



Modelstudie mitigerende maatregelen varen op ecologie

Modelstudie mitigerende maatregelen varen op ecologie

Hoogheemraadschap van Delfland

31 mei 2024

Project
Opdrachtgever

Modelstudie mitigerende maatregelen varen op ecologie
Hoogheemraadschap van Delfland

Document
Status
Datum
Referentie

Modelstudie mitigerende maatregelen varen op ecologie
Definitief
31 mei 2024
140976/24-007.988

Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

140976
Ir. T. Wilms
Ir. C.H. Clemens

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

H.A. de Jonge MSc, ir. L.M.A. Jordans
Ir. T. Wilms
Ir. T. Wilms

Paraaf



Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden vervaelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Introductie	5
1.2	Doel	5
1.3	Doelgroep	5
1.4	Leeswijzer	5
2	UITGANGSPUNTEN	7
2.1	Eigenschappen typische watergangprofielen	7
2.2	Eigenschappen vloot	9
2.3	Overige uitgangspunten bij de berekening	9
2.4	Kritische belasting (grenswaarden)	10
2.5	Onzekerheden	11
2.6	Context	12
3	METHODE VOOR BEPALEN VAN BELASTINGEN	13
3.1	Introductie	13
3.2	Scheepsgolven en retourstroming	14
3.3	Schroefstraal	19
4	EFFECT VAN VERSCHILLENDE PARAMETERS	21
4.1	Dimensies van de watergang	21
4.2	Type schip	24
4.3	Vaarsnelheid	26
4.4	Afstand tot oever	28
4.5	Motorvermogen	30
4.6	Combinatie afstand tot oever en vaarsnelheid	31
4.7	Samenvatting	34
5	MAATREGELEN	35

6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	36
6.1	Conclusies	36
6.2	Aanbevelingen	37
7	REFERENTIES	39
	Laatste pagina	39
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Factsheets	21
II	Dataset	2
III	Model	2

1

INLEIDING

1.1 Introductie

Het Hoogheemraadschap van Delfland heeft veel watergangen in het beheer waar ook op gevaren wordt, zowel commercieel als recreatief. Dit zijn veelal motorvaartuigen en gemotoriseerd varen leidt onder meer tot stroming, golven en troebelheid waardoor ondergedoken waterplanten, drijvende waterplanten en oeverplanten moeilijk kunnen groeien of verdwijnen. Dit heeft nadelige gevolgen voor de ecologische waterkwaliteit.

1.2 Doel

Het doel van de opdracht is om inzicht te krijgen in maatregelen die de negatieve effecten van varen op de ecologische waterkwaliteit verminderen. Dit wordt gerealiseerd door het uitvoeren van een modelstudie. In de studie worden de effecten van deze maatregelen doorgerekend voor alle watergangen in het bestaande vaarnetwerk van het Hoogheemraadschap van Delfland. Het gaat om type maatregelen als 'afstand houden tot de oever' met als uitwerking bijvoorbeeld het plaatsen van bebording, ballenlijnen, boeien en paaltjes. Andere mitigerende maatregelen die in ieder geval worden meegenomen zijn: beperken van de vaarsnelheid, beperken van het vermogen van de motor, beperken van het aantal vaarbewegingen en afsluiten van vaarwegen in het voorjaar. De modelstudie geeft inzicht in het effect van mitigerende maatregelen en maakt het mogelijk voor het Hoogheemraadschap om de effectiviteit te vergelijken.

1.3 Doelgroep

Dit rapport is geschreven voor het Hoogheemraadschap van Delfland. Het hoofdrapport is gericht op ecologen en waterbouwkundigen. In een deel van de bijlagen wordt de dataset en het model beschreven wat bedoeld is voor data-analisten. Ecologen en waterbouwkundigen kunnen in dit rapport het (mitigerende) effect van verschillende parameters op de belasting van bodem en oevers van watergangen terugvinden. Daarnaast tonen de afbeeldingen het effect van verschillende parameters op de belastingen voor water- en oeverplanten. In deze afbeeldingen zijn ook de kritische belasting grenzen aangegeven voor de water- en oeverplanten.

De factsheets in Bijlage I zijn bedoeld voor ecologen en waterbouwkundigen. Bijlage II en III bevatten informatie over de dataset en het gehanteerde model. Beide bijlagen zijn bedoeld voor data-analisten, die gebruik willen maken van de ontwikkelde Pythontool of hier verder aan willen ontwikkelen.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten voor deze opdracht beschreven voor de dwarsprofielen van drie representatieve watergangen, de eigenschappen van drie typische boten, de kritische belastingen, onzekerheden en context. Hoofdstuk 3 beschrijft de methode voor het bepalen van de belasting door golven en stroming op de oever en bodem. In hoofdstuk 4 worden de effecten van verschillende parameters beschreven op basis van de resultaten van de berekeningen voor de representatieve watergangen en boten.

Hoofdstuk 5 beschrijft de mogelijke maatregelen welke verder zijn uitgewerkt in factsheets in bijlage I. In hoofdstuk 6 zijn de conclusies en aanbevelingen beschreven. In bijlage II is de dataset opgenomen en in bijlage III het model.

2

UITGANGSPUNTEN

2.1 Eigenschappen typische watergangprofielen

De belasting van een boot op waterplanten en bodem hangt sterk af van de eigenschappen van de watergang. Een boot zal in een diepe en brede watergang minder schade veroorzaken dan in een smalle en ondiepe watergang.

Binnen deze opdracht is naar watergangen in het beheergebied van Hoogheemraadschap van Delfland gekeken en de beschrijving van de methode en de effecten is gedaan voor drie representatieve watergangen, namelijk:

- Vlaardingervaart;
- Gantel;
- de Strijp (Rijswijk).

Tabel 2.1 toont de eigenschappen van deze watergangen en afbeelding 2.1, afbeelding 2.2 en afbeelding 2.3 geven de dwarsprofielen weer. Hierbij is de lichtblauwe lijn de waterlijn (NAP -0,43 m) en de bruine lijn het gemeten dwarsprofiel. De zwarte lijn geeft het versimpelde profiel weer dat is toegepast in de berekeningen voor de belastingen. Hierbij is het natte oppervlak gelijk aan het gemeten dwarsprofiel en heeft aan beide oevers dezelfde doorlopende taludhelling van de bodem tot aan de waterlijn.

Verder zijn de drie typen boten die gebruikt zijn in de berekeningen weergegeven in de afbeeldingen, inclusief de schroef.

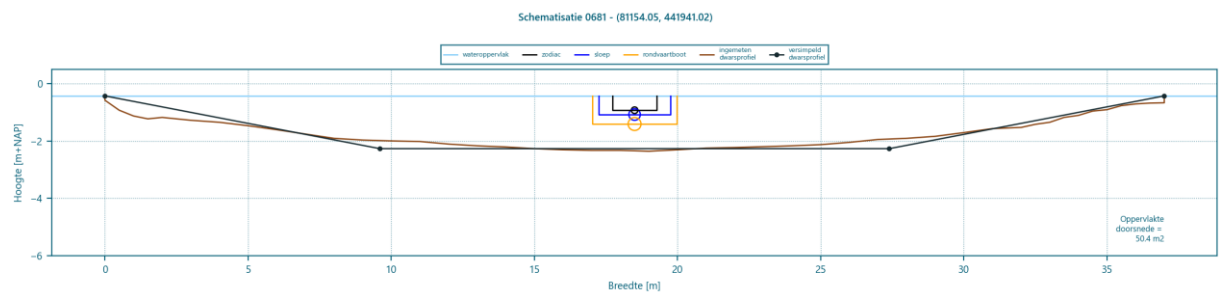
Tabel 2.1 Omschrijving van de typische watergangprofielen

Eigenschap	Profiel 1	Profiel 2	Profiel 3
locatie	Vlaardingervaart	Gantel	de Strijp
dwarsprofiel code	0681	0161	0402
waterniveau [NAP+m]	-0,43	-0,43	-0,43
waterbreedte [m]	37,00	10,50	6,50
bodemniveau versimpeld profiel [NAP+m]	-2,27	-1,82	-1,57
bodembreedte versimpeld profiel [m]	17,79	5,35	2,93
taludhelling versimpeld profiel [1:x]	5,22	1,85	1,59
bodemtype	klei/veen	klei/veen	veen

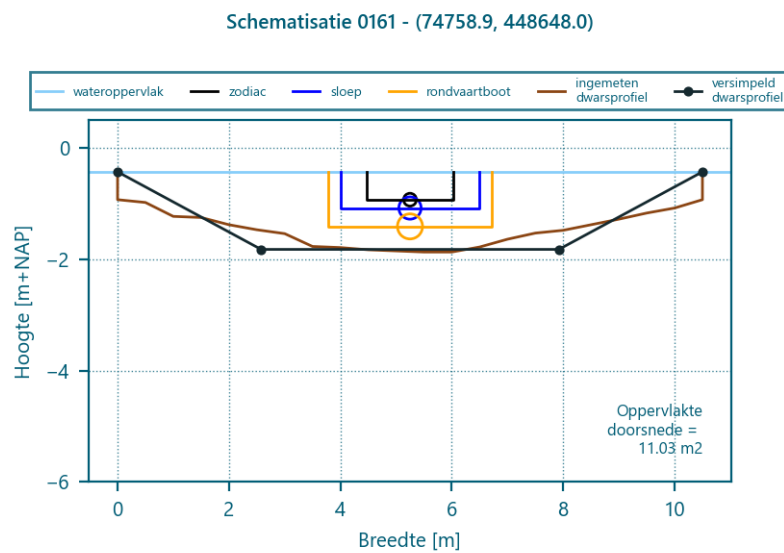
De Vlaardingervaart is een brede watergang waar alle vloottypen doorheen passen. Gantel en De Strijp (Rijswijk) zijn zeer smal waardoor alleen vloottype 1 en 2 er redelijkerwijs doorheen passen. Voor alle watergangen zijn de berekeningen voor alle vloottypen uitgevoerd, tenzij de diepgang van het schip

groter is dan de waterdiepte of wanneer de doorsnede van het schip onder water groter is dan die van de watergang.

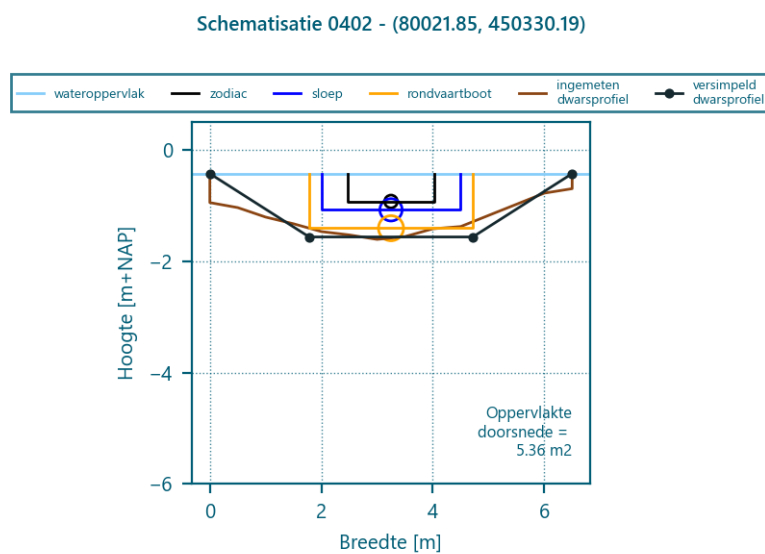
Afbeelding 2.1 Profiel van de Vlaardingervaart (dwarsprofiel met code 0681)



Afbeelding 2.2 Profiel van de Gantel (dwarsprofiel met code 0161)



Afbeelding 2.3 Profiel van de Strijp (Rijswijk) (dwarsprofiel met code 0402)



2.2 Eigenschappen vloot

De belasting wordt bepaald voor drie representatieve vloottypen. Deze vloottypen omvatten eigenschappen die bepalend zijn voor de belasting zoals de lengte, breedte, diepgang, vorm en het motorvermogen van een boot. Deze vloottypen zijn vastgesteld op basis van metingen en praktijkervaringen. Tabel 2.2 geeft de eigenschappen van deze vloottypen weer.

Tabel 2.2 Omschrijving van de vloottypen

Eigenschap	Vloottype 1 - klein	Vloottype 2 - gemiddeld	Vloottype 3 - groot
omschrijving	motorbootje, zodiac, gemotoriseerde vlet	sloep of kajuitbootje	rondvaartboot of schuit
lengte [m]	3,1 ³	6,1 ²	13,16 ¹
breedte [m]	1,55 ³	2,5 ²	2,95 ¹
diepgang [m]	0,5 ³	0,65 ²	0,98 ¹
motorvermogen boegschroef [kW]	niet aanwezig	0,25 ²	5,87 ¹
diameter boegschroef [m]	niet aanwezig	0,11 ²	0,30 ¹
motorvermogen hoofdschroef [kW]	11 ²	38,2 ²	44,1 ¹
diameter hoofdschroef [m]	0,23 ²	0,40 ²	0,45 ³
midscheeps coëfficiënt, afhankelijk van het type schip	1 ³	1 ³	0,9 ³
factor, afhankelijk van de lading van het schip	0,75 ³	0,75 ³	0,8 ³
coëfficiënt, afhankelijk van het type schip	1 ³	1 ³	1 ³

¹ Waarde is gebaseerd op basis van gesprekken en mailconversaties met eigenaar van rondvaart Westland.

² Waarde is gebaseerd op basis van gesprekken, mailconversaties en aangeleverde product specificaties van Bola Maritiem.

³ Waarde is gebaseerd op 'De ecologische meerwaarde van elektrisch varen', [ref. 5].

2.3 Overige uitgangspunten bij de berekening

Voor de beoordeling van de belastingen van de verschillende vloottypen in de drie verschillende watergangen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- 1 de rekenmethodiek voor het berekenen van de belastingen aan de oever en op de bodem volgen uit de Rock Manual (CIRIA, CUR, CETMEF (2007)), en de ontwikkelde rekenmethodieken voor Havenbedrijf Rotterdam (Port of Rotterdam 2018). Daarbij wordt de kanttekening geplaatst dat deze formules primair zijn bedoeld voor beroepsvaart. De coëfficiënten in de vergelijkingen zijn afgestemd op beroepsvaart, terwijl de recreatievaart een andere scheepsvorm kan hebben. Mogelijk passen andere coëfficiënten beter bij recreatievaart. Hierover is echter geen informatie bekend. De toepassing van deze formules op recreatievaart kan leiden tot resultaten die niet overeenkomen met de werkelijkheid en dienen daarom voorzichtig geïnterpreteerd te worden;
- 2 voor de golfbelasting op de oever en de belasting als gevolg van retourstroming is de vorm van het schip en de watergang van belang;
- 3 voor de belasting van de hoofdschroef op de bodem zijn het vermogen, de diameter en de afstand tot de bodem van belang;
- 4 de exacte waarden van de verschillende coëfficiënten die zijn gehanteerd in de sommen zijn op basis van expert judgement;
- 5 er wordt gerekend met één schip in het vaarwegprofiel. Het moment dat een schip een ander schip inhaalt en voorbijloopt wordt 'oplopen' genoemd. Het oplopen van schepen kan resulteren in zwaardere belastingen. Deze zwaardere belasting is kortdurend en treedt zeer lokaal op. Het oplopen heeft geen effect op de golfhoogte, maar alleen op de retourstroming welke hoger is tijdens het oplopen;

- 6 de vaarsnelheid die is toegepast in de sommen, is de theoretische limietsnelheid gebaseerd op de afmetingen van de boot en het vaarwater. Deze snelheid kan hoger zijn dan de maximaal toegestane vaarsnelheid. In de afbeeldingen is ook de maximale toegestane snelheid getoond;
- 7 de gebruikte profielen voor de verschillende watergangen zijn geschematiseerd om de berekeningen uit te kunnen voeren. Daardoor wijkt de vorm af van de bestaande situatie. Daarbij is getracht zo dicht bij de bestaande situatie te blijven;
- 8 de maatgevende belasting door een schroefstraal is wanneer een schip stilligt. De belasting van de schroefstraal voor een varend schip kan bepaald worden door de berekende belasting van de schroefstraal te verminderen met de helft van de vaarsnelheid, de belasting op de bodem of oever is varend daarom altijd lager;
- 9 er is geen rekening gehouden met de interactie tussen retourstroming en schroefstralen van de hoofd- en boegschroef, de combinatie kan resulteren in zwaardere belasting. De combinatie van hoofd- en boegschroef treedt op bij het wenden en aanleggen van schepen;
- 10 er is geen rekening gehouden met bestaande stroming en golven in de watergangen en weersinvloeden. Deze kunnen de oever en bodem ook al belasten;
- 11 er is geen rekening gehouden met eventuele schommelingen in het waterpeil. Voor alle sommen is een waterstand van NAP -0,43 m gebruikt;
- 12 het effect van de vaardruk (aantal boten/uur) en/of duur van belasting kan niet worden berekend. Het vaker optreden van een bepaalde belasting kan leiden tot meer schade;
- 13 er is geen rekening gehouden met een situatie waarin boten planeren.

2.4 Kritische belasting (grenswaarden)

De kritische belasting is de belasting waarboven de ontwikkeling en instandhouding van water- en oeverplanten wordt belemmerd. Voor de bepaling van deze kritische belastingen is gebruikt gemaakt van referentiewaarden die genoemd zijn in de volgende literatuur:

- CUR 201 (1999): handboek natuurvriendelijke oevers - belasting en sterkte. Empirische referentiewaarden voor de belasting op oevers en onbegroeide bodems;
- Eaton et al. (2007): een onderzoek naar de ecologische effecten van scheepvaart in kanalen in Engeland. Empirisch onderzoek naar het effect van recreatievaart, literatuuronderzoek naar stroomsnelheden waarbij waterplanten voorkomen en afleiden van kritische belastingnormen voor waterplanten;
- Thunnissen et al. (2019): empirisch- en literatuuronderzoek naar het effect van scheepvaart geïnduceerde stroomsnelheid veranderingen op waterplanten in grote rivieren;
- Hoogheemraadschap van Delfland (2021): empirisch onderzoek naar het effect van de openstelling van vaarrecreatie in de Strijp (Rijswijk) en Reijnerwating;
- Collas & Leuven (2021): empirisch onderzoek naar de effectiviteit van oeverbeschermingsmaatregelen in de Zweth.

Er zijn uit de literatuur geen duidelijke kritische belastingnormen bekend. Dit komt doordat er (onvoldoende) onderzoek is gedaan naar hoe de belasting van recreatievaart water- en oeverplanten precies beïnvloedt en wanneer deze kritisch wordt. Er is wel een bepaald 'bereik' afgeleid. Bijvoorbeeld wanneer de ene studie een kritische belastingnorm presenteert van 0,25 m/s en een andere studie 0,73 m/s (dit is respectievelijk 0,9 km/uur en 2,63 km/uur. Dit bereik is vertaald door drie kritische belastingnormen op te stellen, welke zijn weergegeven in tabel 2.3 voor golfbelasting op riet en in tabel 2.4 voor stroming op ondergedoken waterplanten en bodemtype. Er is aangenomen dat er geen effect is wanneer de belasting onder de laagste kritische belasting komt (bijvoorbeeld 0,25 m/s) en er wordt gesproken van een significant effect wanneer de belasting boven de hoogst gevonden kritische belastingnorm komt (bijvoorbeeld 0,73 m/s). Mocht de belasting tussen deze waarden komen, dan wordt gesteld dat er 'effect' is.

Voor de kritische belasting op riet is er informatie beschikbaar voor riet ouder dan 2 jaar. Voor riet jonger dan 2 jaar is het uitgangspunt dat deze geen enkele vorm van belasting aankan (dus 0m) en daarom tijdelijk beschermd moet worden tegen golfbelasting totdat het voldoende robuust is, naar verwachting na 2 jaar.

De kritische belasting is middels (kleur)coding aangegeven in deze tabel. Groen is geen significant negatief effect, oranje negatief effect en rood is significant negatief effect. De genoemde dagelijkse kritische belasting normen in tabel 2.3 zijn bedoeld voor wind, maar worden in deze studie ook gebruikt als kritische belasting ten gevolge van golven door recreatievaart. De kritische belastingnormen voor stroming in tabel 2.4 en tabel 2.5 tonen dat ondergedoken planten altijd maatgevend zijn. Een onderscheid in bodemtypes per locatie is daarom niet gemaakt. Voor drijfblad zijn geen kritische belastingen bekend.

