoegde elementen, niet 'voelt' en effectief nog steeds tegen een gesloten wand aan kaatst. Deze verwachting werd door de Provincie tijdens de site-visit bevestigd naar aanleiding van eerdere testsecties met stalen rasters/roosters en kunststof kratten langs de oever (Appendix A, Figuur A.1 en Figuur A.2). Die aanpassingen bleken in de praktijk inderdaad zeer weinig tot geen effect te hebben. Dat kleine effect lijkt in eerste instantie verklaarbaar door de betrekkelijk korte secties waarover de aanpassingen gedaan zijn, maar ook bij het toepassen van deze ingrepen bij langere secties zullen zij op basis van de hierboven uitgewerkte fundamentele beperkingen geen grote golf-dempende werking hebben. Tegelijkertijd zal de inzet van roosters wel extra aanleg- en onderhoudskosten met zich meebrengen.

Dezelfde verwachte beperkte effectiviteit geldt voor ruimten voor de damwand opgevuld door stenen. Ook daar zal er niet sprake zijn van grote stromingseffecten en zal de achterliggende damwand waarschijnlijk nog steeds veel van de inkomende golfenergie kunnen terugkaatsen.

Dit betekent dat ook lokale toevoegingen met perforaties of korven ('The Wally') niet gaan bijdragen aan golfdemping. Een dergelijke ingreep is vergelijkbaar met de veldtesten die eerder al uitgevoerd zijn (Appendix A). Daarbij speelt ook de spreiding van de energie langs de golfkam een rol, terwijl de elementen in het voorgestelde alternatief beperkt in breedte zijn. Bovendien leveren de korven een extra aanvaarrisico op omdat zij de vaarweg insteken, ook al zal dat vooral voor kleinere vaartuigen het geval zijn die meer nabij de oever zullen varen.

Bewegende elementen zoals energie-opnemende platen ('Flex-shore') moeten stijf genoeg zijn om de krachten op te kunnen vangen en om stevig aan te kunnen sluiten op hun bevestigingspunten. Echter, zij moeten ook voldoende in staat zijn om te kunnen reageren op de 1-2 s golven. En daarvoor zullen zij al snel veel te traag zijn. Eer dat de platen 'op gang kunnen komen' zijn de 5-10 secundaire golfkammen per schip waarschijnlijk al lang gepasseerd. Effectief zal dat betekenen dat zij eigenlijk ook als een vaste wand zullen werken en zo alsnog veel reflectie zullen veroorzaken.

Voor de voorgestelde scharnierende platen ('The Hinge') geldt hetzelfde als hierboven beschreven voor de bewegende platen van de 'Flex-shore'. Elk type bewegende constructie zal ook erg onderhoudsgevoelig zijn en gevoelig voor vandalisme. Daarnaast hebben de scharnierende platen waarschijnlijk grotere drijflichamen nodig dan weergegeven in de schetsen in het memo, afhankelijk ook van het toegepaste materiaal (gewicht) voor de platen. Indien de platen deels mee zouden bewegen met de golven, dan kunnen ook die drijflichamen golven gaan uitstralen. Ook dat is een vorm van uitspreiden van golfenergie, en daar treedt inderdaad ook een vorm van demping op, maar dat zou ook alsnog op een andere manier bij kunnen dragen aan een onrustig golfbeeld. Van belang daarbij is om te realiseren dat een golfbeweging in het water niet alleen aan de oppervlakte aanwezig is, maar over een groter deel van de waterkolom een beweging bevat, ook al zal dat voor kortere golven minder diep doorwerken dan voor langere.

#### *Relatieve kosteninschatting*

Ruwe materiaalkosten van bijvoorbeeld een geperforeerde plaat kunnen mogelijk beperkt zijn. Echter het fabriceren en installeren van de voorgestelde betrekkelijk complexe elementen, met veel bewerkingstijd, zal kostbaar zijn. Opties met bewegende elementen en onderdelen zullen zeer veel duurder in aanleg zijn dan een damwand. Bovendien zullen die veel onderhoud vragen en slijtage vertonen.

#### *Uitkomst evaluatie*

De verschillende deeloptyes onder dit alternatief zijn alle in de praktijk niet haalbaar. De aanpassingen zijn niet effectief in het dempen van golven, zijn kostbaar in aanleg en/of vragen zeer veel onderhoud.

### **3.3.7 Alternatief 6 – toepassen van oeverbeplanting**

#### *Beschrijving*

De dempende werking van oeverplanten op golven wordt ingezet met het doel reflecties te verminderen.

#### *Voordelen*

Met natuurlijke middelen golfdemping bewerkstelligen.

#### *Interpretatie*

Grootste knelpunt bij dit voorgestelde alternatief is dat de in het memo geciteerde informatie verkeerd is geïnterpreteerd door de auteurs van het memo. Het *Handboek milieuvriendelijke oevers* is vanuit de oeverconstructie geschreven in plaats van de waterbeweging. De 'golfdempende' werking van planten beschreven in het door het memo geciteerde stuk tekst



wordt daar genoemd in relatie tot het beperken van de doorwerking van *golfbelasting* op de oever en ondergrond, als bescherming tegen erosie, en niet de demping van *golfreflecties*.

De inzet van natuurlijke materialen voor het dempen van golven is echter geen vreemd idee. Bij Deltares zijn er studies uitgevoerd, en lopen er nog steeds projecten, naar de inzet van natuurlijke materialen om golven te dempen. Daarvoor worden wilgen en voor in de tropen mangroven beschouwd. Echter, ook die oplossingen vragen veel ruimte om meerdere rijen van planten op de golven in te kunnen laten werken. Dergelijke oplossingen worden in kustzones of in grote uiterwaarden toegepast voor veel zwaardere golfcondities. De kortere golven die op De Eem optreden vragen waarschijnlijk minder brede bermen om een passende demping te creëren, maar ook dergelijke ingrepen zullen op de oevers ruimte vragen.

#### *Relatieve kosteninschatting*

Is niet van toepassing, aangezien dit alternatief, in de versie zoals opgenomen in de in het memo geciteerde informatie, niet betrekking heeft op dezelfde soort van demping (van golfreflecties).

Echter, begroeiing als onderdeel van een alternatief kan zeker een dempend effect op de golven hebben. Bijvoorbeeld als een deel van Alternatief 1 en 2. Maar dit wordt daarmee hier dus niet als los alternatief gezien.

#### *Uitkomst evaluatie*

De optie zoals gepresenteerd in het memo is binnen de huidige context geen alternatief voor het introduceren van demping van golfreflecties. Inzet van beplanting zoals beschreven in de door het memo geciteerde bron kan wel een bescherming vormen van de oever en zo erosie tegengaan. Bovendien kan beplanting zorgen voor demping als onderdeel van een andere alternatief (bijvoorbeeld Alternatief 1 of 2).

### **3.3.8 Alternatief 7 – verlagen maximum snelheid scheepvaart**

#### *Beschrijving*

Opwekking van golven beperken door maximale toegestane vaarsnelheid van recreatieve vaartuigen te verlagen naar 6 km/uur.

#### *Voordelen*

Door deze maatregel pak je de golfproblemen direct bij de bron aan. Wat er niet aan golfenergie opgewekt wordt, hoeft er ook niet uit te dempen. Technisch gezien zeer effectief.

#### *Interpretatie*

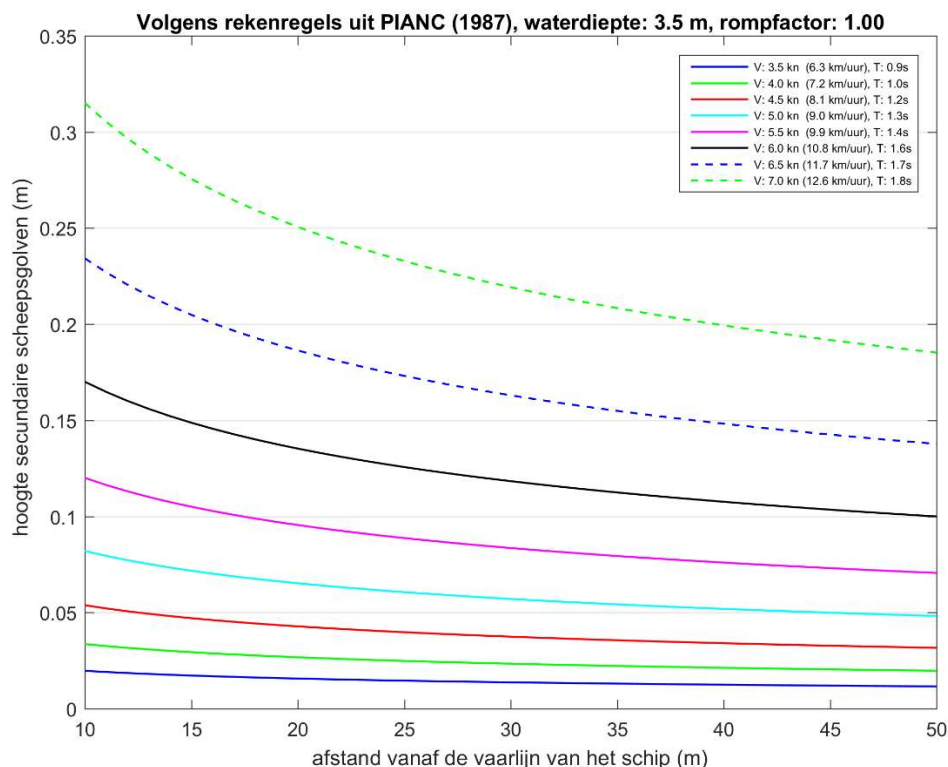
Een snelheid van 6 km/uur komt overeen met ongeveer een snelheid van 3.5 kn (ca. 1.7 m/s). Door dezelfde formulering in te zetten als onder Sectie 3.1.4, wordt voor deze snelheid de bijbehorende hoogte van de secundaire scheepsgolven geschat. Uit die formulering volgt een golfhoogte van slechts enkele centimeters. Figuur 3.5 toont de uitkomsten van de toegepaste rekenregel<sup>5</sup> voor meerdere vaarsnelheden van 3.5 kn (ca. 6 km/uur) tot 7 kn (ca. 12 km/uur).

Deze resultaten geven aan dat met een geringe snelheidsafname de hoogte van opgewekte secundaire scheepsgolven al sterk afneemt. Een scheepssnelheid van 5 kn (ca. 2.5 m/s, 9 km/uur) levert bijvoorbeeld een golfhoogte van slechts ca. 0.1 m op, ten opzichte van ca. 0.3 m op basis van de huidige maximum vaarsnelheid. Ook beperkte een snelheidsreductie van 7 kn (12 km/uur) naar 6 kn (ca. 11 km/uur) geeft volgens deze formulering al bijna een halvering van de opgewekte secundaire golfhoogte. Voor kleinere vaartuigen, die met de

---

<sup>5</sup> Dezelfde berekening is gemaakt op basis van meerdere formuleringen. Vooral voor de hogere vaarsnelheden waren de uitkomsten praktisch gelijk. En bij zeer lage snelheden zijn de golfhoogten sowieso in de praktijk verwaarloosbaar.

huidige maximale vaarsnelheid relatief mogelijk dicht bij hun kritische (romp-)snelheid varen, zou de verlaging nog groter kunnen zijn.



*Figuur 3.5: als Figuur 3.4, nu voor verschillende vaarsnelheden (golfperioden staan vermeld in legenda).*

Technisch gezien is dit alternatief dus zeer effectief. Echter, beperkingen en nadelen van deze aanpassing liggen op een ander vlak. Deze maatregel kan in de praktijk mogelijk moeilijk te handhaven zijn en het is sowieso niet uit te sluiten dat sommige gebruikers zich er niet aan zullen houden. Bovendien zullen andere gebruikers door deze aanpassing van de maximale vaarsnelheid beperkt worden in de manier waarop zij gebruik maken van De Eem. Daarmee is het mogelijk implementeren van deze optie niet alleen een technische keuze en zal er ook een bredere afweging gemaakt moeten worden.

Daarnaast moeten vooral grotere schepen een minimale vaarsnelheid behouden om manoeuvreerbaar te blijven. Dat heeft te maken met een minimaal vermogen op de schroef om zo voldoende druk op het roer te houden. Alleen op die manier kan het schip voldoende tegendruk genereren om bijvoorbeeld windinvloeden op de bovenkant van het schip in open terrein te compenseren en zo in zijn vaarbaan te blijven. Dat zou betekenen dat er een beperktere snelheidsverlaging dan in het memo voorgesteld technisch haalbaar is, bijvoorbeeld naar 10 km/uur. De indicatieve uitwerking hierboven geeft aan dat een dergelijke aanpassing desondanks al veel effect zou kunnen hebben.

#### *Relatieve kosteninschatting*

Kosten van de maatregel zelf zullen zeer beperkt zijn. Er zullen wel kosten voor handhaving gemaakt moeten worden. Onbekend is of dergelijke handhaving op dit moment sowieso al wordt uitgevoerd. Indirecte kosten zullen groter zijn, bijvoorbeeld omdat beroepsvaart langer over de route zal doen.

