

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Mobility & Infrastructure

Aan: John Kuiken (Gemeente Venlo)
Van: Ronald Hergarden
Datum: 13 oktober 2021
Kopie: Jochen Roumen (RHDHV)
Ons kenmerk: BH6804111101MINT008D01
Classificatie: Projectgerelateerd
Goedgekeurd door: Tim Houben (RHDHV)

Onderwerp: Variantenstudie Barge Terminal Venlo irt grondwaterbescherming Venloschol - Caisson

1 Inleiding

Gemeente Venlo is voornemens de bestaande Europe Container Terminal (ECT) richting de westzijde te verlengen. Hiervoor heeft de gemeente de percelen Tjalkkade 23 en 25 verworven. De uitbreiding betekent een circa 164 meter lange nieuwe kadeconstructie in lijn met de bestaande kade. Ook de kraanbaanrails worden in lijn met de bestaande kraanbaanrails verlengd. In de nieuwe situatie hebben de bestaande en een nieuwe portaalkraan een bereik over de volledige kade.

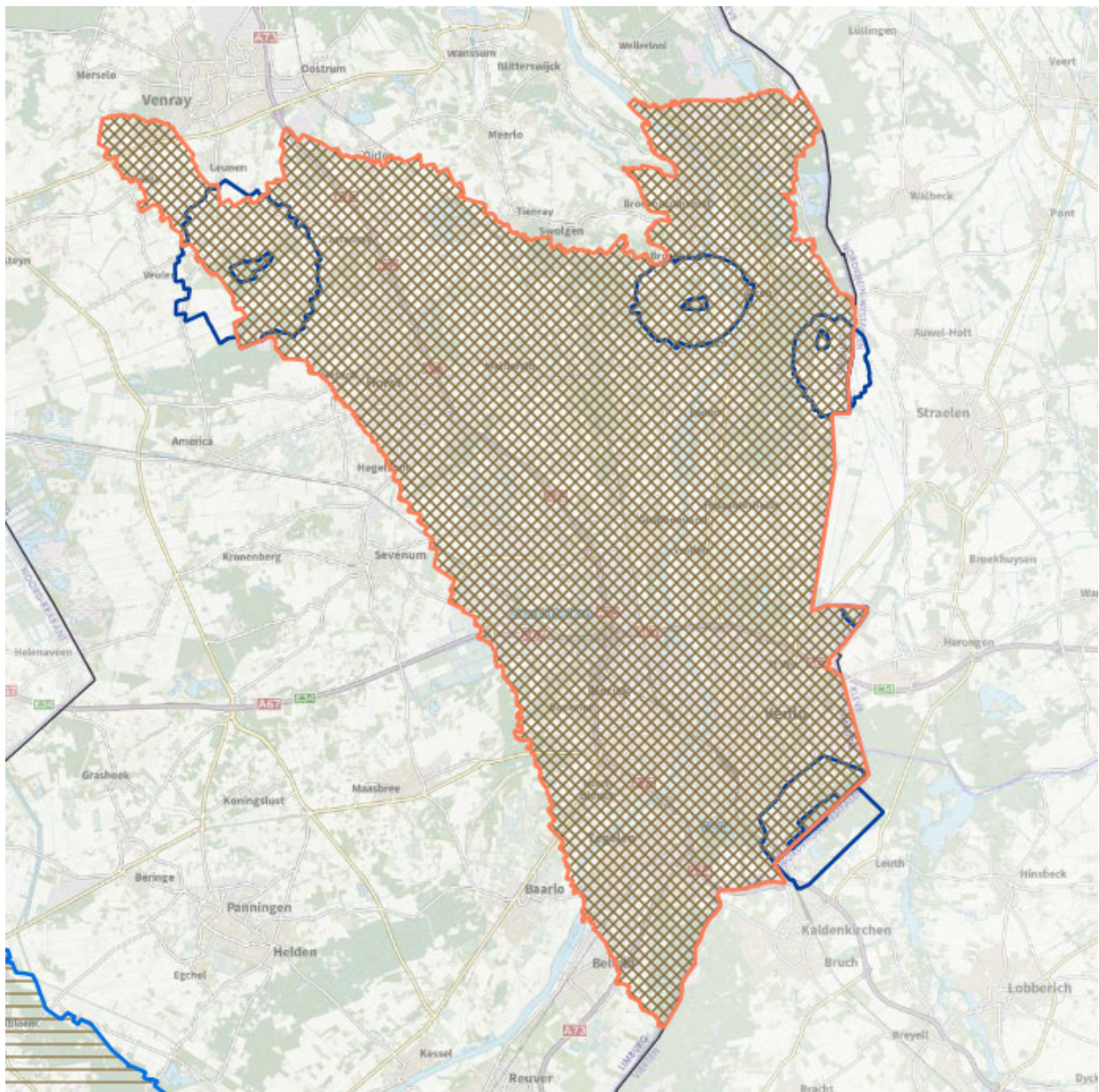
De bestaande kade bestaat uit relatief korte damwandplanken met een dubbele ankerlaag en een betonnen deksloof. De waterbodem is van bestorting (incl. colloïdaal beton) voorzien en werkt eveneens als constructief stempel voor de kade. Achter de kade is een kraanbaan (portaalkraan) aanwezig. Op het terrein achter de kade worden (al dan niet tijdelijk) containers op- en overgeslagen.

Voor de locatie van ECT en de uitbreiding daarvan, zie Figuur 1.



Figuur 1 Projectlocatie bestaande kade en nieuwe uitbreiding (bron: Streetsmart Cyclomedia)

De te realiseren uitbreiding van de kade bevindt zich buiten de drinkwaterwingebieden rond Venlo maar binnen het grondwaterbeschermingsgebied (zie Figuur 4) waar de strategische grondwatervoorraad zich bevindt. In de Omgevingsverordening van de Provincie Limburg staat dat alle werkzaamheden die grond roeren beneden NAP + 5m verboden zijn. Dit in verband met het belang van het onderliggende grondwaterpakket in de Venloschol voor de openbare drinkwatervoorziening in Limburg.



Figuur 4 Drinkwaterwingebieden en grondwaterbeschermingsgebied rond Venlo (bron: <https://portal.prvlimburg.nl/>).

Het huidige bestekontwerp, met palen tot NAP -1 m / NAP -2 m, conflicteert met de regelgeving in de Omgevingsverordening Limburg. Gemeente Venlo heeft RHDHV daarom gevraagd om twee alternatieven te onderzoeken, rekening houdend met de Venloschol:

1. Caisson-constructie
 - Constructie volledig boven NAP + 5 m

2. Aangepast ontwerp combiwand/paalfundering
 - Kadeconstructie wel in/door de Venloschol
 - Kraanbaanfundering boven NAP + 5 m

In onderhavige notitie wordt **alternatief 1. Caisson-constructie** behandeld. Hierbij wordt een haalbaarheidsstudie gedaan naar de kadeconstructie, waarbij kadeconstructie en de kraanbanen beide worden gefundeerd boven NAP +5 m.

Het doel van dit schetsontwerp is te onderzoeken in hoeverre het technisch haalbaar is om de kade uit te breiden zonder de grond beneden NAP +5m te roeren. Vervolgens, indien technisch haalbaar gebleken, kan voor deze variant een globale kostenraming worden opgesteld en kan deze variant worden vergeleken met de overige oplossingen (huidig besteksontwerp en variant 2. Aangepast ontwerp combiwand/paalfundering).

Voor het schetsontwerp van deze variant wordt gebruik gemaakt van dezelfde uitgangspunten als voor het huidig besteksontwerp (zie [1] en [2]). Het uitwerkingsniveau zal echter lager zijn dan dat van het besteksontwerp, omdat het schetsontwerp zal worden gebaseerd op vuistregels en globale berekeningen. Het uitwerkingsniveau zal wel dusdanig zijn dat daarmee de technische haalbaarheid kan worden aangetoond en een (globale) kostenraming kan worden opgesteld. Daarnaast zullen ook uitvoerbaarheid en risico's worden beschouwd, zodat die aspecten ook kunnen worden meegewogen in een vergelijking met de overige oplossingen.

Onderstaande documenten zijn bij deze variantenstudie als uitgangspunt gebruikt:

- [1] Notitie "Programma van Eisen voor het ontwerp van de kade constructie Barge Terminal Venlo", RHDHV, kenmerk BH6804TPNT003F06, d.d. 08 april 2021;
- [2] Rapport "Containerkade Venlo – Definitief Ontwerp van de nieuwe kade en vleugelwand", RHDHV, kenmerk BH6804TPRP2105111338 S0/P01.05, d.d. 8 september 2021;
- [3] Notitie "Uitbreiding Barge Terminal Venlo irt grondwaterbescherming Venloschol", RHDHV, kenmerk BH6804109104TPNT007F02, d.d. 28 juli 2021;
- [4] Tekening "Barge Terminal Venlo - Kadeconstructie – Doorsnede profiel en vergrendelpot", RHDHV, proj./tek.nr BH6804-105-100_DO_T013, d.d. 23-07-2021;
- [5] Tekening "Barge Terminal Venlo - Kadeconstructie – Plattegrond deel 1", RHDHV, proj./tek.nr BH6804-105-100_DO_T011, d.d. 23-07-2021;
- [6] Tekening "Barge Terminal Venlo - Kadeconstructie – Plattegrond deel 2", RHDHV, proj./tek.nr BH6804-105-100_DO_T012, d.d. 23-07-2021;
- [7] "Geotechnisch onderzoek Barge Terminal a/d Tjalkkade te Venlo", Geonius, doc.nr. GA201329.R01.V1.0, d.d. 19 januari 2021;

Overige referenties:

- [8] CUR 211 Handboek kademuren (Handbook of quay walls), SBR CUR net, 2^e editie 2013;
- [9] NEN9997-1

2 Alternatieve kadeconstructie – concept caisson

Zoals in de inleiding is beschreven wordt in deze notitie de technische haalbaarheid van een alternatieve kadeconstructie in de vorm van een caisson onderzocht. In dit hoofdstuk wordt een algemene beschrijving gegeven van verschillende typen kadeconstructies en wordt beschreven waarom de conceptuele constructievorm 'caisson' in dit geval als variant in aanmerking komt om verder te onderzoeken.