Tabel 2.3 Overzicht van de kritische belastingnormen voor de effectenbeoordeling bij riet voor golfhoogte [m] (dagelijks door wind)

Groeivorm	Geen effect	Effect	Significant effect
riet ouder dan 2 jaar (CUR 201, 1999)	< 0,25	0,25	> 0,25

Tabel 2.4 Overzicht van de kritische belastingnormen voor de effectenbeoordeling bij stroming [km/uur] (retourstroom en schroefstraal stroming) op ondergedoken waterplanten

Groeivorm	Geen effect	Effect	Significant effect
ondergedoken waterplanten	< 0,90*	0,90 - 2,63	> 2,63**

* Gebaseerd op kanalen (Eaton et al., 2007), gemiddelde op basis van het 90 percentiel (conservatieve methode) van de waarden uit literatuuronderzoek.

** Gebaseerd op rivieren (Thunnissen et al., 2019), op basis van de maximale waarden uit literatuuronderzoek.

Tabel 2.5 Overzicht van de kritische belastingnormen voor de effectenbeoordeling bij stroming [km/uur] (retourstroom en schroefstraal stroming) voor bodemtypen: zand, veen of klei (CUR 201, 1999)

Bodemtype	Geen effect	Effect	Significant effect
Zandbodem	< 1,37	1,37 - 2,7	> 2,7
Veenbodem	< 3,6	3,6 - 5,4	> 5,4
Kleibodem	< 5,4	5,4 - 9,0	> 9,0

2.5 Onzekerheden

De uitgangspunten brengen een aantal onzekerheden in de analyse met zich mee. De onzekerheden met betrekking tot de belasting betreffen:

- de gebruikte formules zijn afgeleid van bestaande formules voor binnenvaartschepen;
- de berekeningen geven de maximale belasting. Bij schroefstralen is dat bij stilliggende schepen (wat in praktijk voorkomt bij wenden, aan- en/of afmeren). De belastingwaarden voor schroefstralen zijn lager wanneer de schepen varen;
- de vloottypen zijn beschreven op basis van de informatie verstrekt door Bola Maritiem en rondvaart Westland, zoals beschreven in [ref. 5];
- er is geen rekening gehouden met bestaande stroming en golven in de watergangen en weersinvloeden. Deze kunnen ook al zorgen voor belasting van de oever en bodem;
- het effect van de vaardruk (aantal boten/uur) en/of duur van belasting kan niet worden berekend. Het vaker optreden van een bepaalde belasting kan leiden tot meer schade;
- er is geen rekening gehouden met de interactie tussen retourstroming en schroefstralen van de hoofd- en boegschroef, de combinatie kan resulteren in zwaardere belasting.

De onzekerheden met betrekking tot de beoordeling van de ecologische effecten betreffen:

- de kritische belastingnormen voor ondergedoken waterplanten zijn afgeleid uit literatuuronderzoeken in kanalen/rivieren en niet in vaarten/sloten (deze kennis is nog niet beschikbaar);
- de ecologische effecten zijn niet volledig in beeld gebracht. Het onderzoek beperkt zich tot de effecten als gevolg van stroming en golfhoogte. Het effect op troebelheid is bijvoorbeeld niet meegenomen in dit onderzoek;
- de cumulatieve impact (bijvoorbeeld tegelijkertijd golven en stroming) van de schadelijke effecten van recreatievaart op waterplanten zijn niet beoordeeld, omdat wanneer de belastingtypes tegelijkertijd optreden de waardes lager kunnen zijn dan de maximale belastingen. Deze cumulatieve impact kan voor stroomsnelheid worden bepaald, maar onduidelijk is of de meerwaarde op weegt tegen te inspanning.

2.6 Context

Deze modelstudie heeft tot doel om inzicht te krijgen in maatregelen die de negatieve effecten van varen op de ecologische waterkwaliteit verminderen. Daarbij worden golfhoogte en stroming wel meegenomen, maar de invloed van vertroebeling op het lichtklimaat niet. Daarnaast wordt de ecologische waterkwaliteit door meer factoren beïnvloed zoals nutriëntenbelasting. Voor de KRW wordt niet alleen naar planten gekeken, maar ook naar algen, macrofauna en vissen. Met name vissen kunnen ook last hebben van trillingen en geluid waardoor je de KRW doelen niet worden gehaald.

Daarnaast heeft de waterkwaliteit zelf ook een grote invloed heeft op de draagkracht van het systeem. Al het water helder is zal het meer belasting aan kunnen dan een troebel water.

Het is van belang om deze modelstudie in deze grotere context te beschouwen.

METHODE VOOR BEPALEN VAN BELASTINGEN

3.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden de vergelijkingen voor de karakteristieke waterbewegingen van varende schepen in watergangen gepresenteerd. Afbeelding 3.1 toont deze waterbewegingen. De bewegingen veroorzaken belastingen op water- en oeverplanten. De belangrijkste waterbewegingen betreffen:

- retourstroming;
- scheepsgolven;
- (boeg)schroefstralen.

Retourstroming ontstaat langs en onder het schip als gevolg van de vaarbeweging. Deze retourstroming belast zowel de bodem als de oever van de watergang. De belasting van de retourstroming hangt sterk samen met de dimensies van de watergang. In smalle en ondiepe watergangen is de belasting op bodem en oever een stuk groter dan in een brede en diepe watergang.

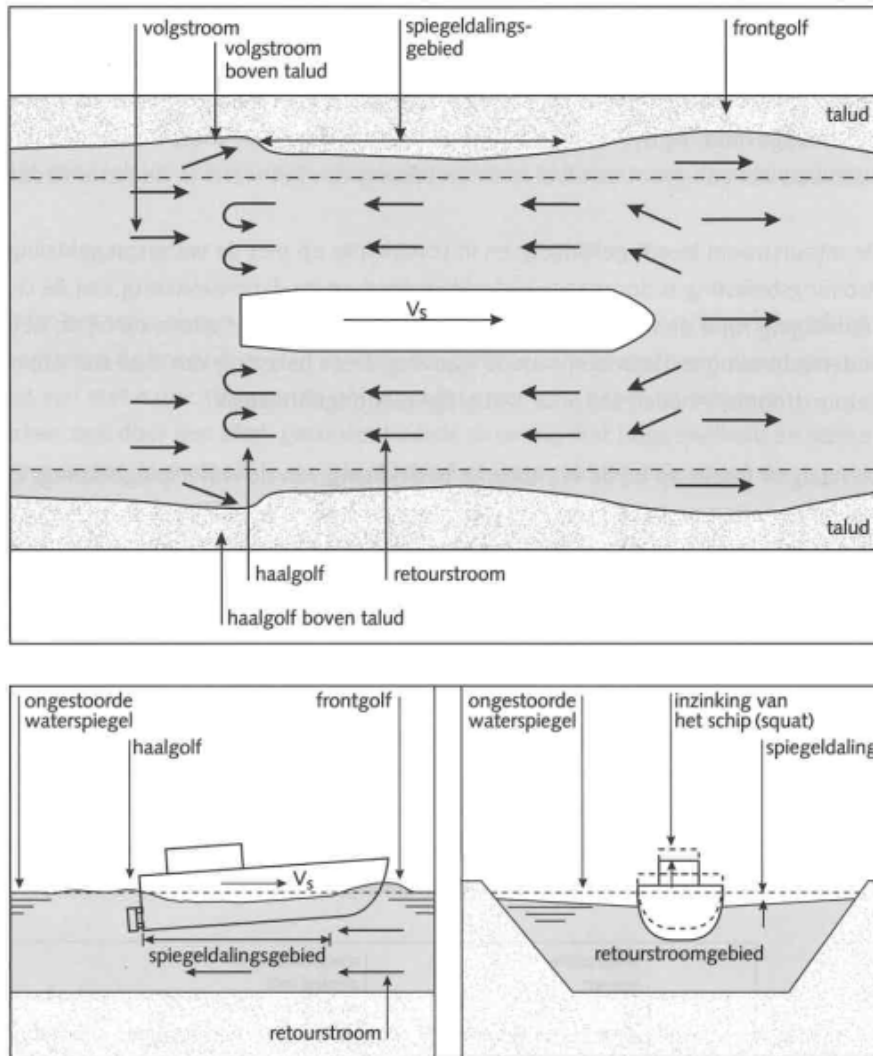
Als gevolg van deze retourstroming treedt er tevens een waterstandsval op. Afhankelijk van de afmetingen van het schip en de watergang kan er daarmee ook een situatie ontstaan dat het schip fysiek begrensd wordt in snelheid, de theoretisch maximaal haalbare vaarsnelheid. Het kan niet sneller varen, omdat het zich anders 'vastzuigt' aan de bodem.

Naast de retourstroming ontstaat er ook een boeggolf, hekgolf en secundaire golven, die zorgen voor golven bij de oever. Deze golven vormen in de praktijk vaak de primaire belasting op oeverplanten.

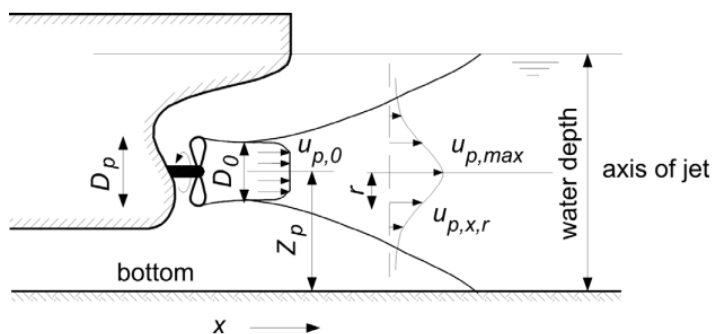
De oever en de bodem worden daarnaast ook belast door stroming veroorzaakt door de schroeven van het schip, de hoofdschroef en soms ook de boegschroef (zie afbeelding 3.2). Direct achter de schroef is de stroomsnelheid het hoogst en deze neemt kwadratisch af met de afstand tot de schroef. De belasting van deze schroeven is het hoogst als schepen stilliggen en dit is opgenomen in dit rapport. Zodra de schepen varen, wordt de stroomsnelheid aan de oever of bodem de resultante van de stroomsnelheid uit de schroef min de vaarsnelheid van het schip en daarmee is de belasting lager. Niet alle schepen hebben een boegschroef en deze wordt beperkt gebruikt, vooral bij manoeuvreren. De boegschroeven zijn veelal elektrisch aangedreven. De belasting van de boegschroef is niet bepaald, omdat deze zeer lokaal en kortdurend optreedt.

De vergelijkingen behorende bij de verschillende belastingen zijn in paragrafen 3.2 en 3.3 uitgewerkt.

Afbeelding 3.1 Karakteristieke waterbeweging door varende schepen in watergangen (CUR, 1999)



Afbeelding 3.2 Belasting door schroefstralen (CIRIA, 2007)



3.2 Scheepsgolven en retourstroming

De scheepsgolven en retourstroming veroorzaakt door scheepsbewegingen worden in zeven stappen berekend conform vergelijkingen 4.167 tot en met 4.185 uit de Rock Manual (RM) [ref. 1]. De vergelijkingen

zijn hieronder herhaald en indien van toepassing, is aangegeven welke constanten zijn gehanteerd in de berekening.

1. Doorsnede van het schip onderwater (RM vergelijking 4.167)

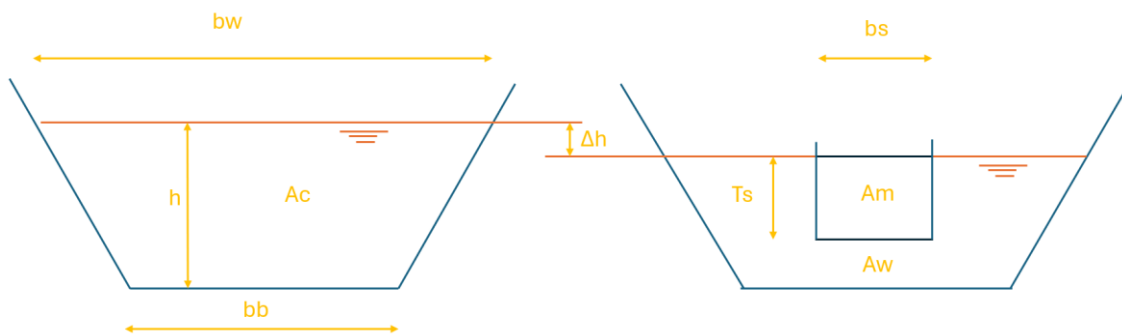
Afbeelding 3.3 toont de verschillende parameters die zijn gebruikt om de oppervlaktes van de watergang en het schip te bepalen.

$$A_m = C_m B_s T_s$$

Waarin:

A_m	= doorsnede van het schip onder water	[m ²]
C_m	= midscheeps coëfficiënt (0,9 - 1,0 voor binnenvaart en duwboten; 0,7 - 0,9 voor service boten, sleepboten en marine schepen) (zie tabel 2.2 voor de gebruikte coëfficiënten in de Pythontool)	[-]
B_s	= breedte van het schip	[m]
T_s	= diepgang van het schip	[m]

Afbeelding 3.3 Parameters vaargang en schip



2. Maximale vaarsnelheid schip (RM vergelijkingen 4.168, 4.169 en 4.170)

Voor de maximale vaarsnelheid dient het minimum gehanteerd te worden van de berekende snelheid (V_L) uit onderstaande drie vergelijkingen.

$$V_L = F_L \sqrt{g A_c / b_w}$$

$$V_L = (g L_s / 2\pi)^{1/2}$$

$$V_L = (gh)^{1/2}$$

Waarin:

V_L	= maximale vaarsnelheid van het schip	[m/s]
F_L	= $\left[\frac{2}{3} \left(1 - \frac{A_m}{A_c} + 0,5 F_L^2 \right) \right]^{3/2}$	[-]
g	= gravitatieconstante ($\approx 9,81$ m/s ²)	[m/s ²]
A_c	= doorvaaroppervlak zonder schip	[m ²]
b_w	= breedte vaarweg ter hoogte van waterlijn	[m]
L_s	= lengte van het schip	[m]
h	= waterdiepte watergang	[m]

3. Daadwerkelijke vaarsnelheid (RM vergelijking 4.171)

De daadwerkelijke vaarsnelheid is een functie van de maximale vaarsnelheid van het schip.

$$V_s = f_v V_L$$

Waarin:

V_s	= daadwerkelijke vaarsnelheid	[m/s]
f_v	= factor (0,9 voor ongeladen schepen en 0,75 voor geladen schepen) (zie tabel 2.2 voor de gebruikte coëfficiënten in de Pythontool)	[-]
V_L	= maximale vaarsnelheid van het schip	[m/s]

4. Gemiddelde waterstandsverlaging en gemiddelde retourstroming (RM vergelijkingen 4.173 en 4.174)

De gemiddelde waterstandsverlaging en de gemiddelde retourstroming kunnen berekend worden met onderstaande vergelijkingen.

$$\Delta h = \frac{V_s^2}{2g} [\alpha_s (A_c/A_c^*)^2 - 1]$$

$$U_r = V_s (A_c/A_c^* - 1)$$

Δh	= gemiddelde waterstandsverlaging	[m]
V_s	= daadwerkelijke vaarsnelheid	[m/s]
g	= gravitatieconstante ($\approx 9,81 \text{ m/s}^2$)	[m/s ²]
α_s	= factor om het effect van de vaarsnelheid mee te nemen ($1,4 - 0,4V_s/V_L$)	[-]
A_c	= doorvaaroppervlak zonder schip	[m ²]
A_c^*	= doorsnede van het doorvaaroppervlak naast het schip	[m ²]
U_r	= gemiddelde retourstroom snelheid	[m/s]
$\cot \alpha$	= taludhelling oever	[-]
b_b	= breedte op bodem watergang	[m]
h	= waterdiepte watergang	[m]

A_c kan berekend worden met:

$$A_c = b_b h + h^2 \cot \alpha$$

A_c^* kan berekend worden met:

$$A_c^* = b_b (h - \Delta h) + \cot \alpha (h - \Delta h)^2 - A_m$$

5. Maximale waterstandsverlaging en maximale retourstroming (RM vergelijkingen 4.175 en 4.176)

De maximale waterstandsverlaging en de maximale retourstroming worden berekend met onderstaande vergelijking. Afbeelding 3.4 en afbeelding 3.5 tonen de verschillende parameters die in de berekening zijn gehanteerd.

$$\frac{\Delta \hat{h}}{\Delta h} = \begin{cases} 1 + 2A_w^* & \text{als } \frac{b_w}{L_s} < 1,5 \\ 1 + 4A_w^* & \text{als } \frac{b_w}{L_s} \geq 1,5 \end{cases}$$

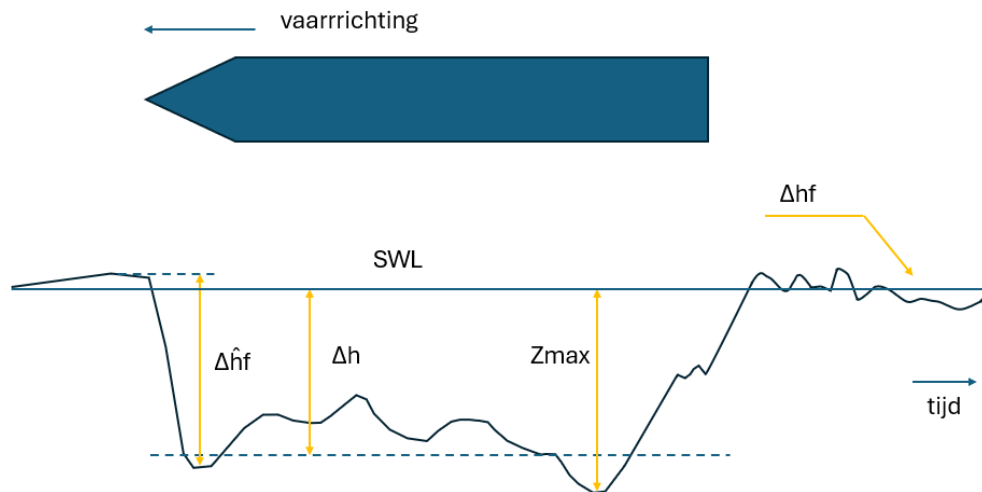
$$\frac{\hat{U}_r}{U_r} = \begin{cases} 1 + A_w^* & \text{als } \frac{b_w}{L_s} < 1,5 \\ 1 + 3A_w^* & \text{als } \frac{b_w}{L_s} \geq 1,5 \end{cases}$$

Waarin:

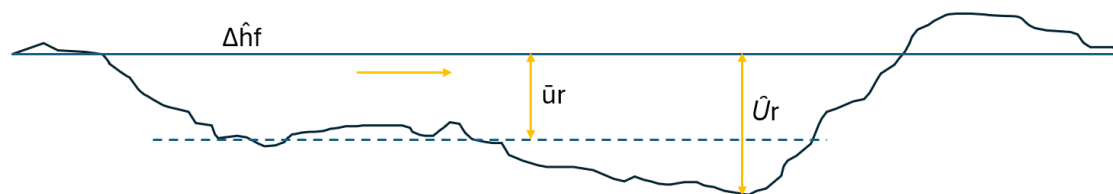
$\Delta \hat{h}$	= maximale waterstandsverlaging	[m]
$\hat{U}_r$	= maximale retourstroom snelheid	[m/s]
Δh	= gemiddelde waterstandsverlaging	[m]
U_r	= gemiddelde retourstroom snelheid	[m/s]
A_w^*	= $y \cdot h / A_c$ (parameter heeft alleen een formule en geen omschrijving)	[-]
b_w	= breedte vaarweg ter hoogte van waterlijn	[m]
L_s	= lengte van het schip	[m]

h	= waterdiepte watergang	[m]
y	= afstand van het midden van het schip tot de as van de vaarweg	[m]

Afbeelding 3.4 Definitie scheepsgolven en waterstandsverlaging



Afbeelding 3.5 Definities retourstroom



6. Boeggolf en golfsteilheid (RM eqs. 4.177 en 4.178)

De karakteristieken van de boeggolf kunnen met onderstaande vergelijking worden berekend.

$$\Delta h_f = 0,1\Delta h + \Delta \hat{h}$$

$$i_f = 0,03\Delta h_f$$

Waarin:

Δh_f	= hoogte boeggolf	[m]
Δh	= gemiddelde waterstandsverlaging	[m]
$\Delta \hat{h}$	= maximale waterstandverlaging	[m]
i_f	= golfsteilheid	[-]

7. Hekgolf en golfsteilheid (RM vergelijkingen 4.179 en 4.180)

De karakteristieken van de hekgolf kunnen met onderstaande vergelijking worden berekend.