### *Uitkomst evaluatie*

Op zichzelf, is dit technisch een zeer effectieve maatregel. Echter, de beroepsvaart zal een minimale vaarsnelheid vragen om manoeuvreerbaar te houden. Dit alternatief heeft bovendien andere aandachtspunten dan technische aspecten, waaronder handhaving en beperkingen in het gebruik van De Eem door anderen.

## 3.4 Synthese

Het is duidelijk dat de grote variatie in typen en grootten van vaartuigen op De Eem leidt tot hinder tussen gebruikers. Roeiers en andere gebruikers van kleine vaartuigen behoren daarbij tot de meest kwetsbare gebruikers, waarbij juist die kleinere vaartuigen zeer sterk kunnen reageren op (betrekkelijk korte) golven.

De door de lokale verenigingen aangedragen alternatieven bestaan uit interessante en veelal creatieve ideeën. Helaas zijn veel opties in de praktijk waarschijnlijk niet effectief in het dempen van de golven opgewekt door vaartuigen op De Eem. Dat is deels vanwege karakteristieken van de golven en deels omdat de aangedragen technieken voor een ander doel of andere werking zijn ontwikkeld. Daarbij is een aantal alternatieven in de praktijk bovendien niet goed uitvoerbaar als constructie, of zeer kwetsbaar en/of erg onderhoudsintensief.

Alternatief 1, het introduceren van plasbermen, is de beste fysieke ingreep om golfdemping in het systeem te introduceren. Om een effect te hebben hoeft een dergelijke oplossing niet langs de gehele oever van De Eem toegepast te worden, aangezien het introduceren van enige demping in een systeem met nagenoeg geen demping (lange secties damwand) al snel een gunstig effect op het golfbeeld zal opleveren. Wel zullen dempende oeversecties voldoende verspreid over de verschillende riviersecties moeten worden toegepast worden om langs de gehele rivier een effect te hebben. Of er voldoende ruimte is langs de oevers om dergelijke bermen te introduceren zal nagegaan moeten worden. Daarnaast zal ook de waterkerende functie van de oevers niet in gevaar mogen komen en hebben de waterschappen hier een groot belang. Ook zal bekeken moeten worden of de werking van bestaande secties met een dergelijke berm voor de situatie van De Eem in de praktijk inderdaad effectief en kosten-efficiënt zijn.

Gegeven de restricties in beschikbare ruimte op de oever en de manier waarop de rivier gekanaliseerd is, zijn er niet veel andere gepaste technische alternatieven aan te dragen, naast de introductie van plasbermen. In het algemeen kan gesteld worden dat simpele aanpakken de voorkeur hebben. Die zijn veelal bewezen, vragen weinig onderhoud en zijn het meest robuust in hun werking. Dat betekent dat alle opties met bewegende onderdelen niet de voorkeur hebben. De tijdschaal van de golfbeweging (zeer kort: 1-2 s) en de krachten die dergelijke golven kunnen opwekken zijn doorslaggevend daarbij. Ook de mogelijke invloed van stroming, als gevolg van de retourstroom van grotere schepen of eventueel van de rivier zelf, zal in het ontwerp van technische aanpassingen meegenomen moeten worden. Daarnaast is ook de variatie in waterstand op De Eem een factor om rekening mee te houden bij het verder uitwerken en toetsen van alternatieven.

Het is goed om te identificeren dat het introduceren van demping langs de oevers van De Eem nooit alle hinder weg zal kunnen nemen. De door schepen opgewekte golven zullen eerst naar de oever moeten lopen om daar (voor een deel) gedempt te kunnen worden. Dat betekent dat de door een schip uitgestraalde golven ook in geval van andere oeverconstructies op de vaarweg aanwezig zullen blijven. Demping zal er enkel voor zorgen dat er na een scheepspassage sneller weer een rustiger golfbeeld ontstaat. Aangezien een deel van het door vaartuigen opgewekte secundaire golfpatroon langs de oevers loopt (transversale golfkammen, Figuur 3.1), zal het ook om die reden niet mogelijk zijn om alle golfenergie bij de oever op te nemen. Aan de andere kant, omdat die golven niet richting de oevers lopen zullen

zij ook niet sterk reflecteren. Vooral de divergerende golfkammen (Figuur 3.1) zullen op de oevers reflecteren, indien zij niet geabsorbeerd worden.

Tijdens de site-visit op 26 maart 2021 bleek dat roeiers lang in een golfveld van een passerend schip 'gevangen' kunnen zitten als gevolg van een klein snelheidsverschil tussen de vaartuigen. Dit wijst er op dat de hinder mogelijk voornamelijk het gevolg is van het direct uitgestraalde golfveld en in minder mate door reflecties. Het is dus van extra belang om de passages zo soepel mogelijk te laten verlopen en toch de duur van die passages te minimaliseren. Dat is waarschijnlijk nog belangrijker dan het vergroten van de golfdempende werking van de oevers. Deltares raadt de Provincie aan om hierover met de verenigingen verder in gesprek te gaan.

De technisch beste aanpak uit het memo van de verenigingen, zij het niet constructief, is hun Alternatief 7. In dat alternatief wordt de maximum toelaatbare lokale vaarsnelheid omlaag gebracht<sup>6</sup>. Uitgaande van de ingezette rekenregels voor de hoogte van de secundaire scheepsgolven zal dat zeer effectief zijn. Bovendien pak je het probleem op die manier direct bij de bron aan en beperk je de hoogte van alle componenten in het secundaire golfveld opgewekt door een passerend schip (transversale en divergerende golfkammen, Figuur 3.1). Het is aan anderen om de wenselijkheid, haalbaarheid en handhaafbaarheid van een dergelijke maatregel in een eventuele verdere uitwerking van deze potentiële oplossing vast te stellen. Daarbij zal ook rekening gehouden moeten worden met de minimale vaarsnelheid van de beroepsvaart vanwege manoeuvreerbaarheid.

---

<sup>6</sup> Er wordt bij de maximale vaarsnelheden op waterwegen geen onderscheid tussen typen van vaartuigen gemaakt, dus een mogelijke aanpassing in de maximum vaarsnelheid op De Eem zal gelden voor alle gebruikers.

## 4 Conclusies

De volgende hoofdconclusies zijn naar voren gekomen tijdens de evaluatie van de alternatieve aanpakken voor het verminderen van hinder als gevolg van scheepsgeïnduceerde golven op De Eem, zoals voorgesteld in een memo van lokale verenigingen:

- Alternatief 7 – het verlagen van maximale snelheid voor pleziervaart op De Eem – is de meest effectieve aanpassing van alle aangedragen alternatieven voor wat betreft het verkleinen van de hinder van scheepsgeïnduceerde golven. Eerste schattingen op basis van rekenregels geven aan dat de snelheidsverlaging waarschijnlijk niet groot hoeft te zijn om toch een significant effect te kunnen hebben. Bovendien wordt met een beperkte snelheidsverlaging de manoeuvreerbaarheid van de beroepsvaart niet te sterk beperkt. De haalbaarheid en wenselijkheid van een lagere maximale snelheid zal nagegaan moeten worden. Daarbij zal ook de handhaving een aandachtspunt zijn.
- Alternatief 1 – het introduceren van een berm op locaties met op dit moment alleen damwanden – is de meest effectieve technisch-constructieve voorgestelde ingreep om golfdemping te introduceren, mits op de juiste wijze toegepast en geïmplementeerd. De diepte van de vaarweg vereist, in combinatie met een berm, aanvullende constructieonderdelen om een compacte stabiele oeveropbouw te garanderen. Daarbij geldt dat een dergelijk constructieonderdeel, zoals een damwand, golven niet moet verhinderen om de berm te bereiken maar tegelijkertijd wel voldoende stabiliteit aan de oever zal moeten bieden. Aanvullende aandachtspunten daarbij zijn de verdediging van de oever tegen erosie en het zekerstellen van de werking van de ingreep bij variatie in gemiddelde waterstand. De waterkerende functie van de oever, onder verantwoordelijkheid van de waterschappen, mag daarbij nooit in gevaar komen. Daarnaast zal ook de veiligheid van de gebruikers in geval van een constructierand onder de waterlijn geborgd moeten worden.
- De meeste van de andere aangedragen alternatieven zijn niet effectief in het reduceren van golfreflecties of zijn niet praktisch inpasbaar. De verwachte beperkte effectiviteit is vooral gelinkt aan de eigenschappen van de scheepsgolven. De beperkte praktische inpasbaarheid is veelal gekoppeld aan de complexiteit en onderhoudsgevoeligheid van de voorgestelde concepten (bewegende delen) en/of aan het mogelijk hinderen van de beroepsvaart.
- De hinder die door de roeiverenigingen op De Eem wordt ervaren is waarschijnlijk vooral gelinkt aan secundaire scheepsgolven die passerende schepen uitstralen. Dat patroon van golven zal eerst naar de oevers langs De Eem moeten lopen alvorens daar gedempt te kunnen worden. Dat betekent dat het direct door het passerende schip uitgestraalde golfpatroon er altijd zal zijn, ook in geval van golf-dempende oevers. Een deel van het patroon van secundaire scheepsgolven – de transversale golfkammen – beweegt zich bovendien *langs* de oevers en zal daardoor sowieso niet sterk door de oevers gedempt kunnen worden. Die golven zullen echter ook niet op de oevers reflecteren, maar dus wel altijd aanwezig zijn.
- Mede vanwege de betrekkelijk smalle vaarweg op De Eem zal het niet eenvoudig zijn om hinder tussen gebruikers geheel te voorkomen, ook al zullen onveilige situaties uiteraard voorkomen moeten worden. Dit rapport geeft ook nog niet een vaste eindoplossing en is door de Provincie en Deltares bedoeld als een tussenstap om zo gericht de kern van het probleem en effectieve potentiële oplossingen verder aan te kunnen gaan pakken. Bovendien zullen ingrepen in een bredere context beschouwd moeten worden, met een breed bereik van gebruikers en hun verschillende eisen en wensen. Er zal daarbij een passende balans tussen de verschillende gebruiksfuncties gevonden moeten worden.

# Referenties

PIANC (2003), Guidelines for Managing Wake Wash from High-Speed Vessels, MarCom, report of WG 41.

Sorensen, R.M. (1997), Prediction of Vessel-generated waves with reference to vessels common to the upper Mississippi River system, ENV Report 4, US Army Corps of Engineers.

WL | Delft Hydraulics (1996), Manual DIPRO, design program for shore protection works along sailing channels.

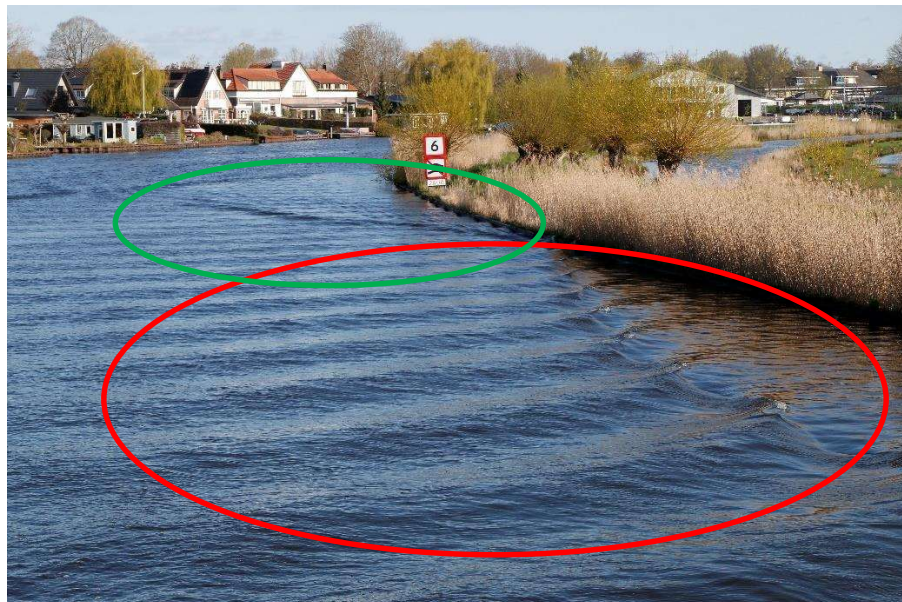
## A Selectie van foto's site-visit 26 april 2021



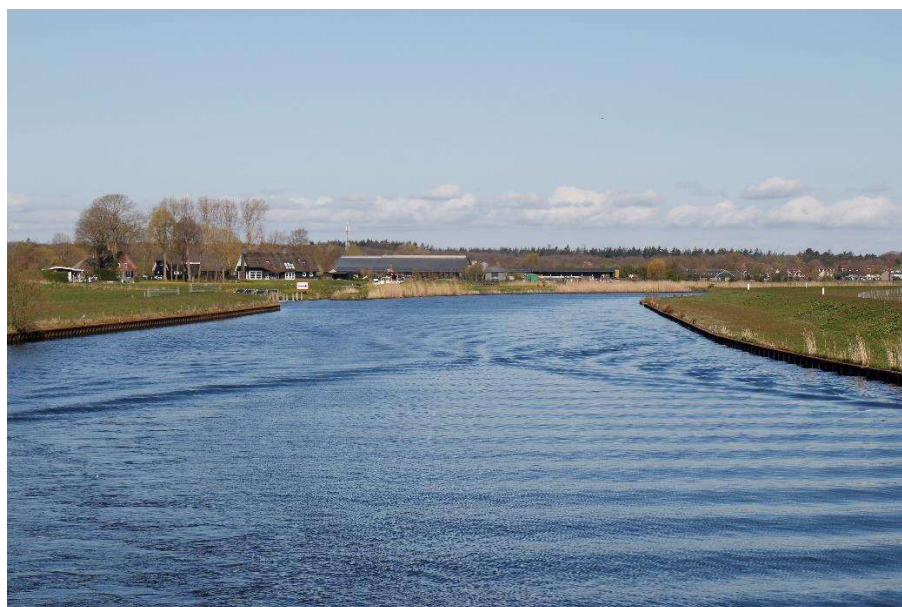
*Figuur A.1: toegepaste roosters langs een testsectie langs De Eem.*



