

Notitie

Onderwerp: Ontwerprapportage bodembescherming buitenhaven Waalwijk, DO
 Projectnummer: 359675
 Referentienummer: SWNL0235097
 Datum: 22-11-2018

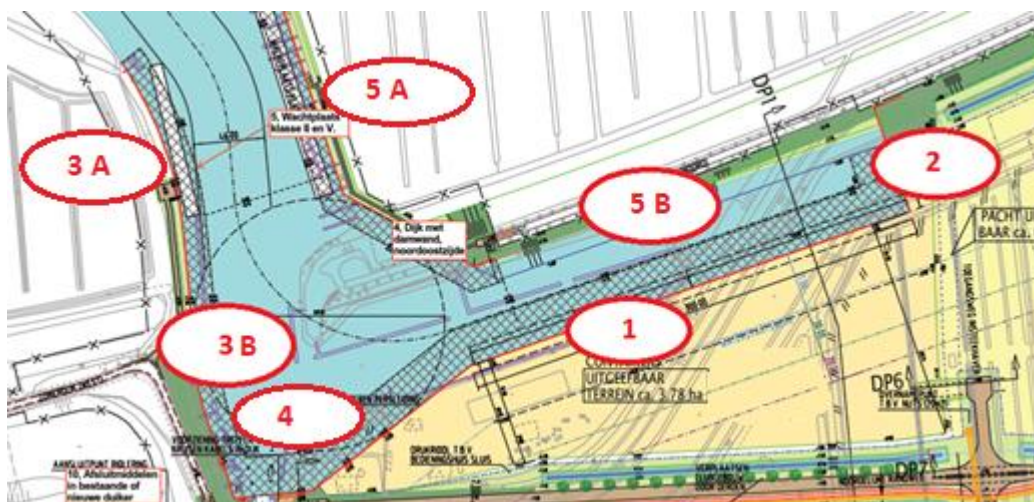
1 Inleiding

Voorliggende rapportage presenteert de toe te passen bodembeschermingen in de te ontwikkelen nieuwe buitenhaven in Waalwijk. Er komen langs deze nieuwe overslaghaven hoofdzakelijk verticale kades, zonder taludbescherming. Langs de entree van de haven zijn de taluds voorzien van bekleding met taludbescherming, deze worden echter behandeld in het door Antea separaat opgestelde rapport 'Nautische aspecten en bodembescherming' [11].

De bodem van de nieuwe haven inclusief de entree naar de bestaande sluis wordt enkel belast door de schroefstralen van de schepen in de haven.

Voor het ontwerp worden onderstaande locaties beschouwd:

- 1: Kademuur zuidzijde (combi-wand), primaire kering
- 2: Kademuur oostzijde (combi-wand, primaire kering
- 3A: Westelijke dijk met damwand
- 3B: Westelijke dijk met damwand primaire kering
- 4: Onderwatertalud
- 5A: Noordoostelijke dijk met damwand
- 5B: Noordelijke dijk met damwand



Figuur 1-1: Overzicht locaties

1.1 Leeswijzer:

De uitgangspunten voor de bepaling van de bodembescherming worden bepaald in hoofdstuk 2, de belastingen (berekeningsmethode en bepaling van parameters) worden behandeld in hoofdstuk 3, waarna in hoofdstuk 4 het ontwerp per locatie wordt toegelicht. In hoofdstuk 5 wordt een overzicht van de gebruikte literatuur weergegeven.

2 Uitgangspunten

In de volgende paragrafen worden de uitgangspunten voor de berekeningen vastgelegd.

2.1 Scheepvaart

De haven wordt geschikt gemaakt voor CEMT V schepen met dien verstande dat de maximale diepgang 3,5 m bedraagt. Daarnaast worden er langs de westelijke kade afmeerplaatsen voor CEMT III schepen gerealiseerd. Onderstaande eigenschappen van schepen zijn afkomstig uit [6] en [9]:

CEMT-klasse	breedte (m)	lengte (m)	diepgang (m)		strijkhoogte (m)	laadverm. (ton)	motorverm. (kW)	boegschroef (kW)
			geladen	leeg				
I	5,05	38,5	2,5	1,2	4,25	365	175	100
II	6,6	50 - 55	2,6	1,4	5,25	535 - 615	240 - 300	130
III	8,2	67 - 85	2,7	1,5	5,35	910 - 1250	490 - 640	160 - 210
IV	9,5	80 - 105	3,0	1,6	5,55	1370 - 2040	750 - 1070	250
Va	11,4	110 - 135	3,5	1,8	6,40	2900 - 3735	1375 - 1750	435 - 705
Vla	17,0	135	4,0	2,0	8,75	6000	2400	1135

Figuur 2-1: Eigenschappen CEMT klassen [6]

Tabel 10 Statistisch overzicht van de motorvermogenverdeling

Klasse kenmerken grote motorvrachtschepen			Motorvermogenverdeling							
CEMT-klasse	AVV-klasse	type schip	aantal [#]	Onderschrijdingspercentage			gem. [kW]	min. [kW]	max. [kW]	SD [kW]
				10% [kW]	50% [kW]	90% [kW]				
Va	M8	Groot Rijnschip	400	1103	1305	1766	1356	598	2985	346
	M9	Verlengd Groot Rijnschip	84	1402	1762	2206	1744	1074	2648	302
Vla	M10		28	1324	1456	2369	1649	1140	2982	512
	M11		33	1525	2030	2352	2021	1471	2985	344
	M12	Rijnmax Schip	45	1904	2238	2650	2233	1103	3358	410

Tabel 11 Statistisch overzicht van de boegschroefvermogenverdeling

Klasse kenmerken grote motorvrachtschepen			Boegschroefvermogenverdeling							
CEMT-klasse	AVV-klasse	type schip	aantal [#]	Onderschrijdingspercentage			gem. [kW]	min. [kW]	max. [kW]	SD [kW]
				10% [kW]	50% [kW]	90% [kW]				
Va	M8	Groot Rijnschip	400	294	408	544	432	147	1236	131
	M9	Verlengd Groot Rijnschip	84	458	707	840	675	300	957	155
Vla	M10		28	367	410	640	475	331	706	121
	M11		33	441	788	898	744	250	1108	196
	M12	Rijnmax Schip	45	566	799	1251	869	411	1422	273

Figuur 2-2: Scheepskarakteristieken voor nieuwe grote schepen [9]

Voor de berekening van de stroomsnelheid ten gevolge van de schroeven is van de motorvermogens met een onderschrijdingspercentage van 90% uitgegaan.

Uit [5] blijkt een maximale vaarsnelheid van 7 km/u in de haven.

2.2 Waterstanden

Conform de RVW2017 [6] dient voor de bepaling van de vaarwegdiepte uit gegaan te worden van de Maatgevende Lage Waterstand (MLWS). De MLWS is in de RVW2017 [6] omschreven als de waterstand die gemiddeld 1% van de tijd wordt onderschreden, gemeten over een langjarige periode van tenminste 10 jaar.

Voor het bepalen van de MLWS wordt gebruik gemaakt van de Lage waterstanden welke optreden bij Keizersveer:

Tabel 1: Onderschrijding laagwaterstanden bij Keizersveer

Frequentie	Waterstand in meter t.o.v. NAP
1 x per 10 jaar	-0,30
1 x per jaar	-0,15
Overeengekomen Lage Waterstand OLW 1991.0	+0,15

Voor de bepaling van de vaarwegdiepte zou NAP -0,15 meter gehanteerd mogen worden.

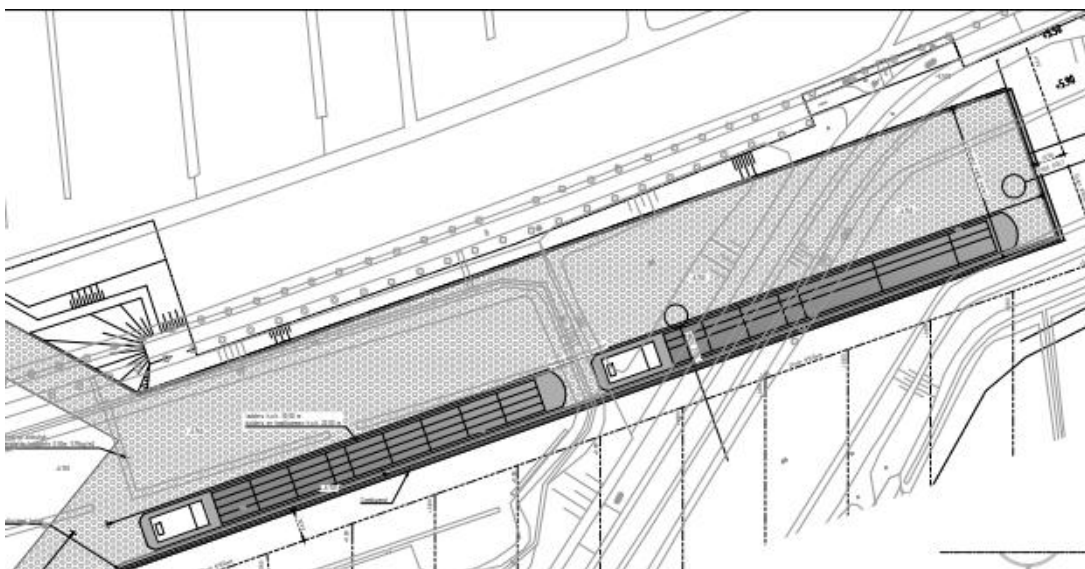
Maatgevende Lage Waterstand (MLWS): NAP -0,15 m

De belasting door de schepen op de bodem is het grootst bij een lage waterstand. De meest conservatieve benadering is door uit te gaan van de laagst bekende waterstand.'

