

De Amsterdamse kademuren op de schop

Een onderzoek naar innovatie op het vlak van kademuren



Afstudeeronderzoek

- Versie 1.0
- 6-6-2019

Autorisatieblad

De Amsterdamse kademuren op de schop

Een onderzoek naar innovatie op het vlak van kademuren

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Heming S (Sten)		6-6-2019
Autorisatie bedrijfsbegeleider	Dekker A.J. (Bert)		6-6-2019
Autorisatie bedrijfsbegeleider	Rompelman M (Marcel)		6-6-2019

Op dit autorisatieblad ontbreken de handtekeningen wegens de digitale verwerking van ons vrijgaveproces. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Versie historie

Versie	Datum	Korte toelichting
0.1	17-5-2019	Inleverdatum concept 0.1
1.0	6-6-2019	Inleverdatum definitief 1.0

Colofon

Opdrachtgever **Movares Nederland B.V.**

Daalseplein 100
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon **030 265 55 55**

Onderwijsinstelling **Van Hall Larenstein**

Larensteinselaan 26-A
Postbus 9001
6882 CT Velp

Telefoon **026 369 5695**

Ondertekenaar **Dekker A.J.**
Bedrijfsbegeleider

Auteur **Heming S.**

Kenmerk **Onderzoeksrapport**

©

2019,

Movares

Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.

Projectplan / Definitief / Versie 1.0 /


Movares

Voor- en dankwoord

Beste lezer,

Voor u ligt mijn onderzoeksrapport met betrekking tot innovaties op gebied van kademuren in Amsterdam. Dit onderzoeksrapport dient als afstudeerscriptie voor de opleiding Land- en Watermanagement aan de hogeschool Van Hall Larenstein te Velp.

Het onderwerp voor dit afstudeerproject is in samenwerking met Movares Nederland B.V. opgesteld en betreft het onderwerp “De innovatieve Kademuur”. Binnen dit onderzoek wordt er gezocht naar mogelijk innovaties die toepasbaar zijn voor de vervanging van de Amsterdamse kademuren. Hierna wordt een meest innovatieve variant uitgewerkt.

Ik wil iedereen bedanken die mij heeft geholpen tijdens het afstuderen. In het bijzonder gaat mijn dank uit naar Bert Dekker en Martijn van den Elzen, die mij begeleid hebben vanuit Movares, Marcel Rompelman, docentbegeleider vanuit Van Hall Larenstein, mijn familie en mijn vriendin Indrah Heuzinkveld.

Sten Heming

Utrecht, juni 2019

Samenvatting

De gemeente Amsterdam beheert 600 kilometer kade­muur waarvan 200 kilometer een op palen gefundeerde kade­muur is. Deze op palen gefundeerde kade­muren lopen tegen het eind van de levensduur, vaak zijn deze kade­muren meer dan honderd jaar oud. Toentertijd waren deze kade­muren niet gedimensioneerd op het zware en frequente verkeer van nu. Deze veranderlijke belasting is voornamelijk de oorzaak van het bezwijken van de kade­muren. Daarnaast is het onderhoud aan deze kade­muren vanwege economische redenen uitgesteld. De gemeente Amsterdam staat dus momenteel voor een lastige opgave.

Het vervangen van deze kade­muren is een duur proces en brengt veel hinder mee tijdens de uitvoering van het project. De gemeente Amsterdam is om deze reden op zoek naar een innovatie op het vlak van binnenstedelijke kade­muren en heeft het innovatiepartnerschap opgericht. Dit is een innovatieve wijze van aanbesteden waarbij de markt wordt uitgedaagd een innovatieve kade­muur te ontwikkelen.

Om tot een innovatieve variant te komen is dit onderzoek opgebouwd uit een analysefase en twee filterfases. Op basis van de analyse fase is een programma van eisen ontwikkeld, deze dient als een eerste filter. Met dit filter zijn tien varianten, die ontwikkeld zijn door middel van bouwstenen, gefilterd tot drie varianten. Deze drie varianten zijn uitgewerkt in een variantenstudie waarbij is gekeken naar de ontwerpaspecten, bouwmethodiek, onderhoud, duurzaamheid en een kostenraming.

Na de analyse en het eerste filter is een multicriteria-analyse ontwikkeld met de criteria die aansluiten op de beschreven aspecten in de variantenstudie. De best scorende variant is een combinatiewand die bestaat uit semipermeabele damwandplanken, buispalen en prefab kadeschorten.

De damwandplanken zijn voorzien van gaten die zijn afgedicht met een geokunststof, dit maakt de damwand waterdoorlatend maar grond­dicht. Op deze manier wordt het grondwater minimaal beïnvloed en blijft de waterstand gewaarborgd. Dit is belangrijk aangezien de belendende panden voorzien zijn van houten funderingen en deze ten alle tijden onder water dienen te staan. Door middel van de prefab kadeschorten is de constructie modulair, hetgeen inhoudt dat de deze elementen eenvoudig te vervangen zijn na schade.

Uiteindelijk is de combinatiewand uitgewerkt tot een voorlopig ontwerp. Deze uitwerking bevat tekeningen, stabiliteitsberekeningen, uitvoeringsaspecten, kostenraming en meekoppelkansen.

Inhoudsopgave

Colofon	2
Voor- en dankwoord	3
Samenvatting	4
Figuren- en tabellenlijst	6
Figurenlijst	6
Tabellenlijst	6
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding en achtergrond	7
1.2 Onderzoeksmethodiek	8
1.3 Rapportstructuur	10
2 Omgevingsanalyse	12
2.1 Projectgebied	12
2.2 Constructie	12
2.3 Achtergrondgegevens	14
2.4 Probleemanalyse	16
3 Stakeholderanalyse	19
3.1 Interne stakeholders	19
3.2 Externe stakeholders	20
3.3 Overzicht	21
4 Programma van Eisen	22
4.1 Randvoorwaarden en richtlijnen	22
4.2 Functie eisen en aspecteisen	23
5 Opstellen varianten	25
5.1 Algemeen	25
5.2 Omschrijving filter	26
5.3 Bouwstenen	26
5.4 Varianten	28
5.5 Toetsing aan PvE	30
6 Variantenstudie	32
6.1 Variant 1	33
6.2 Variant 2	35
6.3 Variant 3	37
6.4 Voor- en nadelen	38
6.5 Kostenraming	39
7 Multicriteria-analyse	40
7.1 Criteria	40
7.2 Weegfactoren	40
7.3 Scoremethodiek	42

7.4	Kosten	43
7.5	Conclusie	43
8	Voorlopig ontwerp	45
8.1	Berekeningen	45
8.2	Tekeningen	48
8.3	Uitvoeringsaspecten	49
8.4	Kostenraming	50
8.5	Meekoppelkansen	50
9	Conclusie en Aanbevelingen	51
9.1	Conclusie	51
9.2	Aanbevelingen	51
10	Discussie	52
10.1	Beperkingen	52
10.2	Resultaten	52
10.3	Betrouwbaarheid	53
10.4	Vervolgonderzoek	53
	Bibliografie	54
	Appendices	56
	Appendix A – Projectplan	57
	Appendix B – Sondering	58
	Appendix C – Programma van Eisen	59
	Appendix D – Bouwstenenfilter	60
	Appendix E – Toetsing conform PvE	61
	Appendix F – Onderbouwing uitvoeringsduur	62
	Appendix G – Kostenramingen	63
	Appendix H – Toelichting Multicriteria Analyse	64
	Appendix I – D-sheet rapporten	65
	Appendix J – Technische tekeningen	66
	Appendix K – Kostenraming Voorlopig ontwerp	67

Figuren- en tabellenlijst

[Figurenlijst](#)

Figuur 1: Fasering innovatiepartnerschap	8
Figuur 2: Visualisatie filterproces	9
Figuur 3: Projectgebied	12
Figuur 4: Technische tekening	13
Figuur 5: Weergave huidige bouwmethodiek	13
Figuur 6: Overzicht bezwijkmechanismen	17
Figuur 7: Organisatiestructuur gemeente Amsterdam	19
Figuur 8: Functieboom	25
Figuur 9: Weergave filter bouwstenen	26
Figuur 10: Varianten	29
Figuur 11: Weergave voorkeursvariant 1	33
Figuur 12: Weergave voorkeursvariant 2	35
Figuur 13: Weergave voorkeursvariant 3	37
Figuur 14: Gunningscriteria gemeente Amsterdam	40
Figuur 15: Methodiek bepalen weegfactoren hoofdcriterium 2	41
Figuur 16: Methodiek bepalen weegfactoren hoofdcriterium 3	41
Figuur 17: Overzicht scores MCA	44
Figuur 18: Visualisatie kademuur	45
Figuur 19: Damwandprofiel AZ40-700 inclusief filterraam (maatvoering in mm)	48
Figuur 20: Weergave overzichtstekening	48
Figuur 21: Weergave fictieve zinker	49
Figuur 22: Grafiek schadeverwachting bij drukkend aanbrengen	50

[Tabellenlijst](#)

Tabel 1: Overzicht huidige kadevernieuwingsmethodieken	14
Tabel 2: Maatgevende hoogtes maaiveld	15
Tabel 3: Doorvaartprofiel	15
Tabel 4: Geotechnische gegevens	16
Tabel 5: Bodemopbouw	16
Tabel 6: Bezwijkmechanismen	17
Tabel 7: Overzicht	21
Tabel 8: Bouwstenen	27
Tabel 9: Bouwmethodiek variant 1	34
Tabel 10: Bouwmethodiek variant 2	36
Tabel 11: Bouwmethodiek variant 3	38
Tabel 12: Voor- en nadelen varianten	39
Tabel 13: Kostenraming	39
Tabel 14: Weging scores MCA en kosten	40
Tabel 15: Criteria met weegfactoren	42
Tabel 16: Score interval kosten	43
Tabel 17: Belasting uitgangspunten	47
Tabel 18: Maatgevende resultaten, rekenwaarden en uitgangspunten	47

1 Inleiding

1.1 [Aanleiding en achtergrond](#)

De aanleiding voor het schrijven van dit rapport vloeit voort uit een vraagstuk van de gemeente Amsterdam. De gemeente heeft momenteel te maken met een groot probleem omtrent de binnenstedelijke kademuren, deze kademuren zijn namelijk in slechte staat en bezwijken. Er zijn meerdere oorzaken aan te wijzen voor het bezwijken van de kademuren, voorbeelden hiervan zijn boomwortels die de kademuren verdrukken, een verrotte fundering, uitspoeling van zand onder de kademuur (sinkholes) als gevolg van schade aan de kademuur en verzakkingen van de kademuren. Het hiervoor genoemde is het gevolg van het stelselmatig uitstellen van onderhoud vanwege bezuinigingen en de levensduur van deze kademuren, de kademuren zijn namelijk vaak honderden jaren oud. De Amsterdamse kademuren beslaan 900 kilometer, waarvan 600 kilometer in beheer is van de gemeente Amsterdam. 200 kilometer van de kademuren die in het beheer is van de gemeente, is een op palen gefundeerde kademuur, het overgrote deel van deze gefundeerde kademuur is aan vervanging toe. Het vervangen van deze kademuren is een complex proces, de reden hiervoor is de zeer beperkte ruimte aanwezig op zowel land als water, hierdoor veroorzaakt het vervangen veel hinder voor de omgeving. Tevens kent de traditionele bouwmethodiek een lange voorbereidings- en uitvoeringstijd die gepaard gaan met hoge kosten. Het vervangen van kademuren kost gemiddeld dan ook twintigduizend euro per strekkende meter en dit is maatschappelijk gezien geen verantwoord bedrag (Gemeente Amsterdam, 2018b).

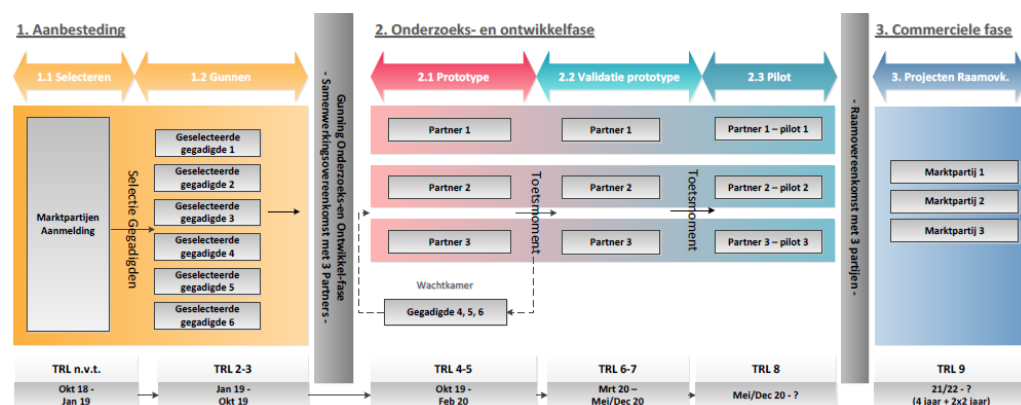
Om tot een oplossing te komen voor deze problematiek heeft de gemeente Amsterdam het programma Kademuren opgesteld. Momenteel vervangt de gemeente ongeveer 500 meter per jaar. Uitgaande van de levensduur van de kademuren moet de gemeente dit opschalen naar twee kilometer kademuur per jaar. Om tot een innovatief concept te komen voor het vervangen van de kademuren heeft de gemeente Amsterdam het innovatiepartnerschap opgesteld, hetgeen een onderdeel is van het programma Kademuren. Het innovatiepartnerschap heeft als hoofddoel de kademuren in het centrumgebied zo snel mogelijk op orde krijgen. De onderstaande ambities omvatten tezamen het hoofddoel (Gemeente Amsterdam, 2018d):

- Ambitie 1: Halveren van de hinder;
- Ambitie 2: Halveren van de doorlooptijd;
- Ambitie 3: Overal in het centrumgebied toepasbaar;
- Ambitie 4: Halveren van de kosten.

Het innovatiepartnerschap is een aanbestedingsvorm die de markt uitdaagt innovaties te ontwikkelen bij het vervangen en renoveren van de binnenstedelijke kademuren. Het belangrijkste verschil met het innovatiepartnerschap en andere aanbestedingsvormen is dat het innovatiepartnerschap de markt uitdaagt om oplossingen te ontwikkelen die nog niet bewezen zijn (Gemeente Amsterdam, 2018c).

Het innovatiepartnerschap wil uiteindelijk drie partijen overhouden. Middels twee selectiefasen blijven de meest geschikte partijen over. Bij de start waren er zestien partijen ingeschreven. Na de eerste selectiefase bleven er hiervan zes partijen over,

waaronder de bouwcombinatie NAS, bestaande uit Movares Nederland B.V., De Klerk Waterbouw en Staalconstructie en Hakkers Constructief in Waterbouw. Na de tweede selectiefase blijven er drie partijen over waarmee de gemeente Amsterdam gaat werken. De fases hierna bestaan uit een onderzoeks- en ontwikkelingsfase en een commerciële fase, Figuur 1 geeft hiervan een schematische weergave. Dit onderzoek valt dus binnen fase 1.2 “Gunnen”.



Figuur 1: Fasering innovatiepartnerschap

Fase 1.2 van het innovatiepartnerschap omvat een fictieve aanbidding en oplossing voor de referentiecassus, ‘Het Singel’. Hiervoor dient de inschrijver een fictieve aanbidding en oplossing op te leveren. Het vervangingsproject ‘Het Singel’ is inmiddels uitgevoerd en dus is deze referentiecassus een fictieve opgave. Dit rapport bestaat uit een afweging en uitwerking van een voorlopig ontwerp (hierna VO) van een innovatieve kademuur op de referentiecassus (Gemeente Amsterdam, 2018b).

1.2 Onderzoeksmethodiek

In deze paragraaf is summier de onderzoeksmethodiek omschreven. Voor de gehele onderzoeksmethodiek zie Appendix A – Projectplan.

1.2.1 Probleemomschrijving

Zoals omschreven in §1.1 is het overgrote deel van de op palen gefundeerde kademuuren van Amsterdam aan vervanging toe. Het probleem is ontstaan doordat de gemeente Amsterdam jarenlang onderhoud heeft uitgesteld vanwege bezuinigingen. Het huidige proces omtrent het vervangen is echter ontzettend duur, twintigduizend euro per strekkende meter, dit is maatschappelijk gezien geen verantwoord bedrag. Dit is dan ook een van de redenen dat de gemeente Amsterdam op zoek is naar innovatie conform de vier ambities genoemd in §1.1. Het innovatiepartnerschap moet uitkomst bieden en de markt uitdagen om met een nog niet ‘bewezen’ oplossing te komen. Dit maakt deze aanbesteding zo verschillend van andere aanbestedingen.

1.2.2 Vraagstelling

Uit de probleemomschrijving vloeit de volgende hoofdvraag voort:

‘Wat is voor de referentiecassus ‘Het Singel’ de meest geschikte innovatieve oplossing voor vervanging van de kademuuren conform de ambities van de gemeente Amsterdam?’

Het resultaat van deze hoofdvraag is in de vorm van een VO. Om tot de meest geschikte innovatieve oplossing te komen is gebruik gemaakt van een multicriteria-analyse (hierna MCA), deze manier waarborgt een meetbaar resultaat.