*Figuur A.2: korven toegepast langs een testsectie langs De Eem.*

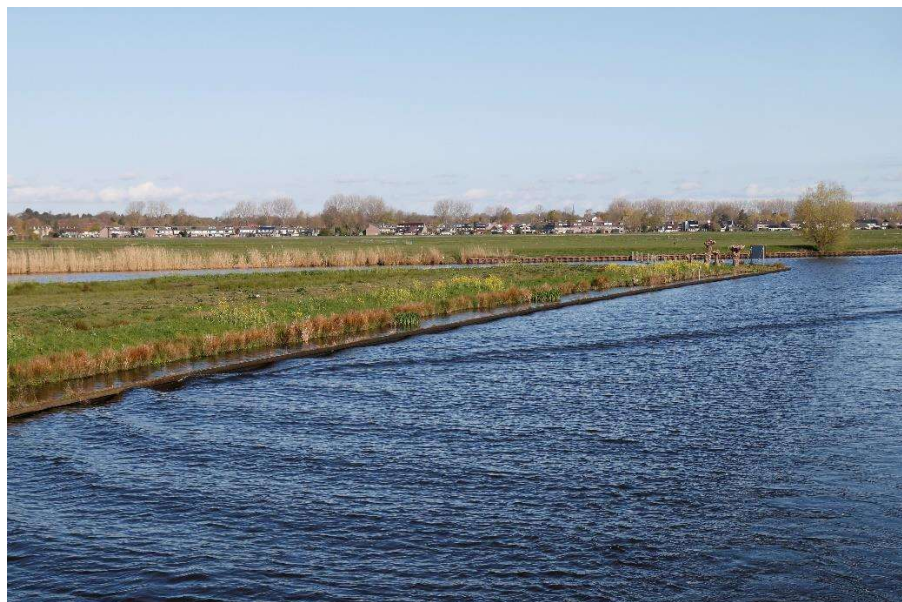


*Figuur A.3: door het schip opgewekte golven (rood) en de reflectie-golven (groen). Rechts op de achtergrond het gebouw van de vereniging BWV (grijs/groen)*



*Figuur A.4: reflecties van secundaire sloopgolven vanaf beide oeverzijden na een slooppassage.*

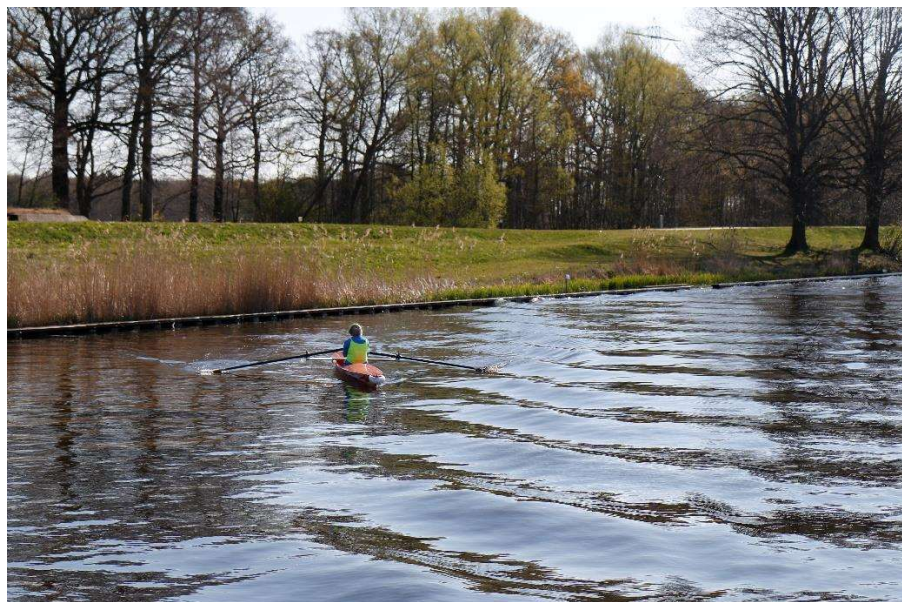




*Figuur A.5: reflecties vanaf een nog te renoveren sectie met houten planken.*



*Figuur A.6: secundaire scheepsgolven opgewekt bij een vaarsnelheid van ca. 12 km/uur. Op de achtergrond zijn de reflecties zichtbaar.*



*Figuur A.7: een roeier in het secundaire golfveld van een passerend schip. Vooral de transversale golven zijn zichtbaar op deze foto.*

## B Memo van de lokale verenigingen (feb. 2021)

Aan Het college van Gedeputeerde Staten van de Provincie Utrecht  
T.a.v. André Struijs, voorzitter projectteam herinrichting en beleidsvisie rivier de Eem  
Betreft Veiligheid en mitigerende oplossingen bij stalen damwanden langs de Eem

Amersfoort, 15 februari 2021

Geachte heer Struijs, beste André,

Hartelijk dank voor het constructieve overleg van *3 februari 2021* met de projectgroep over de nieuwe inrichting en het beheer van de rivier de Eem. Graag nemen wij uw uitnodiging aan om onze ideeën met voorbeelden van op veiligheid gerichte mitigerende oplossingen, voor zowel het bestaande als het toekomstige beleid, aan u toe te sturen. Wij danken u voor het vertrouwen in onze bijdrage en hebben goede hoop op de toekomst, waarin het huidige beleid dat al sinds 2005 in fasen wordt uitgevoerd, aangepast kan worden.

Zoals de heer Stafleu heeft aangegeven in zijn presentatie is het van belang voor de provincie en het vaarwegenbeheer dat wordt zorggedragen voor een doorvaart en vaarprofiel geschikt voor beroepsvaart (CEMT klasse III). Vanwege benodigde diepte en zandige ondergrond, wisselende waterpeilen en weinig extra ruimte is robuustheid van materiaal vereist om krachten op te vangen, waarbij ook levensduur en gering onderhoud van het materiaal een rol spelen; redenen waarom toen is gekozen voor het plaatsen van stalen damwanden. Wij begrijpen deze uitgangspunten vanuit het belang van onderhoud, de beroepsvaart en het verleden.

Echter, tijden veranderen, tegenwoordig spelen ook andere belangen. Wij als zeilers en roeiers die dagelijks op het water zijn als medegebruikers van de rivier, ervaren veel nadelen van die keuze met grote risico's op ongevallen. Want, zoals u bekend is, ontstaat door de extra golfslag met langdurige resonanties ten gevolge van (snel) passerende motorboten een onveilige situatie, doordat de golfenergie niet wordt gedempt tussen de met stalen damwanden beklede oevers, vergelijkbaar met een kanaalbak.

Daarom zijn onze voorbeelden van mitigerende oplossingen primair gericht op veiligheid door voldoende **golfslagdemping**. Wij vragen ons daarom ook af, of het gewenst is om extra steigerbouw of aanlegplaatsen voor dagrecreanten aan te leggen, omdat deze voorzieningen averechts werken met risico op toename in plaats van afname van de golfslag door gemotoriseerde pleziervaart, hetgeen ook ongunstig is voor het milieu en oeverbeheer.

Wij denken dat met onderstaande voorbeelden van mitigerende oplossingen, toegepast op zowel de korte als langere termijn, meerdere doelen gelijktijdig gerealiseerd kunnen worden. Zelfs zodanig dat geen kapitaalvernietiging plaatsvindt, doordat de reeds geplaatste stalen damwanden in onze visie behouden kunnen blijven, met het voordeel van gering onderhoud en de beroepsvaart die een goed vaarprofiel nodig heeft. Dit kan goed in combinatie met het belang van de watersporters, mits de nodige aanpassingen plaatsvinden om *veiligheidsrisico's te beperken* door *golfslagdemping* als bronaanpak in preventie van ongevallen. Wij hopen dat u met deze voorbeelden inspiratie krijgt, die u kunt toepassen in de uitvoering van onderhoud in 2022, of als input kunt meenemen in uw beleidsvisie 2022 – 2030 voor herinrichting van de Eem.

Wij hebben begrepen dat in deze fase alle opties open staan voor nader onderzoek door de deskundige adviseur die u hierbij wilt betrekken. Mogelijk heeft hij/zij nog betere suggesties om een goede golfslagdemping te bereiken? Wij horen het uiteraard graag en wij denken van harte mee.

Ook houden we ons aanbevolen voor het alsnog ontvangen van de testresultaten van golfbrekende maatregelen uit 2014 – 2015.

Wij dragen op deze wijze graag bij aan uw beleidsvisie die nu in de maak is. Een visie die ongetwijfeld recht zal doen aan onze gecombineerde belangen, met een aanpak vol nieuwe inzichten, wellicht met moderne materialen of door het aanleggen van natuurlijke (voor)oevers of nevengeulen die van meerwaarde zijn door hun *optimale golfslagdemping*, gecombineerd met behoud van het vereiste vaarprofiel. Dit alles in het belang van de rivier de Eem met een goed, gezond en veilig watermilieu en een

waterbeheer met gering onderhoud en de mogelijkheid van bufferopslag, ingericht op de toekomst en geschikt voor alle gebruikers, van beroepsvaart tot de kleine watersport.

De gevraagde voorbeelden met toelichting treft u aan in de bijlage. U stelde al voor om na uw bestu-  
dering hiervan, een vervolgoverleg met ons als inbrengers in te plannen (uit praktisch oogpunt eerst  
even zonder een voltallige klankbordgroep). Wij zijn natuurlijk daartoe bereid en stellen dit uiteraard  
zeer op prijs.

Wellicht kunnen wij (corona volente) u en uw deskundige ontvangen op ons clubhuis en u een rondlei-  
ding per boot bieden, zodat u een indruk krijgt van de lokale situatie langs de Eem.

Wij zien uw reactie met belangstelling tegemoet.

Met vriendelijke groet,

Namens het bestuur van de Stichting Huis van de Watersport,  
Marco van der Eijk, bestuurslid



Namens het bestuur van de Baarnse Watersportvereniging De Eem,  
Erik Droogh, i.o.



Namens het bestuur van Roeivereniging Hemus,  
Kitty Meulenbeld, voorzitter



## Bijlage mitigerende oplossingen (bij brief aan provincie Utrecht dd. 15 februari 2021)

### Toelichting

Hieronder volgt een opsomming met verwijzing naar afbeeldingen in volgorde van prioriteit naar grootste effect op golfslagdemping in het kader van veiligheid, behoud van vaarprofiel en gering onderhoud, met extra mogelijkheid tot wateropslag of buffer in een natuurlijke omgeving met oog voor milieu, flora, fauna en gebruikers van de rivier de Eem.

Met dank aan *technisch deskundigen* van Royal HaskoningDHV, TU Delft en Rijkswaterstaat; *afbeeldingen zijn ontleend aan het Handboek milieuvriendelijke oevers van Rijkswaterstaat en projecten 'Ruimte aan de rivier' en internet.* Hierbij een link naar de topografische, resp. interactieve waterkaart van het stroomgebied: [hemus.nl/eem/eemkaart.jpg](https://hemus.nl/eem/eemkaart.jpg) en: <https://knrb.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=b712979a8bc34d538cc149297c7393cf>

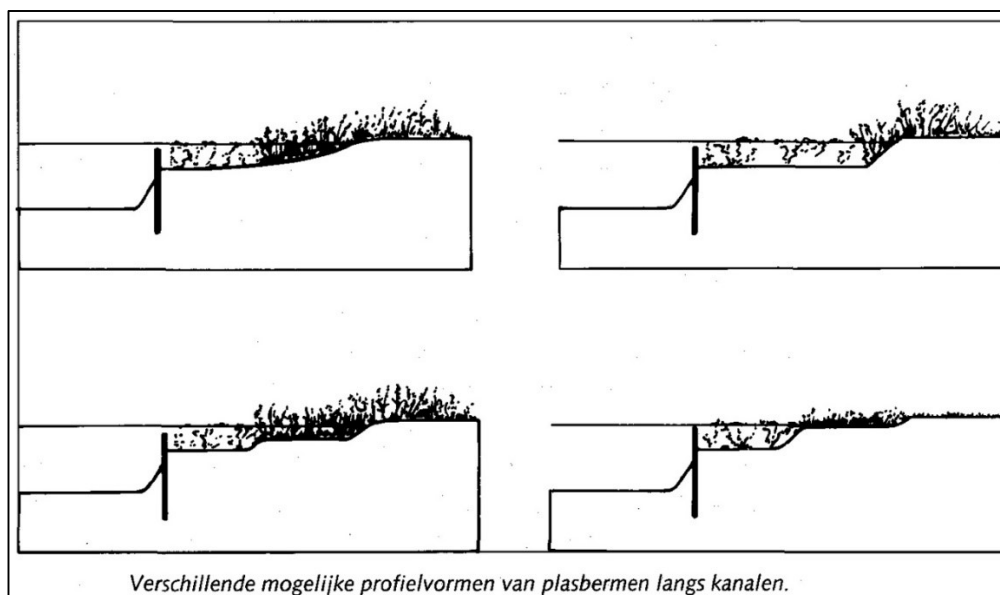
### Uitgangspunten

- optimale golfslagdemping (preventie van ongevallen bij watersporters)
- behoud vaarprofiel met gering onderhoud voor de beroepsvaart
- natuurlijke oevers in een beschermd riviergebied met toekomstbestendig milieu- en waterbeheer

### Mitigerende oplossingen voor de bestaande situatie en het toekomstig beleid (2022 – 2030):

1. het *omvormen van bestaande damwanden (ofwel aanpassen van geplande) door het aanleggen van vooroevers* met materiaal dat geplaatst wordt *direct op, of tegen de bestaande (of geplande) stalen damwanden.*

Hiertoe kunnen de bestaande damwanden *dieper worden ingeslagen, ofwel afgezaagd worden tot onder het gemiddelde laagste winterwaterpeil.* Dit kan op vrijwel het gehele traject langs de Eem, uitgezonderd bij fabrieken of kunstwerken waar geen enkele ruimte hiervoor bestaat. Langs beide oevers van de Eem is op meerdere locaties al een tracé aanwezig van een smalle strook (soms zelfs brede) plasberm achter de damwanden, zodat er ruimte is voor het aanleggen van een vooroever – **zie afbeelding 1** (bron 5.11).



