



# Havenwerken Terschelling

Technische beoordeling kades aan de Willem  
Barentszkade, Dwarskade en Werkhaven

**EINDRAPPORT**

**GEMEENTE TERSCHELLING**

5 september 2025

Z036001-RAP-012-00

DEFINITIEF

# Managementsamenvatting

## Inleiding

De kades en haveninfrastructuur van West-Terschelling verkeren in een verouderde staat en slechte conditie. In het kader van haar zorgplicht, heeft gemeente Terschelling een technisch onderzoek laten uitvoeren naar de **constructieve toestand en veiligheid** van de kades. Directe aanleiding waren verzakkingen ('sink holes') en schadebeelden die twijfels oproepen over de veiligheid van de kades.

Walhout Civil heeft de constructieve veiligheid van de kades technisch onderzocht en beoordeeld. Dit samenvattende rapport presenteert de resultaten en de eindbeoordeling, en geeft concrete adviezen voor te nemen maatregelen.

## Onderzochte kades

De beoordeling heeft betrekking op de kades aan de **Willem Barentszkade**, de **Dwarskade** (nabij het Veerhavenplein) en de **Werkhaven**. Het gaat om verouderde kades bestaande uit stalen damwanden en stalen legankers, die in bepaalde gevallen zijn verbonden aan voormalige kadewanden of houten jukpalen in de ondergrond. Door vervangingen en renovaties in de loop van de tijd is een heterogeen geheel ontstaan, waarin constructies onderling op elkaar inwerken. Deze variatie verhoogt de complexiteit van de technische beoordeling en de te nemen maatregelen. Door regelmatige overstrooming en verondieping van de waterbodem nemen de risico's toe dat de kades niet aan de eisen voldoen.

## Beoordelingskader

De beoordeling is uitgevoerd volgens **NEN 8707**, de norm voor bestaande kadeconstructies die richting geeft aan de veiligheidseisen uit het **Besluit bouwwerken leefomgeving** (Bbl). Het onderzoek omvatte onder meer archiefonderzoek, inspecties, veldonderzoek en verificatieberekeningen, en is binnen een korte doorlooptijd uitgevoerd op basis van de beschikbare gegevens. Nieuwe informatie kan de resultaten en bevindingen nader aanscherpen of actualiseren.

## Beoordeling kade Dwarskade

Uit de beoordeling blijkt dat de Dwarskade **onveilig is en niet geschikt voor huidige gebruik**. De damwanden zijn te kort ingeklemd in de ondergrond, waardoor de kans bestaat op grote vervormingen en bezwijkgedrag. De hoofd- en ankerwanden voldoen niet aan de stabiliteitseisen en hebben een verhoogd risico op instabiliteit. Afsluiting en aanvullende maatregelen zijn daarom direct noodzakelijk.

## Beoordeling kades Willem Barentszkade

De Willem Barentszkade bevindt zich deels op het **afkeurniveau**. Het zuidelijke en middendeel kan onder voorwaarden nog één jaar in gebruik blijven, mits intensieve monitoring plaatsvindt, mitigerende maatregelen worden getroffen bij verslechtering en een herbeoordeling na twaalf maanden wordt uitgevoerd. Het noordelijke deel voldoet nog aan de veiligheidseisen. Het onderzoek toont echter dat de stabiliteitsreserve minimaal is, waardoor risico's op vervorming en verzakking aanwezig blijven.

## Beoordeling kade Werkhaven

Voor de Werkhaven is de situatie **ernstig en onveilig**. De kade bevindt zich in een kritieke grenstoestand en er is een hoge kans op plotseling bezwijken. Ontgroning en te korte ankers leiden ertoe dat de kade zelfs zonder belasting niet meer aan de eisen voldoet. Afsluiting, intensieve monitoring en een herstelplan zijn dringend noodzakelijk. Onderzoek naar o.a. grondparameters en (brandstof)installaties op de kade is vereist om de situatie volledig in beeld te brengen.

## Slot

De onderzoeksresultaten maken duidelijk dat de algehele veiligheid van de kades **structureel aandacht** vraagt. Om de veiligheid en toekomstbestendigheid te waarborgen, zijn maatregelen, monitoring en vervanging onvermijdelijk. Dit rapport biedt daarvoor de noodzakelijke basis en richting.

# Inhoudsopgave

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| <b>Introductie</b>            | <b>04</b> |
| <b>Ruimtelijke context</b>    | <b>06</b> |
| <b>Kades en verankeringen</b> | <b>10</b> |
| <b>Onderzoeken</b>            | <b>19</b> |
| <b>Beoordelingskader</b>      | <b>24</b> |
| <b>Modellering</b>            | <b>28</b> |
| <b>Resultaten</b>             | <b>32</b> |
| <b>Eindoordeel</b>            | <b>38</b> |

# Introductie

**De kades en infrastructuur in de haven van West-Terschelling verkeren in verouderde staat. In het kader van haar zorgplicht laat de gemeente Terschelling een technisch onderzoek uitvoeren naar de constructieve toestand van de kades. Directe aanleiding vormden verzakkingen en schadebeelden die twijfels oproepen over de veiligheid van de kades.**

**Walhout Civil heeft een onderzoek en grondige beoordeling van de constructieve veiligheid van de kades uitgevoerd. Dit rapport heeft tot doel de resultaten van deze beoordeling te presenteren. De onderzoeksresultaten vormen de basis voor het nemen van nodige mitigerende maatregelen, zoals monitoring of tijdelijke verstevigingen, en voor het opstellen van een plan voor vervanging en renovatie van de kades.**

## Te beoordelen kades

De te beoordelen kades zijn gesitueerd langs de **Willem Barentzskade**, de **Dwarskade** (nabij het Veerhavenplein) en de **Werkhaven**. Het betreffen verouderde kadeconstructies, uitgevoerd met stalen damwanden en verankerd met stalen legankers, soms aan voormalige, stalen kadewanden of houten jukpalen in de ondergrond. In de loop van de jaren zijn delen van de kades vervangen en aan elkaar verbonden. Dit heeft geleid tot een heterogeen geheel van constructies die interactie op elkaar uitoefenen. Deze situatie maakt de beoordeling van de constructieve veiligheid complex.

## Verificatieberekening en beoordeling

De toestand van een kade kan aanleiding zijn om de veiligheid te **beoordelen**. Hierbij kan worden gedacht aan het vermoeden van onvolledige sterkte, schadebeelden, vervormingen of ingrijpende veranderingen in de omgeving.

Voor het aantonen dat kades voldoen aan de constructieve veiligheidseisen uit de Nederlandse bouwregelgeving moet de **NEN 8700-normserie** worden gevolgd. Deze normserie geeft een uitgewerkt kader met principes, eisen en bepalingsmethoden voor de beoordeling.

Bij het beoordelen wordt op chronologische volgorde onderscheid gemaakt tussen archiefonderzoek, inspectie, veldonderzoek, verificatieberekening, beoordeling en mitigerende maatregelen. De inhoud en uitwerking van de verschillende onderdelen is mede afhankelijk van de scope en opdracht van de gemeente aan Walhout Civil. Dit rapport richt zich op de **verificatieberekening** en de **beoordeling**. In de verificatieberekening wordt de constructieve veiligheid beoordeeld aan de hand van een cyclisch proces.

## Uitgangspunten en kanttekeningen

- De uitkomsten zijn opgesteld op basis van de **beschikbare gegevens**. Nieuwe informatie in de toekomst kan aanleiding geven tot aanscherping of actualisering van de resultaten en bevindingen.
- De beoordeling steunt op bureauonderzoek, veldwerk, inspecties en beschikbare gegevens, aangevuld met informatie van **gezaghebbende instanties**. Daarbij is vertrouwd op de juistheid en volledigheid van deze bronnen; eerder door derden uitgevoerde onderzoeken of werkzaamheden zijn niet onafhankelijk geverifieerd.
- De beoordeling van de constructieve veiligheid is uitgevoerd conform de **actuele normen**. De kades moeten voldoen aan de huidige eisen voor veiligheid en betrouwbaarheid, ook al zijn zij oorspronkelijk gebouwd onder minder strenge normen en regelgeving.
- De kades vormen grond- en waterkeringen die niet zijn geformaliseerd. Het plangebied ligt **buitendijks**. Er is geen toets uitgevoerd of voldaan kan worden aan bijv. de faalkansnorm voor primaire waterkeringen.
- Het onderzoek is uitgevoerd onder tijdsdruk en binnen een **doorlooptijd van enkele weken**. Aan dit rapport hebben experts op het gebied van geotechniek en waterbouw gewerkt. Hun **deskundigheid** is ingezet voor de analyse, interpretatie en beoordeling, wat resulteert in een onderbouwd beeld van de huidige situatie binnen de grenzen van toetsbare en normatieve informatie.

Veilig aankomen in Terschelling  
begint met betrouwbare kades



# Ruimtelijke context

**Een succesvolle uitvoering van de beoordeling van de kades begint met gedegen inzicht in het plangebied. De kades zijn van vitaal belang voor de bereikbaarheid van Terschelling over het land en via het water. Het niet kunnen gebruiken van de kades heeft verstrekende maatschappelijke en economische gevolgen voor het eiland. Door hun ouderdom en constructieve opbouw zijn de kades kwetsbaar. Daarbij geldt dat de functies en het gebruik van de kades, zowel in het verleden als in het heden, bepalend zijn voor de wijze waarop met de veiligheid moet worden omgegaan.**

## Gebruiksfuncties Dwarskade

De Dwarskade ligt aan het Veerhavenplein en grenst direct aan de Willem Barentszkade en de kade aan de Veerhaven, welke in eigendom is van Rijkswaterstaat. Het kadeterrein wordt gebruikt door **voetgangers en fietsers** die van en naar de veerboot gaan. In de praktijk wordt het trottoir ook gebruikt voor het laden en lossen van afgemeerde schepen met **voertuigen en vrachtwagens**. De toegangsweg naar het Veerhavenplein ligt binnen het invloedsgebied van de kade, waardoor belastingen op de weg en de kade elkaar via de ondergrond beïnvloeden. De rijbaan ligt ter hoogte van de verankering van de kade.

De Dwarskade wordt regelmatig gebruikt voor het af- en aanmeren van (vissers)schepen. In vroegere tijden werd de kade niet direct gebruikt. Vastgesteld is dat de kade bij de aanleg in 1982 is ontworpen voor **een ander gebruik dan het huidige gebruik**. In 1982 stonden voor de kade houten palen en steigers ('Zuidelijke Plankier'). Deze constructies zijn in de loop van de jaren gesloopt. Voor het afmeren van het passagiersschip 'MS Koegelwieck' is in het verleden een betonnen afmeervoorziening op de kaderand aangebracht.

## Gebruiksfuncties Willem Barentszkade

De Willem Barentszkade strekt zich langs de haven uit en faciliteert alle hoofdverkeersstromen van en naar het eiland,

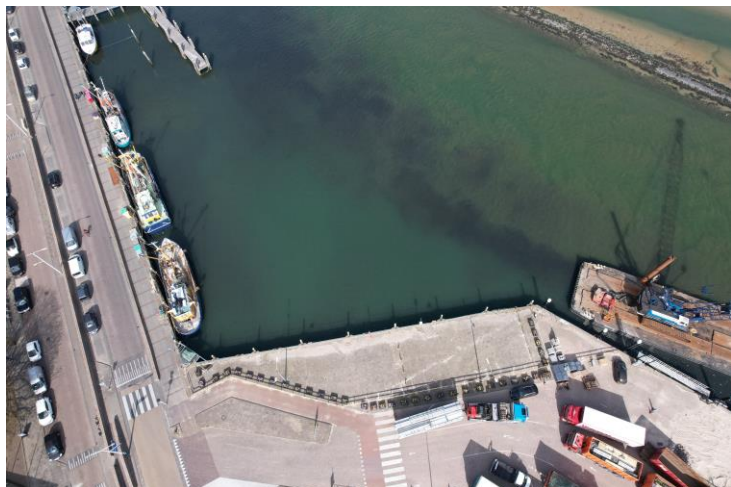
binnen een smal dwarsprofiel. De Willem Barentszkade bestaat uit oevers, aangrenzende terrein (Veerhaven en het betonningsterrein) en meerdere kades ter hoogte van de Bruine Vloothaven. Alle autoverkeer, voetgangers, fietsers, openbaar vervoer (elektrische bussen) en de hulpdiensten maken gebruik van de dubbele rijbaan op de kade. Parallel aan de hoofdrijbaan is een 'ventweg' gesitueerd, welke de woningen aan de kade ontsluit. In de ondergrond van de kade bevinden zich diverse rioleringen, kabels en leidingen.

De kades aan de Willem Barentszkade worden primair gebruikt voor het afmeren van de schepen van de Bruine Vloot, vissersschepen, pleziervaartuigen en incidenteel voor zwaardere schepen van bijv. Rijkswaterstaat, Douane of de Kustwacht. Langs de kade zijn bolders gesitueerd voor het beleggen van scheepslijnen. De meeste schepen beleggen op de houten steigerconstructies voor de kade ('Midden Plankier en Noordelijke Plankier'). Op de kaderand bevinden zich elektra installaties, vuilwatervoorzieningen en afvalcontainers voor de scheepvaart. Het kadeterrein, dat mede wordt gebruikt voor de overslag van vis, is openbaar gebied en wordt primair benut door voetgangers en fietsers.

## Gebruiksfuncties Werkhaven

De kade aan de Werkhaven vormt de cruciale plek voor de op- en overslag van zwaardere goederen, bulk, brandstof, bouwmaterialen, huisafval en slib. In geval van calamiteiten of bergingen wordt het kadeterrein ook gebruikt door de hulpdiensten, bergingsbedrijven, Rijkswaterstaat, Douane of de Kustwacht. Daarnaast biedt het terrein mogelijkheden voor klein scheepsonderhoud. Langs de kade zijn bolders en meerpalen gesitueerd voor het afmeren van schepen. De kop van de kade wordt gebruikt als ro-ro voorziening. Een activiteit die niet in het oorspronkelijke ontwerp is voorzien.

Op het kadeterrein bevinden zich diverse elektra installaties, een manifold, ondergrondse brandstofleiding, brandstofopslagtanks, riool/watervorst en bezinkputten. De gemeentelijke kade grenst aan die van Rijkswaterstaat, die het naastgelegen betonningsterrein en peilhuis exploiteert.





De kades vormen  
tastbare herinneringen aan  
het vakmanschap van toen



# Kades en verankeringen

De constructieve opbouw van de kades is het resultaat van gefaseerde aanleg en aanpassingen over meerdere decennia. Op basis van historische archieftekeningen, ontwerpen, contractstukken (bestekken) en oude foto's komt een gevarieerd beeld naar voren. Verschillende kadewanden blijken te zijn gekoppeld aan voormalige kadewanden in de ondergrond, die op hun beurt weer verankerd zijn met nog oudere constructies. Dit heeft geleid tot het inzicht dat sprake is van een complexe interactie tussen de verschillende constructieve bouw-elementen, met risico's voor degradatie en onverwachte vervorming van de gehele kade.