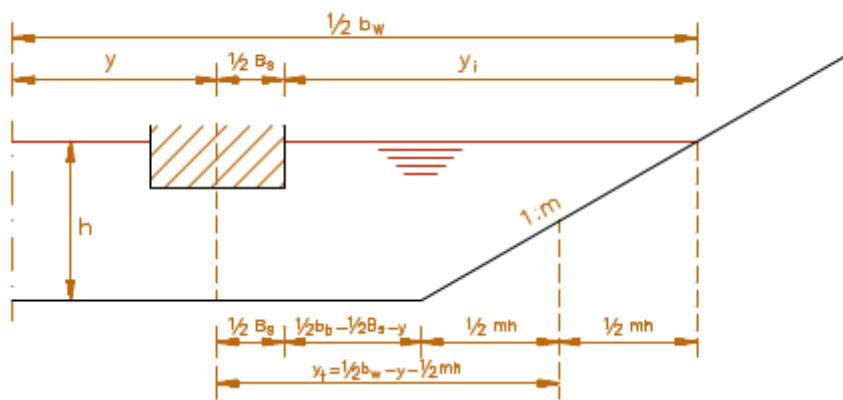
$$z_{\max} = 1,5\Delta\hat{h}$$

$$i_{\max} = (z_{\max}/z_0)^2$$

Waarin:

$z_{\max}$	= maximale hoogte hekgolf	[m]
$\Delta\hat{h}$	= maximale waterstandverlaging	[m]
$i_{\max}$	= maximale golfsteilheid ($i_{\max} < 0,15$)	[-]
z_0	= $0,16 y_s - c_2$ (parameter heeft alleen een formule en geen omschrijving)	[m]
y_s	= afstand van buitenzijde schip tot oever ($0,5 b_w - 0,5 b_s - y$), zie afbeelding 3.6	[m]
c_2	= constante, heeft een waarde van 0,2 tot 2,6. De Pythontool gebruikt 2,6.	[-]

Afbeelding 3.6 Definities excentriciteit [ref. 6]



8. Secundaire scheepsgolven (RM vergelijkingen 4.184, 4.185 en 4.186)

De karakteristieken van de hoogste secundaire golven kunnen bepaald worden met onderstaande vergelijkingen. Zie afbeelding 3.7 voor een definitie van de secundaire golfhoogte ten opzichte van de andere scheepsgolven.

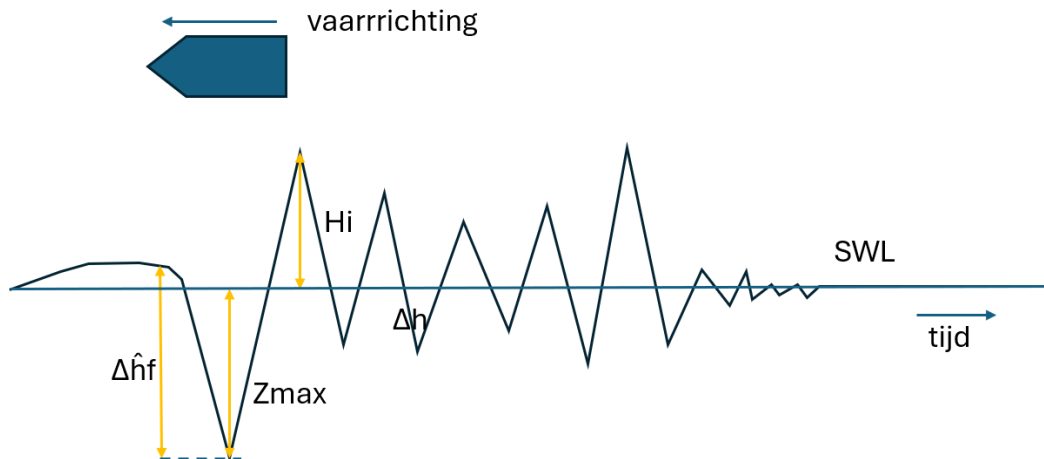
$$H_i = 1,2\alpha_i h \left(\frac{y_s}{h}\right)^{-\frac{1}{3}} V_s^4 / (gh)^2$$

$$L_i = 4,2 V_s^2 / g$$

$$T_i = 5,1 V_s / g$$

Waarin:

H_i	= secundaire golfhoogte	[m]
L_i	= secundaire golflengte	[m]
T_i	= secundaire golfperiode	[s]
α_i	= coëfficiënt (1,0 voor recreatievaart) (zie tabel 2.2 voor de gebruikte coëfficiënten in de Pythontool)	[-]
y_s	= afstand van buitenzijde schip tot oever	[m]
h	= waterdiepte watgang	[m]
V_s	= vaarsnelheid	[m/s]
g	= gravitatieconstante ($\approx 9,81 \text{ m/s}^2$)	[m/s ²]



3.3 Schroefstraal

De stroming veroorzaakt door de hoofdschroef wordt hieronder berekend conform de vergelijkingen 4.187 en 4.190 uit de Rock Manual [ref. 1]. De vergelijkingen zijn hieronder herhaald en indien van toepassing, is aangegeven welke constanten zijn gehanteerd in de berekening.

Stroomsnelheid achter schroef

De stroomsnelheid direct achter een schroef wordt berekend conform vergelijking 4.187 uit de Rock Manual, zie onderstaande vergelijking:

$$u_{p,0} = 1,15 \left(\frac{P}{\rho_w D_0^2} \right)^{1/3}$$

Waarin:

$u_{p,0}$	= stroomsnelheid achter de schroef	[m/s]
P	= motorvermogen	[kW]
ρ_w	= dichtheid van water (1000kg/m ³ voor zoet water)	[kg/m ³]
D_0	= effectieve schroefdiameter	[m]

Maximale stroomsnelheid horizontale bodem (hoofdschroefstraal)

De maximale stroomsnelheid op de bodem wordt berekend conform vergelijking 4.190 uit de Rock Manual, zie onderstaande vergelijking:

$$u_{p,max,bodem} = c u_{p,0} \left(\frac{D_0}{z_p} \right)^n - 0,5 V_s$$

Waarin:

$u_{p,max,bodem}$	= maximale stroomsnelheid op de bodem	[m/s]
c	= constante. In de Pythontool is gebruik gemaakt van 0,3, zoals aangedragen in de Rock Manual	[-]
$u_{p,0}$	= stroomsnelheid achter de schroef	[m]
D_0	= effectieve schroefdiameter	[m]
z_p	= de afstand van de as van de schroef tot de bodem	[m]
n	= constante. In de Pythontool is gebruik gemaakt van 1,0, zoals aangedragen in de Rock Manual.	[-]
V_s	= vaarsnelheid. In de Pythontool is bij het berekenen van de schroefstraalstroming aangenomen dat het schip stilligt, dus $V_s = 0$.	[m/s]

Bovenstaande berekende maximale stroomsnelheid geldt voor een enkele schroef. Het effect van meerdere schroeven wordt verdisconteerd door de stroomsnelheid te vermenigvuldigen met de wortel van het aantal schroeven.

4

EFFECT VAN VERSCHILLENDE PARAMETERS

In dit hoofdstuk is het effect van verschillende parameters op de golfhoogte en stroming ter plaatse van de bodem en de oever gepresenteerd. Er is gekeken naar vier soorten belastingen:

- belasting op oever als gevolg van golven (dit is het maximum van de hekgolf, boeggolf en secundaire golf);
- belasting op oever als gevolg van stroming:
 - retourstroming;
 - schroefstraalstroming veroorzaakt door boegschroef;
- belasting op bodem als gevolg van hoofdschroef.

Voor de hierboven genoemde belasting is het effect van de volgende parameters beschouwd in de volgende paragrafen indien ze van toepassing zijn:

- dimensies van de watergang, paragraaf 4.1;
- type schip, paragraaf 4.2;
- vaarsnelheid, paragraaf 4.3;
- afstand tot oever, paragraaf 4.4;
- motorvermogen, paragraaf 4.5;
- combinatie van vaarsnelheid en afstand tot oever, paragraaf 4.6.

In paragraaf 4.7 is een samenvatting gegeven van bovengenoemde parameters.

4.1 Dimensies van de watergang

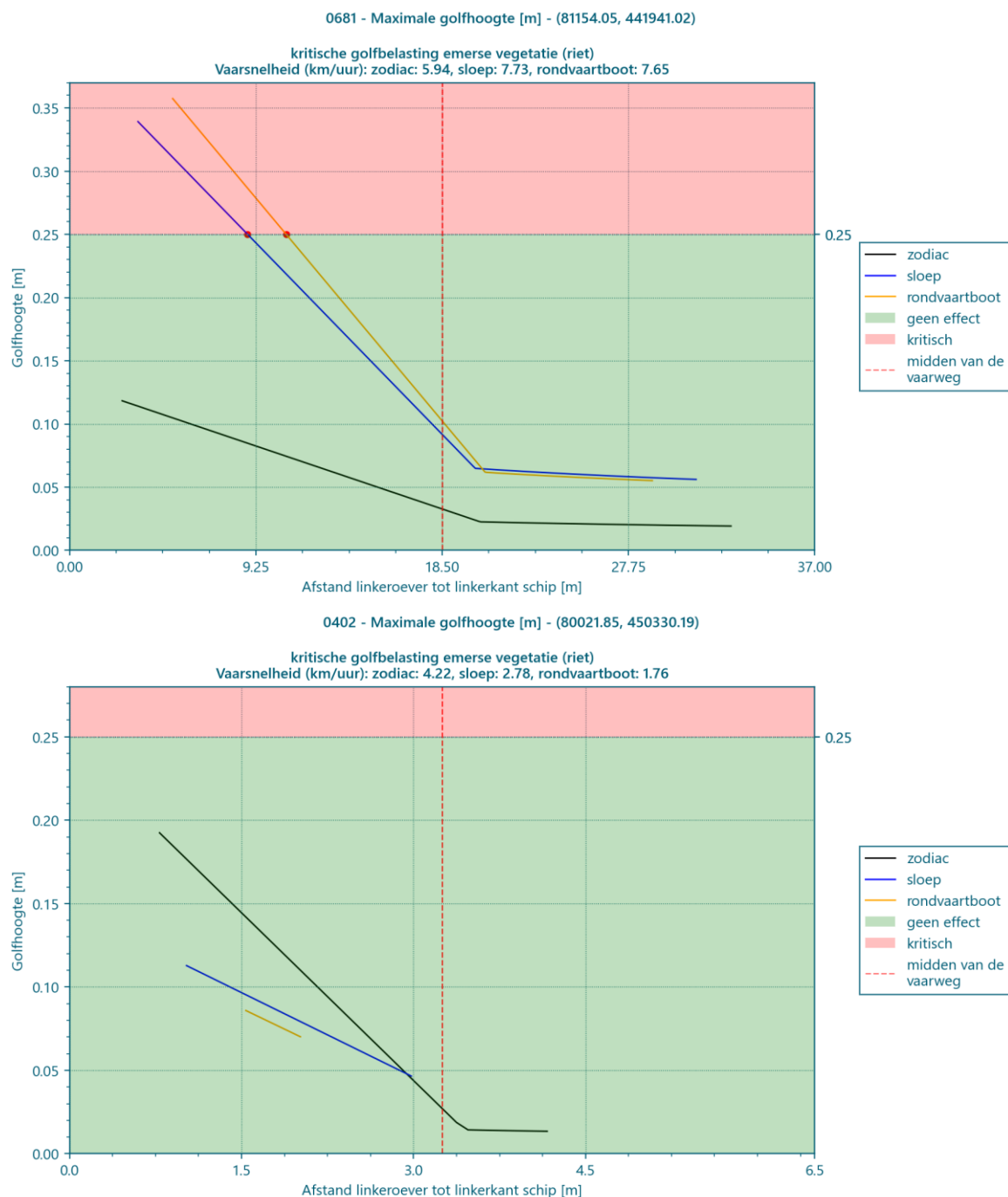
De dimensies van de watergang hebben een effect op de belastingen op de oever en de bodem. Het oppervlak van de watergang beïnvloedt de waterstandsdeling en daarmee de retourstroming. Gesteld kan worden dat hoe groter het oppervlak van de watergang, hoe kleiner de waterstandsdeling is en hoe kleiner de stroomsnelheden van de retourstroom zijn.

Daarnaast heeft de dimensie van de watergang ook invloed op de maximale vaarsnelheid welke fysisch door schepen bereikt kan worden. De waterstandsverlaging veroorzaakt namelijk een zuiging tussen het schip en de bodem, waardoor schepen niet sneller kunnen varen.

Belasting op oever als gevolg van golven

Het oppervlak van de watergang heeft invloed op de waterstandsverlaging. Dit heeft een directe invloed op de optredende golfhoogte van de primaire golven. Hoe groter het oppervlak van de watergang, hoe hoger de golven kunnen worden. Onderstaande afbeeldingen van de Vlaardingervaart en de Strijp laten zien dat de bij de grotere watergang (Vlaardingervaart) hogere golven op kunnen treden.

Afbeelding 4.1 Invloed van nat oppervlak op golfhoogte



Belasting op oever als gevolg van stroming

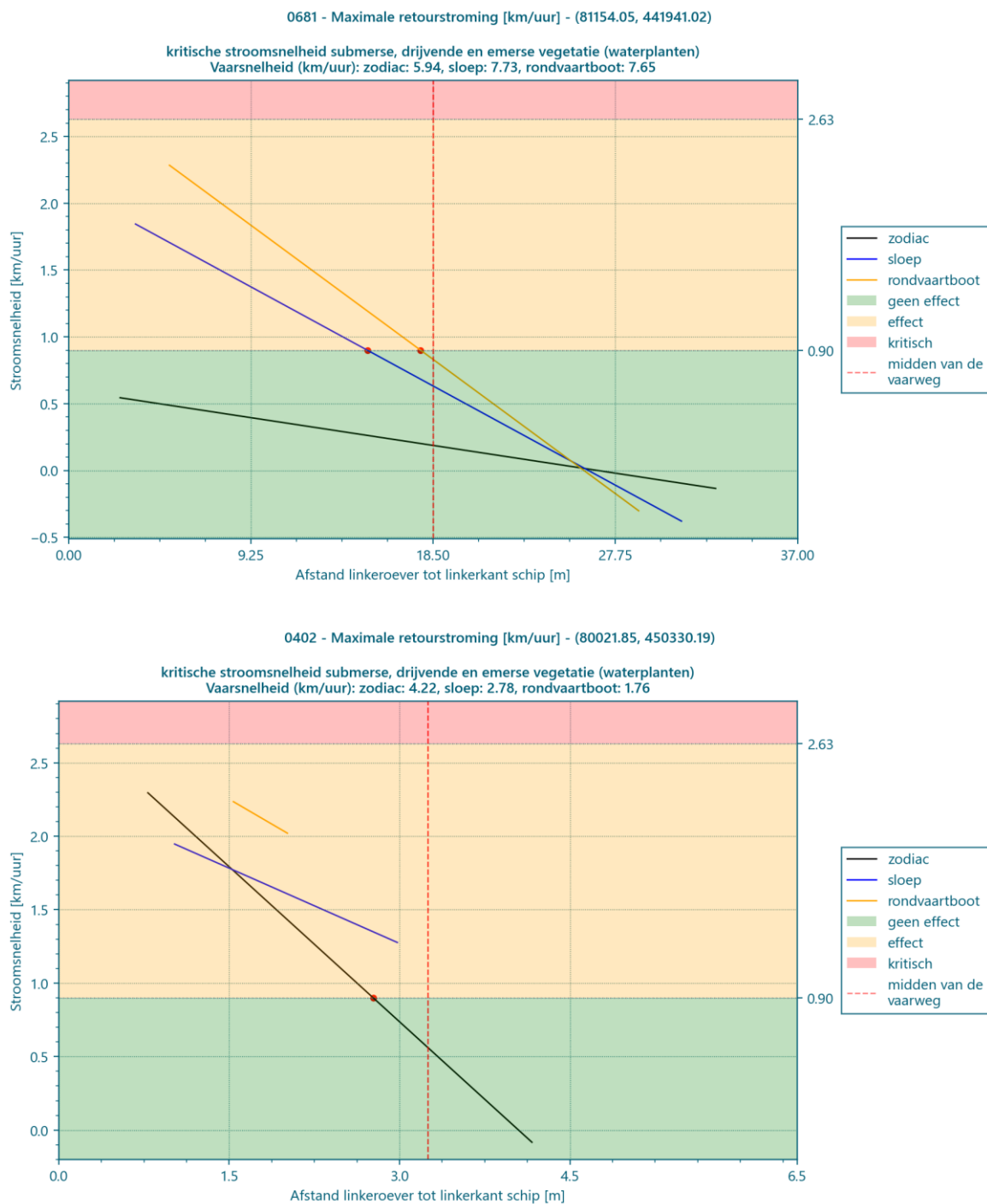
Retourstroming

Het oppervlak van de watergang heeft invloed op de retourstroming. Een groter oppervlak van de watergang resulteert in lagere retourstroomsnelheden. De belasting op de oevers door retourstroming neemt af met het oppervlak van de watergang. Hierbij maakt het niet uit of het oppervlak toeneemt door het breder worden van de watergang, of door het dieper worden van de watergang.

Onderstaande afbeelding laat zien dat als een schip in het midden van de watergang vaart bij een groter nat oppervlak (Vlaardingervaart) de stroomsnelheid lager is.

Verder valt op dat de retourstroming een klein beetje negatief wordt bij grote afstanden tot de linkeroever. Dit komt omdat het water dan in de vaarrichting van het schip stroomt.

Afbeelding 4.2 Invloed van nat oppervlak op retourstroming



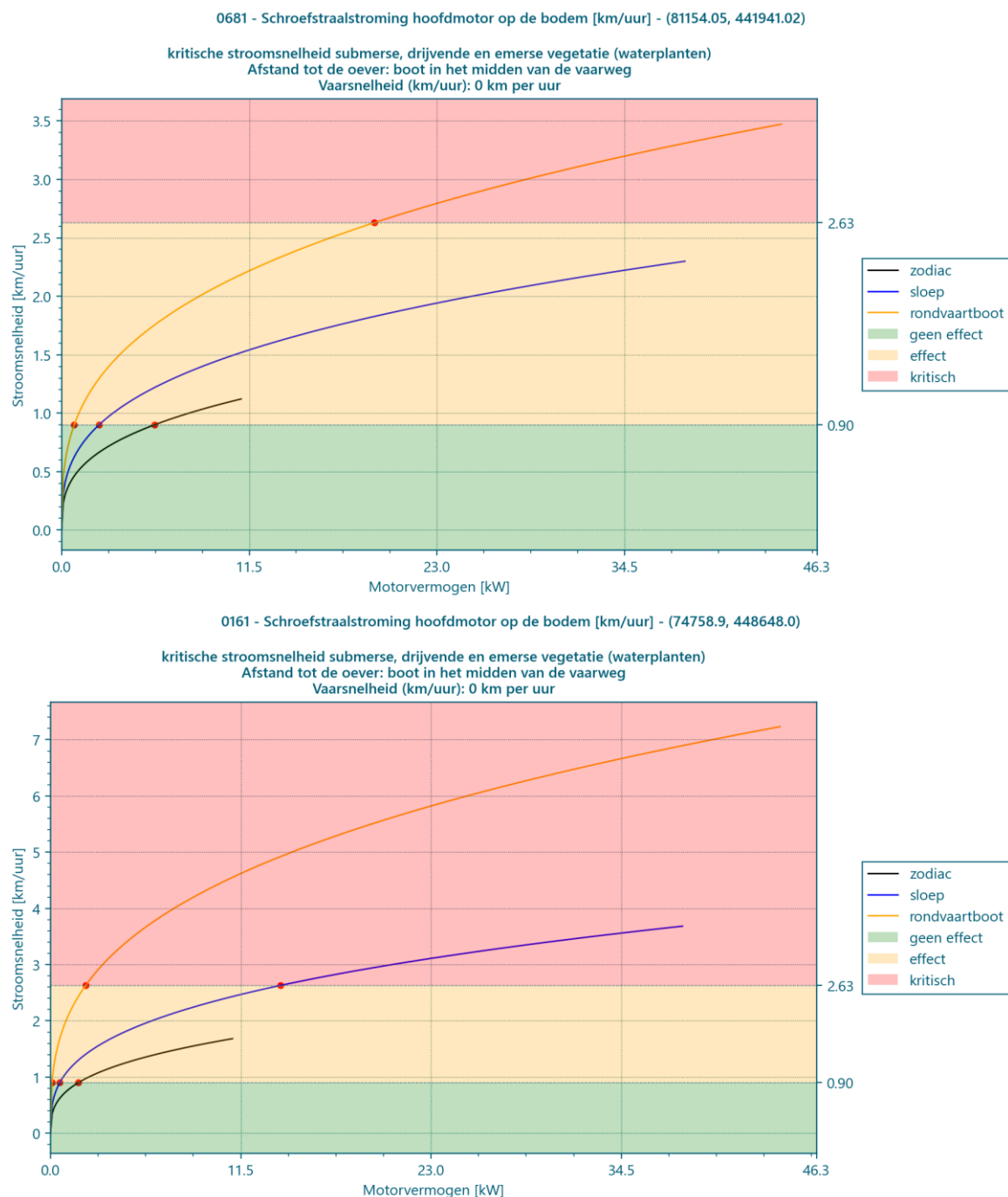
Schroefstraalstroming

De dimensies van de watergang hebben geen direct effect op de schroefstraal belasting op de oever. De afstand tussen de boegschroef en de oever heeft wel effect op de belasting op de oever, zie paragraaf 4.4.