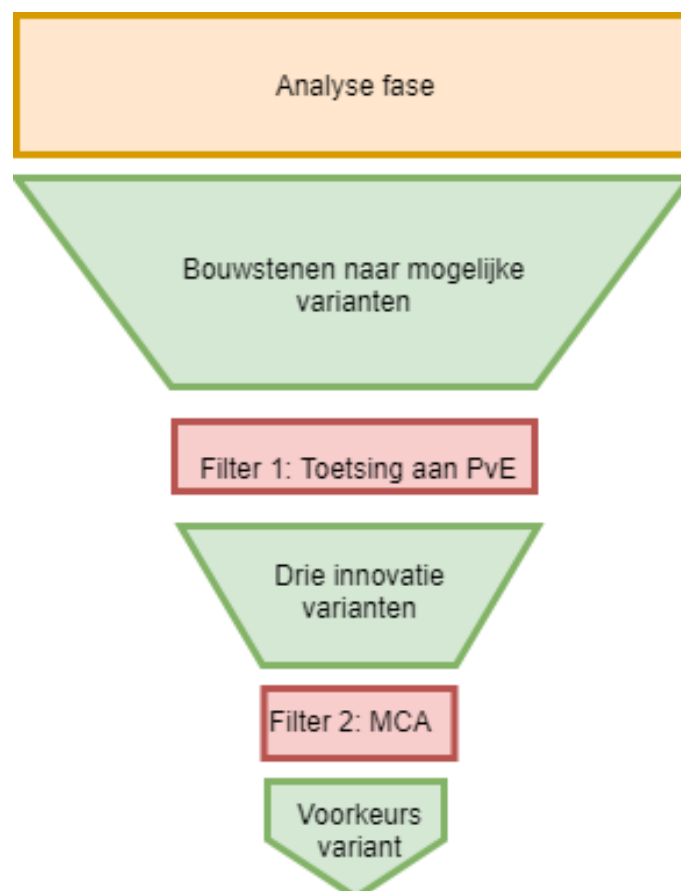
1.2.3. Projectdoel

Het doel van dit onderzoek is om mogelijke varianten af te wegen waaruit één innovatief concept vloeit. Dit concept is uitgewerkt naar een VO waarmee Movares Nederland B.V. een aanbieding kan doen op de referentiecasijs 'Het Singel' van het innovatiepartnerschap.

1.2.4. Onderzoeksproces

Om antwoord te geven op de hoofdvraag is het proces helder weergegeven in Figuur 2. Dit proces moet uiteindelijk leiden tot een innovatieve variant. Het proces omvat een analyse fase waaruit het Programma van Eisen (hierna PvE) ontstaat. Daarnaast is er een analyse uitgevoerd naar bouwstenen, door middel van het koppelen van deze bouwstenen zijn varianten ontwikkeld. Vervolgens zijn de varianten getoetst aan het PvE in het eerste filter.

Na het eerste filter blijven drie varianten over die conform de ontwerpcriteria zijn uitgewerkt. De criteria dienen zowel als ontwerpcriteria als afwegcriteria voor de MCA. Het tweede filter weegt de varianten tegen elkaar af, hieruit volgt de best scorende variant waarvan een VO volgt.



Figuur 2: Visualisatie filterproces

1.2.5. Kader en afbakening

Dit onderzoek is in opdracht van Movares Nederland B.V. en dient als afstudeeropdracht voor de opleiding Land- en Watermanagement aan de hogeschool Van Hall Larenstein te Velp.

Zoals in §1.1 omschreven heeft de gemeente Amsterdam door middel van het innovatiepartnerschap de markt uitgedaagd om innovatieve concepten te ontwikkelen. Dit onderzoek is uitsluitend gericht op het ontwikkelen van een innovatief VO op de referentiecasis ‘Het Singel’.

De gemeente Amsterdam hanteert de volgende definitie voor innovatie op het vlak van de vervanging van kademuren (Gemeente Amsterdam, 2018c).

“Met innovatie bedoelen we de ontwikkeling en invoering van nieuwe en/of verbeterde ideeën, goederen, producten en diensten.” (p. 1)

1.2.6. Functie

Dit onderzoek dient als fundament waarmee Movares Nederland B.V. een aanbieding kan doen op de referentiecasis ‘Het Singel’ van het innovatiepartnerschap. Daarnaast kan het dienen als basis van een vervolgonderzoek wat betreft het ontwikkelen van een innovatieve kademuur.

1.3 [Rapportstructuur](#)

Hoofdstuk 1 – Inleiding

Hoofdstuk 1 omvat een inleiding van het onderwerp. Daarnaast is de onderzoeksmethodiek toegelicht, Figuur 2 geeft hiervan een mooi schematisch overzicht van dit proces.

Hoofdstuk 2 – Omgevingsanalyse

In hoofdstuk 2 is een omgevingsanalyse uitgevoerd waarbij er wordt gekeken naar de referentiecasis ‘Het Singel’. De omgevingsanalyse omvat een omschrijving van het projectgebied, het type kademuur van ‘het Singel’ en varianten die reeds zijn toegepast, de achtergrondgegevens en een probleemanalyse.

Hoofdstuk 3 – Stakeholdersanalyse

Hoofdstuk 3 omvat een stakeholdersanalyse, deze analyse gaat in op de stakeholders van het projectgebied.

Hoofdstuk 4 – Programma van eisen

In hoofdstuk 4 staan deze uitgangspunten die voortvloeien uit de analyses verwerkt in een PvE.

Hoofdstuk 5 – Opstellen varianten

In hoofdstuk 5 zijn bouwstenen ontwikkeld, deze bouwstenen zijn samengevoegd tot varianten. Door middel van het toetsen aan het PvE worden deze varianten gefilterd tot drie varianten.

Hoofdstuk 6 – Variantenstudie

Hoofdstuk 6 omvat een variantenstudie. Deze bevat een uitwerking van de drie varianten die zijn voortgevloeid uit de toetsing aan het PvE.

Hoofdstuk 7 – Multicriteria-analyse

Hoofdstuk 7 omschrijft het ontwikkelen en het uitvoeren van de MCA, welke de 3 varianten tegen elkaar afweegt.

Hoofdstuk 8 – Voorlopig ontwerp

Hoofdstuk 8 bevat het VO van de best scorende variant.

Hoofdstuk 9 – Conclusies en aanbevelingen

Hoofdstuk 9 geeft de conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek.

Hoofdstuk 10 – Discussie

In hoofdstuk 10 is er kritisch gekeken naar de beperkingen, de resultaten, de validiteit en betrouwbaarheid en suggesties voor vervolgonderzoek. Tevens behandelt dit hoofdstuk de onzekerheden en gevoeligheden.

2 Omgevingsanalyse

Dit hoofdstuk omvat een analyse van de omgeving binnen de referentiecasijs 'Het Singel'. Deze analyse bestaat uit het projectgebied, de constructie, achtergrondgegevens en een probleemanalyse.

2.1 [Projectgebied](#)

De huidige kademuren van 'Het Singel' tussen de Stromarkt en Lijnbaanssteeg zijn aan vervanging toe (zie Figuur 3). De locatie van 'Het Singel' ligt binnen de grachtengordel in het centrum van Amsterdam en is in totaal circa 268 meter lang. Het projectgebied betreft twee rakken, Stromarkt-Korte Korsjespoortsteeg (circa 225 meter lang) en Lijnbaanssteeg-Singel huisnummer 63 (circa 50 meter lang).

Aangezien 'Het Singel' representatief is voor de gehele situatie omtrent de kademuren in Amsterdam, heeft de gemeente Amsterdam deze als referentiecasijs aangehouden. Een oplossing op deze casus draagt dus bij aan het opschalen van het vervangen van de kademuren in Amsterdam.



Figuur 3: Projectgebied

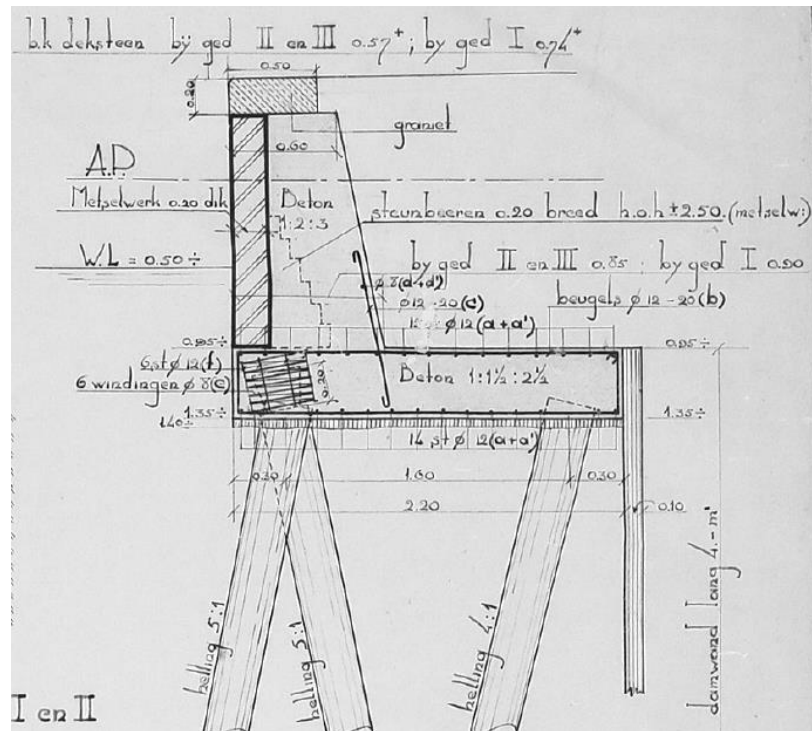
2.2 [Constructie](#)

Deze paragraaf omschrijft de constructie en de bouwmethodiek van de huidige kademuur. Het is essentieel om deze helder te krijgen zodat duidelijk wordt op welke vlakken innovaties mogelijk zijn.

2.2.1. [Kademuur](#)

In Figuur 4 is het technische dwarsprofiel van de constructie weergegeven (Gemeente Amsterdam, 2018b). De kademuur is een op houten palen gefundeerde muur met een betonnen (1:1.5:2.5) vloer van 2.20 meter breed. Deze vloer is voorzien van beugels $\varnothing 12-20$. De funderingspalen nemen de druk- en trekkrachten op van de kademuur. Aan de achterzijde van deze vloer is een houten kwelscherm opgenomen, deze heeft een lengte van 4.0 meter en is 0.10 meter dik. Op deze vloer is een muur gemetseld van

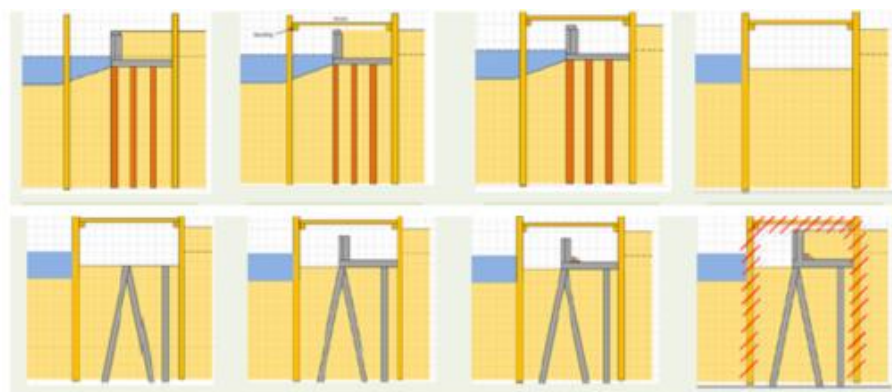
0.20 meter dik, achter deze kademuur staat een gemetselde steunbeer van 0.20 meter breed h.o.h. 2.50 meter. Verder zit er een betonnen (1:2:3) muur achter het metselwerk en is de ruimte aangevuld met zand. De deksloof bestaat uit granieten blokken die 0.20 meter dik en 0.50 meter breed zijn.



Figuur 4: Technische tekening

2.2.2. Bouwmethodiek

Door het plaatsen van damwanden is een bouwkuip rondom de kademuur aangebracht. Hierna kan de aannemer de huidige kademuur verwijderen en wordt de tussenruimte aangevuld met zand. Door het toepassen van bronbemaling is droog werken mogelijk. De aangebrachte funderingspalen dienen als dragers van de constructie. Op de funderingspalen is een vloer aangebracht en de kademuur opgemetseld. De achterzijde is aangevuld met zand en de bestrating wordt herplaatst. Figuur 5 geeft hiervan (links naar rechts) een schematische weergave.



Figuur 5: Weergave huidige bouwmethode

2.2.3. [Huidig toegepaste varianten](#)

Tabel 1 geeft de huidig toegepaste varianten weer. De voorbeelden dienen zowel voor inspiratie voor het ontwikkelen van varianten, als voor het voorkomen dat een methodiek opnieuw wordt toegepast. Op deze manier blijft innovatie gewaarborgd (Gemeente Amsterdam, 2018c).

Methodiek	Omschrijving	Visualisatie
Betonnen L-wand	Dit is de meest gebruikte kadevernieuwingsmethode in Amsterdam. Het zorgt voor een goede verspreiding van de krachten op de palen. Deze methode is toegepast bij de werkelijke vervanging van de kademuren van het Singel.	
Combiwand	Deze constructie is opgebouwd een wand bestaande uit buispalen en damwanden. Deze constructie kan grote horizontale krachten opvangen.	
Betonplaat op palen	Bij deze kadevernieuwingsmethode is geen bouwkuip vereist, de constructie wordt afgebroken tot op het grondwaterpeil en wordt vanaf dit niveau weer opnieuw opgebouwd.	

Tabel 1: Overzicht huidige kadevernieuwingsmethodieken

2.3 [Achtergrondgegevens](#)

Deze paragraaf beschrijft de achtergrondgegevens. Door de gegevens in kaart te brengen zijn de randvoorwaarden vanuit de omgeving duidelijk. De gegevens die in deze paragraaf behandeld zijn, zijn afkomstig uit de casusomschrijving (Gemeente Amsterdam, 2018b).

2.3.1. [Huidige omgeving](#)

De casusomschrijving bevat overzichtstekeningen, hierop zijn de belendende panden, bomen en woonboten weergegeven. Deze tekeningen dienen geraadpleegd te worden voor de rooilijn. De onderstaande punten geven een omschrijving van de huidige omgeving:

- De panden aan ‘Het Singel’ zijn vrijwel allemaal monumentaal. Het zijn panden die meerdere eeuwen oud zijn en hebben verouderde constructieonderdelen;
- Er zijn in totaal 21 bomen aanwezig op locatie, waarvan 2 bomen monumentaal (Stromarkt 2 en Singel 11). De opdrachtnemer dient uit te gaan dat bij de start van de werkzaamheden de bomen zijn gekapt. Voor de aanbesteding dienen de locaties van de bomen in de overzichtstekeningen aangehouden te worden;

- De kabels en leidingen vallen niet onder de projectscope, deze zijn reeds verlegd door de beheerders;
- Aangezien er rondom 'Het Singel' geen zinkers voorkomen, is er een fictieve zinker toegevoegd waar de opdrachtgever rekening mee dient te houden;
- De opdrachtgever dient uit te gaan van de huidige locaties van de acht woonboten die zijn aangemeerd op locatie, zie hiervoor de overzichtstekeningen.

2.3.2. Maaiveldhoogte

In Tabel 2 zijn de huidige maaiveldhoogtes weergegeven.

Traject	Singel 83 t/m 71	Singel 69 t/m 63	Singel 43 t/m 49	Singel 39 t/m 1
Maatgevende hoogte	NAP + 2.0 m	NAP +0.60 m	NAP +2.0 m	NAP +0.80 m

Tabel 2: Maatgevende hoogtes maaiveld

2.3.3. Grachtprofiel

De breedte van de gracht ter hoogte van 'Het Singel' is 27.50 meter. Het bodemprofiel varieert tussen de NAP -2.0 meter en NAP -5.0 meter.

2.3.4. Doorvaartprofiel

Ter locatie van 'Het Singel' geldt een doorvaartprofiel categorie B. Waternet hanteert hiervoor de volgende dimensies:

Doorvaart- profielcode	Vaartuig max. Breedte Lengte		Doorvaart- profielbreedte	Doorvaart- profiel diepte
B	4.25	20	13	2.20 - NAP

Tabel 3: Doorvaartprofiel

2.3.5. Geotechnische gegevens

De geotechnische gegevens zijn verkregen uit het grondonderzoek van (RHDHV, 2012a). Voor dit onderzoek wordt sondering 6 als maatgevende sondering gehanteerd, deze is weergegeven in Appendix B – Sondering. Deze sondering is geotechnisch gezien het minst gunstig voor de dimensionering van de kademuren. De geotechnische opbouw is weergegeven in Tabel 4.

De sondering is geplaatst op de bodem van de gracht en ligt -2.38 meter ten opzichte van het NAP. De eenheden voor het volume gewicht en wrijvingshoek zijn afkomstig uit de NEN-EN 1997 (Normalisatie-instituut, 2016).

Bovenkant laag (m tov NAP)	Geotechnische eenheid	γ^c / γ^{sat} (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (graden)	δ (graden)	Conusweerstand (MPa)	$K_{h:1}$	$K_{h:2}$	$K_{h:3}$
+1,35	Ophooglaag	17/18	0	30	20	< 1	12.000	6000	3000
-2,30	Klei	19/20	1	20	14	< 1	6000	4000	2000
-4	Veen	12/12	1	15	10	< 1	2000	800	500
-6	Klei	19/20	1	20	14	< 1	6000	4000	2000
-8,5	Venige klei	15/15	1	17,5	11	< 1	2000	800	500
-10	Klei	19/20	1	20	14	< 1	6000	4000	2000
-12,5	Zand	19/21	0	35	27	20	40.000	20.000	10.000
-14,5	Kleilig zand	19/20	0	27	18	5	20.000	10.000	5000
-18	Zand	19/21	0	35	27	20	40.000	20.000	10.000

Tabel 4: Geotechnische gegevens

2.3.6. Milieukundig onderzoek

De gegevens voor deze paragraaf zijn verkregen uit het verkennend (water)bodemonderzoek Singel (RHDHV, 2012b). Tabel 5 geeft een overzicht van de bodemopbouw.

Diepte (m-mv)	Geohydrologische eenheid	Lithologie
0-3	Ophooglaag	Zand, vaak puinhoudend
3-14	Holocene afzetting	Klei of veen
14-21	Boxtel	Zand, matig fijn tot matig grof, plaatselijk een leemlaag

Tabel 5: Bodemopbouw

Uit het bodemonderzoek blijkt dat er een bodemverontreiniging aanwezig is. Nader onderzoek is noodzakelijk naar het voorkomen van verontreinigingen van lood en koper. Dit is echter niet zinvol aangezien de gehele binnenstad van Amsterdam te maken heeft met een ernstige bodemverontreiniging als gevolg van het ophogen van de binnenstad. Wanneer de grondwerkzaamheden boven 2.5 meter onder het maaiveld voordoen, dient de uitvoerder voorzorgsmaatregelen te treffen.

Uit het onderzoek blijkt dat zowel in de Brouwersgracht en de Singel een laag slib is aangetroffen. Het slib mag niet verspreid worden gezien de gehalten kwik, lood, zink en minerale olie.

2.3.7. Waterpeil

Het grondwaterpeil en het waterpeil van de gracht liggen op NAP -0.40 meter. De stromingsrichting en stroomsnelheid van het grondwater is onbekend.

