

ONDERWERP
Ontwerp palenrij Ierst

ONZE REFERENTIE
KRWOGROW-1950275012-11295:1.0

DATUM
1 maart 2024

VAN
GROW

AAN
RWS Midden

1 Inleiding

In 2013 is door Rijkswaterstaat als onderdeel van het project Natuurlijk(er) Markermeer-IJmeer (NMIJ) het moeraseiland Ierst aangelegd. Het eiland ligt aan de noordoostelijke zijde van het Markermeer, nabij de houtribdijk (zie onderstaande Figuur 1, links) en dient als proefeiland voor de Marker Wadden. Het eiland is aangelegd om in de praktijk te onderzoeken hoe een eiland stand houdt in de golven van de overheersende zuidwestenwind.



Figuur 1: Links: Locatie proefeiland Ierst. Rechts: luchtfoto Ierst (2023, <https://streetsmart.cyclomedia.com>)

Om de invloed van golfwerking op het aangebrachte slib te verkleinen is rondom het eiland een breukstenen dam aangebracht. In deze dam bevinden zich twee vispasseerbare openingen (zie bovenstaande Figuur 1, rechts). Eén van de bevindingen van de proef was het verlies van materiaal door deze openingen. Nabij de waterlijn trad erosie van het aangebrachte materiaal op, waarna dit door de openingen wegstroomde. Hierdoor trad ook ongewenste aanzanding op buiten de breukstenen dam.

Rijkswaterstaat is voornemens om het weggespoelde materiaal terug aan te brengen binnen de breukstenen dam en tevens een foerageergebied aan te leggen. Om te voorkomen dat dat het aangebrachte materiaal opnieuw wegspoelt, worden een drietal rijshouten dammen geplaatst; één rondom het foerageergebied en één voor elke opening in de breukstenen dam (zie ook hoofdstuk 2). Deze rijshouten dammen dienen stabiel te zijn bij de optredende golfbelastingen. Het doel van dit memo is het bepalen van de benodigde paaldiameter- en lengte om dit te bewerkstelligen.

1.1 Referenties

- [1] *RWS SROK-ID-0037 DO Kleine Noorder IJplas*. TAUW B.V., kenmerk: R002-1285934RBS-V1-dkl-NL, d.d. 20-09-2022.
- [2] *IJsselmeergebied: zoetwatervoorraad op peil*. Rijkswaterstaat. Geraadpleegd op 25-01-2024, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/ijsselmeer-zoetwatervoorraad-op-peil>.
- [3] *Peilbesluit IJsselmeergebied*. Rijkswaterstaat, kenmerk: RWS-2018/16279, d.d. 14-06-2018.
- [4] *Leidraad kunstwerken*. TAW, d.d. mei 2003.
- [5] *Kwelders Terschelling; Voorlopig ontwerp*. Stichting Landschapstheater en Meer (SLeM) en Bureau Waardenburg B.V., d.d. 11-01-2016.
- [6] *Infoblad houteigenschappen*. Centrum hout, d.d. 2014.
- [7] *NEN1995-1-1: 'Eurocode 5 Ontwerp en berekening van houtconstructies – Deel 1-1: Algemeen – gemeenschappelijke regels en regels voor gebouwen.'*, d.d. 2011.
- [8] *D-Sheet Piling User Manual*. Deltares, versie 22.2, d.d. 25-07-2022.
- [9] *Klimaat Lelystad*. (z.d.). Climate Data. Geraadpleegd op 25-01-2024, van <https://en.climate-data.org/europe/the-netherlands/flevoland/lelystad-23478/>.
- [10] *CUR166 Damwandconstructies (deel 1 en 2)*. 6^e editie, d.d. 2012.
- [11] *NEN9997-1:2016/C2:2017: 'Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels.'*, d.d. november 2017.
- [12] *DINOloket*: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- [13] Tekeningen:
 - a. *Proefmoeras Ierst. Situatie aanleg*, GROW, kenmerk KRWMN-TEK-VO_IERST-SA-001-001, d.d. 29-02-2024, versie 1.0.
 - b. *Proefmoeras Ierst. Dwarsprofielen aanleg*, GROW, kenmerk KRWMN-TEK-VO_IERST-SA-001-002, d.d. 29-02-2024, versie 1.0.