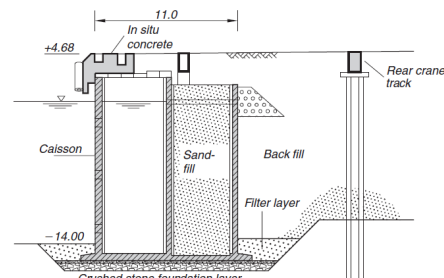
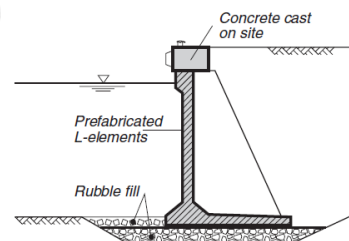
2.1 Type kadeconstructies

Er zijn verschillende conceptuele constructievormen toepasbaar als kadeconstructie. Op hoofdlijnen zijn deze te verdelen in:

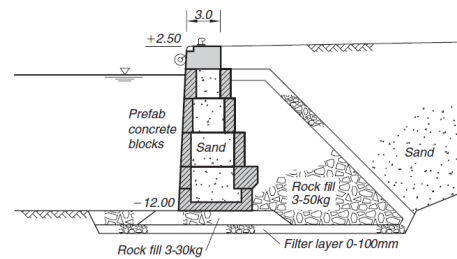
- **Gewichtsconstructies**
De constructie wordt bij gewichtsconstructie uitgevoerd als 'massief blok' of L-wand waarmee het hoogteverschil tussen de kade en de havenbodem wordt overbrugd. (Het 'blok' kan daarbij ook deels cirkelvormig zijn zoals bij een cellenwand of kofferdam.) Hierbij kan nog onderscheid gemaakt worden tussen op staal gefundeerde constructie en op palen gefundeerde constructies. Bij een op staal gefundeerde gewichtsconstructie wordt de horizontale belasting als gevolg van gronddruk achter de kade (en een eventueel waterstandsverschil) opgenomen door wrijving. Bij een op palen gefundeerde constructie vindt deze krachtsoverdracht plaats door een combinatie van druk- en trekkrachten in de palen.

Voorbeelden van gewichtsconstructies zijn:

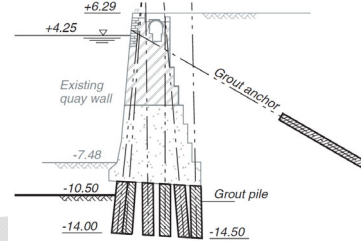
- L-wanden (op staal gefundeerd, zie afbeelding, uit [8])
- L-wanden (op palen gefundeerd)
- Caissons (ingevaren en afgezonken, zie afbeelding, uit [8])
- Caissons (ter plaatse pneumatisch afgezonken)



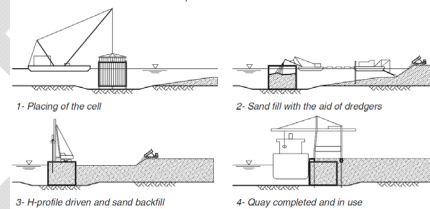
1. Blokkenmuren (zie afbeelding, uit [8])



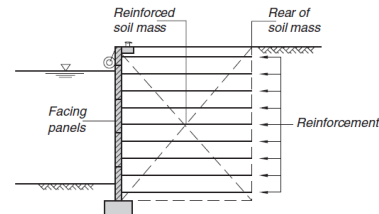
2. Ongewapende betonnen of metselwerk muren (zie afbeelding, na renovatie, uit [8])



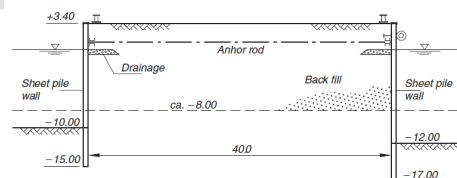
3. Cellenwanden (zie afbeelding, uit [8])



4. Gewapende grond (zie afbeelding, uit [8])



5. Koffer-/kistdammen (zie afbeelding, uit [8])

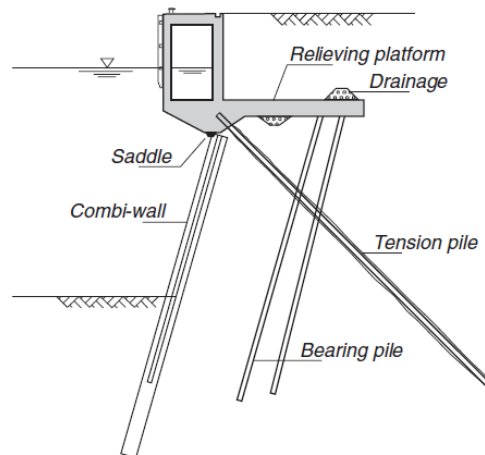


- **Wandconstructies**

Bij wandconstructies wordt het hoogteverschil overbrugd door een wand, die deels ingebed is beneden het bodemniveau van de haven. De belasting door grond- en waterdruk wordt via buiging overgebracht naar de inbedding in de bodem, en vaak ook naar een hoger steunpunt in de vorm van een verankering.

Voorbeelden van wandconstructies zijn:

10. Gewichtconstructie op palen met daaronder een kerende wand (zie afbeelding, uit [8])



2.2 Selectie concept 'caisson'

Uitgaande van de voorwaarde om bij de uitbreiding van de kade de grond beneden NAP +5m niet te roeren is uit de verschillende mogelijk typen kadeconstructies het concept 'caisson' geselecteerd om in deze notitie als mogelijk alternatief te onderzoeken.

Hieronder is kort omschreven waarom het concept 'caisson' in dit geval is geselecteerd, en waarom andere concepten zijn afgefallen.

Gewichtconstructies:

- L-wanden (op staal gefundeerd)

Afgefallen:

Uitvoeringstechnisch niet mogelijk geacht, omdat hiervoor een bouwkuip benodigd zou zijn, waarbij de grond beneden NAP +5 m zal worden geroerd bij het installeren van bouwkuipwanden en bijv. trekelementen voor de vloer van de bouwkuip. Uitvoering binnen een open bouwput met bemaling wordt niet mogelijk geacht i.v.m. opbarsten, ervan uitgaande dat een spanningsbemaling niet toegestaan is.

- L-wanden (op palen gefundeerd)

Afgefallen:

Aangezien de havenbodem op ca. NAP +6,5 m ligt zal een paalfundering onder een L-wand (veel) dieper dan NAP +5 m komen.

- Caissons (ingevaren en afgezonken)

Potentiële oplossing:

Praktijkvoorbeelden (bijvoorbeeld Merwehaven) tonen aan dat een kerende hoogte van ca. 12 m haalbaar is. De benodigde afmetingen en uitvoerbaarheid worden in deze notitie verder onderzocht.

- Caissons (ter plaatse pneumatisch afgezonken)

Potentiële oplossing:

Praktijkvoorbeelden (bijvoorbeeld Merwehaven) tonen aan dat een kerende hoogte van ca. 12 m haalbaar is.

Praktijkvoorbeelden (bijvoorbeeld Zeesluis IJmuiden) tonen aan dat pneumatisch afzinken technisch mogelijk is, ook nabij bestaande kades / op het grensvlak van grond en water. De benodigde afmetingen en uitvoerbaarheid worden in deze notitie verder onderzocht.

11. Blokkenmuren

Afgevallen:

Gezien de kerende hoogte, (terrein-)belasting en bodemopbouw wordt een relatief smalle blokkenmuur niet haalbaar geacht. Waarschijnlijk is voor draagkracht en stabiliteit een bredere constructie noodzakelijk → concept 'caisson'.

12. Ongewapende betonnen of metselwerk muren

Afgevallen:

Gezien de kerende hoogte, (terrein-)belasting en bodemopbouw wordt een relatief smalle ongewapende constructie niet haalbaar geacht.

13. Cellenwanden

Afgevallen:

Gezien de kerende hoogte, (terrein-)belasting en bodemopbouw is waarschijnlijk enige inbedding van de wanden in de bodem noodzakelijk, waarbij de grond beneden NAP +5 m zal worden geroerd. Bovendien is het een cellenwand complex om 'vloeiend' aan te sluiten op de bestaande kade.