2.4 Probleemanalyse

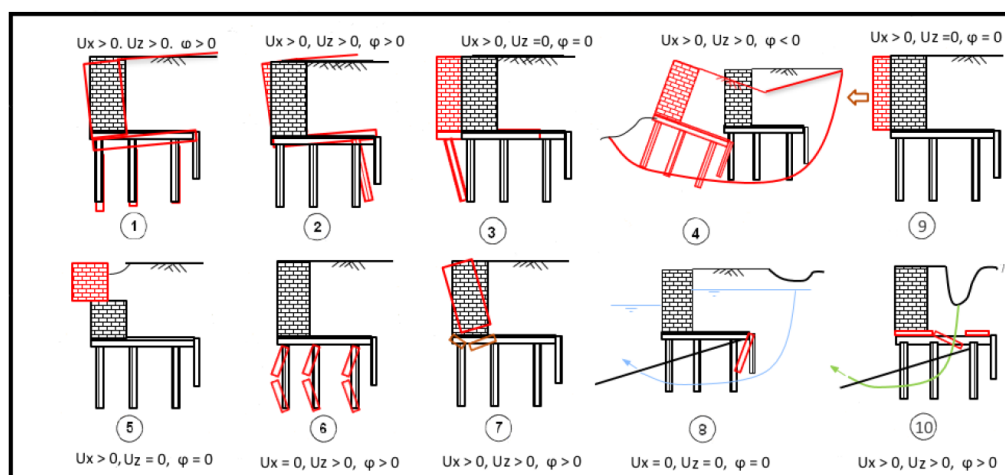
De probleemanalyse omvat een analyse naar de bezwijkmechanismen van de kademuren, de omgevingsproblemen en de problematiek omtrent de bouwmethode. Als de huidige problematiek helder is, dan wordt daar met het ontwikkelen van varianten in §5 rekening mee gehouden. De problemen vloeien voort uit het hoofdprobleem “het stelselmatig uitstellen van onderhoud van de kademuren”.

Aangezien de gemeente Amsterdam bij de uitvraag geen specifiek bezwijkmechanisme heeft benoemd voor ‘Het Singel’, is er een analyse uitgevoerd naar bezwijkmechanismen.

2.4.1. Bezwijkmechanismen

Uit “Beheersmaatregelen bij calamiteiten” zijn verscheidene bezwijkmechanismen gedefinieerd. De voor deze casus relevante mechanismen staan hieronder omschreven (Olsthoorn, 2018).

In Figuur 6 zijn de bezwijkmechanismen weergegeven en in Tabel 6 zijn de bezwijkmechanismen omschreven.



Figuur 6: Overzicht bezwijkmechanismen

Nr.	Bezwijkmechanismen
1	Overschrijden van het verticaal paal(druk)vermogen (GEO)
3	Bezwijken van de grond vanwege een horizontale belasting op de paalfundering (GEO)
5	Constructief bezwijken van de kerende wand (STR)
6	Constructief bezwijken van de palen door druk, trek, buiging, knik of afschuiving (STR)
7	Bezwijken van de constructie door zeer grote verplaatsingen van de fundering (STR)
8	Bezwijken door interne erosie, onder – en achterloopsheid of piping (HYD)
9	Kademuur verschuift over de palen. (STR)

Tabel 6: Bezwijkmechanismen

2.4.2. Omgevingsproblemen

Deze paragraaf omvat de omgevingsproblemen die belangrijk zijn voor de uitwerking van de varianten.

Grondwaterpeil

Het grondwater en het grachtwater hebben hetzelfde peilniveau. De toekomstige constructie mag geen invloed uitoefenen op het grondwaterpeil. De reden hiervoor is dat de houten palen waarop de belendende palen gefundeerd zijn ten alle tijden onder het grondwaterpeil dienen te liggen. Wanneer dit niet het geval is treed er paalrot op waardoor de belendende woningen verzakken.

De ondergrond van het systeem bestaat voornamelijk uit veen en klei. Pas op 13 meter onder maaiveld is zand aan te treffen. De ondergrond is dus erg zettingsgevoelig. Wanneer er fluctuaties optreden in het veen en klei kunnen er zettingen optreden.

Slappe ondergrond

De slappe ondergrond is problematisch voor de fundatie van de constructie. Als de constructie een te grote massa heeft en niet goed gefundeerd is dan zakt deze weg in de ondergrond.

Verkeersbelasting

Het overgrote deel van de kademuren is 100 jaar of ouder. Destijds zijn deze kademuren niet gedimensioneerd op het huidige zware verkeer. De kademuren dienen tegenwoordig tevens als parkeervoorziening wat een permanente belasting geeft op deze kademuren, hierdoor dreigen de kademuren vroegtijdig te bezwijken.

Bomen

De belendende bomen verdrukken de kademuren als gevolg van windbelasting en groei van boomwortels, een gevolg hiervan is dat zand kan uitspoelen en de constructie kan bezwijken. Daarnaast staan veel van deze bomen staan op de monumentenlijst.

2.4.3. Bouwmethode

Deze paragraaf omvat de problemen van de bouwmethode die belangrijk zijn voor de uitwerking van de varianten.

Grondwaterpeil

De bouwmethodiek mag weinig tot geen invloed uitoefenen op de grondwaterstand gezien de genoemde problematiek in de voorgaande paragraaf. Bronbemaling is in de meest wenselijke situatie niet nodig, anders dient de opdrachtnemer retourbemaling toe te passen.

Beperking ruimte

De beperkte ruimte is tevens een probleem en om deze reden dient dan ook vanaf de waterzijde gewerkt te worden. Dit stremt echter de rondvaartboten en de opdrachtgever dient daarnaast de woonboten te verplaatsen.

Trillingen

Trillingen zorgen voor verzakkingen en schade aan belendende panden.

3 Stakeholderanalyse

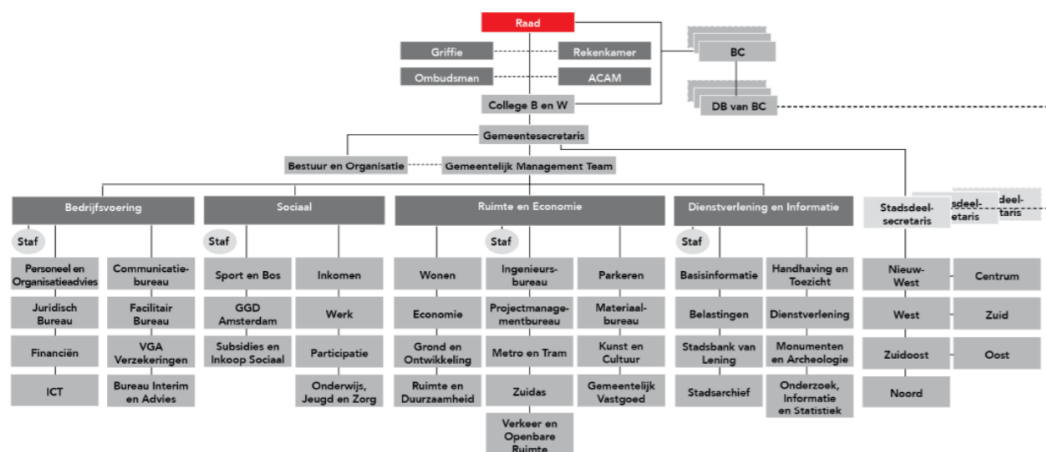
Voor de stakeholderanalyse is gebruik gemaakt van de vraagspecificatie (Gemeente Amsterdam, 2018f) en van “Influence of stakeholders on urban quay walls” (Breederveld, 2017). In §3.3 wordt een overzicht gegeven van de stakeholders.

3.1 Interne stakeholders

De interne stakeholders worden in deze paragraaf omschreven en zijn de partijen binnen het project die directe invloed uitoefenen.

3.1.1. Gemeente Amsterdam

De gemeente Amsterdam is de opdrachtgever en oefent het meeste invloed uit op het project aangezien de eisen vanuit de gemeente bepalend zijn voor dit onderzoek. De gemeente Amsterdam bestaat uit vier hoofdafdelingen met daaronder subafdelingen, de hoofdafdelingen zijn ‘Bedrijfsvoering’, ‘Sociaal’, ‘Ruimte en Economie’ en ‘Dienstverlening en Informatie’ (Gemeente Amsterdam, n.d.-b). Voor een totaal overzicht van de organisatiestructuur zie Figuur 7. De afdelingen die belangen en rollen hebben bij ‘Het Singel’ zijn het Ingenieursbureau, Verkeer & Openbare Ruimte, Monumenten & Archeologie en stadsdeel Centrum.



Figuur 7: Organisatiestructuur gemeente Amsterdam

Ingenieursbureau gemeente Amsterdam

Deze partij organiseert het aanbestedingsproces van het innovatiepartnerschap en fungeert als een ingenieursbureau binnen de gemeente.

De gemeente Amsterdam Verkeer & Openbare Ruimte

De gemeente Amsterdam Verkeer & Openbare Ruimte valt onder de afdeling Ruimte en Economie van de gemeente. Deze organisatie is binnen de gemeente gericht op het beheer en onderhoud van de stad.

Gemeente Amsterdam Monumenten & Archeologie

Op 1 augustus 2010 is de zeventiende-eeuwse grachtengordel van Amsterdam op de werelderfgoedlijst van Unesco geplaatst.

De Werelderfgoedlijst hanteert voor nieuwbouw artikel 21 van het Vienna Memorandum, dit artikel geldt ook voor de vervanging van de kademuren (Gemeente Amsterdam, 2012b). Het onderstaande waarborgt het huidige esthetisch beeld van de kademuren. Voor artikel 21 zie het volgende:

"Met inachtneming van de uitgangspunten (volgens artikel 7 van dit Memorandum), moeten stedenbouw, hedendaagse architectuur en het behoud van het historisch stedelijke landschap alle vormen van pseudo-historisch ontwerp voorkomen, omdat dit een ontkenning vormt van zowel het historische als het hedendaagse. Een historische blik moet niet de andere verdringen, omdat de geschiedenis leesbaar moet blijven, terwijl het bereiken van samenhang van de cultuur door kwalitatieve interventies het ultieme doel is."

Gemeente Amsterdam Stadsdeel centrum

De gemeente Amsterdam bestaat uit zeven stadsdelen, deze stadsdelen hebben 80.000 tot 150.000 inwoners en zijn te beschouwen als kleine gemeenten. Deze stadsdelen hebben alle gemeentelijke taken en bevoegdheden. De stadsdelen zijn verantwoordelijk voor de bouw, beheer en onderhoud van de ruimtelijke omgeving. 'Het Singel' is gelegen in het stadsdeel Centrum.

3.1.2. [Bouwcombinatie](#)

Het innovatiepartnerschap daagt de markt uit om een innovatieve kademuur te ontwikkelen. De markt reageert op deze uitvraag met bouwcombinaties bestaande uit ingenieursbureaus en aannemers. Van de zes bouwcombinaties gaat de gemeente er met drie in zee. Deze bouwcombinaties hebben dan voor minimaal een periode van acht jaar werk voor de vervanging van de kademuren.

3.2 [Externe stakeholders](#)

De externe stakeholders zijn partijen die beïnvloed worden door de effecten van het project. Deze stakeholders zorgen voor hinder op het project.

3.2.1. [Aanwonenden](#)

De aanwonenden zijn de externe stakeholders met het meeste invloed op het project aangezien deze groep het meeste hinder van het project ondervindt. Deze groep beschikt vaak niet over de technische kennis waardoor de kans groot is dat er tegen het project gekeerd wordt, het is dus belangrijk dat deze groep op voorhand goed geïnformeerd wordt. De aanwonenden hebben het meeste belang bij de bereikbaarheid van de woningen, winkels en hotels tijdens de uitvoering. Daarnaast zijn schade aan de belendende panden en geluidshinder problemen voor deze stakeholders.

3.2.2. [Weggebruikers](#)

De weggebruikers rijden van A naar B binnen het projectgebied en dus heeft deze groep het meeste belang bij de bereikbaarheid. De bereikbaarheid wordt voornamelijk bepaald door de aanwonenden aangezien deze stakeholders goederen nodig hebben voor bijvoorbeeld de functies van winkel en hotel. Daarnaast dienen hulpverleners ten alle tijden de wegen te gebruiken.

3.2.3. [Waterschap](#)

Waterschap Amstel, Gooi en Vecht beheert het water in de omgeving. Het waterschap maakt de plannen en vervolgens neemt Waternet het uitvoeringswerk over. Waternet zorgt voor schoon riool- en afvalwater, veilige dijken en verzorgt het water in de polders en de natuur. Tevens is het Waternet verantwoordelijk voor het schoon- en onderhouden van de grachten in Amsterdam en geeft het waternet de vergunningen af voor het varen door de grachten van Amsterdam.

3.2.4. Rainproof

Rainproof is een organisatie die de inwoners van Amsterdam aanspoort om de stad klimaatbestendig te maken. Deze stakeholder heeft dan ook als hoofdbelangen klimaatbestendigheid van de kademuren en klimaatadaptatie.

3.2.5. Omgevingsdienst

Deze stakeholder is de handhaver van de omgeving en zorgt ervoor dat het bestemmingsplan wordt nageleefd.

3.2.6. Nutsbedrijven

De nutsbedrijven hebben belang bij het behoud van de kabels en leidingen. Daarnaast is er een zoektocht naar meekoppelkansen, door de koppeling van activiteiten reduceren de kosten.

3.3 Overzicht

In Tabel 7 is een overzicht weergegeven van de stakeholders met de belangen en rollen.

Stakeholder	Hoofdbelangen/Stakes	Rol
Interne stakeholders		
Gemeente Amsterdam Verkeer & Openbare Ruimte	Stabiliteit kademuren Onderhoudsarme kademuren Duurzame kademuren	Beheerder, stakeholder
Gemeente Amsterdam Monumenten & Archeologie	Bewaken historisch stad en gracht / UNESCO Werelderfgoed Beschermen monumenten	Adviseur bevoegd gezag, stakeholder
Gemeente Amsterdam Stadsdeel Centrum	Stabiliteit kademuren Onderhoudsarme kademuren Bewaken historisch aangezicht stad en gracht / UNESCO Werelderfgoed	Bevoegd gezag (in sommige gevallen), stakeholder
Bouwcombinatie	Onderhoud van het partners; Winstgevend.	Onderzoeker, uitvoerder
Externe stakeholders		
Aanwonenden	Bereikbaarheid; Schade aan panden; Geluidshinder.	
Weggebruikers	Bereikbaarheid	
Waterschap	Stabiliteit kademuren Handhaven vaarfunctie gracht Handhaven bergingsfunctie gracht Handhaven afvoerfunctie gracht Bewaken waterkwaliteit gracht Bewaken (freatische) grondwaterstand en kwaliteit grondwater Functioneren kabels en leidingen Functioneren HWA-/VWA-objecten	Bevoegd gezag, stakeholder
Rainproof	Toekomstbestendigheid kademuren Klimaatadaptatie	Stakeholder
Omgevingsdienst		Bevoegd gezag
Nutsbedrijven	Functioneren kabels en leidingen Behoud kabels en leidingen.	

Tabel 7: Overzicht

4 Programma van Eisen

Het PvE bestaat uit twee onderdelen, randvoorwaarden en richtlijnen en functie- en aspecteisen. Voor het PvE zie Appendix C – Programma van Eisen. Per onderdeel is een korte omschrijving gegeven en staat vermeld hoe de eisen verkregen zijn.

4.1 [Randvoorwaarden en richtlijnen](#)

Voor de randvoorwaarden en richtlijnen is er gekeken naar het bestemmingsplan, de eurocodes, NEN-normen, SBR-richtlijnen en overige normen die zijn gehanteerd binnen dit onderzoek.

4.1.1 [A.1 Omgeving randvoorwaarden](#)

De omgeving randvoorwaarden die gehanteerd zijn voor dit onderzoek zijn afkomstig uit het bestemmingsplan Water, alleen de relevante artikelen zijn gehanteerd voor dit onderzoek. Dit bestemmingsplan omvat alle regels omtrent het bouwen in de omgeving van water, archeologie, cultuurhistorie, waterbergingsgebied, waterkering en algemene regels voor afwijking (Gemeente Amsterdam, 2012a). De volgende artikelen zijn gehanteerd in dit onderzoek:

- A.1.1 Artikel 4 Water;
- A.1.2 Artikel 5 Waarde – Archeologie 8;
- A.1.3 Artikel 6 Waarde – Archeologie 9;
- A.1.4 Artikel 7 Waarde – Cultuurhistorie;
- A.1.5 Artikel 9 Waterstaat – Waterbergingsgebied;
- A.1.6 Artikel 10 Waterstaat – Waterkering;
- A.1.7 Artikel 13 Algemene regels om bij omgevingsvergunning af te wijken.

4.1.2 [A.2.1 Eurocodes](#)

Eurocodes zijn Europese normen die dienen als toetsing op veiligheid voor constructies (Stichting Nederlandse Normalisatie-Instituut, n.d.). De volgende Eurocodes zijn gehanteerd in dit onderzoek:

- | | |
|--------------|---|
| - Eurocode 0 | Grondslagen van het constructief ontwerp; |
| - Eurocode 1 | Belasting op constructies; |
| - Eurocode 2 | Betonconstructies; |
| - Eurocode 6 | Constructies van metselwerk; |
| - Eurocode 7 | Geotechnisch ontwerp. |

4.1.3 [A.2.2 SBR-richtlijnen](#)

Het SBR stelt rapporten en richtlijnen op voor het ontwerpen van constructies en het toetsen en controle van de invloeden op de omgeving. De trillingsrichtlijnen zijn gehanteerd om zo een werkwijze met beperkte hinder op de omgeving te waarborgen (Rijkswaterstaat - Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, n.d.). De volgende richtlijnen zijn gehanteerd in dit onderzoek:

- | | |
|-------------------------------|--|
| - Trillingsrichtlijn A (2017) | Metten en beoordelen van trillingen: Schade aan gebouwen; |
| - Trillingsrichtlijn B (2002) | Metten en beoordelen van trillingen: Hinder voor personen; |

- Trillingsrichtlijn C (2002) Meten en beoordelen van trillingen: Storing aan apparatuur.

