Gemeente Amsterdam

Voorlopig
Versie 1
29 oktober 2018

Toetskader Amsterdamse Kademuren

Van toepassing op kademuren in beheer bij gemeente Amsterdam

Auteur(s)

Opdrachtgever

Contactpersoon

Ingenieursbureau

Kenmerk
[-]

Opsteller	Goedgekeurd en vrijgegeven	Paraaf	Datum

Versiebeheer

Versie	Omschrijving / belangrijkste wijziging	Datum
0.1	Voorlopig	14-2-2018
0.2	Voorlopig	17-09-2018
1.0	Voorlopig gereed	29-10-2018

Inhoud

1 Inleiding **5**
1.1 Leeswijzer 6
1.2 Termen en definities 6

2 Kademuren van Amsterdam **7**
2.1 Amsterdams kademuren areaal 7
2.2 Functionele eisen 8
2.3 Kademuren 10
2.4 Kademuur onderdelen 13
2.5 Unesco wereld erfgoed 17
2.6 Raakvlakken 17

3 Bezwijkmechanismen **19**
3.1 Metselwerkconstructies op houten palen 19
3.2 Betonnen L-wand constructies 26

4 Beoordeling constructieve veiligheid kademuren **32**
4.1 Problematiek 32
4.2 Prioritering 32
4.3 Rakken zonder duidelijk oordeel 35

5 Herberekeningen **40**
5.1 Uitgangspunten veiligheidsfilosofie 40
5.2 Constructief kerende hoogte 41
5.3 Materialen 42
5.4 Modelleren kadeconstructie 44
5.5 Belastingscombinaties 48
5.6 Belastingen 48

6 Toetsen van een kadeconstructie **52**
6.1 Controle Algemeen 52
6.2 Controle van een metselwerk gewichtsconstructie 52
6.3 Controle van een Betonnen L-wand 55

7 Beheersmaatregelen kadeconstructies **58**

8 Bronnen **60**

Bijlage(n)

Bijlage 1 - Stroomschema toetskader
Bijlage 2 - Belastingsvoorbeelden (praktijk)
Bijlage 3 - Lijst met kademuur coderingen

1 Inleiding

Amsterdam staat bekend om zijn water en zijn grachten. In Amsterdam is ongeveer 900 kilometer aan oevers aanwezig. Van deze 900 km zijn 600 km in beheer van de gemeente Amsterdam. Binnen deze 600 km zijn diverse constructieve en niet constructieve kadeconstructies aanwezig. Dit toetskader focust zich op de 200 kilometer aanwezige constructieve kadeconstructies (harde kadeconstructies zoals gewichtsmuren, kademuren, damwanden en glooiingen.

Door het uitbreiden van Amsterdam en het aanleggen van nieuwe grachten ontstonden ook nieuwe kadeconstructies. Zo zijn dan ook in de verschillende gebieden verschillende kadeconstructies aanwezig.

In dit toetskader wordt omschreven hoe de diverse kadeconstructies rekenkundig worden beoordeeld

Bestaande kademuren dienen te voldoen aan de voorschriften van het Bouwbesluit 2012.
Met de komst van het Bouwbesluit 2012 zijn de NEN 8700 "Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Grondslagen" en onderliggende normen in de 8700-serie van toepassing. Deze normenserie staat centraal in de beoordeling van de constructieve veiligheid van de bestaande bruggen en is een aanvulling op de normen in de NEN-EN 1990 serie die voor nieuwbouw zijn opgesteld.

Voor alle kademuren die niet worden vernieuwd en waarvan de constructieve veiligheid niet kan worden vastgesteld op basis van inspecties en onderzoeken kunnen worden getoetst door middel van een herberekening volgens de NEN 8700.Om voor deze toetsing de Amsterdamse uitgangspunten de waarborgen is dit toetskader opgesteld

Het toetskader legt de uitgangspunten en verschillende berekeningswijzen vast, zodat een eenduidige beoordeling van het areaal mogelijk is. Op basis van gelijkwaardige adviezen kan vervolgens een keuze gemaakt worden voor de prioritering in het onderhouds- en vervangingsprogramma.

Status van het toetskader
Dit toetskader is een groeidocument.
Tijdens het schrijven van deze versie van het toetskader wordt binnen Amsterdam gewerkt het "Toetsingskader Amsterdamse Bruggen". Dit toetskader houdt zich bezig met onderzoek naar houten funderingspalen en onderzoek naar metselwerk constructies. De resultaten van dit onderzoek moeten ook verwerkt worden in het toetskader voor kademuren.
Door de grote diversiteit van type kademuren en van de leeftijden van de diverse kadeconstructies kunnen niet alle typen in een keer beschreven worden. Het toetskader wordt in de komende jaren steeds verder uitgebreid.

1.1 Leeswijzer

Leeswijzer wordt opgesteld na vaststellen concept versie met definitieve hoofdstukindeling.

1.2 Termen en definities

Bij de beoordeling constructieve veiligheid conform deze leidraad worden de termen en definities zoals in de NEN8700-serie gehanteerd. De belangrijkste termen en definities die terugkomen in deze leidraad zijn de volgende:

Constructieve veiligheid
Fundamentele eis volgens NEN8700:2011, paragraaf 2.1:
Een ***bestaande constructie*** moet minimaal nog zoveel reststerkte hebben dat zij, tijdens de in deze norm vastgestelde restlevensduur met de vereiste betrouwbaarheidsniveaus
— alle belastingen en invloeden, die kunnen optreden tijdens het gebruik, zal weerstaan en
— Geschikt zal blijven voor het gebruik waarvoor zij is bestemd.

Restlevensduur
Veronderstelde periode gedurende welke een bestaande of verbouwde constructie of een deel ervan is te gebruiken voor het beoogde doel.

Referentieperiode
Tijdsperiode gekozen en gebruikt als grondslag voor statistische waardebepaling van veranderlijke belastingen en eventueel voor buitengewone belastingen.

Afkeurniveau
Wettelijk minimumniveau van constructieve veiligheid, op het onderschrijden waarvan (voor)aanschrijving en handhaving door het bevoegde gezag moet volgen.

Verbouwniveau
Wettelijk minimumniveau van constructieve veiligheid bij het toetsen van ontwerpen voor verbouw.

Unity Check (UC)
De UC is de toetsing van een constructieonderdeel uitgedrukt in een verhouding tussen de maatgevende snedekrachten in dat onderdeel en de capaciteit van de betreffende doorsnede van dat onderdeel:

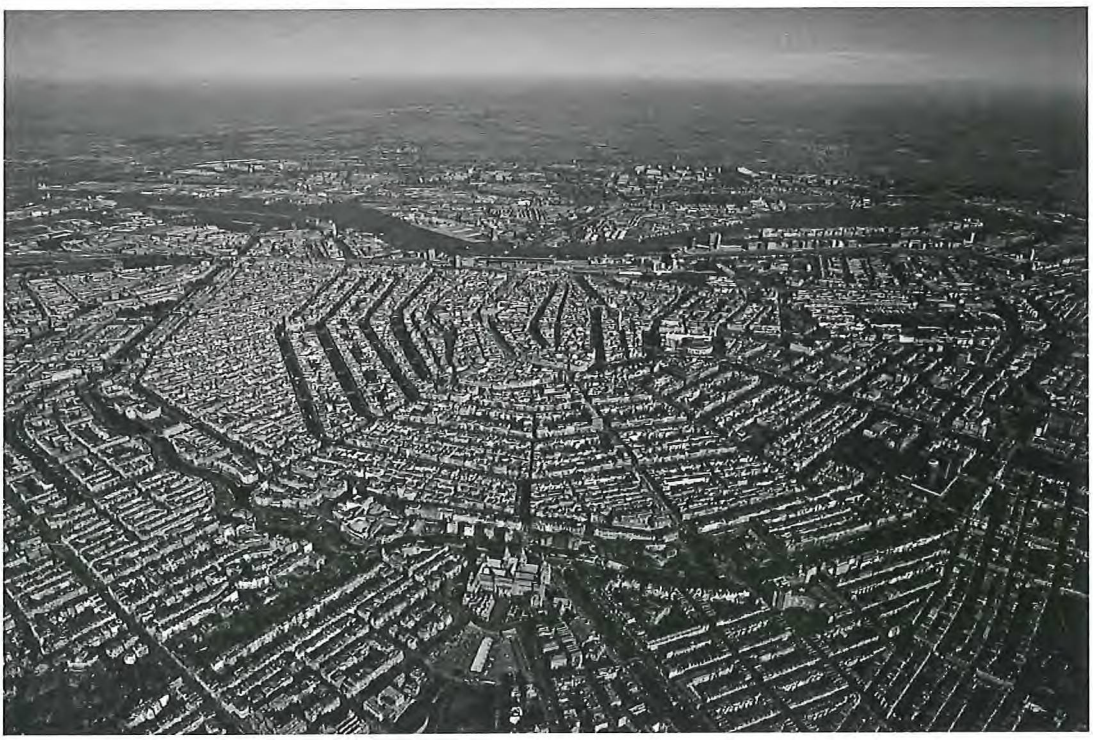
U.C. $\leq 1 \rightarrow$ het constructie-onderdeel voldoet; of
U.C. $> 1 \rightarrow$ het constructieonderdeel voldoet niet
aan het gecontroleerde niveau (afkeur-, verbouw- of nieuwbouwniveau).

2 Kademuren van Amsterdam

2.1 Amsterdams kademuren areaal

De grachtengordel in Amsterdam was een project voor een nieuwe 'havenstad', gebouwd aan het einde van de 16e en het begin van de 17e eeuw. Om het stadsgebied uit te breiden was drooglegging van het moerasland nodig. Hiervoor werd een netwerk van grachten aangelegd – in concentrische bogen – ten westen en zuiden van de historische oude stad en de middeleeuwse haven. Langs de grachten staan talloze monumenten en huizen met hun kenmerkende puntgevels. Dit model van stedelijke uitbreiding – het grootste en meest samenhangende van zijn tijd – diende tot de 19e eeuw als referentie in de hele wereld.

Binnen de gemeentegrenzen liggen meer dan 900 kilometer aan kademuren en oevers. De gemeente Amsterdam is verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van circa 600 kilometer van deze kademuren en oevers. Het overige deel heeft andere eigenaren of beheerders, waaronder Waternet, provincie Noord Holland, het havenbedrijf en op enkele plaatsen particuliere eigenaren. Groene oevers en zachte oevers met beschoeiing worden niet tot gerekend tot het areaal van kademuren waardoor er een lengte van 200 kilometer gefundeerde kademuren overblijft die in beheer is bij de gemeente Amsterdam.



2.1.1 Kademuren per stadsdeel

Areaal gem. Amsterdam (d.d. maart 2018)	Kade en oevers [km]	Kadeconstructies en glooiing [km]	Percentage
Stadsdeel Centrum	60	53,5 km	26,5 %
Stadsdeel West	21	15,2	7,5 %
Stadsdeel Oost	101	21	10,5 %
Stadsdeel Zuid	59	8	4,0 %
Stadsdeel Noord	80	7	3,5 %
Stadsdeel Zuid Oost	103	22	11 %
Stadsdeel Nieuw West	115	39	19,5 %
V&OR	233	35	17,5 %
Totaal	**595**	**202**	**100 %**

2.2 Functionele eisen

De kademuren in het centrum van Amsterdam en de grachtengordel zijn ontstaan in de 16^{e} en 17^{e} eeuw. De kademuren in het centrum hadden in die tijd vooral een functie voor het laden en lossen van goederen. In de eeuwen daarna werd Amsterdam flink uitgebreid en veranderde ook de functie van de kademuur. In de verdere stadsuitbreidingen zijn ook de soorten kademuren veranderd en is ook de functie van de kadeconstructie veranderd.

Door verandering van de functie van de kademuur verandert ook de belastingsituatie. Deze belastingen kunnen hoger zijn maar ook afnemen. Bij veranderd gebruik kan ook ontwerp van de kademuur veranderen, zo kan de wand hoger of juist lager zijn uitgevoerd en kan de vloer korter of langer worden uitgevoerd.
Voor het toetsen van kademuren moet worden gekeken, wat de huidige functie is en wat de functie in het verleden was. Zo kan er een inschatting van de constructie en van de belastingen op de kademuur worden gemaakt. Hieronder worden een aantal functies omschreven die voor kademuren kunnen gelden.

- Kerende functie.
- Dragende functie.
- Afmeerfunctie.
- Verkeersfunctie.
- Opslagfunctie.
- Omgevingsfunctie (Openbare ruimte / flora en fauna).

Kerende functie
De constructie dient de belastingen uit grondrukken en waterdrukken te kunnen weerstaan bij een zeker veiligheidsniveau. Daarbij is de kerende hoogte een bepaalde factor, het verschil tussen de

bovenkant van de kade (maaiveld) en de bovenkant van de vloer of de ontwerpdiepte van de watergang. Ook moet de belasting uit bomen worden gekeerd door de kademuur.

Dragende functie
De kade moet de verticale belastingen uit maaiveldinrichting, verkeer en opslag veilig kunnen afdragen naar de ondergrond. Ook belastingen door bijvoorbeeld laden en lossen en afstempelen van kranen kunnen van belang zijn.

Afmeerfunctie
In Amsterdam kunnen schepen afmeren aan de kademuren. Dit gebeurd met behulp van haalkommen of bolders. In de grachten worden schepen ook vaak afgemeerd aan straatmeubilair (Hekken, rekken en banken). In de grachten liggen kleine schepen en woonboten, in de Amstel en Kostverlorenvaart wordt in de nabijheid van bruggen ook afgemeerd door beroepsvaart.

Verkeersfunctie
In Amsterdam heeft de ruimte direct achter de kademuur een parkeerfunctie en bevindt zich daarna een rijbaan (meestal 1 richtingsverkeer). De parkeerruimte wordt meestal onderbroken door bomen of andere maaiveldinrichting waardoor deze ruimte niet gezien kan worden als rijbaan. Wel moet in deze ruimte rekening gehouden worden met laden en lossen en het afstempelen van kranen. Wanneer een rijbaan wel direct langs de kademuur loopt dan moet de ruimte direct achter de kade wel beschouwd worden als rijstrook. Door evenementen kan het ook voorkomen dat de ruimte direct achter de kademuur vol staat door een mensenmenigte.

Opslagfunctie
In het verleden was opslag een hoofdfunctie van kademuren. Goederen werden opgeslagen direct achter de kademuur. In zijn huidige functie is opslag geen hoofdfunctie meer in de binnenstad. Opslag vindt nog plaats wanneer er bij of in de nabijheid van de kademuren bouwwerkzaamheden plaats vinden. Dan worden keten, zand, stenen en ander bouwmateriaal direct achter de kademuur opgeslagen.

Omgevingsfunctie (openbare ruimte / flora en fauna)
In de grachten en langs de kademuren worden regelmatig evenementen gehouden. Ook kan er recreatie plaatsvinden langs de kademuren. De kademuren van stadsdeel centrum (binnen de Singelgracht) vallen onder het wereld erfgoed van Unesco. (zie paragraaf @@)

<u>Flora en fauna</u>
Langs de Amsterdamse grachten en dicht bij de kademuur staan bomen. Deze bomen kunnen groot en monumentaal zijn. Aan de kademuren groeien vaak (zeldzame) varens.