- Gewapende grond

Afgevallen:

Uitvoeringstechnisch niet mogelijk geacht, omdat hiervoor een bouwkuip benodigd zou zijn, waarbij de grond beneden NAP +5 m zal worden geroerd bij het installeren van bouwkuipwanden en bijv. trekelementen voor de vloer van de bouwkuip.

Uitvoering binnen een open bouwput met bemaling wordt niet mogelijk geacht i.v.m. opbarsten, ervan uitgaande dat een spanningsbemaling niet toegestaan is.

14. Koffer-/kistdammen

Afgevallen:

Gezien de kerende hoogte, (terrein-)belasting en bodemopbouw is waarschijnlijk enige inbedding van de wanden in de bodem noodzakelijk, waarbij de grond beneden NAP +5 m zal worden geroerd.

Wandconstructies:

15. Damwanden

Afgevallen:

Zie eerdere notities ([1]) en besteksontwerp ([2]) waaruit blijkt dat lange damwanden noodzakelijk zijn tot (ver) beneden NAP +5 m.

16. Combiwanden

Potentiële oplossing:

In een **separate notitie** zal een alternatief worden beschouwd met:

- Kadeconstructie wel in/door de Venloschol
- Kraanbaanfundering boven NAP + 5 m

17. Diepwanden

Afgevallen:

Uit eerdere notities ([1]) en besteksontwerp ([2]) kan worden afgeleid dat ook bij toepassing van diepwanden lange wanden noodzakelijk zijn tot (ver) beneden NAP +5 m.

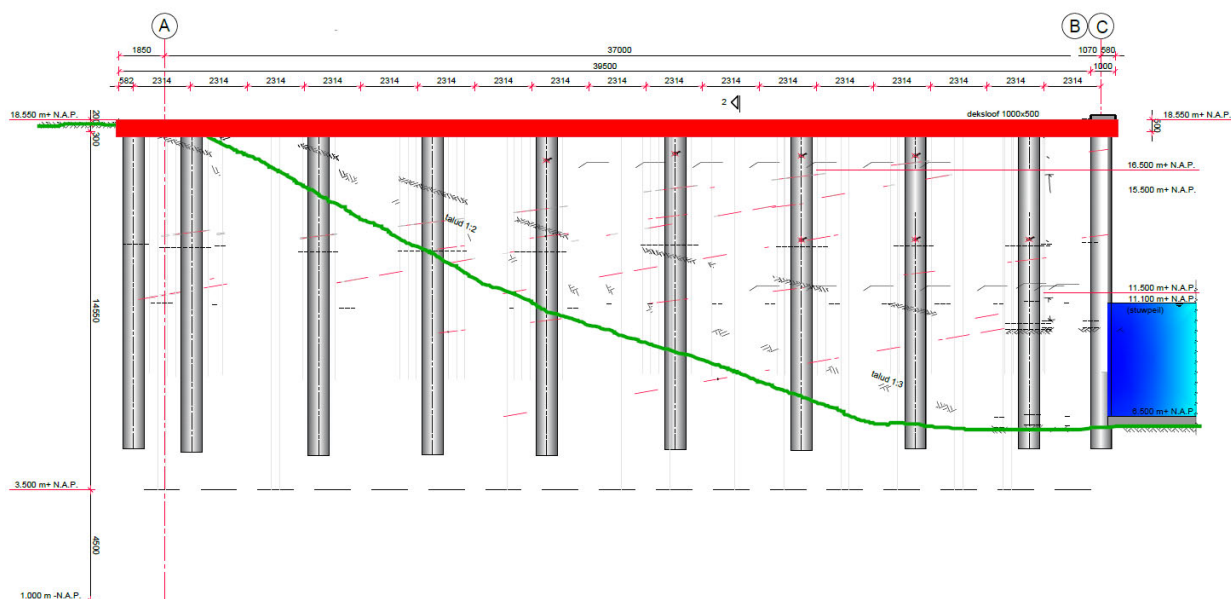
Samengestelde constructies

18. Dek op palen (steiger) met daaronder een talud, evt. deels voorzien van een kerende wand

Afgevallen:

Het uitbreiden van de kade als dek-op-palen lijkt mogelijk met een natuurlijk talud, dus zonder kerende wand. Echter, gezien de hoge belastingen vanuit de kraanbaan en de container op- en overslag wordt verwacht dat de palen onder het dek een benodigd puntniveau zullen hebben tot (ver) beneden NAP +5 m. In onderstaande figuur is een doorsnede geschetst, waarin te zien is dat m.n. de palen aan de voorzijde van de kade bij een puntniveau van ca. NAP +5 m slechts weinig inbedding hebben (en dus weinig schachtwrijving, en weinig draagvermogen). Verder vergt deze oplossing een grondkerende constructie (een soort vleugelwand) tussen de bestaande kade en het nieuw te realiseren dek-op-palen. Deze grondkerende constructie zal tot onder NAP +5 m reiken.

Daarnaast heeft dit type constructie (dek-op-palen) een andere stijfheid dan de bestaande constructie, wat risico's met zich meebrengt bij de overgang van de kraanbaan.



19. Gewichtconstructie op palen met daaronder een kerende wand

Afgevallen:

Dergelijke constructies blijken in praktijk alleen (economisch) haalbaar bij grote kerende hoogtes zoals bij zeehavens. Verder geldt ook hier dat vanwege de hoge verticale belastingen wordt verwacht dat de palen onder de gewichtconstructie een puntniveau zullen hebben (ver) beneden NAP +5 m.

3 Schetsontwerp caisson (doorsnede)

In het vorige hoofdstuk is kort omschreven hoe tot een (voor-)selectie is gekomen van het constructief concept 'caisson' als potentiële oplossing om een uitbreiding van de bestaande kade te realiseren, zonder daarbij de bodem beneden NAP +5 m te roeren. Daarbij is aangegeven dat zowel het invaren en afzinken van (deels) geprefabriceerde caissons als het terplekke bouwen en pneumatisch afzinken van caissons tot de te onderzoeken mogelijkheden behoren. In dit hoofdstuk wordt voor beide varianten van het concept 'caisson' een schetsontwerp beschreven en de technische haalbaarheid op hoofdlijnen gecontroleerd, waarbij ook wordt ingegaan op de bouwbaarheid (bouwfasering) en kritische details.

3.1 Inschatting afmetingen doorsnede caisson

Voor het inschatten van de (buiten-)afmetingen van een caisson als constructief concept voor de uitbreiding van de bestaande kade wordt gebruik gemaakt van vuistregels en praktijkvoorbeelden. In eerste instantie wordt uitgegaan van een verhouding tussen benodigde breedte en kerende hoogte van ca. 0,9 - 1,0 (vanwege kraanlast, excentrisch).

Voor de kerende hoogte wordt uitgegaan van:

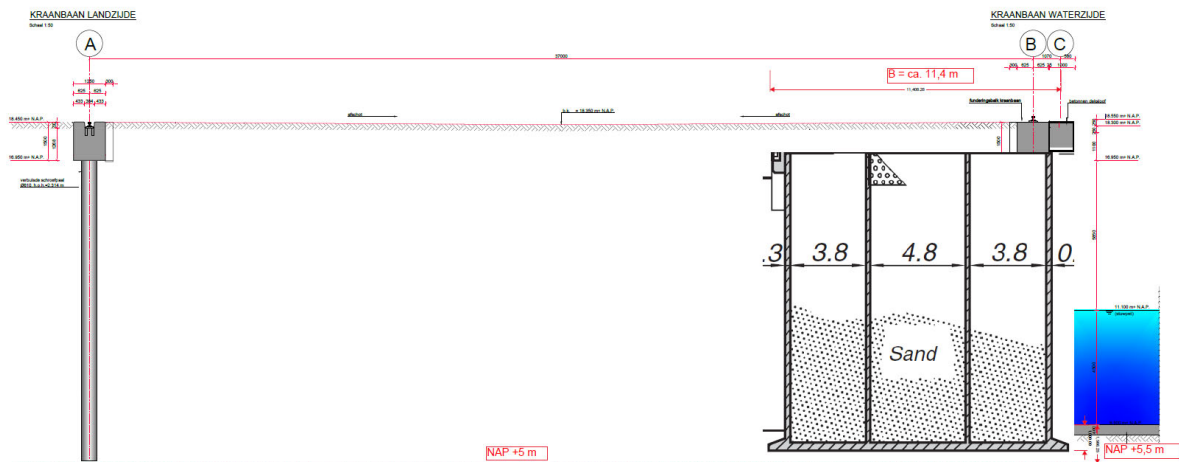
b.k. betonnen deksloof:	NAP +18,55 m
havenbodem:	NAP +6,50 m
o.k. bodembescherming / colloïdaal beton:	NAP +6,1 m
Kerende hoogte:	ca. 12,5 m

Hieruit volgt een benodigde breedte van ca. 11,25 m à 12,5 m.

Voor de realisatie kan, als alternatief voor pneumatisch afzinken, worden uitgegaan van geprefabriceerde caissons die worden ingevaren en afgezonken. Onbekend is in hoeverre een voorbouwlocatie (bouwdok) nabij de projectlocatie beschikbaar is. Vanwege mogelijk transport over water wordt voor het schetsontwerp van de doorsnede van een caisson daarom in eerste instantie uitgegaan van een maximale breedte gelijk aan het maatgevende schip: klasse Va, met een breedte van 11,4 m.

