



De Nieuwe Sluis Terneuzen (3)

Ontwerp van de sluishoofden

In het sluizencomplex in Terneuzen, dat toegang biedt tot de havens in Gent en Terneuzen, wordt momenteel gebouwd aan een nieuwe sluis. Deze zogeheten ‘Nieuwe Sluis Terneuzen’ wordt na de Zeesluis IJmuiden de grootste sluis van Nederland. Dit derde artikel in een serie over dit project, gaat over het ontwerp van de sluishoofden en specifiek de deurkassen.

De sluishoofden zijn de constructies aan het begin en het einde van de schutsluis.

In deze sluishoofden bevinden zich de beweegbare afsluitmiddelen. Aan de zijde van de Westerschelde (noordzijde) bevindt zich het buitenhoofd en aan de zijde van het kanaal Gent-Terneuzen (zuidzijde) het binnenhoofd. De constructies van het buiten- en binnenhoofd zijn vrijwel spiegelsymmetrisch.

Constructies sluishoofd

Het ontwerp van het sluishoofd van deze nieuwe sluis bestaat uit verschillende onderdelen (fig. 2). De onderdelen worden hieronder een voor een beschreven.

Deurkassen Contractueel werd per sluishoofd een dubbele deurkas voor twee roldeuren geëist. Deze constructie bestaat globaal uit twee U-vormige bakken. Aan de bovenzijden van de wanden bevindt zich een G-vormige galerij (fig. 5) waarin de voorzieningen voor het bewegingswerk van de deuren is ondergebracht. Aan de sluiszijde bevatten de wanden van de deurkas de aanslagen voor de roldeuren.

Sponningswand Aan de andere zijde van het water, tegenover de deurkassen, bevindt zich de sponningswand (fig. 3). In deze 4,0 m dikke wand zijn 2,0 m diepe inkassingen gemaakt, waarin de aanslagen voor de roldeuren worden ondergebracht. Aan een zijde sluit de sponningswand aan op de kolkwand

en aan de andere zijde op de mond van de inlaatconstructie van het omloopriool.

Drempel Tussen de beide deurkassen aan de ene kant en de sponningswand aan de andere kant bevindt zich op de bodem van de sluis een drempelconstructie. Samen met de aanslagen op de wanden van de deurkas en de sponningswand vormen de aanslagen op de drempel het waterdichte kozijn voor de roldeuren. De drempel is ter plaatse van de roldeuren voorzien van horizontaal en verticaal geplaatste rails. De onderrolwagens waarop de deuren rusten, worden bij het openen en sluiten met deze rails horizontaal en verticaal geleid.

Bovengenoemde functies vereisen een grote mate van maatvastheid van de drempel. Daarom is de drempel uitgevoerd als een 4,0 m dikke betonnen plaat.

Bewegingswerkkelder Achter de dubbele deurkas is de bewegingswerkkelder gesitueerd. In deze kelder bevinden zich de bewegingswerken (kabelliersystemen) voor de roldeuren. Aan één zijde is de kelder opgelegd op de achterkant van de dubbele deurkas. Op deze wijze functioneert deze constructie als een stootplaat. Er kunnen geen zettingsverschillen ter plaatse van de overgang kelder-deurkas ontstaan, maar kleine rotaties kunnen wel vrij optreden.

Brugkelder De brugkelder maakt deel uit van de constructie van de baseculebrug, →



PROJECTGEGEVENS

project

Nieuwe Sluis Terneuzen

opdrachtgever

Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie (een samenwerkingsverband tussen het Nederlandse