**Afbeelding 1** (bron 5.11)

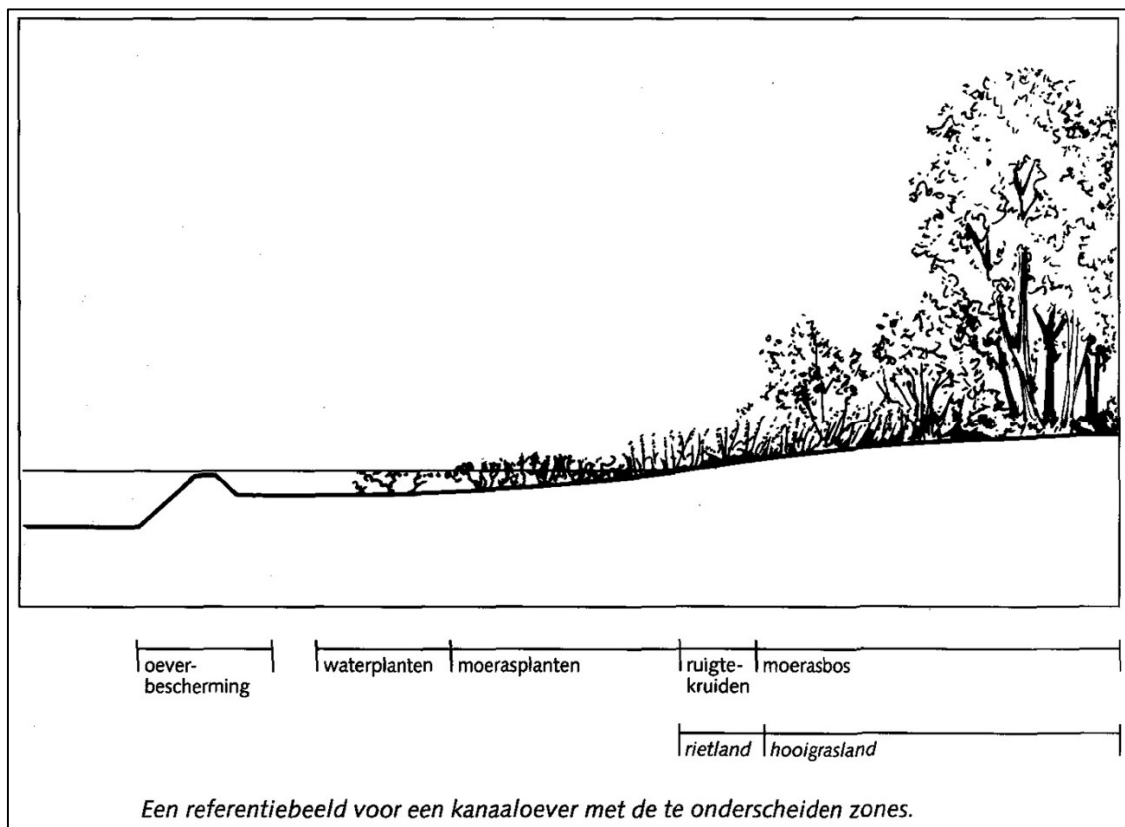
Dit biedt een optimale oplossing voor alle drie uitgangspunten, omdat hiermee bestaande damwanden op de huidige posities grotendeels behouden blijven (al dan niet met deksloof), die niet roesten(!) indien ruim onder het waterpeil gebracht. Het dieper inslaan van bestaande damwanden, of het afzagen onder het laagste waterpeil vormt technisch een uitdaging, maar ongetwijfeld vinden de aannemers hiervoor een oplossing.

Voor het markeren als vaargeul en het beschermen van (roei)boten tegen aanvaring van de afgezaagde of omlaag gebrachte damwanden, kan *op* die deksloof, ofwel *hiertegen* een pakket materiaal aangebracht worden (hetzij aan de 'binnenkant'/ rivierzijde, hetzij daarachter op de ondiepe bodem aan de 'buitenzijde' in de al aanwezige plasberm), zodanig dat deze zichtbaar boven het gemiddelde zomer waterpeil uitsteekt - zie foto 1 en 2.



**Foto 1 en 2**

Op die wijze ontstaan zones met vooroevers als golfabsorberende rand, waarbij hoge golven deels hierover kunnen slaan en golfenergie mooi uitdempt tegen het aangebrachte materiaal of in het daarachter gelegen riet – zie afbeelding 2 (bron 5.2); afbeelding 3 (bron 4.14) en foto 3 en 4.



**Afbeelding 2** (bron 5.2)



Afbeelding 4.14

De Gelderse IJssel bij Scherenwelle.

Langs de oostoever van de Gelderse IJssel bij Scherenwelle (in de buurt van Wilsum) zijn in 1991 strekdammen aangelegd om de achteruitgang van de rietvegetatie in de kribvakken te stoppen. Drie materialen worden getest op hun bruikbaarheid voor strekdammen in rivieren, te weten blokkenmatten (foto links), schanskorven en een dubbele palenrij gevuld met rijshout (foto rechts).

**Afbeelding 3** (bron 4.14)



**Foto 3**



**Foto 4 (bestaande situatie damwand)**

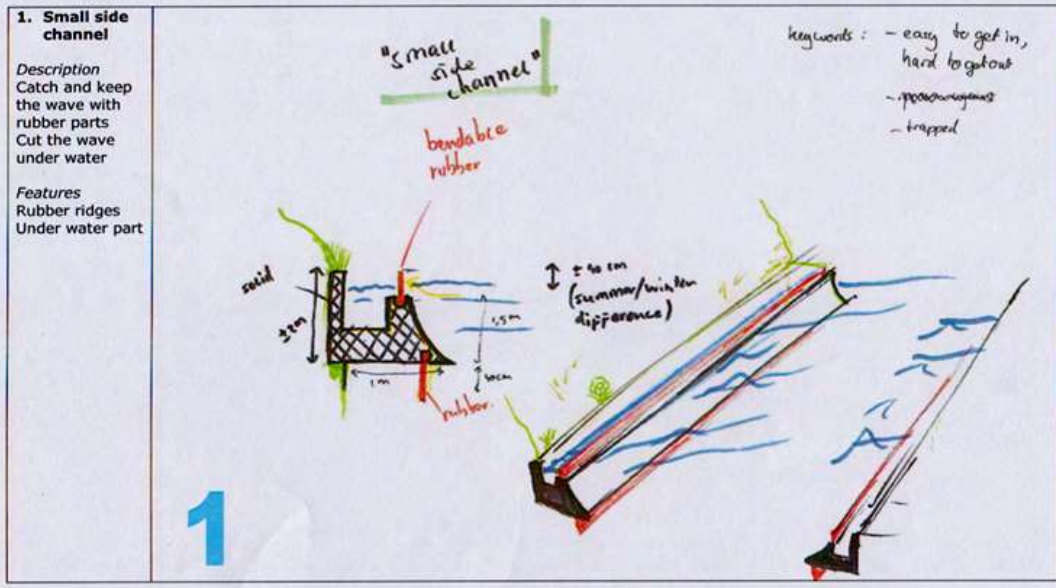
Als golfabsorberend materiaal tegen de stalen damwand valt te denken aan:

- stortstenen (zie foto 1 en 3),
- draadkorven met breuksteen (zie foto 2),
- open blokken met begroeiing (zie afbeelding 3 – bron 4.14),
- houten palen met een pakket rijshout (zie afbeelding 3 - bron 4.14),
- nautilusrollen (kokosrollen met zaad van oeverplanten) zie link: <https://www.nautilusecosolutions.com/producten/aqua-flora-rollen/>
- of een rubberen rand onder de waterlijn - **zie schets 1**.



## Concepts

After clustering at least one concept per cluster has been detailed and presented with key-words on A3. The results are shown below.



Schets 1

Het nieuwe pakket absorberend materiaal dat boven het gemiddelde waterpeil uitsteekt als markering, vormt samen met de aanwezige al bestaande begroeiing achter de damwanden en plasberm voor een *optimale golfslagdemping*. Dit is waar mogelijk of wenselijk nog te combineren met een smalle strook stortstenen, die voorkomt samen met het riet ook erosie van de daarachterliggende dijk of oever. De reeds bestaande openingen in de huidige damwanden, bedoeld als uittredeplaatsen voor wild, vogels of als paaiplaatsen voor vissen, kunnen overal gewoon gehandhaafd blijven. Langs vrijwel de gehele oevers van de Eem is nu al voldoende ruimte aanwezig voor een smalle plasberm met begroeiing – zie voorbeelden van **foto 4 en 5** hieronder van de bestaande situatie ter hoogte van de waterzuivering waar de damwand kan worden omgevormd tot een smalle vooroever.



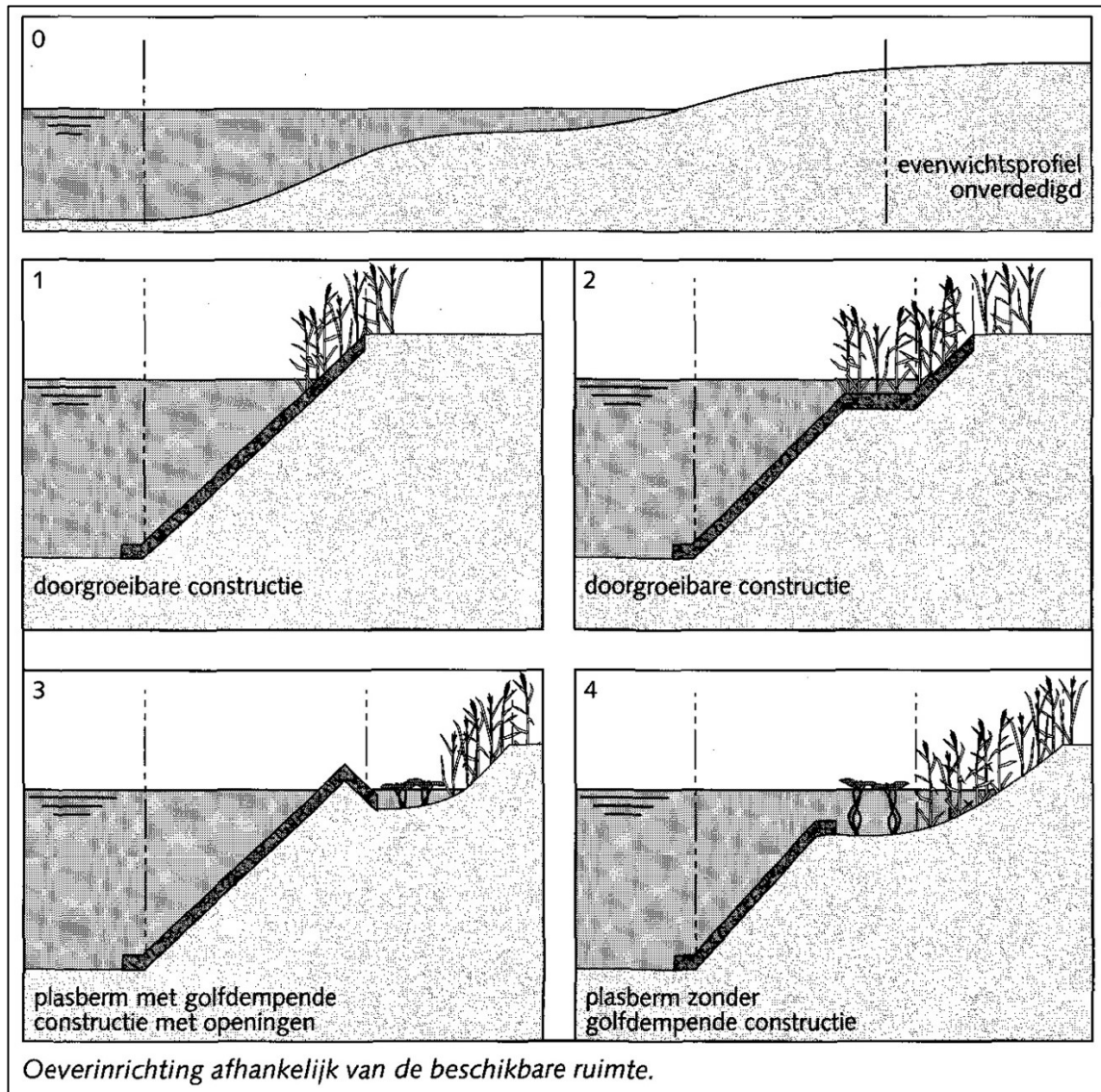
Foto 4 (herhaald)