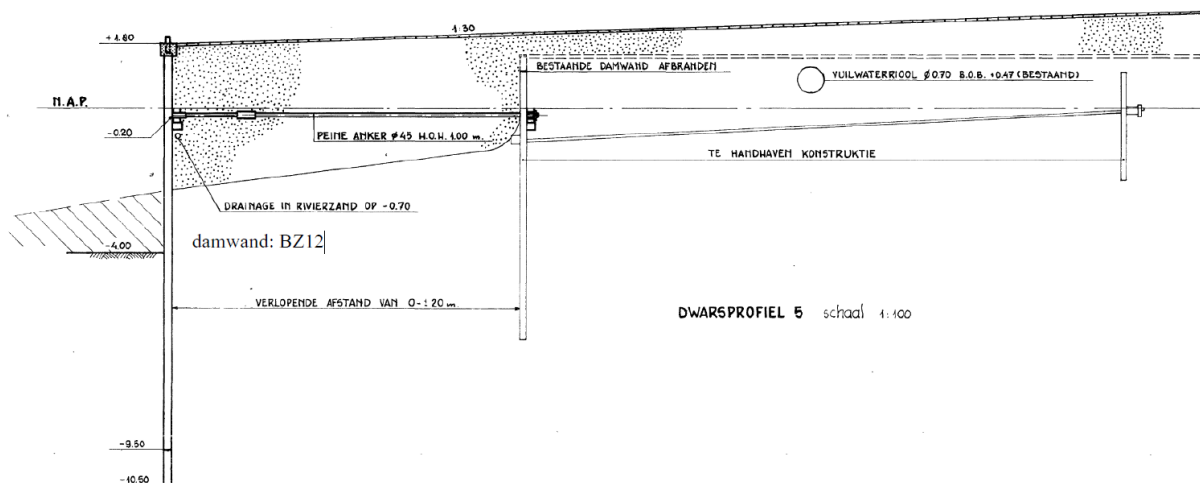
## Situatie Dwarskade

De **Dwarskade** bevindt zich ter plaatse van een voormalige getij- en insteekhaven. Uit historische kaarten blijkt dat rond 1932 meerdere dammen zijn aangelegd, waarmee het 'Westelijk Ras' van Terschelling is gevormd. De Dwarskade fungeerde daarbij als harde kering tussen de Zuidelijke Havenkom en het gebied dat later het Veerhaventerrein zou worden. Tussen 1935 en 1952 zijn ter vorming van de Veerhaven verschillende glooiingen en ijzeren damwanden aangebracht. In 1952 is de bestaande kade vervangen door stalen damwanden. Voor de kade zijn in de loop der tijd diverse afmeer- en veervoorzieningen geplaatst ten behoeve van het afmeren van het passagiersschip 'MS Koegelwiek'.

Damwanden zijn lange, stalen profielen die aan elkaar in de grond worden geplaatst om grond of water tegen te houden, zoals langs een kade of een bouwput. De stalen damwanden in het havengebied zijn van het **type Belval BZ**, welke zijn ontwikkeld in 1933 door staalproducent Arbed in Luxemburg. In de periode van 1960 tot 1980 werden Belval BZ-damwanden op grote schaal toegepast. De productie werd eind jaren negentig stopgezet, omdat modernere type damwandprofielen technisch superieur bleken, economisch voordeliger waren en bovendien beter aansloten bij de toen geldende technische normen en eisen.

In 1982 is er een nieuwe damwand voor de bestaande kade geplaatst. De nieuwe damwand is daarbij gekoppeld aan de oude kade. Hierdoor fungeert de vervallen damwand als **ankerwand** in de ondergrond. Een dergelijke aanpak werd vaak gedaan uit kostenbesparing. Hoewel de **hoofdwand** een leeftijd heeft van 43 jaar is de verankering 73 oud, ervan uitgaande dat alle bouwmaterialen bij aanleg nieuw en ongebruikt waren. Kades werden rond de periode 1980-1990 aangelegd met een ontwerplevensduur van 50 jaar.

De huidige hoofdwand is van het damwandtype BZ12, en heeft afhankelijk van de locatie een lengte van ca. 11,3 tot 12,3 meter. De ankerwand is van het type Hoesch IIA en betreft de voormalige kadewand, welke deels is ingekort.





## Situatie Willem Barentszkade

De kade langs de **Willem Barentszkade** bestond aan het begin van de vorige eeuw uit een talud met steenglooing en een houten damwand. In de periode van 1935 tot 1938 en in 1952 zijn meerdere delen van de kade vervangen door stalen damwanden. Deze **damwanden** zijn verankerd aan een **ankerschot** of **houten paaljukken** in de ondergrond.

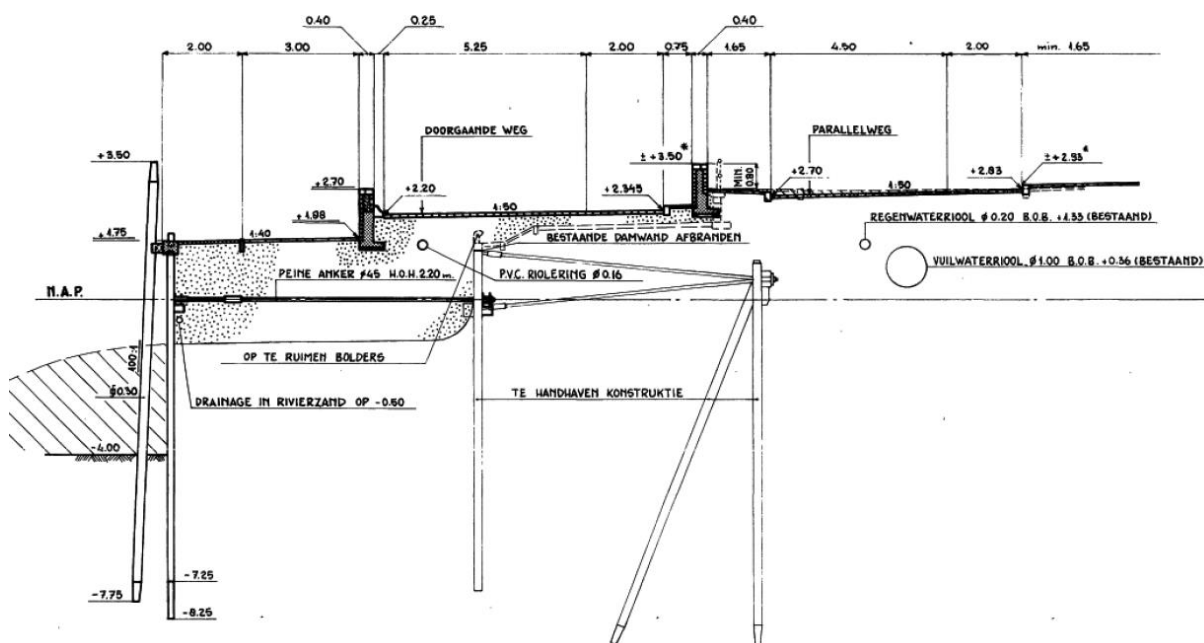
In 1982 is er een nieuwe damwand ca. 8 meter voor de bestaande kade geplaatst. De nieuwe damwand is daarbij gekoppeld aan de oude kade. Hierdoor fungeert de oude, vervallen damwand als ankerwand in de ondergrond. Een dergelijke aanpak werd vaak gedaan uit kostenbesparing. Hoewel de hoofdwand een leeftijd heeft van 43 jaar is de verankering 73 tot 90 jaar oud, ervan uitgaande dat alle bouwmaterialen bij aanleg nieuw en ongebruikt waren. Kades werden rond de periode 1980-1990 aangelegd met een ontwerplevensduur van 50 jaar.

Het koppelen van nieuwe kadewanden aan oudere kadeonderdelen resulteert in een **constructieve keten** waarbij de technische stabiliteit en functionele betrouwbaarheid van de nieuwere kade mede afhankelijk wordt van de conditie van de oudere kadeonderdelen. Dit introduceert **risico's** met betrekking tot materiaalveroudering, degradatie van de verankering en onverwachte vervorming van de kade.

Door opeenvolgende aanpassingen en wijzigingen in de loop der tijd zijn er verschillende constructieve doorsneden in de kade ontstaan. Globaal kunnen drie types kade- en ankersystemen worden onderscheiden. Echter door de variatie in damwand- en ankerlengtes zijn er zes of acht verschillende **constructieve doorsneden** te definiëren.

De huidige hoofdwand is van het damwandtype BZ7 en BZ12, en heeft afhankelijk van de locatie een lengte van 9,0 of 10,0 meter. De ankerwanden zijn van het type BZ II (N) en betreffen de voormalige kadewanden, welke deels zijn ingekort. De ankerwanden zijn op hun beurt verankerd aan hardhouten paaljukken (zuidelijke deel) en ankerschotten (noordelijke deel). Tijdens de aanleg zijn de ruimtes tussen de oude en nieuwe kades uitgevuld met zand.

Op de kaderand zijn stalen bolders gesitueerd en voor de kade bevinden zich houten vloedpalen, welke fungeren als afmeervoorziening voor schepen. Het kadeterrein bestaat uit een voetgangersdeel en twee afzonderlijke, hoger gelegen rijbanen voor het autoverkeer (een hoofdrijbaan en de zgn. 'Ventweg'). De hoofdrijbaan bevindt zich ter hoogte van de voormalige kadewand. In de ondergrond bevinden zich enkele kabels en (riool)leidingen. Het kadeterrein, met het voetpad, en de twee rijbanen zijn afgescheiden door waterkerende muren. Deze muren bestaan uit betonnen keerwanden, met opgemetselde roze granietblokken.





## Situatie kade Werkhaven

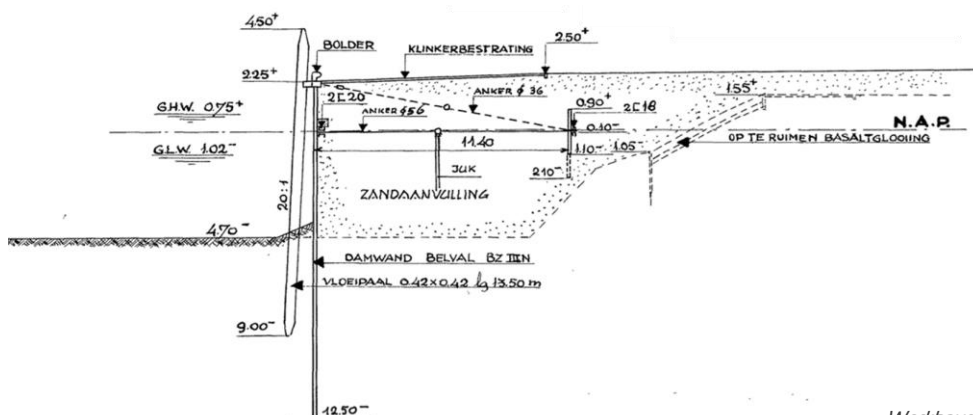
De gemeentelijke kade langs de **Werkhaven** is aangelegd in 1968 en heeft op dit moment een leeftijd van 57 jaar. Kades werden destijds aangelegd voor een levensduur van 50 jaar.

De kade bestaat uit diverse **constructieve doorsneden**, opgebouwd uit een stalen **damwand** die is verankerd aan een stalen **ankerwand** in de ondergrond. De ankerstang is scharnierend opgelegd op een juk. De hoofdwand is van het damwandtype Belval BZ IIIN en de ankerwand van het type Belval BZ IN. De lengtes van de hoofdwanden verschillen per kadedeel. Er is een deel met een lengte van ca. 13,25 meter en een deel met een lengte van ca. 14,75 meter damwand. Op de kade zijn bolders gesitueerd die met ankerstangen

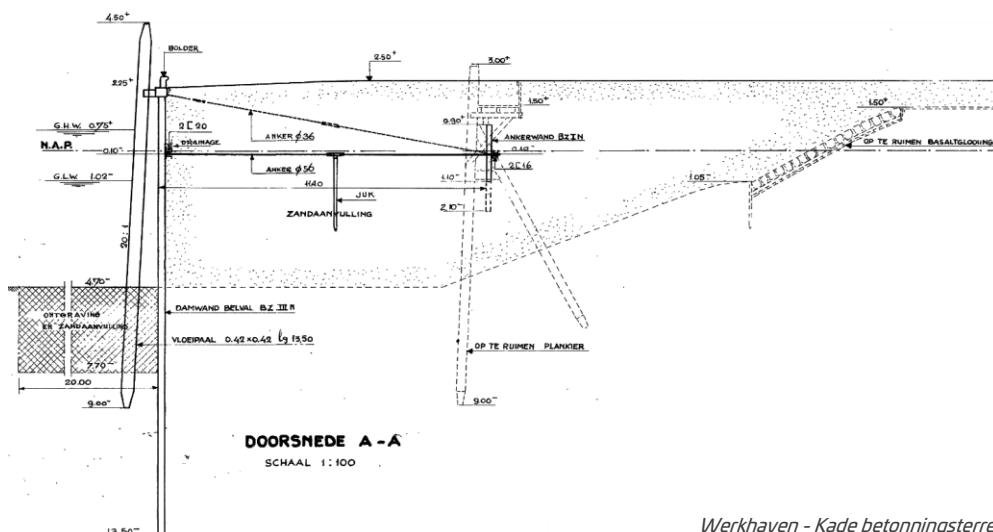
zijn verbonden aan het ankerscherp. Voor de kade staan houten en stalen vloedpalen voor het afmeren van schepen.

De gemeentelijke kade grenst direct aan de kade van Rijkswaterstaat (het betonningsterrein). Beide kades zien er hetzelfde uit, maar **verschillen qua opbouw**. Uit het archief blijkt dat de damwand van de kade voor het betonnings-terrein één meter langer is en dat de waterbodem voor de kade is aangevuld met nieuw zand (zgn. grondverbetering).

Het voormalige talud (basaltglooiing) is in 1968 afgegraven. Het terrein is aangevuld met zand. Op het terrein is later een brandstofopslagvoorziening aangebracht, met een ondergrondse leiding en overslagpunt op de kade. Ook is er een hemelwaterafvoer met bezinkputten aanwezig.