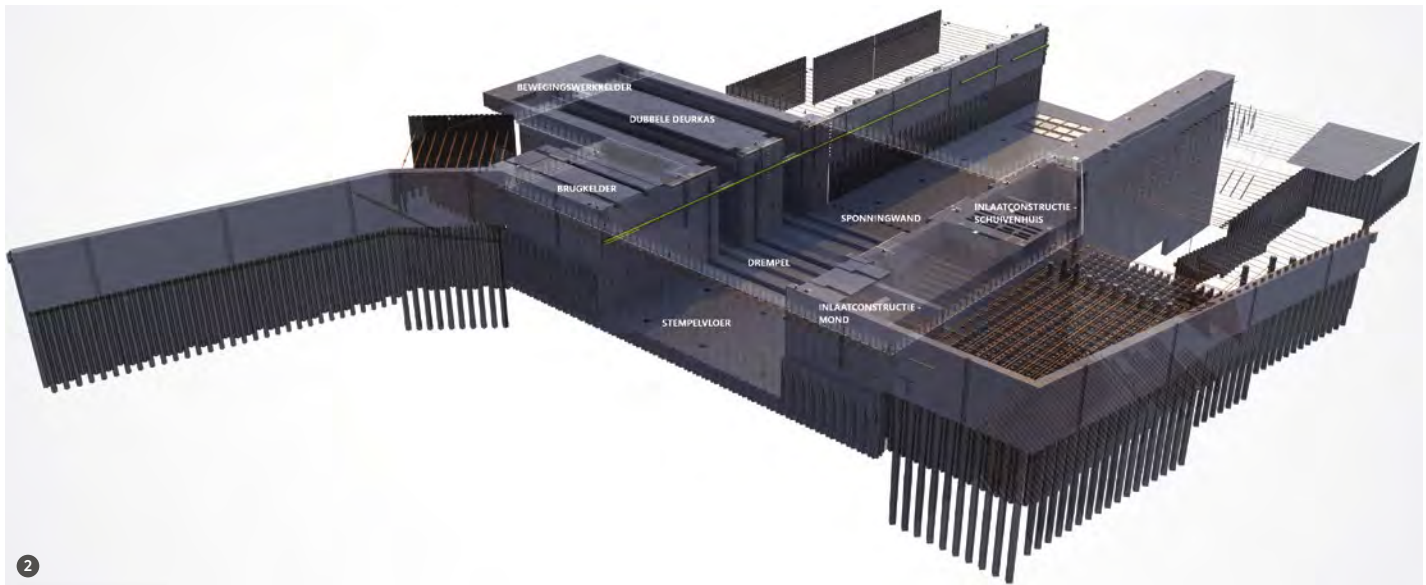
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en het Vlaamse Departement van Mobiliteit en Openbare Werken)

opdrachtnemer

Consortium Sasvevaart (een samenwerking van BAM, DEME, Stadsbader Contractors, Van Laere en Equans)

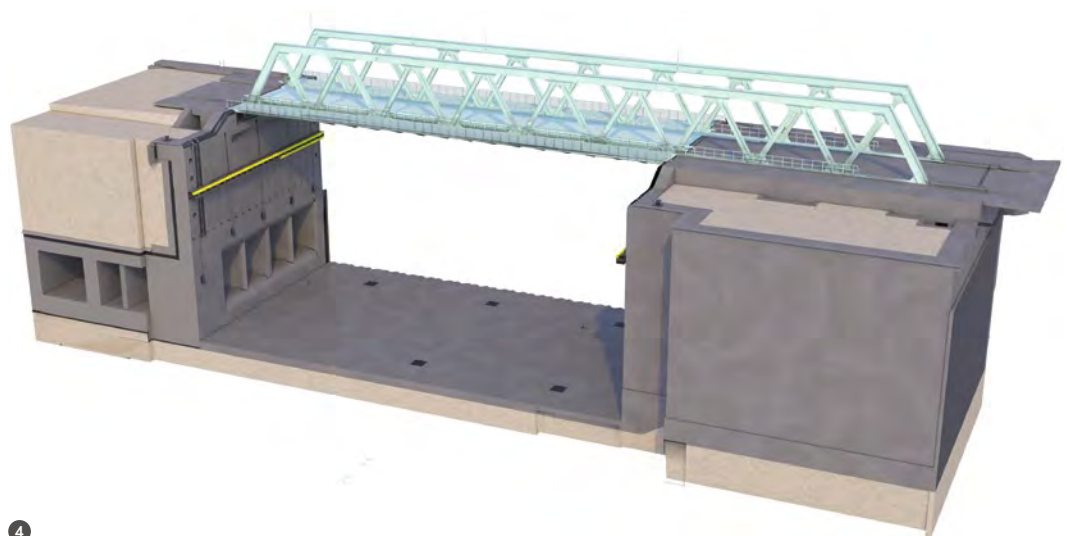
integraal ontwerp

BAM Infraconsult, DIMCO, Equans, Van Laere en Dredging International ondersteund door onder andere Arcadis, IV Infra, Fugro en Royal HaskoningDHV



ARTIKELENSERIE

Dit artikel is het derde deel in een serie van vier over de Nieuwe Sluis Terneuzen. In het eerste artikel is het ontwerp, de fasering en de bouwmethode van de sluis op hoofdlijnen toegelicht. Het tweede artikel gaat over het ontwerp van de sluis-kolk. Ten slotte zoomt het vierde artikel in op de betonconstructie van de brugkelder van de basculebrug. Buiten deze serie om is ook een artikel over de bodemroosters van de Nieuwe Sluis Terneuzen verschenen: 'Ontwerp en afzinken bodemroosters'.