2.3 Kademuren

In de 16 en 17e eeuw zijn veel kadeconstructies aangelegd. Zo zijn de kadeconstructies in het centrum, de grachtengordel en de Jordaan ontstaan. Deze kadeconstructies waren vaak gewichtsconstructies. De gewichtsconstructies zijn in de latere jaren vervangen door kademuren op houten palen en een metselwerk wand en door glooiingsconstructies.
In de 18e en 19e eeuw is Amsterdam sterk gegroeid. Bij deze stadsuitbreidingen (het huidige stadsdeel Oost, West en Zuid) zijn ook nieuwe grachten en kadeconstructies aangelegd. Deze kadeconstructies zijn vooral uitgevoerd als aan kademuur met metselwerk wand en houten vloer en palen. Omdat in het oostelijke deel van de stadsuitbreiding de kademuren gingen dienen als nieuwe laad en losplaats van goederen vanaf boten zijn hier de kademuren een stuk zwaarder uitgevoerd dan in de rest van de stad. De metselwerk wanden zijn dikker en de fundering is uitgevoerd met zwaardere palen. Het aanlegniveau van de vloer ligt hier ook 1 meter lager (NAP -2 m) dan de andere kademuren in Amsterdam.
In de latere stadsuitbreidingen van de 20e eeuw (stadsdeel Nieuw West, Zuid oost en Noord) zijn de kademuren uitgevoerd met betonnen vloeren en betonnen wanden gefundeerd op houten palen of betonnen en stalen palen).

2.3.1 Hoofdvormen in Amsterdam

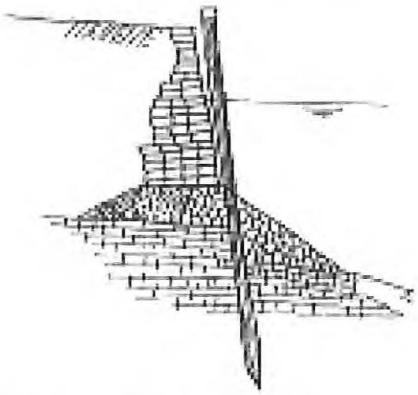
Dit zijn de belangrijkste hoofdvormen in Amsterdam:

1. Op staal gefundeerde gewichtsmuur
2. Op houten palen gefundeerde gewichtsmuur met metselwerk wand.
3. Op palen gefundeerde L-wand (beton)
4. Stalen damwand/combiwand met bekleding
5. Glooiingsconstructie

In dit document worden de hoofdvormen type 2,3 en 5 beschouwd voor verdere uitwerking en toetsing.

2.3.1.1 Type 1 – gewichtsmuur op staal

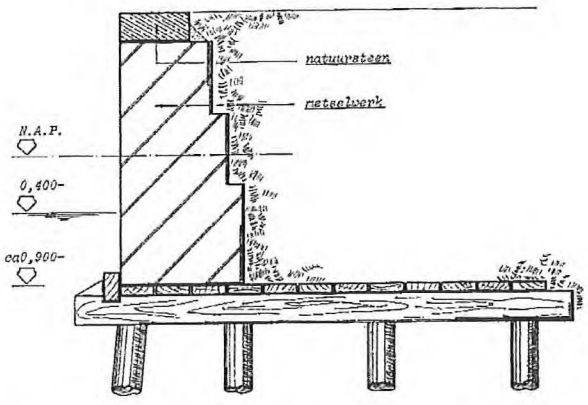
Deze constructie wordt nog wel gevonden als archeologische vondst maar als actieve werkende keerconstructie komt dit type nauwelijks nog voor.



Figuur 1 - Gewichtsmuur 16e en 17e eeuw

2.3.1.2 Type 2 – op houten palen gefundeerde gewichtsmuur.

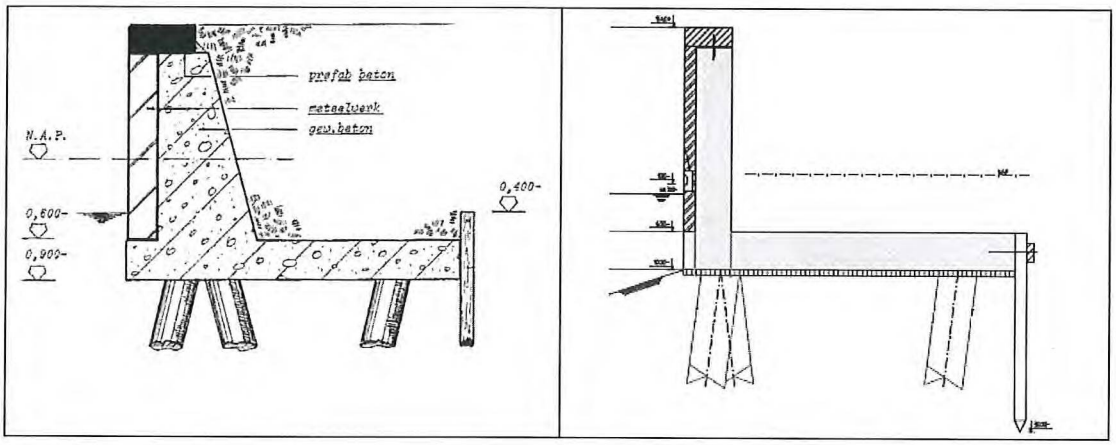
Dit type is het meest voorkomende type kademuur in de stad. Over het algemeen bestaat deze constructie uit houten palen met een houten vloer en een metselwerkwand dit afgewerkt is met een deksteen. De houten vloer ligt meestal op een hoogte van NAP -1 meter. In stadsdeel Oost komt het ook voor dat vloeren op NAP -2 meter liggen als gevolg van de laad en losplaatsen die hier vroeger waren.



Figuur 2 - veel voorkomende gewichtsmuur op palen

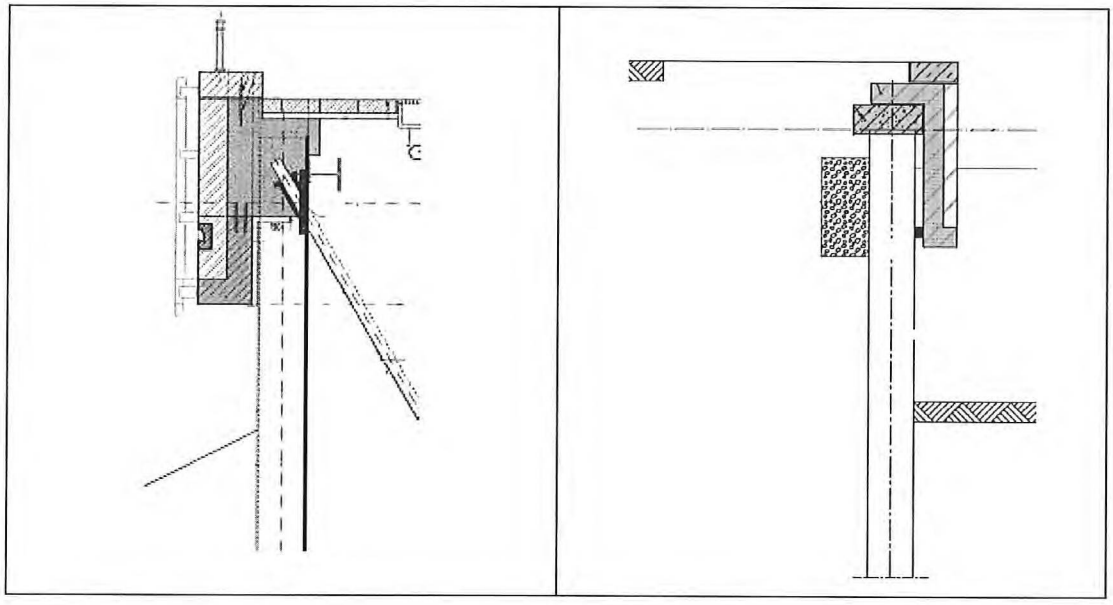
2.3.1.3 Type 3 – op houten palen L-wand.

De kademuren gebouwd na 1950 kunnen ook zijn uitgevoerd als betonnen L-wand. Na 1970 worden nagenoeg alle kademuren uitgevoerd als betonnen kadeconstructie.



2.3.1.4 Type 4 – Stalen damwand of combiwand met metselwerk bekleding

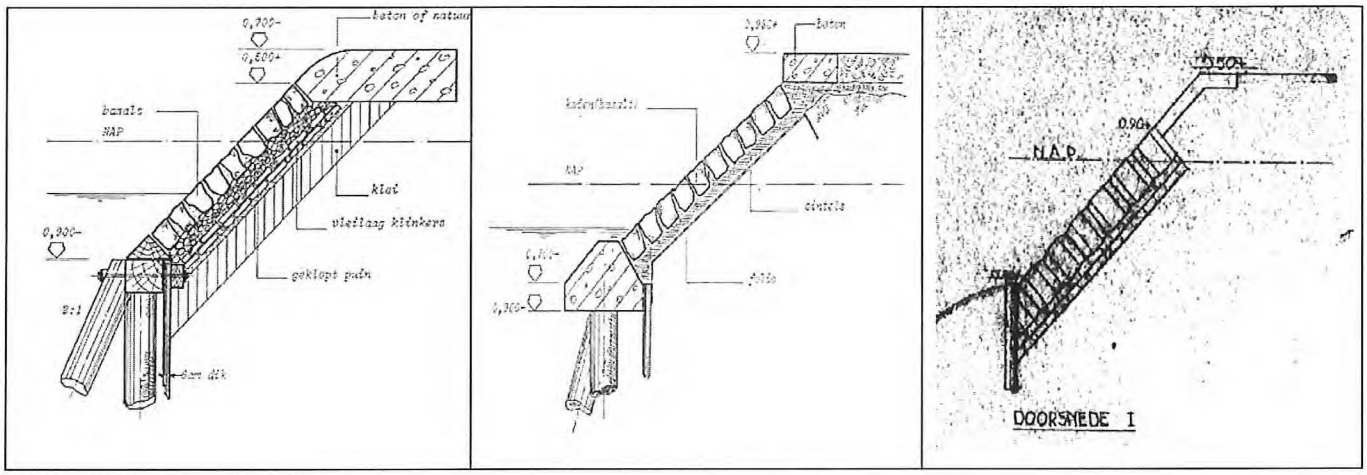
Op een aantal locaties in de binnenstad zijn kademuren gebouwd door middel van een damwand met een betonnen bekleding en metselwerk. In de binnenstad wordt het gebruik van damwanden vaak niet toegestaan in verband met de waterhuishouding en het gebrek aan ruimte voor de verankering. Voor korte stukken wordt deze methode wel toegepast. Ook is op een aantal plaatsen de combiwand methode toegepast waarbij in plaats van een damwand een combiwand is toegepast.



2.3.1.5 – Type 5 - Glooiingsconstructies

De glooiingsconstructies in Amsterdam bevinden zich voornamelijk in de Singelgracht. De glooiingsconstructies zijn afgewerkt met basalt. De hoek van de glooiingsconstructie is verschillend en afhankelijk van de naastgelegen constructies en achterliggend maaiveld. Er zijn

een 2-tal type constructies te onderscheiden, namelijk een glooiingsconstructie met een paalfundering (hout of beton) en watersloof en een glooiingsconstructie met een houten damwand of perkoenscherm. In de stedelijke vernieuwing van stadsdeel oost zijn glooiingsconstructies toegepast die bestaan uit basaltbekleding op een betonnen funderingsbalk gefundeerd op prefab betonnen palen.



2.4 Kademuur onderdelen

Van de genoemde kadeconstructies zijn de volgende onderdelen te onderscheiden.

2.4.1 Funderingspalen

Metselwerk gewichtsconstructie
De funderingspalen van de metselwerkconstructies zijn uitgevoerd in hout en hebben de paalpunt op de 1e zandlaag (-13 m NAP). De houten palen zijn in Amsterdam over het algemeen bacterieel aangetast. In het oostelijk havengebied en langs het IJ is het mogelijk dat kademuren zijn gefundeerd op de 2e zandlaag (-18 m NAP) door het ontbreken van de 1e zandlaag als gevolg van de oergeul. De gemiddelde diameter van de houten palen is 250 mm.

Betonnen L-wand
De betonnen l-wand kan zijn gefundeerd op houten palen zoals hierboven beschreven. Ook kan de betonnen L-wand gefundeerd zijn op betonnen of stalen palen.

Glooiingsconstructie
De glooiingsconstructie kan zijn gefundeerd op houten palen zoals hierboven beschreven. Ook kan de betonnen L-wand gefundeerd zijn op betonnen of stalen palen.

2.4.2 Kespen

Metselwerk gewichtsconstructie
Bij de oude metselwerkconstructies zijn de kespen uitgevoerd in hout. De kespen zorgen ervoor de belastingen uit de wand meer worden verdeeld over de funderingspalen. Ook vormen de kespen het raamwerk en ondersteuning van de houten vloer. Door aantasting neemt de doorsnede van de kespen af waardoor bij te hoge belastingen de kespen kunnen bezwijken op dwarskracht en buigend moment.

Betonnen L-wand
Er zijn geen kespen aanwezig bij een betonnen L-wand. De belastingen worden verdeeld door de betonnen vloer.

Glooiingsconstructie
Er geen kespen aanwezig bij een glooiingsconstructie.

2.4.3 Verbinding paal/kesp.

Metselwerk gewichtsconstructie
Bij oude metselwerkconstructies zijn de funderingspalen en de kespen zijn vaak met pennen aan elkaar verbonden. Door aantasting van deze verbinding en door aantasting van het hout er omheen kan deze verbinding bezwijken. Ook kan door deformatie van de kadeconstructie, deze verbinding bezwijken.

Betonnen L-wand
Bij een betonnen L-wand zijn de palen direct opgenomen in de vloer en eventueel voorzien van kopwapening. Door vervorming kunnen extra spanningen in deze verbinding ontstaan. Aantasting van de verbinding is voor deze constructie geen probleem.

2.4.4 Vloer

Metselwerk gewichtsconstructie
De vloer van deze constructie is uitgevoerd met houten planken die liggen op de kespen. De vloer verdeeld de belasting over de kespen en zorgt ervoor dat grond niet kan uitspoelen. Door veroudering en aantasting kan er ruimte ontstaan tussen de planken en

Betonnen L-wand
De vloer van de betonnen L-wand is een gesloten betonnen vloerplaat die als 1 geheel is uitgevoerd. De vloer zorgt ervoor dat de belastingen worden gespreid en overgedragen naar de ondergelegen fundering. De onderzijde van de ligt vaak op NAP -1 meter

Glooiingsconstructie
Bij glooiingsconstructies is geen vloer aanwezig.

2.4.5 Langshout/watersloof

Metselwerk gewichtsconstructie
Aan de voorzijde van de wand en over de kespen bevind zich vaak het langshout. Dit hout voorkomt het afschuiven van de wand van de vloer. Dit langshout kan bacterieel zijn aangetast of beschadigd door aanvaring.

Betonnen L-wand
Bij een betonnen L-wand is geen langshout aanwezig.