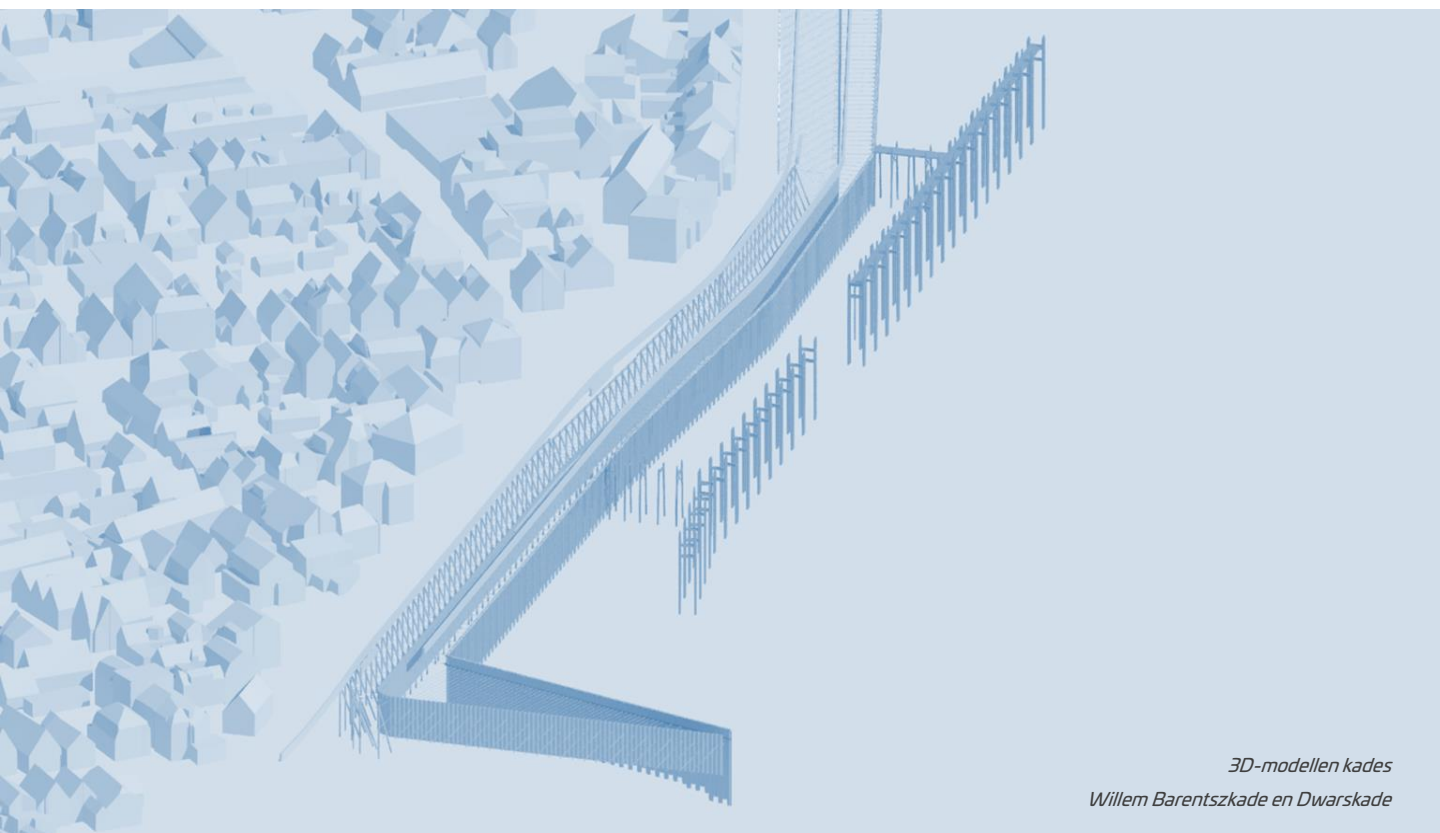


*Werkhaven - Gemeentelijke kade*

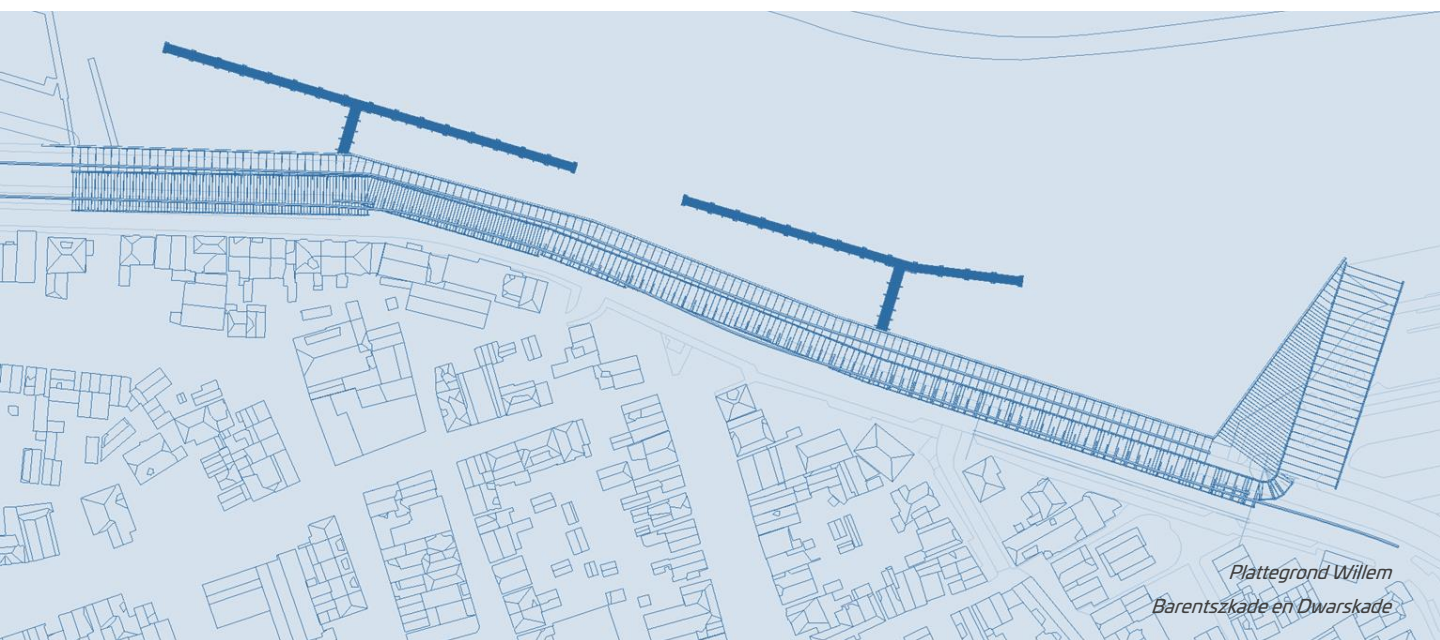


*Werkhaven - Kade betonningsterrein*

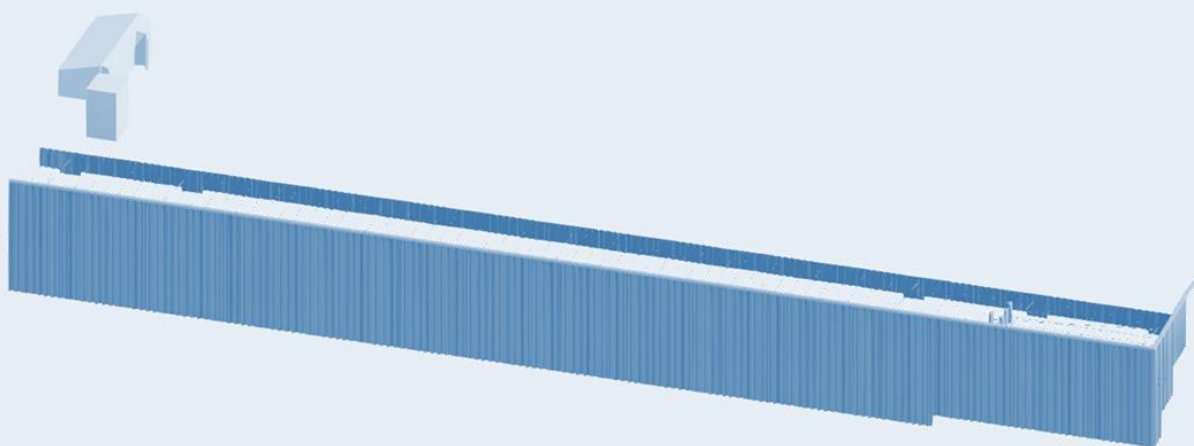




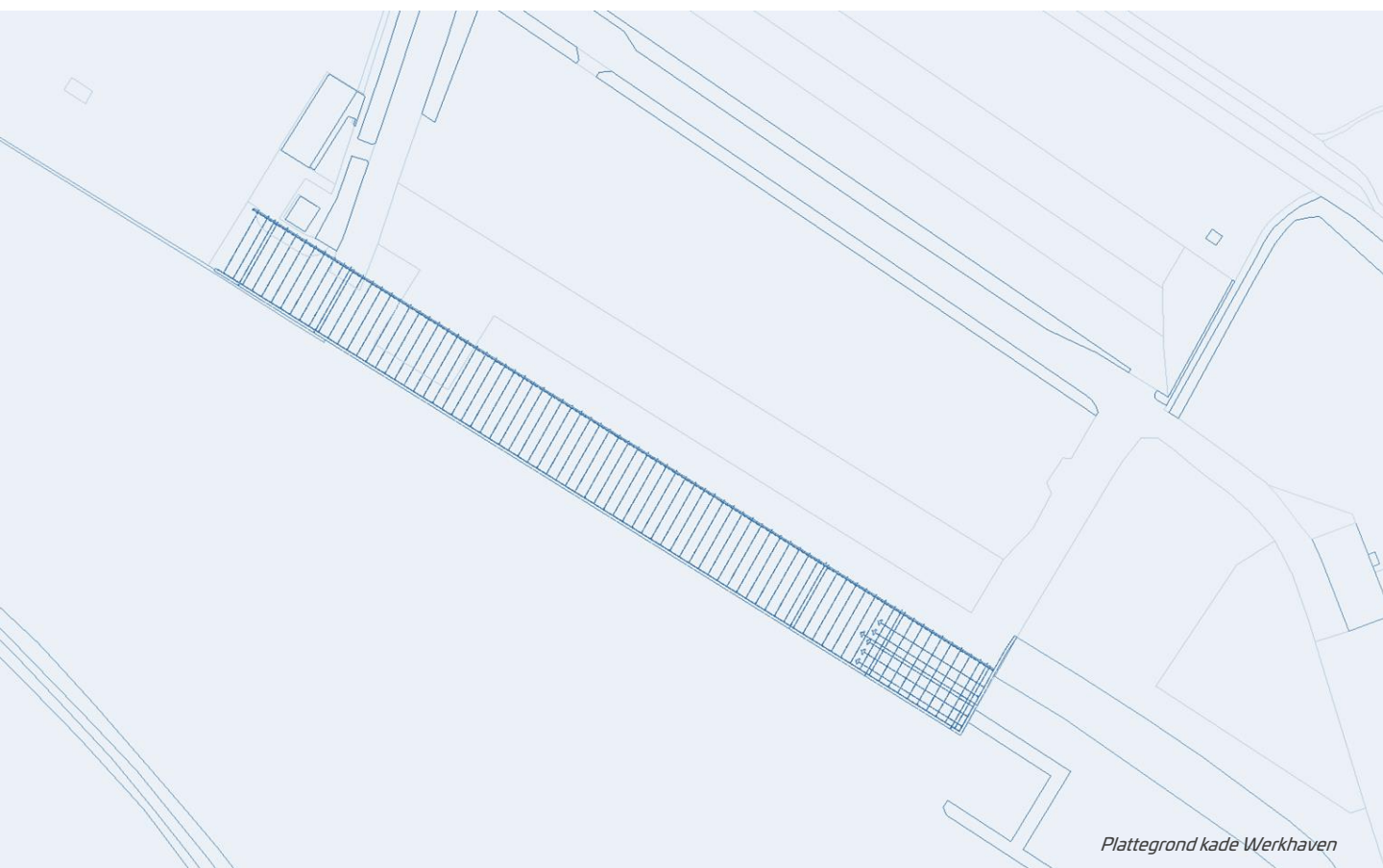
*3D-modellen kades  
Willem Barentszkade en Dwarskade*



*Plattegrond Willem  
Barentszkade en Dwarskade*



3D-model kade Werkhaven



Plattegrond kade Werkhaven

Inzicht in de kades begint  
buiten en aan de waterlijn



# Onderzoeken

In de afgelopen jaren zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd naar de technische staat van de kades en de omstandigheden van het gebied. Deze studies vormen de basis waarop de huidige beoordeling is uitgevoerd. Een korte samenvatting van de belangrijkste onderzoeken is hieronder weergegeven.