Foto 5 (bestaande situatie)

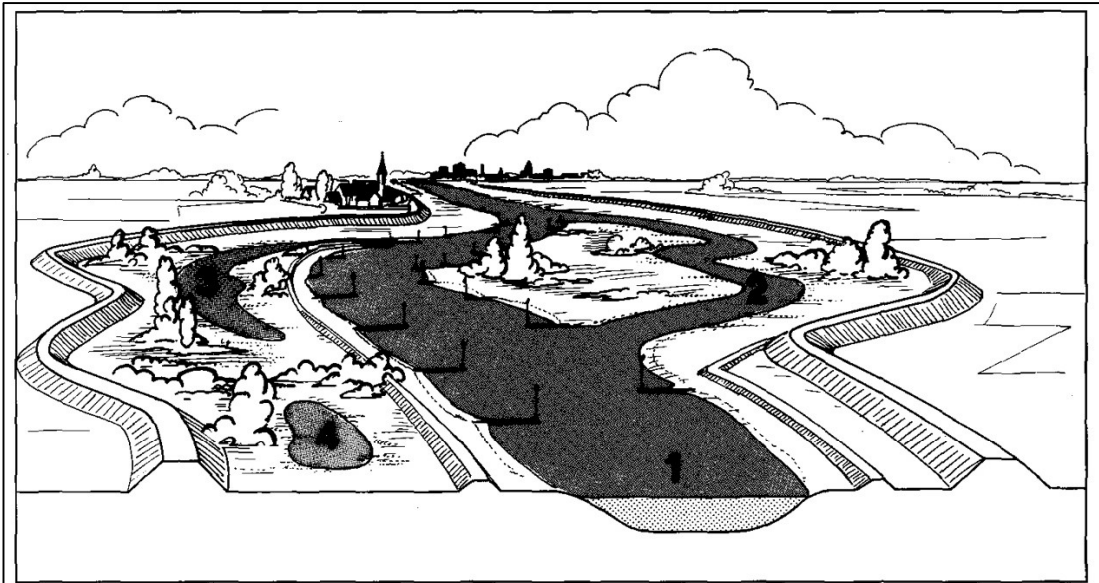
- Als toekomstbeeld voor de beleidsvisie 2022 – 2030 kan gedacht worden aan het direct maken van *vooroevers* op de geplande locaties waar nog vervanging van de houten beschoeiing zal plaatsvinden, waarbij dan het *schuin inslaan* van *kortere* stalen damwanden (of ander materiaal) preventief zal werken, omdat hierdoor een klein talud ontstaat als golfdemping. Eventueel kan bij onvoldoende ruimte hiervoor, een verticale damwand worden ingeslagen die ook in z'n geheel onder het gemiddelde winterwaterpeil ligt en waarvan het bovenste deel vooraf is geperforeerd met openingen die zorgdragen voor zowel golfdemping als markering.

Bij een talud dat is opgebouwd uit alternatief materiaal met een bovenste open structuur waarin begroeiing geplaatst wordt, ontstaan fraaie (voor)oevers, waar mogelijk met een plasberm daarachter – **zie afbeelding 4** (bron 4.4)



**Afbeelding 4** (bron 4.4)

3. Het graven van **nevengoulen** of een poel in drassig weiland of natuurgebied, is ook effectief in golfslagdemping en als waterbuffer. Dit kan als mitigerende oplossing voor de bestaande situatie, of als suggestie worden opgenomen in de beleidsvisie 2022 – 2030. Wellicht is dit mogelijk op enkele locaties waar geen vooroever gemaakt kan worden, of een damwand dieper geplaatst, maar waar een effectieve golfslagdemping uitermate gewenst is, zoals bij de Malebrug als verbinding naar de achterliggende plas ten *westen* van de Eem, met drainage via de stuw die in de Kleine Melm uitkomt, of verder stroomafwaarts ten *zuidoosten* van de Grote Melm waar al een brede plasberm aanwezig is, of nog verder vanaf de Grote Melm richting het gemaal Zeldert aan de *oostoever* ter hoogte van de daar aanwezige brede plasberm, of op andere locaties waar een combinatie gemaakt kan worden met natuur- en milieubelangen, zonder recreatie drukte. – **zie afbeelding 5** (bron 4.3).



Afbeelding 4.3

(naar J. Gorter uit Smit en Van Urk, 1987).

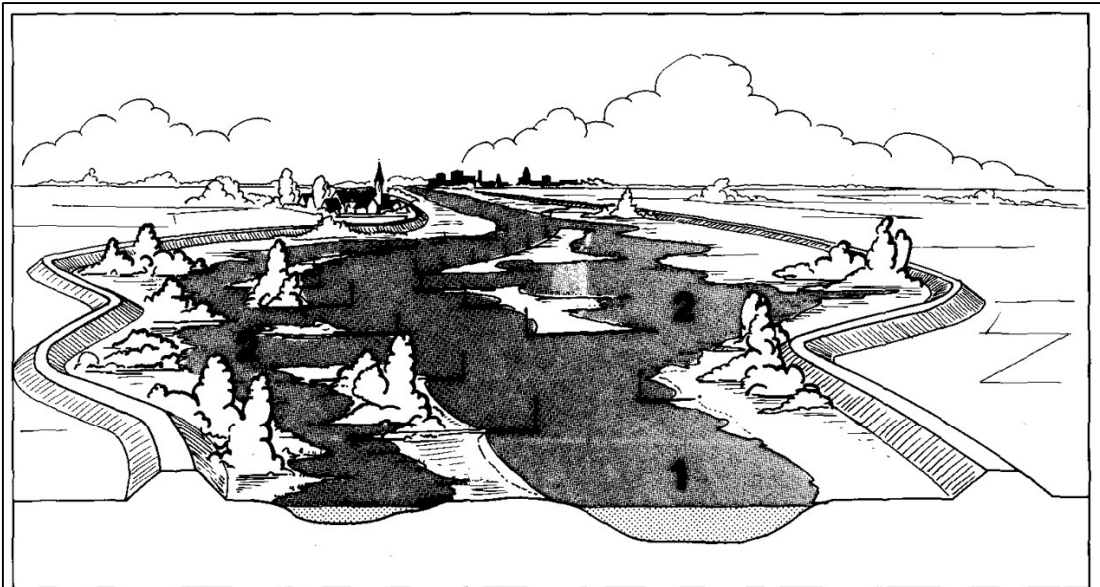
De hiervoor beschreven wateren zijn allen in deze tekening te zien. In Nederland zijn nevengeulen (2) (nog) zeldzame verschijningen. Nevengeulen kunnen worden aangelegd op enkele plaatsen waar de scheepvaart en de waterhuishouding dit toelaat. In deze nevengeulen kan ruimte gegeven worden aan moerasvegetaties en rivierbegeleidend bos langs rivieren.

**Afbeelding 5** (bron 4.3)

4. Brede **openingen** maken in de damwanden (of nevengeulen) op diverse locaties, dit als verbinding naar de daarachterliggende plasbermen door het **verwijderen van bestaande** damwandpanelen, of het niet plaatsen in de nieuwe aanleg. Dit is een mitigerende oplossing die op korte termijn gerealiseerd kan worden op enkele locaties, zoals onder punt 3 genoemd. Het geheel krijgt een fraaiere, natuurlijker aanzien met goed behoud en markering van de vaargeul, indien deze aanpak wordt gecombineerd met het omvormen van de resterende damwanden naar een begroeide vooroever uit het voorstel onder punt 1 – **zie foto's 1 en 3 en afbeelding 6** (bron 4.4)



**Foto 1 en 3** (beide herhaald)



Afbeelding 4.4

(naar J. Gorter uit Smit en Van Urk, 1987).

*Een verdergaande ingreep is het (plaatselijk) verwijderen van zomerdijken. Op deze plaatsen kunnen (weer) moeras vegetaties en rivierbegeleidende vloedbossen tot ontwikkeling komen. Voor de ontwikkeling van een waardevolle natuur zal echter de waterkwaliteit van onze rivieren sterk moeten verbeteren.*

**Afbeelding 6** (bron 4.4)

5. Andere mitigerende oplossingen voor de bestaande stalen damwanden zijn het bevestigen van bij voorkeur *schuin geplaatste roosters*, daar waar geen ruimte is voor de eerdergenoemde meest effectieve methoden, dus op locaties rondom kunstwerken, dijken of langs fabrieken of erfgronden met beperkingen voor het aanleggen van natuurlijke (voor)oevers.

Uit de (mondeling overgebrachte en op huidige ervaring gebaseerde) testresultaten van 2014 bij de bocht voorbij de Malebrug, kwamen de kratjes als het minst effectief naar voren (bovendien te milieubelastend). Ook bieden de verticaal geplaatste roosters met kleine openingen niet veel soelaas. Wellicht zijn effectievere keuzes te maken uit voorbeelden van schetsen uit eigen studie – **zie schets 1, 3, 4, 5, 6 en 7.**

**1. Small side channel**

**Description**  
Catch and keep the wave with rubber parts  
Cut the wave under water

**Features**  
Rubber ridges  
Under water part

keywords : - easy to get in,  
hard to get out  
- porous  
- trapped

"small side channel"

bendable rubber

solid

2m

1m

0.5m

10cm

± 40 cm (summer/winter difference)

rubber

Schets 1

**3. The hinge**

**Description**  
A semi-floating object splits, locks and absorbs the waves

**Features**  
Semi-floating objects  
Hinge  
Energy generation (?)

THE HINGE

hinge

plate

floaters

side view

what is the height?

totally floating

option ①: wave-return is restricted.

option ②: waves split up.

open

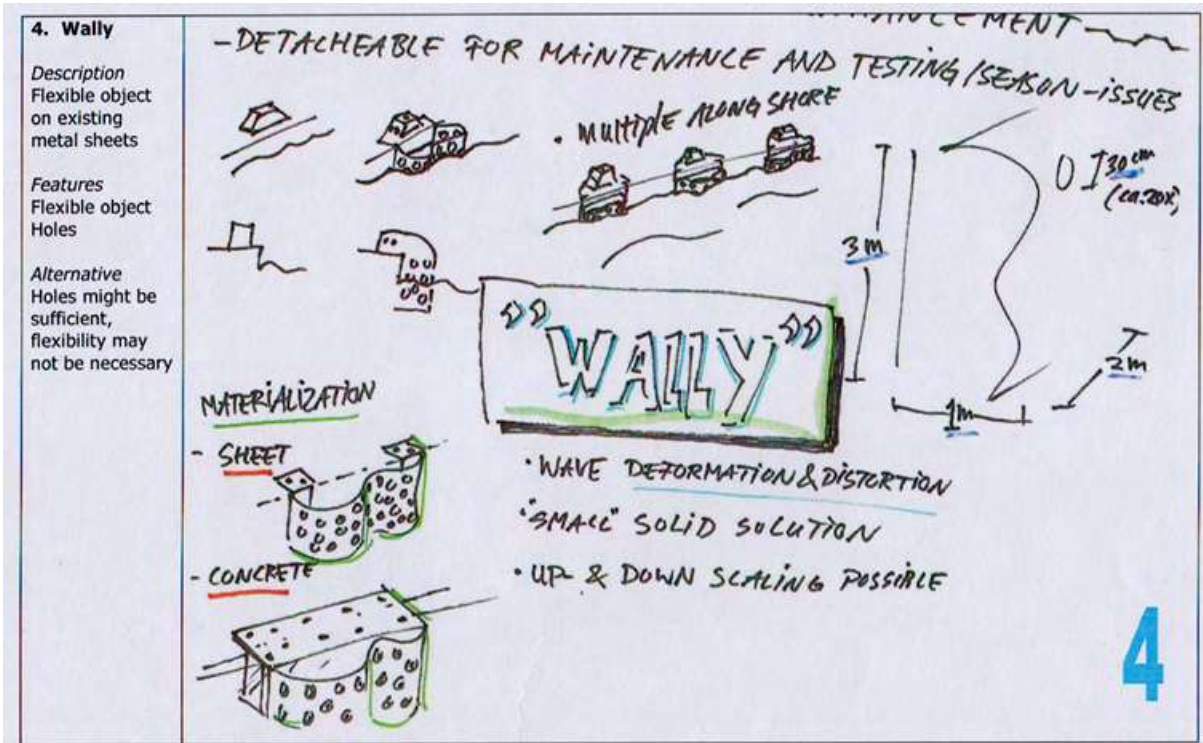
closed

option ③: partly open, so the return follows different route.