Belasting op bodem als gevolg van hoofdschroef

De afstand tussen de bodem en de hoofdschroef heeft effect op stroomsnelheid bij de bodem. Een kleinere afstand resulteert in hogere stroomsnelheden en dus een hogere belasting ter plaatse van de bodem. Bij profiel 0161 is de afstand tot de bodem veel minder dan bij profiel 0681, daardoor zijn de stroomsnelheden hoger.

Afbeelding 4.3 Invloed van afstand tussen de bodem en de hoofdschroef



4.2 Type schip

Het type schip heeft invloed op de belasting op de bodem en de oever. Dit wordt onder meer bepaald door:

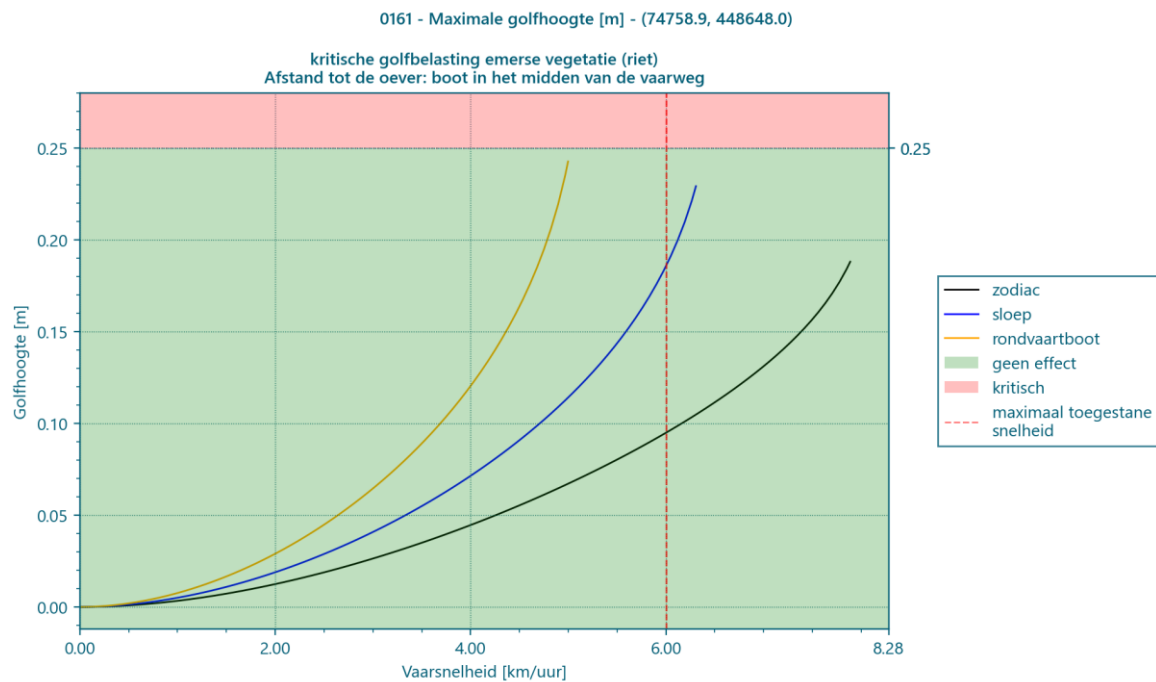
- dimensies van het schip (breedte en diepgang);

- diameter van de hoofd- en boegschroef;
- afstand tussen hoofdschroef en bodem, zie paragraaf 4.1;
- afstand tussen boegschroef en oever, zie paragraaf 4.4;
- vermogen van de hoofd- en boegschroef, zie paragraaf 4.5.

Belasting op oever als gevolg van golven

De dimensies van het schip beïnvloeden de waterstandsval en daarmee de golven op de oevers. Hoe groter de breedte en diepgang van het schip, hoe hoger de golven zijn. Grotere scheepsdimensies resulteren in een zwaardere belasting van de oevers. Onderstaande afbeelding laat zien dat bij eenzelfde vaarsnelheid de golfhoogte groter is voor grotere schepen.

Afbeelding 4.4 Invloed van dimensies van schepen op golfhoogte

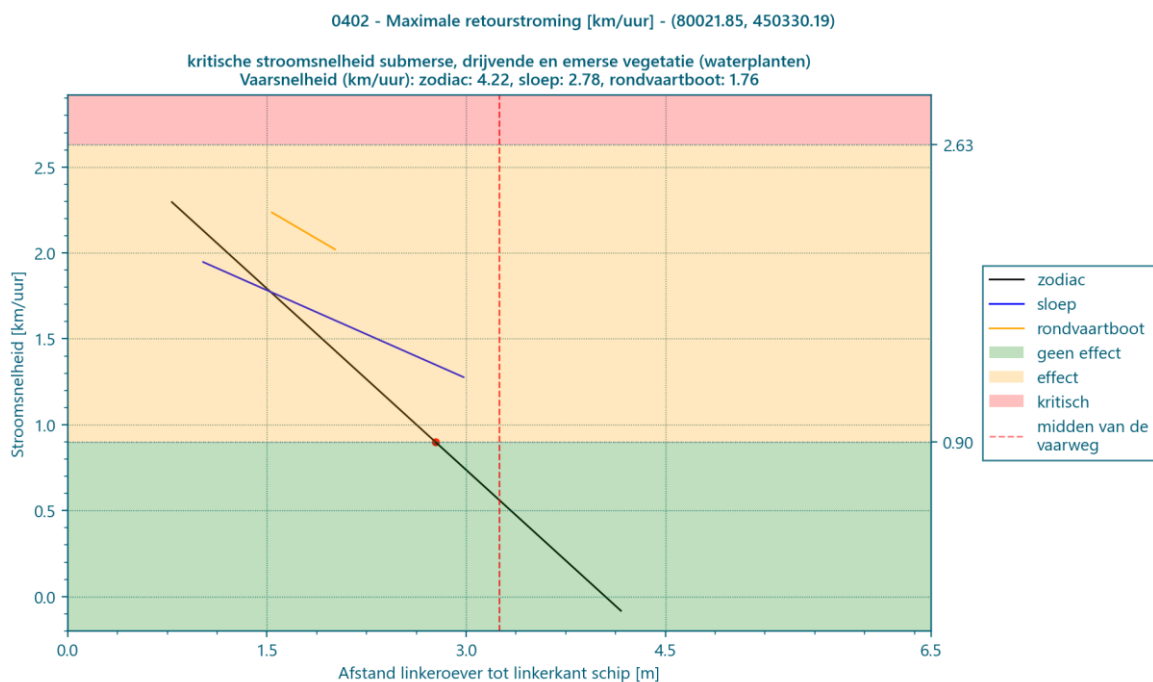


Belasting op oever als gevolg van stroming

Retourstroming

De dimensie van het schip beïnvloedt de waterstandsval en daarmee de retourstroming langs de oever. Hoe breder en dieper het schip, hoe hoger de stroomsnelheden van de retourstroming zijn. Grotere scheepsdimensies resulteren in een zwaardere belasting van de oevers. Onderstaande afbeelding laat zien dat bij eenzelfde afstand tot de oever de retourstroming groter is voor grotere schepen.

Afbeelding 4.5 Invloed van type schip op retourstroming



Schroefstraalstroming

De belasting door schroefstraalstroming op de oever wordt bepaald door het type boegschroef en het vermogen, zie paragraaf 4.5. De boegschroef is afhankelijk van het type schip, maar een directe relatie tussen het schip en de belasting als gevolg van de schroefstraalstroming op de oever kan niet worden gelegd.

Belasting op bodem als gevolg van hoofdschroef

De belasting door de hoofdschroef wordt bepaald door het type schroef en het vermogen, zie paragraaf 4.5. De hoofdschroef is afhankelijk van het type schip, maar een directe relatie tussen het schip en de belasting als gevolg van de schroefstraalstroming op de bodem kan niet worden gelegd.

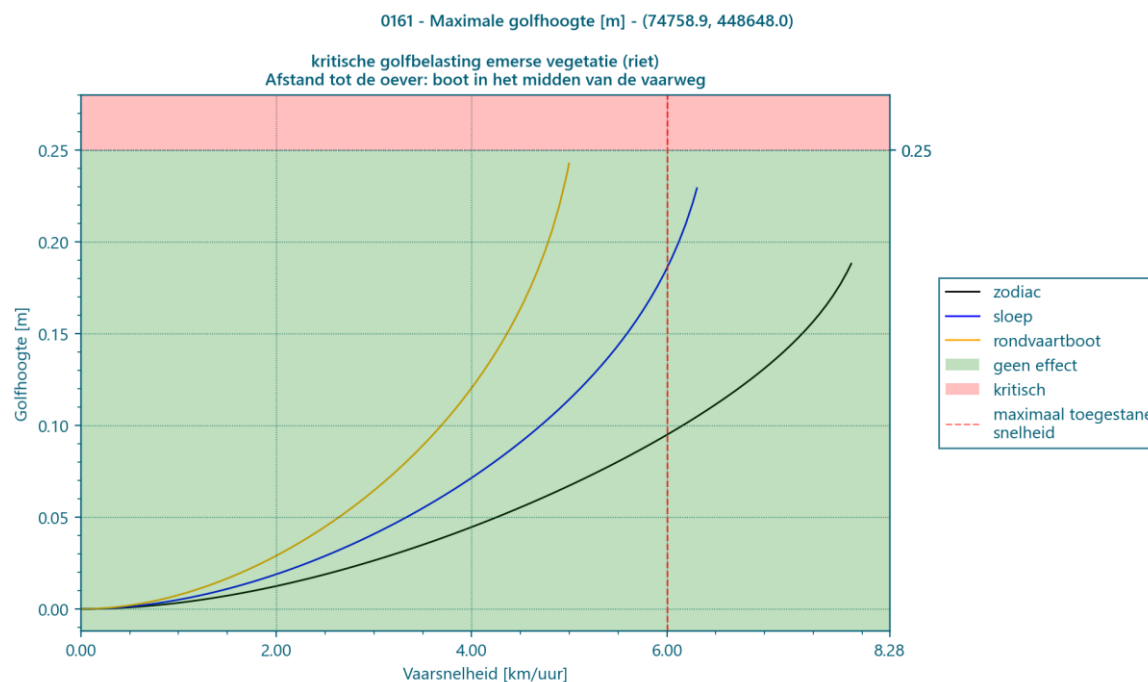
4.3 Vaarsnelheid

De vaarsnelheid van schepen is een belangrijke parameter voor de belasting op de oever en bodem. Hoe hoger de vaarsnelheid, des te zwaarder de belasting door golven en retourstroming.

Belasting op oever als gevolg van golven

De vaarsnelheid heeft effect op de golfhoogte. Een hogere vaarsnelheid veroorzaakt een grotere waterstandsdaling. Dit effect is gepresenteerd in afbeelding 4.6 De golfbelasting op de oevers neemt toe met een toenemende vaarsnelheid.

Afbeelding 4.6 Effect van vaarsnelheid op golfhoogte

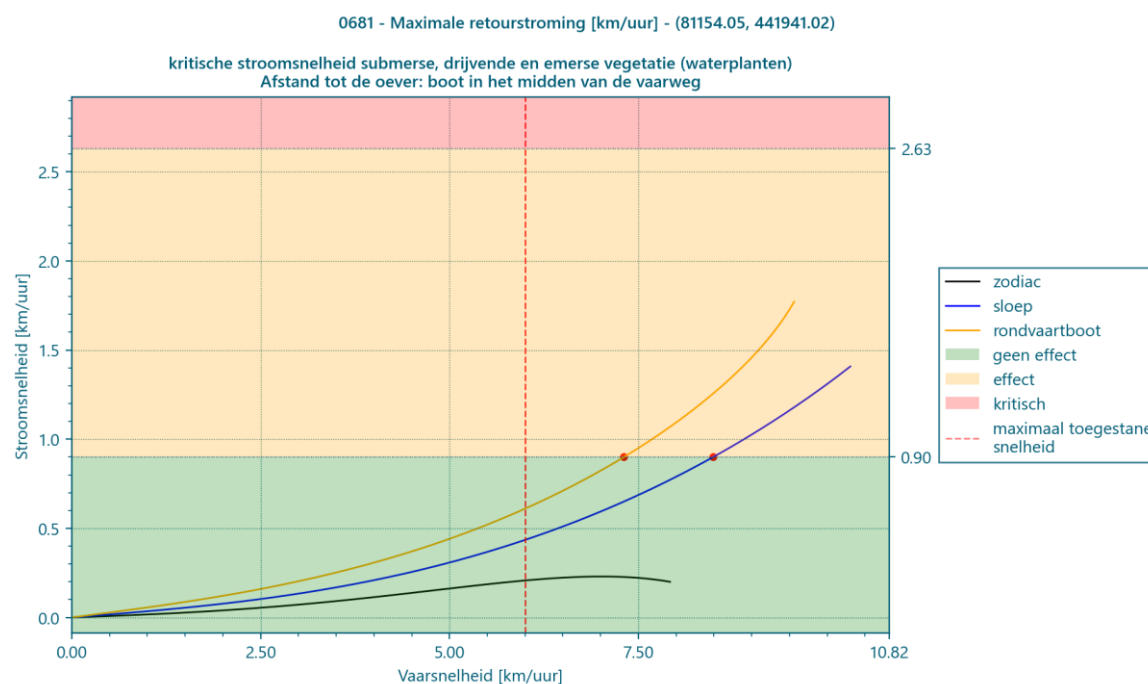


Belasting op oever als gevolg van stroming

Retourstroming

De vaarsnelheid heeft effect op de retourstroming. Een hogere vaarsnelheid resulteert in grotere retourstroomsnelheden, zie afbeelding 4.7. De belasting op de oevers veroorzaakt door retourstroming neemt dus toe met het toenemen van de vaarsnelheid.

Afbeelding 4.7 Effect van vaarsnelheid op de maximale retourstroomsnelheid



Schroefstraalstroming

De vaarsnelheid heeft geen invloed op de belasting op de oever veroorzaakt door de schroefstraalstroming van de boegschroef.

Belasting op bodem als gevolg van hoofdschroef

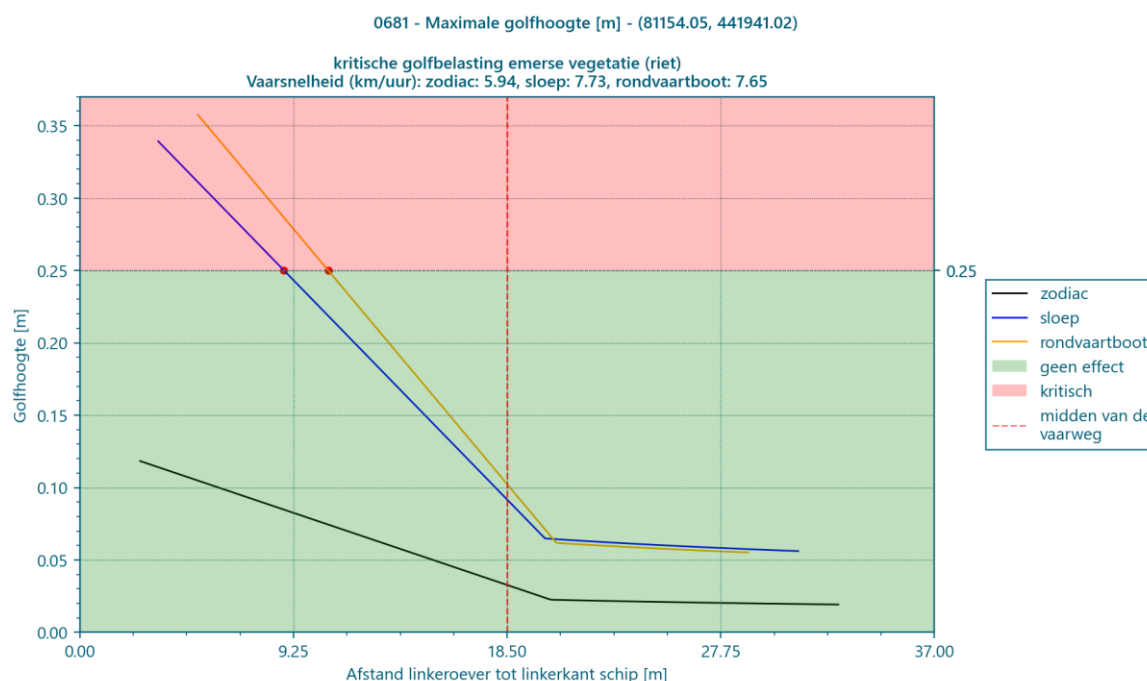
De vaarsnelheid beïnvloedt de belasting veroorzaakt door de schroefstraalstroming op de bodem. De helft van de vaarsnelheid wordt afgetrokken van de stroomsnelheid op de bodem veroorzaakt door de hoofdschroef.

4.4 Afstand tot oever

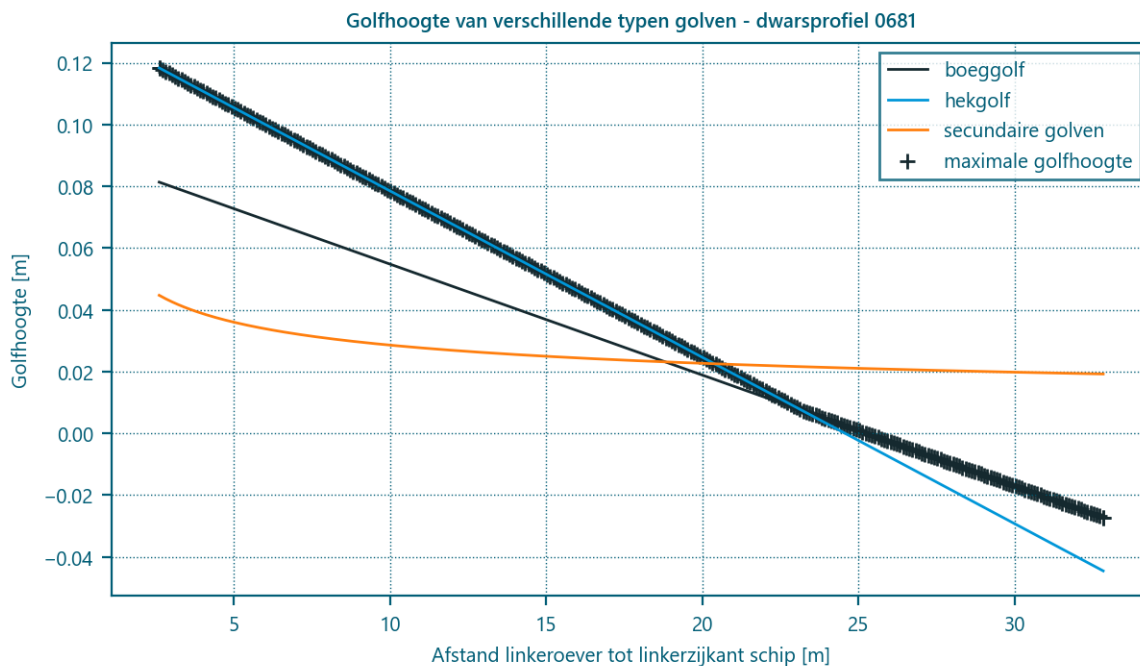
Belasting op oever als gevolg van golven

De belasting op de oever door golven is een functie van de afstand tot de oever. Wanneer de afstand tot de oever toeneemt, neemt de golfhoogte af. Afbeelding 4.8 toont dit effect. Daarnaast laat deze afbeelding zien dat het effect van een toenemende afstand tot de oever op de maximale golfhoogte sterk afvlakt. De golfhoogte blijft dan vrijwel constant. Dit valt te verklaren doordat vanaf het knikpunt, bij een afstand op circa 20 meter afstand van de oever, de secundaire golf maatgevend wordt in plaats van de hekgolf. In afbeelding 4.9 is het effect van de afstand tot de oever op de verschillende type golfhoogtes gepresenteerd.