## Inspecties en metingen (2017)

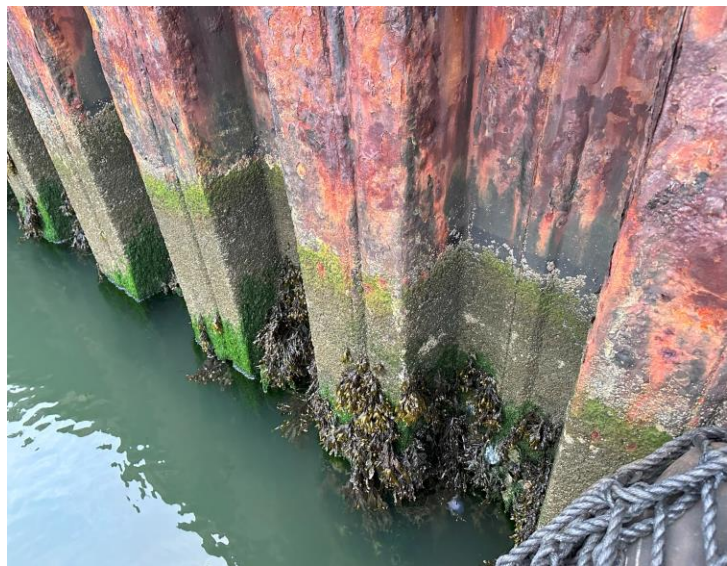
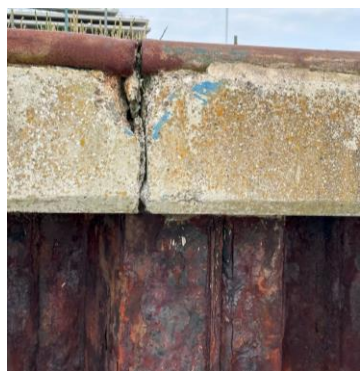
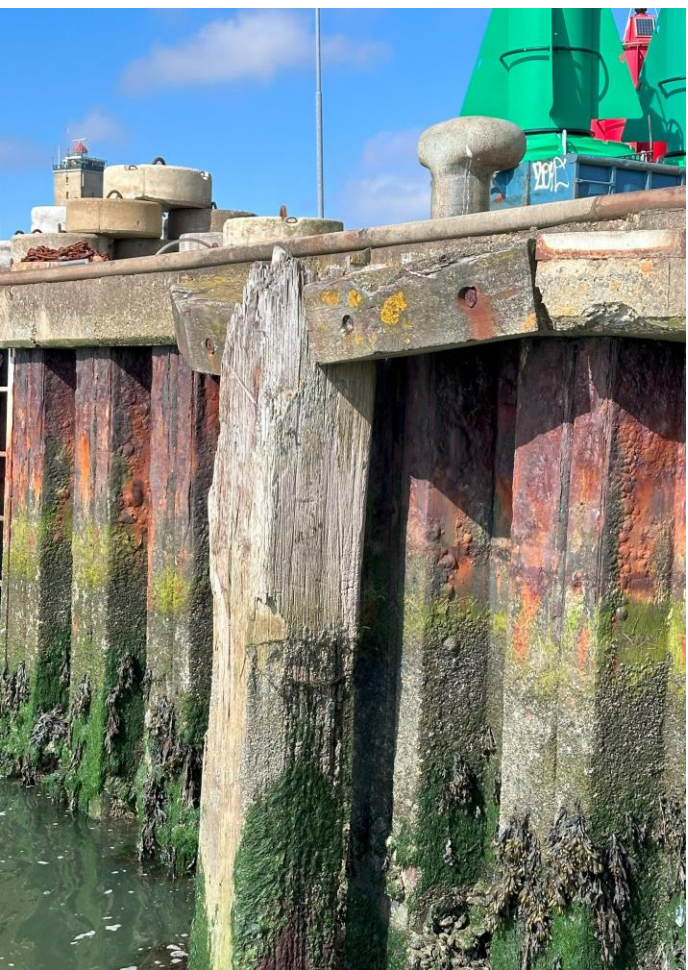
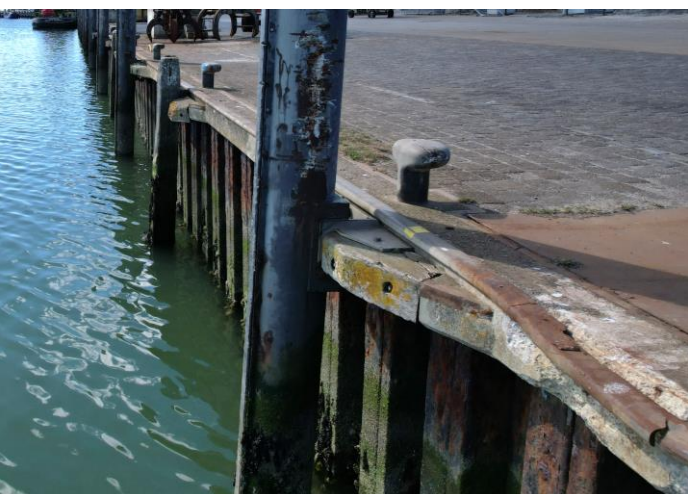
In 2017 zijn de stalen damwanden van de kades geïnspecteerd op **corrosie** (afroesting). Uit dit onderzoek bleek dat de algemene corrosiesnelheid laag is, wat wordt toegeschreven aan de effectieve verfoating op de damwanden. Het onderzoek omvatte ook een vergelijking met meetgegevens uit 2004 en 2011. Echter, deze eerdere metingen werden als statistisch onbetrouwbaar en inconsistent beoordeeld, waardoor het niet mogelijk was een nauwkeurige corrosiesnelheid vast te stellen.

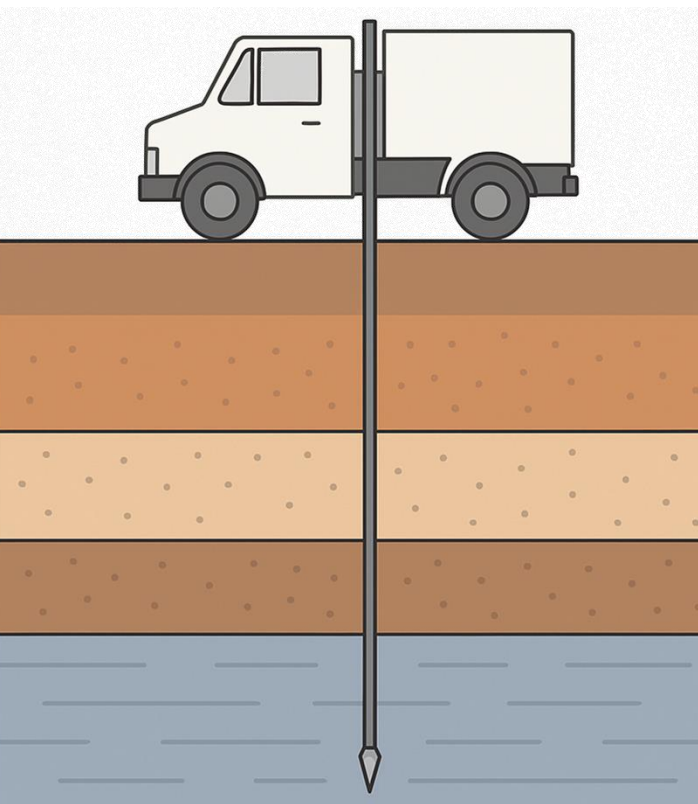
## Inspecties en metingen (2024)

In 2024 zijn steekproeven uitgevoerd waaruit bleek dat de **corrosie** van de stalen damwanden vergelijkbaar was met de resultaten uit het onderzoek van 2017. De resultaten van de metingen zijn verwerkt in de herberekening.

Vroeger was het gebruikelijk om de levensduur van de kade vast te stellen aan de hand van de corrosie van de stalen damwand. Deze benadering is tegenwoordig grotendeels achterhaald, mede door de ontwikkeling van geavanceerde software. Hoewel corrosie leidt tot een vermindering van de damwanddikte, wat de structurele capaciteit en stabiliteit kan beïnvloeden, is het essentieel om de **volledige kade te evalueren**. Een afname in staaldikte kan resulteren in een slankere damwand, wat de gevoeligheid voor doorbuiging van de damwand vergroot. Echter hoeft dit lang niet in alle situaties te leiden tot een verminderde stabiliteit of levensduur van de kade. Corrosiemetingen bieden slechts inzicht in de degradatie van een **specifiek bouwelement** en geven **geen volledig beeld** van de structurele integriteit.

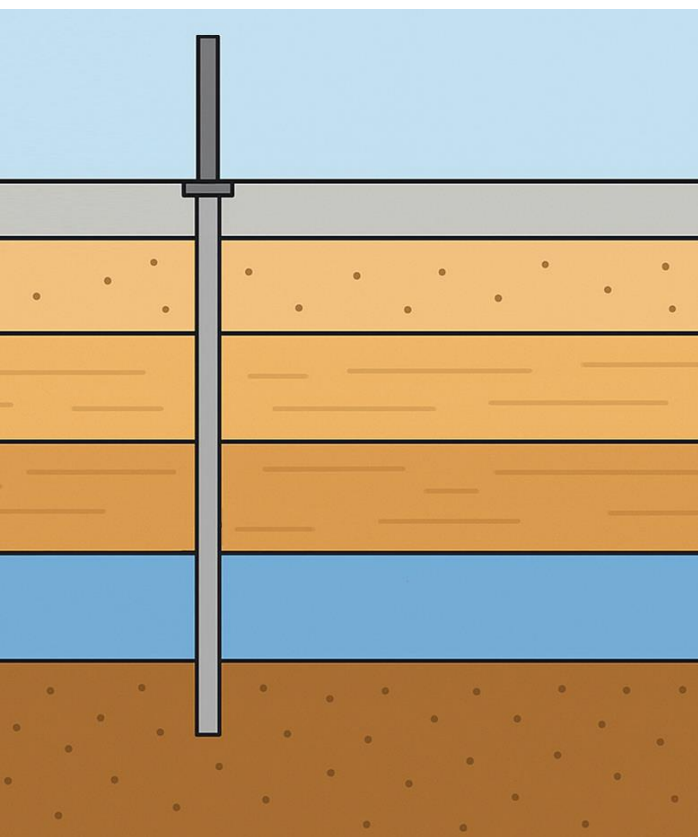






### Herberekening (2018)

In 2018 is een **herberekening** uitgevoerd van de stalen damwand van de Willem Barentszkade. Uit herberekening volgde dat de damwand **onvoldoende lengte** heeft in de normale veiligheidsklasse en daardoor **niet voldoet**. De sterkte van de damwand zelf is wel in orde. In de laagste veiligheidsklasse zou de damwand qua stabiliteit wel voldoen, als je er vanuit zou gaan dat de grond volledig steun biedt. Ook is de verankering van de damwanden beschouwd. Het grootste deel van de verankering **voldoet niet** vanwege geotechnische bezwijkrisico's. Het noordelijke deel van de verankering **voldoet wel**. De herberekeningen zijn uitgevoerd met een vereenvoudigd rekenmodel, waarbij niet de juiste technische normen zijn toegepast, wat de betrouwbaarheid van de resultaten beïnvloedt. Ook zijn bodemgegevens van de Veerhaventerminal toegepast waardoor deze niet representatief zijn voor de rest van de Willem Barentszkade. Desalniettemin bieden de resultaten een indicatie omtrent de veiligheid van de constructies.



### Geotechnisch onderzoek (2021)

In 2021 is ter hoogte van de Willem Barentszkade een **geotechnisch onderzoek** uitgevoerd om inzicht te krijgen in de bodemopbouw en de geotechnische eigenschappen van de ondergrond op deze locatie. Door een stalen conus in de grond te drukken (sondering) zijn de grondlagen ingemeten. Ook zijn grondboringen uitgevoerd. De 13 sonderingen en 5 boringen zijn bruikbaar en representatief voor de situatie en toegepast in de herberekening.

### Grondwatermonitoring (2023)

Er zijn in 2023 **grondwaterstandsmetingen** uitgevoerd, over een periode van drie maanden. Vastgesteld is dat het getij een aanzienlijke invloed uitoefent op het grondwater. Daarnaast zijn er verschillen in grondwaterstanden gemeten tussen de ankerwanden. Het wegzijgende effect en verhang richting de naastgelegen oevers is niet onderzocht. Het is evenwel aannemelijk dat het grondwater afvloeit richting de oevers. De grondwaterstandsmetingen geven slechts een indicatie en zijn **niet representatief** voor geohydrologisch onderzoek, waarbij geldt dat er minimaal een half jaar tot een jaar gemonitord dient te worden.

## Inpeiling waterbodem (2015-2024)

In de periode 2015 tot 2024 zijn meerdere **inpeilingen** van de waterbodem uitgevoerd. Hierbij werd de bodemhoogte ingemeten met een vaartuig.

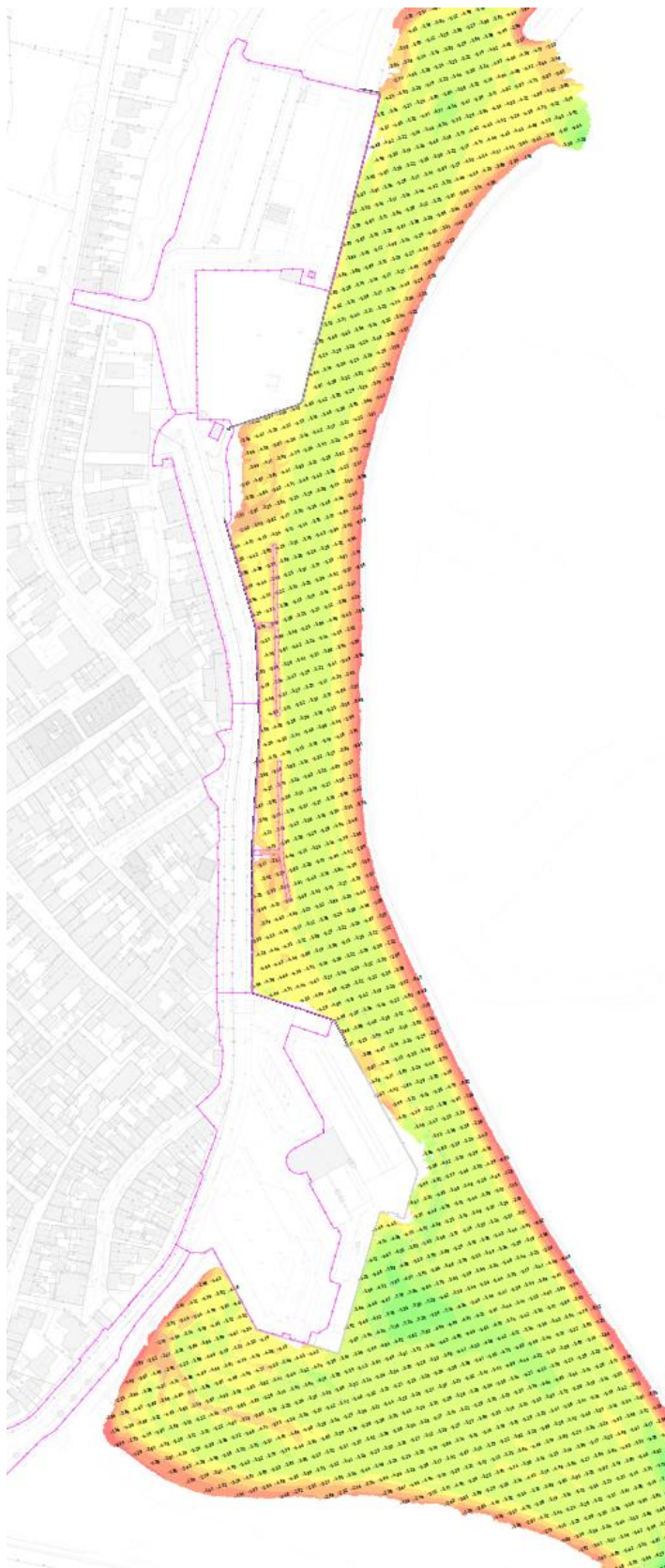
Uit de inpeilingen blijkt dat de waterbodem op diverse locaties **dieper** is dan tijdens de aanleg van de kades in 1968 en 1982. De waterbodem voor de kade van zowel de Werkhaven als de Dwarskade is op sommige locaties 0,80 tot 1,00 meter dieper dan ten tijde van de oorspronkelijke aanleg. Relatief gezien komt dit neer op een lokale verdiepingen van circa 20% ten opzichte van het oorspronkelijke bodemniveau. Specifiek op deze locaties zijn lichte verplaatsingen van de damwand of het ontstaan van sinkholes vastgesteld, wat duidt op mogelijke samenhang met de verminderde stabiliteit van de kade.

Het dieper worden van de waterbodem voor een kade is vaak **risicovol**, omdat de damwand hierdoor minder ondersteuning krijgt aan de onderzijde. Dit kan leiden tot extra spanningen op de constructie en een grotere kans op vervorming, verplaatsing en schade aan de kade.