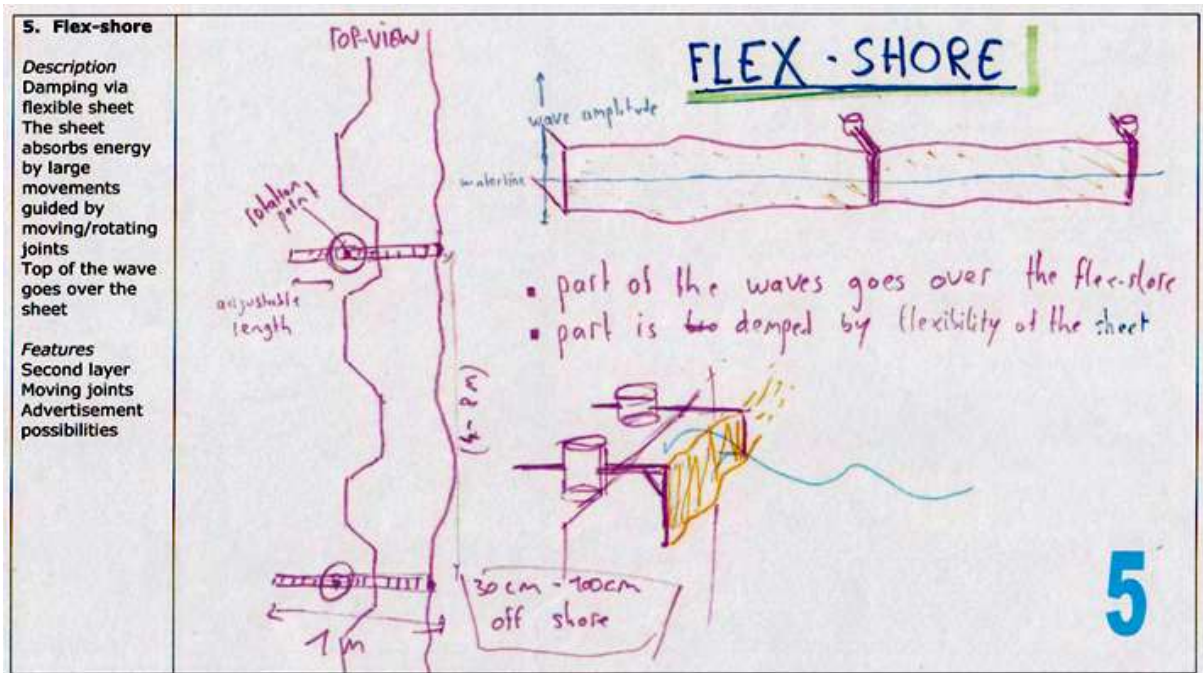
a 3D view of the solution

3

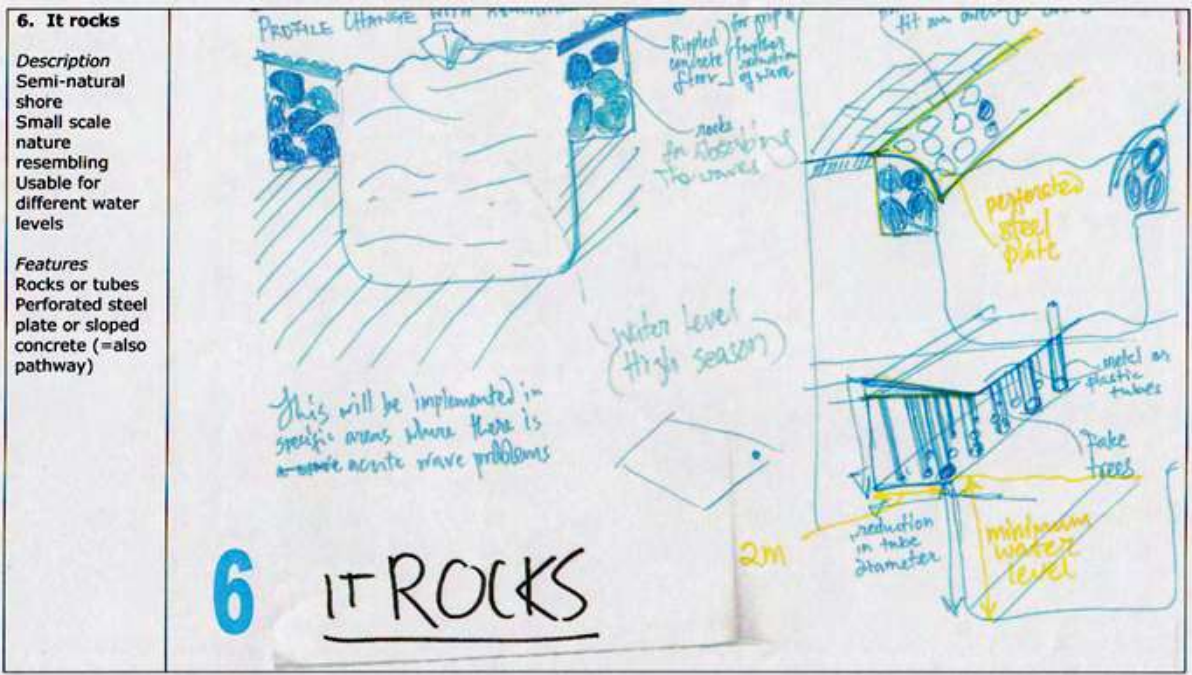
Schets 3



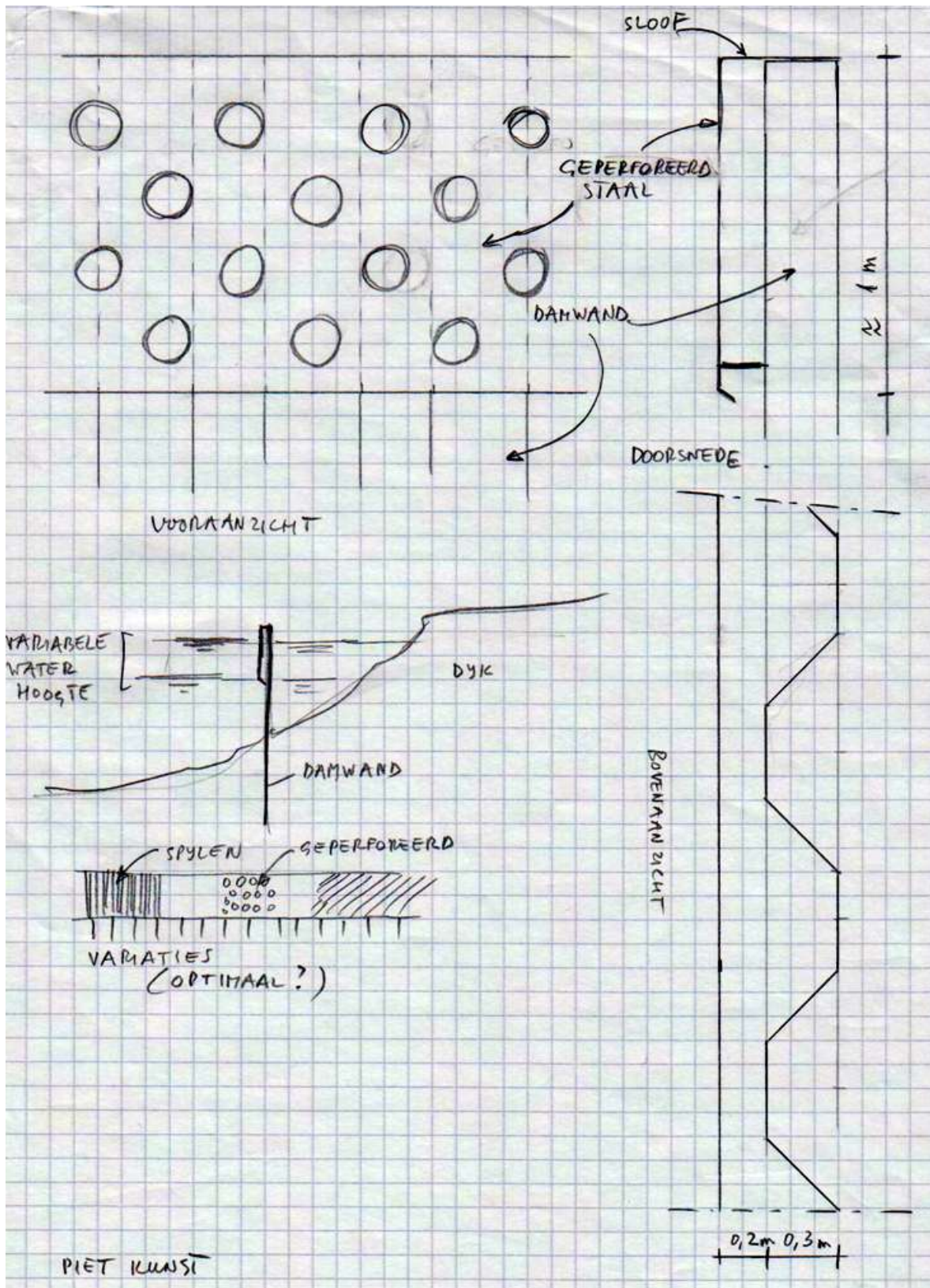
Schets 4



Schets 5



Schets 6



Schets 7, geperforeerde platen



6. Alle vormen van oeverbepanting, of dit nu is op vooroevers, een talud of achter de bestaande, diep ingeslagen damwanden, hebben een gunstige golflagdemping, conform de tekst uit het *Handboek milieuvriendelijke oevers* van Rijkswaterstaat – **zie afbeelding 7** (bron pag. 126).

#### Planten als oeververdediging

Bij geringe tot matige belasting van de oever is een oeververdediging mogelijk met levende materialen.

Planten zoals biezen, riet, liesgras en sommige struiken en bomen kunnen in combinatie met andere soorten zorgen voor een golfdempende werking en met hun wortels voor een wapening van de grond. Een voldoende brede gordel, een goede conditie van de planten, goed onderhoud en de juiste omgevingsfactoren voor de betreffende vegetatiegordel bepalen de groei en daarmee de mogelijkheden voor de golfdemping.

Plantengroei in kanalen kan bijvoorbeeld gestimuleerd worden door:

- > Beperken van de belasting op de oever door de scheepvaart door:
  - vermindering van de vaarsnelheid;
  - de vaarafstand tussen schip en oever te vergroten;
  - verminderen van de scheepvaartintensiteit en/of de scheepslading;
  - het plaatsen van een oeververdediging voor de oever.
- > Vergroting van de demping van golven in het vaargedeele zelf door golfdempende constructies of taludvormige constructies in plaats van verticale. Zie bijlage 6.
- > Een zo constant mogelijk waterpeil of een bij de natuurlijke variatie aansluitend peil (in het vroege voorjaar hoog, daarna afnemend).

Als de spontane ontwikkeling van de vegetatie niet of niet snel genoeg tot stand komt kan men inheemse planten aanbrengen. Informatie over de eisen en geschiktheid van de diverse soorten en de manieren van aanplant en onderhoud staan vermeld in bijlage 3, 6, 7 en 8.