2 Uitgangspunten

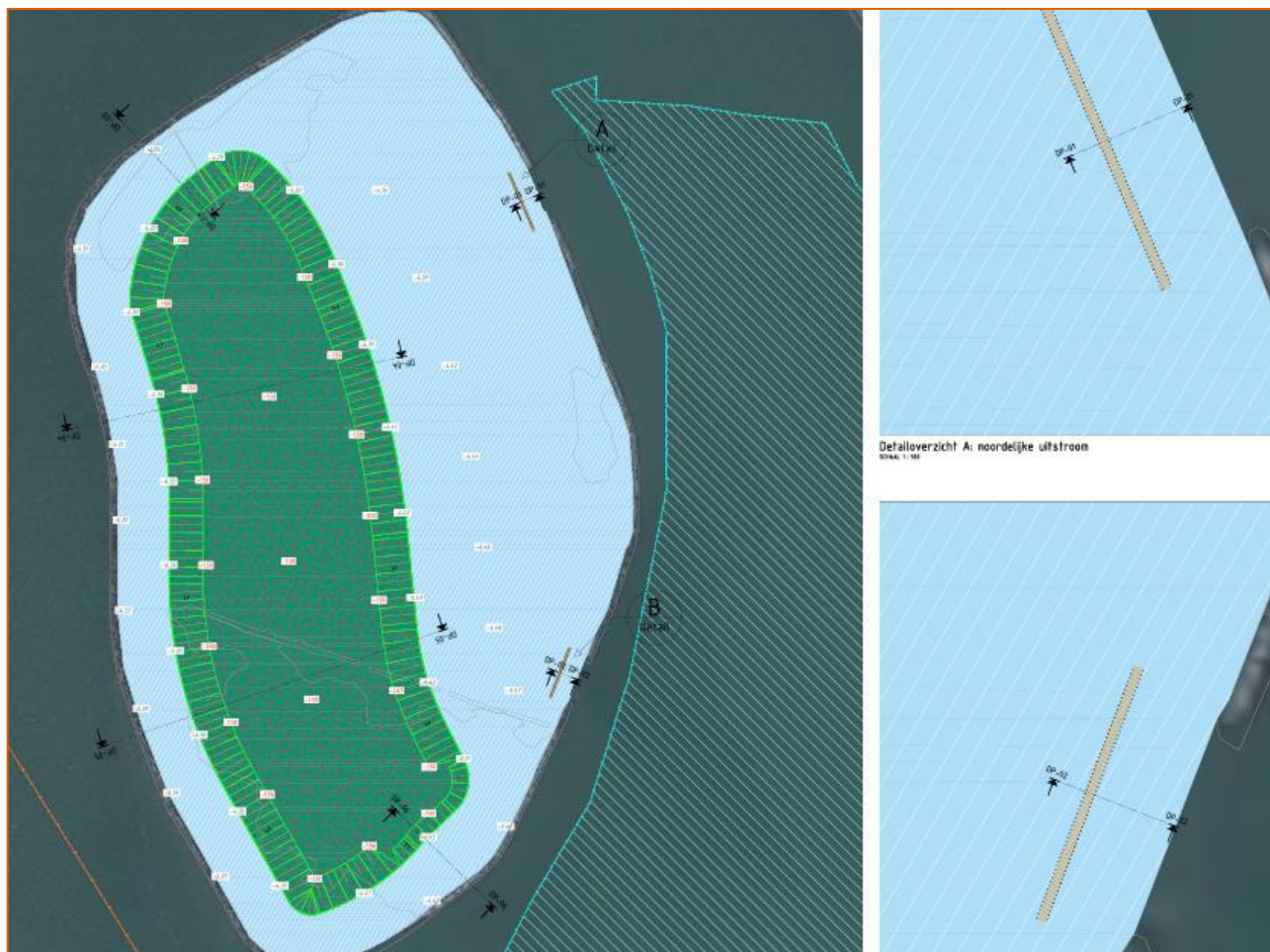
2.1 Situatie en maatgevend dwarsprofiel

Onderstaande Figuur 2 geeft een overzicht van het ontwerp [13]. Het projectgebied is omringd door een breukstenen dam met twee openingen aan de oostelijke zijde (aangegeven met A en B in Figuur 2). Binnen dit gebied wordt een foerageergebied gerealiseerd door het bodemniveau op te hogen tot ca NAP -1,5 meter. Dit gebied is aangegeven met een groene arcering. In het ontwerp zijn een drietal rijshouten dammen voorzien: Eén dam rondom het foerageergebied en twee dammen voor de openingen in de breukstenen dam.

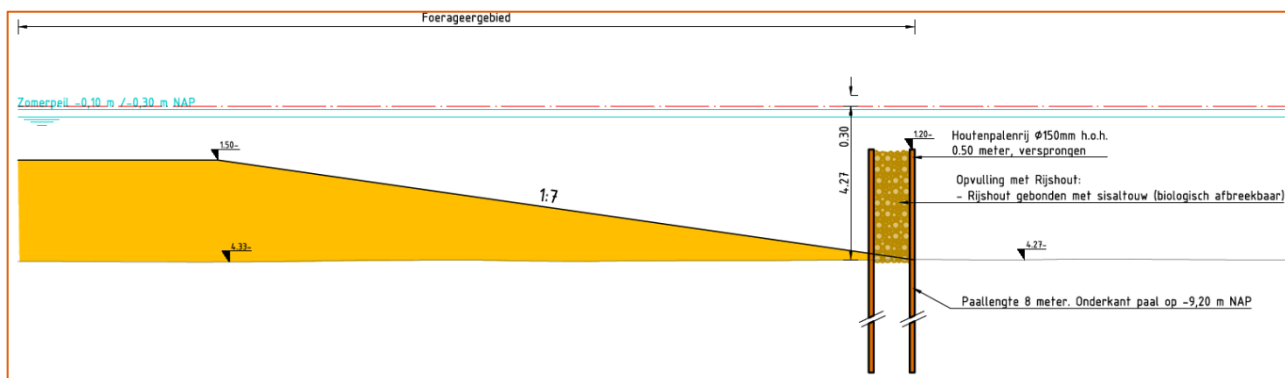
De principedoorsneden van de rijshouten dam rondom het foerageergebied en bij de openingen in de breukstenen dam zijn weergegeven in Figuur 3 respectievelijk Figuur 4. Het primaire doel van de rijshouten dammen is het stremmen van de onderstroom en daarmee het transport van materiaal uit het projectgebied. Daarom is het geen vereiste dat de bovenkant van de dammen boven de waterspiegel ligt. Vanuit vispasseerbaarheid zou dit zelfs ongewenst zijn. Daarom is gekozen om de bovenkant van de rijshouten dam ca. één meter onder de waterspiegel te leggen.

Aangezien de rijshouten dammen hier niet dienen als grondkering maar slechts als barrière voor de onderstroom die geërodeerd materiaal laat wegspoelen uit het gebied, is golfbelasting maatgevend. De golfbelasting is het hoogst in de openingen in de breukstenen dam. Daarom is de principedoorsnede zoals weergegeven in Figuur 4 aangehouden als maatgevende doorsnede. In de berekeningen is gebruikgemaakt van de volgende niveaus:

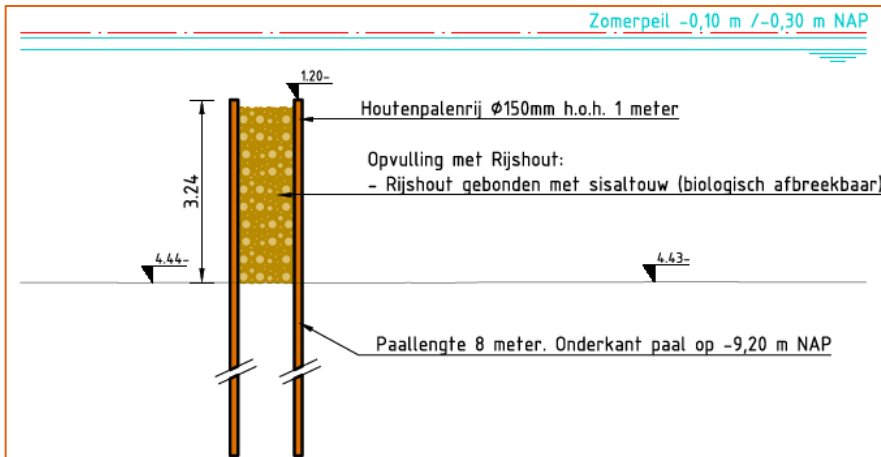
- Bodemligging: NAP -4,50 m;
- Bovenkant palen: NAP -1,20 m;
- Bovenkant rijshout tussen de palen: NAP -1,30 m.



Figuur 2: Overzicht situatie [13]



Figuur 3: Principedoorsnede rijshouten dam rondom foerageergebied [13]



Figuur 4: Principeddoorsnede rijshouten dam bij opening breukstenen dam [13]

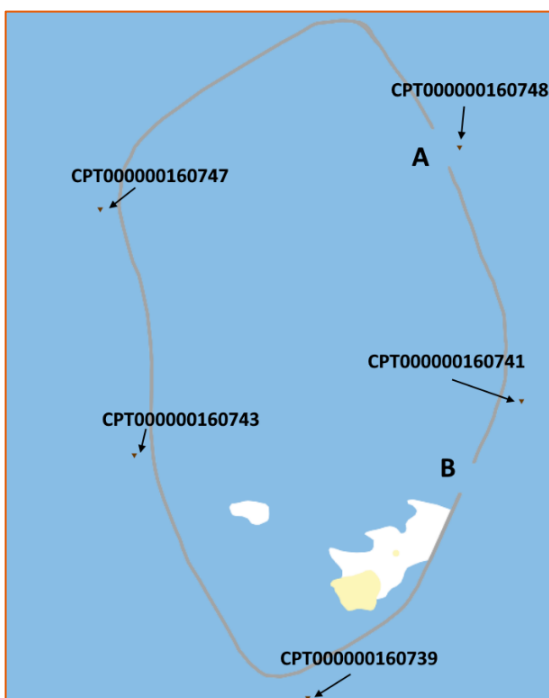
2.2 Berekeningsmethodiek

De berekening voor de diepte van de palen is uitgevoerd met D-Sheet Piling versie 22.2.2 en het c, phi, delta model.