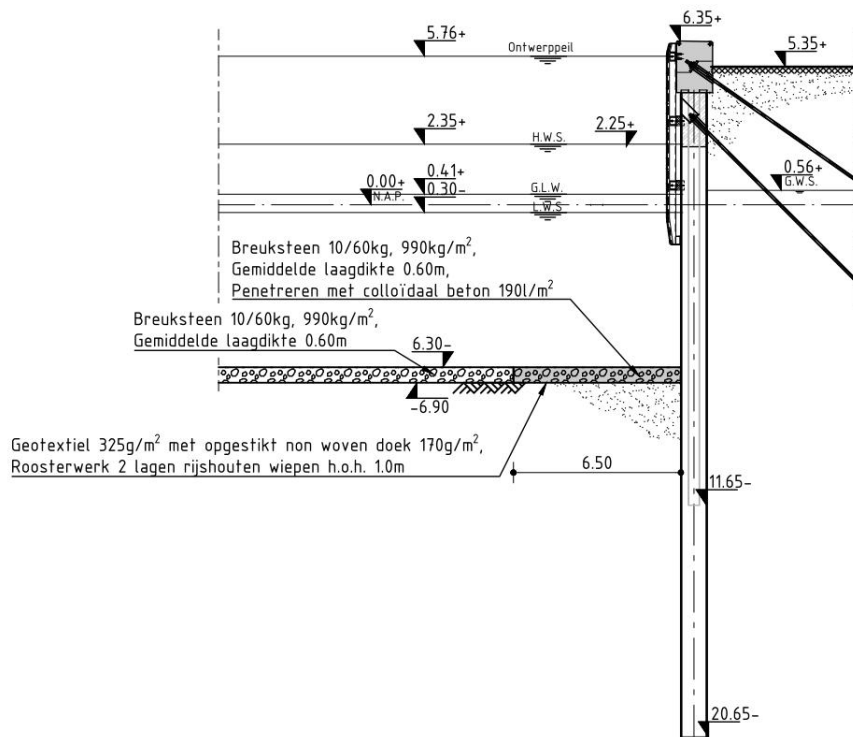
Laagst bekende waterstand: NAP -0,62 m

2.3 Geometrie

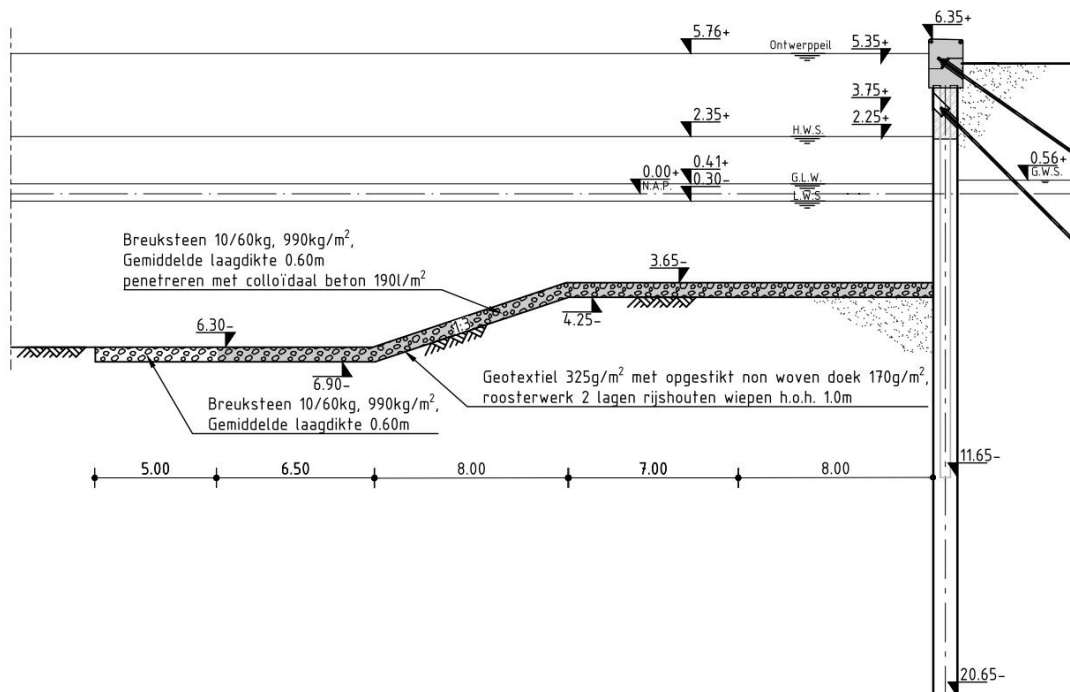
In onderstaande Figuur 2-3 staat een bovenaanzicht van de nieuwe buitenhaven met kademuur zuidzijde (locatie 1), kademuur oostzijde (locatie 2) en kademuur noordzijde (locatie 5B).



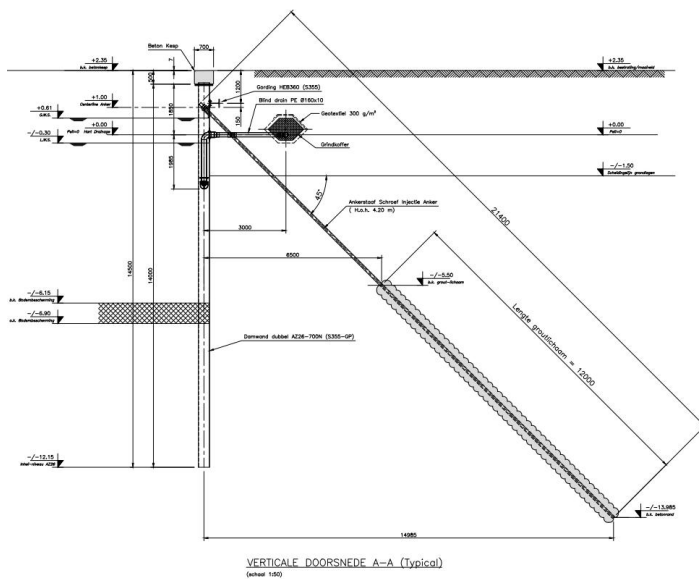
Figuur 2-3: Boven-aanzicht Buitenhaven



Figuur 2-4: Doorsnede kademuur zuidzijde Buitenhaven, locatie 1



Figuur 2-5: Doorsnede voor sluisingang, locatie 4



Figuur 2-6: Doorsnede noordelijke damwand, locatie 5A (Bron: T8111-102 Ingenieursbureau M.U.C.)

Nautische diepte (NGD)

De nautische diepte (NGD, Nautical Guaranteed Depth) wordt conform de RVW 2017 [6] bepaald voor twee situaties, te weten:

- *Onbeschermde bodem: (bodem exclusief bodembescherming):*
 $NGD = WS - 1,4 D$ (normaal profiel)
 $NGD = WS - 1,3 D$ (krap profiel)
- *Beschermde bodem: (bodem inclusief bodembescherming):*
 $NGD = D - 1m$.

Uitgaande van een D van 3,5m (zie scheepvaartklasse) en een WS gelijk aan de MLWS van NAP -0,15m (zie te hanteren waterstand met betrekking tot vaarwegdiepte) wordt de NGD:

- *Onbeschermde bodem: (bodem exclusief bodembescherming):*
 $NGD = -0,15 - 1,4 \times 3,5 = \text{NAP } -5,05m$ (normaal profiel)
 $NGD = -0,15 - 1,3 \times 3,5 = \text{NAP } -4,70m$ (krap profiel)
- *Beschermde bodem: (bodem inclusief bodembescherming):*
 $NGD = -0,15 - 3,5 - 1m = \text{NAP } -4,65m$.