Indien de breedte van een schip klasse Va à 11,4 m wordt aangenomen als maximale breedte van het caisson, dan is de verhouding constructiebreedte / kerende hoogte: $11,4 \text{ m} / 12,5 \text{ m} = 0,9$. Deze verhouding lijkt t.b.v. de stabiliteit van het caisson in eerste instantie realistisch, maar hierop dient nog een controle d.m.v. berekeningen te worden gedaan. Bovendien dient gecontroleerd te worden of de bodem voldoende draagkrachtig is om de drukken onder het caisson bij deze afmetingen op te nemen.

De 'inwendige' afmetingen, waaronder o.a. de indeling in cellen en de wanddiktes wordt verstaan, worden vooralsnog niet bepaald.



Figuur 5 Principeddoorsnede concept 'caisson'

3.2 Globale controle afmetingen doorsnede caisson

Voor de globale controle van de afmetingen van de doorsnede van het caisson wordt uitgegaan van de uitgangspunten zoals beschreven in [1] en [2]. Daarbij wordt een enigszins 'grove' (en deels conservatieve) aanpak gekozen, aangezien het in dit geval geen Definitief Ontwerp betreft maar een controle op hoofdlijnen t.b.v. de haalbaarheid. Hierbij worden de volgende stappen doorlopen:

- Definieren (maatgevende) belastingen en belastingcombinaties
- Controle 'schuiven'
- Controle 'kantelen'
- Controle draagvermogen (geotechnisch)

3.2.1 Belastingen

Eigen gewicht en vulling caisson (permanent)

Voor de permanente belasting uit het eigen gewicht van het caisson (gewapende betonconstructie) en de vulling van de cellen wordt voor deze berekening een 'gemiddeld' gewicht aangenomen. Voor de controle op haalbaarheid wordt deze aanpak voldoende nauwkeurig geacht. Het exacte gewicht en de verdeling daarvan binnen de doorsnede is afhankelijk van de uitvoeringswijze (invaren of pneumatisch afzinken), en van de gekozen cellenindeling, en hierin is nog 'sturing' mogelijk door te variëren met type aanvulmateriaal.

- Volumiek gewicht gewapend beton: $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- Volumiek gewicht vulling caisson: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ (nat/vochtig matig verdicht zand)
- Aantal wanden in doorsnede: 4
- Dikte wanden in doorsnede: ca. 0,5 m

→ 'Gemiddeld volumiek gewicht caisson' $(4 \times 0,5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 + 9,4 \times 20 \text{ kN/m}^3) / 11,4 \text{ m} = 20,9 \text{ kN/m}^3$.

Gronddruk en waterstandsverschil (permanent)

Volgens NEN9997-1 art. 9.5.2 (2) dient bij normaal geconsolideerde grond achter een grondkerende constructie te worden uitgegaan van de neutrale toestand indien de verplaatsing van de constructie minder is dan $5 \times 10^{-4} \times h$. In dit geval geldt $h = \text{ca. } 12,5 \text{ m}$, waaruit een verplaatsing volgt van 6,25 mm.

Aangenomen wordt dat een grotere verplaatsing niet toelaatbaar is, m.n. vanwege het gebruik van de kraanbaan, en dat dus gerekend moet worden met (minimaal) neutrale gronddruk (K_0).

$$K_0 = 1 - \sin(\phi') \times \sqrt{\text{OCR}}$$

In onderstaande tabel (uit [2]) zijn de grondparameters (volumieke gewichten en sterkte) op basis van NEN-EN 9997-1+C2 2017 (tabel 2b) bepaald. De beddingconstanten zijn op basis van de CUR 166 (6e druk, tabel 3.3) bepaald, maar zijn voor deze analyse niet relevant.

Tabel 1: Representatieve grondparameters (uit [2])

Diepte (NAP / m)		Grond- beschrijving	Grondparameters							
Van	Tot		Volumiek gewicht [kN/m³]		Sterkte			Beddingsconstanten [kN/m³]		
			Vochtig	Verzadigd	c' [kPa]	Φ' [°]	δ' [°]	k _{n1}	k _{n2}	k _{n3}
+19,0	+18,5	Toplaag – Zand	17	19	0	27,5	18,3	12000	6000	3000
+18,5	+17,0/+16,0	Zand 1	19	21	0	35	23,3	20000	10000	5000
+17,0/+16,0	+14,5/+13,5	Zand 2	18	20	0	27,5	18,3	15000	7500	3750
+14,5/+13,5	+11/+10	Zand 3	19	21	0	32,5	21,7	20000	10000	5000
+11/+10	+3/+2,5	Zand 4	20	22	0	35	23,3	40000	20000	10000
+3/+2,5	+2,5/+2,0	Leem 1	21	22	2,5	30	20,0	8000	4000	2000
+2,5/+2,0	+1,5/+1,0	Zand 5	19	20	0	30	20,0	20000	10000	5000
+1,5/+1,0	+0,5	Leem 2	21	22	2,5	30	20,0	8000	4000	2000
+0,5	-0,5/-1,0	Zand 6	19	20	0	30	20,0	20000	10000	5000
-0,5/-1,0	-2,0	Leem3	21	22	2,5	30	20,0	8000	4000	2000
-2,0	Verk.diepte (ca. -8,0)	Zand 7	20	22	0	35	23,3	40000	20000	10000

Met hierin:

γ_d:vochtig / verzadigd:

c':

φ':

δ':

k_{h,1}:

Bij alle grondlagen is een OCR-waarde van 1,0 gehanteerd.

Droog en nat volumieke gewicht (in kN/m³);

Effectieve cohesie (in kPa);

Effectieve hoek van inwendige wrijving (in graden);

Wandwrijvingshoek (in graden);

Horizontale beddingconstanten (kN/m³) – conform CUR166 – tabel 3.3)

Voor de controle op stabiliteit wordt bovenstaande bodemopbouw vereenvoudigd, waarbij wordt uitgegaan van het 'gewogen gemiddelde' van de lagen Zand 1 t/m Zand 4:

γ_d:vochtig / verzadigd:

c':

φ':

δ':

19 / 21 (in kN/m³);

0 (in kPa);

32,5 (in graden)*;

21,7 (in graden)**;

*) Hieruit volgt: $K_0 = 1 - \sin(\phi') \times \sqrt{\text{OCR}} = 1 - \sin(32,5) = 0,46$; te rekenen met $K_0 = 0,50$

**) Volgens NEN9997-1 6.5.3 (10) mag de rekenwaarde van de wrijvingshoek δ_d voor gladde prefab funderingen gelijk genomen worden aan $2/3\phi'_d$. De wandwrijvingshoek zoals bepaald in [2] wordt daarom ook aangenomen voor de controle op 'schuiven' in deze notitie. Hierbij wordt uitgegaan van 'Zand 4' ter hoogte van het aanlegniveau (onderkant caisson op NAP +5,5 m) met $\delta' = 23,3^\circ$.

De waterstanden zijn gebaseerd op de bekende waarden uit de periode van 2001 tot en met 2015 volgens Rijkswaterstaat (bron: https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_164021_31/).

- Laagste waterstand Maas = NAP+10,8 m;
- Gemiddelde waterstand Maas = NAP+11,5 m;
- Hoogste waterstand Maas = NAP+17,8 m.
- Maximaal waterstandsverschil tussen Maas en kade = 1 m*.

* waterstandsverschil is niet bekend. 1 m is een aanname, gebaseerd op het huidige stuwregime op de Maas. Uit nader onderzoek kan blijken dat een lagere of beperkt hogere waarde in deze situatie aangehouden moet worden. Dit waterstandsverschil komt niet in de plaats van het in de normen en richtlijnen voorgeschreven waterstandsverschil (0,20 m) waardoor in werkelijkheid rekening wordt gehouden met een waterstandsverschil van 1,20 m.

- Maximaal waterkerende hoogte = NAP+19,2 m.
(Deze maximaal waterkerende hoogte is hoger gedefinieerd dan de kade zelf)

Voor de controle op stabiliteit wordt uitgegaan van twee scenario's:

1. Een hoge grondwaterstand achter het caisson, gelijk aan maaiveld NAP +18,55m en een waterstand voor het caisson op NAP +18,55 - 1,20 m = NAP +17,35 m.
2. Een lage grondwaterstand achter het caisson op NAP +10,8 + 1,20 m = NAP +12,0 m en een waterstand voor het caisson gelijk aan Laagste waterstand Maas NAP +10,8 m.