4.1.4. [A.2.3 CUR Rapporten](#)

Het CUR Rapport 166 biedt handvaten voor het dimensioneren van damwanden en de invloed op de omliggende gebouwen. Het handboek Binnenstedelijke kademuren geeft overzicht van de ontwikkelingen van kademuren, de hoofdvormen in Nederland en biedt handvat voor inspectie, beheer en onderhoud (Kennisplatform - CROW, 2018). De volgende CUR Rapporten zijn gehanteerd in dit onderzoek:

- CUR Rapport 166 Damwandconstructies;
- CUR Rapport Binnenstedelijke kademuren;
- CUR Rapport 236 ankerpalen.

4.1.5. [A.2.4 NEN-normen](#)

De gehanteerde NEN-normen gedurende dit project zijn:

- NEN-EN 1991-1-4+A1+C2;
 - o NB Grondslagen voor het constructief ontwerp;
- NEN-EN 1990+A1+A1/C2;
 - o NB Algemene belastingen – Windbelasting.

4.1.6. [A.2.5 Uitvoeringsnormen](#)

De gemeente Amsterdam schrijft voor de uitvoeringsfase van het project het bouwbesluit, bouwprotocol en het WIOR voor. Onder het WIOR hangen het handboek ZWIA “Zo Werken wij In Amsterdam” (Vringer et al., 2017) en het BLVC-plan (Bereikbaarheid, Leefbaarheid, Veiligheid en Communicatie) (Gemeente Amsterdam, n.d.-a).

- Bouwbesluit;
- Bouwprotocol;
- Werken In Openbare Ruimte (WIOR);
 - o Zo Werken wij In Amsterdam (ZWIA);
 - o Bereikbaarheid, Leefbaarheid, Veiligheid en Communicatie (BLVC).

4.2 [Functie eisen en aspecteisen](#)

De functie- en aspecteisen zijn afkomstig uit de topspecificatie van de gemeente Amsterdam (Gemeente Amsterdam, 2018e). Deze eisen zijn verwerkt in onderdeel B en C van het PvE. Voor een weergave van deze eisen wordt verwezen naar Appendix C – Programma van Eisen.

4.2.1. [Belasting uitgangspunten Keervoorziening](#)

Eis 36 (SES-004) omvat de eisen omtrent de belasting uitgangspunten. De opdrachtnemer is verantwoordelijk voor een juiste schematisering van de maatgevende belastingcombinatie (Gemeente Amsterdam, 2018a).

De uitgangspunten omtrent de belasting van de keervoorziening zijn als volgt:

- Er mogen geen constructief dragende waarde aan onderdelen van de bestaande kademuren worden toegekend;
- Er mag niet op kleef worden gefundeerd;
- Verkeersbelasting;
 - o As-last: maximale as-last 50 ton;

- Belasting van 20 kN/m² op het mv achter de keervoorziening;
- Een lokale belasting van 50 kN/m² op een gebied van 2x1 m. direct achter de Keervoorziening conform CUR 166.
- Bomenbelasting:
 - Windbelastingen die grondpakket aangrijpen:
 - Berekeningsmethodiek windbelasting: conform SBRCURnet-publicatie 'handboek Binnenstedelijke kademuren', hoofdstuk 4.2.4;
 - Winddrukken volgens EC1:NEN-EN 1991-1;
 - Indien relevant voor (onderdelen van) de Keervoorziening: worteldrukken;
 - Bomen categorie 1 / 1e grootte;
 - Soort boom: iep;
 - Doorwortelbare diepte van minimaal 1,2 meter.
- Vaarfunctie:
 - Afmeerbelasting / troskrachten: bolderkrachten van 50 kN (recreatievaart);
 - Keervoorziening dient niet ontworpen en berekend te worden op aanvaren, echter dient voldoende sterk te zijn om niet te bezwijken bij normale aanvaring;
 - Aanvaarbescherming waar nodig;
 - Max. afmeting vaartuig 20 x 4.25 m (LxB);
 - Diepgang 1.8 m;
 - Max vaarsnelheid = 6 km/h.

5 Opstellen varianten

5.1 Algemeen

Dit hoofdstuk omvat het analyseren en filteren van mogelijke varianten voor het vervangen van de kademuur langs 'Het Singel'. Allereerst is er een functie- en objectenboom ontwikkeld, aan de hand hiervan wordt gezocht naar mogelijke bouwstenen. De bouwstenen zijn samengevoegd naar mogelijke varianten. Uiteindelijk toetst het PvE of een variant voldoet.

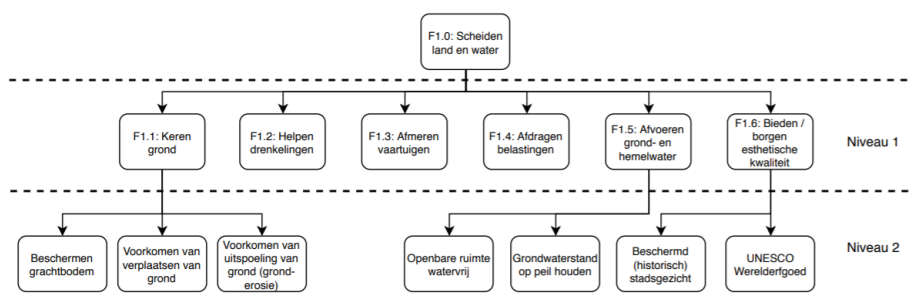
In §2.2 is de huidige constructie technisch omschreven, dit is als geen innovatieve variant beschouwd. Daarnaast zijn in het verleden toegepaste constructies voor de vervanging van kademuren ook buiten beschouwing gehouden. Dit hoofdstuk analyseert mogelijke innovatieve kademuren, met inachtneming de huidige omgeving.

In §2.4 is de problematiek van de kademuren geanalyseerd, hiermee dient rekening gehouden te worden met het ontwikkelen van de bouwstenen.

Functieboom

De functies van de kademuur zijn verwerkt in een functieboom, zie Figuur 8. Er is besloten om het aantal niveaus tot twee te beperken. De reden hiervoor is dat het ontwerp met een groot aantal niveaus al wordt vastgelegd, hetgeen wat in dit stadium van het onderzoek voorkomen dient te worden om zo vrijheid te houden voor innovatie in de ontwerpmogelijkheden.

F1.1: Keren grond is verdeeld in drie functies, waarvan twee functies het voorkomen van bezwijkmechanismen betreft. "Voorkomen van verplaatsing van grond" wordt geïnterpreteerd als het voorkomen van bezwijken van de totale constructie. "Voorkomen van uitspoeling van grond (gronderosie)" wordt geïnterpreteerd als het voorkomen van grondstroming.



Figuur 8: Functieboom

Objectenboom

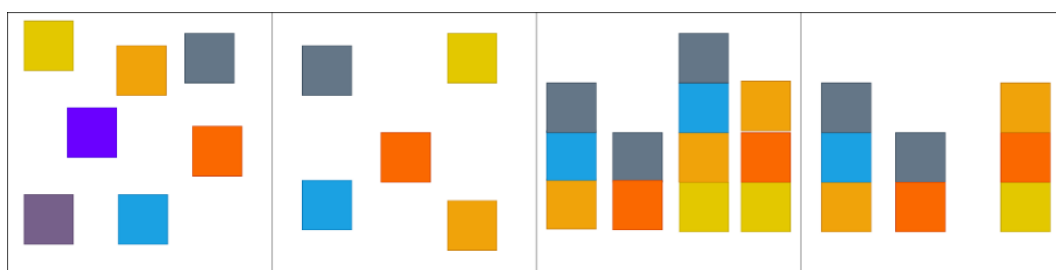
Om dezelfde reden als de functieboom is de objectenboom beperkt tot één niveau. Zo is vrijheid voor innovatie binnen de objectenboom gewaarborgd. De objecten zijn in dit onderzoek vertaald naar bouwstenen, zie §5.3 Bouwstenen.

5.2 Omschrijving filter

Om tot mogelijke varianten te komen zijn bouwstenen samengevoegd. Bouwstenen zijn onderdelen van een constructie die zijn gekoppeld tot mogelijke innovatieve varianten.

Dit filter heeft als functie om van bouwstenen naar mogelijke varianten te komen. Dit geschiedt door middel van de onderstaande stappen. Figuur 9 geeft een weergave van het filter, in de volgende paragrafen worden de stappen toegelicht. Appendix D – Bouwstenenfilter geeft een overzicht van alle bouwstenen, het filteren van deze bouwstenen inclusief toelichting en het ontwikkelen van mogelijke varianten.

1. Bouwstenen ontwikkelen;
2. Bouwstenen toetsen;
3. Van bouwstenen naar varianten;
4. Toetsing aan PvE.



Figuur 9: Weergave filter bouwstenen

5.3 Bouwstenen

De bouwstenen zijn opgesteld conform de onderstaande vragen. Bij de vragen of de bouwsteen technisch en beheer- en onderhoudbaar mogelijk is, wordt ook rekening gehouden met de stakeholders. Een voorbeeld hiervan is dat varianten trillings- en geluidsvrij aan te brengen zijn.

- Welke functies vervult de bouwsteen?;
- Is de bouwsteen technisch mogelijk?;
- Is de bouwsteen beheer- en onderhoudbaar?;
- Is de bouwsteen op zichzelf of in combinatie met andere bouwstenen innovatief?.

In Tabel 8 zijn de voor deze casus toepasbare bouwstenen weergegeven.

Bouwsteen	Toelichting	Functie(s)
Grond penetrerende bouwstenen		
Onverankerde semipermeabele damwand	Een damwand met een gat dat is afgedicht door middel van een geokunststof. Doordringbaar door water, maar niet door grond en dus blijft het waterpeil gehandhaafd en worden grondstromingen voorkomen,	F1.1 F1.4 F1.5
Prefab kadeschort	Kadeschorten zijn prefab elementen en dienen voor het esthetische aspect van de constructie. Op het oog ziet deze constructie er namelijk niet anders uit dan een traditionele kademuur. Een groot voordeel van prefab kadeschorten is dat deze snel plaatsbaar zijn.	F1.2 F1.3 F1.6
Combiwand	Deze constructie is opgebouwd een wand bestaande uit buispalen en damwanden. Deze constructie kan grote horizontale krachten opvangen.	F1.1 F1.4
Gewichtsmuur bouwstenen		
Prefab kademuur, constructie als L-wand	Een prefab kademuur die direct op de vloer dient te worden aangebracht.	F1.1 F1.2 F1.3 F1.6
Betonnen vloer	Betonnen vloer als dragende constructie, dient tevens bij het keren van de grond.	F1.4
Gewichtsblokken	Blokken die verbonden worden door middel van pengat verbindingen.	F1.1 F1.4
Funderingspalen		
Schroefpaal	Schroefpaal die dient voor fundatie op zandlaag.	F1.4
Geokunststof ommantelde palen	In de grond gevormde palen van een geokunststof gevuld met zand.	F1.4
Drijvende constructie bouwstenen		
Ponton constructie	Drijvende constructie verbonden aan een damwand. Een damwand ter bevestiging van de ponton constructie.	F1.1 F1.4 F1.6
Taludconstructie bouwstenen		
Overbouwd talud	Platform dat het hoogteverschil opvangt doormiddel van een talud.	F1.4
Lage massa bouwstenen		
EPS	Geëxpandeerd polystyreen (hierna EPS), oftewel piepschuim is een materiaal waarvan gebruik kan worden gemaakt met een evenwichtsconstructie. Kan worden gefundeerd vanwege de opwaartse druk van het grondwater.	F1.4
Lichte granulaire materialen ingepakt in folie	Dit zijn materialen die beschikken over een laag eigengewicht en is uitermate geschikt om belastingen af te dragen. Het dient als grondontlaster waardoor geen zetting op zal treden.	F1.4
Infiltratiekragen	Infiltratiekragen als dragende constructie, fundatie bestaande uit een betonnen vloer op palen. Daarop een prefab kademuur. Dient tevens als waterontspanner en zal onderloopsheid voorkomen.	F1.1 F1.4 F1.5
Grond verbeterende bouwstenen		
RoadCEM	Methode van verharden van de ondergrond door middel van het toevoegen van zeolieten. Deze stof maakt bindingen met de ondergrond waardoor de ondergrond massief wordt.	F1.4
Overige bouwstenen		
Kwelscherm	Scherm ter voorkoming van onderloopsheid.	F1.1
Drainageafvoer	Ten behoeve van het afvoeren van hemel- en grondwater.	F1.5

Tabel 8: Bouwstenen

5.4 [Varianten](#)

In deze stap worden de bouwstenen gekoppeld tot mogelijk varianten. Hierbij wordt gekeken of de bouwstenen in combinatie alle functies van de functieboom vervullen. In Figuur 10 zijn schetsen weergegeven van de tien mogelijke varianten. Een korte omschrijving volgt hieronder:

Grond penetrerende constructies

1. Een onverankerde damwand, voorzien van een geokunststof waardoor deze damwand semipermeabel is. Hieraan opgehangen een prefab kadeschort;
2. Een combiwand, met de hierboven genoemde semipermeabele damwand. Over de dwarsbalk is een prefab kadeschort opgehangen;

Gewichtsmuur constructies

3. Prefab kademuur als L-wand, licht granulaire materialen als vervanger van grond waardoor een lichtere constructie ontstaat;
4. Gewichtsblokken opgestapeld door middel van een pengat verbinding;
5. Gewichtsmuur met RoadCEM als grondverbeteraar, maakt het mogelijk om de constructie te funderen op staal;
6. L-wand gefundeerd op geokunststof ommantelde zandpalen;

Lage massa constructies

7. EPS als dragende en massa verminderende constructie. Door het eigengewicht en het grondwater ontstaat er een opwaartse kracht;
8. Infiltratiekratten ter voorkoming van onderloopsheid, dient tevens als dragende constructie voor de kademuur;

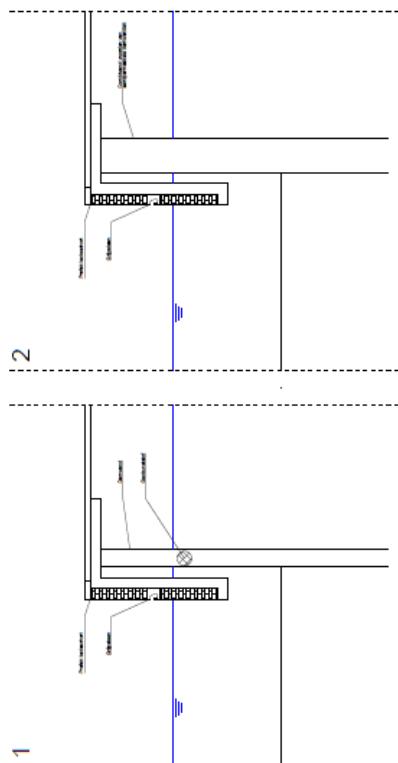
Drijvende constructies

9. Ponton constructie, drijvend verbonden aan een semipermeabele damwand;

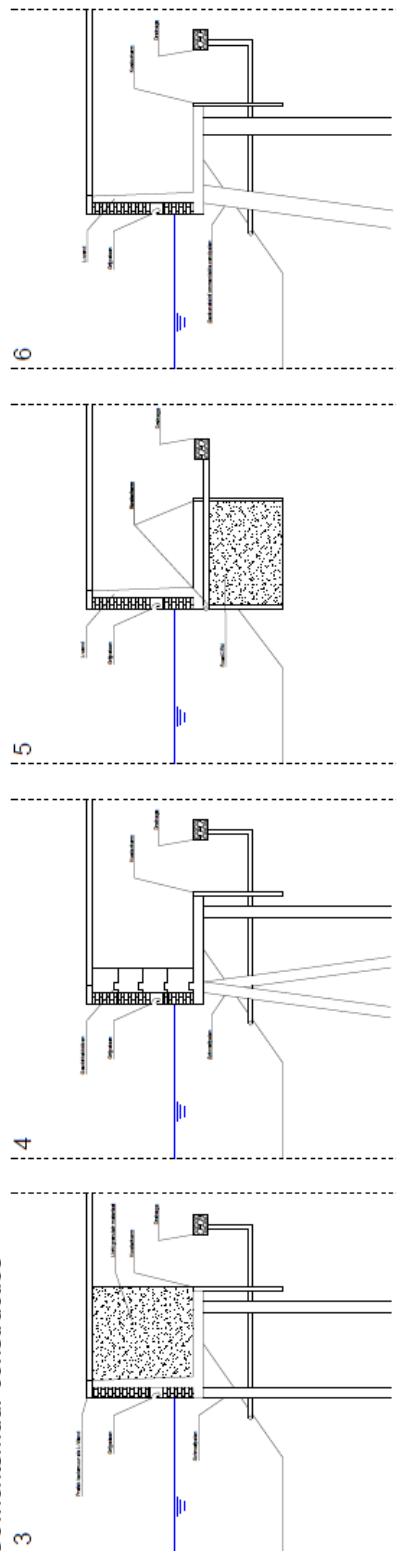
Talud constructies

10. Overbouwd talud, is gefundeerd op palen en is een kadeschort opgehangen.

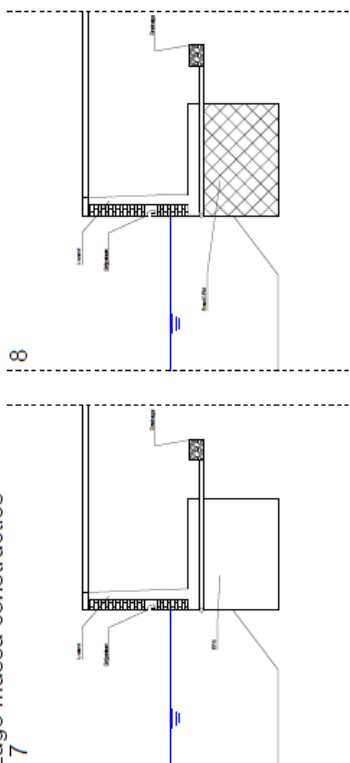
Grond penetrerende constructies



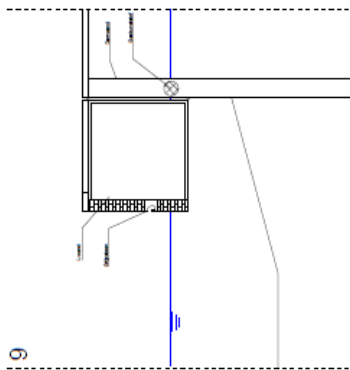
Gewichtsmuur constructies



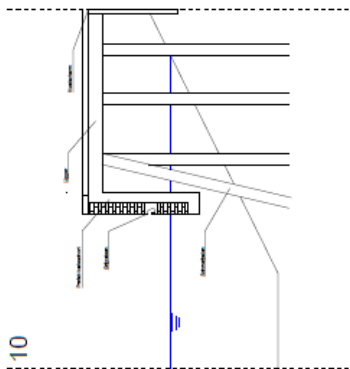
Lage massa constructies



Drijvende constructies



Talud constructies



Figuur 10: Varianten

5.5 Toetsing aan PvE

Door middel van de toetsing aan het PvE zijn de tien varianten beperkt tot drie varianten. Eerst is beargumenteerd waarom de varianten afvallen en later beschrijft deze paragraaf de kansrijke varianten. Voor een overzicht van de toetsing aan het PvE zie Appendix E – Toetsing conform PvE.