## Inmetingen en monitoring DTM (2021-2024)

In 2021 is een zorgvuldige **hoogtescan en inmeting** uitgevoerd van het terrein. In de periode 2021-2024 zijn op meerdere meetpunten handmatige metingen verricht, met name op inrichtingselementen op de Willem Barentszkade. Uit evaluatie blijkt dat deze methode niet afdoende is voor het monitoren van de constructieve toestand van een kade, in het bijzonder niet voor het in kaart brengen van getij-invloeden of verplaatsingen van de damwand zelf. Zo is ook niet op te maken of verzakkingen op de hoofdrijbaan van de Willem Barentszkade het gevolg zijn van vervorming van de kade of zijn ontstaan door het wegdrukken van het straatwerk door zwaar verkeer.

In 2024 is een **aanvullende terrein inmeting** uitgevoerd met behulp van een drone. Deze data is vergeleken met eerdere inmetingen van het gebied.



Beoordelen is vooruitzien  
en bepalend voor de koers



# Beoordelingskader

Het beoordelen van de constructieve veiligheid van bestaande kades vraagt om een helder en betrouwbaar beoordelingskader. De uitkomsten van de beoordeling geven houvast bij het nemen van beslissingen over het onderhoud, vervanging of renovatie van de kades.

Er zijn meerdere methodes om bestaande kades te beoordelen, variërend van globale visuele inspecties tot uitgebreide rekenkundige analyses en monitoring. De keuze voor een methode hangt af van de aard van de kade, de beschikbare gegevens en de urgentie, waarbij de norm NEN 8707 een uniforme basis biedt voor de beoordeling van bestaande constructies.

## Besluit bouwwerken leefomgeving

In het **Besluit bouwwerken leefomgeving** (Bbl) staan de constructieve veiligheidseisen benoemd voor kades en andere bouwwerken. Deze eisen zijn functioneel van aard en vormen het wettelijk kader waarbinnen de constructieve veiligheid geborgd moet worden. In het kader van het Bbl zijn de volgende aspecten van bijzonder belang:

- Eigenaren en beheerders hebben een zorgplicht en wettelijke verantwoordelijkheid om de constructieve veiligheid van een kade te waarborgen en maatregelen te treffen zodra deze veiligheid in het geding komt. Het **kwaliteitsniveau** van de kade dient daarbij in stand te worden gehouden;
- De kade dient veilig en functioneel te zijn gedurende de resterende **gebruiksduur** ('restlevensduur'). Structurele ingrepen, zoals versterking of vervanging, zijn nodig indien het veiligheidsniveau wordt onderschreden;
- De **minimale veiligheidseisen** dienen overeen te komen met het 'afkeurniveau' uit norm NEN 8700. Bij de beoordeling van de constructieve veiligheid wordt onderscheid worden gemaakt tussen het gebruiksniveau (voor regulier gebruik) en het afkeurniveau (wanneer sprake is van onvoldoende veiligheid).

De haven en kades van West-Terschelling zijn gelegen in een **buitendijks gebied**. Buitendijkse gebieden bevinden zich buiten de primaire waterkeringen die bescherming bieden tegen hoge waterstanden. Er gelden voor buitendijkse gebieden geen wettelijke normen voor bescherming tegen overstromingen, die wel gelden voor binnendijkse gebieden. De afwezigheid van wettelijke waterveiligheidsnormen betekent echter niet dat er geen aanvullende eisen kunnen gelden. Gemeenten kunnen in hun omgevingsplan aanvullende eisen opnemen. In deze context fungeert het Bbl als vangnetregeling om te borgen dat er, ook zonder rijksnormering, bij het bouwen in buitendijkse gebieden aandacht is voor waterveiligheid en overstromingsrisico's.

Voor de beoordeling van de kades wordt uitgegaan van de huidige situatie waarbij het gebied kan overstromen, waarbij de **bestaande kadehoogtes** (en de hoogtes van kerende muren) als maatgevend worden beschouwd.

## Veiligheidsniveau en gevolklassen

De beoordeling van het vereiste veiligheidsniveau voor de kades vindt plaats op basis van norm NEN-EN 1990. Deze norm introduceert het begrip **gevolgklasse** (consequence class), waarmee de ernst van de gevolgen van falen wordt gekwantificeerd. In de norm worden bouwwerken ingedeeld in drie gevolklassen (CC1, CC2 en CC3), gebaseerd op de ernst van de gevolgen bij falen. Richtlijn CUR-publicatie 166 beschouwt eenvoudige constructies, zoals beschoeiingen en kerende oevers, als behorend tot gevolgklasse CC1 (laag risico). Voor bouwputten, grond- en waterkeringen geldt dat deze behoren tot klasse CC2 (middelhoog risico). Alleen voor kades die deel uitmaken van een primaire waterkering of zeekade geldt klasse CC3 (hoog risico).

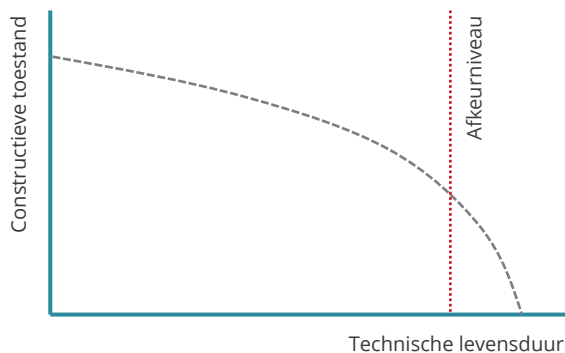
De kades worden ingedeeld in gevolgklasse CC2. Deze classificatie impliceert dat het bezwijken van de kades kan leiden tot **middelzware gevolgen**, zoals een beperkt risico op slachtoffers en/of aanzienlijke economische, sociale of milieuschade.

De indeling in een bepaalde veiligheidsklasse heeft met name invloed op de ontwerpbenadering, de keuze van grondparameters en de toepassing van belastingsfactoren. Naar mate de veiligheidsklasse hoger is, moeten de grondparameters conservatiever worden gekozen. Bij een hogere veiligheidsklasse wordt dan ook uitgegaan van een zwakkere ondergrond om extra zekerheid in te bouwen in het ontwerp. Ditzelfde principe geldt voor de belastingen: bij hogere veiligheidsklassen worden deze strenger benaderd door het toepassen van hogere belastingsfactoren en zwaardere belastingsscenario's in het ontwerp.

## Restlevensduur en referentieperiode

Een essentieel onderdeel van de beoordeling van kades is de bepaling van de **restlevensduur**. Deze wordt in norm NEN-EN 1990 gedefinieerd als de 'verwachte resterende periode' waarin een constructie - bij het actuele gebruik - nog voldoet aan de gestelde functionele eisen en veiligheidscriteria, zonder dat ingrijpende maatregelen zoals vervanging of grootschalige versterking nodig zijn. De norm spreekt ook over **referentieperiode**. Dit betreft een theoretische tijdsspanne voor het bepalen van veranderlijke belastingen op de constructie. Deze periode hoeft niet overeen te komen met de restlevensduur. Juridisch vormt de referentieperiode onderdeel van de onderbouwing van de structurele betrouwbaarheid, maar deze staat los van de feitelijke technische restlevensduur.

In de praktijk kan dit betekenen dat de kade nog niet is bezweken, maar juridisch niet meer kan worden gebruikt omdat de technische risico's te hoog zijn.



Bij het wettelijke afkeurniveau voor kades in Terschelling (in gevolgklasse CC2) hoort een **restlevensduur van 1 jaar** en een **referentieperiode van 15 jaar**. Bij toetsing op verbouwniveau dient echter een restlevensduur van ten minste 15 jaar als absoluut minimum te worden gehanteerd. Onder 'verbouw' vallen alle bouwactiviteiten die een fysieke verandering van de constructie of een constructie-onderdeel tot gevolg hebben, zoals reparatie, gedeeltelijke vernieuwing, verandering of vergroting van de constructie.

Een restlevensduur van minder dan 15 jaar komt voor als:

- de kades niet meer voldoen aan de constructieve veiligheidseisen en toetsing aan de grenstoestanden,
- de schadebeelden en degradatiesnelheid van de kades dusdanig is dat binnen enkele jaren de kritische grens wordt bereikt, en/of
- er onvoldoende restcapaciteit is in bouwdelen of de fundering van de kades.

## Beschouwing van grenstoestanden

Bij het beschouwen van de constructieve veiligheid van de kades moet onderscheid worden gemaakt tussen **uiterste grenstoestanden** en **bruikbaarheidsgrenstoestanden**. De uiterste grenstoestand (UGT) betreft de toestand waarbij een kade faalt door bijvoorbeeld het verlies van sterkte, instabiliteit, vermoeiing of buitensporige vervorming. De bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) betreft de toestand waarbij de kade nog niet bezwijkt, maar er onacceptabele vervormingen, scheefstand, doorbuigingen of trillingen optreden die het gebruik of de functie belemmeren. De beoordeling van een kade op 'afkeurniveau' dient plaats te vinden op basis van de uiterste grenstoestanden (UGT).

Bij verificatie van een grondkerende constructie, zoals een kade, moeten de grenstoestanden zijn beschouwd zoals genoemd in norm NEN 9997-1:

- Verlies van algehele stabiliteit;
- Bezijken van een constructief element;
- Combinatie van bezijken in de grond en in het constructief element;
- Bezijken door hydraulische groundbreuk en erosie door grondwaterstroming.

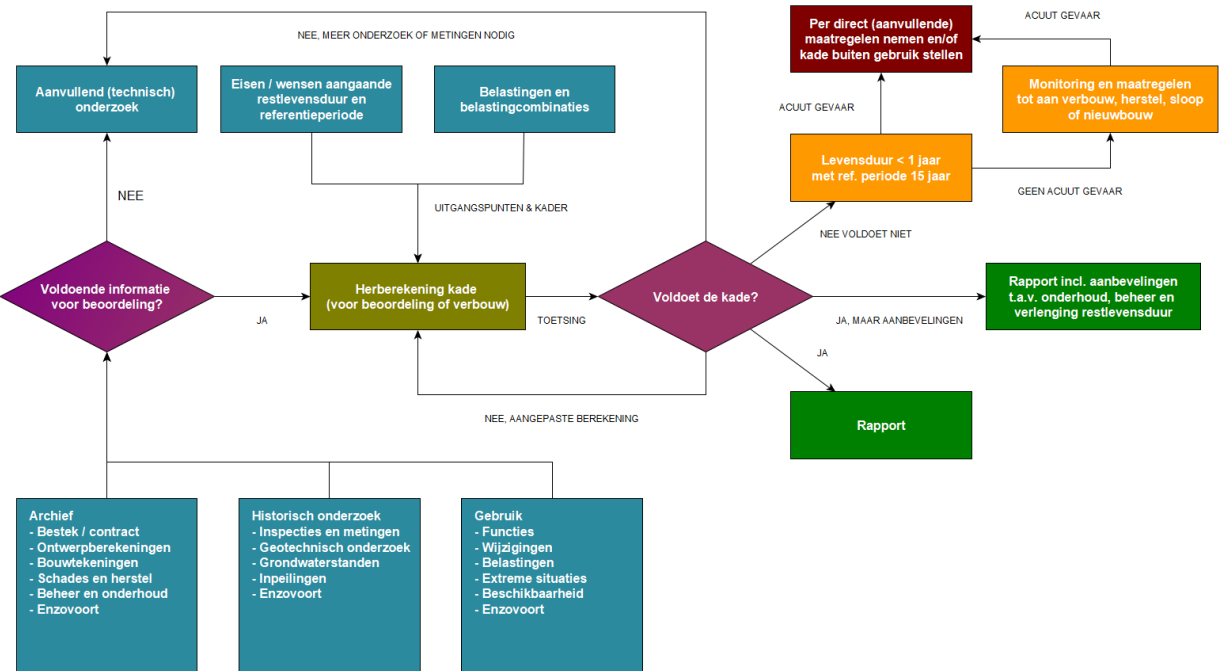
### Toetsingskader NEN 8707

Het **toetsingskader** uit de norm NEN 8707 geeft richting aan een uniforme en transparante beoordeling van een bestaande kade. Het biedt houvast door duidelijke criteria voor veiligheid, bruikbaarheid en restlevensduur, afgestemd op de actuele functies en belastingen op de kade. Door dit toetsingskader systematisch toe te passen ontstaat een consistente basis voor besluitvorming over het onderhoud, versterking of vervanging van een kade.

|                                     |                               |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| Maximaal moment (sterkte) damwand   | $M_{Ed} \leq M_{Rd}$          |
| Verplaatsing damwand                | $d_{max} \leq 100 \text{ mm}$ |
| Verplaatsing damwandpunt            | $d_{PPN} \leq 30 \text{ mm}$  |
| Overall stabiliteit kadeconstructie | $S_f > 1$                     |

Wanneer de restlevensduur van een kade op **minder dan één jaar** wordt vastgesteld, schrijft de NEN 8707 voor dat directe maatregelen noodzakelijk zijn in het geval er sprake is van acuut gevaar. Mocht er geen sprake zijn van acuut gevaar dan staat intensieve monitoring en maatregelen centraal om de veiligheid continu te bewaken. Afhankelijk van de ontwikkelingen kunnen tijdelijke ingrepen nodig zijn om risico's te beperken, bijvoorbeeld door het verminderen van belasting of het treffen van andere maatregelen. De tijdelijke fase van slechts één jaar wordt beschouwd als overbrugging tot aan een structurele keuze voor verbouw, herstel, sloop of nieuwbouw van de kade. Op die manier wordt voorkomen dat de constructieve veiligheid in gevaar komt, terwijl zorgvuldig wordt toegewerkt naar een toekomstbestendige oplossing. Na één jaar is opnieuw een technische herbeoordeling van de kade noodzakelijk.

### Aanpak beoordeling bestaande kade



A photograph of a body of water, likely a harbor or coastal area. On the right side, there is a large, weathered wooden pier structure covered in green moss or algae. A metal ring is attached to the pier. In the foreground, a small, rectangular floating device with four blue floats is visible on the water's surface. The device has some equipment on top, including what looks like a camera or sensor. The water is calm with some ripples. In the background, a long pier or breakwater extends into the distance under a cloudy sky.

*Modellering maakt  
zichtbaar wat buiten  
verborgen blijft*

# Modellering

**Het modelleren van de kades heeft als doel om inzicht te verkrijgen in de constructieve veiligheid en de interactie van de kades en de ondergrond. Er zijn geotechnische modellen opgesteld waarin zowel de geometrie van de kade als de bodemopbouw zijn geschematiseerd. Verschillende belastingen, zoals verkeerslasten en waterdruk, zijn toegevoegd om een realistisch beeld van de situatie te creëren. Met behulp van deze modellen is het gedrag van de kades gesimuleerd, wat heeft geleid tot rekenkundige uitkomsten die de basis vormen voor de beoordeling van de veiligheid.**

## Modelleringsproces

Voor de modellering en berekening van het geotechnische gedrag van de kades is gebruik gemaakt het geavanceerde geotechnische softwarepakket **PLAXIS 2D**. Voor de kades aan de Werkhaven zijn aanvullende analyses uitgevoerd met het softwarepakket **D-Sheet Piling**.