Glooiingsconstructie
Bij glooiingsconstructies is geen langshout aanwezig met de functie tegen afschuiven van een wand maar is wel een watersloof aanwezig die de funderingspalen en het onderloopsheidscherm verbindt en er voor zorgt dat de belastingen uit het talud worden overgedragen aan de funderingspalen. De watersloof is bij oudere constructies uitgevoerd in hout. Bij coonstructies na 1980 is deze watersloof uitgevoerd in beton.

2.4.6 Onderloopsheidscherm

Metselwerk gewichtsconstructie
Onder of achter de vloer en langs de funderingspalen loopt het onderloopsheidscherm. Dit scherm zorgt ervoor dat grond achter de kade niet kan uitspoelen onder de vloer door. Deze schermen zijn bij metselwerkconstructies uitgevoerd met een houten damwand. Op oude archieftekeningen staat dit onderloopsheidscherm vaak niet getekend. Het vermoeden is dat wanneer deze bij de aanleg in het verleden in een later stadium zijn aangebracht achter de kade. Deze houten schermen zijn grondkerend en beperkt water doorlatend. In het centrum hebben onderloopsheidschermen een lengte van 4 tot 5 meter. Door bacteriële aantasting kunnen er ruimtes ontstaan tussen de planken waar uitspoeling kan plaatsvinden. Ook kan het materiaal van het scherm zo degraderen dat de sterkte of stabiliteit niet meer voldoende zijn waardoor deze bezwijkt.

Betonnen L-wand.
Bij de meeste betonnen wanden zijn houten schermen geplaatst die gelijk zijn aan de oude metselwerkconstructies en die dezelfde problematiek hebben. Incidenteel zijn hier stalen damwandschermen, kunststof-/composietschermen of perkoenschermen met gronddoek (IJburg) toegepast. Stalen damwanden zorgen voor een grond en water ondoorlatend systeem. Dit heeft gevolgen voor de waterstand achter de kademuur. Staal en kunststof schermen zijn minder gevoelig voor de risico's als gevolg van aantasting.

Glooiingsconstructie
Bij de meeste glooiingsconstructies zijn houten schermen geplaatst die gelijk zijn aan de oude metselwerkconstructies en die dezelfde problematiek hebben.

2.4.7 Wand

Metselwerk gewichtsconstructie
De wand van deze constructie bestaat volledig uit metselwerk. De kerende hoogte van deze wand bepaald de dikte van de wand.

De gewichtsmuren krijgen een grotere dikte naar mate deze dieper in de grond zitten. Omdat dit voor veel kademuren niet bekend is kan onderstaande tabel als handvat worden gebruikt voor de dikte van het metselwerk bij de aansluiting van de vloer. Meer archiefonderzoek moet deze tabel veder vullen en valideren.

Dimensies wand metselwerk gewichtsconstructies			
Bovenkant wand [m NAP]	Onderkant wand [m NAP]	Hoogte wand [m]	Dikte wand [m]
+ 0,40	-0.90	1.30	0.55
+ 0,70	-0.90	1.60	0.66
+1.00	-0.90	1.90	0.77
+1.30	-0,90	2.20	0.88
+1.70	-0.90	2.60	0.99
+2.00	-0.90	2.90	1.10
+2.30	-0.90	3.20	1.21
+2.60	-0.90	3.50	1.45

Tabel 1 - maatvoering wand (bron rapportage Antea)

Door degradatie, beschadigingen (aanvaring), deformaties of overbelasting kan de samenhang van het metselwerk worden aangetast en ontstaan er scheuren. Over de metselwerkstenen en metselspecie is weinig bekend (de metselspecie werd vroeger in het werk gemengd) er zijn geen standaard materiaalgegevens af te leiden voor controle berekeningen. Wanneer wordt besloten om materiaalonderzoek uit te voeren kan achterhaald worden wat de sterkte van de wand is.

De gewichtsmuren krijgen een grotere dikte naar mate deze dieper in de grond zitten. Omdat dit voor veel kademuren niet bekend is kan onderstaande tabel als handvat worden gebruikt voor de dikte van het metselwerk bij de aansluiting van de vloer. Meer archiefonderzoek moet deze tabel veder vullen en valideren.

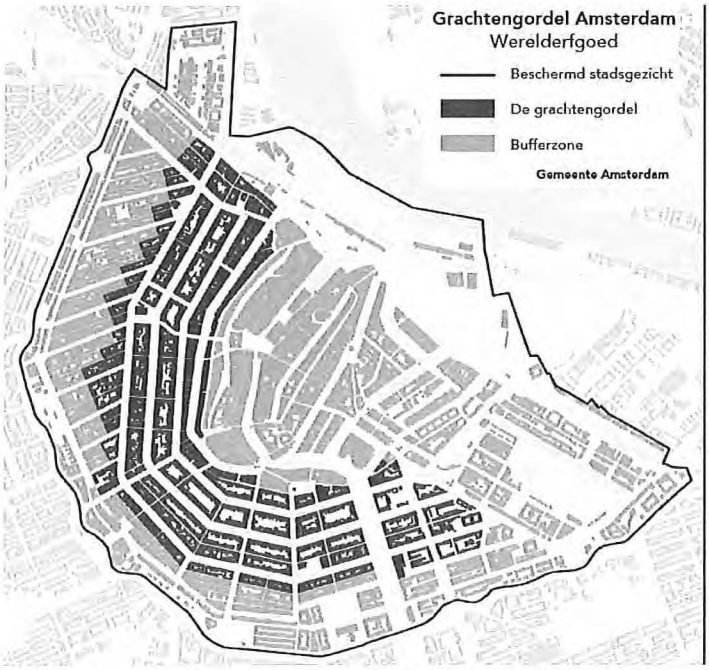
Betonnen L-wand.
Deze wand is uitgevoerd in beton en is constructief verbonden met de vloer, waardoor de krachten direct worden afgedragen aan de vloer.

Glooiingsconstructie
De basaltwand op een glooiingsconstructie is geen constructief onderdeel van de kadeconstructie. De basaltstenen zorgen ervoor dat de grond niet uitspoelt maar draagt constructief geen krachten af.

2.5 Unesco wereld erfgoed

In augustus 2010 is de 17e-eeuwse Amsterdamse grachtengordel toegevoegd aan de Werelderfgoedlijst van Unesco. De erkenning van de grachten en grachtenpanden als uniek erfgoed zorgt voor internationale bekendheid voor de stad. Daarnaast wordt hiermee het behoud en de conservering gestimuleerd, waardoor huidige en toekomstige generaties kunnen blijven genieten van de unieke manier van leven op de grachten Dit betekend dat kademuren niet zomaar gesloopt mogen worden en dat bij hele slechte staat nieuwbouw met een gelijkwaardig uiterlijk is toegestaan.

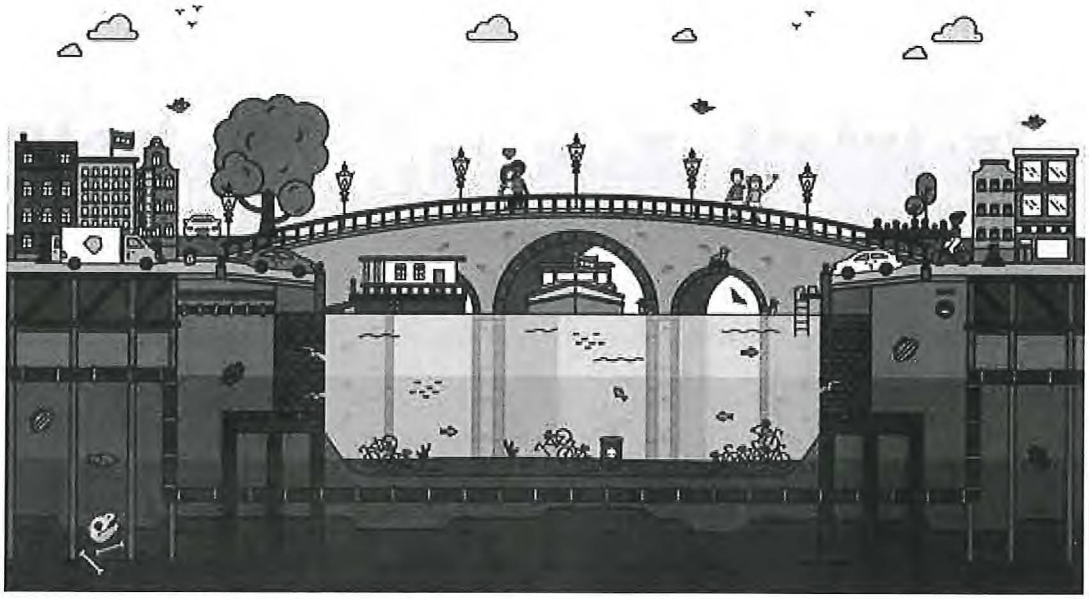
De grachtengordel is door UNESCO verdeeld in twee zones: de zogenaamde kern met daaromheen een bufferzone.



Figuur 3 - Unesco werelderfgoed stadsdeel Centrum met buffer- en kernzone

2.6 Raakvlakken

In onderstaande afbeelding wordt de verwevenheid van de kademuur met de stad weergegeven. Het deformeren, bezwijken of herstellen van een kademuur zorgt ervoor dat veel stakeholders geraakt worden. De kademuren zijn daarmee dan een belangrijk onderdeel van de stad Amsterdam.



Figuur 4 – de raakvlakken van de kademuur

3 Bezwijkmechanismen

Het bezwijken van een kadeconstructie kan zijn gebeurd door een of meerdere bezwijkmechanismen (faalmechanismen). In de volgende paragrafen wordt beschreven op welke onderdelen de kademuur kan bezwijken en worden de diverse bezwijkmechanismen beschreven met wat daarbij de signalen, oorzaken en beheersmaatregelen kunnen zijn en met welke controles je het risico kan verkleinen.

Door het toepassen van de controles en de beheersmaatregelen (verder beschreven in hoofdstuk 7) kunnen mogelijk de risico's worden verkleind en kan de levensduur worden verlengd en de veiligheid worden verhoogd.

3.1 Metselwerkconstructies op houten palen

<table>
<tr><th colspan="2">1. Overschrijden van het geotechnisch draagvermogen</th></tr>
<tr><td colspan="2">Omschrijving
Hierbij bezwijkt de fundering op geotechnisch draagkracht van de ondergrond.
(Geen acuut bezwijkgevaar)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Risico's
<u>Enkele paal</u>
▪ Bij een enkele paal zijn de risico's voor de omgeving gering.
▪ Voor de constructie kan er lokaal kleine schade optreden.
<u>Meerdere palen</u>
▪ Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies.
▪ Door deformaties kan er constructieve schade ontstaan aan de kademuur.</td></tr>
<tr><td>Signalen
▪ Scheuren in het metselwerk.
▪ (lokale) zetting van de constructie.
▪ Rotatie van de constructie.</td><td></td></tr>
<tr><td>Oorzaken
▪ Overbelasting van de constructie.
▪ (lokaal) slechte ondergrond.
▪ Beschadiging/aantasting van de palen.</td><td>Beheersmaatregelen.
▪ Visuele Inspectie.
▪ Ontlasten van de constructie.
▪ Monitoring.
▪ Herberekening.</td></tr>
</table>

2. Constructief bezwijken van de palen

Omschrijving

De palen bezwijken op sterkte (druk, trek, buiging, knik en afschuiving).

Risico's

Enkele paal

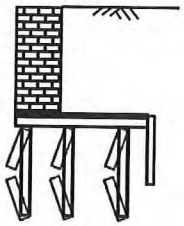
- Bij een enkele paal zijn de risico's voor de omgeving gering.
- Voor de constructie kan er lokaal kleine schade optreden.

Meerdere palen

- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies (leidingen en bebouwing)
- (Acuut) bezwijken van kademuur met gevolgen voor achterliggende constructies (verlies van functie).

Signalen

- Scheuren in het metselwerk.
- (lokale) zetting van de constructie.
- Rotatie van de constructie.



Oorzaken

- Overbelasting van de constructie.
- Aantasting van de palen.
- Beschadiging van de palen.

Beheersmaatregelen

- Ontlasten van de constructie.
- Monitoring.
- Visuele inspectie/materiaalonderzoek.
- Herberekening.

3. Kantelen van de metselwerkwand

Omschrijving

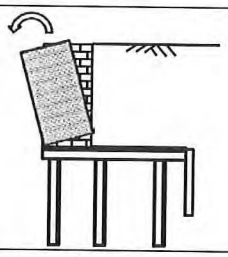
De metselwerk wand roteert/kantelt over de vloer richting de waterzijde.

Risico's

- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies.
- Bezwijken van kademuur met gevolgen voor achterliggende constructies (verlies van functie).

Signalen

- Scheuren in het metselwerk.
- (lokale) zetting in het maaiveld.
- Rotatie van de constructie.



Oorzaken

- Overbelasting van de constructie.(maaiveld, troskrachten).

Beheersmaatregelen

- Ontlasten van de constructie.
- Evenwichtsberekening.
- Inspectie van maaiveld / constructie.
- Monitoring.

4. Horizontale verplaatsing (afschuiving) van de wand.

Omschrijving

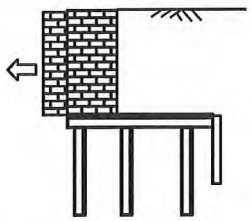
De wand van de kade schuift van de vloer. Wanneer er schuifhout aanwezig is aan de voorzijde van de kademuur worden de risico's van dit bezwijkmechanisme verkleind. Door aantasting kan het schuifhout zijn functie weer verliezen.

Risico's

- Schade aan metselwerk.
- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies.
- Bezwijken van kademuur (kademuur scheurt en schuift van de vloer af) met gevolgen voor achterliggende constructies (leidingen en bebouwing) en verlies van functie.

Signalen

- Scheuren in het metselwerk.
- Zakking in het achterliggende maaiveld (grondontspanning)
- Horizontale verplaatsing constructie. (in langsrichting ontstaat een gebogen constructie)



Oorzaken

- Overbelasting van de constructie. (Verkeer, maaiveld, troskrachten)
- (Zwaar)aangetast schuifhout
- Beschadigd/aangetast schuifhout

Beheersmaatregelen

- Ontlasten van de constructie
- Inspectie metselwerk/schuifhout
- Herstellen schuifhout
- Monitoring
- Herberekening
- Noodconstructie

5. Overschrijden van de algemene stabiliteit

Omschrijving

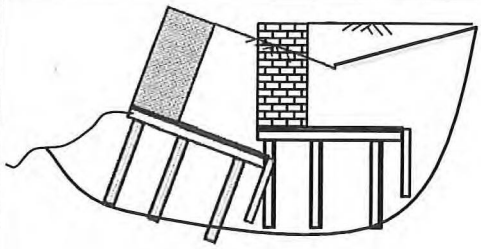
Door het ontstaan van een glijvlak schuift de kademuur inclusief de grond in zijn geheel af richting het water.

Risico's

- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies
- Bezwijken van kademuur met gevolgen voor achterliggende constructies (verlies van functie).

Signalen

- Scheuren in het metselwerk.
- (lokale) zetting van de constructie.
- Rotatie van de constructie.
- Zettingsscheuren in de constructie.
- Verzakkingen van de ondergrond.