De partiële factoren op de grondparameters zijn aangehouden conform RC0 uit de NEN9997-1:2016 [11]. De geometrische toeslagen op het freatisch niveau zijn op 0,0 m gezet. De reden dat hier afgeweken wordt van RC0 volgens NEN9997-1:2017 is dat in de berekening het waterniveau al nabij de bovenkant van de constructie staat. Een hogere waterstand zou over de constructie heengaan en derhalve geen invloed hebben. Daarnaast is de constructie waterdoorlatend dus zijn waterstandverschillen (buiten golven) niet mogelijk.

2.3 Grondopbouw en -parameters

Rondom het projectgebied zijn een vijftal sonderingen beschikbaar in DINOLoket [12]. De locaties van de sonderingen zijn weergegeven in Figuur 5. Een overzicht van de beschikbare sonderingen is gegeven in Bijlage 1.



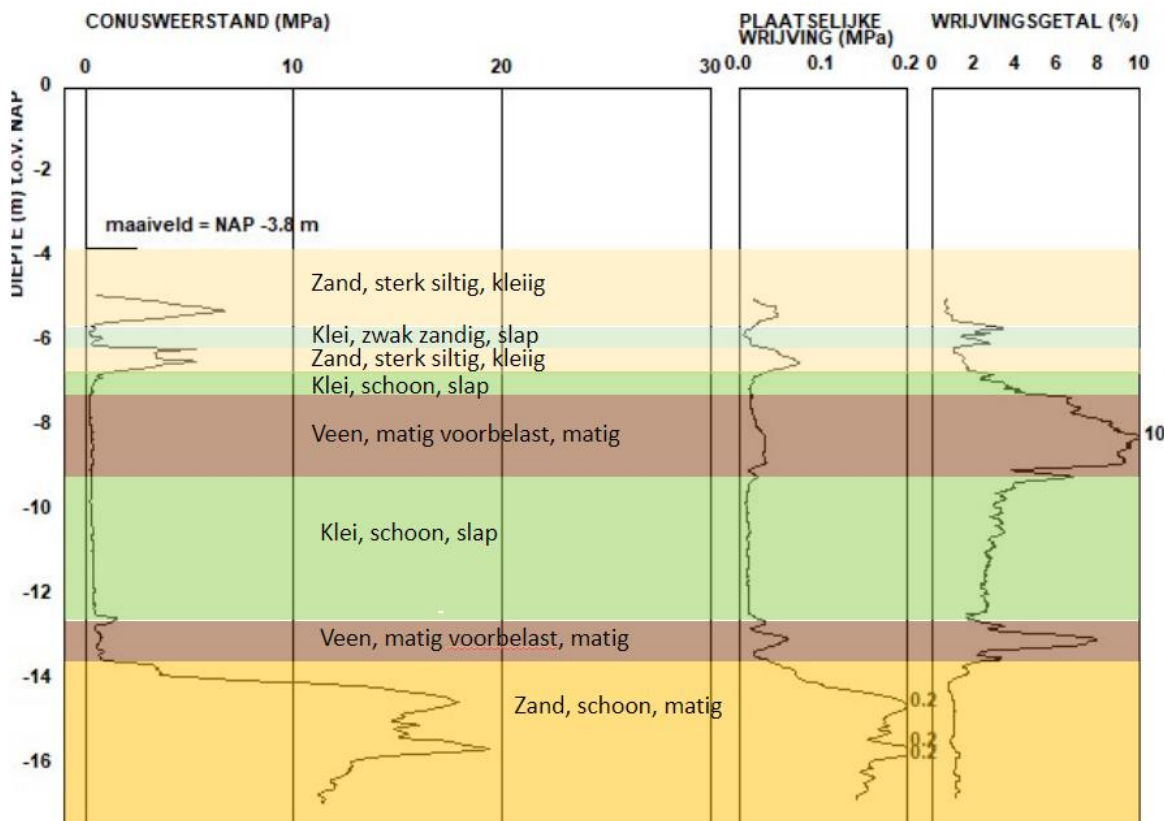
Figuur 5: Locaties sonderingen [12]

In Figuur 5 zijn ook de locaties van openingen A en B weergegeven. Van de vijf beschikbare sonderingen vallen sondering CPT000000160748 en CPT000000160741 binnen het domein van de rijshouten dammen bij openingen A en B. Uit een analyse van deze sonderingen blijkt dat CPT000000160741 maatgevend is voor de berekening van de paallengte. Onderstaande Tabel 1 geeft de gehanteerde grondopbouw weer. In Figuur 6 is de grondopbouw schematisch zichtbaar.

Tabel 1: Grondopbouw op basis van CPT000000160741

Laagnummer	Grondsoort	Bovenkant laag [NAP +m]	Onderkant laag [NAP +m]
1	Zand, sterk siltig, kleiig	-4,5 (Bodemniveau)	-5,6
2	Klei, zwak zandig, slap	-5,6	-6,1
3	Zand, sterk siltig, kleiig	-6,1	-6,8
4	Klei, schoon, slap	-6,8	-7,3
5	Veen, matig voorbelast, matig	-7,3	-9,1
6	Klei, schoon, slap	-9,1	-12,6
7	Veen, matig voorbelast, matig	-12,6	-13,6
8	Zand, schoon, matig	-13,6	-17,0*

*Maximaal verkende diepte



Figuur 6: Schematische weergave grondopbouw, sondering CPT000000160741

In Tabel 2 zijn de gehanteerde grondparameters gepresenteerd. Bij gebrek aan labonderzoek zijn de parameters gebaseerd op NEN9997-1 tabel 2b [11] en CUR166 tabel 3.3 [10]. De parameters betreffen de laagkarakteristieke waarden, wat leidt tot een conservatieve aanname.

Tabel 2: Gehanteerde grondparameters

Grondsoort	γ_{dr} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	ϕ [°]	δ [°]	k_1 [kN/m ³]	k_2 [kN/m ³]	k_3 [kN/m ³]
Zand, sterk siltig, kleiig	18,0	20,0	0,0	25,0	16,7	12000	6000	3000
Zand, schoon, matig	18,0	20,0	0,0	32,5	21,7	20000	10000	5000
Klei, zwak zandig, slap	15,0	15,0	1,0	22,5	11,3	2000	800	500
Klei, schoon, slap	14,0	14,0	1,0	17,5	8,8	2000	800	500
Veen, matig voorbelast, matig	12,0	12,0	2,5	15,0	0,0	2000	800	500

2.4 Waterpeil

Sinds 2019 geldt op het markermeer een flexibel peilbesluit [2]. Dat wil zeggen dat niet één zomer- of winterstreefpeil geldt, maar een bandbreedte. De bandbreedte voor het winterpeil is NAP -0,40 tot NAP -0,20 meter. De bandbreedte voor de zomer is NAP -0,30 tot NAP -0,10 meter [3]. Bij een normaal peilverloop is het gemiddelde zomerpeil NAP -0,21 meter en het gemiddelde winterpeil NAP -0,37 meter. In de berekeningen is het gemiddelde zomerpeil van NAP -0,21 meter gehanteerd.