**PLAXIS 2D** is een hoogwaardig en betrouwbaar eindige-elementensoftwarepakket (EEM/FEM) dat breed wordt erkend binnen de geotechnische ingenieurswereld. Door het gebruik van geavanceerde rekenmodellen en nauwkeurige eindige-elementenanalyse is het bij uitstek geschikt voor het modelleren van complexe grondstructuren en het realistisch voorspellen van het gedrag onder diverse omstandigheden. PLAXIS 2D simuleert spanningen, vervormingen en stabiliteit van grond- en kadeconstructies in twee dimensies, waarbij het niet-lineaire gedrag van de ondergrond nauwkeurig wordt benaderd met behulp van verschillende constitutieve modellen. Het pakket biedt de mogelijkheid om de fasering van verschillende belastingen en waterstanden op de kades nauwkeurig te modelleren.

Het modelleren van een geotechnisch EEM-model in PLAXIS 2D is een gestructureerd proces, dat nauwkeurigheid, volgordeelichheid en aandacht voor het detailniveau vraagt.

Het nauwkeurig definiëren van de modelgeometrie en de knooppunten is een tijdrovend proces. De mate van gedetailleerdheid draagt echter bij aan de nauwkeurigheid van de analyse en beoordeling. De PLAXIS-modellen worden meermaals doorgerekend voor controle, analyse en het verkrijgen van objectieve rekenresultaten. Dit vergt veel rekenkracht en rekentijd. Om de werkelijke situatie zo realistisch mogelijk te modelleren zijn op basis van de beschikbare gegevens alle constructies en aanwezige elementen in de modellen opgenomen. Deze elementen dragen dan ook bij aan de krachtenopbouw van de constructie in relatie tot het grondpakket.

Voor het opstellen van de modellering zijn de volgende stappen aangehouden:

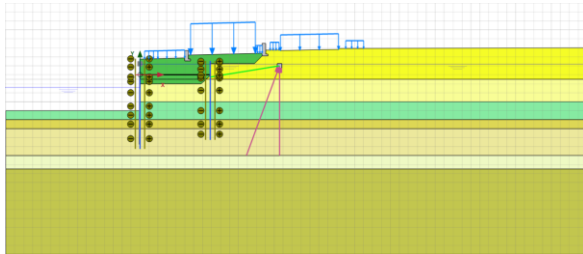
1. Gegevensverzameling en voorbereiding kadesecties
2. Geometrie-input, structuurhiërarchie en parameters
3. Belastingtoepassingen en belastinganalyse
4. Statische analyse en visualiseren resultaten
5. Kritische resultaten identificeren en controle

Tijdens het doorrekenen van de kades aan de Werkhaven kon PLAXIS 2D onvoldoende oplossingen vinden. De kades vertoonden zodanig hoge instabiliteit dat het model niet in staat was rekenkundige waarden af te leiden. Hierdoor moest worden overgegaan op een vereenvoudigde modellering in D-Sheet Piling.

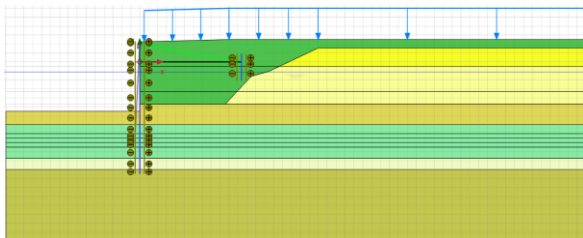
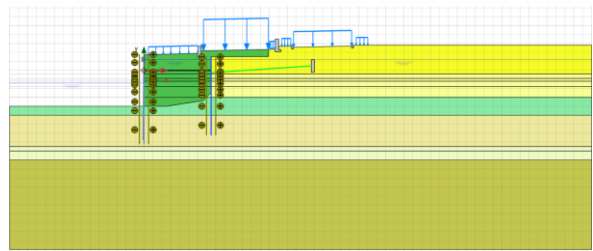
**D-Sheet Piling** is een rekenprogramma ontwikkeld door Deltares, en is specifiek geschikt voor de analyse van kadeconstructies en verankerde wandconstructies in de ondergrond. Het programma is gebaseerd op de klassieke evenwichtsmethoden, waarbij de stabiliteit van damwanden wordt bepaald door het in evenwicht brengen van krachten en momenten die werken op de damwand. Hierbij wordt onder andere rekening gehouden met actieve en passieve grondspanningen, gronddrukverdeling, waterdruk, ankerschuifkrachten en wandverplaatsingen.

## Impressie modelleringen

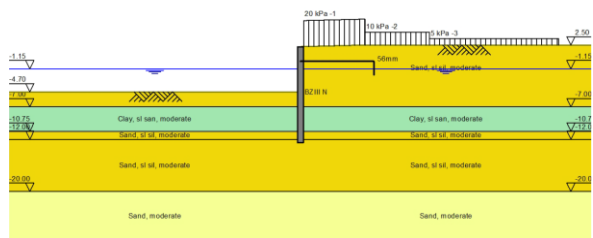
Onderstaand zijn ter impressie enkele **geotechnische modellen** weergegeven die zijn opgesteld voor de beoordeling van de kades. De impressies tonen de toegepaste geometrie, bodemopbouw, belastingcondities en spanningsverdelingen zoals gemodelleerd in de verschillende softwarepakketten. Deze visualisaties ondersteunen de analyse van stabiliteit, verplaatsingen en mogelijke faalmechanismen van de constructie.



*Voorbeelden geotechnische modellen kades Willem Barentszkade*



*Voorbeelden geotechnische modellen kades Werkhaven*



## Kalibratie en iteraties

Het 'kalibreren' van het geotechnische model is een belangrijk onderdeel in het modelleringsproces. Dit proces houdt in dat de modelparameters, zoals de stijfheid, sterkte en doorlatendheid van de grond, worden afgestemd op beschikbare proeven. De **modelparameters** zijn zo nauwkeurig mogelijk vastgesteld op basis van de beschikbare geotechnische gegevens.

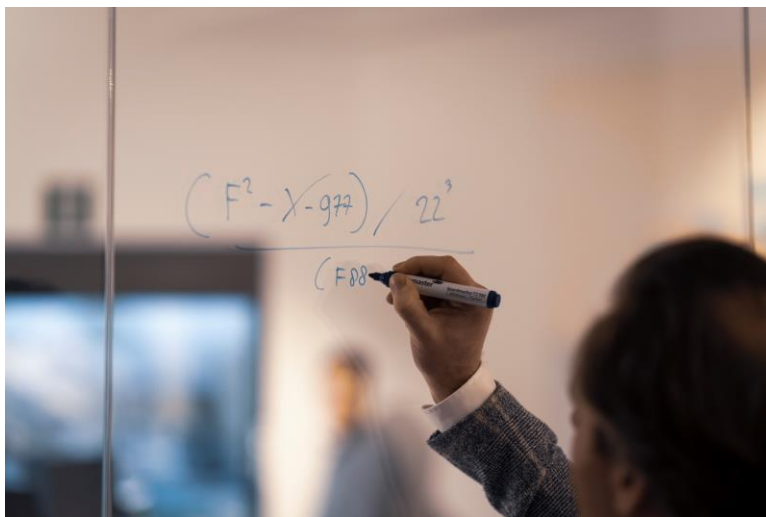
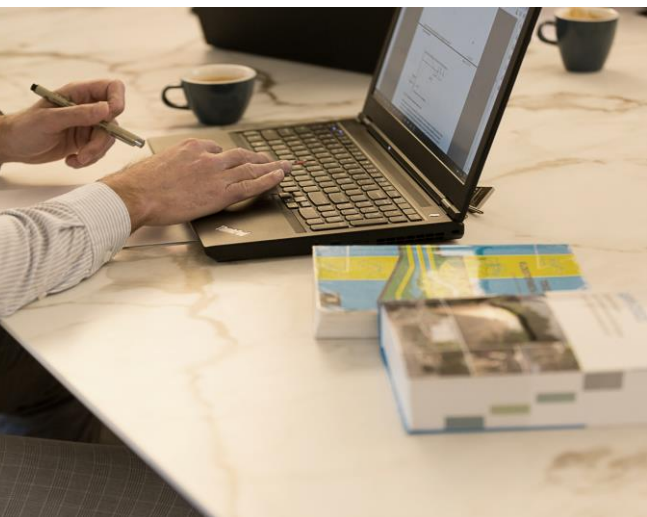
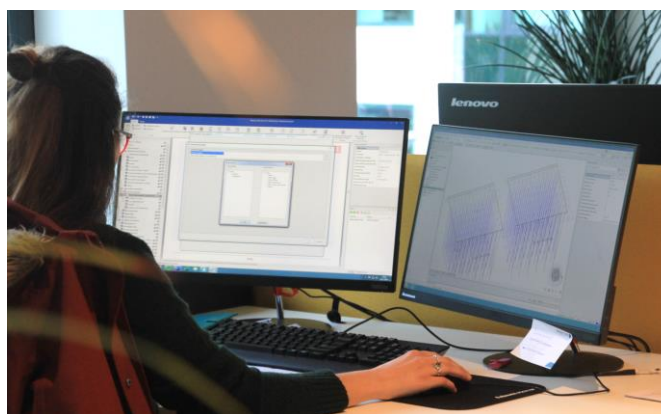
In het startmodel zijn vervolgens diverse iteraties uitgevoerd om de maatgevende situatie vast te stellen:

1. Initial phase: voor de initiële grondspanningen
2. Zero phase: 'maagdelijke' situatie zonder belasting
3. Analyse gemiddelde getij (hoog vs. laagwater)
4. Analyse 'val na hoogwater' (laag buiten, hoog binnen)
5. Analyse extreem laag water (extreem laag buiten)

6. Analyse bolderbelasting (trosbelasting uit schepen)
7. Analyse verkeersbelastingen (combi bovenbelastingen)

Vastgesteld is dat het gemiddelde en getij maatgevender is voor het geotechnische gedrag en de belastingen dan de andere waterstandsituaties. Hetzelfde geldt voor de verkeersbelasting ten opzichte van de bolderbelasting.

In de **iteratieve herberekeningen** zijn verschillende belastingsituaties meegenomen om het gedrag van de kades te beoordelen. Het effect van getij is gemodelleerd met verschillende waterstanden, terwijl combinaties met verkeersbelastingen zijn aangebracht als bovenbelasting. Corrosie van de stalen damwanden is meegenomen door te rekenen met een gereduceerde effectieve wanddiktes. De modelparameters en factoren zijn in opeenvolgende iteraties aangepast overeenkomstig norm NEN 8707. Deze aanpak heeft geleid tot een realistische en onderbouwde herberekening van de kade.





*Getallen zeggen weinig, interpretatie  
vormt de brug naar duidelijkheid*

# Resultaten

De resultaten van de berekeningsanalyses verschaffen waardevolle inzichten in de constructieve veiligheid van de kades onder uiteenlopende condities en scenario's. Onder meer de toelaatbare verplaatsing, sterkte en algehele stabiliteit van de kade zijn nauwkeurig vastgesteld. De resultaten zijn getoetst aan de vigerende normen, met als doel een onderbouwde beoordeling te kunnen maken van de restlevensduur en de eventuele maatregelen voor renovatie of herstel.

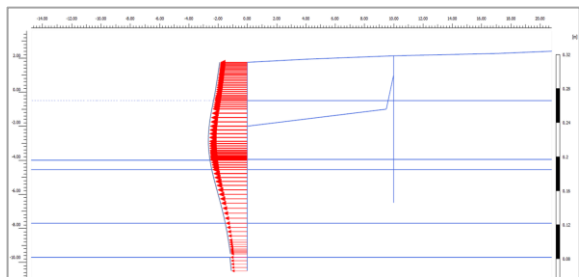
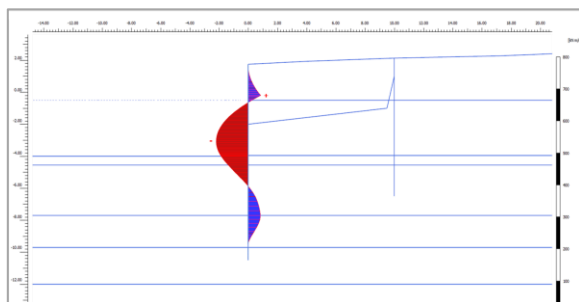
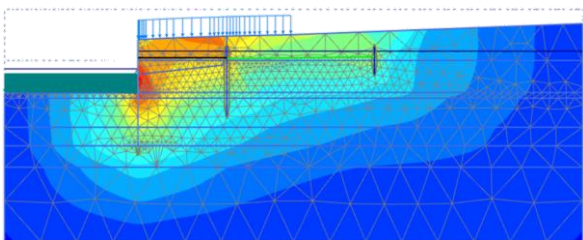
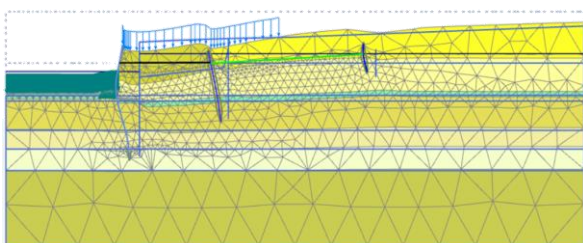
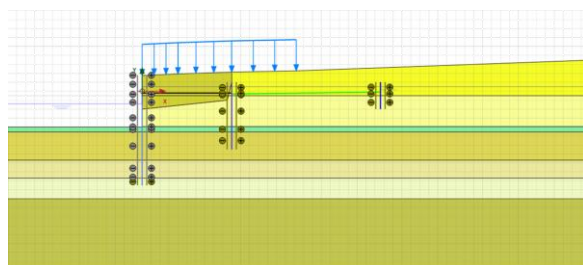
## Resultaten Dwarskade

De resultaten van de berekeningsanalyse van de kade aan de Dwarskade tonen dat de kade wat betreft **sterkte** voldoet aan de gestelde normen. Dit is in lijn met het onderzoek dat is uitgevoerd naar de staaldikte van de damwanden. De damwanden hebben voor de komende 15 jaar voldoende restcapaciteit om belastingen op te nemen.

Echter is de berekende **verplaatsing** van de damwanden hoger dan de toelaatbare grenswaarde. Dit betekent dat de damwandplank zelf heel blijft, maar wel verplaatst en verbuigt. Hierdoor zal de totale kade langzaam richting het water bewegen, met een hoog risico op **ongewenste vervorming** als gevolg. De berekening toont, in het meest ongunstige scenario, een kans op een vervorming van meer dan 200% ten opzichte van de toegestane norm. Het risico bestaat dat de kade uiteindelijk **uit evenwicht raakt** en gedeeltelijk of volledig **instort**.