Uit een berekening van de horizontale gronddrukken (zie Bijlage 1 Berekening horizontale belastingen door grond- en waterdrukken) volgen onderstaande horizontale belastingen op het caisson (o.b.v. representatieve grondparameters, inclusief het effect van terreinbelasting):

Hoge grondwaterstand:

Aandrijvend (vanaf kade-zijde):		
Totale Horizontale Kracht	[kN/m ¹]	1852
Totaal Moment om O.K.	[kNm/m ¹]	9215
Tegengesteld (vanaf maas-zijde):		
Totale Horizontale Kracht	[kN/m ¹]	702
Totaal Moment om O.K.	[kNm/m ¹]	2773
Netto:		
Totale Horizontale Kracht	[kN/m ¹]	1150
Totaal Moment om O.K.	[kNm/m ¹]	6442

Lage grondwaterstand:

Aandrijvend (vanaf kade-zijde):		
Totale Horizontale Kracht	[kN/m ¹]	1468
Totaal Moment om O.K.	[kNm/m ¹]	7268
Tegengesteld (vanaf maas-zijde):		
Totale Horizontale Kracht	[kN/m ¹]	140
Totaal Moment om O.K.	[kNm/m ¹]	248

Netto:

Totale Horizontale Kracht	[kN/m ¹]	1328
Totaal Moment om O.K.	[kNm/m ¹]	7020

Belastingen uit containeropslag

O.b.v. [1] wordt voor de controle op stabiliteit ('schuiven' en 'kantelen') uitgegaan van een gelijkmatig verdeelde belasting op maaiveld van 81,6 kN/m² achter het caisson en 0 kN/m² op het caisson, als maatgevende veranderlijke belasting (ongunstigste situatie voor schuiven) als gevolg van container op- en overslag ("zone B").

De situatie met belasting op het voorstel deel van het caisson ("zone A") vormt theoretisch voor de controle op maximale spanningen bij 'kantelen' een aanvullend in rekening te brengen belasting. Echter, gezien de spreiding die bij deze belasting mogelijk is en de grootte ervan ten opzichte van het effect van de overige belastingen, wordt deze belasting vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

Belastingen uit (voorste) kraanbaan

Belasting voorste kraanbaan:

O.b.v. [1] wordt voor de controle op stabiliteit ('kantelen') uitgegaan van 63,1 kN/m¹ horizontale belasting vanuit de voorste kraanbaan op het caisson en 418 kN/m¹ verticale belasting (zie ook onderstaand fragment uit het PVE). Bij de toetsing op stabiliteit ('schuiven') wordt, als conservatief uitgangspunt, de verticale belasting daarbij niet in rekening gebracht.

- Vaste poot (waterzijde)		
o Verticale hoekdruk statisch	= 6 x 332,5 kN	= 1995 kN
o Verticale hoekdruk statisch	= 1995 kN / 5,5 m	= 363 kN/m
o Verticale hoekdruk dynamisch met wind	= 6 x 374,5 kN	= 2247 kN
o Verticale hoekdruk dynamisch met wind	= 2247 kN / 5,5 m	= 408 kN/m*
o Horizontale belasting evenwijdig aan kraanbaan	= 328 kN x 1,05	= 344 kN **
o Horizontale belasting loodrecht op kraanbaan	= 6 x 57,8 kN	= 347 kN
o Horizontale belasting loodrecht op kraanbaan	= 346,8 kN / 5,5 m	= 63,1 kN/m

Op verzoek van ECT (mail Joris Obdam d.d. 26-03-2021) is het uitgangspunt voor de maximale hoekdruk iets verhoogd naar 2300 kN (i.p.v. 2247 kN). Dit betekent een maatgevende verticale verdeelde belasting van 2300 kN / 5,5 m = 418 kN/m.

Figuur 6 Fragment uit PVE ([1]) – belastingen voorste kraanbaan

N.B. In bovenstaande afleiding van de strekkende-meter-belasting is uitgegaan van een wielgroep met een breedte van 5,5 m. De verdere spreiding van deze belasting binnen het caisson wordt vooralsnog buiten beschouwing gelaten, omdat de afmeting van het caisson in lengterichting nog onbepaald is. Dit vormt een conservatief uitgangspunt.

Bolderkrachten

De troskracht van 250 kN per bolder wordt in deze analyse buiten beschouwing gelaten. Na spreiding zal deze belasting een beperkt effect hebben op de stabiliteit, en wordt het daarom in deze analyse verwaarloosbaar geacht.

3.2.2 Controle 'schuiven'

Horizontale belasting:

- Grond en water (incl terreinbelasting)
Hoge grondwaterstand, Netto:
Totale Horizontale Kracht [kN/m¹] 1150
- Lage grondwaterstand:
Aandrijvend (vanaf kade-zijde), Netto:
Totale Horizontale Kracht [kN/m¹] 1328
→ maatgevend
- Kraanbaan, horizontaal: 63 kN/m¹
- Totaal horizontaal ca. 1400 kN/m¹

Verticale belasting:

- Eigen gewicht caisson incl. vulling:
Gemiddeld volumiek gewicht caisson' = 20,9 kN/m³
Breedte 11,4 m
Hoogte NAP +18,55 m – NAP +5,5 m = 13,05 m
→ EG = 11,4 m x 13,05 m x 20,9 kN/m³ = 3109 kN/m¹
- Kraanbaan, verticaal: 0 kN/m¹
- Totaal verticaal ca. 3100 kN/m¹

Controle schuiven:

- $F_{H,rep} / V_{rep} = 1400 / 3100 = 0,45$
- $\tan \delta_k = \tan (23,3^\circ) = 0,43$
- "Overall" veiligheid = ca. $0,43 / 0,45 = 0,96$ (voldoet niet)

De partiele factor voor gunstig werkende belasting is 0,9 ($V_d = 0,9 \times V_{rep}$).

De partiele factor voor ongunstig werkende permanente belasting is 1,1 (voor EQU)

De partiele factor voor ongunstig werkende veranderlijke belasting is 1,5 (voor EQU), waarbij het aandeel veranderlijke belasting ca. 500 kN/m¹ is op een totaal netto belasting van ca. 1400 kN/m¹.

De partiële factor voor grondparameters γ_M (γ_ϕ) is 1,15 (fundering op staal) à 1,2 (keermuur)

Globaal gezien zou een controle o.b.v. partiële factoren ongeveer uitkomen op:

- $F_{H,d} / V_d = (1,5 \times 500 + 1,1 \times 900) / (0,9 \times 3100) = 0,62$
- $\tan \delta_d = \text{ca. } 0,43 / 1,15 = 0,37$
- U.C. = $0,62 / 0,37 = 1,7 \rightarrow$ de weerstand tegen schuiven is niet voldoende

Conclusie: De weerstand tegen schuiven lijkt op basis van deze globale controle niet voldoende. Een verbreding van het caisson en/of het verzwaren van de vulling van het caisson zouden benodigd zijn om de weerstand te vergroten. Een grondverbetering lijkt hiervoor weinig effect te hebben, aangezien op funderingsniveau al is uitgegaan van 'Zand 4' met $\phi' = 35^\circ$.

Stel $B=20,0\text{ m}$

$$\rightarrow EG = 20\text{ m} \times 13,05\text{ m} \times 20,9\text{ kN/m}^3 = 5455\text{ kN/m}^1$$

Globaal gezien zou een controle o.b.v. partiële factoren ongeveer uitkomen op:

- $F_{H,d} / V_d = (1,5 \cdot 500 + 1,1 \cdot 900) / (0,9 \cdot 5455) = 0,35$
- $\tan \delta_d = \text{ca. } 0,43/1,15 = 0,37$
- $U.C. = 0,35 / 0,37 = 0,96 \rightarrow$ de weerstand tegen schuiven lijkt voldoende bij een breedte van ca. 20 m

Stel $B=15,0\text{ m}$ en onderzijde ruw ($\tan \delta = \tan \phi = \tan 35^\circ = 0,70$)

$$\rightarrow EG = 15\text{ m} \times 13,05\text{ m} \times 20,9\text{ kN/m}^3 = 4100\text{ kN/m}^1$$

Globaal gezien zou een controle o.b.v. partiële factoren ongeveer uitkomen op:

- $F_{H,d} / V_d = (1,5 \cdot 500 + 1,1 \cdot 900) / (0,9 \cdot 4100) = 0,47$
- $\tan \delta_d = \text{ca. } 0,70/1,15 = 0,61$
- $U.C. = 0,47 / 0,61 = 0,77 \rightarrow$ de weerstand tegen schuiven lijkt voldoende bij een breedte van ca. 15 m uitgaande van een 'ruwe' onderzijde

3.2.3 Controle 'kantelen'

Horizontale belasting:

- Grond en water (incl. terreinbelasting)
Hoge grondwaterstand, Netto:

Totale Horizontale Kracht	[kN/m ¹]	1150
Totaal Moment om O.K.	[kNm/m ¹]	6442

Lage grondwaterstand:

- Aandrijvend (vanaf kade-zijde), Netto:

Totale Horizontale Kracht	[kN/m ¹]	1328
Totaal Moment om O.K.	[kNm/m ¹]	7020

$\rightarrow$ maatgevend

- Kraanbaan, horizontaal: 63 kN/m^1
Moment om O.K. = $63\text{ kN/m}^1 \times 13\text{ m} = 819\text{ kNm/m}^1$

Verticale belasting:

- Eigen gewicht caisson incl. vulling:
Gemiddeld volumiek gewicht caisson' = $20,9\text{ kN/m}^3$
Breedte 11,4 m
Hoogte NAP +18,55 m – NAP +5,5 m = 13,05 m
 $\rightarrow EG = 11,4\text{ m} \times 13,05\text{ m} \times 20,9\text{ kN/m}^3 = 3109\text{ kN/m}^1$
Moment t.o.v. hart caisson = 0.
- Kraanbaan, verticaal: 418 kN/m^1
Moment t.o.v. hart caisson = ca. $418\text{ kN/m} \times 11,4\text{ m} / 2 = 2383\text{ kNm/m}^1$

Controle kantelen:

- Totaal moment = $7020 + 819 + 2383 = \text{ca. } 10000\text{ kNm/m}^1$
- Totaal verticaal = $3109 + 418 = \text{ca. } 3500\text{ kN/m}^1$
- Excentriciteit: $e = M/V = 10000/3500 = 2,86\text{ m}$

- 'kern' van de doorsnede = $1/6B = 11,4 \text{ m} / 6 = 1,9 \text{ m}$
- De resultante valt buiten de kern van de doorsnede, dit is ongunstig (deel van de vloer 'komt los')
- De maximale spanning is ca. $(3500 \text{ kN/m}^1 / 3 \times 2,86 \text{ m}) \times 2 = 816 \text{ kN/m}^2$

Conclusie: De weerstand tegen kantelen lijkt op basis van deze globale controle niet voldoende. Een verbreding van het caisson en/of het verzwaren van de vulling van het caisson zouden benodigd zijn om de weerstand te vergroten.