2.5 Golfbelasting

Uit de leidraad kunstwerken [4] blijkt dat indien de golven niet breken de methode van Sainflou toegepast moet worden om de golfbelasting te bepalen. De significante golfhoogte en golfperiode zijn hiervoor bepaald met de methode van Bretschneider.

In Bijlage 2 is de significante golfhoogte bij verschillende windrichtingen bepaald ter plaatse van openingen A en B. Hieruit komt naar voren dat de significante golfhoogte 0,44 m is bij een windsnelheid die eens per tien jaar op kan treden. De significante golfhoogte treedt op bij opening B, bij een windrichting van 135 graden (zuidoost). De bijbehorende golfperiode is 2,46 s.

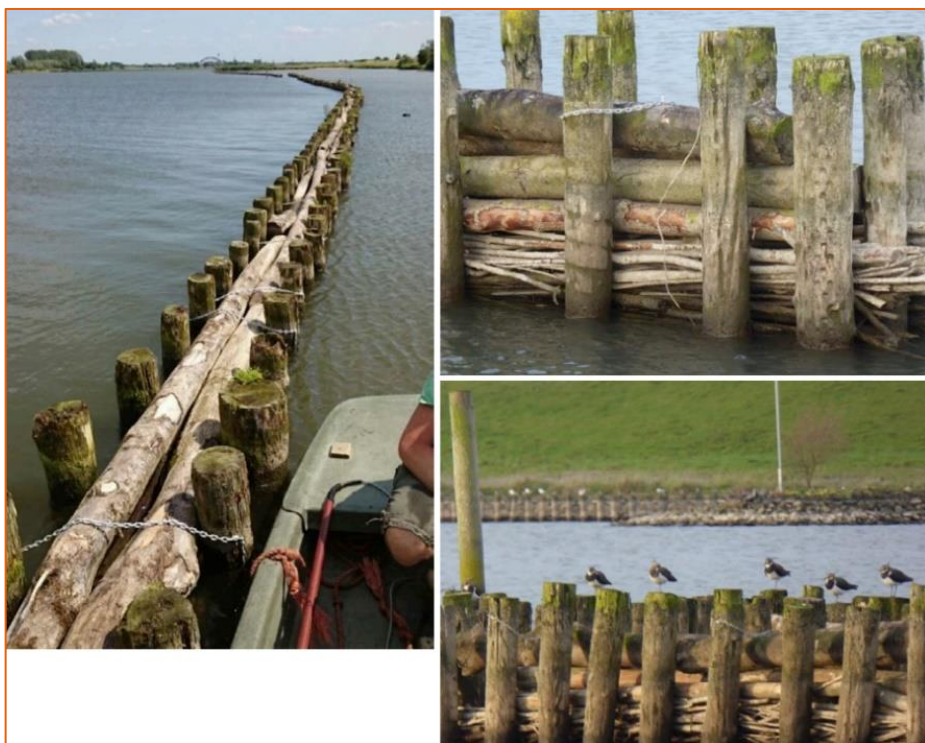
Om de golfbelasting te bepalen met de Sainflou methode is naast de significante golfhoogte de golflengte benodigd. De golflengte is bepaald aan de hand van de onderstaande formule, waarbij h gelijk is aan de waterdiepte vlak voor de constructie:

$$L = \frac{g * T^2}{2\pi} * \tanh\left(\frac{2\pi * h}{L}\right)$$

Als laatste is de reflectiecoëfficiënt nodig welke aangeeft welke fractie van de inkomende golven reflecteert op de constructie. Als conservatief uitgangspunt is deze op 0,8 gezet, waarmee is aangenomen dat het grootste deel van de golfenergie wordt overgedragen aan de rijshouten dam. Dit is een conservatieve aanname, aangezien de dammen grotendeels onder water staan en slechts gedeeltelijk worden belast door golfwerking.

2.6 Uitgangspunten rijshouten dam

De dubbele palenrij met Wiepen bestaat uit twee rijen palen met daartussen bundels wilgentenen (wiepen) en boomstammetjes om de aan te brengen grond te beschermen tegen golfdynamiek. Het rijshout is gebonden met biologisch afbreekbaar sisaltouw. Een voorbeeld van een dubbele palenrij met wiepen en boomstammetjes is weergegeven in Figuur 7 [5].



Figuur 7: Voorbeeld van dubbele palenrij met wiepen en boomstammen [5]

Voor de rijshouten dam zijn de volgende minimale uitgangspunten gehanteerd:

- De benodigde diameter en lengte van de palen wordt in het hoofdstuk “Resultaten” bepaald;
- Het hout is gezaagd;
- De houtklasse die wordt toegepast is C30. Deze houtklasse heeft de volgende eigenschappen volgens het infoblad houteigenschappen [6]:
 - Elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel ($E_{o,u;mean}$): 12000 N/mm²;
 - Buigsterkte evenwijdig aan de vezel ($f_{m,k}$): 30 N/mm².
- De palen hebben een hart-op-hartafstand van 0,50 meter en staan om en om aan de voor- en achterzijde van de kerende constructie. De effectieve hart-op-hartafstand komt daarom neer op 0,25 meter.
- De gehanteerde klimaatklasse is klimaatklasse 3.
 - Klimaatklasse 2, zoals gedefinieerd in [7], is gekenmerkt door een vochtgehalte in de materialen dat overeenkomt met een temperatuur van 20 °C en een relatieve vochtigheid van de omringende lucht die slechts gedurende enkele weken per jaar hoger is dan 85 %.
 - De klimatologische omstandigheden in Nederland voldoen hieraan [9]. Echter, aangezien de houten palen zich in het water bevinden, is klimaatklasse 2 in deze situatie niet toereikend. Daarom is klimaatklasse 3 toegepast.
- De beoogde levensduur van de rijshouten dam is 10 jaar. In deze periode kan zich natuur ontwikkelen op het eiland. De volledig ontwikkelde natuur op het eiland zorgt voor erosiebestendigheid, waardoor de rijshouten dammen na deze periode niet meer nodig zijn.

De paalbeschoeiing is gemodelleerd als een houten wand in D-Sheet Piling. De factoren die zijn toegepast zijn gepresenteerd in Tabel 3. Op de buigsterkte geldt één factor voor de korte- en één factor voor de lange termijn. Omdat de optredende golfbelastingen slechts kortdurend zijn, is de belastingsduurklasse ‘zeer kort’ aangehouden voor de korte termijn en ‘kort’ voor de lange termijn. Dit komt overeen met een belastingsduur van minder dan één week.