Oorzaken

- Overbelasting van de constructie.
- Verdwenen waterbodem.
- Uitspelen van grond.
- Grote waterstand verschillen
- Aangetaste fundering.

Beheersmaatregelen

- Ontlasten van de constructie.
- Monitoring.
- Materiaal onderzoek.
- Herberekening (Plaxis)
- Inmeten waterbodem.
- Noodconstructie.

6. Constructief bezwijken van de constructieve wand

Omschrijving

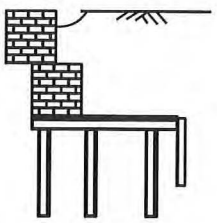
Het materiaal van de wand bezwijkt op sterkte of vervorming.

Risico's

- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies
- Bezwijken van kademuur met gevolgen voor achterliggende constructies (verlies van functie).

Signalen

- Scheuren in het metselwerk.
- Los zittende stenen.
- Zetting in het maaiveld.
- Horizontale verplaatsing constructie. (in langsrichting ontstaat een gebogen constructie)



Oorzaken

- Overbelasting van de constructie.
- Beschadiging metselwerk.
- Slecht metselwerk.

Beheersmaatregelen

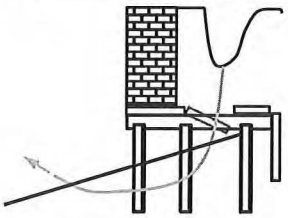
- Ontlasten van de constructie
- Inspectie van maaiveld / constructie.
- Monitoring.
- Noodconstructie.

7. Constructief bezwijken van de vloer

Omschrijving
Het vloerhout bezwijkt.

Risico's
- Deformatie/schade van het maaiveld en mogelijk achterliggende constructies.

Signalen
- Scheuren in het metselwerk.
- Los zittende stenen.
- Zetting in het maaiveld.
- Verstoring van de waterbodem.



Oorzaken
- Overbelasting van de constructie.
- Aangetast hout.
- Uitgespoelde waterbodem.

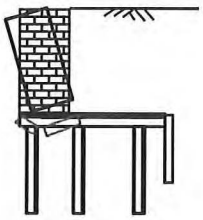
Beheersmaatregelen.
- Ontlasten van de constructie
- Inspectie van maaiveld / constructie.
- Inmeten waterbodem
- Materiaalonderzoek
- Herberekening

8. Constructief bezwijken van de kespen

Omschrijving
De kespen bezwijken.

Risico's
- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies.

Signalen
- Scheuren in het metselwerk.
- (lokale) zetting in het maaiveld.
- Rotatie van de constructie.
- Zetting van deconstructie.



Oorzaken
- Overbelasting van de constructie.
- Aantasting van het kesphout

Beheersmaatregelen
- Ontlasten van de constructie
- Inspectie van maaiveld / constructie.
- Monitoring.
- Materiaalonderzoek
- Herberekening
- Noodconstructie

9. Horizontale verplaatsing van de constructie.

Omschrijving

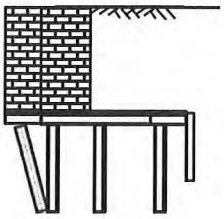
De kadeconstructie verplaatst in zijn geheel richting het water.

Risico's

- Schade aan de fundering door verplaatsing (extra spanningen en belastingen in de palen)
- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies.
- Bezwijken van kademuur met gevolgen voor achterliggende constructies (verlies van functie).

Signalen

- Scheuren in het metselwerk.
- Zakking in het achterliggende maaiveld (grondontspanning)
- Horizontale verplaatsing constructie. (in langsrichting ontstaat een gebogen constructie)



Oorzaken

- Overbelasting van de constructie.
- Verdwenen waterbodem
- Aangetaste funderingspalen

Beheersmaatregelen

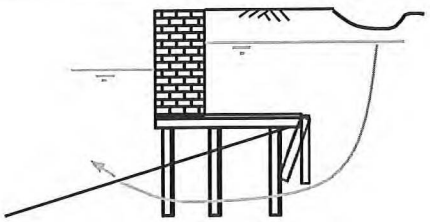
- Ontlasten van de constructie
- Monitoring
- Herberekening
- Noodconstructie
- Inmeten waterbodem

10. Het niet aanwezig zijn of het bezwijken van het onderloopsheidscherm (interne erosie, onderloopsheid, piping)

Omschrijving
Door het ontbreken van een onderloopsheidscherm of door een tekort of aangetast onderloopsheidscherm ontstaan er grondstromen die verzakkingen in het maaiveld geven.

Risico's
- Deformatie van het maaiveld met mogelijke gevolgen voor leidingen en bebouwing.
- Bij grote uitspoeling kunnen er grote gaten ontstaan in het achterliggende maaiveld.
- Instabiliteit van de kadeconstructie.

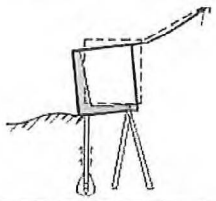
Signalen
- Zettingen in het maaiveld (kuilen).
- Verstoring van de waterbodem.



Oorzaken
- Kapot onderloopsheidscherm.
- Uitgespoelde waterbodem.
- Grote waterstand verschillen.

Beheersmaatregelen
- Inspectie van maaiveld / constructie.
- Inmeten waterbodem.
- Materiaalonderzoek.
- Herberekening.
- Nieuw onderloopsheidscherm

3.2 Betonnen L-wand constructies

<table>
<tr><td colspan="2">1. Overschrijden van het geotechnisch draagvermogen</td></tr>
<tr><td colspan="2">Omschrijving
Hierbij bezwijkt de fundering op geotechnisch draagkracht van de ondergrond.
(Geen acuut bezwijkgevaar)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Risico's
<u>Enkele paal</u>
▪ Bij een enkele paal zijn de risico's voor de omgeving gering.
▪ Voor de constructie kan er lokaal kleine schade optreden.
<u>Meerdere palen</u>
▪ Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies.
▪ Door deformaties kan er constructieve schade ontstaan aan de kademuur.</td></tr>
<tr><td>Signalen
▪ Scheuren in de constructie.
▪ (lokale) zetting van de constructie.
▪ Rotatie van de constructie.</td><td></td></tr>
<tr><td>Oorzaken
▪ Overbelasting van de constructie.
▪ (lokaal) slechte ondergrond.
▪ Beschadiging/aantasting van de palen.</td><td>Beheersmaatregelen.
▪ Visuele Inspectie.
▪ Ontlasten van de constructie.
▪ Monitoring.
▪ Herberekening.</td></tr>
</table>

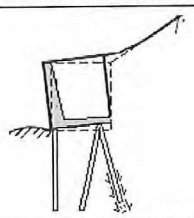
2. Overschrijden van het (geotechnisch) trekdraagvermogen

Omschrijving
Hierbij bezwijkt de fundering op geotechnisch trekdraagkracht van de ondergrond.
(Geen acuut bezwijkgevaar)

Risico's
Enkele paal
- Bij een enkele paal zijn de risico's voor de omgeving gering
- Voor de constructie kan er lokaal kleine schade optreden

Meerdere palen
- Deformatie van de constructie en mogelijk achterliggende constructies (leidingen en bebouwing)
- Door deformaties kan er constructieve schade ontstaan aan de kademuur.

Signalen
- Scheuren in de constructie.
- (lokale) zetting van de constructie.
- Rotatie van de constructie.



Oorzaken
- Overbelasting van de constructie.
- (lokaal) slechte ondergrond
- Beschadiging/aantasting van de palen.

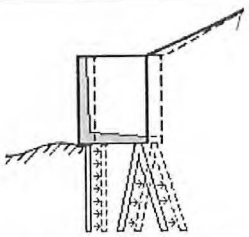
Beheersmaatregelen
- Ontlasten van de constructie
- Monitoring
- Herberekening

3. Horizontale verplaatsing van de constructie.

Omschrijving
De kadeconstructie verplaatst in zijn geheel richting het water.

Risico's
- Schade aan de fundering door verplaatsing (extra spanningen en belastingen in de palen)
- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies.
- Bezwijken van kademuur met gevolgen voor achterliggende constructies (verlies van functie).

Signalen
- Scheuren in de constructie.
- Zakking in het achterliggende maaiveld (grondontspanning)
- Horizontale verplaatsing constructie. (in langsrichting ontstaat een gebogen constructie).



Oorzaken
- Overbelasting van de constructie.
- Verdwenen waterbodem.
- Aangetaste funderingspalen.

Beheersmaatregelen
- Ontlasten van de constructie
- Monitoring
- Herberekening
- Noodconstructie
- Inmeten waterbodem

4. Overschrijden van de algemene stabiliteit

Omschrijving

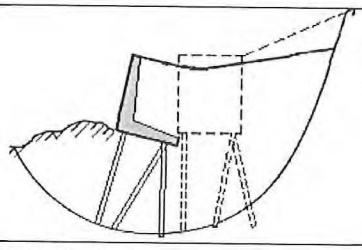
Door het ontstaan van een glijvlak schuift de kademuur inclusief de grond in zijn geheel af richting het water.

Risico's

- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies
- Bezwijken van kademuur met gevolgen voor achterliggende constructies (verlies van functie).

Signalen

- Scheuren in de constructie.
- (lokale) zetting van de constructie.
- Rotatie van de constructie.
- Zettingsscheuren in de constructie.
- Verzakkingen van de ondergrond.



Oorzaken

- Overbelasting van de constructie.
- Verdwenen waterbodem.
- Uitspelen van grond.
- Grote waterstand verschillen
- Aangetaste fundering.

Beheersmaatregelen

- Ontlasten van de constructie.
- Monitoring.
- Materiaal onderzoek.
- Herberekening (Plaxis)
- Inmeten waterbodem.
- Noodconstructie.

5. Constructief bezwijken van de constructieve wand of vloer

Omschrijving

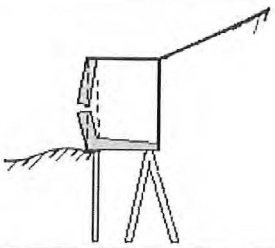
Het materiaal van de wand of vloer bezwijkt op sterkte of vervorming.

Risico's

- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies
- Bezwijken van kademuur met gevolgen voor achterliggende constructies (verlies van functie).

Signalen

- Scheuren in de constructie.
- Los zittende stenen/beton
- Zetting in het maaiveld.
- Horizontale verplaatsing constructie. (in langsrichting ontstaat een gebogen constructie).



Oorzaken

- Overbelasting van de constructie.
- Beschadiging/aantasting beton.
- Slecht beton/wapening

Beheersmaatregelen

- Ontlasten van de constructie
- Inspectie van maaiveld / constructie.
- Monitoring.
- Herberekening.
- Noodconstructie.

6. Constructief bezwijken van de palen (druk, trek, buiging, knik, afschuiving)

Omschrijving
De palen bezwijken op sterkte (druk, trek, buiging, knik en afschuiving).

Risico's

Enkele paal

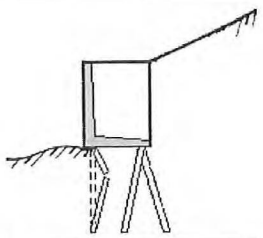
- Bij een enkele paal zijn de risico's voor de omgeving gering.
- Voor de constructie kan er lokaal kleine schade optreden.

Meerdere palen

- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies (leidingen en bebouwing)
- (Acuut) bezwijken van kademuur met gevolgen voor achterliggende constructies (verlies van functie).

Signalen

- Scheuren in de constructie.
- (lokale) zetting van de constructie.
- Rotatie van de constructie.



Oorzaken

- Overbelasting van de constructie.
- Aantasting van de palen.
- Beschadiging van de palen.

Beheersmaatregelen

- Ontlasten van de constructie.
- Monitoring.
- Visuele inspectie/materiaalonderzoek.
- Herberekening.

7. Bezwijken door zeer grote verplaatsingen van de fundering.

Omschrijving

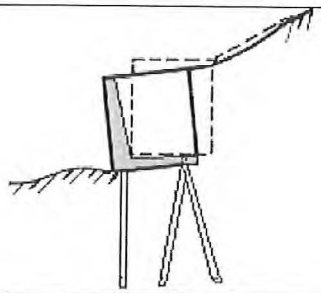
De kadeconstructie verplaatst in zijn geheel richting het water.

Risico's

- Schade aan de fundering door verplaatsing (extra spanningen en belastingen in de palen)
- Deformatie/schade van de constructie en mogelijk achterliggende constructies.
- Bezwijken van kademuur met gevolgen voor achterliggende constructies (verlies van functie).

Signalen

- Scheuren in de constructie.
- Zakking in het achterliggende maaiveld (grondontspanning)
- Horizontale verplaatsing constructie. (in langsrichting ontstaat een gebogen constructie)



Oorzaken

- Overbelasting van de constructie.
- Verdwenen waterbodem.
- Aangetaste funderingspalen.

Beheersmaatregelen

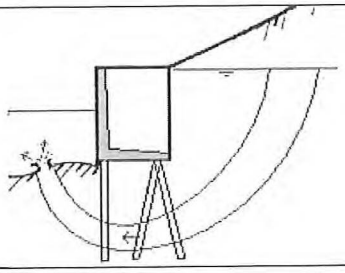
- Ontlasten van de constructie
- Monitoring
- Herberekening
- Noodconstructie
- Inmeten waterbodem

8. Bezwijken onderloopsheidscherm (interne erosie, onderloopsheid, piping)

Omschrijving
Door het ontbreken van een onderloopsheidscherm of door een tekort of aangetast onderloopsheidscherm ontstaan er grondstromen die verzakkingen in het maaiveld geven.

Risico's
- Deformatie van het maaiveld met mogelijke gevolgen voor leidingen en bebouwing.
- Bij grote uitspoeling kunnen er grote gaten ontstaan in het achterliggende maaiveld.
- Instabiliteit van de kadeconstructie.

Signalen
- Zettingen in het maaiveld (kuilen).
- Verstoring van de waterbodem.



Oorzaken
- Kapot onderloopsheidscherm.
- Uitgespoelde waterbodem.
- Grote waterstand verschillen.

Beheersmaatregelen
- Inspectie van maaiveld / constructie.
- Inmeten waterbodem.
- Materiaalonderzoek.
- Herberekening.
- Nieuw onderloopsheidscherm

4 Beoordeling constructieve veiligheid kademuren

4.1 Problematiek

Van het huidige areaal van de kadeconstructies is niet goed duidelijk wat de staat en de daarbij horende constructieve veiligheid van het areaal is. Bij kademuren is er sprake van zichtbare (boven de waterlijn) en niet zichtbare (onder de waterlijn) kwaliteit. Van het niet zichtbare deel hebben we de kwaliteit onvoldoende in beeld. Recent ingestorte kademuren, de hoge leeftijd van veel kademuren en slechte funderingen (bacterieel aangetast) bij recent onderzochte bruggen, die uit dezelfde tijd komen als de fundering van de kademuren, zijn aanleiding tot zorg. De constructieve veiligheid van deze kadeconstructies moet in kaart worden gebracht om zo een goed en onderbouwd meerjarig onderhoudsplan te krijgen en ook duidelijk wordt wat de vernieuwingsopgave is.