5.5.1. *Niet kansrijke varianten*

De onverankerde semipermeabele damwand voldoet niet aan eis 40 van het PvE. De damwand kan de horizontale krachten niet opnemen. Ankers zijn niet mogelijk voor de casus aangezien deze onder de belendende panden geplaatst dienen te worden. Een combiwand is een meer voor de hand liggende oplossing.

De gewichtsmuur op een grondverbetering door middel van RoadCEM voldoet niet aan eis 40 van het PvE. Het toedienen van RoadCEM tot een diepte van 13 meter onder het maaiveld is niet reëel. Als dit alleen de eerste paar meter toegediend wordt, krijgt de constructie een te zware massa waardoor zettingen ontstaan (de La Roij, 2009).

De geokunststof ommantelde funderingspalen voldoen niet aan eis 58 van het PvE. Deze palen zijn uitvoeringstechnisch erg ingewikkeld om te plaatsen en de kennis bij de Nederlandse aannemers is gering. Daarnaast zijn de kosten voor het aanbrengen van deze palen erg hoog (Rijkswaterstaat, n.d.).

De EPS blokken voldoen niet aan eis 56 van het PvE. Door het plaatsen van deze blokken is er geen ruimte voor de doorwortelbare ruimte van de bomen.

De infiltratiekragen voldoen niet aan eis 50 van het PvE, omdat infiltratiekragen veel onderhoud vergen. Daarnaast zijn infiltratiekragen onder de kademuur moeilijk te bereiken.

De pontonconstructie voldoet niet aan eis 40 van het PvE, een onverankerde damwand moet de horizontale krachten opnemen (Thom Olsthoorn & De Greef, 2014). Een oplossing hiervoor is een combiwand, echter is variant 2 dan een meer voor de hand liggende constructie.

Een overbouwd talud voldoet niet aan eis 56 van het PvE, er is namelijk geen ruimte op het platform voor het groeien van een boom.

5.5.2. *Conclusie varianten*

De varianten die voldoen aan het PvE staan hieronder kort omschreven, in het volgende hoofdstuk worden de varianten verder uitgewerkt.

Voorkeursvariant 1 - Combiwand met prefab kadeschorten

Deze variant bestaat uit een combiwand met semipermeabele damwanden. Door de combiwand kan deze constructie hoge horizontale krachten opnemen. Door de kadeschorten is bij deze variant modulair bouwen mogelijk.

Voorkeursvariant 2 - Prefab L-wand met licht granulair materiaal

Deze variant bestaat uit een prefab L-wand met daarop al een gemetselde muur. Deze constructie dient te worden geplaatst wanneer de palen fundering al is aangebracht. Door de licht granulaire materialen in folie is deze constructie relatief licht, het gevolg

hiervan is dat er niet een zodanig sterk gedimensioneerd constructie nodig is in verhouding met de huidige constructies.

Voorkeursvariant 3 - Gewichtsmuur bestaande uit legoblokken

Deze variant bestaat funderingspalen, een betonnen vloer en uit prefab legoblokken. Deze blokken zijn voorzien van een metselwerkrand. De constructie klikt door middel van pengat verbindingen in elkaar. De legoblokken zijn eenvoudig vervangbaar waardoor modulair bouwen mogelijk is.

6 Variantenstudie

Dit hoofdstuk het uitwerken van de voorkeursvarianten. De onderstaande leeswijzer geeft aan uit welke punten de uitwerking bestaat. De uitwerking van de voorkeursvarianten maakt inzichtelijk waarop de varianten onderscheidend zijn. Hierdoor is afweging mogelijk door middel van de MCA.

Aan het eind van dit hoofdstuk staan de voor- en nadelen en een kostenraming van iedere variant weergegeven. De voor- en nadelen zijn vergeleken ten opzichte van de huidige vervangingsmethodiek en bevatten ook een blik naar de risico's van de desbetreffende variant.

Iedere voorkeursvariant wordt omschreven volgens de onderstaande leeswijzer.

- **Technische haalbaarheid**

De technische haalbaarheid werpt een eerste blik naar het ontwerp, de krachtswerking en voor variant 2 en 3 een palenplan. De getroffen maatregelen gezien de locatie specifieke eigenschappen van 'Het Singel' staan hier omschreven. De krachtswerking omschrijft hoe de constructie de krachten afdraagt aan de ondergrond. Het palenplan is opgesteld middels gesprekken met de geotechnisch experts van Movares en Reader Geotechniek voor het hbo (KIVI, 2014).

- **Bouwmethodiek**

De bouwmethodiek omschrijft de uitvoering in vier fases en wordt toegelicht door middel van schetsen. Tevens is hier een schatting gemaakt van de uitvoeringsduur per variant voor 'Het Singel'. De eenheden voor de uitvoeringssnelheid zijn afkomstig uit het onderzoek van (Breederveld, 2017) en zijn verschaald van 30 meter naar 268 meter. De onderbouwing van de uitvoeringsduur is weergegeven in Appendix F – Onderbouwing uitvoeringsduur.

- **Onderhoud**

Bij onderhoud wordt er omschreven welke maatregelen er getroffen worden gezien de materiaaleigenschappen en schade te beperken. Voor het onderhoud zijn alleen de onderscheidende werkzaamheden genoemd aangezien de varianten op deze punten afgewogen gaan worden.

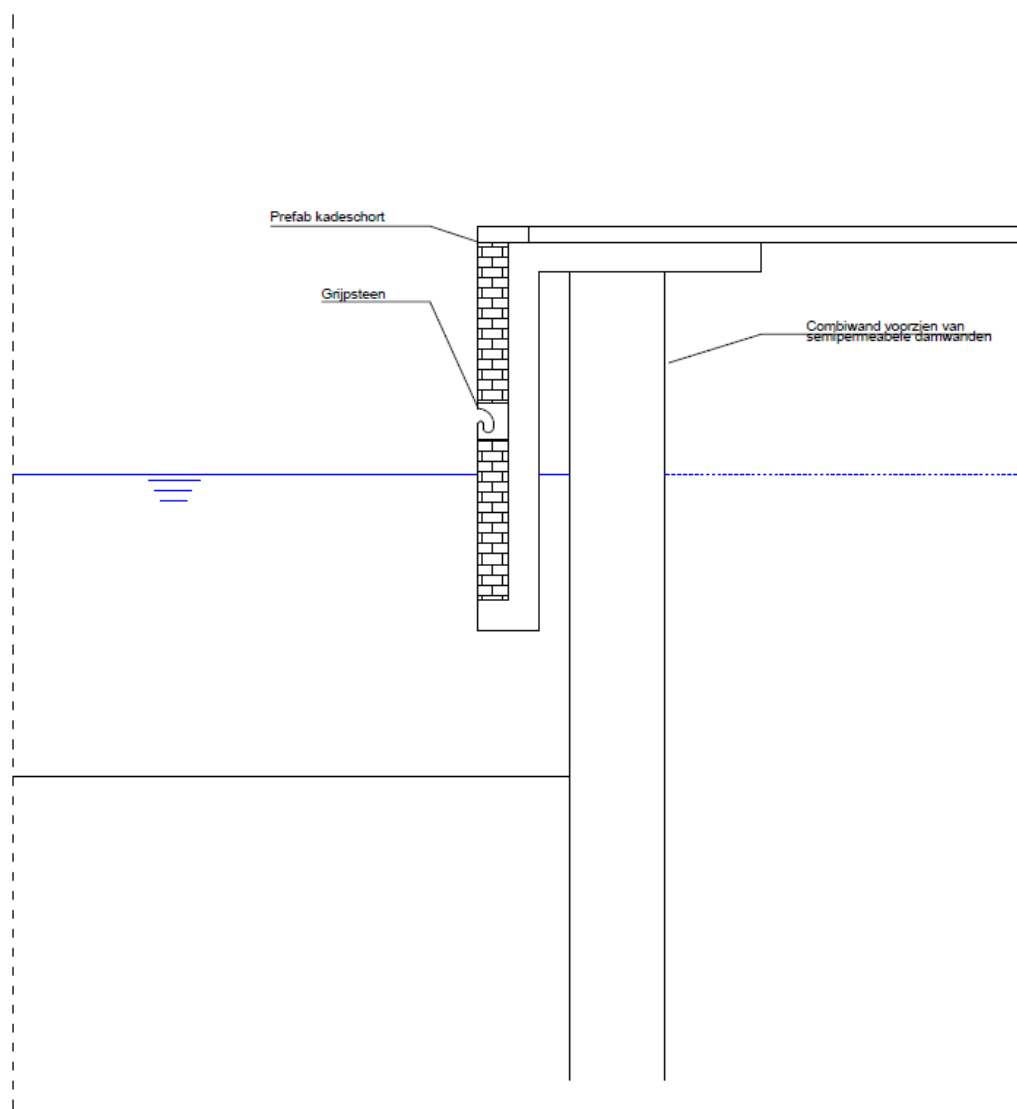
- **Duurzaamheid**

Duurzaamheid omvat een analyse naar de hoeveelheid CO₂ per ton van de betreffende constructie, afkomstig uit (SEWPCC Process Selection, 2012) en (Koning, 2017). De hoeveelheid CO₂ per ton van het metselwerk wordt buiten beschouwing gelaten omdat deze voor de drie varianten gelijk is.

Voor het betonegebruik is als referentie de doorsnede van de kademuur in Figuur 4 gehanteerd, deze heeft een inhoud van 1.9 m³/m. Het soortelijk gewicht van beton dat gehanteerd is, is 2400 kg/m³.

6.1 [Variant 1](#)

In grofzandige bodems zonder aanvullende slotvoorzieningen is een beperkte waterkerende functie toegekend aan een damwand, echter bestaat de bodem in Amsterdam uit veen en klei en is de eerste zandlaag over het algemeen pas aan te treffen op een diepte van 10 à 14 meter. Een normale damwand is dus niet waterdoorlatend in Amsterdam. Hiervoor is de semipermeabele damwand als oplossing ontworpen, het grondwaterpeil blijft gehandhaafd waardoor paalrot bij de belendende panden en inklinking van de onderliggende veenlagen wordt voorkomen.



Figuur 11: Weergave voorkeursvariant 1

6.1.1. [Ontwerpaspecten](#)

Ontwerp

De combiwand dient in de tweede zandlaag aangebracht te worden, dit betekent een diepte van 19 meter. Daarnaast is gebruik gemaakt van overdikte gezien de corrosie van staal.

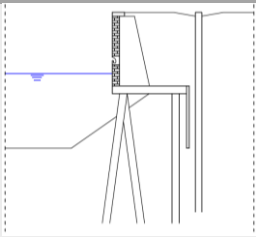
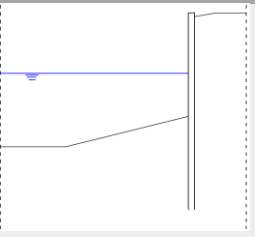
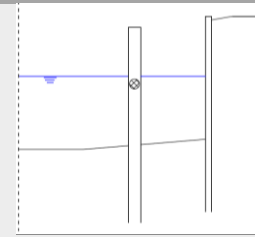
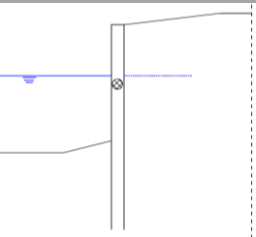
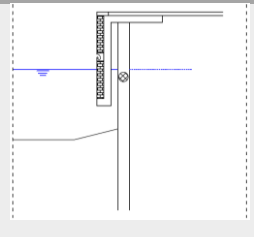
Krachtenwerking

De combiwand werkt zowel als dragende constructie van de kadeschorten als kerende constructie. Het neemt de verticale- en horizontale krachten op.

6.1.2. Bouwmethodiek

De uitvoeringsduur van deze variant voor 'Het Singel' wordt geschat op een duur van 356 dagen.

De fasering van de bouwmethodiek is in de onderstaande tabel weergegeven.

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
				
In fase 1 dient er een tijdelijke damwand te worden geplaatst.	In fase 2 wordt de oude constructie gesloopt in den natte. Hierna worden de oude funderingspalen verwijderd.	In fase 3 wordt de combiwand geplaatst vanaf de waterkant, deze wand wordt trillingsvrij aangebracht.	In fase 4 wordt de tijdelijke damwand wordt hier verwijderd en de ruimte met grond aangevuld.	In fase 5 worden de prefab kadeschorten opgehangen en wordt de constructie afgewerkt.

Tabel 9: Bouwmethodiek variant 1

6.1.3. Onderhoud

Door het modulair bouwen kunnen de kadeschorten eenvoudig en snel worden vervangen. Bij onderhoud aan het geokunststof worden de schorten verwijderd, echter zijn deze ook eenvoudig te demonteren.

6.1.4. Duurzaamheid

Staal heeft een CO₂ verbruik per ton, van 1770 kg/ton.

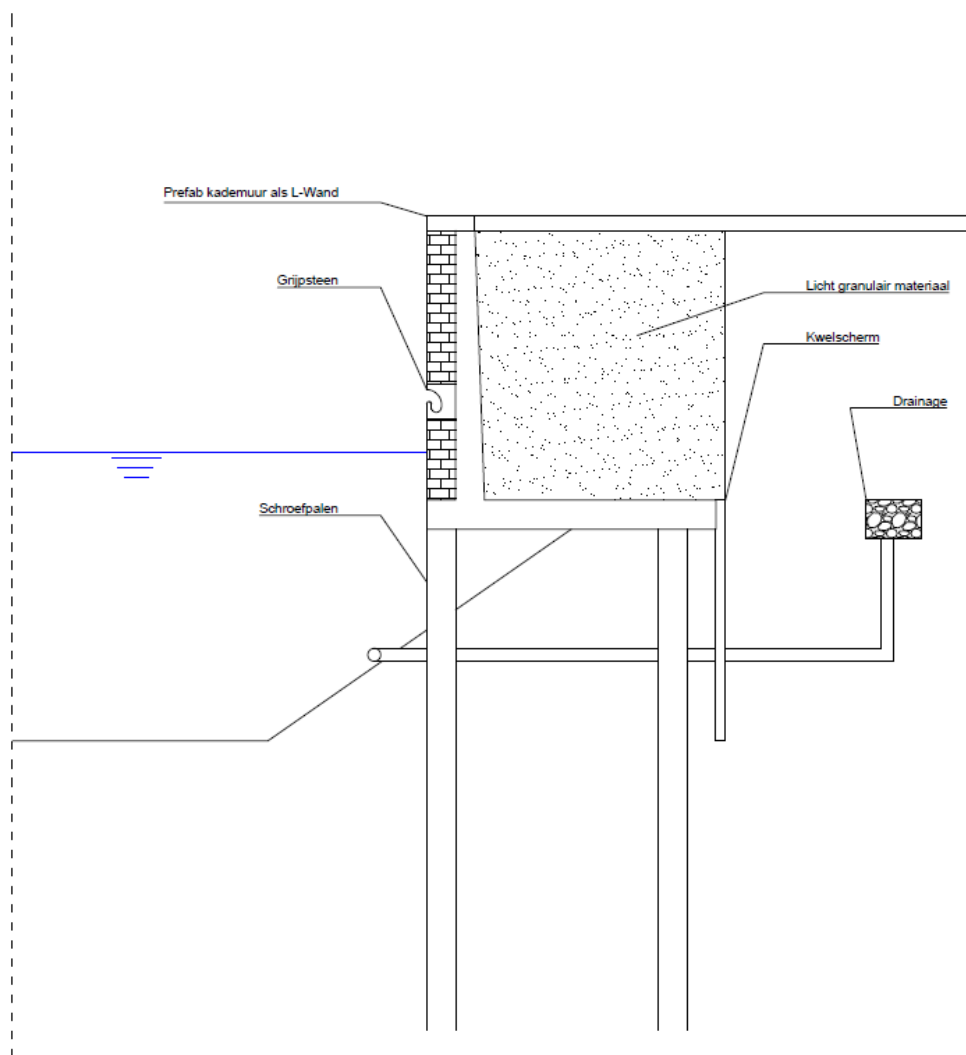
Om de hoeveelheid CO₂ per meter te bepalen is het gewicht per meter damwand bepaald. Aangezien nog niet duidelijk is welk profiel wordt toegepast is het gemiddeld gewicht per m² genomen van de profielen AZ 28 tot AZ 38 genomen, dat een gemiddeld gewicht heeft van 190 kg/m². Deze waarde is vermenigvuldigd met 19 meter, de diepte van de damwand, dit geeft een gewicht van 3.6 ton per meter.

Voor de buispaal gehanteerd met de afmetingen 508 x 10 mm, deze buizen hebben een gewicht van 123 kg/m, dus 1.750 ton per buis. Een eerste schatting is dat de buizen h.o.h. per 4.2 m geplaatst worden, dus per meter een gewicht van 0.437 ton (HPStaal, n.d.).

Dit geeft een CO₂ verbruik van ongeveer 7150 kg/m.

6.2 Variant 2

Prefab L-wand aangevuld met licht granulair materiaal. De werking van deze variant is dat de funderingspalen niet zodanig sterk gedimensioneerd hoeven te worden vanwege het licht granulair materiaal, als puimsteen (hierna BIMs). Door het gebruik maken van licht granulair materiaal wordt de massa en dus de krachten van het eigengewicht verlaagt. De prefab L-wand wordt in een keer op de palen gehesen.