Tabel 3: Factoren houten damwand D-Sheet Piling

Factor	Symbol	Waarde	Bron	Notities
Modificatiefactor	$k_{mod,f;short}$	0,90	Tabel 3.1 uit NEN1995-1-1 [7]	Klimaatklasse 3 volgens [7], belastingsduurklasse 'Zeer kort' volgens [8].
Modificatiefactor	$k_{mod,f;long}$	0,70	Tabel 3.1 uit NEN1995-1-1 [7]	Klimaatklasse 3 volgens [7], belastingsduurklasse 'Kort' volgens [8].
Modificatiefactor	$k_{mod,E}$	0,80	D-Sheet Piling handleiding [8]	Deze factor staat niet in NEN1995-1-1 en moet volgens [8] gelijk zijn aan 0,80.
Systeefactor	k_{sys}	1,00	D-Sheet Piling handleiding [8]	De sterkte is vermenigvuldigd met deze factor. De default waarde is 1,15 voor hardhout [8]. Omdat het hier geen hardhout betreft is conservatief een waarde van 1,0 aangehouden.
Deformatiefactor	k_{def}	2,00	Tabel 3.2 uit NEN1995-1-1 [7]	Klimaatklasse 3 volgens [7].
Kruipfactor	$\psi_{2,eff}$	1,00	D-Sheet Piling handleiding [8]	Een waarde van 1,0 is aan de conservatieve kant.
Materiaalfactor	γ_M	1,30	Tabel 3.2 uit NEN1995-1-1 [7]	Materiaal is gezaagd hout.

Er zijn geen eisen gesteld aan de vervorming van de paalbeschoeiing.

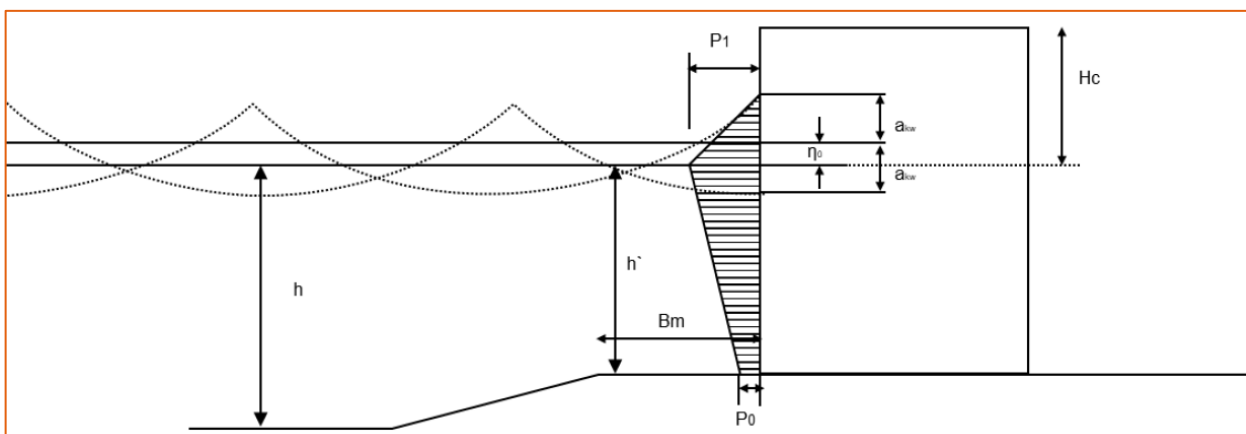
2.7 Overige uitgangspunten

Gezien ter plaatse van de palenrij geen extra grond wordt aangebracht is er geen belastingtoename en zullen er geen zettingen optreden.

3 Berekening

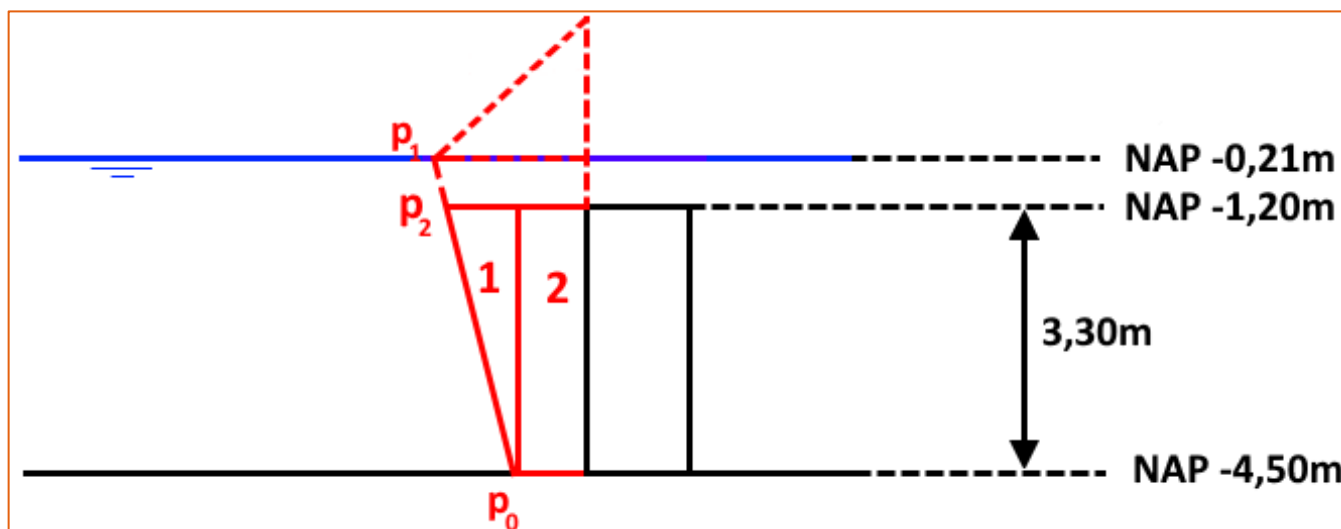
3.1 Optredende golfbelasting

De golfbelasting is bepaald met de Sainflou methode. Een overzicht van deze methode is weergegeven in de onderstaande figuur [4].



Figuur 8: Berekeningsmethode Sainflou methode [4]

Zoals te zien is in de bovenstaande figuur berekent de Sainflou methode twee drukken, p_0 en p_1 . Aan de hand van de hoogte waarover deze druk acteert kan de druk omgerekend worden tot een kracht. Hierbij dient opgemerkt te worden dat in dit geval de palen zich onder water bevinden, waardoor de golven aan het wateroppervlak over de dam heen 'lopen' en het bovenste gedeelte van de golfdrukken geen effect heeft op de dam. Daarom is hiernaast een p_2 bepaald die gelijk is aan de druk op het niveau van NAP -1,20 m (bovenkant van de palen). Met de introductie van p_2 kan de volledige golfbelasting worden uitgedrukt in 2 delen, één rechthoek en één driehoek. Zie onderstaande figuur voor verduidelijking.



Figuur 9: Opdeling krachten golfbelasting

In de onderstaande tabel zijn de berekende krachten weergegeven. Alle krachten zijn weergegeven in kN per strekkende meter dam.