IR. EMILE VAN DOORN

Ontwerpleider Civiel Sassevaart / Royal HaskoningDHV (tijdens het project BAM Infraconsult)



IR. RONNIE DE ROOIJ

Constructeur Deurkassen Sassevaart / De Rooij Engineering (tijdens het project BAM Infraconsult)



EDWIN SWARTTOUW BSC

Assistent Ontwerpleider Deurkassen Sassevaart / Blackrope

die het wegverkeer over de sluis mogelijk maakt. In de brugkelder bevindt zich het contragewicht voor het brugdek. De brugkelder vormt de fundering voor de basculebrug. De wand aan de kopse zijde van de sluis fungeert tevens als frontmuur van de sluis.

Mond van de inlaatconstructie Aan het uiteinde van het omloopriool (dat parallel aan de westelijke kolkwand loopt) bevindt zich de mond van de inlaatconstructie (fig. 4). Via deze inlaatconstructie wordt het water het omloopriool in- of uitgeleid. Aan de sluiszijde fungeert deze constructie als landhoofd van de basculebrug. De frontmuur, die de voorkant van de sluis vormt, is in deze constructie geïntegreerd.

Inlaatconstructie met schuivenhuis Tussen de mond en het omloopriool langs de kolk bevindt zich de inlaatconstructie met het schuivenhuis. Door middel van de schuiven in het schuivenhuis kan het waterniveau in de kolk worden geregeld.

De contracteisen met betrekking tot het ontwerp van de schuiven leverde ter plaatse van het schuivenhuis een relatief brede, lage doorsnede van het omloopriool op. Langs de sluisolk bleek een constante smalle, hoge doorsnede de meest economische oplossing. De vormverandering van het omloopriool van breed-laag naar smal-hoog is volledig binnen de inlaatconstructie in het sluishoofd ingepast.

Stempelvloer De brugkelder en de mond van de inlaatconstructie worden via een ongewapende betonvloer op elkaar afgestem-

peld. Daarnaast functioneert de vloer als bodembescherming in deze zone.

Alle onderdelen zijn op staal gefundeerd. In het vervolg van dit artikel wordt met name ingegaan op het ontwerp van de dubbele deurkas.

Beschouwde varianten deurkas

De constructies van de sluishoofden worden in den droge gebouwd in een bouwkuip. Ter plaatse van de dubbele deurkas bestaat de bouwkuipwand uit een diepwand. Deze wand is met een rij legankers (op NAP +0,0 m / NAP +0,5 m) verankerd, die weer zijn verankerd met een ankerscherm, en op circa NAP -21,0 m gestempeld door middel van een onderwaterbetonvloer. Binnen dit uitvoeringsconcept zijn in de tender verschillende varianten voor de constructie van de dubbele deurkas onderzocht.