De berekeningen tonen dat damwanden **onvoldoende inklemming** hebben in de grond, wat betekent dat de damwanden te ondiep steken in de ondergrond en daardoor langzaam kunnen verplaatsen. Dit is één van de belangrijkste oorzaken waardoor de damwanden vervormen en verplaatsten richting het water.

Uit de berekeningsanalyse is verder ook gebleken dat de ankerwanden **uit evenwicht raken** en niet voldoen. De ankerwanden voldoen niet aan de stabiliteits eis.



Voorbeelden resultaten Dwarskade in PLAXIS 2D

## Gevoeligheden Dwarskade

Om meer inzicht te verkrijgen in het gedrag van de kade zijn de PLAXIS-modellen aangepast. Daarbij is een aanvullende analyse gemaakt met de krachten die op de kade komen door een afgemeerd schip, een analyse met belasting uit een kraan op de kade en een analyse met een andere verkeersbelasting op de kade. Vastgesteld is dat de berekeningsresultaten betrouwbaar zijn.

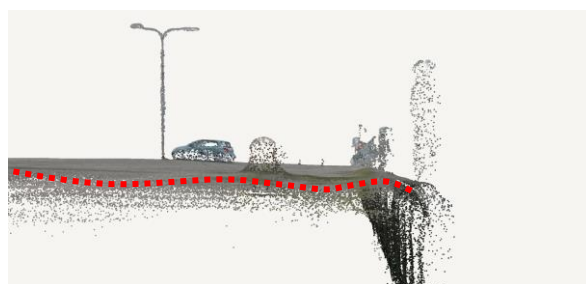
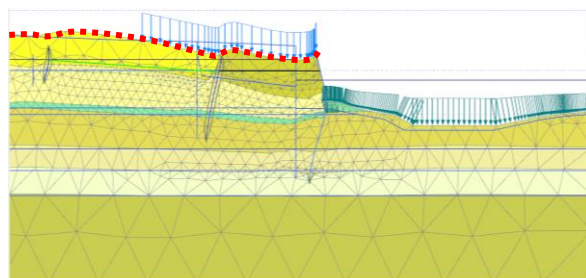
Tijdens de berekeningen is gebleken dat de waterbodem dieper was dan het oorspronkelijke ontwerp van de kade. Er zijn ontgrondingen opgetreden voor de kade, vermoedelijk door stromingen van scheepschroeven. Uit de resultaten blijkt dat de kade door de ontgrondingen 6 cm extra zal verplaatsen en de damwandpunt 1 cm. Voor de toetsing maakt het overigens niet uit of de ontgrondingen later worden verholpen, want de kritieke deformatie heeft logischerwijs al plaatsgevonden.

De berekeningsresultaten wijzen op een structureel tekort in de constructie-opbouw. De kade is **onveilig voor het huidige gebruik**.

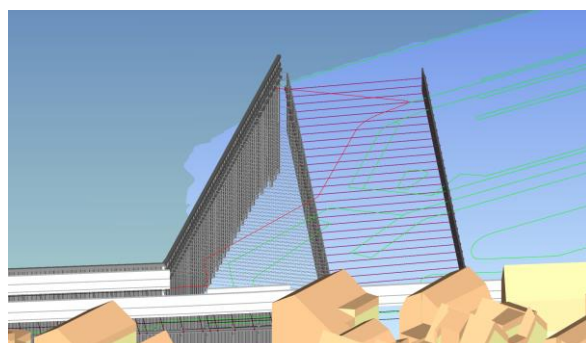
## Duiding zakkingsproces Dwarskade

Het is opmerkelijk dat de **huidige verzakkingen** van het kadeterrein een patroon vertonen dat nauw aansluit bij de gemodelleerde verzakkingen. Dit bevestigt de hoge mate van betrouwbaarheid van de resultaten en toont dat het verzakkingsproces zich reeds in een vergevorderd stadium bevindt.

Daarnaast valt op dat de **ligging van de ankerwand** zich aftekent op maaiveldniveau: de straatstenen vertonen daar een verhoging, terwijl de ondergrond rondom de wand inzakt. De situatie duidt erop dat het grondpakket achter de kade **instabiliteit** vertoont.



Berekeningsresultaten vs. digitale scan van kadeterrein Dwarskade



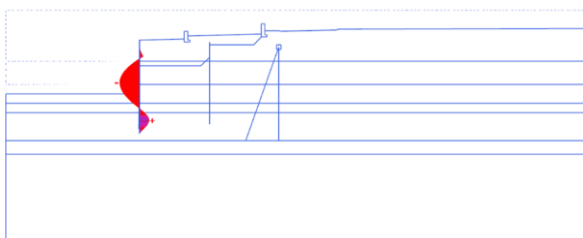
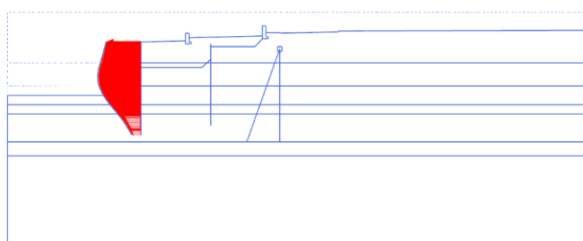
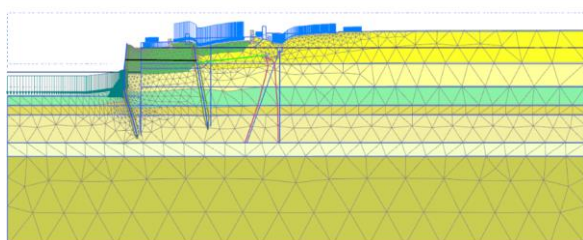
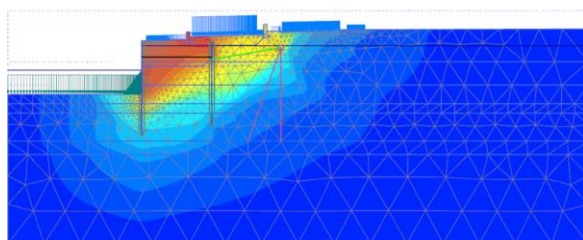
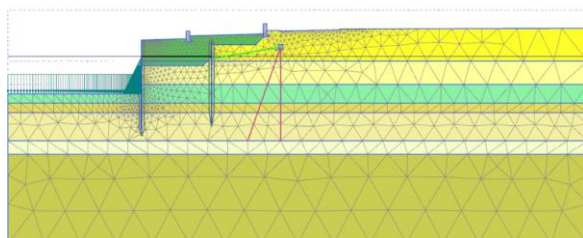
3D Kademodel vs. digitale scan van kadeterrein Dwarskade

## Resultaten kades Willem Barentszkade

De Willem Barentszkade bestaat uit verschillende kades en verankeringen. Het **zuidelijke en middendeel van de kade** bestaat uit een verankering aan oude houten jukpalen en damwanden. De resultaten van deze constructies zijn vergelijkbaar. Wat betreft **sterkte** voldoet de kade aan de gestelde normen. De berekende **verplaatsingen** bevinden zich echter net boven de toelaatbare grenswaarden. De kade heeft de neiging om langzaam meer richting het water te bewegen, hetgeen beheersbaar moet blijven. Omdat niet bekend is hoeveel verplaatsing sinds 1982 al heeft plaatsgevonden, is het onzeker in hoeverre de kade haar verplaatsingsruimte inmiddels heeft benut.

De totale verplaatsing van het zuidelijke en middengedeelte van de kade wordt veroorzaakt door meerdere factoren. De **druk van de grond** tegen de kade draagt voor circa 30% bij aan de verplaatsing. Grofweg 40% van de verplaatsing is het gevolg van het **dagelijkse getij**, mede als gevolg van variërende waterdrukken achter de damwand. Tijdens de kalibratie is vastgesteld dat extreme waterstanden - zowel hoog als laag - minder bijdrage leveren aan de verplaatsing dan de dagelijkse getijbeweging. Voldoende afvoer van waterdrukverschillen achter de damwand is essentieel. De **belasting vanuit de gebruikssituatie** veroorzaakt ongeveer 17% van de verplaatsing. Daarnaast dragen **corrosie en veroudering** gezamenlijk circa 8% bij aan de verplaatsing. Deze verdeling maakt duidelijk dat met name het getij en gronddruk bepalend zijn voor de veiligheid van de kade.

Het **noordelijke deel** van de Willem Barentszkade is voorzien van een verankerde constructie met betonnen elementen in de ondergrond. Op het gebied van **sterkte** voldoet dit deel aan de gestelde normen. Ook de berekende **verplaatsingen** blijven ruimschoots binnen de toelaatbare grenswaarden. De verplaatsingen in het noordelijke deel van de kade liggen circa 25 tot 30% lager dan in het zuidelijke en middendeel, wat wijst op een gunstiger constructief gedrag.



Voorbeelden resultaten WB-kade in PLAXIS 2D

Uit analyse blijkt dat de damwand van de kade net voldoet aan de benodigde **damwandlengte**. Doordat de damwand in verhouding te kort is, ontstaat bij belastingen het risico op een langzame, voortschrijdende verplaatsing van de onderzijde van de damwand (m.a.w. de damwand gaat langzaam 'aan de wandel'). De damwandlengte is een bepalende factor voor de **stabiliteit**. Een te korte damwand levert onvoldoende grondweerstand, wat het risico op verplaatsing en verzakking vergroot. Daarnaast kan ontgronding van de waterbodem het verplaatsingsgedrag van de kade ongunstig beïnvloeden, waardoor handhaving en beheersing van het waterbodempcil essentieel is.

## Gevoeligheden kades Willem Barentszkade

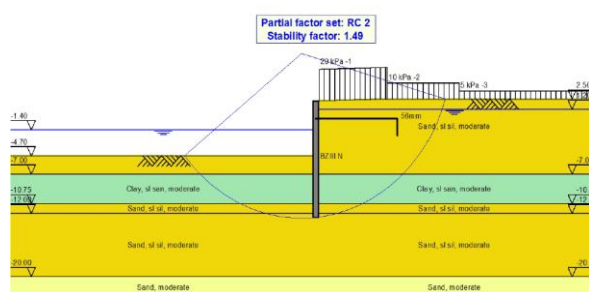
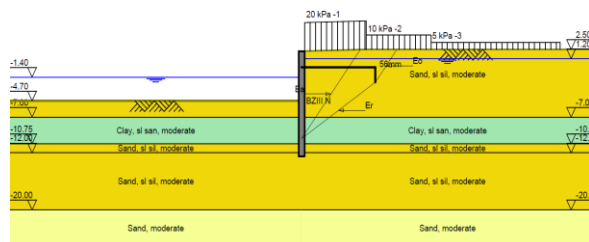
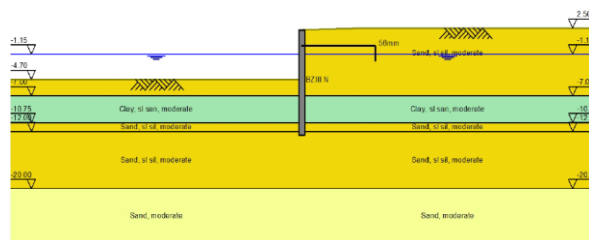
Om meer inzicht te verkrijgen in het gedrag van de kade zijn de PLAXIS-modellen aangepast. Daarbij is de waterbodem aan de voorkant van de kade eerst 0,5 meter en daarna 1,0 meter verhoogd, om het effect op de verplaatsing van de kade te onderzoeken.

Volgens het oorspronkelijke ontwerp dient de **waterbodem** te worden beheerd op NAP -4,0 m. Uit de analyse blijkt dat het ophogen van de bodem met 0,5 meter (naar NAP -3,5 m) leidt tot een afname van de verplaatsing met circa 20%. Bij een ophoging van 1,0 meter (naar NAP -3,0 m) neemt de verplaatsing zelfs met ongeveer 30% af. Dit geeft aan dat de kade erg gevoelig is voor de diepte van de waterbodem.

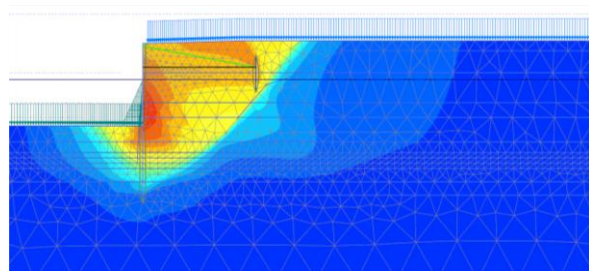
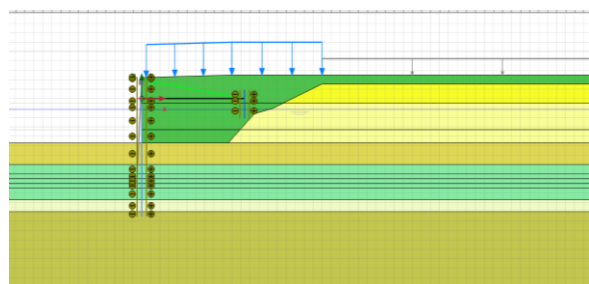
Vastgesteld is dat de resultaten een duidelijk beeld geven van de constructieve prestaties van de Willem Barentszkade.

## Resultaten kade Werkhaven

De kade aan de Werkhaven kon in eerste instantie niet met behulp van PLAXIS 2D worden berekend. Tijdens de analyse konden onvoldoende convergerende oplossingen worden gegenereerd. Het model genereerde verplaatsingen van meer dan 100 cm waarna het model volledig instabiel werd. De gemodelleerde instabiliteit van de kade was dermate groot dat het model geen rekenkundige resultaten kon opleveren. Daarom is een alternatief model gemaakt in D-Sheet Piling. Uit dit model bleek dat het leganker **onvoldoende lang** is om totale stabiliteit te verkrijgen.



Voorbeelden resultaten Werkhaven in D-Sheet Piling



Voorbeelden resultaten Werkhaven in PLAXIS 2D

Vervolgens is een berekening met PLAXIS 2D uitgevoerd. Hierbij zijn de uitgangspunten en belastingen van het model stapsgewijs aangepast, waardoor het model oplossingen kon genereren. Uit de aanvullende analyse is gebleken dat één van de belangrijkste factoren, die het gedrag van de kade ongunstig beïnvloed, de diepte van de **waterbodem** voor de kade betreft. De bodem is in de loop van de jaren dieper geworden dan in het ontwerp van 1968. Dit maakt dat de kade momenteel zelfs zonder belasting op de kade niet voldoet ten aanzien van de **sterkte en stabiliteit**. Het herstel van de ontgrondingen verdient overweging, al is waarschijnlijk al kritische verplaatsing opgetreden.

De berekeningsresultaten wijzen op een structureel tekort in de constructie-opbouw, waardoor de kade **onveilig is voor het huidige gebruik**.