Tabel 4: Overzicht golfbelastingen

Gebied	Kracht (kN per strekkende meter dam)
1	4,83
2	1,44
Totaal	6,28

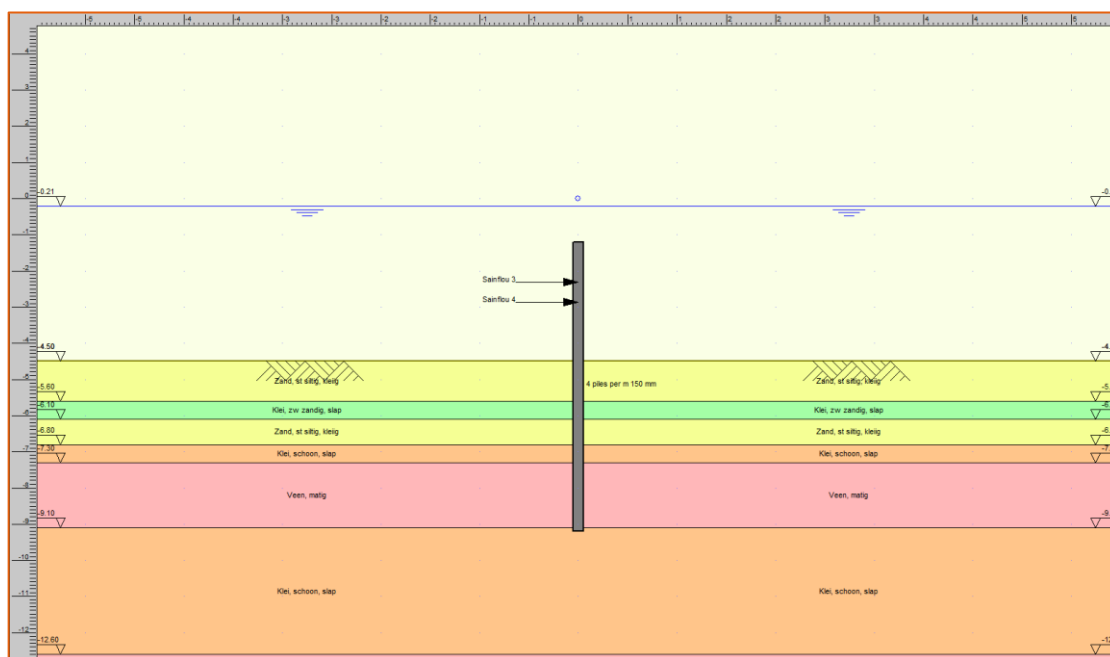
3.2 Berekening paallengte

De benodigde paallengte is met behulp van D-Sheet Piling bepaald. Een overzicht van de berekening in D-Sheet Piling is hieronder weergegeven.

Tabel 5: Overzicht D-Sheet Piling berekening

Uitgangspunten	Waarde	Eenheid
Risicoklasse	RC0 (zonder verandering in freatisch niveau)	-
Type constructie	Dubbele palenrij met wiepen en boomstammetjes	-
Type paal	Hout ø150 mm	-
Houtklasse	C30	-

Uitgangspunten	Waarde	Eenheid
$f_{m;0;rep}$	30	N/mm ²
$E_{o;u;rep}$	12000	N/mm ²
Maximaal toelaatbaar moment lange termijn $M_{r;d;lang}$	5,78	kNm per paal
Maximaal toelaatbaar moment lange termijn $M_{r;d;lang}$	23,1	kNm/m ¹ (kNm per strekkende meter dam)
Hart-op-hartafstand	0,25	m
Niveau bovenkant paal	-1,20	NAP +m
Niveau onderkant paal	-9,20	NAP +m
Niveau bodem	-4,50	NAP +m
Paallengte	8,00	m



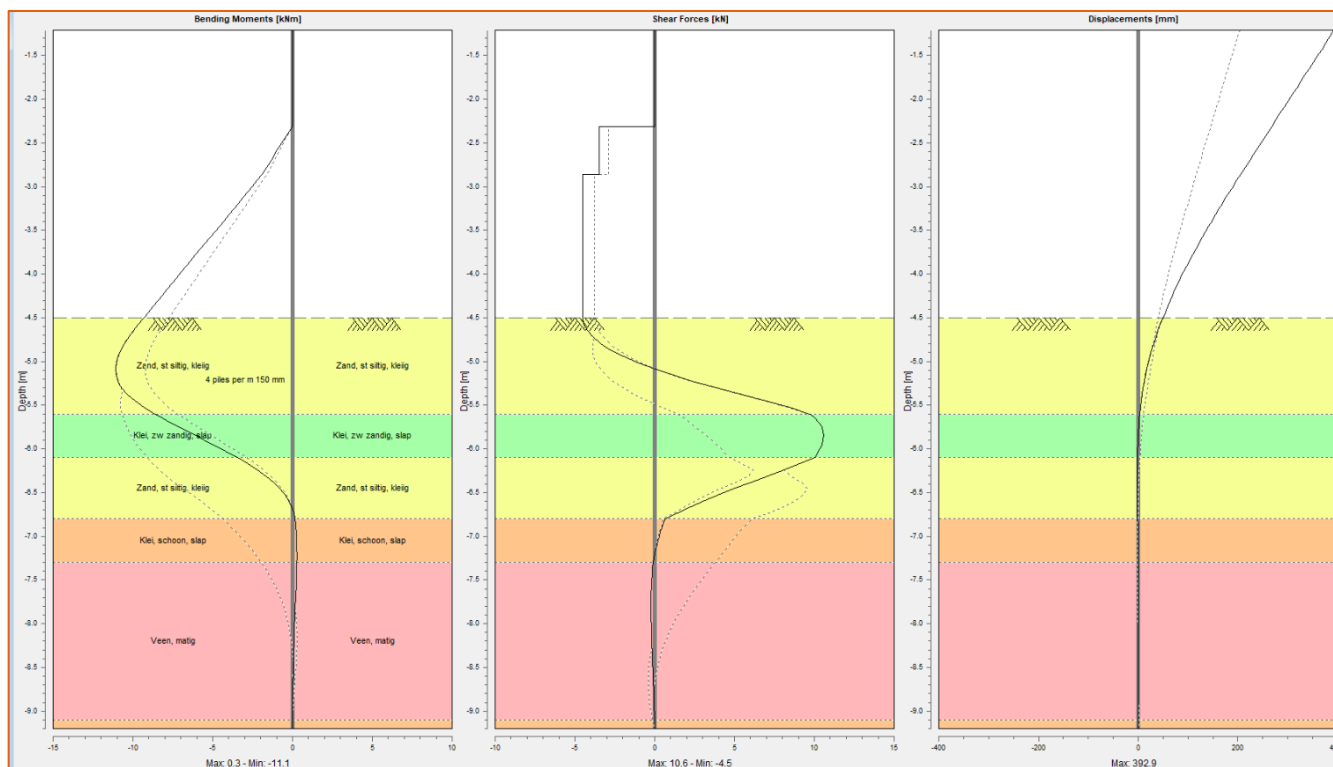
Figuur 10: Overzicht D-Sheet Piling berekening

4 Resultaten

Met de input zoals hierboven weergegeven is een berekening volgens Eurocode 7 uitgevoerd. De resultaten die hieruit naar voren komen zijn weergegeven in onderstaande Tabel 6 en Figuur 11.