4.2 Prioritering

Door de beheerder worden eenmalige toestandsinspecties uitgevoerd naar de staat van het areaal. Aan de hand van deze toestandsinspecties wordt door de beheerder een selectie gemaakt "het beheerdersoordeel", waarbij met behulp van een risicomatrix (FMEACA) per kademuur een score kan worden toegekend die het risicoprofiel weergeeft van de kadeconstructie. Met dit risicoprofiel kan de beheerder actie ondernemen op de kadeconstructie.

Risicomatrix
Voor de risicomatrix als bruikbare tool moet het gehele areaal worden opgedeeld in kademuurtypen. Daarbij ontstaan kademuurdelen die afzonderlijk geprojecteerd worden in de risicomatrix. Elk kademuurdeel is gecodeerd op basis van de geografische ligging een Volgnummer en een code dat het kadetype weergeeft:
ID-kademuurdeel → {geo.ligging} - {volgnummer} - {kadetype},
[bijvoorbeeld: Javakade → JK.1.2B of IJH.1.2B]
De verschillende kademuurtypes en de betreffende coderingen zijn weergegeven in de lijst in bijlage 3.

4.2.1 Parameters

Bij de opzet van de risicomatrix is zoveel mogelijk aansluiting gevonden op bestaande richtlijnen en assetmanagementsystemen (FMECA). De factoren die van invloed zijn op de *kans* van bezwijken (leeftijd, type constructie, staat van onderhoud) en het gevolg daarvan (gebruik) zijn vastgelegd in een set parameters. Daarmee wordt het mogelijk om de parameters te

kwantificeren en daarmee een risicoberekening te maken van ieder deel van de kade (rak_2) afzonderlijk. De parameters zijn:
:

- Categorisering technische staat conform de NEN 2767-1. (T)
- Het huidig gebruik of de functie van de kadeconstructie. (F)
- De leeftijd en constructietype van de kadeconstructie. (L)

De categorisering conform de NEN 2767-1 is uitgezet in de verticale as van de risicomatrix. Op de horizontale as is een waarde uitgezet die bestaat uit een vermenigvuldiging van een waarde gelieerd aan de functie van de kademuur (F) en een factor (L) die wordt bepaald op basis van de leeftijd en het type constructie van de kademuur.

Uitstekende conditie	1	2	3	4	5	7	10	
Goede conditie	2	4	5	6	7	9	12	
Redelijke conditie	3	7	8	9	10	12	15	
Matige conditie	4	12	13	14	15	17	20	
Slechte conditie	5	16	17	18	19	21		
Zeer slechte conditie	6	22	23					
		1	2	3	4	6	9	F x L

Door elke kademuurdeel op basis van deze aspecten afzonderlijk over de verticale en horizontale assen te projecten wordt inzicht verkregen in de noodzaak van vernieuwing. Naast het gebruik van de risicomatrix kan ook gebruik gemaakt worden van de overeenstemmende formule: $(T)^{1,7} + (F \times L)$ waarbij de volgende grenswaarden zijn gedefinieerd:

< 14	= Geen vernieuwing in onderhoudsprogrammering noodzakelijk
14 – 17	= Monitoring of intensieve inspectie / herberekening - vernieuwing binnen 15-30 jaar
18 – 23	= Beheersmaatregelen treffen (binnen 5 jaar groot onderhoud of vervangen
	= Direct afzetten en z.s.m. maatregelen treffen (groot onderhoud of vervangen)

<u>Toelichting op de parameters</u>

Technische staat

De NEN 2767-1 hanteert een uniforme categorisering van de technische staat van kunstwerken. Door gebruik te maken van de categorisering conform de NEN 2767-1 wordt zoveel mogelijk aansluiting gevonden op bestaande assetmanagementsystemen. Daarmee wordt de bruikbaarheid voor andere arealen of bij andere Stadsdelen kansrijker. Op basis van de visuele inspecties en onderzoeken is per kademuur een inschatting gedaan van de technische staat van de betreffende kademuur. De NEN-norm geeft eveneens handreikingen over de aan te houden categorie in het geval meerdere schadepatronen zich op verschillende plekken voordoen. De categorisering conform de NEN 2767 is als volgt:

1	Uitstekende conditie	Incidenteel geringe gebreken.
2	Goede conditie	Incidenteel beginnende veroudering.
3	Redelijke conditie	- Plaatselijke zichtbare veroudering. - Optreden acuut bezwijkmechanisme nog niet in zicht.
4	Matige conditie	- Functievervulling incidenteel in gevaar - Komende 5 jaar treedt geen acuut

		bezwijkmechanisme op.
5	Slechte conditie	- Functievervulling in gevaar - Vanaf 1 tot 5 jaar kan zich een acuut bezwijkmechanisme voordoen.

Functie van de kademuur

De functie van de kademuur is meegenomen aangezien het mogelijke bezwijken van kademuren verschillende gevolgen kan hebben die afhankelijk zijn van de functie en daarmee bepalend zijn voor de positie in de risicomatrix. De categorisering is als volgt:

1	Kademuur geen essentiële functie	- Bezwijken van de kademuur heeft geen gevolgen voor andere (aangrenzende) functies - Moment van bezwijken van de kademuur vormt geen onaanvaardbare veiligheidsrisico
2	Kademuur met beperkte functie	- Bezwijken kademuur alleen gevolgen voor ondergeschikte functies. - Functie kademuur heeft geen directe relatie met achterliggende woningen, gebouwen, (ondergrondse) parkeergarages of hoofdroutes.
3	Kademuur met primaire functie	- Functie kademuur heeft een directe relatie voor achterliggende woningen, overige in gebruik zijnde bebouwingen en/of verkeersroutes.

Factor leeftijd en type constructie

De factor leeftijd / type constructie (L) is een waarde van 1, 2 of 3 waarmee de mate van risico op een acuut bezwijkmechanisme wordt weergegeven. Bij minder acute bezwijkmechanismen worden waarschuwingen gegeven alvorens het werkelijke bezwijken optreedt. Bij acute bezwijkmechanismen zijn weinig waarschuwingen vooraf waarmee het risico van bezwijken wordt vergroot. De factor die wordt toegekend afhankelijk van leeftijd en type kademuur is als volgt:

	Leeftijd	< 35 jaar	35 tot 80 jaar	> 80 jaar
	Kadetypen	(langzame veroudering)	(gemiddelde veroudering)	(snelle veroudering)
1A	Natuurlijke oever – niet gefundeerd	1	1	1
1B	Natuurlijke oever met houten beschoeiing	1	2	3
1C	Glooiing met (basalt)metselwerk op gefundeerde draagbalk	1	2	3
1D	Glooiing met stortsteen / zinkstukken	1	2	3
2A	Gewichtsmuur (metselwerk / stampbeton), "op staal"	2	3	3
2B	Gewichtsmuur (metselwerk / stampbeton), op houten vloer en palen	1	3	3
2C	Gewichtsmuur (metselwerk / stampbeton), op betonnen vloer en palen	1	3	3
2D	Gewichtsmuurconstructie - fundering onbekend	3	3	3
3A	Betonnen L-muur – niet gefundeerd / fundering "op staal"	1	2	3
3B	Betonnen L-muur – houten paalfundering	1	2	3

3C	Betonnen L-muur – betonnen paalfundering	1	2	2
3D	Betonnen L-muur - stalen paalfundering	1	2	2
3E	Betonnen L-muur – onbekende fundering	2	3	3
3F	Betonnen vloer (hooggelegen) op houten paalfundering	1	3	3
3G	Betonnen vloer (hooggelegen) op betonnen paalfundering	1	2	3
3H	Betonnen vloer (hooggelegen) op stalen paalfundering	1	2	3
4A	Stalen damwand – onverankerd	1	2	3
4B	Verankerde stalen damwand	1	2	3
4C	Betonnen damwand	1	2	2
4D	Houten damwand	3	3	3
5	Geheel onbekende keerconstructie (*tot nader onderzoek* -->)	3	3	3

4.3 Rakken zonder duidelijk oordeel

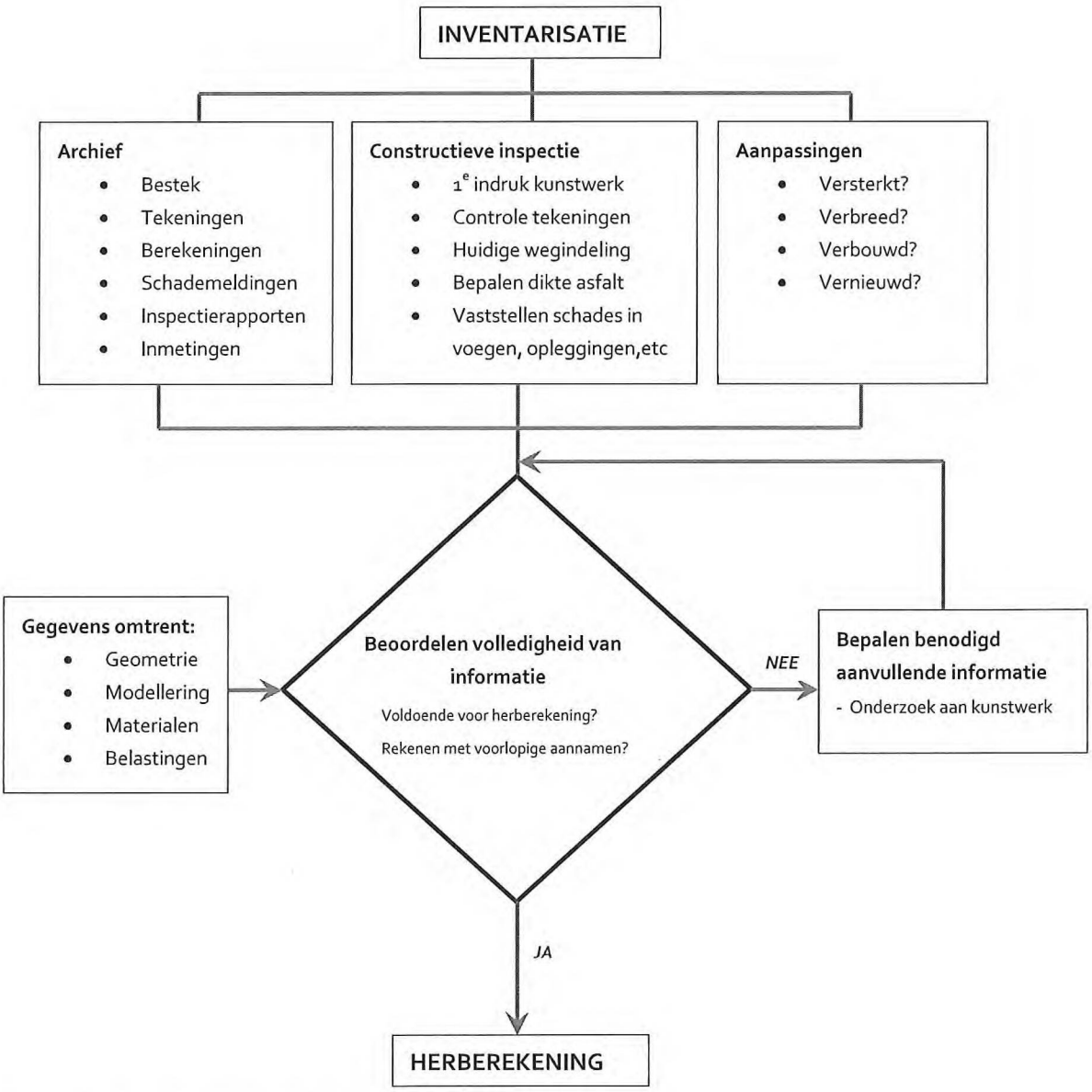
Deze rakken zijn niet in te delen in de categorieën goed of slecht. De staat van deze rakken is onduidelijk na de eerste inspectieronde de beheerder. Nader onderzoek van deze kadeconstructies moet leiden tot een beter inzicht in de restlevensduur en belastbaarheid van de kadeconstructie. Wanneer na de visuele inspectie de kadeconstructie goed blijkt dan kan deze worden opgenomen in het MJOP van de assetbeheerder. Wanneer deze slecht blijkt dan kan deze worden opgenomen in het monitoringsprogramma. Deze kade is geen urgente kadeconstructie en op basis van de monitoringsgegevens kan worden besloten wanneer deze kadeconstructie wordt opgenomen in het MJOP van de assetbeheerder. Wanneer na de visuele inspectie nog geen duidelijkheid is over de levensduur en de belastbaarheid van de kade dan kan worden besloten om een herberekening uit te voeren om de restlevensduur en de belastbaarheid te bepalen.

4.3.1 Visuele inspectie

Door een speciaal aangewezen bureau of door een constructeur van het eigen ingenieursbureau kan nogmaals een visuele inspectie worden uitgevoerd waarbij wordt gekeken naar de signalen van de bezwijkmechanismen genoemd in hoofdstuk 3. Hierbij kan na deze inspectie een beter inzicht worden verkregen in de staat van de kadeconstructie en worden bepaald hoe deze kadeconstructies verder in het programma opgenomen moeten worden.

4.3.2 Constructieve inspectie

De constructieve inspectie dient altijd uitgevoerd te worden alvorens begonnen wordt met een definitief constructieve beoordeling van een bestaand kunstwerk.



Figuur 1: Stroomschema-plaats constructieve inspectie in het inventarisatieproces

Uitvoering constructieve inspectie

De constructieve inspectie dient te worden uitgevoerd in combinatie met visuele inspectie (Toestandsinspectie) van het bestaande kunstwerk ter vastlegging van de huidige functionele toestand van de constructie. De inspectie dient te worden uitgevoerd voorafgaand aan de definitief constructieve beoordeling van het bestaande kunstwerk. Het is wel van belang dat de constructeur goed voorbereid is, hij/zij moet de bureaustudie (op basis van archiefonderzoek) afgerond hebben voor de inspectie.

De volgende stappen dienen te worden doorlopen bij het uitvoeren van de constructieve inspectie:

1. Het bestuderen van alle relevante archiefgegevens van de kadeconstructie die zijn verzameld uit het archiefonderzoek (bestekken, tekeningen, berekeningen, inspectierapporten, etc.). Bij de bestudering van de gegevens dient de constructeur bekend te zijn met de destijds gehanteerde normen en de interpretatie hiervan. Alleen dan kan beoordeeld worden of de gegevens volledig zijn voor de herberekening.
2. Het visueel inspecteren van het hele kunstwerk om indruk te verkrijgen over het type en de constructieve opbouw van zowel de boven- als de onderbouw van de kadeconstructie, voor zover die zichtbaar zijn.
3. Het vastleggen van alle wijzigingen in de situatie, omgeving en de rijbaanindeling t.o.v. die uit de (As-built) tekeningen.
4. Het vaststellen van het type, de huidige conditie, plaats en het aantal opleggingen onder het brugdek.
5. Het vaststellen van het type en de huidige conditie van de voegen, voegovergangen en compensatielassen in het brugdek.
6. Het opmeten of anders het inschatten van de dikte van de verhardingsconstructie.
7. Het vaststellen van de huidige staat van eerder gerepareerde schades zoals vermeld in oudere inspectierapporten.
8. Het vastleggen van scheuren, corrosie, lekkages en vochtbelasting in de boven- en de onderbouw van de kadeconstructie. Bij deze schadegevallen dient de constructeur te verklaren waardoor ze zijn ontstaan.
9. Het vaststellen van de zakking, scheefstand en overige deformaties in de kadeconstructie (brugdek en funderingen). De deformaties worden door de inspecteur bepaald tijdens de visuele inspectie. De constructeur moet de oorzaak van de deformaties verklaren.
10. Het vaststellen van de nog ontbrekende gegevens.
11. Alle tijdens de constructieve inspectie geconstateerde gebreken dienen in de te maken berekening te worden meegenomen.