Ontgravingsdiepte (Mean Dredging Level)

Door MUC zijn in het verleden de ontgravingsdieptes bepaald [12], te weten:

- Ontgravingsniveau (exclusief bodembescherming): NAP -5,60m
- Ontgravingsniveau (inclusief bodembescherming): NAP -6,90m

Deze ontgravingsniveaus zijn bepaald op basis van een nautische diepte (NGD) van NAP -4,70 m. Deze nautische diepte is destijds bepaald conform CUR211E [13] waarbij gebruik is gemaakt van de formule: $NGD = WS - 1,1 \times D$. Voor de WS (maatgevende waterdiepte) is aangehouden NAP -0,30 NAP en voor de diepgang D 4m. NGD wordt dan $0,3 - (1,1 \times 4) = \text{NAP } -4,70m$.

Op basis van de RVW2017 [6] bepaalde NGD's worden de ontgravingsniveaus conform CUR 211 [13] bij de onbeschermde en beschermde bodem als volgt:

- *Onbeschermde bodem: (bodem exclusief bodembescherming):*

Het ontgravingsniveau (MDL, Mean Dredging Level) wordt bepaald met gebruik van de volgende formule:

MDL = NGD – onderhoudsmarge ($h_{\text{maintenance}}$) – tolerantie peiling (δ_{sounding}) – baggertolerantie (δ_{dredging}). Zie voor de verklaring hiervan onderstaande figuur 5.12 uit de CUR211 [13]

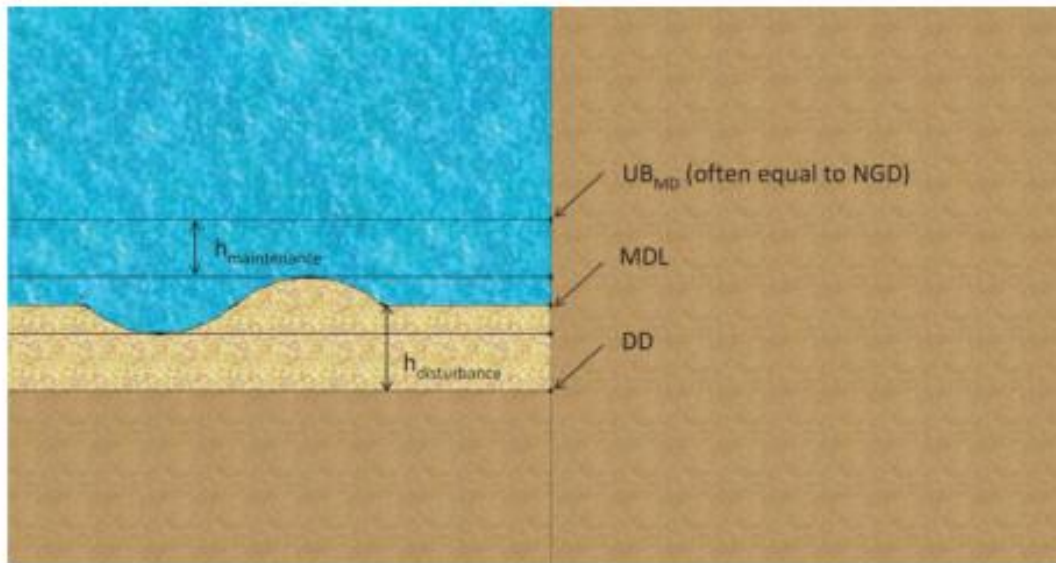


Fig. 5.12 Design Depth without scour protection.

Hierbij is de onderhoudsmarge 0,5 m en de baggertolerantie 0,3 m (CUR211-tabel 5.2 [13]), de tolerantie op de peiling is 0,1 m.

MDL = -4,7 - 0,5 - 0,1 - 0,3 = NAP -5,60 m (bij NGD krap profiel)

MDL = -5,05 - 0,5 - 0,1 - 0,3 = NAP -5,95 m (bij NGD normaal profiel)

De in het verleden gekozen MDL exclusief bodembescherming van NAP -5,60m voldoet bij een krap profiel.

- *Beschermde bodem: (bodem inclusief bodembescherming):*

Het ontgravingsniveau (MDL, Mean Dredging Level) wordt bepaald met gebruik van de volgende formule:

MDL = NGD – onderhoudsmarge ($h_{\text{maintenance}}$) – baggermarge (h_{suction}) – dikte bestorting (d_{top}) - dikte zinkstuk (d_{filter}) – (tolerantie peiling (δ_{sounding}) – ((tolerantie bestorting (δ_{top})² + (tolerantie zinkstuk (δ_{filter})² + baggertolerantie (δ_{dredging})²)^{0,5}

Zie voor de verklaring hiervan navolgende figuur 5.14 uit de CUR211 [13]

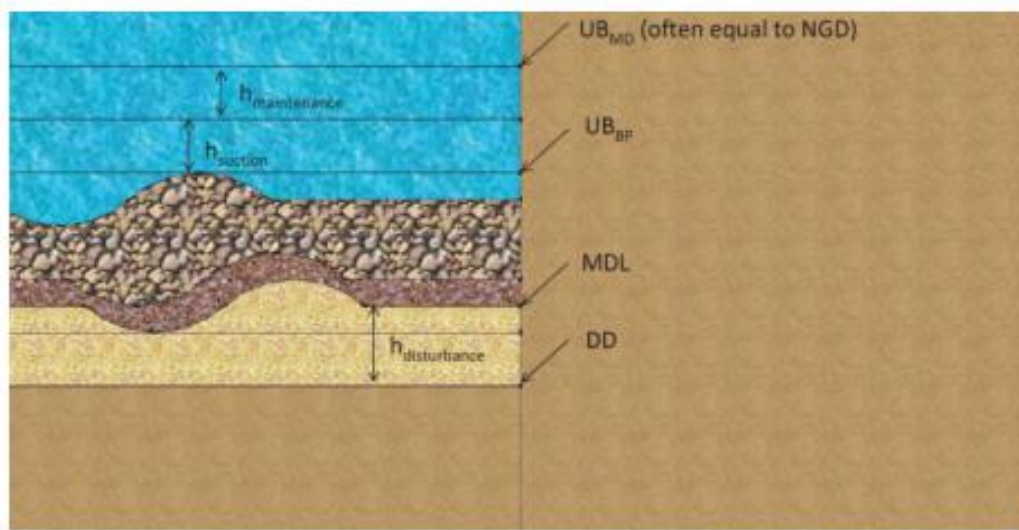


Fig. 5.14 Design depth with scour protection.

De onderhoudsmarge 1,0 m en de baggertolerantie 0,3 m (CUR211-tabel 5.2 [13]), de tolerantie op de peiling is 0,1 m. De baggermarge is gehouden op 0,2 m
 De dikte van de bestorting is bepaald op 0,6 m en de dikte van het zinkstuk wordt afgerond op 0,01 m
 De toleranties op respectievelijk de bestorting en het zinkstuk zijn: 0,25 m en 0,05 m.
 $MDL = -4,65 - 1,0 - 0,2 - 0,6 - 0,01 - 0,1 - (0,25^2 + 0,05^2 + 0,3^2)^{0,5} = NAP -6,95$ m.
 De in het verleden gekozen MDL inclusief bodembescherming van NAP -6,90 m ligt iets hoger (circa 0,05 m).

Gezien de grootte van de onderhoudsmarge (1,0 m) en het toepassen van een baggermarge van 0,2 m bij de beschermde bodem is in overleg met de gemeente Waalwijk de in het verleden gekozen MDL hoogte gehandhaafd voor de situatie inclusief bodembescherming:

MDL inclusief bodembescherming: NAP -6,90 m.

Voor de situatie zonder bodembescherming heeft de gemeente Waalwijk gekozen voor een MDL van NAP -6,30 m.

Voor de ingang van de sluis ligt het ontgravingsniveau op NAP -4,25 m (onderkant bodembescherming, bovenkant bodembescherming NAP -3,65 m). Het hoogteverschil wordt overbrugd met een onderwatertalud van 1:3.

3 Belastingen

De bodembescherming in de Buitenhaven wordt belast door de schroefstralen van de schepen in de haven. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het PIANC Report 180-2015 Guidelines for Protection [2], Introduction to Bed, bank and shore protection [3] en Ontwerp van Schutsluizen [4].

3.1 Schroefstralen

De stroomsnelheden aan de bodem hangen af van de diameter en het verbruikte vermogen van de schroef en de afstand tot de bodem. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de belasting door de hoofdschroef en de boegschroef.