#### **Afbeelding 7** (bron pag. 126)

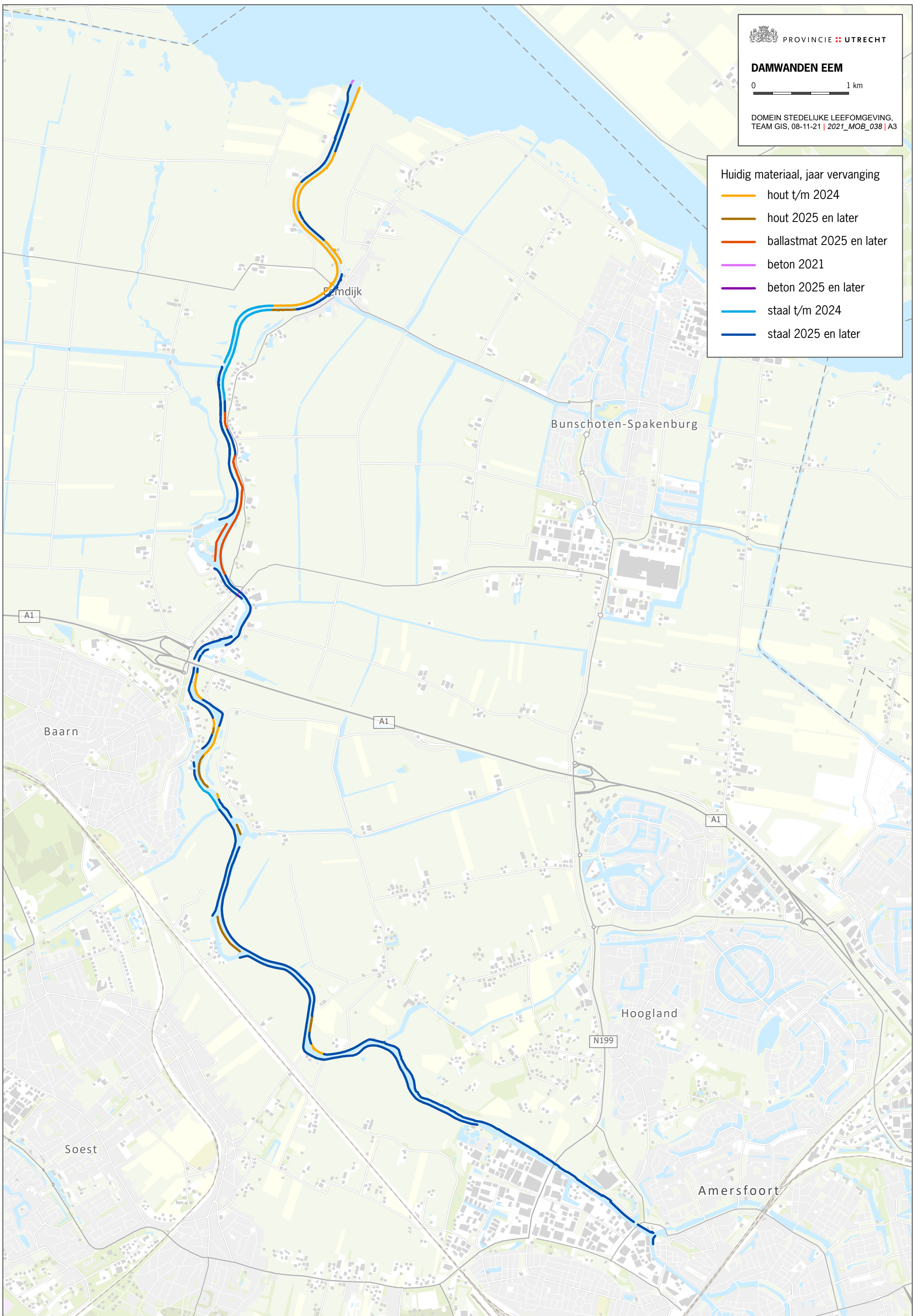
7. Tot slot en in aanvulling op alle eerdergenoemde voorstellen is het verlagen van de *vaarsnelheid voor gemotoriseerd* vaarverkeer (met name van recreanten) tot **maximaal 6 km/uur** op diverse trajecten met onoverzichtelijke bochten of voor bruggen de meest goedkope en effectieve manier in preventie van ongevallen en veiligheidsrisico's, omdat dit directe vermindering geeft van de ontstane extra golflag met langdurig heen- en weerkaatsen tussen harde damwanden.

DAMWANDEN EEM

0 1 km

DOMEIN STEDELIJKE LEEFOMGEVING,  
TEAM GIS, 08-11-21 | 2021\_MOB\_038 | A3

- Huidig materiaal, jaar vervanging
- hout t/m 2024
  - hout 2025 en later
  - ballastmat 2025 en later
  - beton 2021
  - beton 2025 en later
  - staal t/m 2024
  - staal 2025 en later



## Notitie

**Aan** : Provincie Utrecht  
**Van** : ir. T. Pauli en ing. O.C. Bakker  
**Datum** : 30-07-2021  
**Documentnr.** : 41583-NOT-01  
**Betreft** : Haalbaarheidsonderzoek verlaagd aanbrengen damwand langs de Eem

**Nebest B.V.**

Marconiweg 2  
4131 PD Vianen  
Postbus 106  
4130 EC Vianen

T 085 489 01 00  
F 085 489 01 01  
E info@nebest.nl  
I www.nebest.nl

### 1 INLEIDING

Provincie Utrecht (hierna PU) is bezig met de vervangingsopgave van damwanden langs de Eem 2021. Er staat gepland om op zes locaties langs de Eem damwanden te vervangen. De huidige houten damwanden zullen worden vervangen door stalen profielen.

Naast de beroepsvaart wordt de Eem ook gebruikt door leden van Roeivereniging "BWV De Eem". De roeiers ondervinden hinder van golfslag die mogelijk wordt veroorzaakt door het terugkaatsen van golven nadat deze op de stalen oeverbescherming reflecteren, zogenaamde "reflectiegolven". Deze reflectiegolven bereiken de roeiers in dwarsrichting, waardoor ze mogelijk kunnen omslaan.

PU heeft Nebest gevraagd onderzoek te verrichten naar de voor- en nadelen van het lokaal verlagen van het kopniveau van de damwanden naar bij voorkeur -0.20 of -0.30 NAP. Het gewenste effect zal ervoor moeten zorgen dat in de zomermaanden de damwaden zich onder het waterpeil bevinden en dus minder tot geen reflectiegolven veroorzaken.

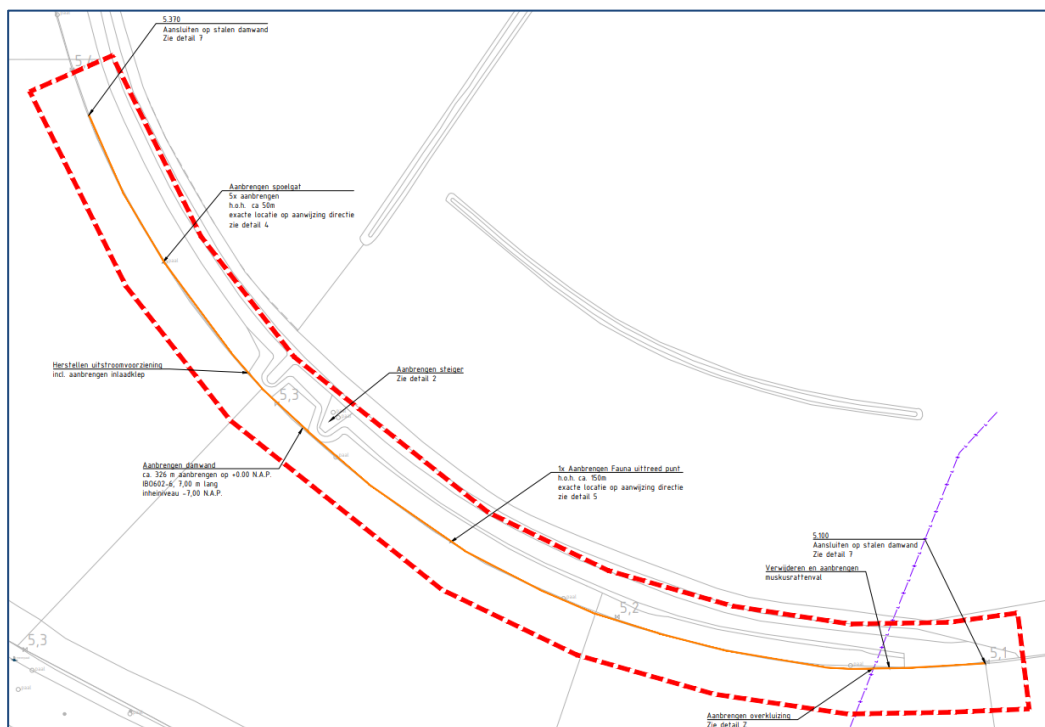
Het onderzoek zal zich op aanwijzing van PU richten op locatie 3 (Figuur 1.2: Nieuwe situatie) nabij de Hooghorsterweg 1 te Hoogland. In deze notitie wordt de haalbaarheid, inclusief uitvoeringsmethode en risico's, van het plaatsen van een verlaagde damwand onder de waterlijn onderzocht.

Locatie 3 is een traject van circa 326 m lang en bevindt zich in een bocht. Achter de damwand is sprake van een natuurvriendelijke oever, bestaande uit een plas-drasberm met rietbegroeiing gevolgd door agrarische grond (Figuur 1.1: Bestaande situatie).



Figuur 1.1 Bestaande situatie locatie 3





Figuur 1.2: Nieuwe situatie locatie 3

## 1.1 Relevante documenten

Nr.	Doc.nr	Omschrijving	Door	Datum
01		Constructiemethoden voor meer natuurlijkvriendelijke oevers: Leidraad voor het realiseren van bestaande en nieuwe verticale oeversverdedigingen juist onder de waterlijn	Ingenieursbureau Van 't Hoff bv te Zeist	Juli 1997
02		Richtlijnen Vaarwegen 2020	Rijkswaterstaat	31-07-2020
03		Richtlijnen Scheepvaarttekens	Rijkswaterstaat	December 2008
04		Fauna-uitstapplaatsen	Dienst Weg- en Waterbouwkunde	1995

Tabel 2.1: Relevante documenten

## 1.2 Waterstanden Eem

Op de Eem worden twee waterstanden gehanteerd:

- zomerpeil: NAP - 0,20 m (van 1 april tot 1 oktober)
- winterpeil: NAP - 0,40 m (van 1 oktober tot 1 april)

De rivier De Eem verzorgt de waterafvoer van het Vallei- en Eemgebied naar het Eemmeer. De stroomsnelheid bedraagt meestal 0,03 tot 0,10 m/sec.

Afwijkingen van het gemiddelde waterpeil en de stroomsnelheid kunnen optreden, waarbij vooral windkracht, windrichting en hoeveelheid neerslag van invloed zijn.

## 2 HAALBAARHEIDSONDERZOEK

In dit hoofdstuk worden de uitvoeringsmogelijkheden en risico's belicht van het verlaagd aanbrengen van de damwand. De volgende aspecten zijn beoordeeld:

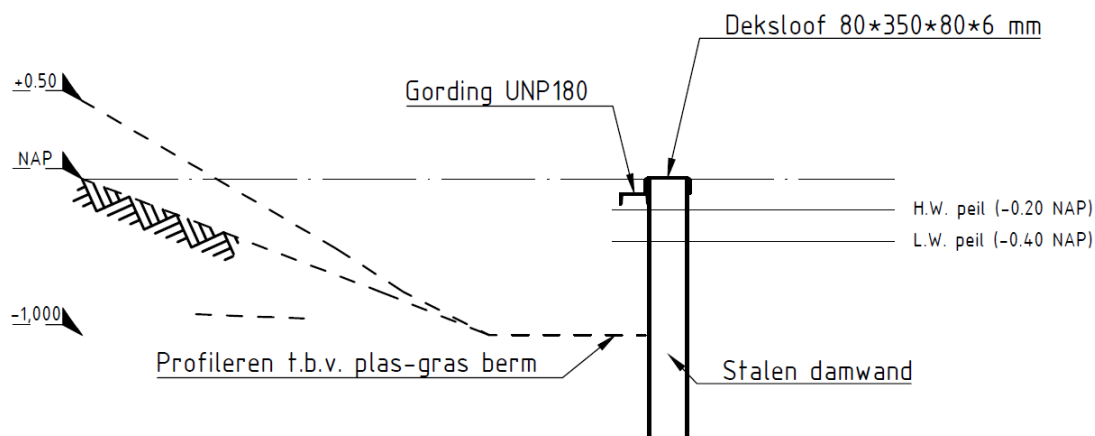
- Uitvoerbaarheid.
- Constructieve veiligheid.
- Nautische veiligheid.
- Erosie.
- Bebaking/bebording.

Een principe doorsnede van de damwandconstructie is weergegeven in Figuur 2.1 Principe doorsnede. PU heeft aangegeven het kopniveau van de damwanden te willen verlagen naar bij voorkeur -0.20 of -0.30 NAP. Het huidige kopniveau van de damwand is 0.00 NAP; het betreft dus respectievelijk een verlaging van 20 of 30 cm.

De damwandconstructie heeft voornamelijk een oeverbeschermende functie en in mindere mate een grondkerende functie. De deksloof is aanwezig voor esthetische en veiligheidsoverwegingen. De gording aan de achterzijde is ter bescherming van de damwand op vervorming bij een aanvaring. Het bodemniveau van de Eem varieert; het bodemniveau volgens de legger is -3,80 NAP.

Aan de achterzijde van de damwand bevindt zich een plas-drasberm of maaiveld al dan niet met talud. Het maaiveldniveau varieert doorgaans van -1,00 tot + 0,50 NAP.

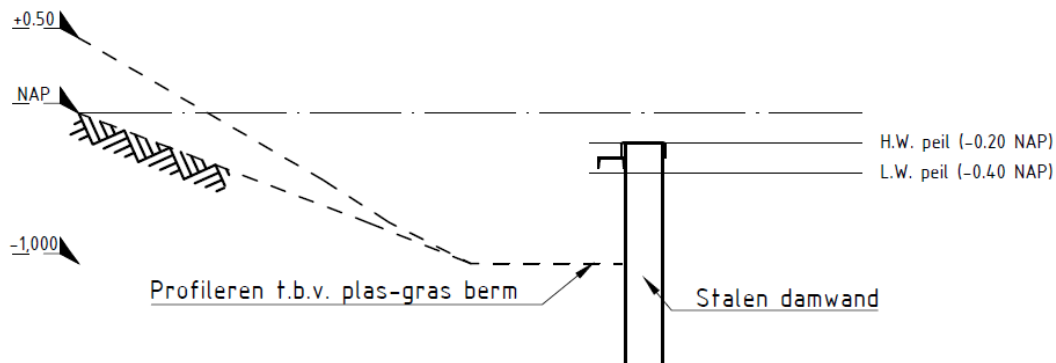
Bij een kade of weg is sprake van een grondkerende constructie en is de principe doorsnede conform Figuur 2.1 Principe doorsnede niet van toepassing.