Stel B=20,0 m

→ $EG = 20 \text{ m} \times 13,05 \text{ m} \times 20,9 \text{ kN/m}^3 = 5455 \text{ kN/m}^1$

- Totaal moment = $7020 + 819 + 2383 = \text{ca. } 10000 \text{ kNm/m}^1$
- Totaal verticaal = $5445 + 418 = \text{ca. } 5900 \text{ kN/m}^1$
- Excentriciteit: $e = M/V = 10000/5900 = 1,69 \text{ m}$
- 'kern' van de doorsnede = $1/6B = 20 \text{ m} / 6 = 3,33 \text{ m}$
- De resultante valt binnen de kern van de doorsnede
- $\sigma_M = M/W = 10000 \text{ kNm/m}^1 / (1/6 \times (20 \text{ m})^2) = 150 \text{ kN/m}^2$
- $\sigma_N = N/A = 5900 \text{ kN/m}^1 / (20 \text{ m}) = 295 \text{ kN/m}^2$
- De maximale spanning is ca. $= 450 \text{ kN/m}^2$
- *De weerstand tegen kantelen lijkt voldoende bij een breedte van ca. 20 m (de optredende grondspanning moet nog worden getoetst d.m.v. een geotechnische berekening)*

Stel B=15,0 m

→ $EG = 15 \text{ m} \times 13,05 \text{ m} \times 20,9 \text{ kN/m}^3 = 4100 \text{ kN/m}^1$

- Totaal moment = $7020 + 819 + 2383 = \text{ca. } 10000 \text{ kNm/m}^1$
- Totaal verticaal = $4100 + 418 = \text{ca. } 4500 \text{ kN/m}^1$
- Excentriciteit: $e = M/V = 10000/4500 = 2,22 \text{ m}$
- 'kern' van de doorsnede = $1/6B = 15 \text{ m} / 6 = 2,5 \text{ m}$
- De resultante valt binnen de kern van de doorsnede
- $\sigma_M = M/W = 10000 \text{ kNm/m}^1 / (1/6 \times (15 \text{ m})^2) = 267 \text{ kN/m}^2$
- $\sigma_N = N/A = 4500 \text{ kN/m}^1 / (15 \text{ m}) = 300 \text{ kN/m}^2$
- De maximale spanning is ca. $= 567 \text{ kN/m}^2$
- *De weerstand tegen kantelen lijkt voldoende bij een breedte van ca. 15 m (de optredende grondspanning moet nog worden getoetst d.m.v. een geotechnische berekening)*

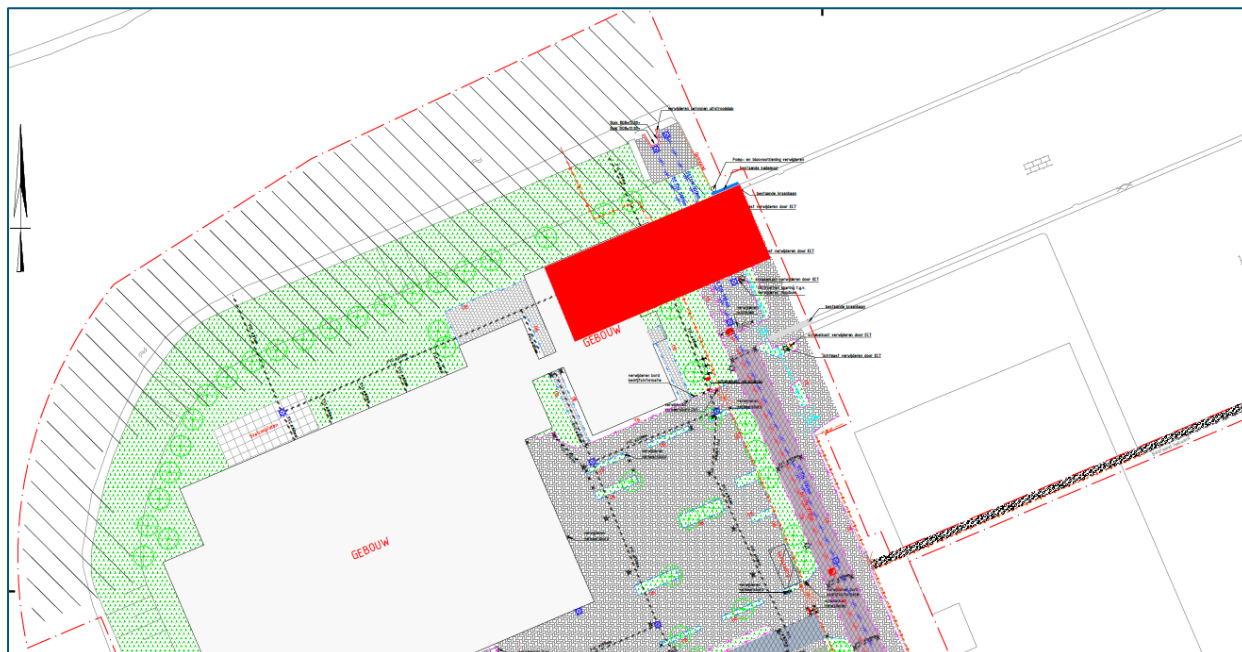
3.2.4 Controle draagvermogen (geotechnisch)

NTB

3.3 Bouwmethode

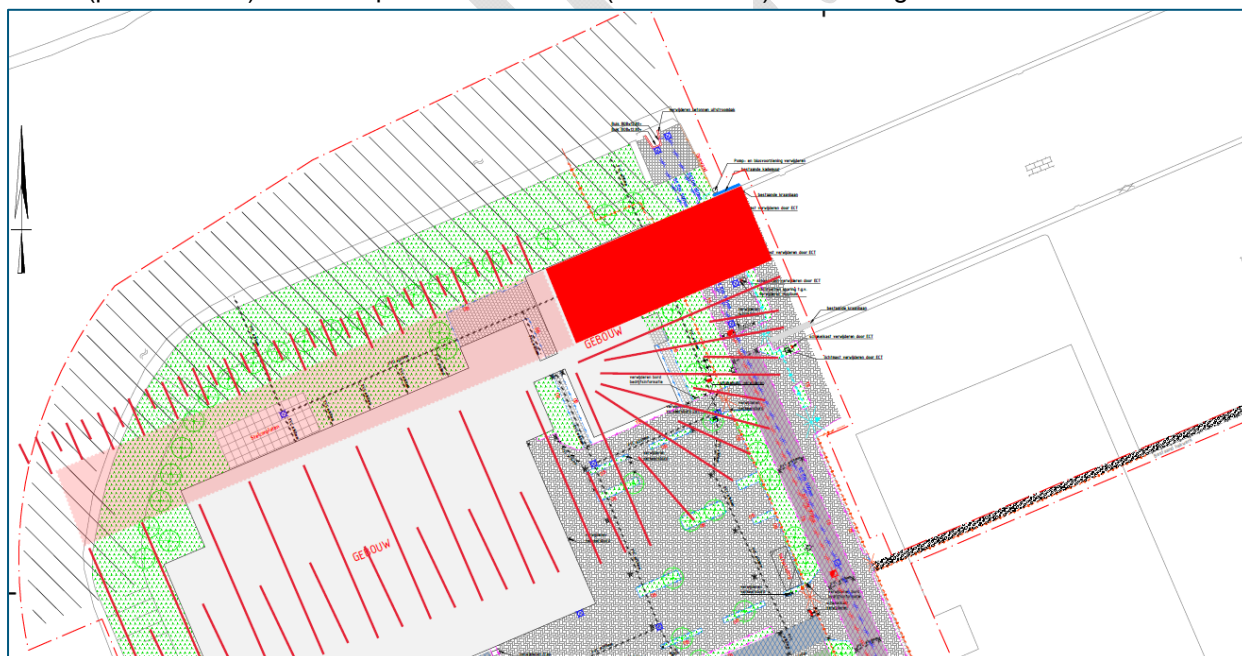
3.3.1 Bouwfasering

Om direct naast de bestaande kade een caisson te kunnen realiseren, zonder dat daarbij een tijdelijke grondkering wordt aangebracht, wordt uitgegaan van het pneumatisch afzinken van één caisson direct ten westen van en aansluitend op de bestaande kade.