3.1.1 Snelheid aan bodem ten gevolge van hoofdschroef

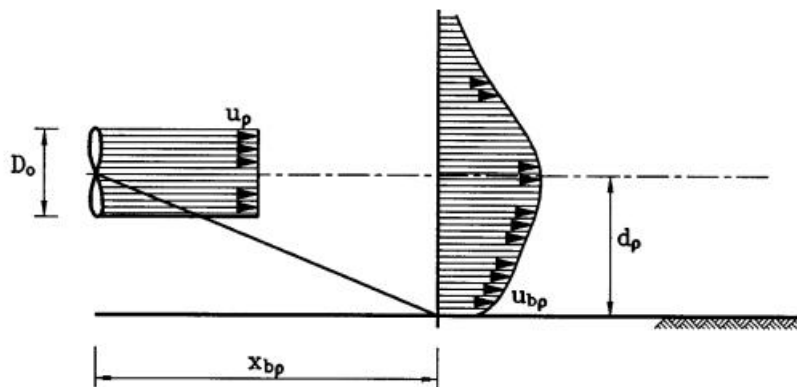
De stroomsnelheid direct achter de schroef wordt berekend met:

$$u_p = 1,15(P_d/D_0^2)^{1/3}$$

Waarin:

- u_p = stroomsnelheid achter de schroef [m/s]
- P_d = aangewend vermogen per schroef [kW]
- D_0 = effectieve schroefdiameter [m]

De plaats en de maximale snelheid boven de bodem worden bepaald met onderstaande figuur en formules.



$$x_{bp} = 5,6d_p$$

$$u_{bp} = 1,68u_p\sqrt{n}D_0/x_{bp} = 0,3u_p\sqrt{n}D_0/d_p$$

Waarin:

- x_{bp} = horizontale afstand schroef tot plaats maximum snelheid aan de bodem
- d_p = verticale afstand straalas tot bodem [m]
- u_{bp} = maximale snelheid boven de bodem [m/s]
- n = aantal schroeven [-]

Bovengenoemde maximale stroomsnelheden aan de bodem kunnen in het hele vaargebied optreden. De maximale snelheid aan de bodem ten gevolge van de hoofdschroef is

maximaal 2,08 m/s (zie bijlage 1). Dit is wanneer de hoofdschroef 100% van het vermogen levert. In de haven zal niet met het volle vermogen van de hoofdschroef gevaren worden. Aannemelijk is dat dit maximaal 75% van het totale vermogen is. De maximale snelheid aan de bodem is dan gelijk aan 1,89 m/s.

3.1.2 Snelheid aan bodem ten gevolge van boegschroef

De stroomsnelheid direct achter de boegschroef wordt berekend met vergelijking 8-10 uit [2]:

$$V_{0,thruster} = 1.15 \left(\frac{P_{thruster}}{\rho_w D_{thruster}^2} \right)^{0.33} \quad \text{Equation 8-10}$$

3.1.2.1 *Nabij verticale wand*

Wanneer het schip vlak bij de wand ligt, treedt de maximum stroomsnelheid op boven de bodem in de hoek bij de wand. Deze stroomsnelheid kan worden bepaald met onderstaande formules uit [2].

$$V_{b,max} = 1.0 V_0 \frac{D_{thruster}}{h_{thruster}} \quad \text{for } L/h_{thruster} < 1.8 \quad \text{Equation 8-14}$$

$$V_{b,max} = 2.8 V_0 \frac{D_{thruster}}{L + h_{thruster}} \quad \text{for } L/h_{thruster} \geq 1.8 \quad \text{Equation 8-15}$$

where L = distance between outflow opening and quay wall

De afstand tussen het schip en de kade is per locatie verschillend. Deze worden toegelicht in het volgende hoofdstuk.

De afname van de snelheid op een bepaalde afstand van de kade wordt bepaald met formule 5-84 uit [10].

3.1.2.2 *Nabij onderwatertalud voor de sluis*

De snelheid op een talud wordt volgens [2] berekend met:

$$V_{axis,thruster} = V_{0,thruster} \quad \text{for } x/D_{thruster} < 1 \quad \text{Equation 8-16}$$

$$V_{axis,thruster} = 1.0 V_{0,thruster} \left(\frac{x}{D_{thruster}} \right)^{-0.33} \quad \text{for } 1 < x/D_{thruster} < 5.375 \quad \text{Equation 8-17}$$

$$V_{axis,thruster} = 2.3 V_{0,thruster} \left(\frac{x}{D_{thruster}} \right)^{-0.825} \quad \text{for } x/D_{thruster} > 5.375 \quad \text{Equation 8-18}$$

Omdat het talud nabij de draaikom is gesitueerd kan deze van dichtbij door manoeuvrerende schepen worden belast. Om deze reden wordt uitgegaan van de zwaarste belasting op het talud waarbij deze gelijk is aan de uittreesnelheid van de boegschroef, 7,02 m/s (zie bijlage 1).

4 Ontwerp

De buitenhaven Waalwijk wordt van bodembescherming voorzien op plaatsen waar de scheepvaart veel gebruik zal maken van schroeven en boegschroeven. In de onderstaande paragrafen wordt het ontwerp per locatie uitgewerkt.

De bodembescherming is berekend aan de hand van de in het vorige hoofdstuk bepaalde stroomsnelheden. De bodembescherming dient te worden aangebracht op een zinkstuk. Het roosterwerk van het zinkstuk bestaat uit 2 lagen wiepen met een omtrek van 0,30 m en een h.o.h. afstand van 1 m. Het geotextiel van het zinkstuk bestaat uit een weefsel van polypropreen 325 gr/m² met opgestikt non-woven van min. 170 gr/m². Dit zinkstuk dient onder alle aan te brengen bodembescherming te worden aangebracht.

4.1 Ontwerp kade Zuid (locatie 1)

De bodembescherming langs de zuidelijke kade wordt belast door de aan- en afmerende schepen klasse V langs de kade. Uitgangspunt is dat de schepen op een afstand van 1 m van de kade liggen. Voor het manoeuvreren wordt het vermogen van de boegschroef 100% gebruikt. Dit resulteert tot een snelheid aan de bodem bij kade van 4,00 m/s. Met behulp van formule 10-26 uit [2] leidt dit tot een zeer zware steensortering. Geadviseerd wordt om een sortering van 10-60 kg (gemiddelde laagdikte 0,60 m, 990 kg/m²) aan te brengen en deze over een afstand van 6,5 m uit de kade te penetreren met colloïdaal beton. Deze afstand is bepaald met formule 5-84 uit [10]. De snelheid aan de bodem op 6,5 m van de kade is gereduceerd tot 1,74 m/s dit is voldoende laag voor een sortering van 10-60 kg.

De breedte van de bodembescherming langs de kade wordt bepaald met formule 10-34 uit [2] of door de breedte van de passieve wig van de kade, waarbij de grootste als maatgevend wordt gekozen. De breedte bepaald met de formule is 16,1 m en de breedte van de passieve wig is 23,8 m. Gekozen breedte bedraagt: 24 m.

Samenvatting:

Breedte bestorting	24 m
Breedte colloïdaal beton	6,5 m

4.2 Ontwerp Kopwand Oost (locatie 2)

Aan het einde van de haven is de belasting door de boegschroeven op de bodem groter, doordat het water als het ware opgesloten zit tussen de wanden. Aanbevolen wordt om de passieve wig van de kade te penetreren met colloïdaal beton zodat de turbulente stromingsbelasting kan worden weerstaan.

Samenvatting:

Breedte bestorting	24 m
Breedte colloïdaal beton	24 m

4.3 Ontwerp kade West (locatie 3A en locatie 3B)

Langs deze kade bevinden zich afmeerplaatsen voor CEMT III schepen. De schepen liggen op een afstand van 3,2 m vanaf de kade. De afstand tot de as van de meerpaal is 2,0 m en de afstand van de as tot de voorzijde van het wrijfhout is 1,2 m. De breedte van de benodigde bodembescherming wordt volgens formule 10-34 uit [2] 15,5 m. De passieve wig van deze kade (14,9 m) is kleiner dan de breedte die benodigd is ten gevolge van de belastingen door de schroefstraal, zodat 15,5 m maatgevend is.

De breedte van het colloïdale beton is bepaald met formule 5-84 uit [10]. De snelheid aan de bodem op 0,2 m van de kade is gereduceerd tot 1,75 m/s dit is voldoende laag voor een sortering van 10-60 kg. Om een goede aansluiting te krijgen tussen de bodembescherming en de kade is minimaal een breedte van 1 m colloïdaal beton benodigd. De passieve wig van de afmeerpalen dient beschermd te worden met een sortering van 10-60 kg. Gezien de mogelijkheid dat een schip met scheepvaartklasse CEMT V hier tijdelijk gaat liggen, is het advies om over een breedte van 5,5 m te penetreren met colloïdaal beton. Indien de afmeerpalen in deze strook van 5,5 m staan, worden deze omsloten met colloïdaal beton.