Figuur 12: Weergave voorkeursvariant 2

6.2.1. Ontwerpaspecten

Ontwerp

De schroefpalen worden aangebracht in de tweede zandlaag op een diepte van 19 meter. Door middel van hijspunten hijst een kraan de prefab L-wand op de palen die verbonden zijn door een pengat verbinding.

De grootte van de prefab-elementen is een belangrijk aspect gezien het hijsen van deze elementen. De kranen hijsen maximaal een massa van 10 ton, dit betekent een lengte van 3 meter per element aangezien deze inclusief metselwerk 8.5 ton weegt (Bosch Beton, n.d.). De hijstabel van de Sennebogen 653 is als referentie aangehouden omdat deze kranen ook in bezit zijn van de bouwcombinatie (Sennebogen, n.d.). Wanneer

deze variant het best scoort, is het van belang om verder onderzoek te verrichten naar de mogelijkheden in hijsen.

Krachtswerking

De verticale schroefpalen dragen de krachten af aan de ondergrond en dienen als dragers van de kadeconstructie. Door het soortelijk gewicht van licht granulaire materiaal wordt er een massa bespaard van ongeveer 800 kg.

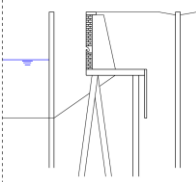
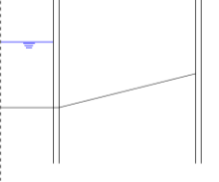
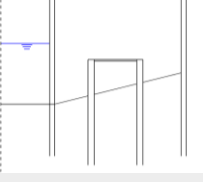
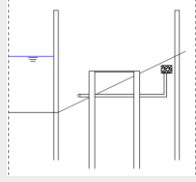
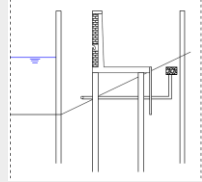
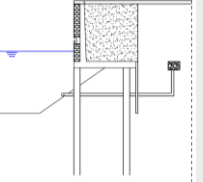
Palenplan

Diameter (D)	0.5 m
Lengte	19 m
Inhoud	3.7 m ³
H.o.h.	3*D

6.2.2. Bouwmethodiek

De uitvoeringsduur van deze variant voor 'Het Singel' wordt geschat op een duur van 501 dagen.

De fasering van de bouwmethodiek is in de onderstaande tabel weergegeven.

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6
					
In fase 1 dient de tijdelijke bouwkuip te worden geplaatst.	In fase 2 wordt binnen de bouwkuip de huidige constructie gesloopt.	In fase 3 worden er twee schroefpalen aangebracht en hiertussen wordt een stempel geplaatst om scheefstand te voorkomen.	In fase 4 wordt het drainage systeem geplaatst.	In fase 5 wordt de prefab L-wand op de palen gehees. Tevens wordt een kwel scherm geplaatst.	In fase 6 wordt keerwand aangevuld met licht granulair materiaal en wordt de achterliggende grond aangevuld.

Tabel 10: Bouwmethodiek variant 2

6.2.3. Onderhoud

Bij schade dient het metselwerk hersteld of vervangen worden. Periodiek onderhoud bestaat voornamelijk uit het onderhouden van het drainage systeem en het metselwerk.

6.2.4. Duurzaamheid

Beton heeft ten opzichte van staal een laag CO₂ verbruik per ton, namelijk 150 kg/ton. Voor de BIMs is een waarde van 171 kg/m² gehanteerd.

Aangezien de L-wand een minder groot oppervlak heeft dan de huidige constructie, is een inhoud van 1.5 m³/m aangehouden. Het gewicht aan beton exclusief de schroefpalen is dus 3600 kg/m. Dit geeft een CO₂ verbruik van 540 kg/m.

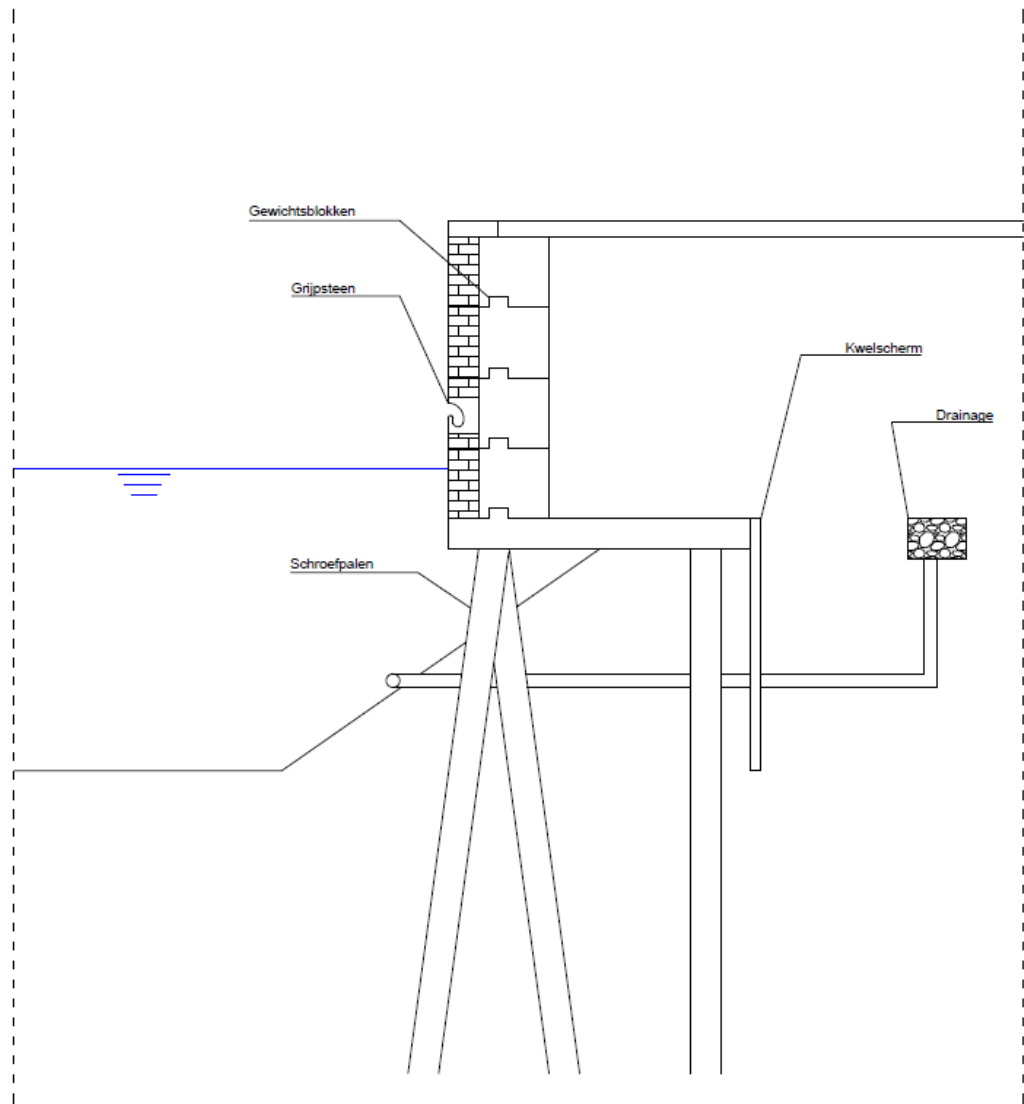
Twee schroefpalen h.o.h. 1.5 meter, dus (3.7*2)/1.5 gehanteerd en geeft 5 m³/m. Dit geeft 12 ton en een CO₂ verbruik van 1800 kg/m.

Voor de BIMs is een inhoud van 2.25 m³/m aangehouden. Dit geeft een CO₂ verbruik van 385 kg/m.

Dit geeft een CO₂ verbruik van 2725 kg/m.

6.3 Variant 3

Voorkeursvariant 3 bestaat uit een kadeconstructie opgebouwd uit een betonnen vloer op funderingspalen. Hierop dienen prefab gewichtsblokken voorzien van een bakstenen rand als scheidend object. De innovatie van deze variant berust zich op het modulair bouwen. De prefab gewichtsblokken zijn snel uitvoer- en plaatsbaar.



Figuur 13: Weergave voorkeursvariant 3

6.3.1. Ontwerpaspecten

Ontwerp

De schroefpalen dienen aangebracht te worden in de tweede zandlaag op een diepte van 19 meter. De funderingspalen van deze constructies dienen onder een scheefstand te worden aangebracht om zo de trek- en drukkrachten op te nemen. Op deze palen is een betonnen vloer gestort die voorzien is van een eerste pen, hierop zijn de prefab blokken gestapeld middels een pengat verbinding. Het kwelscherm en de drainageafvoer dienen voor het voorkomen van onderloopsheid.

Krachtenwerking

De verticale schroefpalen dragen de krachten af aan de ondergrond en dienen als dragers van de kadeconstructie. Het drainagesysteem dient ter voorkoming van onderloopsheid.

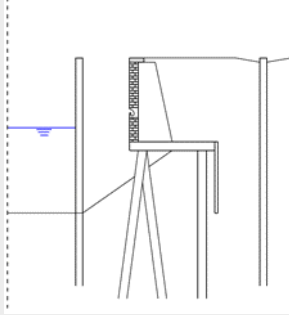
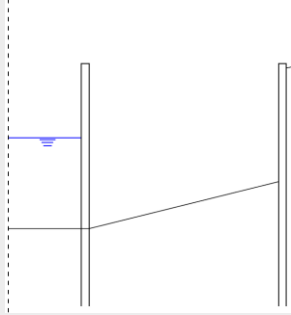
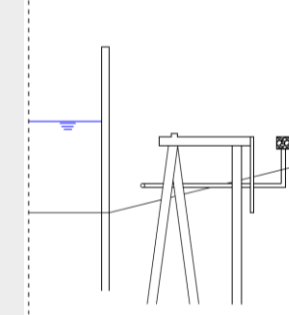
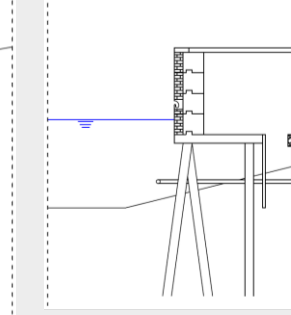
Palenplan

Diameter (D)	0.5 m
Lengte	19 m
Inhoud	3,7 m ³
H.o.h.	3*D

6.3.2. Bouwmethodiek

De uitvoeringsduur van deze variant voor 'Het Singel' wordt geschat op een duur van 519 dagen.

De fasering van de bouwmethodiek is in de onderstaande tabel weergegeven.

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
			
In fase 1 dient de tijdelijke bouwkuip te worden geplaatst.	In fase 2 wordt de huidige constructie verwijderd.	In fase 3 worden de schroefpalen aangebracht inclusief de betonnen vloer met pen. Tevens wordt een kwelscherm en drainageafvoer geplaatst.	In fase 4 wordt de constructie afgewerkt, de prefab blokken worden opgestapeld en de constructie wordt aangevuld.

Tabel 11: Bouwmethodiek variant 3

6.3.3. Onderhoud

Bij schade aan de blokken zijn deze gemakkelijk te vervangen aangezien deze demontabel zijn. Periodiek onderhoud bestaat voornamelijk uit het onderhouden van het drainage systeem en het metselwerk.

6.3.4. Duurzaamheid

Beton heeft ten opzichte van staal een laag CO₂ verbruik per ton, namelijk 150 kg/ton.

Aangezien de gewichtsblokken een nagenoeg gelijk oppervlak hebben als de huidige constructie, is een inhoud van 1.9 m³/m aangehouden. Het gewicht aan beton exclusief de schroefpalen is dus 4560 kg/m. Dit geeft een CO₂ verbruik van 684 kg/m.

Drie schroefpalen h.o.h. 1.5 meter, dus $(3.7 \cdot 3)/1.5$ en geeft 7.5 m³/m. Dit geeft 18 ton en een CO₂ verbruik van 2700 kg/m.

Dit geeft een CO₂ verbruik van 3385 kg/m.

6.4 Voor- en nadelen

Om tot een conclusie te komen voor de variantenstudie zijn de voor- en nadelen van de varianten opgesomd in Tabel 12.

Variant	Voordeel	Nadeel
1	- Trillingvrij aan te brengen; - Geluidsarm aan te brengen; - Weinig hinder voor scheepvaart door het ontbreken van een damwand aan waterzijde; - Koppelkansen mogelijk; - Geen bronbemaling nodig; - Betere recycling mogelijkheden; - Snelle uitvoeringsduur; - Modulair.	- Mogelijk meer onderhoud door corrosie; - Hoog CO₂ verbruik per meter; - Relatief duur product; - Staalprijs kan sterk variëren; - Kruisende kabels en leidingen.
2	- Trillingvrij aanbrengen; - Geluidsarm aan te brengen; - Koppelkansen mogelijk; - Minimaal onderhoud; - Laag CO₂ verbruik per meter; - Prefab L-wand kan dienen als werkruimte.	- Hinder door aanwezigheid bouwkuip; - Bronbemaling benodigd.
3	- Trillingvrij aanbrengen; - Geluidsarm aan te brengen; - Koppelkansen mogelijk; - Minimaal onderhoud; - Laag CO₂ verbruik per meter; - Modulair.	- Hinder door aanwezigheid bouwkuip; - Bronbemaling benodigd; - Relatief lange uitvoeringsduur.

Tabel 12: Voor- en nadelen varianten

6.5 Kostenraming

Nadat de varianten zijn uitgewerkt in het voorgaande hoofdstuk is er een kostenraming uitgevoerd. De resultaten van deze kostenraming zijn meegewogen in de MCA, dit wordt verder toegelicht in het volgende hoofdstuk. Voor een overzicht van de ramingen wordt verwezen naar Appendix G – Kostenramingen.

6.5.1 Methodiek

De kostenraming is uitgevoerd door middel van de gestandaardiseerde SSK-2010. Door de gestandaardiseerde vorm zijn de varianten gemakkelijk met elkaar te vergelijken. Voor dit onderzoek zijn enkel de direct benoemde bouwkosten (hierna DBB) geraamd, de levensduurkosten zijn voor dit onderzoek als niet onderscheidend beschouwd.

De DBB bestaan uit uitvoerings- en materiaalkosten. De engineeringskosten, algemene kosten, winst en risico zijn niet meegenomen omdat deze in de huidige fase nog onduidelijk en te gedetailleerd zijn. Voor de hoeveelheden is een ruwe schatting aangehouden op basis van 'Het Singel' en de uitgewerkte varianten in dit hoofdstuk.

6.5.2 Resultaat

De direct benoemde bouwkosten voor de kadevernieuwingen van 'Het Singel' zijn per variant weergegeven in de onderstaande Tabel 13: Kostenraming.

Kosten	Variant 1	Variant 2	Variant 3
DBB	€ 2.642.016	€ 2.538.204	€ 2.547.858

Tabel 13: Kostenraming

7 Multicriteria-analyse

Door middel van de uitkomsten van de MCA en de kosten zijn de varianten vergeleken zodat er één innovatieve variant overblijft. De kosten zijn gelijk gewogen ten opzichte van de score van de MCA, zie Tabel 14. De weegfactoren zijn gezamenlijk bepaald met specialisten van de afdeling constructieve waterbouw, dit wordt verder toegelicht in dit hoofdstuk. In Appendix H – Toelichting Multicriteria Analyse is de MCA weergegeven. Voor de methodiek van de MCA is de literatuur van (Reinshagen, 2007) aangehouden. Daarnaast zijn de gevoeligheden van de MCA behandeld in de discussie.

Onderdeel	Weging
MCA	0,5
Kosten	0,5

Tabel 14: Weging scores MCA en kosten

7.1 Criteria

De criteria zijn onderverdeeld in de gunningscriteria van de gemeente Amsterdam (zie Figuur 14). In de gunningscriteria zijn de ambities van het innovatiepartnerschap verwerkt. De criteria 'kansendossier' en 'samenwerking' zijn niet verwerkt als criteria in de MCA aangezien het project voor deze beoordelingscriteria nog niet gedetailleerd genoeg is. De wegingen van de gunningscriteria zijn vermenigvuldigt met 1.25 om zo een som van 1 te krijgen, deze zijn gehanteerd als weegfactoren voor de hoofdcriteria. Deze hoofdcriteria zijn onderverdeeld in subcriteria. De methodiek voor het bepalen van de weegfactoren voor deze subcriteria is beschreven in de volgende paragraaf.

Beoordelingscriterium	Min-Max Score	Weging in %
1. Opschaalbaarheid	1 t/m 5	40%
2. Impact op de omgeving		30%
3. Toekomstwaarde	1 t/m 5	
A. Circulaire oplossing	1 t/m 5	10%
B. Kansendossier	1 t/m 5	10%
4. Samenwerking	1 t/m 5	10%

Figuur 14: Gunningscriteria gemeente Amsterdam

7.1.1. Niet onderscheidende criteria

Geluidshinder en trillingen zijn als niet onderscheidende criteria beschouwd. De reden hiervoor is dat deze voor iedere variant nagenoeg gelijk zijn omdat bij het ontwikkelen van varianten is namelijk gezocht naar trillingvrije methodes van aanbrengen. Geluidshinder en trillingen zijn dus alleen afkomstig van het materieel en zijn voor elke variant gelijk.

7.2 Weegfactoren

Door alle subcriteria binnen de hoofdcriteria tegen elkaar af te wegen wordt de weegfactor bepaald. Dit geschiedt met behulp van experts binnen constructieve waterbouw van Movares Nederland b.v.. De hiervoor genoemde wijze van afweging legt twee criteria naast elkaar waarna bepaald wordt welke van de twee voor dit onderzoek als belangrijker beschouwd wordt. Er wordt een 1 toegekend als dit criterium zwaarder of gelijk weegt. Er wordt een 0 ingevuld als het criterium in de rij minder zwaar weegt dan het criterium.

Figuur 15 en Figuur 16 geven hiervan een weergave voor hoofdcriteria 2 en 3. Hoofdcriteria 1 bestaat uit één criteria dus is hier als subweegfactor een 1 gehanteerd.