Afbeelding 4.8 Effect van afstand tot de oever op de maximale golfhoogte



Afbeelding 4.9 Effect van afstand tot de oever op berekende golfhoogtes

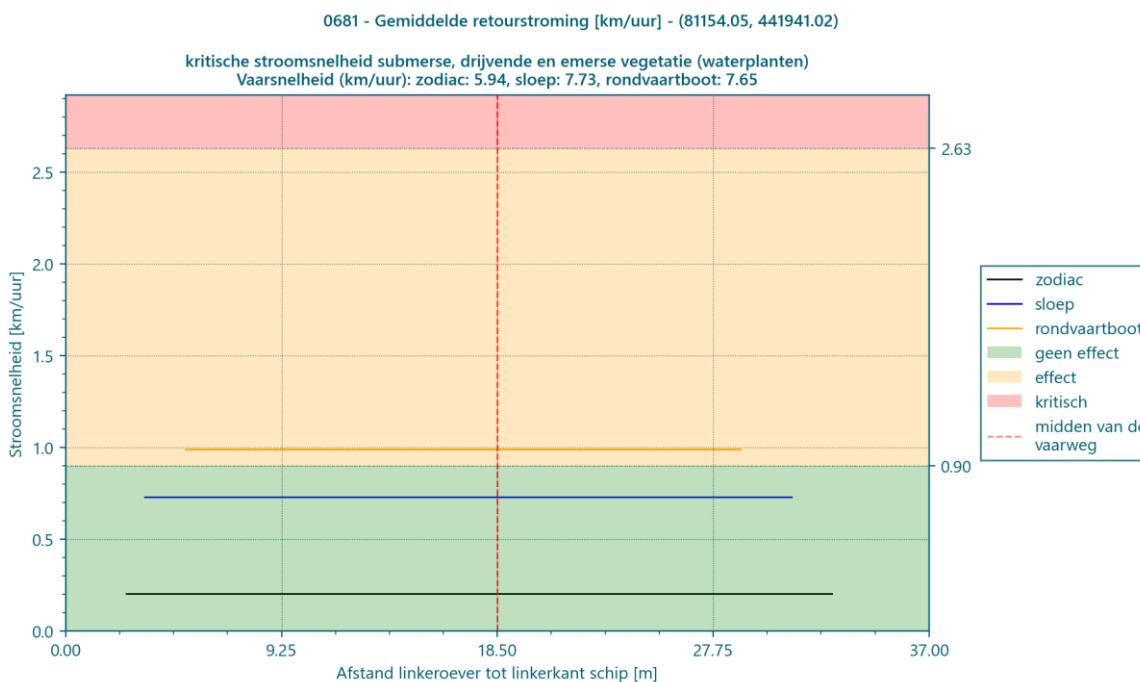


Belasting op oever als gevolg van stroming

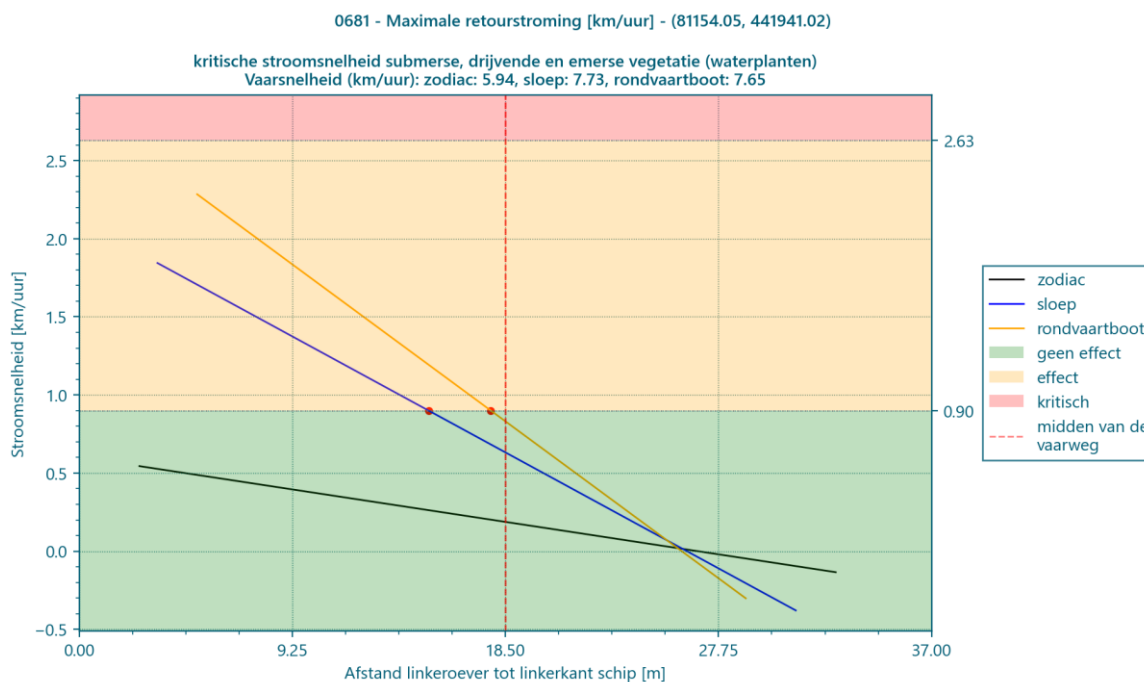
Retourstroming

De afstand tot de oever heeft geen invloed op de snelheid van de gemiddelde retourstroming, zie afbeelding 4.10. Wel beïnvloedt de afstand tot de oever de maximale retourstroming. Een toenemende afstand tot de oever resulteert in een afnemende maximale retourstroomsnelheid en deze kan zelfs negatief worden (waarbij het water in de vaarrichting stroomt), zie afbeelding 4.11.

Afbeelding 4.10 Effect van afstand op de oever op de gemiddelde retourstroming



Afbeelding 4.11 Effect van afstand op de oever op de maximale retourstroming



Schroefstraalstroming

De afstand tussen het schip en de oever heeft een grote invloed op de optredende belasting op de oever. Hoe dicht het schip bij de oever ligt hoe hoger de optredende stroomsnelheden op de oever veroorzaakt door de boegschroef.

Belasting op bodem als gevolg van hoofdschroef

De afstand tot de oever heeft geen invloed op de optredende belasting door de hoofdschroef op de bodem. Er wordt namelijk enkel gekeken naar de belasting op de bodem door de hoofdschroef achter het schip.

4.5 Motorvermogen

Belasting op oever als gevolg van golven

Het motorvermogen heeft geen directe invloed op de belasting op de oever veroorzaakt door golven. Wel kunnen schepen met meer vermogen hogere vaarsnelheden bereiken, zie paragraaf 4.3.

Belasting op oever als gevolg van stroming

Retourstroming

Het motorvermogen heeft geen directe invloed op de belasting op de oever veroorzaakt door retourstroming. Wel kunnen schepen met meer vermogen hogere vaarsnelheden bereiken, zie paragraaf 4.3.

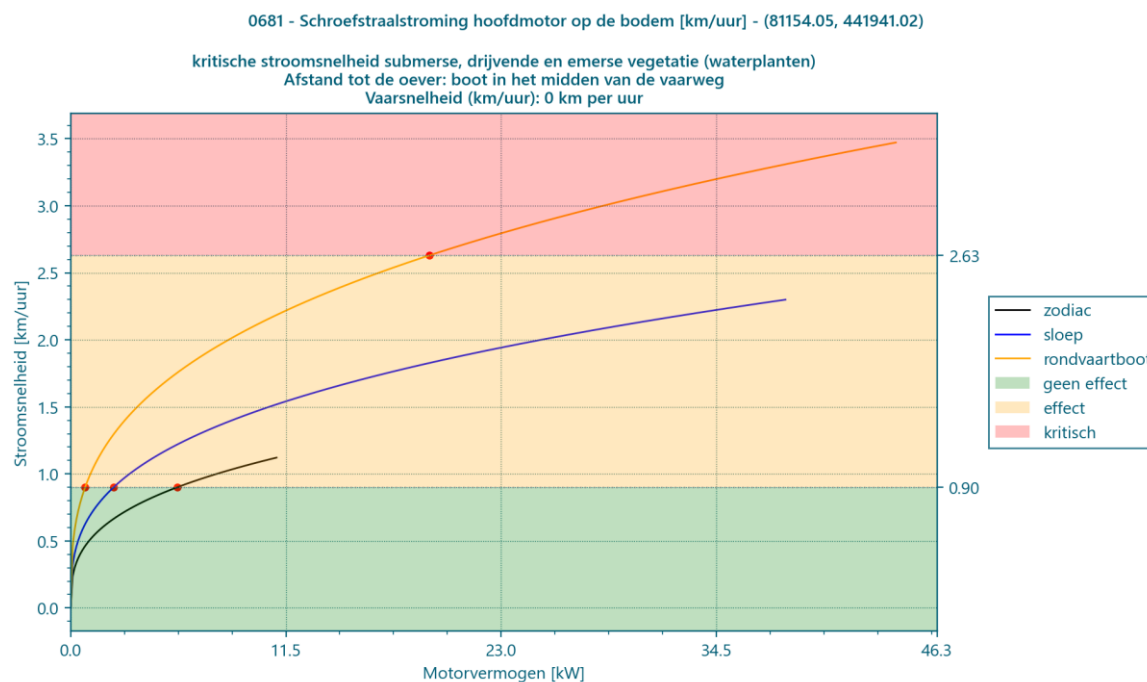
Schroefstraalstroming (boegschroef)

Het motorvermogen heeft invloed op de maximale belasting op de oever veroorzaakt door de boegschroef. Hoe hoger het vermogen, hoe hoger de stroomsnelheden door de boegschroef en de belasting op de oever.

Belasting op bodem als gevolg van hoofdschroef

Het motorvermogen heeft invloed op de maximale belasting op de bodem veroorzaakt door de boegschroef. Hoe hoger het vermogen, hoe hoger de stroomsnelheden achter de hoofdschroef en de belasting op de bodem.

Afbeelding 4.12 Effect van motorvermogen op de maximale stroomsnelheid bij de bodem



4.6 Combinatie afstand tot oever en vaarsnelheid

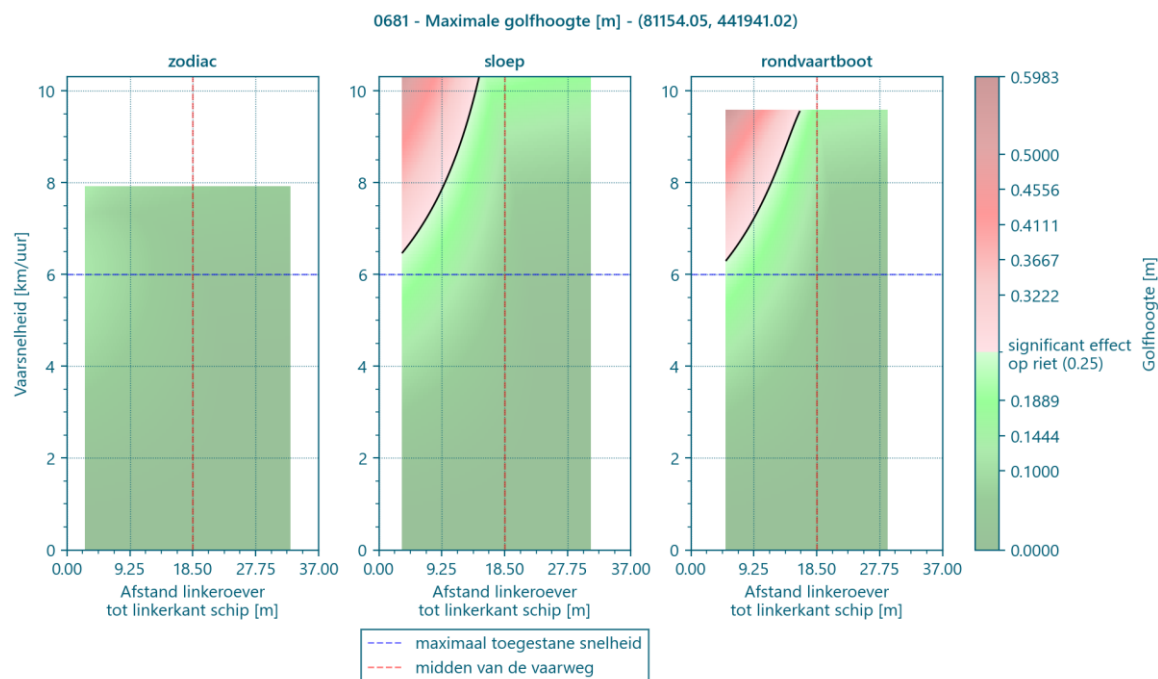
In paragraaf 4.1 tot en met paragraaf 4.5 is telkens het effect van één parameter beschouwd op de belasting op de bodem en oever als gevolg van golven en stroming. In deze paragraaf wordt het effect van de combinatie van afstand tot de oever en de vaarsnelheid bekeken op de belasting van de oever en bodem als gevolg van golven en stroming. Het effect op de bodem en oever als gevolg van de boegschroef en hoofdschroef wordt hier niet beschouwd.

Belasting op oever als gevolg van golven

Afbeelding 4.13 toont het effect van de combinatie van de afstand tot de oever en de vaarsnelheid op de maximale golfhoogte. Een grotere afstand tot de oever of het verlagen van de vaarsnelheid resulteren allebei in een lagere maximale golfhoogte op de oever.

Opvallend is de maximale golfhoogte op de oever, welke vanaf een bepaalde afstand tot de oever bij een constante vaarsnelheid nauwelijks meer afneemt. Het vergroten van de afstand tot de oever heeft dan een minder groot effect. Dit valt te verklaren doordat vanaf een bepaalde afstand tot de oever de hekgolf niet meer maatgevend is, maar de secundaire golf. Dit effect is ook uitgelegd in paragraaf 4.4.

Afbeelding 4.13 Effect van afstand tot de oever en vaarsnelheid op de maximale golfhoogte



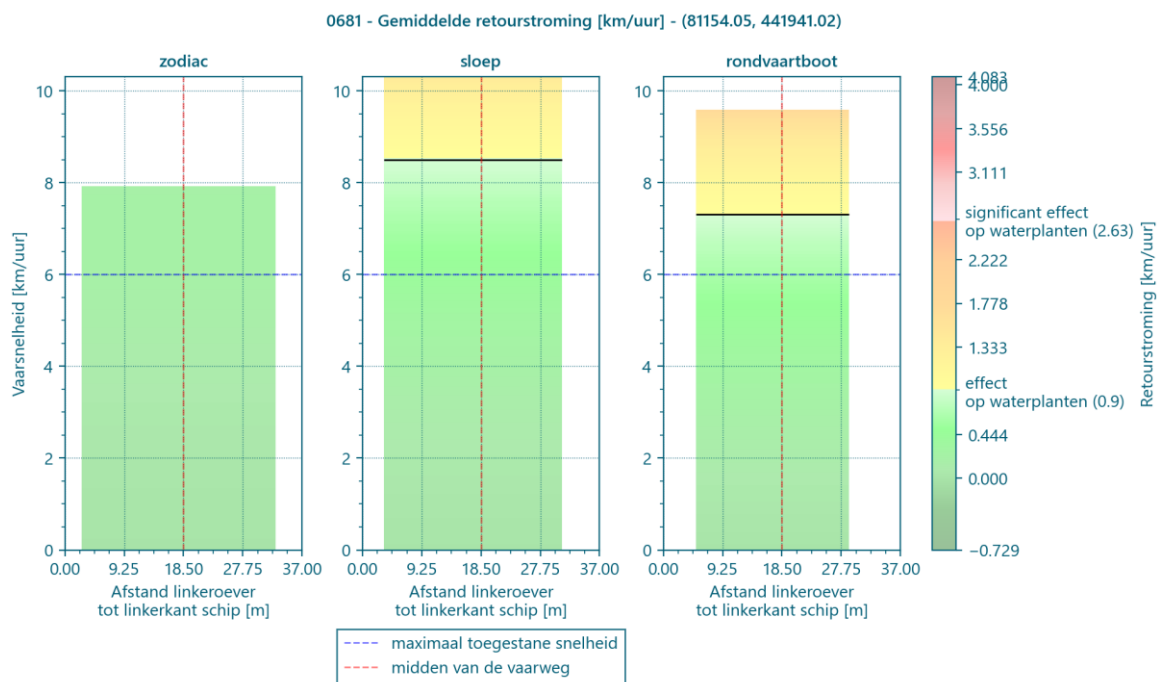
Belasting op oever als gevolg van stroming

Retourstroming

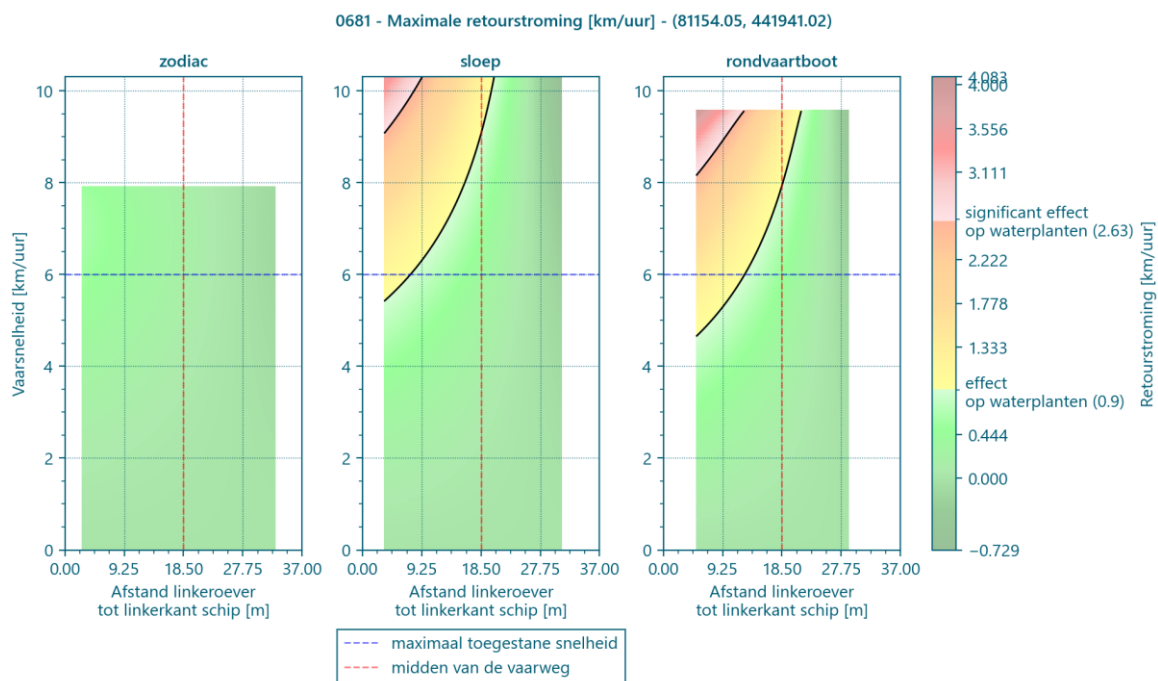
Afbeelding 4.14 toont het effect van de combinatie van de afstand tot de oever en de vaarsnelheid op de gemiddelde retourstroomsnelheid. De afbeelding laat zien dat de afstand tot de oever geen effect heeft op de gemiddelde retourstroomsnelheid, zie ook paragraaf 4.4. De vaarsnelheid heeft wel effect op de gemiddelde retourstroomsnelheid. Bij een toenemende vaarsnelheid neemt de gemiddelde retourstroomsnelheid ook toe. Dit effect is ook terug te zien in paragraaf 4.3.