Figuur 7 Fase pneumatisch afzinken eerste caisson

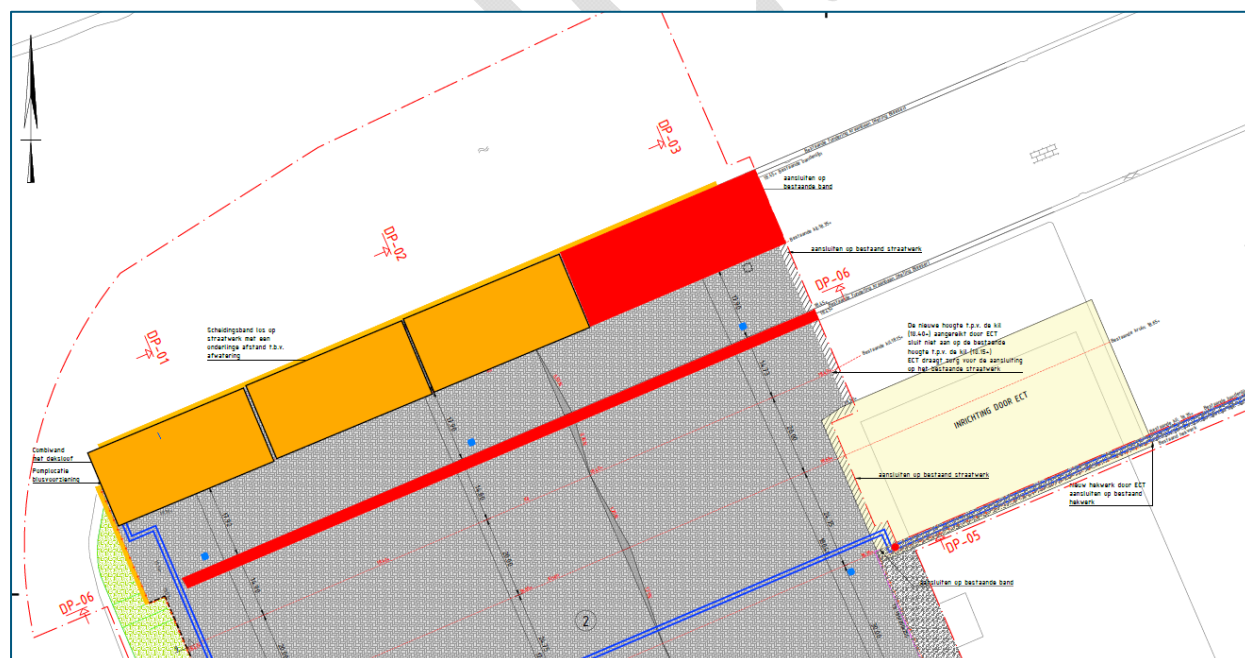
Na het op diepte komen van dit eerste (pneumatisch) caisson kan aan de zuidzijde daarvan onder talud worden ontgraven zodat ten westen van het eerste (pneumatisch) caisson een zinksleuf kan worden gerealiseerd. Uitgaande van een te overbruggen hoogteverschil van ca. 13 m, waarvan ca. 6 m onder de gemiddelde waterstand, volgt een taludlengte van orde 50 m. Dit betekent dat de afmetingen van het eerste (pneumatisch) caisson op ca. $L \times B = 50 \text{ m} \times (15 \text{ m} \text{ à } 20 \text{ m})$ worden ingeschat.



Figuur 8 Fase (nat) ontgraven / zinksleuf

Na gereedkomen van de zinksleuf kunnen hierin een aantal (n.t.b.; bijv. ca. $3 \times 40 \text{ m}$) prefab caissons worden afgezonken. Hierbij zijn optimalisaties mogelijk in de hoogte van het geprefabriceerde deel versus de hoogte van het ter plaatse af te bouwen gedeelte.

Na het afzinken kan achter de kade worden aangevuld. Ten behoeve van het opvangen van toleranties en het garanderen van een goede aansluiting tussen alle caissons en de bestaande kade (inclusief kraanbaan) zal hoe-dan-ook het bovenste gedeelte van de caissons ter plaatse moeten worden uitgevoerd (na het aanvullen). In deze fase kan ook de achterste kraanbaan worden gerealiseerd.



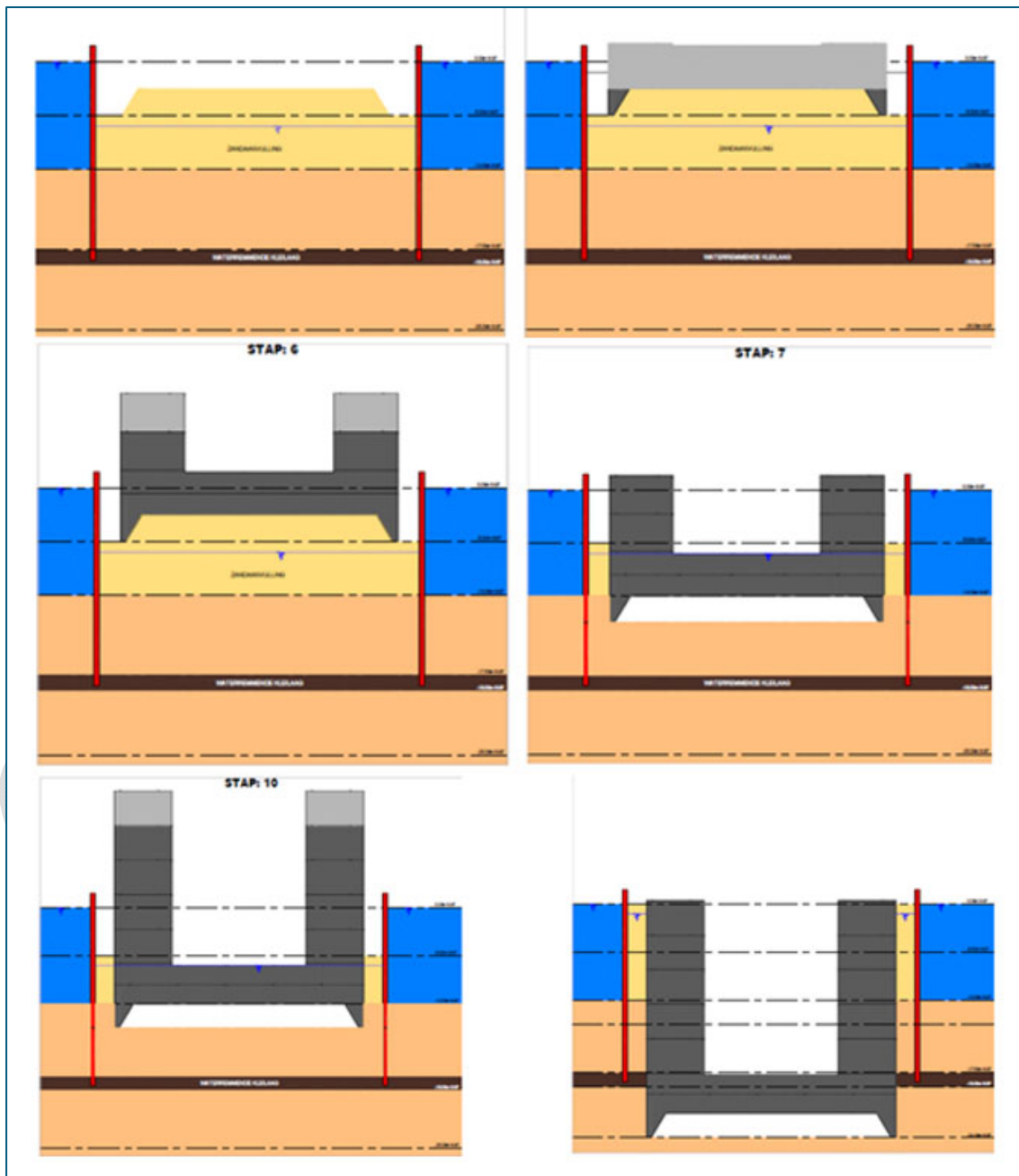
BH6804111101MINT008D01 21/28

3.3.2 Pneumatisch afzinken eerste caisson

Enkele aandachtspunten t.a.v. het pneumatisch afzinken van het eerste caissons:

- Draagvermogen bestaande kade / beschoeiing
N.B. bij het opbouwen van het pneumatisch caisson en eerste afzinkfase treden hoge drukken op onder het caisson. De bestaande kade / beschoeiing dient hiertegen bestand te zijn.

Ter illustratie hieronder een schematische weergave van het pneumatisch afzinken van een caisson naast een damwand



Figuur 11 Stappen tijdens pneumatisch afzinken (schematisch weergegeven voor situatie naast / tussen damwanden)

- Verwijderde / achtergebleven objecten
N.B. Deze objecten en/of verstoringen in de ondergrond kunnen drukverlies veroorzaken ('blow-out')

3.3.3 Transport en afzinken prefab caissons

Prefabricage: N.T.B. (locatie?)