<u>Aandachtspunten</u>

- De constructeur moet tijdens de inspectie voortdurend communiceren met de inspecteur en desnoods de inspecteur vragen om een nader onderzoek wanneer specifieke informatie niet kan worden verkregen uit visuele inspectie.
- Indien de gegevens over de kadeconstructie ontbreken dient de constructeur aan te geven of aanvullend onderzoek nodig is.
- Vooraf aan een aanvullend onderzoek moet wel worden ingeschat of met een aanname voor de ontbrekende gegevens een berekening kan worden uitgevoerd. Mogelijk volgt hieruit dat met zelfs de meest gunstige aannamen de constructie in de bestaande situatie niet voldoet. Dan heeft het aanvullende onderzoek aan de kadeconstructie geen zin meer.

4.3.3 Archiefonderzoek

Voor de constructieve beoordeling dienen door de volgende onderdelen uit het archief te worden betrokken en verstrekt:

- Ontwerpuitgangspunten en ontwerpbelastingen.
- Gegevens van de bouw, zoals:
  - Bestek;
  - Tekeningen (as-built);
    - Hoogtemaatvoering;
  - Berekeningen.
- Informatie over de bebouwing achter de kadeconstructie;
- Leggerprofiel waterbodem of inmetingen waterbodem
- Sonderingen en boringen;
- Risicodossier.
- Schademeldingen en reparaties
- Inspectierapporten.
- Deformatiemetingen (nul- en herhalingsmetingen).
- Uitgevoerde onderhoudswerken.
- Renovaties en/of constructieve aanpassingen.
- Eerdere herberekeningen

Voor het uitvoeren van een herberekening zijn tenminste de geometrische gegevens van de brugconstructie noodzakelijk, bij voorkeur van tekening. Voor zover overige gegevens, zoals een bestek of as-built gegevens, beschikbaar zijn, kan dit worden meegenomen in de herberekening waarmee de betrouwbaarheid van de beoordeling wordt vergroot.

Indien het betreffende dossier niet compleet of helemaal niet beschikbaar is, dient de assetmanager samen met de constructeur uitgangspunten vast te stellen, door de constructie in te laten meten en/ of materiaalonderzoeken (zie paragraaf 2.6) uit te laten voeren. Deze onderzoeken hebben dan in eerste instantie in het bijzonder betrekking op het bepalen van de dimensies, de materiaaleigenschappen en constructietype van de betreffende brug.

4.3.4 Materiaalonderzoeken

Voorafgaand aan, tijdens en/ of volgend op een herberekening kan de constructeur aangeven dat materiaalonderzoek noodzakelijk is. De noodzaak is niet altijd op voorhand in te schatten, benodigde tijd en geld hiervoor evenmin. Als risicomaatregel (bijvoorbeeld onder tijdsdruk) kan de assetmanager beslissen om direct uitgebreid onderzoek (i.o.m. constructeur) te laten doen.

Materiaalonderzoek is wenselijk en/of noodzakelijk als:

- er géén archiefgegevens bekend zijn.
- uit de visuele (duik)inspectie blijkt dat de werkelijke constructieopbouw afwijkt van de archiefgegevens.

- essentiële materiaaleigenschappen (zoals druk- en treksterkte metselwerk) te conservatief zijn aangenomen en leiden tot afkeur van de constructie(onderdelen) (Zie paragraaf 5.3).
- er een vermoeden bestaat van (bacteriële) aantasting van de houten (paal)fundering.

4.3.5 Deformatiemetingen

Deformatiemetingen beginnen met de vastlegging van de uitgangssituatie (nulmeting), waarna periodieke herhalingsmetingen volgen. De gegevens van een deformatiemeting leveren alleen nuttige informatie voor de constructieve beoordeling, als in een ruime periode daarvoor een nulmeting en bij voorkeur meerdere herhalingsmetingen zijn verricht. Een nulmeting verrichten op het moment van de constructieve beoordeling levert geen bruikbare gegevens op.

Op het moment dat een eerste herhalingsmeting is uitgevoerd kan een eventuele verplaatsing in X, Y of Z richting, uitgezet tegen de tijd, worden bepaald. Bij de beschouwing van de meetresultaten gaat het voornamelijk om waarnemingen van trends, bijvoorbeeld een versnelde vervorming in een bepaalde richting. Resultaten van deformatiemetingen dienen altijd samen met de resultaten van visuele inspecties te worden beschouwd. Bij een tweetal metingen (nulmeting en eerste herhalingsmeting) is echter nog niet bekend hoe het verloop van de verplaatsingen heeft plaatsgevonden en of het verloop tussen de twee metingen mogelijk niet lineair is opgetreden. Vervormingen en verplaatsingen kunnen voortkomen uit meetafwijkingen of door het uitzetten of krimpen van materialen door temperatuurwijzigingen. In de regel zijn dus minstens twee herhalingsmetingen noodzakelijk om inzicht te krijgen in de verplaatsing en het vervormingsgedrag van de kadeconstructie dat het gevolg kan zijn van constructieve tekortkomingen.

5 Herberekeningen

5.1 Uitgangspunten veiligheidsfilosofie

5.1.1 Levensduur

Het bepalen van de levensduur gebeurd op dezelfde manier als bij bruggen, conform de eisen uit de Eurocode. Voor herberekeningen en het bepalen van de restlevensduur wordt verwezen naar de NEN 8700 en de 8701.
De standaard ontwerplevensduur van een kademuur was in het verleden 50 jaar.

5.1.2 Gevolgklassen

Voor het maken van een (her)berekening moet een kadeconstructie worden ingedeeld in een gevolgklasse (Concequence Class = CC) voor constructies conform de NEN-EN 1990-1-1/NB 20-B1 of een betrouwbaarheidsklasse (Reliability Class) voor geotechnische constructies.

Definitie van de gevolgklassen

Gevolgklassen*	Omschrijving
CC1 / RC1	Geringe gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en/of grote economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.
CC2 / RC 2	Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en/of aanzienlijke economische of sociale gevolgen voor de omgeving.
CC3 / RC 3	Grote gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en/of zeer grote economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.

*conform de NEN EN 1990-1-1/NB tabel NB20-B1

De norm omschrijft in tabellen (NEN EN 1990-1-1/NB tabel NB21-B1) in welke gevolgklasse de diverse constructies (gebouwen en bruggen) zijn in te delen. Voor kadeconstructies zijn geen tabellen opgesteld. In deze leidraad wordt door middel van een tabelindeling bepaald in welke gevolgklasse een kadeconstructie is in te delen. In de onderstaande tabel worden de verschillende kadeconstructies verdeeld over de gevolgklassen.

Gevolgklasse	Voorbeelden van toepassingen voor keerconstructies	Functieklasse (*[1])
CC1 / RC1	▪ Glooiingsconstructie ▪ Kademuur met een kerende hoogte ≤ 2 meter. ▪ De afstand tussen een kademuur en de gevel van de bebouwing ≥ 10 meter.	1 en 2
CC2 / RC2	▪ Kademuur met een kerende hoogte > 2 meter.	3

	▪ De afstand tussen een kademuur en de gevel van de bebouwing < 10 meter. ▪ Kademuur langs het hoofdnet Auto	
CC3 / RC3	▪ Waterkering ▪ Kademuren met laad en losplaatsen voor scheepsvaart ▪ Kademuren met grote waterstandsverschillen.	N.V.T.

(*[1]) Voor functieklasse zie paragraaf 4.2. (FMECA score)

5.1.3 Bestaande constructie Verbouw- / afkeurniveau

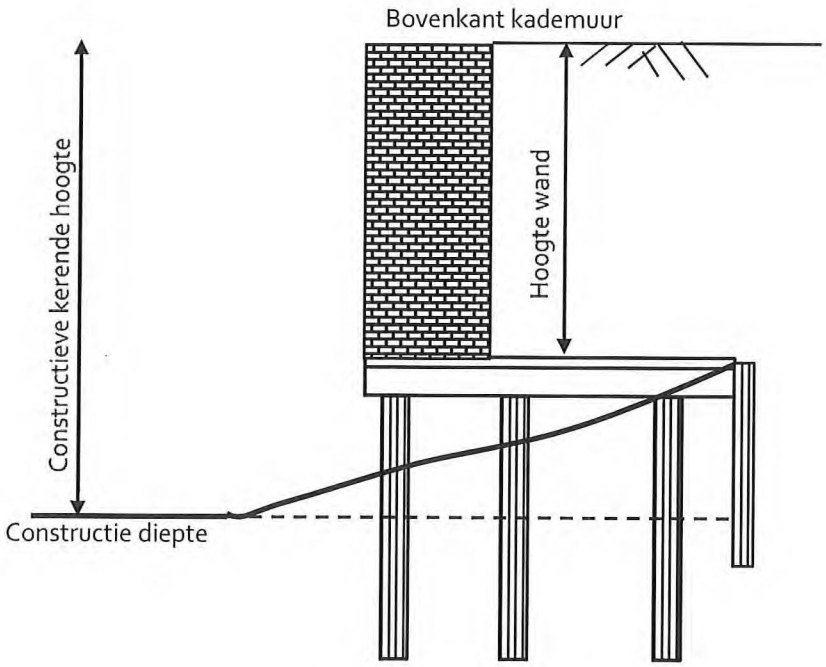
Voor het maken van een herberekening moet worden gekeken naar de prioriteringsscore (FMECA) om te bepalen wat de restlevensduur is en welke referentieperiode aangehouden kan worden. In de volgende tabel zijn de scores en bijbehorende uitgangspunten voor verbouw en afkeur weergegeven.

Technische staat & prioritering	Niveau herberekening	Restlevensduur	Referentieperiode	Betrouwbaarheids klasse
Alle	Geen herberekening noodzakelijk	[-]	[-]	
Redelijk	Verbouw	30 jaar	30 jaar	
Matig	Verbouw	15 Jaar	15 jaar	
Slecht	Verbouw	15 jaar	15 jaar	
Matig	Afkeur	5 jaar	15 jaar	
Slecht	Afkeur	5 jaar	15 jaar	
Zeer slecht	Afkeur	5 jaar	15 jaar	
	Wanneer noodzakelijk	1 Jaar	15 jaar	

Wanneer de constructie niet voldoet aan het gestelde betrouwbaarheidsniveau dan moet worden gekeken waaraan de constructie dan wel voldoet. Het betrouwbaarheidsniveau (β)kan worden verlaagd tot maximaal 2,4 bij een afkeurniveau met een restlevensduur van 1 jaar en een referentieperiode van 15 jaar.

5.2 Constructief kerende hoogte

De kerende hoogte van een kademuur wordt op de volgende manier bepaald.



De constructieve kerende wordt bepaald door de constructieve waterbodem (onderhoudsdiepte) te bepalen van de gracht. Deze constructieve waterbodem wordt bepaald de leggerdiepte (minimale diepte) + marge voor baggeren bij elkaar op te tellen. Voor de marge van het baggeren wordt over het algemeen 0,5 meter aangehouden.

Waterbodem grachten
Informatie over de leggerdiepte worden verstrekt op de website van waternet/ Amstel Gooi en Vechtstreek. De onderhoudsdiepte (baggerdiepte) wordt bepaald door de dagelijks beheerder van het betreffende stadsdeel.

5.3 Materialen

5.3.1 Materiaaleigenschappen

Hout
Indien de houtsoort niet bekend is moet voor het constructieonderdeel (heipaal, kesp, langshout en/of schuifhout) sterkteklasse C24 (veel gebruikt naaldhout) aangehouden worden.

Staal
Indien de staalsoort niet bekend is moet voor de stalen constructieonderdelen het volgende constructie materiaal worden aangehouden:

- Stalen ligger = S235
- Stalen Damwand = S235

Beton
Indien de betonsoort/sterkte niet bekend is moet voor de betoncontrole de volgende eigenschappen worden aangehouden:

- Beton brugdek: C28/35 (nog aan te tonen met object specifiek materiaalonderzoek)
- Betonstaal betonnen L-wand: glad staal QR24

Metselwerk

- Druksterkte conform Eurocode 6.
- De elasticiteitsmodulus is dan gelijk aan 700*f'rep (f'rep; druksterkte van metselwerk, conform. Eurocode 6)

5.3.2 Wrijvingscoëfficiënten van materialen

Voor de wrijvingscoëfficiënt zijn de volgende waarden terug te vinden (http://www.engineershandbook.com/Tables/frictioncoefficients.htm)

Materiaal 1	Materiaal 2	Wrijvingscoëfficiënt Statisch (droog)	Wrijvingscoëfficiënt Statisch (nat)
Hout	Metselwerk	0.60	0.30*
Hout	Beton	0.62	0.31*

* De aansluiting van het metselwerk en de houten vloer zitten altijd onder water. Uit de literatuur zijn geen duidelijke richtwaarden te halen. Voor een veilige en conservatieve aanname kan de helft van de droge wrijvingscoëfficiënt worden genomen als ondergrens.

5.3.3 Grondparameters

Bodemprofiel
Indien er géén sonderingen beschikbaar zijn moet voor het bepalen van de horizontale beddingconstanten onderstaande grondopbouw aangehouden worden, gebaseerd op ervaringscijfers en een gemiddeld grondprofiel in Amsterdam-Centrum:

Grondlaag	Boven-/onderzijde laag [m NAP]	Dikte laag [m]	$k_{h;rep}$ [kN/m^3]	$k_{h;d}$ [kN/m^3]
Klei en veen	0,0 / - 4,0	4,0	2000	1480
Wadafzettingen	- 4,0 / - 9,0	5,0	4000	2960
Zandhoudende klei	- 9,0 / - 11,0	2,0	6000	4440
Klei en veen	- 11,0 / - 12,5	1,6	1600	1190
1^e Zandlaag	- 12,5 / verder	-	36000	26670

Uitgangspunten (grond)waterdrukken
Karakteristieke onder- en bovengrenswaarden voor grondwaterdrukken en/ of stijghoogtes zijn de GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) en GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand). Deze dienen in rekening te worden gebracht als permanente belasting.
Om rekenwaarden voor de waterdruk te bepalen wordt verwezen naar de Eurocodes en de NEN 8700,NEN 8701 en de NEN 8707.

Spreidinghoek φ van de ondergrond
Voor de spreidingshoek van de ondergrond wordt een waarde van 30 graden aangehouden.

Gronddrukcoëfficiënt
Voor het berekenen van de horizontale grond- en korrelspanning wordt gerekend met een gronddrukcoëfficiënt.
Voor slappe constructies zoals damwanden moet een gronddrukcoëfficiënt [λa] worden aangehouden van 0,33.
Voor stijve constructies zoals betonnen een betonnen L-wand moet een gronddrukcoëfficiënt [λn] worden aangehouden van 0,50.
Voor gewichtsconstructies met een metselwerk wand en houten vloer is de waarde minder eenvoudig te bepalen. In het beginsel een gewichtsmuur een stijve geotechnische constructie waarbij een gronddrukcoëfficiënt van [λn] = 0,5 moet worden aangehouden.