### Principe detail

schaal 1:50

Figuur 2.1 Principe doorsnede

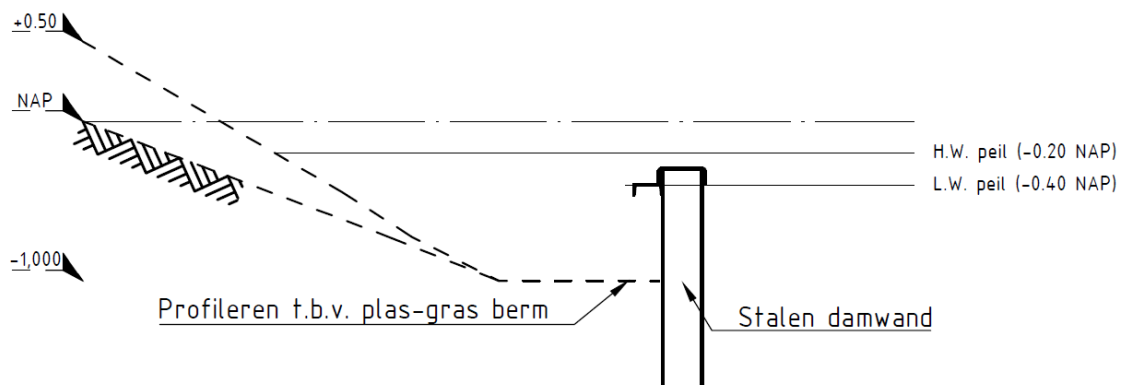


## Principe detail

schaal 1:50

Situatie verlagen naar -0.20 N.A.P.

Figuur 2.2 Situatie damwand verlaagd naar -0.20 NAP



## Principe detail

schaal 1:50

Situatie verlagen naar -0.30 N.A.P.

Figuur 2.3 Situatie damwand verlaagd naar -0.30 NAP

### 2.1 Uitvoerbaarheid

De hieronder genoemde uitvoeringsmogelijkheden zijn gebaseerd op een leidraad voor het aanbrengen van oeververdedigingen onder de waterlijn [01]. Volgens deze leidraad kunnen damwanden, eventueel met hulpstukken, worden aangebracht tot enkele centimeters onder de waterlijn. De belangrijkste knelpunten hierbij zijn het aanbrengen van de gording en de deksloof. Onderstaand zijn de bestijgingsmogelijkheden in den droge of den natte opgesomd.

#### 2.1.1 Droge uitvoering

- Aanbrengen van de deksloof en gording bij een lage waterstand of uitstellen tot de wintermaanden.
- Het droogzetten/afdammen van een deel van de watergang, eventueel met een bouwput.
- De bestaande constructie als tijdelijke kade gebruiken en erachter een verlaagde nieuwe oeverbescherming construeren.

### 2.1.2 Natte uitvoering

- Met behulp van een hulpconstructie personeel in het water staan. Vervolgens met praktische oplossingen de deksloof en de gordingen aanbrengen.
- Inzet duikers voor het bevestigen van de gording en de deksloof onder water. Speciale voorzieningen moeten getroffen worden om onder water kracht bij te zetten, afhankelijk frame, eventueel aan een kraan.
- Het aanbrengen van een geprefabriceerde damwandsloof of afdekprofiel zorgt ervoor dat het werk onder water beperkt wordt. Indien een stalen gording en deksloof toegepast worden, dient deze onder water gemonteerd te worden. De deksloof en gording hebben geen constructieve functie, waardoor deze praktisch aan de damwand gelast kunnen worden.

### 2.1.3 Dekslloof en gording niet aanbrengen

De deksloof verzorgt de afwerking van de damwandkop en heeft geen directe constructieve functie. Het is vanuit een puur technisch (niet esthetisch) oogpunt mogelijk om de deksloof niet aan te brengen.

De gording verzorgt geen directe constructieve functie, maar draagt wel bij aan het spreiden van de krachten en het verlagen van de vervorming aan de bovenkant. Het is vanuit technisch oogpunt mogelijk om de gording niet aan te brengen.

## 2.2 Constructieve veiligheid.

Het verlaagd aanbrengen van de damwanden zorgt voor een lokaal lagere grondkerende hoogte; dit heeft een positief effect op de stabiliteit. De deksloof en gordingen hebben geen directe constructieve functie en dragen daarom niet bij aan de constructieve veiligheid. Het verlagen van de damwanden heeft daarom geen directe consequenties voor de constructieve veiligheid van de damwanden.

Bij de optie dat de gording komt te vervallen zal de damwand bij een aanvaring meer vervormen dan bij het huidige ontwerp conform Figuur 1.1 Bestaande situatie locatie 3. Daarnaast is het bij een calamiteit zoals aanvaring niet zichtbaar wat de exacte omvang van de schade is en dus wat hersteld dient te worden.

## 2.3 Nautische veiligheid

### 2.3.1 Veiligheid voor vaartuigen

De nautische veiligheid is beoordeeld aan de hand van het document Richtlijnen Vaarwegen 2020, beter bekend als het Vaarwegreglement. De richtlijn stelt eisen en uitgangpunten voor de beroepsvaart en recreatievaart.

Artikel 3.5.11 lid 2 stelt:

“Hinderlijke golfreflectie kan worden vermeden door een natuurvriendelijke oever aan te leggen. Het rijk vervangt bestaande damwanden alleen door natuurvriendelijke oevers als daarmee de ecologische hoofdstructuur wordt hersteld of er erkende problemen zijn met verdrinkend wild.”

Het bovenstaande suggereert dat het Rijk een beleid hanteert waarbij golfreflectie geen reden geeft tot het aanbrengen van natuurlijke oevers.

Artikel 3.5.11 Lid 3 stelt:

“Het moet duidelijk zijn welk type oeververdediging aanwezig is en waar de begrenzing van het vaarwegprofiel ligt. De taludverdediging moet daarom tot boven de waterlijn worden doorgetrokken.”

Indien de damwanden onder de waterlijn worden aangebracht, komt de nautische functie te vervallen. Hierdoor is het voor de vaarweggebruiker *niet* duidelijk waar het vaarwegprofiel zich bevindt. Daarnaast bevindt de beoogde locatie zich in een bocht, waardoor de verlaging nog eens extra uit het zicht wordt onttrokken. Het is niet uit te sluiten dat een kapitein die niet bekend is met de verkeerssituatie op de Eem mogelijk een talud anticipeert. Mocht dit het geval zijn, dan zal een kapitein zich genoodzaakt voelen om uit te wijken of de bocht breder te nemen. In het geval van inhaalmanoeuvres in de bocht ontstaat er een zeer groot risico op onveilige situaties of aanvaringen.

### 2.3.2 Veiligheid voor personen

Het aanbrengen van damwanden onder de waterlijn creëert een niet-zichtbare onafgewerkte stalen opstand. Roeiers en/of andere gebruikers zoals zwemmers kunnen zich aan dit onzichtbare “mes” bezeren met mogelijk zwaar letsel tot gevolg.

In het geval van een calamiteit waarbij personen te water zijn geraakt ter hoogte van de verlaagde damwand zullen deze personen bij het talud uit het water proberen te klimmen en zich potentieel zwaar kunnen bezeren aan de damwand.

### 2.3.3 Veiligheid voor fauna

Naast mensen kunnen ook dieren, met name watervogels, zich bezeren aan de niet-zichtbare stalen damwand. De Richtlijn Vaarwegen stelt dat ook bij toepassing van natuurvriendelijke oevers fauna-uittreedplaatsen benodigd zijn. Fauna-uittreedplaatsen voorzien ook in de mogelijkheid voor drenkelingen om op de wal te komen, mits deze in lengterichting maximaal hart-op-hart 100 m worden aangebracht.

## 2.4 Erosie

Indien de damwanden verlaagd worden, wordt de achterliggende oever gedurende de zomermaanden, hoogwaterstand -0,20 NAP, blootgesteld aan golfbelasting. De Eem is in hoofdzaak een beroepsvaartgeul voor scheepsvaartklasse CEMT-3. Hierdoor kunnen significante golven ontstaan die erosie van het achterliggende talud veroorzaken.

De beoogde locatie heeft in de huidige situatie veel beplanting staan die de golfslag zal dempen. Er dient wel rekening mee te worden gehouden dat deze beplanting verwijderd wordt voordat de damwanden worden vervangen. Het risico op uitspoeling blijft hier dus reëel, voornamelijk in de eerste jaren na uitvoering.

In Artikel 3.5.11 Lid 3 stelt de Richtlijn Vaarwegen dat natuurvriendelijke oevers niet mogen leiden tot sedimentatie in de vaargeul. Vrijkomende gronddeeltjes kunnen worden gezien als sedimentatie. In dit geval kan het talud bekleed worden met breuksteen en geotextiel. De sortering van de breukstenen is afhankelijk van de golfimpact die voornamelijk afhankelijk is van de strijklengte.

Met de huidige beschikbare informatie is het zeer lastig om te bepalen wat de exacte consequenties en omvang zijn. Om dit te bepalen is aanvullend onderzoek nodig naar de exacte hydrologische situatie. Indien er geen aanvullend onderzoek uitgevoerd wordt, is een monitoringsplan waarin periodieke in-metingen zijn opgenomen benodigd.



## 2.5 Bebording/bebakening

Indien de damwanden tot een niet-zichtbaar niveau worden aangebracht, dient volgens de Richtlijn Vaarwegen minimaal bebording en/of bebakening te worden geplaatst. De borden dienen te worden geplaatst in overeenstemming met de Richtlijn Vaarwegen en de richtlijn Scheepsvaarttekens 2008.

## 3 CONCLUSIE

Vanuit technisch oogpunt kunnen de damwanden tot het gewenste niveau van -0.30 NAP worden aangebracht zonder dat de constructieve veiligheid in het geding komt.

Locatie 3 bevindt zich in een bocht tegenover kanoverhuur "De Kleine Melm". Dit veroorzaakt onoverzichtelijkheid in combinatie met veel onervaren vaarweggebruikers (kano's met dagjesmensen). Een proef uitvoeren bij locatie 3 is hierdoor niet wenselijk.

Indien toch een proef wordt uitgevoerd bij locatie 3, wordt geadviseerd deze niet over de gehele lengte maar over een gedeelte te laten uitvoeren. Een proeflengte van circa 50 meter zal al voldoende zijn om visueel vast te kunnen stellen of het gewenste effect behaald wordt.

De gording kan functioneel komen te vervallen. Indien de gording wel wordt aangebracht, wordt geadviseerd deze aan te brengen door middel van bouten. Vanwege de geringe waterdiepte wordt geacht dat een volledig duikteam niet benodigd is. Een hulpconstructie, zoals een verlaagd platform, zal genoeg werkruimte bieden. De benodigde gaten kunnen vooraf aangebracht worden.

In Tabel 3.1 is een inschatting van de kosten opgenomen voor het aanbrengen van de gording en deksloof. De prijzen zijn gebaseerd op het uitgangspunt van 50 m proeflengte, waarin het aanbrengen van de gording in twee dagen en van de deksloof in één dag wordt uitgevoerd.

Tabel 3.1 Prijsindicatie aanbrengen gording d.m.v. bouten en deksloof lassen.

Omschrijving	Eenmalig in €	Per uur in €	Per dag in €
<b>Aanbrengen gording</b>			
Materiaal			150
Ponton incl. aan- en afvoer	1000		
Kraan en machinist		75	600
Hulpconstructie ponton	500		
Arbeid inclusief toeslag		57	456
Arbeid inclusief toeslag		57	456
<b>Subtotaal</b>			<b>3.162,00</b>
<b>Aanbrengen deksloof</b>			
Materiaal			100
Kraan en machinist		75	600
Hulpconstructie	500		
Arbeid incl. toeslag (lasser)		84	672
<b>Subtotaal</b>			<b>1.872,00</b>
<b>Totaal (2 dagen gording, 1 dag deksloof)</b>			<b>8.196,00</b>

In Tabel 3.2 is een inschatting opgenomen van de kosten voor het aanbrengen van de gording en deksloof onder water met behulp van duikers.

Tabel 3.2 Prijsindicatie aanbrengen gording en deksloof lassen door duikers

Omschrijving	Eenmalig	Per uur	Per dag
<b>Aanbrengen gording</b>			
Materiaal			150
Ponton incl. aan- en afvoer	1000		
Kraan en machinist		75	600
Duikteam			3000
Arbeid		47.50	380
<b>Subtotaal</b>			<b>4.130,00</b>
<b>Aanbrengen deksloof</b>			
Materiaal			100
Kraan en machinist		75	600
Duikteam			3000
Arbeid		47.50	380
<b>Subtotaal</b>			<b>4.080,00</b>
<b>Totaal (2 dagen gording , 1 dag deksloof)</b>			<b>12.340,00</b>

Vanwege de veiligheid en het bijkomende risico op menselijk letsel wordt geadviseerd de deksloof niet te laten vervallen. De deksloof vervult geen constructieve functie en kan worden bevestigd door praktische lassen; dit kan vanaf het verlaagde platform.

Voor alle vaarweggebruikers dient het duidelijk te zijn hoe het profiel van de vaarweg onder water verloopt. Het verlagen van de damwanden kan hier verwarring geven. Het is ter keuze en interpretatie van PU of enkel bebording hierin voldoende duidelijkheid in geeft.

Met betrekking tot het optreden van erosie en de potentiële gevolgen wordt geadviseerd aanvullend onderzoek uit te voeren naar de noodzaak en mogelijkheden voor het aanbrengen van een taludbescherming.