Samenvatting:

Breedte bestorting	15,5 m
Breedte colloïdaal beton	5,5 m

4.4 Onderwatertalud voor de sluis (locatie 4)

Voor de sluis wordt een onderwatertalud van 1:3 aangebracht. De schepen die manoeuvreren in de draaikom zullen de boegschroeven 100% gebruiken. Het onderwatertalud wordt belast door een stroomsnelheid van 7,02 m/s. Vanwege deze hoge snelheid wordt geadviseerd het onderwatertalud inclusief de berm tussen onderwatertalud en bestaande steenzetting voor de sluis (lengte 7m, hoogte bestorting NAP -3,65m) te voorzien van colloïdaal beton. Om te voorkomen dat de bodem aan de onderzijde van het onderwatertalud erodeert, wordt ook hier de bodembescherming (hoogte NAP -6,30m) gepenetreerd met colloïdaal beton over een breedte van 6,5m. Hier aansluitend wordt nog een strook van 5m steenbestorting 10-60 kg voorzien.

In totaal wordt een bestorting aangebracht van 26,5 m. Hiervan wordt 21,5m gepenetreerd met colloïdaal beton opgebouwd uit: bermbreedte van 7 m, een onderwatertalud met een breedte van 8 m (7,95m) en een bermbreedte van 6,5 m. De bestaande steenzetting voor de sluis blijft gehandhaafd.

De bestaande steenzetting zit nu opgesloten achter een houten opsluiting (palenrij o.i.d.). Na het baggerwerk dient de aansluiting met duikers schoon gemaakt te worden en daar waar nodig hersteld. Na aanbrengen van het wiepenrooster en de stenen dient het colloïdaal beton hier netjes op aan te sluiten. Ook hierbij dient een goede controle door duikers te geschieden. In het bestek dienen hiervoor nadere bestekposten te worden opgenomen.

De stromingsbelasting ter plaatse van de uitmondig van de te verleggen gemeentelijke persleidingen komt uit ter plaatse van de bestorting die is voorzien van colloïdaal beton. Deze kan hoge stromingsbelastingen opnemen, waardoor er voor de stromingsbelasting door deze persleiding geen extra voorzieningen benodigd zijn.

Samenvatting:

Breedte bestorting	26,5 m
Breedte colloïdaal beton	21,5 m

4.5 Ontwerp kade Noord (locatie 5A)

Langs deze kade bevinden zich afmeerplaatsen voor CEMT V schepen. De schepen liggen op een afstand van 3,7 m vanaf de kade. De afstand tot de as van de meerpaal is 2,5 m en de afstand van de as tot de voorzijde van het wrijfhout is 1,2 m. De breedte van de benodigde bodembescherming wordt volgens formule 10-34 uit [2] 18,8 m. De gekozen breedte is 19 m. De passieve wig van deze kade (15 m) is kleiner dan de breedte die

benodigd is ten gevolge van de belastingen door de schroefstraal, zodat 19 m maatgevend is.

De breedte van het colloïdale beton is bepaald met formule 5-84 uit [10]. De snelheid aan de bodem op 5,5 m van de kade is gereduceerd tot 1,73 m/s dit is voldoende laag voor een sortering van 10-60 kg. De passieve wig van de afmeerpalen dient beschermd te worden met een sortering van 10-60 kg.

Samenvatting:

Breedte bestorting	19 m
Breedte colloïdaal beton	5,5 m

4.6 Ontwerp kade Noord (locatie 5B)

Langs deze kade bevinden zich geen afmeerplaatsen, maar het is mogelijk dat de schepen uit de haven toch de bodem langs deze kade belasten met de boegschroeven. Aanbevolen wordt om dezelfde bodembescherming als langs de zuidkade toe te passen.

Samenvatting:

Breedte bestorting	24 m
Breedte colloïdaal beton	6,5 m

Omdat in het insteek gedeelte tussen de bestortingen een zeer kleine strook onbeschermd bodem wordt overgehouden, wordt geadviseerd om de volledige insteekhaven te voorzien van bestorting.

5 Geraadpleegde bronnen

- [1] Uitgangspunten Buitenhaven Waalwijk, SWNL022491 versie D1.0, 16-3-2018;
- [2] PIANC Report 180-2015 Guidelines for Protection;
- [3] Introduction to Bed, bank and shore protection, G.J. Schiereck, 2001;
- [4] Ontwerp van schutsluizen, Bouwdienst Rijkswaterstaat, juni 2000;
- [5] Verordening op de havens en het binnenwater van de gemeente Waalwijk 2017, <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/gmb-2017-193777.html>;
- [6] Richtlijn Vaarwegen 2017, Rijkswaterstaat, december 2017;
- [7] The Rock Manual, Ciria C683, 2007;
- [8] Ontwerprichtlijn Geotextielen onder steenbekleding, SBRCURnet, 2017;
- [9] Scheepskarakterisatie voor nieuwe grote schepen, Marin, 2010;
- [10] Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 87 (2004);
- [11] Insteekhaven Waalwijk, Nautische aspecten en bodembescherming, 435444-RAP-HYD-001, Anteagroup, 15-8-2018.
- [12] Memo MUC referentie-ontwerp kademuur insteekhaven Waalwijk: uitgangspunten, M7606-01, rev 1, dd 14-04-2014
- [13] Quay Walls. SBRCURnet Publication 211E. Broeken, M.L., Gijt, J.G. Second edition. 2014

Verantwoording

Titel	Ontwerprapportage bodembescherming buitenhaven Waalwijk, DO
Projectnummer	359675
Referentienummer	SWNL0235097
Revisie	D1.0
Datum	22-11-2018

Auteur	Brenda Donselaar-Gaal, Maarten Balke
E-mailadres	waterbouw@sweco.nl

Gecontroleerd door	Casper van 't Slot
Paraaf gecontroleerd	

Goedgekeurd door	Arjan Frens
Paraaf goedgekeurd	

Bijlage 1 – Berekeningen

SCHROEFSTRAALSNELHEDEN OP BODEM, VEROORZAAKT DOOR SCHEEPSSCHROEVEN

Bron: 'Ontwerp van schutsluizen', Bouwdienst Rijkswaterstaat, juni 2000.

1.	Diepgang schip (d_s)	3,5 [m]	
2.	Breedte schip (b_s)	11,4 [m]	
3.	Diameter schroef (D_p)	1,8 [m]	
4.	Bodemligging	-6,4 [m NAP]	
5.	Waterstand	-0,62 [m NAP]	
6.	Aangewend vermogen per hoofdschroef (P_d)	1103 [kW]	2206 kW
7.	Aangewend vermogen per boegschroef	420,00 [kW]	840 kW
8.	Effectieve schroefdiameter (D_0) hoofdschroef		
	$D_0 = 0,71 D_p$	1,28 [m]	(schroef zonder straalbuis)
	$D_0 = 1,00 D_p$	1,80 [m]	(schroef in straalbuis)
	$D_0 = 0,85 D_p$	1,53 [m]	(schroef / straalbuis / combinatie)
9.	Effectieve schroefdiameter ($D_0 = 0,068 * P_d^{0,5} = D_p$) boegschroef	1,39 [m]	(schutsluizenboek)

10. Uittreesnelheid direct achter de hoofdschroef:

$u_p = 1,15 * (P_d / D_0^2)^{1/3}$	10,09 [m/s]	(schroef zonder straalbuis)
	8,03 [m/s]	(schroef in straalbuis)
	8,95 [m/s]	(schroef / straalbuis / combinatie)

11. Voor de exacte plaats en de maximum stroomsnelheid gelden:
 Verticale afstand straalas - bodem (d_p)
 Helling schroefstraal van as schroef tot bodem = 1:5,6 (zie figuur hiernaast)

$x_{bp} = 5,6 d_p$	17,81 [m]
--------------------	-----------

12. Aantal schroeven (n) 2 [st]

13. Stroomsnelheid hoofdschroef boven de bodem:

$u_{bp} = 1,68 u_p \sqrt{(n) D_0 / x_{bp}}$	1,72 [m/s]	(schroef zonder straalbuis)
$= 0,3 u_p \sqrt{(n) D_0 / d_p}$	1,93 [m/s]	(schroef in straalbuis)
	1,83 [m/s]	(schroef / straalbuis / combinatie)

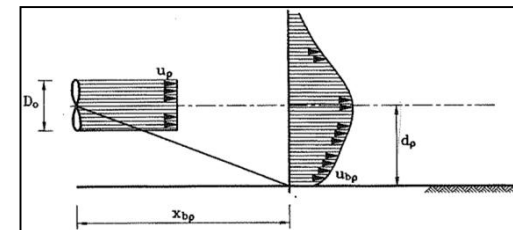
in te vullen waarde
 uitkomst
 uitkomst met onzekerheid

Indien schroefdiameter onbekend:

$D_p = 0,6 \text{ à } 0,7 d_s$	2,3 [m]	(binnenvaartschip)
$D_p = 0,5 d_s$	1,8 [m]	(duwboot)
$D_p = 0,7 d_s$	2,5 [m]	(zeeschip)

1,62 [m]	(binnenvaartschip, schroef zonder straalbuis)
2,28 [m]	(binnenvaartschip, schroef in straalbuis)
1,93 [m]	(binnenvaartschip, schroef / straalbuis / combinatie)

8,63 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef zonder straalbuis)
6,87 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef in straalbuis)
7,66 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef / straalbuis / combinatie)



1,86 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef zonder straalbuis)
2,08 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef in straalbuis)
1,97 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef / straalbuis / combinatie)

SCHROEFSTRAALSNELHEDEN OP BODEM, VEROORZAAKT DOOR SCHEEPSSCHROEVEN

Bron: 'Ontwerp van schutsluizen', Bouwdienst Rijkswaterstaat, juni 2000.