Spreiding van (mobiele) belastingen van het maaiveld naar de kadeconstructie
Om de horizontale belasting op de wand te berekenen vanuit een belasting die niet direct gelegen is achter de wand van de kadeconstructie, moet gebruik gemaakt worden van 1 van de 2 spreidingstheorieën:

1. Voor slappe constructies kan gebruik worden gemaakt van de methode Culmann om de horizontale belasting op de wand te berekenen.
2. Voor stijve constructies kan gebruik worden gemaakt van de methode Boussinesq om de horizontale belasting op de wand te berekenen.

5.4 Modelleren kadeconstructie

Geometrie
De geometrie van het rekenmodel moet zoveel mogelijk worden overgenomen van de archieftekeningen. Wanneer er geen archieftekeningen van het betreffende rak aanwezig zijn dan moet door middel van een visuele inspectie de situatie en geometrie van de kadeconstructie in kaart worden gebracht.

Wand
Volumieke massa

Er dient te worden uitgegaan van het volumiek gewicht van het gemeten verzadigde gewicht van het metselwerk (onderdeel onder de waterlijn). Door capillaire opzuiging is ook het deel boven de waterlijn verzadigd en dus geldt daarvoor ook een hoger volumiek gewicht dan het droog gewicht. Alleen voor het bovenste deel van het metselwerk wordt gerekend met droog gewicht.
Onder water 23 kN/m^3 + opwaartse waterdruk; van waterlijn tot 1 meter boven waterlijn 23 kN/m^3; daarboven 20 kN/m^3.
(De opwaartse waterdruk is een gunstig werkende permanente belasting. Hier geldt dus een belastingfactor van 0,9.)

Belastingen
Op de gemetselde muur werkende horizontale belastingen dienen te worden meegenomen.

Modellering en toetsing ongescheurd metselwerk:
Wanneer de gemetselde constructie ongescheurd is mag de gemetselde muur gemodelleerd worden in een eindige-elementen-model (EEM) als buigligger

- In de modellering dient te worden uitgegaan van de werkelijke paalstanden volgens het palenplan.
- Bij het toetsen van de doorsnede moet de op trek en buiging belaste metselwerkdoorsnede getoetst worden op de buigtreksterkte van het metselwerk. Wanneer de buigtrekspanning overschreden wordt moet de berekening alsnog worden uitgevoerd als gescheurd metselwerk.

Modellering en toetsing gescheurd metselwerk:

- Oude gemetselde kademuren worden niet als buigligger gemodelleerd. (Gescheurd metselwerk kan geen trekkracht opnemen).
- Zover de geconstateerde scheurvorming hier geen beperkingen in geeft wordt voor de belastingafdracht in het metselwerk een spreidingshoek van 30 graden aangehouden. Tenzij door middel van tekeningen, nader onderzoek aan en inspectie van de constructie of op basis van historische informatie blijkt dat de sterkte van de trekband toelaat om een grotere spreiding te hanteren.

<u>Kespen/vloer</u>
De kespen en de vloer kunnen als samengestelde constructie worden gemodelleerd waarbij de materiaaleigenschappen kunnen worden ingevoerd die zijn bepaald uit onderzoek of overgenomen uit paragraaf 5.3.

<u>Fundering</u>
De Gemeente Amsterdam modelleert de paalfundering als 3D-rekenmodel in SCIA-Engineer. Elke vergelijkbare methode is toegestaan.
Voor de modellering moet de volgende informatie bekend zijn:

- De detaillering van de paalfundering dat volgt uit:
    - archiefonderzoek (tekeningen, berekeningen en bestek)
    - een visuele inspectie en het opmeten van de funderingsconstructie volgens paragraaf 2.7.4 uit de F3O-richtlijn

- De grondparameters (horizontale en verticale beddingconstanten) bepaald op basis van beschikbare sonderingen.

Aanvullend op bovenstaande moeten bij de modellering de volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- Indien de paaldiameter van de houten heipaal niet bekend is moet een diameter van ∅250 mm aangehouden worden.
- Het paalpuntniveau is 2 tochten lager (=2*25 cm) dan de bovenzijde van de 1e zandlaag.
- Indien er géén sonderingen beschikbaar zijn moet een paalpuntniveau van NAP -13,0 m (1e zandlaag) aangehouden worden.
- Indien het paalpuntniveau niet bekend is en/of sonderingen niet beschikbaar zijn moet voor de verticale beddingconstante een waarde aangehouden worden van 50 MN/m2.

Reductiefactor volgens Jampell

Jampell heeft relaties afgeleid tussen de horizontale beddingsconstante en de elasticiteitsmodulus voor een enkele paal en een paalgroep. Op basis van deze relaties zijn, geldend voor normale paalafstanden (circa 3D), de volgende reductiefactoren (F) afgeleid:

- 2 palen = 0,5
- 3 palen = 0,33
- 4 of meer palen = 0,25

Op basis van de resultaten van de expertmeeting moeten aanvullend en afwijkend op de F3O-richtlijn bij de toetsing van de houten paalfundering de volgende uitgangspunten gehanteerd worden:

- De zachte schil is dat deel van de paaldoorsnede dat (zeer) ernstig is aangetast door microbiële erosie, en waarvoor in het laboratorium een druksterkte is bepaald die kleiner is dan 8 N/mm^2.
- De dikte van de door de (actieve) bacteriën veroorzaakte zachte schil aan de paalpunt is de helft van die gemeten aan de paalkop. De zachte schil kan niet bepaald worden volgens de F3O-systematiek (inslaghamer).
- De door de (actieve) bacteriën (of schimmels) veroorzaakte zachte schil werkt niet mee in de sterkte van de heipaal.
- Voor het resterende oppervlak (=oorspronkelijke doorsnede D minus de zachte schil i) moet voor naaldhout gerekend worden met een materiaalsterkte van $f_{c;d}$ = 10,8 N/mm^2.
- Er moet bij de heipaal gerekend worden met een tapsheid van 8,0 mm/m1, zie handboek 'Maatwerk [2].
- Bacteriële aantasting heeft géén invloed op de rekenkundige bepaling van de geotechnische draagkracht van de heipaal.
- Voor de bepaling van de geotechnische draagkracht mag gerekend worden met:
    - de oorspronkelijke diameter van de paalpunt
    - een paalpuntniveau waarbij de paalpunt 2 tochten (=2*25 cm) in de 1e zandlaag staat
    - $q_{gem} = 0,5 * ((q_1+q_2)/2 + q_3)$

Een indicatieve beschouwing van beschikbare laboratoriumresultaten geeft aan dat bovenstaande richtlijn conservatief en daardoor voldoende veilig is. Vanaf september 2016 zullen door het IB de gegevens van in het laboratorium uitgevoerd houtonderzoek nader geanalyseerd worden om de hierboven geformuleerde hypothese voor de reststerkte van de heipaal te toetsen. Aan de hand van de uitkomsten hiervan zal de Leidraad dan worden aangepast.

5.5 Belastingscombinaties

Voor het berekeningen van de maximale belastingen op de kadeconstructies moeten de volgende fundamentele belastingscombinaties worden gebruikt.

of, in plaats hiervan voor STR en GEO grenstoestanden, de minst gunstige van de twee volgende formules:

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \qquad (6.10a)$$

$$\sum_{j\geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \qquad (6.10b)$$

waarin:

"+" betekent "te combineren met"
Σ betekent "de gecombineerde uitkomst van"
ξ is een reductiefactor voor ongunstige, blijvende belastingen G.

5.6 Belastingen

5.6.1 Mobiele belastingen

Wegindeling
Voor het bepalen van de locatie van de mobiele belasting moet gekeken naar de huidige rijbaan en maaiveld indeling. Wel moet worden gekeken of bijzondere situaties kunnen ontstaan in de nabijheid van de kademuren. (zoals zwaardere belastingen op de parkeervakken).

Rijbanen direct achter de kademuur
Wanneer rijbanen direct achter de kademuur liggen moeten deze berekend worden met de verkeersbelastingen uit de NEN-EN 1991-2 + NB (vigerende norm) "verkeersbelastingen op bruggen". Voor het controleren van de kadeconstructie kan gebruikt gemaakt worden van het handboek binnenstedelijke kademuren. (CUR 186).

- In het geval geen getallen bekend zijn ten aanzien van het werkelijk aantal zware voertuigen per jaar per rijstrook wordt ten behoeve van de statische berekening met belastingmodel LM1 een verkeersintensiteit aangehouden van:
  - N_{obs} = 700.000 voor de hoofdroutes
  - N_{obs} = 125.000 voor het onderliggend wegennet

Reductiecoëfficiënten

De invloedslengte van een kademuur wordt beschouwd als een lengte die kleiner is dan 20 meter. Voor de correctiefactoren $\alpha Q1$ en $\alpha q1$ en αqr wordt een waarde van 1,0 aangehouden.
De toegepaste correctiefactor (Ψ) voor een referentieperiode van minder dan 100 jaar en de trendreductiefactor $\alpha trend$ worden door de invloedslengte een waarde (conform de NEN 8701) bepaald van 1,0.

Mobiele belastingen voor het bestaande areaal van kadeconstructies
Voor verkeersbelastingen werd in het verleden gebruik gemaakt van de oude verkeersklassen 300,450 en 600 kN. Deze verkeersbelastingen werden omgerekend naar een gelijkmatig verdeelde belasting. Ook werd in het verleden belastingen bepaald conform de CUR 166.
Verkeersklassen volgens de oude GTB normen.

Verkeersklasse [kN]	Omgerekende Gelijkmatig verdeelde belasting [kN/m^2]
300 kN	10 kN/m^2
450 kN	15 kN/m^2
600 kN	**20** kN/m^2

Belastingen volgens de CUR 166.

Type constructie	Omgerekende Gelijkmatig verdeelde belasting [kN/m^2]
Oeverbescherming	5 - 10 kN/m^2
Sluiskolk, kade, bouw	10 - **20** kN/m^2
Kaden voor zeehavens, dijkversterkingen	> 20 kN/m^2

Volgens deze tabellen moet de kademuur die niet direct aan een rijbaan grenst worden (her)berekend met een bovenbelasting van **20 kN/m^2** om te voldoen aan alle verkeersbelastingen.

Minimale belasting achter een kadeconstructie.
Wanneer een kademuur niet voldoet bij een mobiele bovenbelasting van 20 kN/m^2 dan moet worden gekeken bij welke belasting de kademuur wel voldoet en op welke afstand de maximale belasting van 20 kN/m^2 achter de kadeconstructie geplaatst kan worden.

Parkeerstroken en voetgangersgebied
Voor voetgangersgebied en parkeerstroken waarbij het fysiek onmogelijk is voor zwaar verkeer om daar staan kan worden gerekend met een bovenbelasting van 5 kN/m^2.

Stempelkracht kranen.
Voor bouwwerkzaamheden aan de gracht wordt regelmatig gebruik gemaakt van kranen om (zware) lasten te tillen. Deze kranen stempelen dan direct naast of in de nabijheid van de kadeconstructies. Deze aanvragen moeten afzonderlijk worden beschouwd en worden niet standaard opgenomen in een herberekening van de kademuur.

5.6.2 Rustende belastingen

De rustende belasting achter de kademuur moet worden meegenomen in de berekening van de kademuur. En worden gedimensioneerd op de gegevens en maaiveldinrichting van de huidige situatie. Voorbeelden van maaiveldbelastingen zijn:

- Bestrating
- Grondbelasting.
- Boombakken.
- Kunstwerken.

In tijdelijke situaties kan de ruimte achter de kademuur tijdens nabij gelegen bouwwerkzaamheden worden ingericht als opslagdepot. Hierbij kan men denken aan:

- Bouwketen.
- Opslag van metselstenen of bestratingsmateriaal.
- Containers met bouwpuin.
- Zand en/of grond.

Deze situaties moeten afzonderlijk worden beschouwd en worden niet standaard opgenomen in een herberekening van de kademuur.

5.6.3 Boombelasting

De belasting uit bomen moet worden meegenomen in de (her)berekening van een kademuur. De belastingen moeten worden bepaald volgens het handboek binnenstedelijke kademuren. (CUR 186), erratum 4.2.4.

5.6.4 Bolderkrachten/haalkomkrachten

Voor de bolder-/haalkombelasting wordt verwezen naar de RVW 2017.
Artikel 6.5.5. – RVW 2017

Scheepsklasse)	Karakteristieke waarde bolderkracht
Recreatievaart	40 [kN]

Onder recreatievaart kan worden verstaan: rondvaartboten, pleziervaart, jachten, bruine vloot (zeilschepen).

Voor de bolder-/haalkombelasting wordt verwezen naar de RVW 2017.

Scheepsklasse (beroepsvaart)	Karakteristieke waarde bolderkracht
Klasse I en II	150 [kN]
Klasse III en IV	200 [kN]
Klasse V en VI	250 [kN]

Beroepsvaart komt niet voor op de grachten in de binnenstad anders dan rondvaartboten. Voor het IJ, de Amstel de Kostverlorenvaart via de Kattensloot richting het IJ moet gerekend worden met de door Waternet opgegeven beroepsvaartklasse.

Artikel 6.5.5. – RVW 2017

Scheepsklasse)	Karakteristieke waarde bolderkracht
Recreatievaart	40 [kN]

Woonboten
Voor woonboten bestaan geen richtlijnen.
Om de maatgevende bolder-/haalkomkracht te berekenen moet het gevel oppervlak langs de kade worden bepaald die in combinatie met de stuwdruk (in kN/m2) van wind (NEN 1991-1-4) een kracht oplevert op de bolder.

Kleine sloepen
Voor kleine sloepen hoeft geen bolderkracht in rekening te worden gebracht.

5.6.5 IJsbelasting

Voor het herberekenen van de kademuren van grachten in de binnenstad is het niet noodzakelijk om ijsbelasting als belastingsgeval mee te nemen in de berekening. Een uitzondering moet worden gemaakt wanneer een kademuur onderdeel is van een waterkering.

5.6.6 Golfbelasting

Voor het herberekenen van de kademuren van grachten in de binnenstad is het niet noodzakelijk om golfbelasting als belastingsgeval mee te nemen in de berekening. Een uitzondering moet worden gemaakt wanneer een kademuur onderdeel is van een waterkering.

6 Toetsen van een kadeconstructie

6.1 Controle Algemeen

Het toetsen van de metselwerk gewichtsconstructie kan worden uitgevoerd op drie niveau van complexiteit.

1. Snelle toets (handmatig/spreadsheets) 1D
2. Uitgebreide toets met gebruikt van een 2D lineair rekenprogramma (Scia Engineer)
3. Complexe toets met het gebruik van een constructie model in Scia Engineer en een Geotechnisch model in Plaxis.

6.2 Controle van een metselwerk gewichtsconstructie

6.2.1 Controle van de fundering

6.2.1.1 Geotechnisch draagvermogen

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 1 getoetst.