De resultaten wijzen uit dat de kade bij aanleg in 1968 kon worden gebruikt voor lichte belasting (klasse: voetgangers en licht verkeer). Bij zwaardere verkeer voldeed de kade niet (grensgeval). Voor zware belastingen uit kranen ed. was de kade in 1968 dan ook niet geschikt. Dit betekent dat de kade **bij aanleg voldeed** voor het toenmalige gebruik, maar dat de veroudering, zoals corrosie of degradatie, niet te hoog mochten worden in de loop van de tijd. Ook moest hoge kraan- of verkeersbelasting op de kade worden voorkomen.



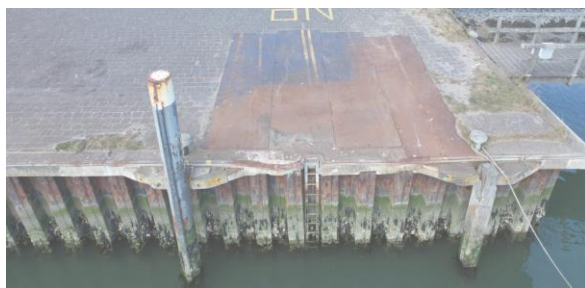
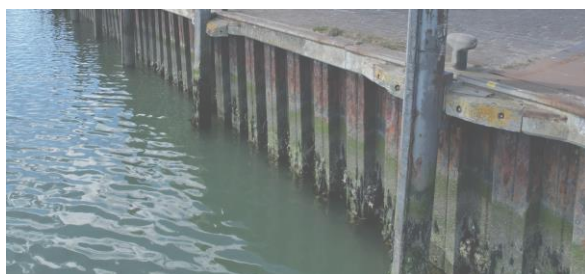
Digitale scan van het kadeterrein Werkhaven

In 1968 werd anders omgegaan met constructieve veiligheid en belastingen op kades. Sindsdien zijn technische normen en regelgeving aangepast en aangescherpt. Conclusies over de vroegere constructieve toestand van de kade dienen in dit perspectief te worden beschouwd.

### Duiding zakkingsproces kade Werkhaven

Inspectie wijst uit dat de damwand aan de bovenzijde licht voorover helt richting de waterzijde, in de lengterichting slingert, corrodeert en sterk verouderd is. Dit schadebeeld komt overeen met de resultaten uit de modellering. De kade is sterk gevoelig voor verplaatsing.

Volgens de resultaten is er een hoge kans op het optreden van bodeminzakking. Hierbij verzakt de grond ineens en onverwachts. Dit fenomeen kan volgens de resultaten optreden bij een verplaatsing van meer dan 15 cm. De resultaten wijzen uit dat de kade 12 cm naar voren kan komen zonder hoge belasting, ten gevolge van het korte anker en het eigen gewicht. Aangezien de kade al verplaatst is en historische verplaatsing niet achterhaald kan worden is het faalrisico hoog. De kade bevindt zich in een **kritieke grenstoestand** en kan onverwachts afglijden of instorten. Eerder zwaar gebruik van de kade, met bijv. vrachtwagens of kranen, biedt geen garantie voor toekomstig veilig gebruik.



Foto's van het kadeterrein Werkhaven

*Van vragen over de kade naar  
acties voor de toekomst*



# Eindoordeel

Op basis van de resultaten is een eindoordeel opgesteld en vertaald naar conclusies en aanbevelingen. Het eindoordeel geeft inzicht in de constructieve veiligheid en bruikbaarheid van de kade en vormt daarmee de basis voor de keuzes die de gemeente moet maken over evt. (herstel)maatregelen, vervanging of renovatie. De aanbevelingen vatten de, in een separate rapporten, voorgestelde maatregelen samen en geven richting aan vervolgstappen om de veiligheid, betrouwbaarheid en toekomstbestendigheid van de kades te waarborgen.

## Conclusies kade Dwarskade

De kade is **onveilig en niet geschikt** voor het huidige en beoogde gebruik. De stalen damwanden zijn onvoldoende diep ingeklemd in de ondergrond, waardoor zij te grote vervormingen vertonen en er een reëel risico bestaat op bezwijken van de kade. Hoewel de stalen damwanden als constructie-element op zichzelf nog voldoen, laat de beoordeling zien dat de hoofdwand en de ankerwanden niet aan de stabiliteitseisen voldoen en instabiel zijn. Daarmee is **ingrijpen noodzakelijk** om de veiligheid te waarborgen.

De conclusies worden ondersteunt door:

- Aangetroffen degradatie, corrosie en schadebeelden;
- Verzakkingen en 'sinkholes' op het kadeterrein;
- Verificatieberekening in PLAXIS 2D;
- Vervorming maaiveld komt overeen met berekening.

## Aanbevelingen kade Dwarskade

Om de **veiligheid en stabiliteit** te waarborgen worden de volgende maatregelen aanbevolen:

- Kade uit gebruik nemen voor (scheepvaart)verkeer;
- Volledig afsluiten van de kade en het kadeterrein;
- Monitoren van de kade en evt. vervolmaatregelen;
- Bodemniveau controleren op (verdere) ontgronding;
- Eventuele ontgrondingen herstellen en aanvullen;
- Communicatieplan voor gebruikers en passanten.

## Conclusies kade Willem Barentszkade

Het *zuidelijke en middendeel* van de kade is komend jaar **onder voorwaarden veilig** voor het huidige gebruik. De kade bevindt zich binnen het '**afkeurniveau**'. Na één jaar dient een nader onderzoek en (her)beoordeling plaats te vinden conform de norm NEN 8707. Het *noordelijke deel* van de kade is wel **veilig** voor het huidige gebruik.

De stalen damwandlengte van het *zuidelijke en middendeel* van de kade voldoet slechts minimaal en biedt te weinig stabiliteitsreserve. Dit deel kent een verhoogd risico op vervorming, vooral bij ontgronding van de waterbodem. Actief beheer van het waterbodempil is cruciaal voor de veiligheid, ook voor het *noordelijke deel* van de kade.

De conclusies worden ondersteunt door:

- Onderzoeksresultaten 2018 (deel van kade afgekeurd);
- Aangetroffen degradatie, corrosie en schadebeelden;
- Lichte verzakking en 'sinkholes' op het kadeterrein;
- Verificatieberekeningen in PLAXIS 2D.

## Aanbevelingen kade Willem Barentszkade

De **voorwaarden** om de kade nog in gebruik te houden sluiten aan bij de systematiek van de norm NEN 8707 en het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl):

- Monitoring van het zuidelijke en middendeel kade;
- Mitigerende maatregelen nemen bij verslechtering;
- (Her)beoordeling en evaluatie over 12 maanden.

Om de **veiligheid en stabiliteit** te waarborgen worden de volgende maatregelen aanbevolen:

- Baggeren voor de kade tot een minimum beperken;
- Eventuele ontgrondingen herstellen en aanvullen;
- Hoge belastingen en oneigenlijk gebruik voorkomen;
- Communicatieplan voor gebruikers en passanten;
- Verzoek gemeente: aanbrengen van een loopvlonder;
- Herstellen van 'sinkholes' door bijv. grout injecties.

## Conclusies kade Werkhaven

De kade is **onveilig en niet geschikt** voor het huidige en beoogde gebruik. Uit het onderzoek blijkt dat de kade in een **kritieke grenstoestand** bevindt. Er is een hoge kans op het optreden van bodeminzakking. Hierbij verzakt de grond ineens en onverwachts. De situatie is ernstig, aangezien de kade zelfs zonder belasting niet voldoet ten aanzien van sterkte en stabiliteit. Dit komt doordat het leganker te kort is en er te veel ontgrondingen zijn voor de kade, waardoor de stalen damwand onvoldoende inklemming ondervindt in de bodem en plotseling instabiel kan raken. Om de veiligheid te waarborgen is **ingrijpen noodzakelijk**.

De conclusies worden ondersteunt door:

- Scheefstand van de hoofdwand van de kade;
- Lichte terreinverzakking en lichte uitbolling kaderand;
- Zware corrosie, degradatie en lokale schadebeelden;
- Verificatieberekeningen in PLAXIS 2D en D-Sheet Piling.

Enkele afsluitende opmerkingen:

- Bekend is dat er in het verleden **zware kraan- en verkeersbelastingen** zijn uitgeoefend op de kade. Hiervoor was de kade echter niet geschikt;
- Onbekend is hoeveel de kade in het verleden al is **verplaatst**. Er zijn geen metingen of as-built gegevens beschikbaar. Dit vergroot de onduidelijkheid over de eventuele restcapaciteit van de kade;
- Voor oude kades wordt in de regel een **levensduur** van 50 jaar aangehouden. De kade is van 1968 en daarmee 57 jaar. Positief geformuleerd: de kade gaat al langer mee dan waarvoor deze vermoedelijk is ontworpen.
- De aangrenzende kade van Rijkswaterstaat heeft een **andere constructie-opbouw**: de damwand is één meter langer en bevindt zich een bodembescherming voor de kade van Rijkswaterstaat.

## Aanbevelingen kade Werkhaven

Om de **veiligheid en stabiliteit** te waarborgen worden de volgende maatregelen aanbevolen:

- Kade uit gebruik nemen voor (scheepvaart)verkeer;
- Volledig afsluiten van de kade en het kadeterrein;

- Monitoren van de kade en evt. vervolgmaatregelen;
- Herstelplan, incl. ontgrondingen aanvullen;
- Communicatieplan voor gebruikers en passanten.

Daarnaast worden de volgende acties aanbevolen:

- Aanvullend geotechnisch onderzoek uitvoeren, omdat de huidige **grondparameters** verouderd zijn;
- Inspectie, integriteitscontrole en beoordeling (NEN 3650) van de **brandstofleidingen** en –voorzieningen;
- Inspectie en controle van de **riooloverstort** en bezinkputten op het kadeterrein;
- Bodemkwaliteitsonderzoek i.v.m. vermoedelijke aanwezigheid **vervuilde grond** achter de kade.

## Overige aanbevelingen voor alle kades

Voor de verdere aanpak van de kades worden de volgende algemene maatregelen aanbevolen:

- **Proefsleuven graven**: inzicht verkrijgen in de constructie-opbouw, staat van verankeringen en eventuele afwijkingen ten opzichte van de tekeningen. (de technische haalbaarheid wordt hiervan echter laag ingeschat, omdat de weg moet worden opgebroken).
- **Materiaalonderzoek**: uitvoeren van staal/metallurgisch onderzoek van de stalen damwanden om de resterende levensduur beter te kunnen inschatten.
- **Grondwatermonitoring kadeterrein**: voor een langere tijd onderzoeken of de (fluctuerende) hydraulische druk (on)gunstiger werkt op de kadewanden.
- **Projectconditionering**: bepaalde mitigerende maatregelen vragen om vergunningen, ontheffingen en/of toestemmingen van derden.
- **Interactie constructies derden**: de kades grenzen aan de constructies van derden en/of de verankering ligt in de beïnvloedingszone van de constructies van derden, zoals Rijkswaterstaat. Er moeten afspraken gemaakt worden met deze partijen over de evt. maatregelen, de verdere aanpak en het herstel van de kades. Specifiek als er grondroerende, geotechnische en/of funderings-werkzaamheden moeten worden uitgevoerd.

# Onderzoeksverantwoording

## OPDRACHTGEVER

Gemeente Terschelling werkt aan het beheer en onderhoud van de kades en haveninfrastructuur van West-Terschelling. In 2024 is een haventeam samengesteld uit deskundigen, belast met het opstellen van een plan van aanpak voor de vernieuwing van de haven. Vanwege schadebeelden en onzekerheden over de huidige veiligheid van de kades heeft het haventeam opdracht gegeven tot een beoordeling van de constructieve veiligheid.



### GEMEENTE TERSCHELLING

Projectteam Haven Terschelling  
Projectdirecteur ing. P.E. Dijkstra  
Postbus 14  
8880 AA TERSCHELLING

## ONDERZOEKSTEAM

Dit onderzoek is uitgevoerd door Walhout Civil B.V., een toonaangevend en onafhankelijk advies- en ingenieursbureau in de waterbouwsector. Walhout Civil levert oplossingen voor de aanleg en het onderhoud van vaarwegen, havens, kades en maritieme infrastructuur.



### WALHOUT CIVIL B.V.

Wagenmakerstraat 5b  
2984 BD RIDDERKERK

Voorzitter en projectmanager  
Senior Geotechnisch Specialist  
Geotechnisch & Data Engineer

drs. ing. J. Walhout  
ir. E.W. Hitalessy  
ir. L.A. Nobel

Review Structural & FEA Expert  
Review Projectmanager Constr.  
Data Acquisitie & Surveyor  
Project Engineer & Surveyor

dr. K. Palacio  
ing. K.W. Walhout  
ing. O. Timmerman  
ing. L.T.A. Donk

## **CREDITS ILLUSTRATIES**

Er zijn foto's en afbeeldingen gebruikt van: Marlies Dekker Fotografie, de heer J.W. Smit, de heer W.H. Bloem, de heer M. Rijf, gemeente Terschelling, Topotijdreis, Algemene Hoogtekaart Nederland, iStockphoto, Walhout Projects en Walhout Civil.

## **DISCLAIMER**

Het doel van dit rapport is het ondersteunen van de besluitvorming. Walhout Civil heeft dit rapport opgesteld binnen de reikwijdte van de opdracht en in overeenstemming met de wensen, randvoorwaarden, eisen en aanwijzingen van haar opdrachtgever, de gemeente Terschelling. Het rapport geeft uitsluitend deze uitgangspunten weer en bevat een beoordeling op basis van wet- en regelgeving; het bevat geen eigen mening, opvatting of standpunt van Walhout Civil. Andere of nieuwe randvoorwaarden of uitgangspunten kunnen in de regel leiden tot andere resultaten of bevindingen. Indien er vragen of onduidelijkheden zijn over dit rapport, is Walhout Civil bereid een nadere toelichting te geven, doch in beginsel alleen aan de opdrachtgever. Een second opinion of externe review kan uitsluitend plaatsvinden ter verrijking van de gepresenteerde resultaten en bevindingen, en na toestemming door én in samenwerking met Walhout Civil. Dit document is met zorg opgesteld conform de geldende wet- en regelgeving en in samenspraak met de opdrachtgever. Het is uitsluitend bestemd voor gebruik door de opdrachtgever en mag door derden niet, op welke wijze dan ook, worden gebruikt. Walhout Civil aanvaardt jegens geen enkele partij enige aansprakelijkheid of zorgplicht naar aanleiding van dit rapport.

## **GEBRUIKSRECHTEN**

© Copyright 2025 Ingenieursbureau Walhout Civil B.V. Dit document is eigendom van opdrachtgever mag enkel gebruikt worden voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de Nederlandse wetgeving m.b.t. intellectuele eigendom en De Nieuwe Regeling 2011 (herziening 2013). Het document mag niet worden toegepast of hergebruikt voor kunstmatige intelligentie, AI-toepassingen of daaraan gerelateerde doeleinden. De auteursrechten blijven berusten bij Ingenieursbureau Walhout Civil B.V.



## creating a legacy

strategy | data | engineering