	Bereikbaarheid.	Bemalingswerkzaamheden.	Grondvervormingen.	Uitvoeringsduur voor hinderbeleving.		Som	Wegingsfactor
Bereikbaarheid.	1	0	0	0		2	0,2
Bemalingswerkzaamheden.	0	1	0	0		1	0,1
Grondvervormingen.	1	1	1	1		4	0,4
Uitvoeringsduur voor hinderbeleving.	1	1	0	1		3	0,3
Totaal						10	1

Figuur 15: Methodiek bepalen weegfactoren hoofdcriterium 2

	Toepassing van modulair bouwen.	Aanpasbaarheid aansluitconstructies.	Mogelijkheid functies achter kademuur	Duurzaamheid.	Robuustheid		Som	Wegingsfactor
Toepassing van modulair bouwen.	1	1	0	1	0		3	0,19
Aanpasbaarheid aansluitconstructies.	1	1	0	1	0		3	0,19
Mogelijkheid functies achter kademuur	1	1	1	1	0		4	0,25
Duurzaamheid.	0	0	0	1	0		1	0,06
Robuustheid	1	1	1	1	1		5	0,31
							16	1

Figuur 16: Methodiek bepalen weegfactoren hoofdcriterium 3

Middels een rekensom is een weegfactor uit elk criterium naar voren komen. Door het gebruik van de rekensom zijn de weegfactoren goed onderbouwd en zuiver. De gewogen criteria zijn weergegeven in Tabel 15.

Hoofdcriterium	Subcriterium	Toelichting	Subweeg-factoren	Weeg-factor
Opschaalbaarheid				0.5
	Toepassing voor verschillende contexten.	Om opschaalbaarheid te vergroten moet de constructie voor meerdere locaties toepasbaar zijn.	1	
Impact op de omgeving				0.375
	Bereikbaarheid	Doorstroming van zowel verkeer als scheepvaart.	0.2	
	Bemalingswerkzaamheden	Wanneer er tijdens de uitvoering gebruik wordt gemaakt van een bouwkuip dient er tevens bronbemaling toegepast te worden. Dit heeft een grote impact op de omgeving qua geluid, stank, CO ₂ -verbruik en fluctuaties in de grondwaterstand. De kosten van bronbemaling zijn meegewogen in de kosten, daarnaast is er voor werken in den natte een hogere eenheidsprijs gehanteerd aangezien dit de uitvoering bemoeilijkt.	0.1	
	Grondvervormingen	Grondvervormingen als gevolg van uitvoering, zetting, boven belasting.	0.4	
	Uitvoeringsduur voor hinderbeleving	Hoe korter de uitvoeringsduur, hoe minder lang de hinder duurt. De uitvoeringsduur is mede bepalend voor de opschaalbaarheid.	0.3	
Toekomstwaarde				0.125
	Toepassing van modulair bouwen.	Modulair bouwen is mogelijk, bij schade kunnen er uit een opslag elementen worden gehaald om de desbetreffende delen te vervangen. Tevens dient modulair bouwen ervoor om het onderhoud, inspecteren en herstellen van de kades te vereenvoudigen.	0.19	
	Aanpasbaarheid aansluitconstructies.	Toekomstige aanpassingen aan de kunstwerken naast de kademuren hebben impact op de kademuren. Een makkelijk aanpasbare kademuur zal minder technische moeilijkheden met zich meebrengen, indien naastliggende kunstwerken worden aangepast.	0.19	
	Mogelijkheid functies achter kademuur	Mogelijkheid tot toepassen ruimte voor functies achter de constructie	0.25	
	CO₂ verbruik	Lager CO ₂ -verbruik tijdens de productie van de constructie is een significant deel van de totale CO ₂ -uitstoot in het project.	0.06	
	Robuustheid	Hoe robuuster de variant, hoe groter de toekomstwaarde van de variant.	0.31	

Tabel 15: Criteria met weegfactoren

7.3 Scoremethodiek

Om een uiteindelijke score te bepalen per variant zijn voor de criteria de scores 1,2,3,4 of 5 gehanteerd. De waarde 1 geeft aan dat de variant slecht scoort op het criterium, vanzelfsprekend betekent 5 een goede score op het criterium. Per criterium is de weging gestandaardiseerd naar een waarde tussen de 1 en de 5. Voor kwalitatieve criteria is er gebruik gemaakt van onderlinge afweging, de best scorende variant krijgt een 5 toegekend, de slechtst scorende een 1. Daarna volgt automatisch voor de gemiddelde variant een score van 3. Zie Appendix H – Toelichting Multicriteria Analyse voor een onderbouwing van de scoremethodiek per criteria.

7.4 [Kosten](#)

In §6.5 zijn de DBB geraamd. Deze kosten zijn verdisconteerd in de MCA. Om de kosten te standaardiseren zijn ze omgerekend naar een score tussen de 1 en 5 zodat deze verdisconteerd zijn in de MCA-score. De kosten worden vergeleken met de gemiddelde kosten van de drie voorkeursvarianten.

Omdat de gemeente Amsterdam tracht naar de helft minder kosten, is een bandbreedte van een factor 0.5 gehanteerd, alles wat daarbuiten valt krijgt de score 1 of 5. De score interval van de kosten is weergegeven in Tabel 16.

Score	Omschrijving
1	Kosten $\geq$ dan een vermenigvuldiging van 1.5 met gemiddelde kosten per strekkende meter
2	Kosten $\geq$ dan een vermenigvuldiging van 1.25 met gemiddelde kosten per strekkende meter
3	Kosten = gemiddelde kosten per strekkende meter
4	Kosten $\leq$ dan een vermenigvuldiging van 0.75 met gemiddelde kosten per strekkende meter
5	Kosten $\leq$ dan een vermenigvuldiging van 0.5 met gemiddelde kosten per strekkende meter

Tabel 16: Score interval kosten

7.5 [Conclusie](#)

De best scorende variant is variant 1 – Combiwand met prefab kadeschorten. Voor een toelichting en onderbouwing van de toegekende waardering zie Figuur 17.

MULTICRITERIA-ANALYSE AFWEGING INNOVATIEVE VARIANT			
Subcriterium	Variant 1: Semipermeabele combiwand	Variant 2: Prefab L-wand	Variant 3: Gewichtsblokken
Opschaalbaarheid	2	1,5	1,5
Toepassing binnen verschillende contexten	4	3	3
	Voldoet aan punt 1 t/m 4 van dit criterium. Uitvoering met de aanwezigheid van woonboten is niet mogelijk.	Voldoet aan punt 1 t/m 3 van dit criterium. Uitvoering met behoud van bestaande bomen en aanwezigheid van woonboten is niet mogelijk.	Voldoet aan punt 1 t/m 3 van dit criterium. Uitvoering met behoud van bestaande bomen en aanwezigheid van woonboten is niet mogelijk.
Impact op de omgeving	4	2,8	3,1
Bereikbaarheid.	4	2	2
	Uitvoering met enkele damwand is mogelijk, zie variantenstudie.	Bouwkuip is benodigd, echter blokafsluiting is mogelijk. Zie variantenstudie.	Bouwkuip is benodigd, echter blokafsluiting is mogelijk. Zie variantenstudie.
Bemalingswerkzaamheden.	5	3	1
	Bij uitvoering geen bronbemaling benodigd.	Bij uitvoering bronbemaling benodigd, echter niet voor lange tijd van toepassing.	Bij uitvoering bronbemaling benodigd, dient het langst toegepast te worden van de 3 varianten.
Grondvervormingen.	3	3	5
	Drukken van een combiwand voorkomt zettingen en verdichtingen in de ondergrond. Echter dient er achter de combiwand grond aan te worden gevuld, dit kan zettingen tot gevolg hebben.	Deze variant vervangt gebiedseigengrond voor een lichter materiaal, een risico hiervan kan zijn dat de grond zal gaan vervormen.	Deze variant is qua grondbalans nagenoeg gelijk aan de huidige situatie en dus scoort deze variant een 5.
Uitvoeringsduur voor hinderbeleving.	5	3	2
	356 dagen	499 dagen	519 dagen
Toekomstwaarde	3,13	3,38	3,56
Toepassing van modulair bouwen.	3	1	5
	De kadeschorten van deze constructie zijn eenvoudig te demonteren en te vervangen.	Deze variant scoort het laagst aangezien deze niet modulair is.	De gewichtsblokken zijn eenvoudig te demonteren en te vervangen. De vloer van de constructie kan hierdoor gemakkelijk bereikt worden.
Aanpasbaarheid aansluitconstructies.	3	5	2
	Deze variant dient cosmetisch aangepast te worden voor aansluitconstructies.	Deze variant is gemakkelijk aan te passen op naastgelegen kunstwerken. Speciale prefab onderdelen kunnen worden gerealiseerd.	De gewichtsblokken hebben een vaste maat, om hoogteverschillen in het maaiveld en aanliggende kunstwerken op te vangen dient deze variabele opgevangen te worden in de fundering, dit brengt hierdoor veel problematiek met de variant mee.
Mogelijkheid functies achter kademuur	4	3	3
	Volledige ruimte beschikbaar achter de kade. Echter dient rekening te worden gehouden met de sterkte van de damwand.	Tot op de vloer van de kademuur kunnen functies vervuld worden, hierbij dient rekening te worden gehouden met de draagkracht van de constructie.	Tot op de vloer van de kademuur kunnen functies vervuld worden, hierbij dient rekening te worden gehouden met de draagkracht van de constructie.
Duurzaamheid.	1	4	4
	7150/4590=1.55	2725/4590=0.59	3385/4590=0.74
Robuustheid	3	4	4
	Deze variant is gevoelig voor erosie.	Minimale hinder van buitengewone belastingen op constructie.	Minimale hinder van buitengewone belastingen op constructie.
MCA score	2,9	2,2	2,4
Kosten	€ 2.642.016	€ 2.538.204	€ 2.547.858
Kosten score	2,9	3,1	3,0
Totaal score (MCA en kosten)	2,9	2,7	2,7

Figuur 17: Overzicht scores MCA

8 Voorlopig ontwerp

In dit hoofdstuk wordt het VO gepresenteerd voor de innovatieve kadevernieuwing van 'Het Singel'. In Figuur 18: Visualisatie kademuur is een visualisatie weergegeven van de kademuur en omgeving. Verder omvat het VO berekeningen, tekeningen, uitvoeringsaspecten en meekoppelkansen.



Figuur 18: Visualisatie kademuur

8.1 [Berekeningen](#)

Deze paragraaf omvat het dimensioneren van de combiwand. De combiwandberekeningen binnen dit rapport zijn uitgevoerd conform de CUR 166 Damwandprofielen en de NEN-EN 1990. In Appendix I – D-sheet rapport zijn de D-sheet rapporten weergegeven. Deze appendix bevat twee bestanden:

- D-Sheet rapport 01 - Voorlopig Ontwerp;
- D-Sheet rapport 02 - Gevoeligheidsanalyse.

8.1.1. [Berekeningsmethode](#)

De berekeningen zijn gemaakt door middel van het programma D-sheet piling van Deltares. Dit is een eendimensionaal eindig elementenprogramma, die de momenten, dwarskrachten en verplaatsingen van de combiwand berekend.

De combiwand wordt gedimensioneerd op de bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT). Hierbij horen de onderstaande controle eisen:

- Het overschrijden van de passieve weerstand van de damwand;
- Het ontstaan van een vloeimoment/breukmoment in de damwandplanken;
- Het overschrijden van de verticale draagkracht.

8.1.2. Uitgangspunten

De uitgangspunten voor de invoer van de D-sheet berekeningen zijn opgesteld conform de omgevingsanalyse en het PvE.

Veiligheidsklasse

Conform tabel B1 van NEN-EN 1990 is de combiwand, gezien de hoge schade na falen van de constructie, ingedeeld in veiligheidsklasse RC3.

Maximale uitbuiging

De maximale uitbuiging voor de combiwand bedraagt 50 mm (BGT).

Damwandprofiel

Vanwege de grote treksterkte is gebruik gemaakt van een Z-profiel. Een Z-profiel heeft daarnaast in verhouding een lagere massa bij een vergelijkbare module sectie van een U-profiel. Ook is dit profiel uitvoeringstechnisch gunstiger dan een U-profiel.

Uit tabel 9.2 van de CUR 166 deel 1 blijkt dat voor een levensduur van 100 jaar, het staal een dikte verlies zal hebben van 2 mm als gevolg van corrosie. Hiervoor is een dikteverlies van 0,01 mm/jaar gehanteerd. Er is geen gebruik gemaakt van kathodische bescherming of coating.

Ankers

Er wordt geen gebruik gemaakt van ankers aangezien deze een problematisch zijn met de belendende infra en hierdoor de constructie in mindere mate opschaalbaar is.

Minimale inheidiepte

De minimale inheidiepte voor de buispalen ligt op -17 meter NAP gezien de geotechnische opbouw van 'Het Singel'. Voor de damwanden ligt deze diepte op -3.65 meter NAP. Zo wordt de eerste kleilaag bereikt waardoor uitspoeling wordt voorkomen en een mindere hoeveelheid staal gebruikt.

Terrein- en verkeersbelasting

Eis 36 (SES-004) omvat de eisen omtrent de belasting uitgangspunten. De opdrachtnemer is verantwoordelijk voor een juiste schematisering van de maatgevende belastingcombinatie (Gemeente Amsterdam, 2018a).

De belangrijkste belastinguitgangspunten staan in Tabel 17 weergegeven, voor een compleet overzicht zie §4.2:

Belasting	Afstand t.o.v. kade	Grootheid	Richting
Verkeersbelasting	5m tot 8m	25 kN/m ²	Horizontaal
Lokale belasting	0m tot 2m	50 kN/m ²	Horizontaal
Bomenbelasting	2m tot 5m	7 kN/m ²	Horizontaal/ Verticaal
Afmeerbelasting	0m	3 kN/m	Verticaal

Tabel 17: Belasting uitgangspunten

Geotechnische opbouw

Voor de berekeningen zijn de geotechnische parameters uit Tabel 4 aangehouden.

8.1.3. Berekenings- resultaten

In Appendix I – D-sheet rapport is het technisch rapport van D-sheet piling weergegeven. In Tabel 18 zijn de belangrijkste resultaten, rekenwaarden en uitgangspunten gepresenteerd. Deze zijn mede bepaald door de combinatiewand calculator van ArcelorMittal. Deze calculator berekend het traagheids- en weerstandsmoment, maximaal buigend moment en de buigstijfheid van de combinatiewand.

Gezien de overdikte is gerekend met een AZ36-700 profiel, echter is een AZ40-700 profiel toegepast gezien deze 2 mm dikker is en dus aansluit op het corrosie uitgangspunt.

Doorsnede	
Buispaal	Ø1220 mm (dikte 32mm) (S350)
Lengte	18.85 meter
Inbeddingsdiepte	NAP -17,5 meter
Damwandprofiel	AZ 36-700 (S240)
Lengte	5 m
Maatgevende breedte	2.67 m
Inbeddingsdiepte	NAP -3.65
Traagheidsmoment	836686cm ⁴ /m ¹
Weerstandsmoment	13716cm ³ /m ¹
Rekenwaarde optredend buigend moment	4869 kNm/m ¹
Rekenwaarde buigstijfheid	1757041 kNm ² /m ¹
Maximum uitbuiging (BGT)	49.5 mm

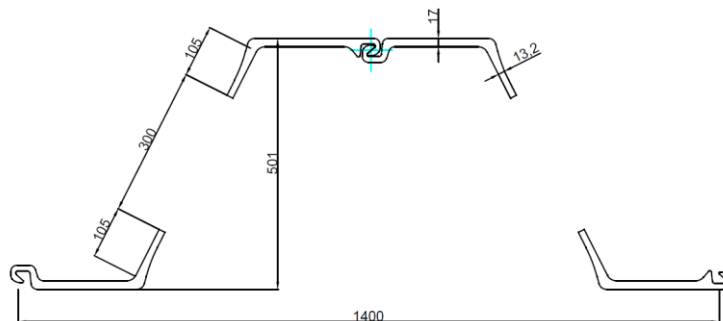
Tabel 18: Maatgevende resultaten, rekenwaarden en uitgangspunten

8.1.4. Overige berekeningen

Gereduceerd weerstandsmoment

Door het filterraam neemt het weerstandsmoment af, de materiaaleigenschappen veranderen namelijk op deze locatie. Door middel van Autocad is het traagheidsmoment (I) bepaald. Door middel van de onderstaande formule is het gereduceerde weerstandsmoment (W_{el}) bepaald, hieruit blijkt dat het gereduceerde weerstandsmoment 3860 cm³/m¹ is ten opzichte van de normaliter 4000 cm³/m¹. Een reductie van nog geen 3.5%. Daarnaast werkt het maximum moment -12.5 meter NAP. Dit samen maakt het gereduceerde weerstandsmoment verwaarloosbaar.

$$Wel = \frac{I}{0.5 * h}$$



Figuur 19: Damwandprofiel AZ40-700 inclusief filterraam (maatvoering in mm)

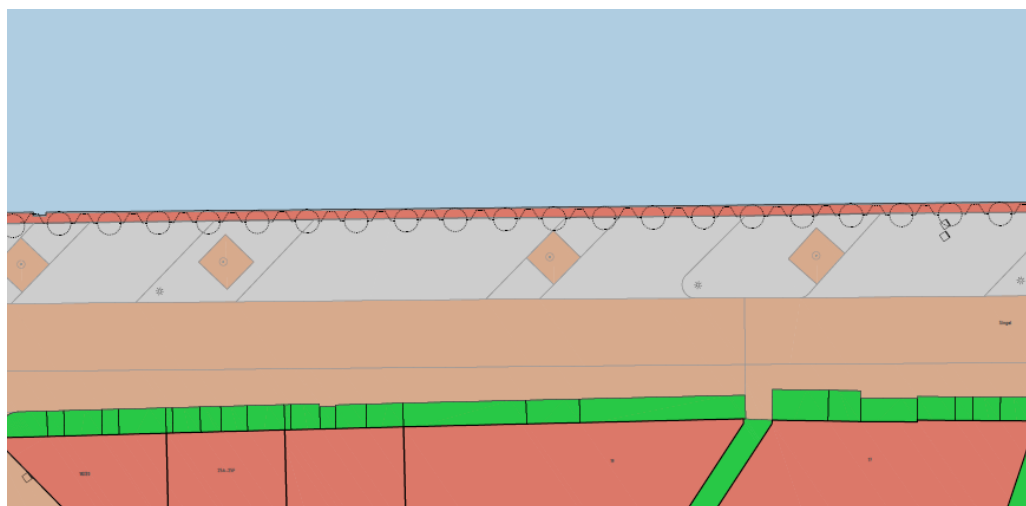
8.2 Tekeningen

In deze paragraaf worden de tekeningen toegelicht. De technische tekeningen zijn opgenomen in Appendix J – Technische tekeningen en deze bevat de volgende tekeningen:

- T01 – Overzichtstekening;
- T02 – Bovenaanzicht semipermeabele damwand;
- T03 – Verbinding buispalen en damwand;
- T04 – Tekening doorsnede filterraam;
- T05 – Tekening oplossing zinker.