Voor de controle van de geotechnische draagkracht van de funderingspaal moet worden voldaan worden aan de eis:

$$F_{c;d} \leq R_{c;d;net}$$

$F_{c;d}$ = rekenwaarde (volgend uit herberekening) voor de drukkracht op de paal.
$R_{c;d;net}$ = rekenwaarde van de draagkracht van de grond.

6.2.1.2 Sterkte van de funderingspalen. (druksterkte en knik)

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 2 getoetst.

Voor de controle van de druksterkte van het materiaal hout van de funderingspaal moet worden voldaan worden aan de eis:

$$\sigma_{c:0:d} \leq f_{c:0:d} = \sigma_{c:0:d} \leq 9{,}8\ N/mm^2 \quad (6.10a)$$
$$\sigma_{c:0:d} \leq f_{c:0:d} = \sigma_{c:0:d} \leq 11{,}5\ N/mm^2 \quad (6.10b)$$

$\sigma_{c;o;d}$ = rekenwaarde voor de drukspanning parallel aan de vezel.
$f_{c;o;d}$ = rekenwaarde druksterkte parallel aan de vezel.

Voor de controle van de kniksterkte moet gebruikt gemaakt worden van de formules uit de meest actuele houtnorm. Voor de waarde van de druksterkte van rondhout mogen de volgende waarde worden gebruikt:

$$f_{c:0:d} = 9{,}8\ N/mm^2 \quad (6.10a)$$

$f_{c:0:d} = 11{,}5\ N/mm^2$ (6.10b)

6.2.2 Controle van de verbinding paal/kesp

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 2 getoetst.

Uit inspecties moet blijken wat de staat is, van de verbinding van de paal met de kesp. Wanneer de verbinding sterk is aangetast op zelfs verdwenen wordt de verbinding afgekeurd. Wanneer de verbinding nog aanwezig is en in goede staat dan kan deze worden goedgekeurd.
Er is nog geen rekenmethodiek aanwezig of ontwikkeld om deze verbinding te controleren. Gedacht kan worden aan een doorsnede toets van de stalen pin/hakkelbout

6.2.3 Controle van de kantelstabiliteit

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 3 getoetst.

Door middel van een momenten evenwicht kan worden getoetst of de metselwerkwand stabiel is. Wanneer het aandrijvend moment (richting het water) groter is dan het tegenwerkend moment dan is de metselwerkwand instabiel en moet deze worden afgekeurd. Voor het kantelpunt wordt de voorzijde van de wand ter plaatse met de aansluiting met de vloer gekozen.

6.2.4 Controle van de afschuiving van de metselwerkwand

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 4 getoetst.

Wanneer er geen schuifhout (langshout) is aangebracht aan de voorzijde van de kademuur of het schuifhout is sterk aangetast dan moet de metselwerk wand worden getoetst tegen afschuiven. Hierbij moet de volledige horizontale kracht worden opgenomen door het schuifhout.

6.2.4.1 Zonder schuifhout (langshout)

Als uit archieftekeningen en inspectie blijkt dat er geen schuifhout aanwezig is of het schuifhout is sterk aangetast dan moet de wand worden gecontroleerd op afschuiving zonder schuifhout. Bij deze controle wordt een evenwichtscontrole uitgevoerd waarbij een percentage van de verticale belasting van de wand groter moet zijn dan de optredende belasting horizontale belasting op de wand.

$F_{ed;horizontaal} \leq F_{ed;vertikaal} \times wrijvingsgetal$

6.2.4.2 Controle van het langshout (Schuifhout)

Wanneer er wel schuifhout aanwezig is dan moet de horizontale kracht volledig worden opgenomen door het schuifhout. Voor de controle van het schuifhout moet gebruik worden

gemaakt van de, door aantasting, gereduceerde doorsnede. Het schuifhout wordt gecontroleerd, met behulp van de rekenregels uit de actuele Houtnorm op:

- Dwarskracht (Afschuifkracht loofrecht op de vezel)
- Moment

6.2.5 Controle van het metselwerk

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 6 getoetst.

Het metselwerk wordt niet gecontroleerd op sterkte en spanningen. De bepaalde krachten, momenten en spanningen in de stenen kunnen niet worden getoetst omdat de materiaaleigenschappen van het metselwerk niet bekend zijn. Wanneer deze door materiaalonderzoek wel bekend zijn kan met behulp van de het programma Atena.
Op basis van visuele inspecties moet gekeken worden wat de staat van het metselwerk is en moeten eventuele schadebeelden bekeken worden met de rekenmodellen.

6.2.6 Controle van de vloerdelen.

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 7 getoetst.

Uit inspecties van het maaiveld moet blijken of er verzakkingen zijn die kunnen duiden op een bezweken vloerdeel.
Er is nog geen rekenmethodiek aanwezig of ontwikkeld om de vloerdelen te controleren. Dit zou middels een controle van houten planken (dwarskracht en moment) worden uitgevoerd. Omdat de planken moeilijk te bereiken zijn en daardoor niet worden onderzocht is het lastig om de afname door aantasting te bepalen. Een controle met aangetaste doorsnede is daarom niet uit te voeren.

6.2.7 Controle van de Kespen

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 8 getoetst.

Voor de controle van de kespen wordt gebruikt gemaakt van de, door aantasting, gereduceerde doorsnede. De kespen worden gecontroleerd, met behulp van de rekenregels uit de actuele Houtnorm op:

- Dwarskracht (evenwijdig aan de vezel)
- Moment

6.2.8 Controle onderloopsheidscherm

Er zijn vaak geen gegevens in het archief beschikbaar over het onderloopsheidscherm en omdat het onderloopsheidscherm vaak moeilijk bereikbaar is bij een visuele inspectie, is het vaak niet mogelijk om de juiste afmetingen (inclusief aantasting) te bepalen en deze te controleren op Buigend moment en dwarskracht.

Omdat dit bezwijkmechanisme geen acuut bezwijkmechanisme is en tijdig waarschuwt op groter falen, kan met inspecties worden bepaald of het onderloopsheidscherm zijn functie nog vervult Uit inspecties van het maaiveld moet blijken of er verzakkingen zijn die kunnen duiden op een bezweken scherm.

6.2.9 Controle van de gehele stabiliteit

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 5 getoetst.

Het bezwijken van de gehele stabiliteit is geen leidend bezwijkmechanisme. Wanneer de kadeconstructie goed gefundeerd is dan zal dit mechanisme niet optreden. Wanneer uit onderzoek blijkt dat de funderingspalen van de kademuur sterk zijn aangetast dan kan worden besloten om een controle van de gehele stabiliteit uit te voeren.
Het controleren van de algehele stabiliteit kan niet met een constructief raamwerk programma. Voor de controle van de algehele stabiliteit (macro stabiliteit) van kademuur moet gebruik gemaakt worden van een niet lineair rekenprogramma zoals Plaxis en Plaxis 2D.

6.3 Controle van een Betonnen L-wand

6.3.1 Controle van de fundering

6.3.1.1 Geotechnisch draagvermogen

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 1 getoetst.

Voor de controle van de geotechnische draagkracht van de funderingspaal moet worden voldaan worden aan de eis:

$$F_{c;d} \leq R_{c;d;net}$$

$F_{c;d}$ = rekenwaarde (volgend uit herberekening) voor de drukkracht op de paal.
$R_{c;d;net}$ = rekenwaarde van de draagkracht van de grond.

6.3.1.2 Geotechnisch trekdraagvermogen

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 2 getoetst.

Voor de controle van de geotechnische trekdraagkracht van de funderingspaal moet worden voldaan worden aan de eis:

$$F_{c;d} \leq R_{c;d;net}$$

$F_{c;d}$ = rekenwaarde (volgend uit herberekening) voor de drukkracht op de paal.
$R_{c;d;net}$ = rekenwaarde van de trekdraagkracht van de grond.

6.3.1.3 Sterkte van de funderingspalen. (druksterkte en knik)

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 6 getoetst.

Onder een betonnen L-wand kunnen meerdere soorten funderingspalen staan.

1. Houten palen worden gecontroleerd conform metselwerk gewichtsconstructies zie paragraaf 6.2.1.2.
2. Betonnen palen worden niet getoetst op sterkte.
3. Stalen palen worden niet getoetst op sterkte.

6.3.2 Controle van het beton

Bij de controle van dit onderdeel wordt bezwijkmechanisme 5 getoetst.

De betonnen wand en vloer worden gecontroleerd op sterkte. Hierbij worden met behulp van de geldende normen de volgende onderdelen getoetst:

- Momenten (wand en vloer)
- Dwarskracht (wand en vloer)
- Pons (vloer)

6.3.3 Controle onderloopsheidscherm

Er zijn vaak geen gegevens in het archief beschikbaar over het onderloopsheidscherm en omdat het onderloopsheidscherm vaak moeilijk bereikbaar is bij een visuele inspectie, is het vaak niet mogelijk om de juiste afmetingen (inclusief aantasting) te bepalen en deze te controleren op Buigend moment en dwarskracht.

Omdat dit bezwijkmechanisme geen acuut bezwijkmechanisme is en tijdig waarschuwt op groter falen, kan met inspecties worden bepaald of het onderloopsheidscherm zijn functie nog vervult Uit inspecties van het maaiveld moet blijken of er verzakkingen zijn die kunnen duiden op een bezweken scherm.

7 Beheersmaatregelen kadeconstructies

In dit hoofdstuk wordt een korte omschrijving van de mogelijke beheersmaatregelen gegeven. Verdere uitwerking zal per locatie verder uitgewerkt moeten worden en afgestemd worden met de beheerder en de omgeving.

Ontlasten van de constructie
Bij het ontlasten van de constructie moeten variabele belastingen worden gereduceerd of geheel worden verboden. Gedacht kan worden aan de volgende variabele belastingen.

- Verbieden van zwaar transport en kranen langs de kademuur.
- Verbieden van al het verkeer langs de kademuur. (inclusief parkeren, fietsers en voetgangers). De strookdirect achter de kade moet afgezet worden met hekken.
- Verbieden van al het autoverkeer langs de kademuur. (inclusief parkeren). De strookdirect achter de kade moet afgezet worden met paaltjes.
- Een afmeerverbond voor het afmeren van (woon)boten. Door het verwijderen van afmeer mogelijkheden en handhaving. Voor woonboten moet een alternatieve plek worden gezocht.

Ook kan gekeken worden of bomen gekapt moeten worden om de constructie te ontlasten.

Evenwichtsberekening
Door middel van een eenvoudige evenwichtsberekening van de optredende krachten en momenten kan worden aangetoond of de kantelstabiliteit een gevaarlijk bezwijkmechanisme is. Wanneer dit het geval is dan kan worden besloten om de constructie te ontlasten.

Visuele inspectie van het maaiveld of de constructie
Bij een visuele inspectie moet worden gekeken naar de signalen die de kadeconstructie geeft of die te zien zijn in het achterliggende maaiveld. Zodat kan worden vastgesteld om welk bezwijkmechanisme(n) het gaat.

Deformatiemeting
Met behulp van deformatiemetingen kan gekeken worden naar de verplaatsingen die de kademuur ondergaat. Deze deformatiemetingen kunnen worden meegenomen in constructieve beoordeling van de constructie.

Herstellen van materialen
Door het herstellen van materialen zoals beschadigd metselwerk, aangetaste of beschadigde kespen/schuifhout kan worden voorkomen dat een aantal bezwijkmechanismen optreden.

Materiaalonderzoek
Door middel van materiaalonderzoek kan worden gekeken of het aanwezige materiaal zoals hout en metselwerk is aangetast of gedegradeerd en kan de constructie beter worden geanalyseerd en kan er met meer zekerheid gesteld worden of bepaalde bezwijkmechanismen kunnen optreden.

Monitoring
Met behulp van monitoring kan de constructie in de gaten worden gehouden op verticale en horizontale deformaties zodat een kadeconstructie nog, met mogelijk ook andere beheersmaatregelen, nog (tijdelijk) kan functioneren. Per constructie kan de monitoringsintensiteit verschillen.
LET OP dat monitoring een waarschuwingsfunctie heeft en niet voorkomt dat de kademuur kan bezwijken.

Herberekening
Door middel van een herberekening kan worden aangetoond of bezwijkmechanismen kunnen optreden bij de betreffende kadeconstructie. In combinatie met een visuele inspectie, deformatie metingen en monitoring kan worden vastgesteld hoe en de kadeconstructie nog kan functioneren en voor welke periode (levensduur).

Inmeten van de waterbodem
Door het inmeten van de waterbodem kan worden gekeken of het onderhoudsprofiel van de betreffende gracht nog aanwezig is. Door waterstroming, schroefwerking, en uitspoeling kan (lokaal) de waterbodem dieper zijn dan waarop de constructie is ontworpen. Hierdoor kunnen een aantal bezwijkmechanismen optreden bij de kadeconstructie.

Noodconstructie
Door het plaatsen van een noodconstructie voor de kadeconstructie kan worden voorkomen dat de kademuur bezwijkt na deformatie. De noodconstructie neemt de belastingen op van de kademuur en zorgt ervoor dat de kadeconstructie nog tijdelijk kan functioneren. Na het plaatsen van een noodconstructie moet de kadeconstructie op de vervangingslijst voor nieuwbouw worden geplaatst.

Het plaatsen van een noodconstructie is een kostbare oplossingen die kan worden toegepast als andere beheersmaatregelen tekortschieten in het beheersen van de risico's.

8 Bronnen

1. Leidraad beoordeling constructieve veiligheid van bruggen gemeente Amsterdam.
2. Cur 186 – Handboek binnenstedelijke kademuren
3. Cur 211 – Handboek kademuren.
4. Cur 166 – Handboek damwanden (6e druk)
5. Toetsing traditionele gemetselde walmuren Amsterdam d.d, 21-11-2017 (Antea)
6. Rapport maximale belasting kademuren d.d. 10-09-2018 (IB gemeente Amsterdam)

Bijlage(n)

Bijlage 1 - Stroomschema toetskader

(in bewerking)

Bijlage 2 - Belastingsvoorbeelden (praktijk)

Belastingen uit voertuigen Tabel in bijlage?)

		Gewicht [ton]	Assen config.	Gelijkmatige verdeelde q	Bron
1.	Vuilniswagen	26,5	1+2	177kN / 12m^2 = **14,7 kN/m^2**	
2.	Lichte vrachtwagen/verhuiswagen	7,5	1+2	50kN / 9m^2 = **5,6 kN/m^2**	http://www.hetvertrouwen.nl/subpagina-7-camper-of-lichte-vrachtwagen-c1c1e.html
3.	Brandweerwagen	28	1+2	187kN / 12m^2 = **15,6 kN/m^2**	http://www.brandweer.nl/noordenoostgelderland/clusters/achterhoek-oost-o/post-lichtenvoorde/voertuigen-post/
4.	Ambulance	5	2	50kN / 12m^2 = **4,2 kN/m^2**	http://www.goeievraag.nl/vraag/vervoer/ledig-gewicht-ambulance-ziekenauto.211630
5.	Touringcar	17	1+2	113kN / 12m^2 = **9,5 kN/m^2**	http://www.taxivandepol.nl/wagenparktaxi.asp

Bijlage 3 - Lijst met kademuur coderingen