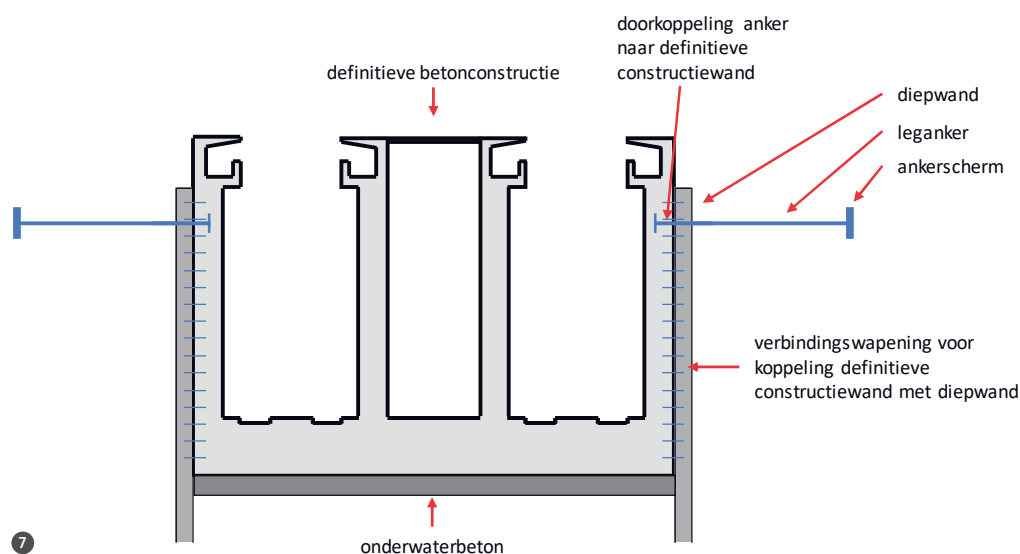
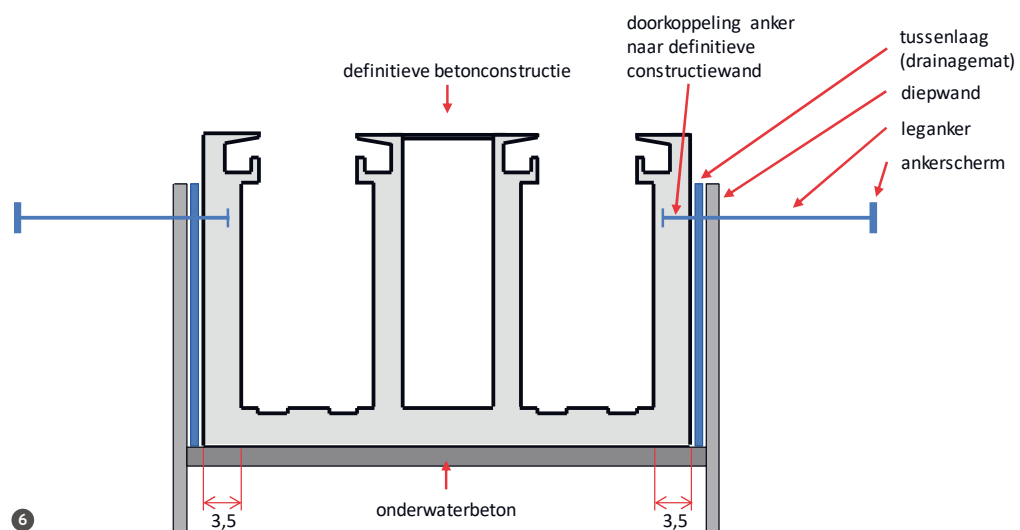
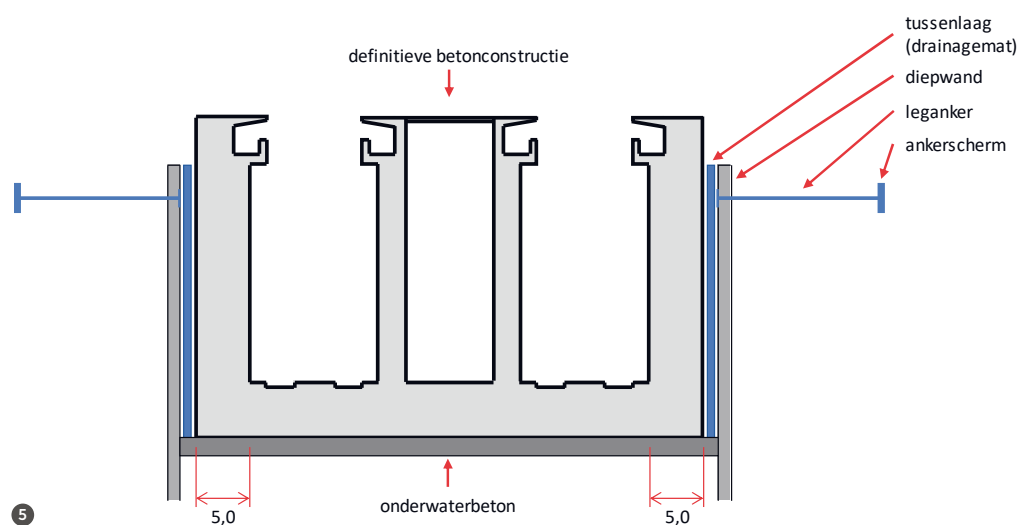
1. Vrij uitkragende buitenwanden, constructie los van de diepwanden (fig. 5)