Afbeelding 4.15 toont het effect van de combinatie van de afstand tot de oever en de vaarsnelheid op de maximale retourstroomsnelheid. In paragraaf 4.3 is al beschreven dat een grotere afstand tot de oever resulteert in een lagere maximale retourstroomsnelheid en in paragraaf 4.4 is toegelicht dat een hogere vaarsnelheid resulteert in een hogere maximale retourstroomsnelheid. Het combineren van beide parameters leidt tot dezelfde conclusie voor de maximale retourstroomsnelheid op de oever.

Afbeelding 4.14 Effect van afstand tot de oever en vaarsnelheid op de gemiddelde retourstroming



Afbeelding 4.15 Effect van afstand tot de oever en vaarsnelheid op de maximale retourstroming



4.7 Samenvatting

Onderstaande tabel toont het effect van verschillende parameters op de belasting veroorzaakt door retour- en schroefstraalstroming en golven op zowel de oever als de bodem van de watergang. Het effect is aangegeven doormiddel van een symbool, waarbij een '↑' een positieve relatie aangeeft. Dit betekent dat bij het toenemen van de beschouwde parameter, de belasting ook toeneemt. Een negatieve relatie is aangegeven met '↓'. Een negatieve relatie betekent dat door het toenemen van de beschouwde parameter de belasting afneemt. Een aantal parameters heeft geen direct effect op de belasting. Dit is ook aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4.1 Relaties tussen belasting en verschillende parameters (rode cel geeft een positieve relatie weer, groene cel geeft een negatieve relatie weer)

	Dimensies watergang	Type schip	Vaarsnelheid	Afstand tot oever	Motorvermogen
belasting oever door golven	oppervlak ↑, belasting ↓	afmetingen ↑, belasting ↑	vaarsnelheid ↑, belasting ↑	afstand ↑, belasting ↓	geen direct effect
belasting oever retourstroming	oppervlak ↑, belasting ↓	afmetingen ↑, belasting ↑	vaarsnelheid ↑, belasting ↑	afstand ↑, belasting ↓	geen direct effect
belasting oever boegschroefstraal stroming	geen direct effect	geen direct effect	geen direct effect	afstand ↑, belasting ↓	motorvermogen ↑, belasting ↑
belasting bodem hoofdschroefstraal stroming	diepte ↑, belasting ↓	diepgang ↑, belasting ↑	vaarsnelheid ↑, belasting ↓	geen direct effect	motorvermogen ↑, belasting ↑

5

MAATREGELEN

Er is een grote diversiteit aan mogelijke maatregelen die een mitigerend effect hebben op de belasting van de bodem of oever. De beschouwde mitigerende maatregelen zijn:

- beperken vaarsnelheid;
- beperken motorvermogen;
- afstand houden tot oevers;
- beperken aantal vaarbewegingen;
- afsluiten van vaarwegen in het voorjaar;
- éénrichtingsverkeer;
- inhaalverbod;
- aan- en afmeerverbod;
- beperken afmetingen schepen (breedte en diepgang);
- beperken type schroeven (met of zonder kokers);
- maaibeheer.

Deze mitigerende maatregelen kunnen worden gerealiseerd met verschillende praktische oplossingen.

Bijlage I geeft een factsheet voor de volgende oplossingen:

- drijfbalk;
- bebording;
- handhaving en controle;
- creëren van ondieptes;
- ballenlijn;
- palenrij (met of zonder rijshout);
- beschoeiing;
- slagbomen;
- doseringslichten;
- éénrichtingsroute;
- maaibeheer afstemming met beheerder.

6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het doel van deze modelstudie is om inzicht te krijgen in maatregelen die de negatieve effecten van varen op de ecologische waterkwaliteit verminderen. Hiervoor zijn de effecten van deze maatregelen doorgerekend voor alle watergangen in het bestaande vaarnetwerk van het Hoogheemraadschap van Delfland. Daarbij zijn de volgende parameters beschouwd: afstand tot de oever, vaarsnelheid en motorvermogen. Hieronder staan de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

6.1 Conclusies

Het effect van vaarrecreatie op de ecologische waterkwaliteit is bepaald voor vijf parameters voor de volgende drie belastingsituaties:

- belasting door golven op de oever;
- belasting door retourstroming op de oever;
- belasting door hoofdschroefstraalstroming op de bodem.

Tabel 6.1 toont de relatie tussen de belastingen en de parameters. Deze zijn uitgebreid beschreven in hoofdstuk 4.

In de bijlage is een bestand opgenomen met de voor elke dwarsprofiel 12 waardes die aangeven voor welke belasting er geen schade optreedt aan ried en ondergedoken waterplanten (2) voor elk boottype (3), bij de minimale afstand tot de oever bij de maatgevende vaarsnelheid en bij de maximale vaarsnelheid de benodigde afstand tot de oever. Hiermee kan bij elk dwarsprofiel worden bepaald wat de grenzen zijn voor de verschillende boottypen.

Tabel 6.1 Relaties tussen belasting en verschillende parameters (rode cel geeft een positieve relatie weer, groene cel geeft negatieve relatie weer)

	Dimensies watergang	Type schip	Vaarsnelheid	Afstand tot oever	Motorvermogen
belasting oever door golven	oppervlak ↑, belasting ↓	afmetingen ↑, belasting ↑	vaarsnelheid ↑, belasting ↑	afstand ↑, belasting ↓	geen direct effect
belasting oever door retourstroming	oppervlak ↑, belasting ↓	afmetingen ↑, belasting ↑	vaarsnelheid ↑, belasting ↑	afstand ↑, belasting ↓	geen direct effect
belasting bodem door hoofdschroefstraal stroming	diepte ↑, belasting ↓	diepgang ↑, belasting ↑	vaarsnelheid ↑, belasting ↓	geen direct effect	motorvermogen ↑, belasting ↑

Mitigerende maatregelen die in deze studie zijn beschouwd zijn:

- beperken vaarsnelheid;
- beperken motorvermogen;
- afstand houden tot oevers;
- beperken aantal vaarbewegingen;

- afsluiten van vaarwegen in het voorjaar;
- éénrichtingsverkeer;
- inhaalverbod;
- aan- en afmeerverbod;
- beperken afmetingen schepen (breedte en diepgang);
- beperken type schroeven (met of zonder kokers);
- maaibeheer.

Elke maatregel kan door verschillende praktische oplossingen worden gerealiseerd. Bijlage I geeft een factsheet voor de volgende oplossingen:

- drijfbalk;
- bebording;
- handhaving en controle;
- creëren van ondieptes;
- ballenlijn;
- palenrij (met of zonder rijshout);
- beschoeiing;
- slagbomen;
- doseringslichten;
- éénrichtingsroute;
- maaibeheer afstemming met beheerder.

6.2 Aanbevelingen

Belastinggevallen

In deze modelstudie zijn niet alle belastinggevallen en combinaties beschouwd. Aanbevolen wordt om ook de volgende belastinggevallen en combinaties te beschouwen:

- het oplopen van schepen;
- het aan- en afmeren van schepen;
- de combinatie van retourstroming, hoofdschroef en de boegschroef;
- het effect van het type schroef op de stromingsbelasting.

Watergangen

In de modelstudie zijn 1100 dwarsprofielen beschouwd en in deze rapportage zijn drie representatieve watergangen gepresenteerd. Twee daarvan, de Gantel en de Strijp, hebben een zeer vergelijkbaar profiel en zijn smal en ondiep. Aanbevolen wordt om ook een profiel te beschouwen dat qua nat oppervlak tussen de Gantel en de Vlaardingervaart in zit.

De watergangen in de modelstudie hebben allemaal een vergelijkbare diepte, circa NAP-1,5 m tot NAP- 2,0 m. Aanbevolen wordt om ook een dieper profiel te beschouwen.

Ecologie

Ten behoeve van ecologie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- de gehanteerde kritische belasting voor watervegetatie gaat uit van de aanwezigheid van vegetatie. Wanneer nog geen vegetatie aanwezig is, of wanneer deze zich nog ontwikkelt, is de kritische belasting die het aan, kan veel lager;
- naast de belasting door vaarrecreatie, zijn er ook andere kritische belastingen zoals de nutriëntenbelasting;
- in deze studie is enkel naar planten gekeken. Aanbevolen wordt om ook algen, vissen en macrofauna te beschouwen.

Onzekerheden

De gehanteerde uitgangspunten brengen enkele onzekerheden met zich mee die de resultaten mogelijk beïnvloeden. De volgende onzekerheden worden aanbevolen om verder te beschouwen:

- het valideren of de vergelijkingen voor binnenvaartschepen ook toegepast kunnen worden op recreatievaart. Op dit moment kan niet worden aangegeven of verbeterde vergelijkingen leiden tot lichtere of zwaardere belastingen;
- het meenemen van natuurlijke stroming, (wind)golfbelasting en weersinvloeden op de oever. Het meenemen van deze effecten resulteert waarschijnlijk in een zwaardere belasting op de oever, omdat meerdere belastingen worden gecombineerd;
- het meenemen van de frequentie van een type belasting. Een hogere frequentie resulteert in een zwaarder belasting en mogelijk meer schade;
- het afleiden van belastingnormen voor ondergedoken waterplanten voor vaarten en sloten. De gebruikte normen zijn afgeleid voor kanalen en rivieren. Het is onduidelijk hoe of deze belastingnormen hoger of lager uit zullen vallen;
- het beschouwen van andere waterkwaliteitsparameters zoals doorzicht en nutriëntenbelasting. Nu is alleen stroming en golfhoogte meegenomen. Het is belangrijk om waterkwaliteit als geheel te beschouwen om te bepalen of vegetatie zich kan ontwikkelen en handhaven. Waarschijnlijk zijn er ook andere waterkwaliteitsparameters die ervoor zorgen dat vegetatie zich nu niet kan ontwikkelen en handhaven;
- het beschouwen van de combinaties van belastingen op waterplanten, zoals de combinatie van stroming en golven. Een combinatie van stroming en golven kan resulteren in een hogere belasting op de waterplanten;
- het onderzoeken of de formules ook toegepast kunnen worden op niet-versimpelde dwarsprofielen. In dat geval kan de belasting nauwkeuriger berekend worden. Het is onduidelijk welk effect dit heeft op de belasting en daarmee op de resultaten.

REFERENTIES

In dit rapport zijn de volgende referenties gebruikt:

- 1 Rock Manual, The use of in hydraulic engineering (2nd edition). CIRIA CUR, CETMEF, Published by C683, CIRIA London.
- 2 Standaardisatie Maritieme Infrastructuur Havenbedrijf Rotterdam. Ontwerpmethodiek bodembeschermingen. Versie 3.0. 27 februari 2018.
- 3 CUR (1999), handboek natuurvriendelijke oevers - belasting en sterkte. Empirische referentiewaarden voor de belasting op oevers en onbegroeide bodems.
- 4 Witteveen+Bos (2021), analyse ecologische effecten vaarrecreatie. Referentie 123978/21-008.480.
- 5 Witteveen+Bos (2022), de ecologische meerwaarde van elektrisch varen. Referentie 129068/22-015.128.
- 6 Waterloopkundig laboratorium (1997), Gebruikershandleiding DIPRO 3.02n. December 1997.

Bijlage(n)



BIJLAGE: FACTSHEETS

Voor de volgende praktische oplossingen is een factsheet opgesteld:

- drijfbalk;
- bebording;
- handhaving en controle;
- creëren van ondieptes;
- ballenlijn;
- palenrij (met of zonder rijshout);
- beschoeiing;
- slagbomen;
- doseringslichten;
- éénrichtingsroute;
- maaibeheer afstemming met beheerder.

Factsheet: Drijfbalk

Omschrijving van praktische oplossing

Een drijfbalk is een op het water drijvende balk of boomstam. De balk is verankerd aan de bodem of aan de oever.

Toepassing

Een drijfbalk kan verschillende functies vervullen, zoals:

- afbakenen of reguleren van toegang tot gebieden
- beschermen van oevers door het reduceren van golfslag
- markeren van specifieke gebieden in wateren
- afvangen van drijfvuil

Drijfbalken zorgen naast een visuele afscheiding ook een fysieke afscheiding voor schepen.

Schepen zullen niet (of moeilijker) over een drijfbalk varen, in verband met schade aan het schip.

Mitigerende maatregelen

Afhankelijk van het gewenste mitigerende effect kan een drijfbalk op verschillende manieren worden toegepast. Aan de rechterzijde van de factsheet zijn afbeeldingen getoond van verschillende toepassingen van drijfbalken.

Mitigerende maatregel: afsluiten vaarweg voorjaar

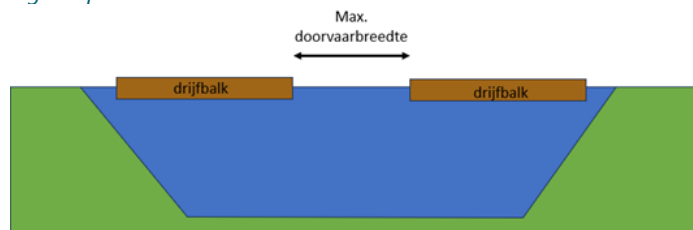
Een drijfbalk kan over de volle breedte van de watergang worden geplaatst, zodat het voor schepen niet mogelijk is om de betreffende watergang in te varen.



Afbeelding 1: Drijfbalk over volle breedte van vaarweg in het voorjaar

Mitigerende maatregel: beperken afmeting schip

Om afmetingen van schepen binnen een watergang te controleren, kan aan het begin van een watergang vaarbalken worden geplaatst. De afstand tussen de vaarbalken is afgestemd op de gewenste maximale breedte van de schepen. Bij Waterschap Rivierenland wordt een zogenaamde kanogoot toegepast.



Afbeelding 2: Schets opening tussen drijfbalk om afmetingen te beperken



Afbeelding 3: Drijfbalk met kanogoot

Mitigerende maatregel: afstand houden tot oever

Drijfbalken kunnen parallel aan de oever aangebracht worden. Op deze manier is het voor schepen niet mogelijk om dichtbij de oevers te varen.



Afbeelding 4: Drijfbalk welke zorgt voor afstand tot de oever

Voordelen toepassing drijfbalk

Het toepassen van een drijfbalk heeft verschillende voordelen:

- er ontstaat geen fysieke afscheiding tussen de oever en de watergang, doordat de drijfbalk alleen op het oppervlak van het water drijft. Er ontstaat geen barrière voor het onderwaterleven
- eenvoudige ingreep waar al veel ervaring mee is
- kan ook tijdelijk (alleen in het voorjaar) worden toegepast

Nadelen toepassing drijfbalk

Een nadeel van een drijfbalk is het bijkomende onderhoud. Een drijfbalk verzamelt naast vuil ook eendenkroos. Het is wenselijk om het vuil op reguliere basis te verwijderen. Doordat het lastig is om eendenkroos te verwijderen, kan dit tijdens warme periodes leiden tot een explosieve groei ervan.

Aandachtspunten

Het is belangrijk bij het toepassen van een drijfbalk dat deze goed zichtbaar is om te voorkomen dat schepen er tegen of overheen varen. Om dit te voorkomen kan bijvoorbeeld gedacht worden aan:

- het plaatsen van bebording
- de drijfbalk uitvoeren in een opvallende kleur
- het plaatsen van verlichting

Een ander aandachtspunt bij het toepassen van een drijfbalk is de uitvoering. Een drijfbalk dient uitgevoerd te worden met robuuste materialen, zoals hout, metaal of kunststof. De materialen moeten tegen een stootje kunnen en de weersinvloeden. Daarnaast moet het materiaal ook onderhoudsvriendelijk zijn. De materialen liggen namelijk deels in het water. Dit is vaak een kwetsbaar milieu.

Referentie

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Drijfbalk>

<https://www.waterschaprivierenland.nl/de-vuilwerende-kanogoot>

<https://www.deweblogvanhelmond.nl/qa/qa-onderhoud-van-het-kanaal/>

<https://kennis.hunzeenaas.nl/index.php/Id-82159c5e-d6bf-4398-8429-88ae38ded926>

Factsheet: Bebording

Omschrijving van praktische oplossing

Met het plaatsen van bebording wordt het plaatsen van borden bedoeld in en rond de vaarweg. De bebording bestaat vaak uit een paal met daarop een bord.

Toepassing

Door het plaatsen van borden met informatie naast de vaarweg kunnen bijvoorbeeld regels en waarschuwingen kenbaar gemaakt worden aan bestuurders van vaartuigen. Bebording kan bijvoorbeeld gebruikt worden voor het aangeven van:

- maximale vaarsnelheid
- maximale afmetingen van schepen
- maximale motorvermogen
- afstand tot oever
- verboden locaties voor aan- en afmeren van schepen
- verboden gebieden voor recreatievaart
- vaarrichting
- type schroef (wel of geen koker)
- inhaalverbod
- een drijfbalk of ballenlijn, om de veiligheid te vergroten

Mitigerende maatregelen

Afhankelijk van het gewenste mitigerende effect kunnen verschillende typen bebording worden toegepast. Aan de rechterzijde van de factsheet zijn afbeeldingen getoond van verschillende bestaande bebording.

Mitigerende maatregel: maximale vaarsnelheid Het verkeersbord aan de rechterzijde wordt gebruikt om de maximale vaarsnelheid in kilometer per uur op de vaarweg aan te geven.

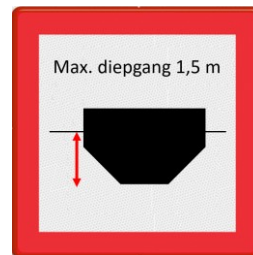
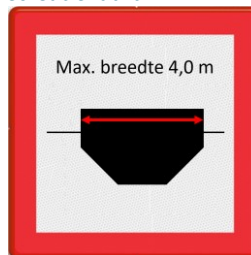


Afbeelding 1: Verkeersbord maximale vaarsnelheid

Mitigerende maatregel: maximale afmetingen recreatievaart

Voor het aangeven van de maximale dimensies van recreatievaart aan te geven zijn nog geen verkeersborden.

Gedacht zou kunnen worden aan de volgende borden, zie rechterzijde. De verkeersborden geven links de maximale breedte en rechts de diepte aan van de schepen.



Afbeelding 2: Verkeersborden met dimensies

Mitigerende maatregel: maximaal vermogen recreatievaart

Voor het aangeven van het maximale vermogen van recreatievaart zijn nog geen verkeersborden.

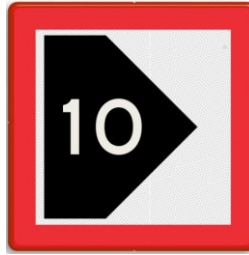
Gedacht zou kunnen worden aan het volgende, zie rechterzijde.



Afbeelding 3: Verkeersbord maximaal vermogen

Mitigerende maatregel: afstand tot oever

Voor het aangeven van de minimale afstand welke tot de oever bewaard dient te worden bestaat het volgende bord, zie rechterzijde. Het op het bord voorkomende getal geeft in meters de afstand aan die de schepen uit de oever dienen te blijven, gerekend vanaf het bord.



Afbeelding 4: Verkeersbord afstand tot oever

Mitigerende maatregel: verboden aan te meren

Om aan te geven dat het verboden is om aan te meren op een bepaalde locatie bestaat het volgende bord, zie rechterzijde.



Afbeelding 5: Verkeersbord verboden om aan te meren

Mitigerende maatregel: verboden gebied

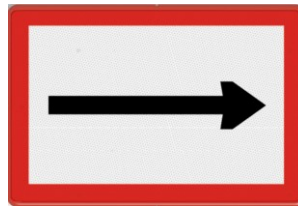
Voor het aangeven van een invaartverbod wordt het bord aan de rechterzijde gebruikt.



Afbeelding 6: Verkeersbord scheepvaartverbod

Mitigerende maatregel: verplichte vaarrichting

Voor het aangeven van een verplichte vaarrichting wordt het volgende bord toegepast, zie rechterzijde.