1.	Diepgang schip (d_s)	3,5 [m]	
2.	Breedte schip (b_s)	11,4 [m]	
3.	Diameter schroef (D_p)	1,8 [m]	
4.	Bodemligging	-6,4 [m NAP]	
5.	Waterstand	-0,62 [m NAP]	
6.	Aangewend vermogen per hoofdschroef (P_d)	827,25 [kW]	2206 kW
7.	Aangewend vermogen per boegschroef	420,00 [kW]	840 kW
8.	Effectieve schroefdiameter (D_0) hoofdschroef		
	$D_0 = 0,71 D_p$	1,28 [m]	(schroef zonder straalbuis)
	$D_0 = 1,00 D_p$	1,80 [m]	(schroef in straalbuis)
	$D_0 = 0,85 D_p$	1,53 [m]	(schroef / straalbuis / combinatie)
9.	Effectieve schroefdiameter ($D_0 = 0,068 * P_d^{0,5} = D_p$) boegschroef	1,39 [m]	(schutsluizenboek)

10. Uittreesnelheid direct achter de hoofdschroef:

$u_p = 1,15 * (P_d / D_0^2)^{1/3}$	9,17 [m/s]	(schroef zonder straalbuis)
	7,30 [m/s]	(schroef in straalbuis)
	8,13 [m/s]	(schroef / straalbuis / combinatie)

11. Voor de exacte plaats en de maximum stroomsnelheid gelden:
 Verticale afstand straalas - bodem (d_p)
 Helling schroefstraal van as schroef tot bodem = 1:5,6 (zie figuur hiernaast)

$x_{bp} = 5,6 d_p$	17,81 [m]
--------------------	-----------

12. Aantal schroeven (n) 2 [st]

13. Stroomsnelheid hoofdschroef boven de bodem:

$u_{bp} = 1,68 u_p \sqrt{(n) D_0 / x_{bp}}$	1,56 [m/s]	(schroef zonder straalbuis)
$= 0,3 u_p \sqrt{(n) D_0 / d_p}$	1,75 [m/s]	(schroef in straalbuis)
	1,66 [m/s]	(schroef / straalbuis / combinatie)

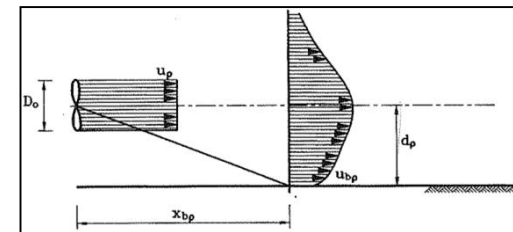
in te vullen waarde
 uitkomst
 uitkomst met onzekerheid

Indien schroefdiameter onbekend:

$D_p = 0,6 \text{ à } 0,7 d_s$	2,3 [m]	(binnenvaartschip)
$D_p = 0,5 d_s$	1,8 [m]	(duwboot)
$D_p = 0,7 d_s$	2,5 [m]	(zeeschip)

1,62 [m]	(binnenvaartschip, schroef zonder straalbuis)
2,28 [m]	(binnenvaartschip, schroef in straalbuis)
1,93 [m]	(binnenvaartschip, schroef / straalbuis / combinatie)

7,84 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef zonder straalbuis)
6,24 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef in straalbuis)
6,96 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef / straalbuis / combinatie)



1,69 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef zonder straalbuis)
1,89 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef in straalbuis)
1,79 [m/s]	(binnenvaartschip, schroef / straalbuis / combinatie)

Schroefstaalsnelheden conform methode Piand	
Draught, Diepgang schip (T_d)	3,5 [m]
Beam, width, Breedte schip (B_s)	11,4 [m]
Diameter main propeller, Diameter hoofdschroef (D_p)	1,8 [m]
Diameter thruster, Diameter boegschroef ($D_{thruster}$)	1,39 [m]
Installed power for the thruster, Vermogen boegschroef ($P_{thruster}$)	420000 [W]
Maximum installed enginepower, Vermogen hoofdschroef (P_p)	1103000 [W]
Distance between outflow opening and quay wall (L) afstand tussen schip en kade afstand tussen schroeven	6,7 [m] 1 [m] 7 [m]
Bodemligging	-6,4 [m NAP]
Waterstand	-0,62 [m NAP]
Dichtheid water	1000 [kg/m ³]
Height of the thruster axis above the bed, verticale afstand boegstraalas - bodem ($h_{thruster}$)	2,98 [m]

CEMT V
CEMT V
16.17b Ontwerp schutsluizen
90% vermogen: 840 kW, ugp 2 schroeven
90% vermogen: 2206 kW, ugp 2 schroeven

Efflux velocity thruster (volgens Eq.8-10), Uittreesnelheid boegschroef ($V_{0,thruster}$) 7,02 [m/s]

$$V_{0,thruster} = 1.15 \left(\frac{P_{thruster}}{\rho_s D_{thruster}^3} \right)^{0.33} \quad \text{Equation 8-10}$$

64	Equation 8-10	Replace coefficient 1.15 by 1.17
63, 64 and 66	Equation 8-6, 8-7, 8-8, 8-9, 8-10 and 8-17	The exponent in the formula shall be 1/3 as per original paper Blaauw & Van de Kaa (1978). Replace the exponent in the formula with 1/3.

Maximum velocity near the bed (volgens Eq.8-14/8-15), snelheid aan de bodem ($V_{b,max}$)
Maximum snelheid voor 2 schroeven 2,83 [m/s]
4,00 [m/s]

$$V_{b,max} = 1.0 V_0 \frac{D_{thruster}}{h_{thruster}} \quad \text{for } L/h_{thruster} < 1.8 \quad \text{Equation 8-14}$$

$$V_{b,max} = 2.8 V_0 \frac{D_{thruster}}{L + h_{thruster}} \quad \text{for } L/h_{thruster} \geq 1.8 \quad \text{Equation 8-15}$$

where L = distance between outflow opening and quay wall

D50 (volgens Eq.10-26)
Dn50 1,49 [m]
1,25 [m]

$$\Delta D_{50} = \frac{1}{D_{50}^{1.5}} \frac{V_{bottom}^2}{2g} \quad \text{Equation 10-26}$$

where:

- V_{bottom} flow velocity near the bed
- $B_{s,1/2}$ coefficient (For standard situations $(1/B_{s,1/2})^2 = 3.0$ [CIRIA, CUR, CETMEF, 2007] which results in $B_{s,1/2}$ about 0.8. This value is smaller than the earlier value of 1.2 which is due to the lower turbulence in a regular flow compared to a jet.
- D_{50} 50 % passing median stone diameter

Breedte van de bescherming langs de kade (volgens Eq.10-34) 16,1 [m]

- the influence area of the jets (transverse thruster and main propulsion jet)
- the width of the passive soil volume in front of the quay wall required to ensure the geotechnical stability of the quay wall

$$b_{protection} = b_{quay} + 0.5 B_s + 0.5 S_{propeller} + 0.5 D_p + 5m \quad \text{Equation 10-34}$$

where:

- b_{quay} = distance between ship and quay wall (m)
- B_s = ship's width (m)
- $S_{propeller}$ = distance between main propeller shafts (m)
- D_p = propeller diameter (m)

Kritieke snelheid voor 10-60 kg:

Dn50 10-60 kg (conform NEN-EN 13383-1) 0,24 [m]
D50 10-60 kg 0,29 [m]

maximale snelheid bodem voor 10-60 kg (volgens Eq.10-26) 1,76 [m/s]

Afstand x_k snelheid op afstand x_k (volgens Eq.5-84) 6,5 [m]
1,74 [m/s]

Over afstand x_k dient de 10-60 kg met colloidaal beton te worden gevuld

Formules voor belasting door hoofdschroef gelijk aan methode schutsluizenboek (zie tabblad schroefstraalsnelheden)

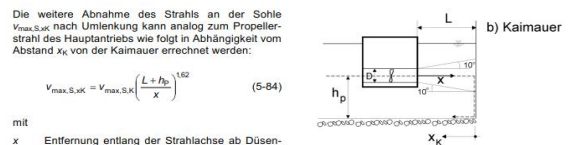


Bild 5.33 Strahlaußbreitung bei Belastung durch Bugstrahlruder; (a) geböschtes Ufer; (b) Kaimauer mit Strahlumlenkung zur Sohle
 β = Böschungswinkel
 α = Längsneigungswinkel s. Bild 6.4 und Gl. (6-9)

Op een talud:

Meest conservatief is de benadering in formule 8-16. Dan is de snelheid op het talud gelijk aan de uittreesnelheid Dit is een zeer hoge snelheid. Het talud zal gepenetreerd moeten worden met colloidaal beton.