8.2.1. Overzichtstekening

De overzichtstekening is weergegeven in T01. De inpassing van de combinatiewand in de omgeving is hierdoor verduidelijkt. Figuur 20 geeft een deel van de overzichtstekening weer.



Figuur 20: Weergave overzichtstekening

8.2.2. Semipermeabele damwand

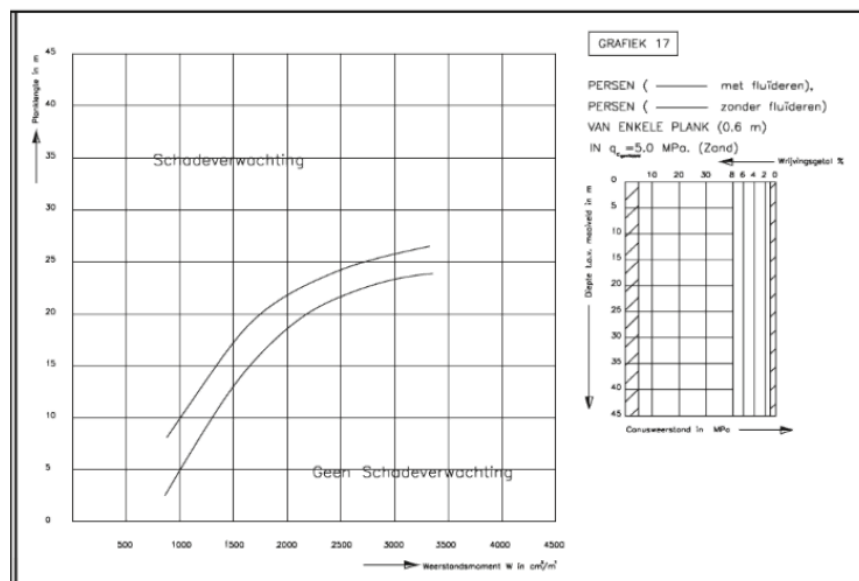
De semipermeabele damwand is weergegeven in T02 en T03. In deze tekeningen zijn de damwandprofielen met de verbinding van het geokunststof weergegeven. De

8.2.3. Filterraam

8.2.4. Zinker

8.3 Uitvoeringsaspecten

8.3.1. Aanbrengen combiwand



Figuur 22: Grafiek schadeverwachting bij drukkend aanbrengen

8.3.2. Transport onderdelen

Transport van de onderdelen dient te geschieden via de grachten. Hiervoor zijn elektrische stadHUBs ontwikkeld die beschikken over 80 ton laadruimte en speciaal ontwikkelde lage kranen (PKWaterbouw, n.d.).

De buispalen hebben een massa van 17.7 ton per stuk. De damwandplanken een massa van circa 300 kg per stuk. Vervoer via deze elektrische stadHUBs is dus haalbaar omdat deze maximaal 80 ton kunnen vervoeren (BartelingBuizen, n.d.).

8.4 Kostenraming

De kosten zijn geraamd middels dezelfde methodiek omschreven in §6.5 en betreft dus alleen de DBB. De uiteindelijke DBB bedragen € 3.203.092,-. Zie Appendix K – Kostenraming Voorlopig ontwerp voor een onderbouw.

8.5 Meekoppelkansen

Deze variant maakt veel meekoppelkansen mogelijk, achter de constructie is namelijk meer dan voldoende ruimte voor het vervullen van verscheidene functies. De volgende functies zijn mogelijk om kansen mee te koppelen:

Waterberging

Achter de combinatiewand is er mogelijkheid om een waterberging te realiseren door het toepassen van infiltratiekratten. Op deze manier kan hemelwater worden opgevangen en draagt dit bij aan het water robuust maken van de stad. Dit sluit aan op de ambitie van Amsterdam Rainproof.

Ondergrondse containers

Vanwege de grote ruimte achter de combinatiewand is het mogelijk om hier ondergrondse containers te plaatsen.

9 Conclusie en Aanbevelingen

Dit hoofdstuk bevat de conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek. De aanbevelingen van dit hoofdstuk bieden handvaten voor verdere uitwerking van deze variant.

9.1 [Conclusie](#)

In de conclusie wordt antwoord gegeven op de volgende hoofdvraag die is gesteld in de inleiding:

‘Wat is voor de referentiecaser ‘Het Singel’ de meest geschikte innovatieve oplossing voor vervanging van de kademuren conform de ambities van de gemeente Amsterdam?’

Door middel van een bouwstenenfilter en de MCA is de semipermeabele combiwand als de meest innovatieve uit de variantenstudie gekomen. De MCA liet zien dat de semipermeabele combiwand de meest innovatieve oplossing is op basis van het opgestelde afwegingskader. Op het hoofdcriteria ‘toekomstwaarde’ scoorde deze variant het minst goed, dit is voornamelijk te danken aan de grote hoeveelheid staal die nodig is voor deze variant. De voordelen van deze variant zijn voornamelijk gelegen op de ambities opschaalbaarheid, tijd en hinder. Vanwege de grote hoeveelheid staal scoort deze variant het minst goed op de ambitie van de kosten.

Het resultaat van de stabiliteitsberekeningen in het voorlopig ontwerp geven aan dat de constructie technisch haalbaar is. Wel bleek dat om stabiliteit te waarborgen een velen malen grotere dimensionering van de constructie nodig is dan op voorhand verondersteld werd. Er dienen Ø1220 mm buispalen aangebracht te worden in plaats van Ø510 mm buispalen die gehanteerd zijn in de variantenstudie. Er is dan ook een aanzienlijk verschil in de DBB, deze bedraagt per meter €11.951 hetgeen resulteert in een verschil van €2.093 t.o.v. de €9.858 per meter die voortkwam uit de raming van de variantenstudie.

De variant biedt veel ruimte voor meekoppelkansen. Achter de combinatiewand is er een grote hoeveelheid ruimte beschikbaar die kan dienen voor het vervullen van functie achter de keervoorziening. Mogelijkheden hiervoor zijn het bergen van water en het plaatsen van ondergrondse containers.

9.2 [Aanbevelingen](#)

De aanbevelingen ter verbetering van de semipermeabele combiwand na afloop van dit onderzoek zijn als volgt:

- Aangezien de constructie zodanig gedimensioneerd dient te worden om de grote momenten op te vangen, wordt voorgesteld om een onderzoek te doen naar andere manieren om deze momenten op te vangen. Denk aan het gebruik van een schoorpaal of groutankers;
- Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar het toepassen van meekoppelkansen.

10 Discussie

Voor de discussie van dit onderzoek is er gekeken naar de beperkingen, resultaten, betrouwbaarheid en suggesties voor vervolgonderzoek.

10.1 [Beperkingen](#)

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de stukken van de gemeente Amsterdam. Aangezien de definitieve stukken van het innovatiepartnerschap pas medio april 2019 beschikbaar waren, zijn de eisen uit het concept Topspecificatie aangehouden. Dit in verband met het tijdsverlies dat geleden zou zijn als gevolg van het aanpassen van het PvE, de functie- en objectenboom, bouwstenenfilter en dus het geheel. Dit dient in acht te worden genomen voor vervolgonderzoek naar innovatie op het vlak van kademuren.

10.2 [Resultaten](#)

Multicriteria-analyse

Een gevoeligheidsanalyse is cruciaal bij het gebruik van een MCA. Het doel van de gevoeligheidsanalyse is om te bepalen hoe robuust het resultaat is van de MCA. Een MCA is een menselijke activiteit. De meningen en waarderings van actoren zijn hiervoor dan ook bepalend. De gevoeligheidsanalyse geeft inzicht in de onzekerheid van de MCA.

Alhoewel de verschillen minimaal zijn, kan uit de gevoeligheidsanalyse worden geconcludeerd dat de MCA robuust is. Wanneer alle hoofdcriteria een gelijke weging hebben blijft de uitkomst van de MCA gelijk. Daarnaast is de MCA niet kostengevoelig. Bij een weging van 70% voor de kosten is variant 1 nog steeds het best scorende alternatief, echter zijn er bij een wegingsfactor voor de kosten vanaf 71% wel veranderingen te zien in de uitkomst.

Onzeker is of de juiste criteria zijn meegewogen in de MCA en of deze goed zijn vertaald vanuit de ambities en gunningscriteria vanuit de gemeente Amsterdam. Door middel van terugkoppeling is dit gewaarborgd en is getracht om dit zo compleet mogelijk uit te voeren.

Meetonzekerheden zijn beperkt door gebruik te maken van 10 criteria, zo blijft het aantal onzekerheden in de metingen van de criteria beperkt en verhoogt dit de kwaliteit van de uitkomst.

Omgevingsonzekerheden leiden tot onzekerheden in de scores. Het betreft hierbij factoren die buiten de invloed liggen van dit onderzoek. Enkele voorbeelden hiervan zijn economische groei, autoverkeer en klimaatverandering.

Voorlopig ontwerp

De exacte dimensionering van de constructie is pas in hoofdstuk 8 vastgesteld. Dit profiel geeft een ander resultaat voor de kostenraming en het CO₂ verbruik. Gezien de grote buispalen die toegepast dienen te worden en de kleine h.o.h. afstand is deze constructie zwaar, wat tot gevolg heeft dat het CO₂ verbruik en de kostenraming aanzienlijk zijn gestegen. Dit geeft geen zuiver resultaat aangezien de verschillen groot zijn en deze waarden mee zijn genomen in de MCA.

Gevoeligheidsanalyse D-sheet piling

De constructie is gevoelig voor de lokale belasting, deze zorgt namelijk voor een extra uitbuiging van 35,5 mm. De bomen- en verkeersbelasting hebben echter een minimale invloed op de uitbuiging.

Wanneer de lokale belasting buiten beschouwing wordt gehouden blijkt dat de dimensionering van de constructie met een Ø1016 mm buis met een dikte van 10 mm voldoet, een aanzienlijk kleinere buispaal. Bij deze uitvoering van de combiwand bedraagt de uitbuiging 46,3 mm. In Appendix I – D-sheet rapporten is het D-sheet rapport van de gevoeligheidsanalyse weergegeven.

[10.3 Betrouwbaarheid](#)

Van de afgekeurde varianten in de toetsing conform het PvE zijn er ook goede varianten aanwezig die de moeite waard zijn om nader te onderzoeken. Gezien de tijdsbesteding van dit onderzoek zijn deze echter buiten beschouwing gelaten.

De eenheidsprijzen voor de kostenraming zijn afkomstig van de site GWWkosten (GWWkosten, n.d.), deze kosten zijn niet project specifiek voor Amsterdam. Aangezien het compacte karakter van Amsterdam de uitvoering bemoeilijkt kan dit mogelijk leiden tot hogere kosten, deze kosten zijn echter verwerkt in toeslagen die niet zijn gehanteerd in de methodiek die is toegepast in dit onderzoek. Een aandachtspunt voor een vervolgonderzoek.

[10.4 Vervolgonderzoek](#)

Aan het eind van dit onderzoek zijn er drie voorstellen voor een vervolgonderzoek. Het eerste voorstel betreft een innovatie op de processcope van het innovatiepartnerschap. De reden hiervoor is dat er een flinke vooruitgang mogelijk is op het gebied van tijdsbesparing. Twee jaar voor de uitvoering van kadevernieuwingen dienen de belendende panden gemonitord te worden met een uitloop tot vijf jaar en hier valt veel winst te behalen.

Het tweede voorstel betreft een innovatie in de bouwmethodiek van de kadevernieuwingen. Uit de kostenraming blijkt namelijk dat het plaatsen van een bouwkuip grote kostenposten zijn, zelfs groter dan de kosten van de constructie zelf. Hier is tevens veel winst te behalen.

Het derde voorstel betreft een onderzoek naar variant 3, die een tweede plek scoorde in de MCA.

Bibliografie

- BartelingBuizen. (n.d.). Barteling Buizen bv Barteling Buizen bv.
- Bosch Beton. (n.d.). L-keerwanden grond-, weg- en waterbouw - Bosch Beton. Retrieved April 23, 2019, from <https://www.boschbeton.nl/keerwanden-gww/l-keerwanden-gww/#tab-id-2>
- Breederveld, C. (2017). *Influence of stakeholders on urban quay walls walls*.
- de La Roij, R. (2009). *The road to the future* (Vol. 2). <https://doi.org/10.12968/johv.2014.2.10.569>
- Gemeente Amsterdam. (n.d.-a). Bereikbaarheid, leefbaarheid, veiligheid en communicatie - Gemeente Amsterdam. Retrieved March 6, 2019, from <https://www.amsterdam.nl/bestuur-organisatie/organisatie/overige/coördinatiestelsel/werken-openbare-0/blvc-maatregelen/>
- Gemeente Amsterdam. (n.d.-b). Organisatie - Gemeente Amsterdam. Retrieved March 6, 2019, from <https://www.amsterdam.nl/bestuur-organisatie/organisatie/>
- Gemeente Amsterdam. (2012a). Bestemmingsplan Water: Regels. Retrieved March 1, 2019, from https://www.ruimtelijkeplannen.nl/documents/NL.IMRO.0363.A1103BPSTD-VG01/r_NL.IMRO.0363.A1103BPSTD-VG01_index.html
- Gemeente Amsterdam. (2012b). Postcodegebied 1012. Retrieved February 28, 2019, from https://www.ruimtelijkeplannen.nl/documents/NL.IMRO.0363.A1105BPSTD-VG03/t_NL.IMRO.0363.A1105BPSTD-VG03_3.1.html
- Gemeente Amsterdam. (2018a). Bijlagen Topspecificatie [concept].
- Gemeente Amsterdam. (2018b). Casusomschrijving IPK Singel.
- Gemeente Amsterdam. (2018c). Factsheet.
- Gemeente Amsterdam. (2018d). *Selectieleidraad*.
- Gemeente Amsterdam. (2018e). Topspecificatie [Concept].
- Gemeente Amsterdam. (2018f). Vraagspecificatie.
- GWWkosten. (n.d.). GWWkosten.nl. Retrieved April 25, 2019, from <http://www.gwwkosten.nl/>
- HPStaal. (n.d.). *Leveringsprogramma*. Retrieved from <https://hpstaal.nl/wp-content/uploads/2017/11/HPSTAAL-Leveringsprogramma-HP1710.pdf>
- Kennisplatform - CROW. (2018). CROW CUR een feit - CROW. Retrieved March 6, 2019, from <https://www.crow.nl/over-crow/nieuws/2018/juni/crow-cur-een-feit>
- KIVI. (2014). *READER GEOTECHNIEK VOOR HET HBO*. Retrieved from https://www.kivi.nl/uploads/media/5644e664bc67d/Reader_Geotechniek.pdf
- Koning, R. (2017). Ketenanalyse Ophoogmaterialen in wegconstructies, 1–17.
- Normalisatie-instituut, K. N. (2016). Nen-en 1997-1 +c1+a1/nb+c1.
- Olsthoorn, TAW. (2018). *Beheersmaatregelen bij calamiteiten*.
- Olsthoorn, Thom, & De Greef. (2014). *Hoofdrapport AFSTUDEERSCHRIJF*.
- PKWaterbouw. (n.d.). PK Waterbouw | Slim en Schoon 2025. Retrieved May 23, 2019, from <http://www.slimenschoondoordestad.nl/koplopers/pk-waterbouw/>
- Reinshagen, E. A. (2007). Formalisering van toekenning van gewichten binnen een

Multi Criteria Analyse. Retrieved from
http://essay.utwente.nl/713/1/scriptie_Reinshagen.pdf

RHDHV. (2012a). Grondonderzoek Singel.pdf.

RHDHV. (2012b). Verkennend (water)bodemonderzoek Singel.pdf.

Rijkswaterstaat - Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (n.d.). Beleid, wet- en regelgeving - Kenniscentrum InfoMil. Retrieved March 6, 2019, from <https://www.infomil.nl/onderwerpen/ruimte/omgevingsthema/trillingen/tril-beleid-w/>

Rijkswaterstaat, D. (n.d.). Zandophoging op geokunststof omhulde zandpalen (GEC), (14), 255–277.

Sennebogen. (n.d.). *Sennebogen 653*. Retrieved from https://www.sennebogen.com/fileadmin/user_upload/Downloads_PDF_Broschueren/Broschueren_Crane_Line/653_E/653_R_E_EN.pdf

SEWPCC Process Selection. (2012). Emission factors in kg CO2-equivalent per unit city of Winnipeg, 1–189. Retrieved from [http://www.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-2012/682-2012_Appendix_H-WSTP_South_End_Plant_Process_Selection_Report/Appendix 7.pdf](http://www.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-2012/682-2012_Appendix_H-WSTP_South_End_Plant_Process_Selection_Report/Appendix%207.pdf).

Stichting Nederlandse Normalisatie-Instituut. (n.d.). Eurocodes overzicht - NEN. Retrieved March 6, 2019, from <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Eurocodes/Eurocodes-overzicht.htm>

Vringer et al., H. (2017). Zo werken wij in Amsterdam Op straat, 105–116.

Appendices

(Separaat bijgevoegd)

Appendix A – Projectplan
Appendix B – Sondering
Appendix C – Programma van Eisen
Appendix D – Bouwstenenfilter
Appendix E – Toetsing conform PvE
Appendix F – Onderbouwing uitvoeringsduur
Appendix G – Kostenramingen
Appendix H – Toelichting Multicriteria Analyse
Appendix I – D-sheet rapporten
Appendix J – Technische tekeningen
Appendix K – Kostenraming Voorlopig ontwerp

Appendix A – Projectplan

Appendix B – Sondering

Appendix C – Programma van Eisen

Appendix D – Bouwstenenfilter

Appendix E – Toetsing conform PvE

Appendix F – Onderbouwing uitvoeringsduur

Appendix G – Kostenramingen

Appendix H – Toelichting Multicriteria Analyse

Appendix I – D-sheet rapporten

Appendix J – Technische tekeningen

Appendix K – Kostenraming Voorlopig ontwerp