Tabel 6: Resultaten D-Sheet Piling

Resultaten	Waarde	Eenheid
Moment	11,1	kNm
U.C. moment	0,48	-
Dwarskracht	10,6	kN
Horizontale verplaatsing	0,393	m



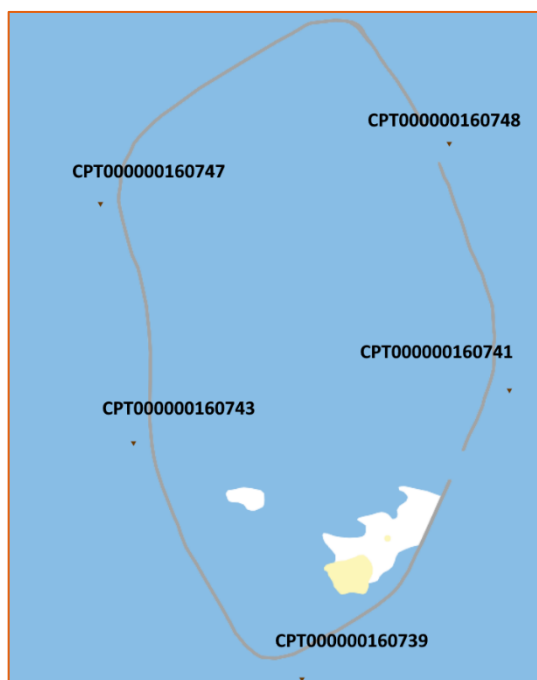
Figuur 11: Resultaten momenten/dwarskrachten/vervormingen D-Sheet Piling

5 Conclusie

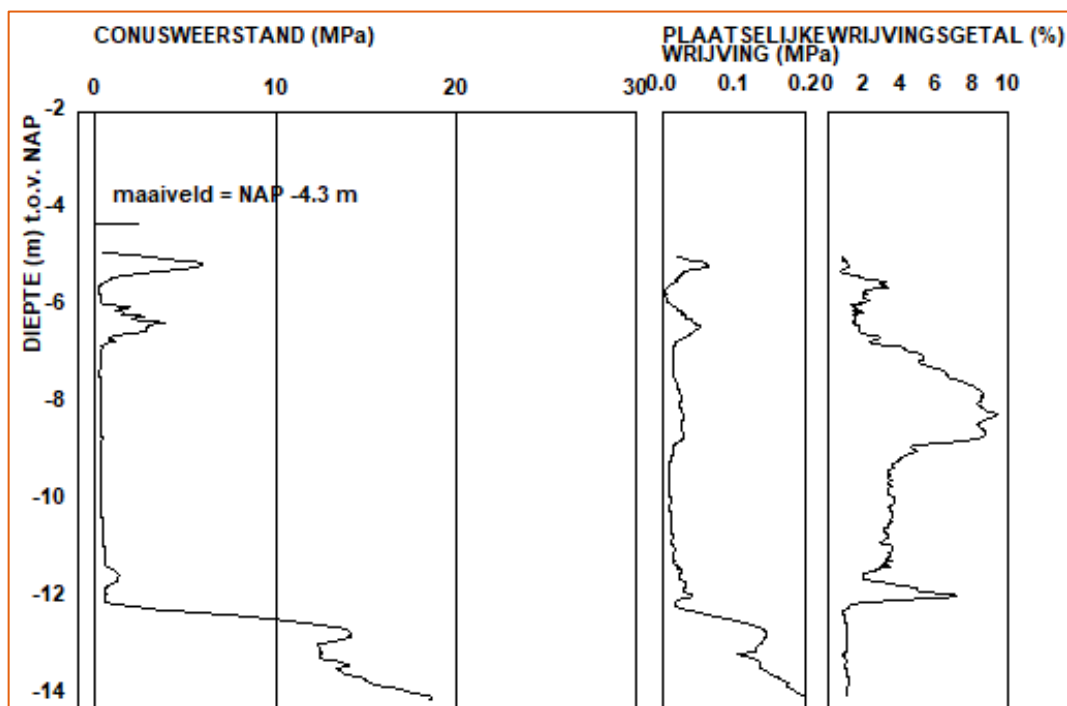
Voor de rijshouten dammen bestaande uit een dubbele palenrij met wiepen en boomstammetjes zijn conform de in hoofdstuk 2 en 3 vermelde uitgangspunten sterkteberekeningen uitgevoerd. Zoals is waar te nemen in hoofdstuk 4 voldoet de palenrij op momentcapaciteit, met een u.c.-waarde van 0,48. De berekende verplaatsing is 0,39 m bij de bovenkant van de paal. Dit is een vrij hoge waarde, maar valt binnen de verwachtingen voor de optredende belastingen, in combinatie met de relatief grote waterdiepte. De verplaatsingen nabij bodemniveau zijn ca. 0,05 m en hebben daarmee weinig tot geen invloed op de beoogde functie van de rijshouten dam.

Hierbij dient vermeld te worden dat de rijshouten dam in D-Sheet Piling is gemodelleerd als een (enkele) houten wand, waarbij geen rekening is gehouden met de breedte van de rijshouten dam (dubbele palenrij). Hierdoor zullen de verplaatsingen in de realiteit lager zijn dan de berekende verplaatsingen. Er zijn geen eisen gesteld aan de vervorming van de paalbeschoeiing. Indien een lagere vervorming gewenst is dienen langere palen toegepast te worden. Hierbij dient echter vermeld te worden dat houten palen met een diameter van 150 mm en een lengte van meer dan de hier toegepaste 8 meter moeilijker verkrijgbaar zijn.