Above the slope the area for flow propagation will be more and more reduced by the slope and the water level. Research by Schokking (2002) and Rönisch (2006) resulted in a number of specific equations (derived for a slope of 1/3):

$$V_{act,thruster} = V_{0,thruster} \quad \text{for } x/D_{thruster} < 1 \quad \text{Equation 8-16}$$

$$V_{act,thruster} = 1.0 V_{0,thruster} \left(\frac{x}{D_{thruster}} \right)^{-0.33} \quad \text{for } 1 < x/D_{thruster} < 5.375 \quad \text{Equation 8-17}$$

$$V_{act,thruster} = 2.3 V_{0,thruster} \left(\frac{x}{D_{thruster}} \right)^{-0.825} \quad \text{for } x/D_{thruster} > 5.375 \quad \text{Equation 8-18}$$

$$\frac{x_{V_{max}}}{L} = K \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2}{K}} - 1 \right) \quad \text{Equation 8-19}$$

$$K = \frac{b}{a \cdot (\cot(\alpha))^2} \quad \text{Equation 8-20}$$

- With
- A = 2.8 a ducted propeller and 1.95 for a non-ducted propeller
 - a = 1 and b = 15.4 (according to the Dutch formulas)
 - f = Correction factor for the influence of the confinement of the jet by the slope surface (and by jetty piles if present)
 - L = Horizontal distance along the jet axis between the slope and the beginning of the propeller jet
 - $x_{V_{max}}$ = x coordinate of the location on the slope where the maximum current velocity according to the equation for a free extending propeller jet occurs
 - x = horizontal coordinate from the beginning of the propeller jet
 - α = slope angle

Schroefstaalsnelheden conform methode Piarc

Draught, Diepgang schip (T _s)	2,7 [m]	CEMT III
Beam, width, Breedte schip (B _s)	8,2 [m]	CEMT III
Diameter main propeller, Diameter hoofdschroef (D _p)	1,4 [m]	
Diameter thruster, Diameter boegschroef (D _{thruster})	0,70 [m]	16.17b Ontwerp schutsluizen
Installed power for the thruster, Vermogen boegschroef (P _{thruster})	105000 [W]	RVW vermogen: 210 kW, ugp 2 schroeven
Maximum installed enginepower, Vermogen hoofdschroef (P _d)	320000 [W]	RVW vermogen: 640 kW, ugp 2 schroeven
Distance between outflow opening and quay wall (L)	7,3 [m]	
afstand tussen schip en kade	3,2 [m]	
afstand tussen schroeven	5 [m]	
Bodemligging	-6,4 [m NAP]	
Watersstand	-0,62 [m NAP]	
Dichtheid water	1000 [kg/m ³]	
Height of the thruster axis above the bed, verticale afstand boegstraalas - bodem (h _{thruster})	3,43 [m]	

Efflux velocity thruster (volgens Eq.8-10), Uittreesnelheid boegschroef (V_{0,thruster}) 7,02 [m/s]

$$V_{0,thruster} = 1,15 \left(\frac{P_{thruster}}{\rho_w D_{thruster}} \right)^{0,33} \quad \text{Equation 8-10}$$

64	Equation 8-10		Replace coefficient 1.15 by 1.17
63, 64 and 66	Equation 8-6, 8-7, 8-8, 8-9, and 8-10 and 8-17	The exponent in the formula shall be 1/3 as per original paper Blaauw & Van de Kaa (1978).	Replace the exponent in the formula with 1/3.

Maximum velocity near the bed (volgens Eq.8-14/8-15), snelheid aan de bodem (V_{b,max})
Maximum snelheid voor 2 schroeven

$$V_{b,max} = 1,0 V_0 \frac{D_{thruster}}{h_{thruster}} \quad \text{for } L/h_{thruster} < 1,8 \quad \text{Equation 8-14}$$

$$V_{b,max} = 2,8 V_0 \frac{D_{thruster}}{L + h_{thruster}} \quad \text{for } L/h_{thruster} \geq 1,8 \quad \text{Equation 8-15}$$

where L = distance between outflow opening and quay wall

D50 (volgens Eq.10-26)
Dn50 0,30 [m]
0,25 [m]

$$\Delta D_{50} = \frac{1}{B_{min}} \frac{V_{bottom}^2}{2g} \quad \text{Equation 10-26}$$

where:

V_{bottom} flow velocity 'near the bed'

B_{min} coefficient (For standard situations (1/B_{min})² = 3.0 [CIRIA, CUR, CETMEF, 2007], which results in B_{min} about 0.8. This value is smaller than the earlier value of 1.2 which is due to the lower turbulence in a regular flow compared to a jet.

D₅₀ 50 % passing median stone diameter

Breedte van de bescherming langs de kade (volgens Eq.10-34) 15,5 [m]

- the influence area of the jets (transverse thruster and main propulsion jet)
- the width of the passive soil volume in front of the quay wall required to ensure the geotechnical stability of the quay wall

$$b_{protection} = h_{prop} + 0,5 B_s + 0,5 S_{propellers} + 0,5 D_p + 5m \quad \text{Equation 10-34}$$

where:

b_{prop} = distance between ship and quay wall (m)

B_s = ship's width (m)

S_{propellers} = distance between main propeller shafts (m)

D_p = propeller diameter (m)

Kritieke snelheid voor 10-60 kg:

Dn50 10-60 kg (conform NEN-EN 13383-1) 0,24 [m]
D50 10-60 kg 0,29 [m]

maximale snelheid bodem voor 10-60 kg (volgens Eq.10-26) 1,76 [m/s]

Afstand xk
snelheid op afstand xk (volgens Eq.5-84) 0,2 [m]
1,75 [m/s]

Over afstand xk dient de 10-60 kg met colloidaal beton te worden gevuld

Formules voor belasting door hoofdschroef gelijk aan methode schutsluizenboek (zie tabblad schroefstraalsnelheden)

Die weitere Abnahme des Strahls an der Sohle V_{max,S,xk} nach Umlenkung kann analog zum Propellerstrahl des Hauptantriebs wie folgt in Abhängigkeit vom Abstand x_k von der Kaimauer errechnet werden:

$$V_{max,S,xk} = V_{max,S,K} \left(\frac{L + h_p}{x} \right)^{0,82} \quad (5-84)$$

mit

x Entfernung entlang der Strahlachse ab Düsenaustritt über Kaimauer und Sohle [m]
x = L + h_p + x_k

x_k Abstand des umgelenkten Strahls auf der Sohle ab Kaimauer [m]

V_{max,S,xk} veränderte maximale Strömungsgeschwindigkeit an der Sohle nach der Umlenkung im Abstand x_k von der Kaimauer [m/s]

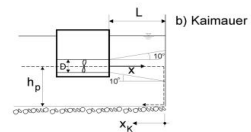


Bild 5.33 Strahlaustritt bei Belastung durch Bugstrahlruder: (a) geböschtes Ufer; (b) Kaimauer mit Strahlumlenkung zur Sohle β = Böschungswinkel α = Längeneigungswinkel s. Bild 6.4 und Gl. (6-8)

Op een talud:

Meest conservatief is de benadering in formule 8-16. Dan is de snelheid op het talud gelijk aan de uittreesnelheid Dit is een zeer hoge snelheid. Het talud zal gepenetreerd moeten worden met colloidaal beton.