Transport:

Enkele aandachtspunten t.a.v. het transport van prefab caissons:

- diepgang
- breedte
- stabiliteit → in latere fase te controleren, te sturen met indeling van cellen en ballast

Afzinken prefab caissons:

- Ontgraven
- Eventuele grondverbetering (maar niet dieper dan NAP +5 m)
- Afzinken
- Vullen
- Opbouwen vanaf bijvoorbeeld ca. NAP +11,5 m → afweging: half voorbouwen/half afbouwen versus 95% voorbouwen (laatste maakt transport lastig m.b.t. doorvaart en transport stabiliteit?)
- Afwerken vanaf ca. NAP +17,0 m t.b.v. aansluiting kraanbaan en overige details

3.4 Kritische details

NTB

4 Schetsontwerp kraanbaan

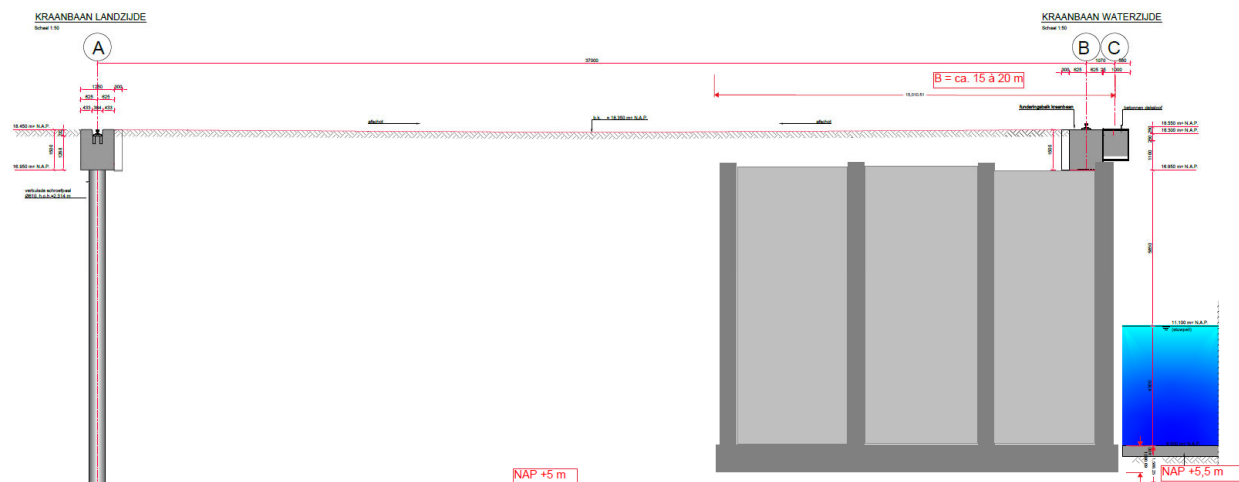
Zelfde principe als variant 2.b.?

CONCEPT

5 Samenvatting en conclusie

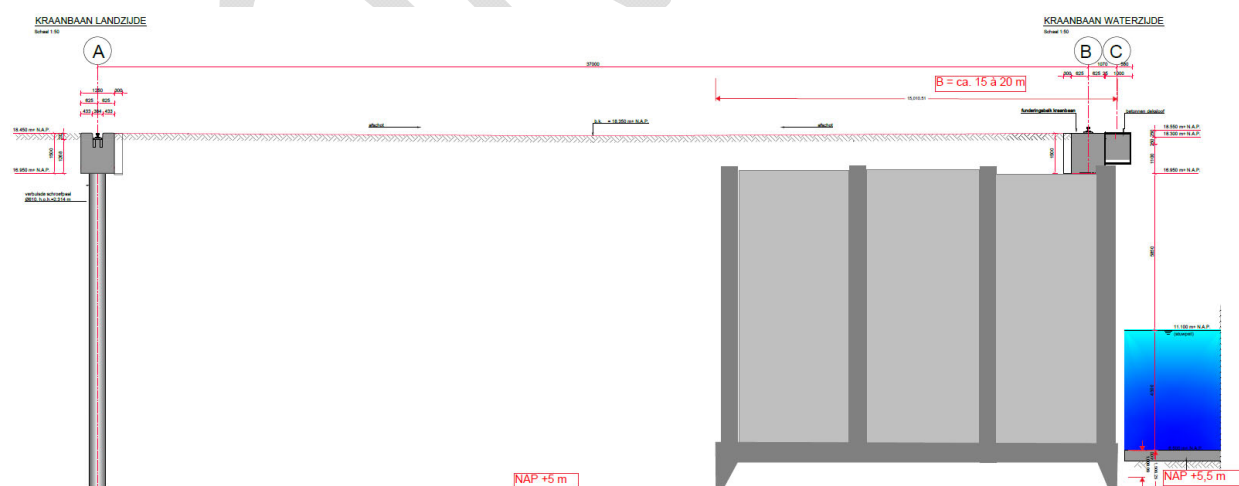
Uit de globale analyse die in deze notitie is uitgevoerd blijkt dat het technisch haalbaar is om de kade uit te breiden zonder de grond beneden NAP +5m te roeren, waarbij een alternatieve kadeconstructie in de vorm van een caisson wordt toegepast.

De benodigde breedte van het caisson zal ca. 15 m à 20 m zijn t.b.v. stabiliteit; de hoogte ca. 13 m uitgaande van een funderingsniveau op ca. NAP +5,5 m.



Figuur 12 Principeddoorsnede concept 'caisson' met een breedte van 15 à 20 m

Om direct naast de bestaande kade een caisson te kunnen realiseren, zonder dat daarbij een tijdelijke grondkering wordt aangebracht, wordt uitgegaan van het pneumatisch afzinken van één caisson direct ten westen van en aansluitend op de bestaande kade. De afmetingen van dit eerste (pneumatisch) caisson worden geschat op ca. $L \times B = 50 \text{ m} \times (15 \text{ m} \text{ à } 20 \text{ m})$



Figuur 13 Principeddoorsnede concept 'pneumatisch caisson' met een breedte van 15 à 20 m

Voor het overige deel van de nieuwe kade kunnen geprefabriceerde caissons worden toegepast die worden geplaatst (afgezonken) in een zinksleuf, na ontgraving rond het pneumatisch afgezonken

caisson. De afmetingen van deze caissons (bijv. 3 stuks) worden geschat op ca. LxB = 40 m x (15 m à 20 m).

Risico's

- Pneumatisch afzinken i.r.t. arbeid (complex, werken onder druk)
- Pneumatisch afzinken i.r.t. (verwijderde) bestaande constructies (kans op 'blow-out')
- Ontgraving onder talud naast bestaande kade (stabiliteit, beïnvloeding ankers en palen)
- Transport prefab elementen (diepgang, breedte, stabiliteit tijdens transport)
- Ongelijke stijfheid (aansluiting / overgang kraanbaan)

Bijlage 1 Berekening horizontale belastingen door grond- en waterdrukken

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Eigenschappen grond:												
2	γ	[kN/m ³]	19.00										
3	γ_{sat}	[kN/m ³]	21.00										
4	γ_{eff}	[kN/m ³]	11.00										
5	K_0	[-]	0.5										
6	Belasting:												
7	Terreinbelasting	[kN/m ²]	81.6										
8													
9	Situatie Hoogwater												
10	Peilen:												
					Kade-zijde					Haven-zijde			
					σ_v [kN/m ²]	p [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	σ'_h [kN/m ²]		σ_v [kN/m ²]	p [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	σ'_h [kN/m ²]
11	Maasveld	[m NAP]	18.55		81.6	0	81.6	40.8					
12	Grondwaterstand	[m NAP]	18.55		81.6	0	81.6	40.8					
13	Maaswaterstand	[m NAP]	17.35		106.8	12	94.8	47.4		0	0	0	0
14	Havenbodem	[m NAP]	6.50		334.65	120.5	214.15	107.075		108.5	108.5	0	0
15	O.K. Caisson	[m NAP]	5.50		355.65	130.5	225.15	112.575		129.5	118.5	11	5.5
16	Grond droog	[m]	0.00										
17	Grond nat	[m]	13.05										
18													
19	Aandrijvend:												
20	Kracht t.g.v. terreinbelasting	[kN/m ¹]	532										
21	Aangrijpingspunt	[m NAP]	12.03										
22	Kracht t.g.v. korrel droog	[kN/m ¹]	0										
23	Aangrijpingspunt	[m NAP]	18.55										
24	Kracht t.g.v. korrel nat (const.)	[kN/m ¹]	0										
25	Aangrijpingspunt	[m NAP]	12.03										
26	Kracht t.g.v. korrel nat (var.)	[kN/m ¹]	468										
27	Aangrijpingspunt	[m NAP]	9.85										
28	Kracht t.g.v. grondwater	[kN/m ¹]	852										
29	Aangrijpingspunt	[m NAP]	9.85										
30	Totale Horizontale Kracht	[kN/m ¹]	1852										
31	Totaal Moment om O.K.	[kNm/m ¹]	9215										
32	Tegengesteld:												
33	Kracht t.g.v. maaswater	[kN/m ¹]	702										
34	Aangrijpingspunt	[m NAP]	9.45										
35	Kracht t.g.v. 'passief	verwaarloosd											
36	Totale Horizontale Kracht	[kN/m ¹]	702										
37	Totaal Moment om O.K.	[kNm/m ¹]	2773										
38	Netto:												
39	Totale Horizontale Kracht	[kN/m ¹]	1150										
40	Totaal Moment om O.K.	[kNm/m ¹]	6442										