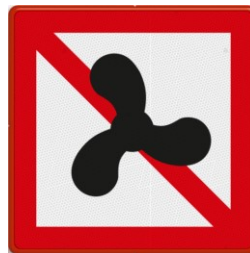


Afbeelding 7: Verkeersbord scheepvaartverbod

Mitigerende maatregel: gebruik per type schroef

Borden kunnen gebruikt worden om aan te geven welke type schroeven niet gebruikt mogen worden. Het bord aan de rechterzijde wordt gebruikt om aan te geven dat gemotoriseerde schepen niet zijn toegestaan.

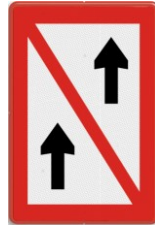
Op dit bord zou een variant gemaakt kan worden voor een bepaald type schroef.



Afbeelding 8: Verkeersbord met het verbod voor gemotoriseerde voertuigen

Mitigerende maatregel: gebruik

Om aan te geven dat in een vaarweg een inhaalverbod geldt, bestaat het volgende bord, zie rechterzijde.



Afbeelding 9: Verkeersbord met het verbod om ander schepen in te halen

Mitigerende maatregel: gebruik per type schroef

Borden kunnen gebruikt worden om aan te geven dat een ballenlijn of een drijfbalk aanwezig is in de vaarweg. Voor deze maatregelen is nog geen bord beschikbaar.

Aan de rechterzijde zijn voorbeelden gegeven hoe zo'n bord er uit zou kunnen zien.



Afbeelding 10: Verkeersbord dat ballenlijn of drijfbalk aangeeft

Voordelen toepassing bebording

Het toepassen van bebording heeft meerdere voordelen:

- eenvoudige ingreep met beperkt ruimtebeslag
- kan ook tijdelijk (alleen in het voorjaar) worden toegepast

Nadelen toepassing bebording

Het toepassen van bebording heeft ook nadelen:

- bebording resulteert niet in een fysieke bescherming van de oevers. Recreatievaart wordt niet geforceerd zich aan de regels op de borden te houden
- wanneer een bord niet goed zichtbaar is heeft dit geen effect op de oevers

Aandachtspunten

Om er voor te zorgen dat de regels nageleefd worden, is het belangrijk dat verkeersborden goed zichtbaar zijn. Zo moet er rekening gehouden worden dat de verkeersborden van grote afstand zichtbaar zijn en 's nachts als ook dat ze niet bedekt zijn door begroeiing. Daarnaast zullen ze met regelmatige intervallen moeten worden geplaatst langs de vaarwegen.

Daarnaast is het belangrijk dat de boodschap op de verkeersborden eenduidig is. De bebording in deze factsheet bevat een aantal 'nieuwe' verkeersborden. Iedereen (met en zonder vaarbewijs) moet de bebording begrijpen om misverstanden te voorkomen.

Referentie

<https://www.scheepvaartbord.nl/officieel/scheepvaartborden-overzicht/?i=1>

Factsheet: Handhaving

Omschrijving van praktische oplossing

Op vaarwegen kan toezicht worden gehouden door bijvoorbeeld de politie of handhavers. Zij zullen rondvaren en controleren of de regels op de vaarwegen worden nageleefd. Indien dit niet het geval is kan er gehandhaafd worden.

Toepassing

Handhaving op het water kan uitgevoerd worden door bijvoorbeeld politie of handhavers. Zij zijn verantwoordelijke voor het naleven van de geldende regels en wetten op het water. Indien nodig kunnen zij optreden. Belangrijk is dat de handhavers duidelijk zichtbaar zijn op het water. De functie van handhaving is de zorgdragen dat de regels op het water worden nageleefd.

Mitigerende maatregelen

Handhaving kan aan alle onderstaande mitigerende maatregelen bijdragen door middel van controle en fysieke aanwezigheid:

- beperken vaarsnelheid
- beperken motorvermogen
- afstand houden tot oevers
- beperken aantal vaarbewegingen
- afsluiten van vaarwegen in het voorjaar
- Eenrichtingsverkeer
- inhaalverbod
- aan- en afmeerverbod
- beperken afmetingen (breedte en diepgang)
- beperken type schroeven (met of zonder kokers)
- maaibeheer



Afbeelding 1: Aanwezigheid van politie op vaarweg

Voordelen toepassing handhaving

Het voordeel van handhaving is dat zij naast het vervullen van de mitigerende maatregelen ook nog zorgen voor een veiligere situatie op het water. Hierbij valt te denken aan handhaving op alcoholgebruik en gevaarlijk vaargedrag. Daarnaast kunnen zij bijvoorbeeld ook drenkelingen helpen.

Nadelen toepassing handhaving

Het nadeel van handhaving is de benodigde fysieke aanwezigheid van handhavers in combinatie met het grote aantal kilometers watergangen. Het is vrijwel onmogelijk om overal zichtbaar te zijn met handhavers.

Daarnaast maakt handhaving ook gebruik van boten, welke weer voor extra vaarbewegingen in het gebied zorgen.

Referentie

<https://www.varendoejesamen.nl/nieuws/welke-partijen-handhaven-op-het-water>

Factsheet: Creëren van ondieptes

Omschrijving van praktische oplossing

Ondieptes zijn delen in de vaarweg waar de ligging van de bodem met opzet hoger is aangelegd. De ondiepte bestaat uit (gebiedseigen) grond.

Toepassing

Ondieptes kunnen toegepast worden in langsrichting van de vaarweg, om de vaarweg te versmallen of over de volle breedte van de vaarweg om de vaarweg te blokkeren of de toelaatbare diepgang van schepen te reguleren.

Mitigerende maatregelen

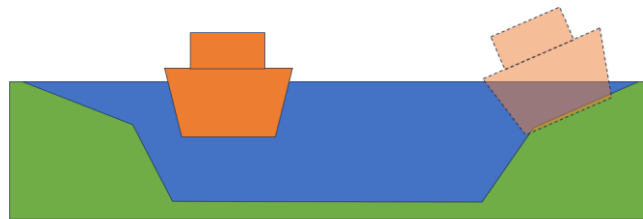
Ondieptes kunnen worden toegepast als mitigerende maatregelen voor de volgende belastingen:

- afstand houden tot oevers
- afsluiten vaarweg / beperken afmetingen (diepgang)
- eenrichtingsverkeer

Aan de rechterzijde van de factsheet zijn afbeeldingen getoond van verschillende toepassingen van drijfbalken.

Mitigerende maatregel: afstand houden tot oevers

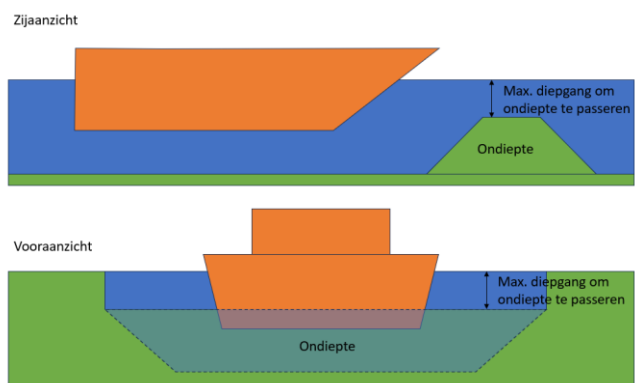
Een ondiepte kan in langsrichting aangebracht worden langs de oever, zodat schepen de bodem voelen ze te dicht bij de oever komen.



Afbeelding 1: Afstand houden door oevers door middel van ondieptes

Mitigerende maatregel: afsluiten van vaarweg / beperken dimensies (diepgang) van recreatievaart

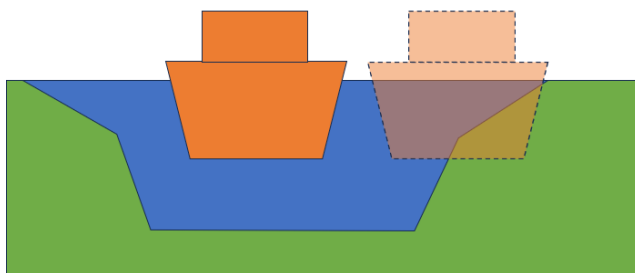
Door een ondiepte over de volle breedte van een vaarweg aan te brengen kan een vaarweg afgesloten worden. Het is niet mogelijk om over de ondiepte te varen voor schepen met een specifieke diepgang.



Afbeelding 2: Afsluiten of beperken dimensies schepen door middel van ondieptes

Mitigerende maatregel: eenrichtingsverkeer / inhaalverbod

Door ondieptes aan te brengen in langsrichting van de vaarweg kan de vaarweg versmald worden zodat slechts mogelijk is voor één schip om door de vaarweg te varen. Dezelfde methode, waarbij de vaarweg versmald wordt middels ondieptes, kan ook toegepast worden om inhalen te verbieden.



Afbeelding 3: Eenrichtingsverkeer door middel van ondieptes

Voordelen toepassing creëren ondieptes

Het voordeel van het toepassen van ondieptes is dat het een geheel natuurlijke oplossing is. Het kan uitgevoerd worden met gebiedseigen materiaal. Daarnaast kunnen ondieptes ook vanuit ecologisch perspectief voordelen bieden en de biodiversiteit vergroten.

Nadelen toepassing creëren ondieptes

Het nadeel van het creëren van ondieptes is dat het een ingrijpende en permanente oplossing is. Ook beïnvloedt het creëren van een ondiepte in langsrichting het ruimtegebruik nadelig. Daarnaast wordt de grond van de ondiepte omgewoeld wanneer schepen vlak langs de ondiepte varen.

Aandachtspunten

Een aandachtspunt bij het creëren van ondieptes is dat de ondieptes duidelijk worden aangegeven, met bijvoorbeeld bebording of met een ballenlijn. De ondieptes zijn namelijk niet zichtbaar vanuit de boten, omdat deze onder water liggen. Er moet voorkomen worden dat schepen vastvaren.

Een ander aandachtspunt is dat door het toepassen van ondieptes het doorstroomoppervlak van de watergang verkleind wordt. Dit heeft effect op de afvoercapaciteit van de watergang.

Referentie

-

Factsheet: Ballenlijn

Omschrijving van praktische oplossing

Een ballenlijn is een reeks drijvende ballen welke met elkaar verbonden zijn door een touw of ketting. Om de lijn op zijn plek te houden, wordt deze verankerd met gewichten op de bodem.

Toepassing

Een ballenlijn heeft voornamelijk een visuele functie en vormt in mindere mate een fysieke belemmering voor recreatievaart. De fysieke belemmering is afhankelijk van de grootte van de ballen, de tussenafstand van de ballen, het touw of de ketting en hoe strak de lijn is gespannen.

Een ballenlijn kan verschillende functies vervullen, zoals:

- het afbakenen van gebieden
- het markeren van gebieden

Mitigerende maatregelen

Afhankelijk van het gewenste mitigerende effect kan een ballenlijn op verschillende manieren worden toegepast. Aan de rechterzijde van de factsheet zijn afbeeldingen getoond van verschillende toepassingen van ballenlijnen.

Mitigerende maatregel: afsluiten vaarweg voorjaar

Een ballenlijn kan over de volle breedte van de watergang worden geplaatst, zodat voor schepen een duidelijke visuele afscheiding aanwezig is tot waar het mogelijk is om te varen.



Afbeelding 1: Ballenlijn over volle breedte van vaarweg in het voorjaar

Mitigerende maatregel: afstand houden tot oevers

Om te zorgen dat recreatievaart voldoende afstand houdt tot de oevers kan een ballenlijn worden toegepast. De bovenste afbeelding toont een ballenlijn welke de vaarweg aan geeft. Het is de bedoeling dat de boten tussen de twee ballenlijnen blijven varen, zodat voldoende afstand tot de oever wordt bewaard.



Afbeelding 2: Ballenlijn om vaarweg aan te geven

De onderste afbeelding laat zien dat afstand gehouden dient te worden tot een specifiek stuk oever. Hier vormt de ballenlijn een visuele afscheiding. Deze geeft aan dat schepen niet voorbij de ballenlijn mogen varen om op die specifieke locatie de oever te beschermen.



Afbeelding 3: Ballenlijn toegepast op specifieke locatie

Voordelen toepassing ballenlijn

Het toepassen van een ballenlijn heeft verschillende voordelen:

- er ontstaat geen fysieke afscheiding tussen de oever en de watergang, doordat de ballenlijn alleen op het oppervlak van het water drijft. Er ontstaat geen barrière voor het onderwaterleven
- ballen van de ballenlijn kunnen in verschillende kleuren worden uitgevoerd, zodat deze goed zichtbaar zijn tijdens verschillende condities
- eenvoudige ingreep waar al veel ervaring mee is
- flexibiliteit, de ballenlijn kan gemakkelijk verplaatst worden naar locaties waar er (tijdelijk) behoefte aan is
- kan ook tijdelijk (alleen in het voorjaar) worden toegepast

Nadelen toepassing ballenlijn

Het nadeel van de ballenlijn is dat deze geen fysieke barrière vormt voor recreatievaart. Het is dus mogelijk dat schepen (per ongeluk) er overheen varen.

De ballenlijn heeft vanwege zijn visuele functie een opvallende kleur, wat niet altijd wenselijk is in een natuurlijke omgeving.

Aandachtspunten

Het is belangrijk bij het toepassen van een ballenlijn dat deze goed zichtbaar is om te voorkomen dat schepen er per ongeluk overheen varen of er in verstrikt raken met hun schroef. Om dit te voorkomen kan bijvoorbeeld gedacht worden aan:

- de ballen een opvallende kleur geven
- het plaatsen van bebording
- het plaatsen van verlichting
- het gebruiken van reflecterende of lichtgevende ballen

Een ander aandachtspunt bij het toepassen van een ballenlijn is de uitvoering. De ballenlijn dient robuust te zijn. De lijn moet niet knappen en goed verankerd zitten aan de bodem. Er kan gedacht worden aan kunststof ballen en lijnen en metalen of betonnen ankers.

Referentie

<https://www.ballenlijn.nl/>.

<https://havenspecialist.nl/product/ballenlijn-vaarwegmarkering/>.

Factsheet: Palenrij (met of zonder rijshout)

Omschrijving van praktische oplossing

Het plaatsen van palen in de bodem, welke boven de waterlijn uitsteken om een fysieke barrière te vormen voor recreatievaart. De palen worden aangebracht in een rij.

Toepassing

Een palenrij kan worden aangebracht in langsrichting van de vaarweg, om de vaarweg te versmallen of over de volle breedte van de vaarweg om de vaarweg te blokkeren. Wanneer een dubbele palenrij wordt aangebracht kan hiertussen rijshout worden aangebracht, wat de golfbelasting op de oever kan reduceren.



Afbeelding 1: Enkele rij palen zonder rijshout



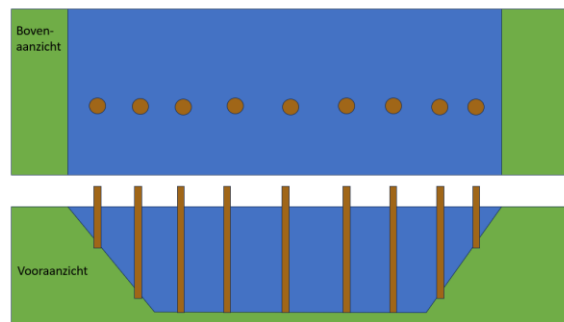
Afbeelding 2: Dubbele rij palen met rijshout

Mitigerende maatregelen

Afhankelijk van het mitigerende effect kan een palenrij op verschillende manieren worden toegepast. Hieronder is uitgewerkt hoe de palenrij als praktische oplossing kan worden toegepast.

Mitigerende maatregel: afsluiten van watergang

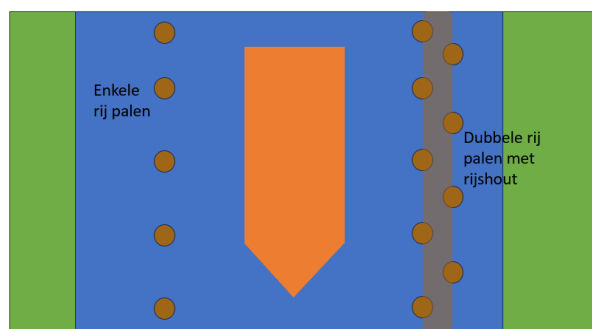
Een palenrij kan over de volle breedte van de watergang worden geplaatst, zodat het voor schepen niet mogelijk is om verder te varen.



Afbeelding 1: Bovenaanzicht palenrij welke watergang afsluit

Mitigerende maatregel: afstand houden tot oevers

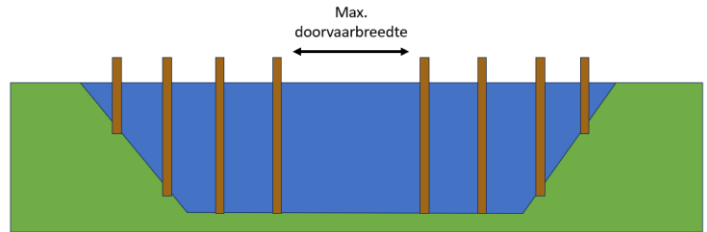
De afbeelding aan de rechterzijde laat zien dat afstand gehouden dient te worden tot een stuk oever. Hier vormt de palenrij een visuele en fysiek afscheiding.



Afbeelding 2: Bovenaanzicht palenrijen (links enkele rij palen, rechts dubbele rij palen met rijshout)

Mitigerende maatregel: beperken afmeting schip (breedte)

Om afmetingen van schepen binnen een watergang te controleren, kan aan het begin van een watergang over een gewenste breedte een palenrij worden aangebracht. De afstand tussen de palenrij is afgestemd op de gewenste maximale breedte van de schepen.



Afbeelding 3: Vooraanzicht palenrij

Voordelen toepassing palenrij

Het toepassen van een palenrij heeft verschillende voordelen:

- er ontstaat slechts een hele beperkte fysieke afscheiding tussen de oever en de watergang. Dit vormt geen barrière voor het onderwaterleven
- eenvoudige ingreep waar al veel ervaring mee is
- door het toepassen van rijshout kan dit extra golfdemping realiseren

Nadelen toepassing palenrij

Het nadeel van een palenrij is dat deze niet flexibel is. Na plaatsing zijn de palen niet eenvoudig te verplaatsen. Het is geen geschikte oplossing wanneer een watergang slechts een deel van het jaar afgesloten moet worden.

Aandachtspunten

Aandachtspunt bij de palenrij en het rijshout is het onderhoud. Doordat de palen en het rijshout boven- en onderwater staan moet rekening gehouden met extra onderhoud. Het is een optie om de palen uit te voeren in een composiet, welke niet rot en een natuurlijke uitstraling heeft.

Het is daarnaast belangrijk dat de palen goed zichtbaar zijn om te voorkomen dat schepen er tegenaan varen. Om dit te voorkomen kan gedacht worden aan:

- het plaatsen van bebording
- de palen (deels) een opvallende kleur geven
- het plaatsen van verlichting

Referentie

<https://www.vanschaiksalix.nl/portfolio-archive/beschoeiingen/>

<https://sloterpark.net/20221230-sloterpark-oost-project-deel-7-oevers.html>.

Factsheet: Beschoeiing

Omschrijving van praktische oplossing

Een beschoeiing is een gesloten constructie van palen en/of planken langs de oever. De constructie beschermt de oever tegen erosie door golfslag.

Toepassing

Bij een beschoeiing kunnen palen strak tegen elkaar worden geplaatst, of er kan ruimte tussen de palen worden gehouden. In de ruimte tussen de palen worden dan planken aangebracht. De ruimte achter een beschoeiing wordt vaak uitgevuld met grond. In dat geval heeft de beschoeiing ook een grondkerende functie.

Een beschoeiing wordt in langsrichting van de watergang aangebracht. Deze wordt niet over de breedte van de watergang aangebracht, omdat deze dan de stroming blokkeert.



Afbeelding 1: Beschoeiing bestaande uit enkel palen



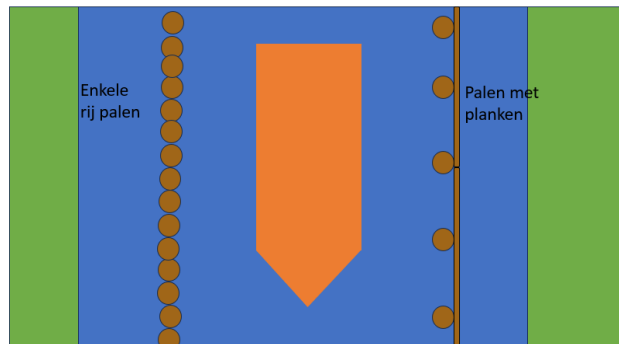
Afbeelding 2: Beschoeiing bestaande uit palen en planken

Mitigerende maatregelen

Afhankelijk van het gewenste mitigerende effect kan een beschoeiing op verschillende manieren worden toegepast. Hieronder is uitgewerkt hoe de beschoeiing als praktische oplossing kan worden toegepast als mitigerende maatregel met verschillende functies.