Above the slope the area for flow propagation will be more and more reduced by the slope and the water level. Research by Schokking (2002) and Römisch (2006) resulted in a number of specific equations (derived for a slope of 1/3):

$$V_{crit,thruster} = V_0 \quad \text{for } x/D_{thruster} < 1 \quad \text{Equation 8-16}$$

$$V_{crit,thruster} = 1,0 V_0 \left(\frac{x}{D_{thruster}} \right)^{-0,33} \quad \text{for } 1 < x/D_{thruster} < 5,375 \quad \text{Equation 8-17}$$

$$V_{crit,thruster} = 2,3 V_0 \left(\frac{x}{D_{thruster}} \right)^{-0,825} \quad \text{for } x/D_{thruster} > 5,375 \quad \text{Equation 8-18}$$

$$\frac{x_{r,max}}{L} = K \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2}{K}} - 1 \right) \quad \text{Equation 8-19}$$

$$K = \frac{b}{\alpha \cdot (\cot(\alpha))^2} \quad \text{Equation 8-20}$$

With A = 2.8 a ducted propeller and 1.95 for a non-ducted propeller

a = 1 and b = 15.4 (according to the Dutch formulas)

f = Correction factor for the influence of the confinement of the jet by the slope surface (and by jetty piles if present)

L = Horizontal distance along the jet axis between the slope and the beginning of the propeller jet

x_{r,max} = x coordinate of the location on the slope where the maximum current velocity according to the equation for a free extending propeller jet occurs

x = horizontal coordinate from the beginning of the propeller jet

α = slope angle

Schroefstaalsnelheden conform methode Pianc

Draught, Diepgang schip (T_d)	3,5 [m]
Beam, width, Breedte schip (B_s)	11,4 [m]
Diameter main propeller, Diameter hoofdschroef (D_p)	1,8 [m]
Diameter thruster, Diameter boegschroef ($D_{thruster}$)	1,39 [m]
Installed power for the thruster, Vermogen boegschroef ($P_{thruster}$)	420000 [W]
Maximum installed enginepower, Vermogen hoofdschroef (P_p)	1103000 [W]
Distance between outflow opening and quay wall (L) afstand tussen schip en kade afstand tussen schroeven	9,4 [m] 3,7 [m] 7 [m]
Bodemligging	-6,4 [m NAP]
Waterstand	-0,62 [m NAP]
Dichtheid water	1000 [kg/m ³]
Height of the thruster axis above the bed, verticale afstand boegstraalas - bodem ($h_{thruster}$)	2,98 [m]

CEMT V
CEMT V
16.17b Ontwerp schutsluizen
90% vermogen: 840 kW, ugp 2 schroeven
90% vermogen: 2206 kW, ugp 2 schroeven

Efflux velocity thruster (volgens Eq.8-10), Uittreesnelheid boegschroef ($V_{0,thruster}$)

7,02 [m/s]

$$V_{0,thruster} = 1.15 \left(\frac{P_{thruster}}{\rho_s D_{thruster}^3} \right)^{0.33}$$

Equation 8-10

64	Equation 8-10	Replace coefficient 1.15 by 1.17
63, 64 and 66	Equation 8-6, 8-7, 8-8, 8-9, 8-10 and 8-17	The exponent in the formula shall be 1/3 as per original paper Blaauw & Van de Kaa (1978). Replace the exponent in the formula with 1/3.

Maximum velocity near the bed (volgens Eq.8-14/8-15), snelheid aan de bodem ($V_{b,max}$)
Maximum snelheid voor 2 schroeven

2,21 [m/s]
3,13 [m/s]

$$V_{b,max} = 1.0 V_{0,thruster} \frac{D_{thruster}}{h_{thruster}} \text{ for } L/h_{thruster} < 1.8$$

Equation 8-14

$$V_{b,max} = 2.8 V_{0,thruster} \frac{D_{thruster}}{L + h_{thruster}} \text{ for } L/h_{thruster} \geq 1.8$$

Equation 8-15

where L = distance between outflow opening and quay wall

D50 (volgens Eq.10-26)
Dn50

0,91 [m]
0,76 [m]

$$\Delta D_{50} = \frac{1}{B_{soil,z}} \frac{V_{bottom}^2}{2g}$$

Equation 10-26

where:

- V_{bottom} flow velocity 'near the bed'
- $B_{soil,z}$ coefficient (For standard situations $(1/B_{soil,z})^2 = 3.0$ [CIRIA, CUR, CETMEF, 2007] which results in $B_{soil,z}$ about 0.8. This value is smaller than the earlier value of 1.2 which is due to the lower turbulence in a regular flow compared to a jet.
- D_{50} 50 % passing median stone diameter

Breedte van de bescherming langs de kade (volgens Eq.10-34)

18,8 [m]

- the influence area of the jets (transverse thruster and main propulsion jet)
- the width of the passive soil volume in front of the quay wall required to ensure the geotechnical stability of the quay wall

$$b_{protection} = b_{quay} + 0,5 B_s + 0,5 S_{propellers} + 0,5 D_p + 5m$$

Equation 10-34

where:

- b_{quay} = distance between ship and quay wall (m)
- B_s = ship's width (m)
- $S_{propellers}$ = distance between main propeller shafts (m)
- D_p = propeller diameter (m)

Kritieke snelheid voor 10-60 kg:

Dn50 10-60 kg (conform NEN-EN 13383-1)
D50 10-60 kg

0,24 [m]
0,29 [m]

maximale snelheid bodem voor 10-60 kg (volgens Eq.10-26)

1,76 [m/s]

Afstand x_k
snelheid op afstand x_k (volgens Eq.5-84)

5,5 [m]
1,73 [m/s]

Over afstand x_k dient de 10-60 kg met colloidaal beton te worden gevuld

Formules voor belasting door hoofdschroef gelijk aan methode schutsluizenboek (zie tabblad schroefstraalsnelheden)

Die weitere Abnahme des Strahls an der Sohle $V_{max,S,K}$ nach Umlenkung kann analog zum Propellerstrahl des Haupttriebs wie folgt in Abhängigkeit vom Abstand x_k von der Kaimauer errechnet werden:

$$V_{max,S,K} = V_{max,S,K} \left(\frac{L + h_p}{x} \right)^{1,62} \quad (5-84)$$

mit

x Entfernung entlang der Strahlachse ab Düsenaustritt über Kaimauer und Sohle [m]
 $x = L + h_p + x_k$

x_k Abstand des umgelenkten Strahls auf der Sohle ab Kaimauer [m]

$V_{max,S,K}$ veränderte maximale Strömungsgeschwindigkeit an der Sohle nach der Umlenkung im Abstand x_k von der Kaimauer [m/s]

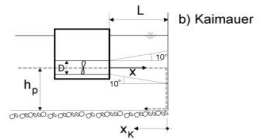


Bild 5.33 Strahlaußbreitung bei Belastung durch Bugstrahlruder; (a) geböschtes Ufer; (b) Kaimauer mit Strahlumlenkung zur Sohle
 α = Böschungswinkel
 α = Längsneigungswinkel s. Bild 6.4 und Gl. (6-9)

Op een talud:

Meest conservatief is de benadering in formule 8-16. Dan is de snelheid op het talud gelijk aan de uittreesnelheid Dit is een zeer hoge snelheid. Het talud zal gepenetreerd moeten worden met colloidaal beton.

Above the slope the area for flow propagation will be more and more reduced by the slope and the water level. Research by Schokking (2002) and Rönisch (2006) resulted in a number of specific equations (derived for a slope of 1/3):

$$V_{crit,abrasion} = V_{0,thruster} \text{ for } x/D_{thruster} < 1 \quad \text{Equation 8-16}$$

$$V_{crit,abrasion} = 1.0 V_{0,thruster} \left(\frac{x}{D_{thruster}} \right)^{-0.33} \text{ for } 1 < x/D_{thruster} < 5.375 \quad \text{Equation 8-17}$$

$$V_{crit,abrasion} = 2.3 V_{0,thruster} \left(\frac{x}{D_{thruster}} \right)^{-0.825} \text{ for } x/D_{thruster} > 5.375 \quad \text{Equation 8-18}$$

$$\frac{x_{V_{crit,max}}}{L} = K \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2}{K}} - 1 \right) \quad \text{Equation 8-19}$$

$$K = \frac{b}{a \cdot (\cot(\alpha))^2} \quad \text{Equation 8-20}$$

- With
- A = 2.8 a ducted propeller and 1.95 for a non-ducted propeller
 - a = 1 and b = 15.4 (according to the Dutch formulas)
 - f = Correction factor for the influence of the confinement of the jet by the slope surface (and by jetty piles if present)
 - L = Horizontal distance along the jet axis between the slope and the beginning of the propeller jet
 - $x_{V_{crit,max}}$ = x coordinate of the location on the slope where the maximum current velocity according to the equation for a free extending propeller jet occurs
 - x = horizontal coordinate from the beginning of the propeller jet
 - α = slope angle