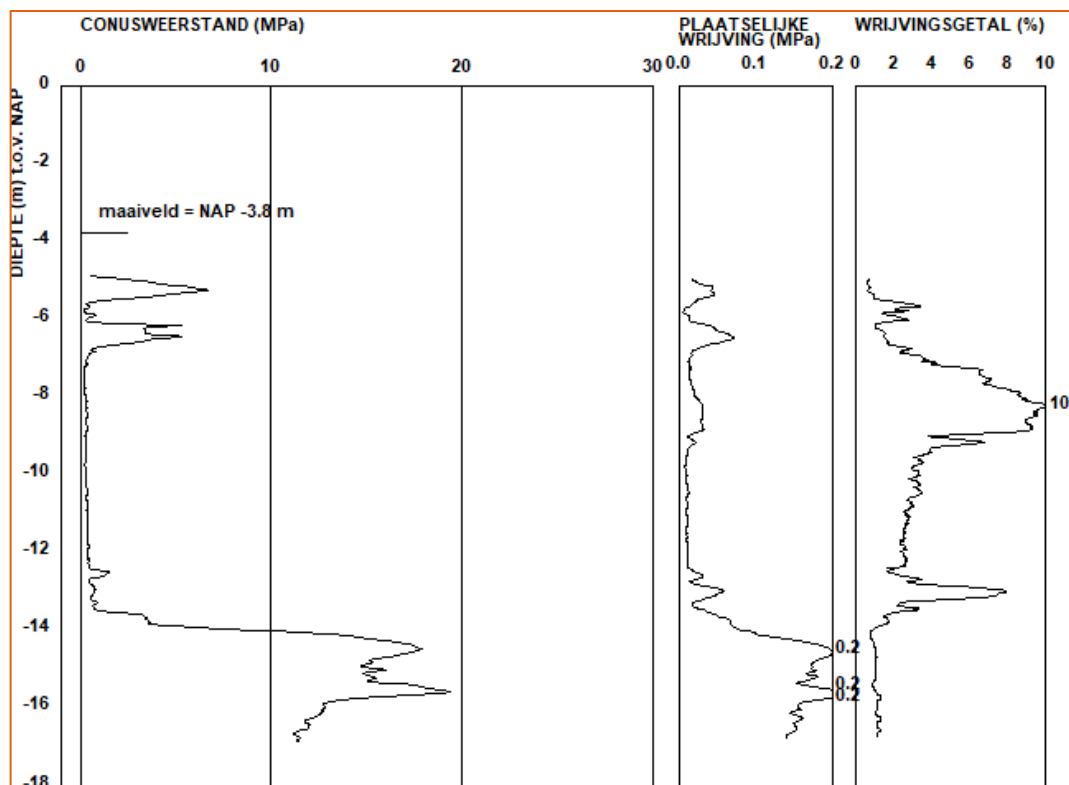
Bijlage 1 Grondonderzoek



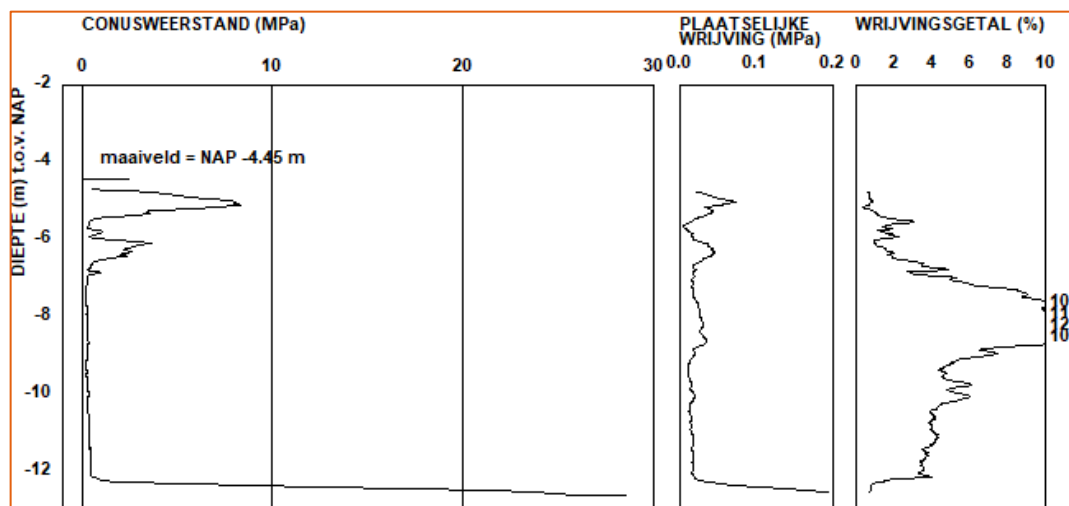
Figuur 12: Locaties sonderingen [12]



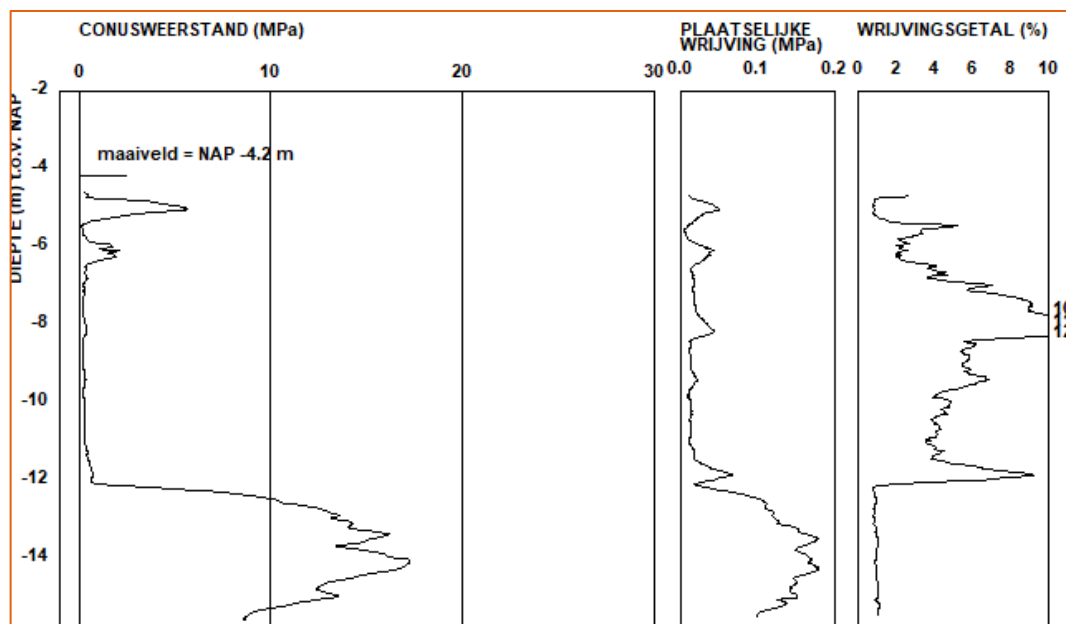
Figuur 13: CPT000000160739



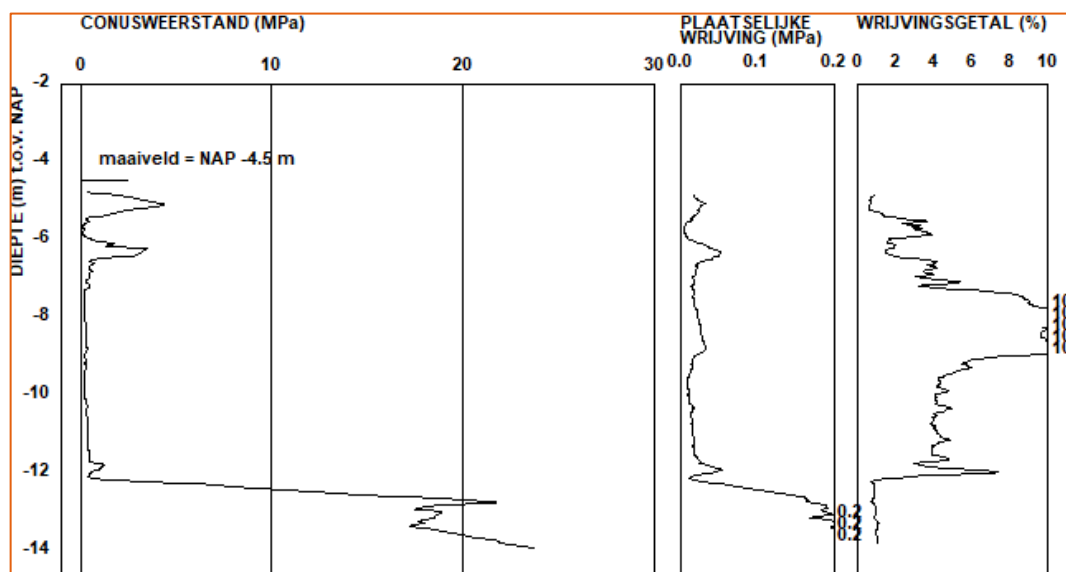
Figuur 14: CPT000000160741



Figuur 15: CPT000000160743



Figuur 16: CPT000000160747



Figuur 17: CPT000000160748

Bijlage 2 Maatgevende golfhoogte

Losse bijlage

Bijlage 3 Berekening D-Sheet Piling

Losse bijlage