Mitigerende maatregel: afstand houden tot oevers

De afbeelding laat zien dat boten afstand moeten houden tot de oever. Hier vormt de beschoeiing een visuele en fysiek afscheiding.



Afbeelding 2: Boven-aanzicht beschoeiing (links enkele rij palen, rechts rij palen met planken)

Voordelen toepassing beschoeiing

Het toepassen van een beschoeiing heeft verschillende voordelen:

- eenvoudige ingreep waar al veel ervaring mee is
- het toepassen van een beschoeiing heeft als bijkomend effect dat de golven op de oever worden gedempt

Nadelen toepassing beschoeiing

Het nadeel van een beschoeiing is dat het een harde barrière vormt voor het onderwaterleven om vanuit het water op de oever te komen.

Aandachtspunten

Aandachtspunt bij een beschoeiing is het onderhoud. Doordat de beschoeiing deels boven- en onderwater staat, moet rekening gehouden met extra onderhoud. Het is een optie om de beschoeiing uit te voeren in een composiet, welke niet rot en een natuurlijke uitstraling heeft.

Het is daarnaast belangrijk dat de beschoeiing goed zichtbaar is om te voorkomen dat schepen er tegenaan varen. Om dit te voorkomen kan gedacht worden aan:

- het plaatsen van bebording.
- de palen (deels) een opvallende kleur geven.
- het plaatsen van verlichting.

Referentie

<https://www.vanbiezenhoutimport.nl/ronde-palen/beschoeiingspalen/>

<https://www.gemarc.nl/project/beschoeiing/projecten-beschoeiingen-3/>.

Factsheet: Slagboom bij watergang

Omschrijving van praktische oplossing

Het plaatsen van een slagboom vóór een watergang om de verkeerstroom te reguleren. De slagboom kan indien gewenst worden geopend, waardoor de vaargang bereikbaar is voor recreatievaart.

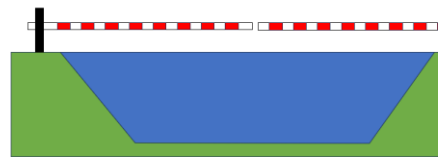
Toepassing

Een slagboom kan op verschillende manieren worden ingezet. Zo kan de slagboom door een persoon worden bediend, kan er gebruik worden gemaakt van een pasjes systeem of automatische bediening. Afhankelijk van de bediening, kan deze op verschillende manieren worden ingezet als mitigerende maatregel.

Mitigerende maatregelen

Afhankelijk van het gekozen systeem kan een slagboom gebruikt worden voor de volgende mitigerende maatregelen:

- beperken motorvermogen
- beperken afmetingen recreatievaart
- beperken type schroeven
- beperken aantal vaarbewegingen
- afsluiten van vaarwegen in het voorjaar



Afbeelding 1: Slagboom bij watergang

Per mitigerende maatregel is hieronder aangegeven hoe de slagboom werkt.

Mitigerende maatregel: beperken motorvermogen, type schroef en dimensies

Bij de slagboom wordt een controle van de boot uitgevoerd. Indien de boot voldoet aan de eisen gaat de slagboom open en krijgt de boot toegang tot de vaargang. Deze controle kan uitgevoerd worden door een persoon welke de slagboom bedient, of de booteigenaar heeft een pasje ontvangen voor de slagboom. Bij automatische bediening is het lastiger om de controle uit te voeren.

Mitigerende maatregel: beperken aantal vaarbewegingen

De slagboom opent slechts een aantal keren per dag. Op deze manier wordt het aantal vaarbewegingen binnen een vaargang gereguleerd. Wanneer het maximaal aantal vaarbewegingen is bereikt gaat de slagboom niet meer open. Voor het beperken van het aantal vaarbewegingen kan de slagboom door een persoon bedient worden, met een pasjes systeem of automatisch.

Mitigerende maatregel: afsluiten vaarwegen voorjaar

Vaarwegen kunnen afgesloten in het voorjaar door de slagboom gesloten te houden.

Voordelen toepassing slagboom

Het voordeel van het toepassen van een slagboom is dat één maatregel resulteert in meerdere mitigerende maatregel. Daarnaast is het een hele lokale ingreep in het systeem, namelijk alleen aan het begin van een watergang.

Nadelen toepassing slagboom

Het toepassen van een slagboom heeft verschillende nadelen. Er is weinig ervaring met deze oplossing, daarnaast is voor de bediening van de slagboom personeel nodig. Indien gekozen wordt voor een pasjes systeem is fraude van de pasjes een mogelijk risico. Daarnaast dienen alle toegangen van een gebied voorzien te worden van een slagboom om effect hebben.

Aandachtspunten

Een aandachtspunt voor het toepassen van een slagboom als mitigerende maatregel is dat het alleen effect heeft als integrale maatregel binnen een gebied. Het toepassen van een slagboom heeft enkel zin wanneer een watergang de enige toegang is tot een gebied, of wanneer bij elke toegang tot een bepaald gebied een slagboom wordt geplaatst.

Referentie

-

Factsheet: Doseringslichten

Omschrijving van praktische oplossing

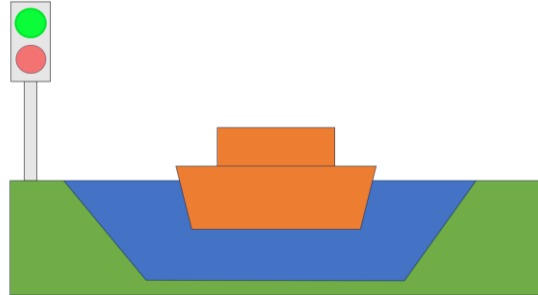
Een doseringslicht wordt gebruikt bij opritten bij snelwegen. Wanneer het licht groen is mag de snelweg worden opgereden, bij rood moet er gewacht worden.

Toepassing

Een doseringslicht kan ook aan het begin van een watergang worden toegepast. Het doseringslicht geeft aan of een boot het gebied in mag of moet wachten.

Mitigerende maatregelen

Een doseringslicht kan op verschillende manieren als mitigerende maatregel functioneren. Aan de rechterzijde is een afbeelding getoond van het principe.



Afbeelding 1: Principe doseringslicht bij vaargang

Mitigerende maatregel: beperken aantal vaarbewegingen

Een doseringslicht kan als mitigerende maatregel gebruikt worden om het aantal vaarbewegingen op een watergang te beperken. Zo kan het doseringslicht afgesteld worden dat deze slechts een vast aantal schepen op een dag doorlaat. Of dat bijvoorbeeld een 'één in, één uit' beleid geldt op een watergang. Dit kan drukte voorkomen.

Mitigerende maatregel: afsluiten watergang voorjaar

Watergangen kunnen worden afgesloten in het voorjaar door het doseringslicht op rood te laten staan. Het is dan verboden de watergang in te varen.

Voordelen toepassing doseringslicht

Het voordeel van een doseringslicht is dat het gewenste aantal vaarbeweging ingesteld kan worden. Zo kan het wenselijk zijn om in het voorjaar minder vaarbewegingen in een gebied hebben, terwijl er in de winter geen limiet is.

Nadelen toepassing doseringslicht

Het toepassen van een doseringslicht heeft meerdere nadelen:

- er is geen ervaring met deze oplossing bij watergangen
- het is niet mogelijk om overtreders te beboeten door middel van flitsen, zoals bij een snelweg

Aandachtspunten

Een aandachtspunt voor het toepassen van een doseringslicht als mitigerende maatregel is dat het alleen effect heeft als integrale maatregel binnen een gebied. Het toepassen van een doseringslicht heeft enkel zin wanneer een watergang de enige toegang is tot een gebied, of wanneer bij elke toegang tot een bepaald gebied een doseringslicht wordt toegepast.

Referentie

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Toeritdosering>.

Factsheet: Éénrichtingsroute

Omschrijving van praktische oplossing

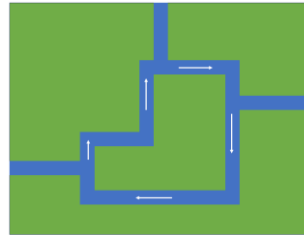
Één eenrichtingsroute op een watergang is een route waarbij vaartuigen slechts in één richting mogen varen.

Toepassing

Het gebruik van éénrichtingsroutes kan helpen om de hoeveelheid vaarbewegingen te beperken. Aan het begin van een vaargang wordt de vaarrichting aangegeven met bijvoorbeeld bebording. Een éénrichtingsroute is onderdeel van een groter geheel.

Mitigerende maatregelen

De mitigerende maatregel van een éénrichtingsroutes is dat er op de wateren alleen éénrichtingsverkeer is. Een voorbeeld van route is weergegeven als afbeelding aan de rechterzijde.



Afbeelding 1: Schematische weergave éénrichtingsroute

Voordelen toepassing éénrichtingsroute

Een bijkomend voordeel van een éénrichtingsroute is dat de veiligheid verbetert, doordat risico op botsingen verminderd, omdat er geen tegemoetkomend verkeer is.

Nadelen toepassing éénrichtingsroute

Het nadeel van een éénrichtingsroute is dat bij elke watrgang die aansluit duidelijk aangegeven moet worden wat de vaarrichting is. Wanneer dit niet het geval is, kunnen gevaarlijke situaties ontstaan.

Aandachtspunten

Het is belangrijk om op te merken dat eenrichtingsroutes duidelijk moeten worden aangegeven met borden om ervoor te zorgen dat alle vaartuigen zich aan de regels houden. Daarnaast is het belangrijk dat alle vaartuigen de regels volgen om de effectiviteit van de eenrichtingsroute te waarborgen.

Referentie

—

Factsheet: Maaibeheer

Omschrijving van praktische oplossing

Bij maaibeheer door de beheerder worden de waterplanten op zulke wijze gemaaid dat een bepaald ontwikkelingsstadium van de natuur zo lang mogelijk gehandhaafd blijft. Maaibeheer levert een positieve bijdrage aan de biodiversiteit. Daarnaast zorgt de vegetatie in en langs de watergang er voor dat schepen afstand moeten houden van de oever. Recreatievaart kan zich bijvoorbeeld vast varen in waterplanten of de oever kan ontoegankelijk gemaakt worden voor recreatievaart door (hoge) oeverplanten.

Toepassing

Bij natuurvriendelijke maaibeheer wordt vaak fasering toegepast. Hierbij wordt een gebied niet in één keer gemaaid, maar gespreid in ruimte en tijd. Dit wordt sinus maaien genoemd. Vaak wordt in een organische vorm gemaaid, zodat er geleidelijke overgang is tussen de gebieden die wel en (nog) niet gemaaid zijn.

Mitigerende maatregelen

Afstemming met de beheerder over het maaibeheer zorgt voor betere ecologische omstandigheden. Om de negatieve effecten van maaien te minimaliseren kan er onder andere rekening gehouden worden met:

- het moment dat er gemaaid wordt in het jaar
- hoe vaak er gemaaid wordt
- hoe veel er gemaaid wordt
- waar er gemaaid wordt
- de functie van watergangen



Afbeelding 1: gefaseerd maaibeheer (sinus maaien)

Voordelen toepassing maaibeheer

Het toepassen van maaibeheer heeft meerdere voordelen:

- de oever groeit niet dicht, waardoor deze verlandt
- de watergang kan genoeg water aan- en afvoeren en bergen
- er treedt geen verruiging op
- de oevers zijn beter bereikbaar voor dieren
- er blijft voldoende zuurstof in het water voor vissen

Nadelen toepassing maaibeheer

Het nadeel van gefaseerd maaien is dat het meer tijd kost dan wanneer alles in één keer gemaaid wordt. In sommige gevallen moet namelijk meerdere malen naar dezelfde watergang teruggekeerd worden. Dit is niet altijd het geval, soms is het ook mogelijk om een strook jaarrond te laten staan, of bij de laatste maaibeurt alles mee te nemen.

Referentie

<https://natuurio.nl/natuurgericht-maaibeheer/>

<https://www.rijnland.net/regels-op-een-rij/subsidies-en-andere-financi%C3%ABle-bijdragen/natuur-vriendelijke-oever/onderhoud-natuurvriendelijke-oever/>

<https://www.landschapsbeheergelderland.nl/wp-content/uploads/Leidraad-ecologisch-bermbe-heer.pdf>.



BIJLAGE: DATASET

Input

De modelstudie is uitgevoerd op 1101 dwarsprofielen van vaargangen binnen het Hoogheemraadschap van Delfland. In Afbeelding II.1 is een overzicht gegeven van de locaties van alle dwarsprofielen. De watergangen zijn door het Hoogheemraadschap aangeleverd als dbf-bestand. Afbeelding II.2 toont de input voor één watergang (De Gantel) wanneer deze geopend wordt in Excel.

Afbeelding II.1 Overzicht van alle doorgerekende dwarsprofielen



Afbeelding II.2 Aangeleverd dwarsprofiel voor De Gantel

	A	B	C	D
1	X	Y	Z	Code
2	74756.184	448652.487	-0.930	0161-22
3	74756.443	448652.059	-0.980	0161-21
4	74756.702	448651.632	-1.230	0161-20
5	74756.961	448651.204	-1.250	0161-19
6	74757.220	448650.776	-1.380	0161-18
7	74757.479	448650.349	-1.470	0161-17
8	74757.739	448649.921	-1.540	0161-16
9	74757.998	448649.494	-1.770	0161-15
10	74758.257	448649.066	-1.790	0161-14
11	74758.516	448648.638	-1.830	0161-13
12	74758.775	448648.211	-1.850	0161-12
13	74759.034	448647.783	-1.870	0161-11
14	74759.293	448647.355	-1.870	0161-10
15	74759.552	448646.928	-1.780	0161-09
16	74759.811	448646.500	-1.640	0161-08
17	74760.070	448646.072	-1.530	0161-07
18	74760.329	448645.645	-1.480	0161-06
19	74760.589	448645.217	-1.380	0161-05
20	74760.848	448644.790	-1.280	0161-04
21	74761.107	448644.362	-1.170	0161-03
22	74761.366	448643.934	-1.080	0161-02
23	74761.625	448643.507	-0.930	0161-01

Output

Het doorrekenen van de aangeleverde modelinput met behulp van de ontwikkelde Pythontool (zie bijlage II), levert de hieronder beschreven output op. De modeloutput is als apart bestand opgeleverd bij de rapportage.

Versimpeld dwarsprofiel

De Pythontool bevat een functionaliteit waarmee de aangeleverde dwarsprofielen worden versimpeld tot een trapeziumvorm (zie bijvoorbeeld afbeelding 2.1). De coördinaten van het versimpelde dwarsprofiel worden in een CSV-bestand opgeslagen.

CSV-bestanden per watergang en per maatregel

In totaal rekent de Pythontool vier typen maatregelen door, waarbij één of meerdere variabelen worden gebruikt:

- 1 afstand tot de oever;
- 2 vaarsnelheid;
- 3 motorvermogen;
- 4 afstand tot de oever in combinatie met vaarsnelheid.

Voor elk dwarsprofiel en type maatregel worden de uitkomsten van de berekeningen opgeslagen in een CSV-bestand.

Visualisaties per watergang en per maatregel

De Pythontool visualiseert zowel het dwarsprofiel als de doorgerekende maatregelen.

De visualisatie van het dwarsprofiel bestaat uit een aantal onderdelen:

- het ingemeten dwarsprofiel zoals aangeleverd door het Hoogheemraadschap van Delfland;
- het door de Pythontool versimpelde dwarsprofiel;
- de hoogte van de waterlijn;
- de afmetingen van de drie schepen die gebruikt zijn in de berekening, inclusief de afmeting van de schroef;
- het nat oppervlak van het dwarsprofiel (deze is gelijk voor het ingemeten en het versimpelde profiel).

De visualisatie van de maatregelen bestaat uit de volgende onderdelen:

- de berekende belastingen voor elke boot;
- in het geval van 'afstand tot de oever' een lijn die het midden van de vaarweg aangeeft;
- in geval van 'vaarsnelheid' een lijn die de maximaal toegestane vaarsnelheid aangeeft (altijd 6 km/uur);
- de waarden waarvoor (significant) effect optreedt als gevolg van de belasting.

In beide afbeeldingen staat bovendien in de titel de bij het dwarsprofiel behorende code, zoals aangeleverd door het Hoogheemraadschap. Ook wordt met behulp van één xy-coördinaat (in RD-coördinaten) vermeld waar het betreffende dwarsprofiel zich bevindt.



BIJLAGE: MODEL

Scripts

Voor het doorrekenen van mitigerende maatregelen is een Pythontool ontwikkeld. De formules die in deze Pythontool gebruikt worden, zijn gebaseerd op de Rock Manual [ref. 1], en staan ook beschreven in hoofdstuk 3.

De Pythontool bevat één script (main.py) waarmee gemakkelijk mitigerende maatregelen voor één of meerdere dwarsprofielen doorgerekend kunnen worden. In de beknopte handleiding, die meegeleverd is bij de tool, staat nader toegelicht hoe een gebruiker het main.py-script kan gebruiken.

Bij het uitvoeren van main.py voert de code de volgende stappen uit:

- 1 het script begint, indien nodig, met het versimpelen van de aangeleverde dwarsprofielen.
Dit versimpelen gebeurt op basis van een zelf ontwikkeld algoritme. Uitgangspunt van dit algoritme is dat het nat oppervlak van een ingemeten en een bijbehorend versimpeld dwarsprofiel gelijk moeten zijn. Ook is de breedte van het profiel ter hoogte van de waterlijn gelijk. De hoogte van de waterlijn bevindt zich op NAP -0,43 m, zoals aangegeven door het Hoogheemraadschap.
De hoogte van de bodem wordt berekend door te kijken naar de 10% laagste punten (met een maximum van 11 punten). Te beginnen bij het laagste punt, wordt in beide richtingen telkens gekeken naar het volgende aangrenzende punt. Indien de verticale afstand tussen beide punten minder dan 10% van de totale diepte van het dwarsprofiel beslaat, wordt het punt toegevoegd aan de lijst van zogenaamde bodempunten. De bodemhoogte wordt vervolgens bepaald door het gemiddelde van deze bodempunten te nemen.
De helling van het trapezium wordt vervolgens bepaald uit het nat oppervlak, de breedte van de waterlijn en de niveaus van de bodem en de waterlijn;
- 2 vervolgens maakt het script drie bootobjecten aan, die gebruikt worden in alle volgende berekeningen;
- 3 voor elk dwarsprofiel voert het script de volgende stappen uit:
 - 1 visualiseren van het dwarsprofiel;
 - 2 uitrekenen van de belasting op de oever voor golfhoogte en retourstroming, door de vaarsnelheid te variëren. Dit wordt gedaan aan de hand van de formules uit de Rock Manual;
 - 3 uitrekenen van de belasting op de oever voor golfhoogte en retourstroming, door de afstand tot de oever te variëren. Dit wordt gedaan aan de hand van de formules uit de Rock Manual;
 - 4 uitrekenen van de belasting op de bodem door schroefstraalstroming door het motorvermogen te variëren. Dit wordt gedaan aan de hand van de formules uit de Rock Manual;
 - 5 uitrekenen van de belasting op de oever voor golfhoogte en retourstroming, door zowel de vaarsnelheid als de afstand tot de oever te variëren. Dit wordt gedaan aan de hand van de formules uit de Rock Manual;
 - 6 visualiseren van de berekende belastingen;
- 4 tijdens het uitvoeren van stap 3 slaat het script elke keer de resultaten van de berekeningen en de visualisaties op in een daarvoor bestemde map.

Beknopte handleiding en technische documentatie

Bij de Pythontool is een beknopte handleiding en technische documentatie geschreven. Met behulp van de handleiding kunnen gebruikers aan de slag met het uitvoeren van berekeningen. De technische documentatie biedt meer inzicht in hoe de tool is ontwikkeld, in het geval een ontwikkelaar verder aan de

slag wil met de ontwikkelde tool. Zowel de handleiding als de technische documentatie zijn als apart bestand opgeleverd bij deze rapportage.