Bij de eerste variant hebben de diepwanden als onderdeel van de bouwkuip een tijdelijke grondkerende functie. De dubbele U-vormige constructie wordt tegen de diepwanden gestort, waarbij deze met drainagematten verticaal los wordt gehouden van de diepwanden. Buiten het invloedsgebied van de achterwand zullen de buitenwanden van de deurkassen als een vrij uitkragende wand de grond- en waterbelasting naar de vloer afdragen. Bij een kerende hoogte van circa 24,5 m zou dit ter plaatse van de wand-vloeraansluiting leiden tot een wanddikte van 5,0 m met circa drie lagen wapening Ø40-150. Voordeel van deze variant is de eenduidige →

Tabel 1 Kengetallen

onderdeel	hoeveelheid beton [m ³]	hoeveelheid wapening [ton]	wapening [kg/m ³]
dubbele deurkas	37.900	4.600	121
drempel	11.350	1.950	172
sponningswand	6.100	950	156
brugkelder	13.900	1.500	108
stempelvloer	1.800	0	0
inlaatconstructie (schuivenhuis)	8.550	1.800	211
inlaatconstructie (mond)	8.350	1.100	132
bewegingswerkkelder	700	180	257
totaal	92.100	12.080	-

Gekozen is voor een variant met de constructie los van de diepwanden en verankerde buitenwanden



In het ontwerp is aangenomen dat het volledige ankerscherm zijn functie kan verliezen

krachtswerking. Het nadeel is daarentegen de vrij forse constructiedikte en de grote hoeveelheid wapening.

2. Variant met verankerde buitenwanden, constructie los van de diepwanden (fig. 6)

Ook bij de tweede variant hebben de diepwanden een tijdelijke grondkerende functie en worden ze losgehouden van de dubbele U-vormige constructie. De legankers waarmee de diepwanden zijn verankerd, worden in deze variant echter doorgekoppeld in de buitenwanden van de deurkassen.

De legankers staan op het moment van doorkoppelen al op spanning ten gevolge van de grondbelasting die op de diepwand werkt. Deze spanning werkt als een voorspanning in de ankers waarmee de buitenwanden van de deurkassen in de eindsituatie zijn verankerd, wat gunstig is voor de krachtswerking in de buitenwanden. Het moment ter plaatse van de wand-vloeraansluiting bedraagt in dit geval nog circa 30% van het moment bij variant 1, waardoor er een optimalisatie van de wanddikte (3,5 m) en wapening mogelijk is. Aandachtspunt is de invloed van de stijfheid van het anker op de krachtswerking in de constructie.

3. Variant met verankerde buitenwanden, constructie samenwerkend met de diepwanden

Bij de derde variant wordt de dubbele U-vormige constructie volledig vast gestort aan de diepwanden. Hierdoor zijn ook bij deze variant de buitenwanden verankerd en is het mogelijk om het in situ-deel van de wanden dunner uit te voeren.

Bij deze variant zijn echter ook direct een aantal aandachtspunten/nadelen te benoemen:

→ Om de diepwanden te laten samenwerken met de in situ-constructie moet verbindingswapening tussen de diepwanden en de buitenwanden worden toegepast.

→ De wapening in de diepwanden moet ook op de krachtswerking in de eindfase worden ontworpen. Hierbij moet met betrekking tot levensduur ook op scheurwijdte worden getoetst.

→ Er is in dit geval sprake van een fundering op diepwanden gecombineerd met een fun-

dering op staal. In het ontwerp moet een gevoeligheidsanalyse worden gedaan door te variëren met de stijfheden van de funderingen. De momenten in de vloer zullen flink oplopen als de diepwanden relatief stijf zijn ten opzichte van de bedding van de fundering op staal.

→ Daar waar de buitenwand van de deurkas grenst aan de brugkelder is geen diepwand aanwezig. In combinatie met het vorige punt zal hierdoor een ongunstige en onwenselijke krachtswerking in de dubbele deurkas optreden.

Er is gekozen voor variant 2. Hieronder worden een aantal aspecten van het ontwerp van de deurkassen verder toegelicht.

Modellering

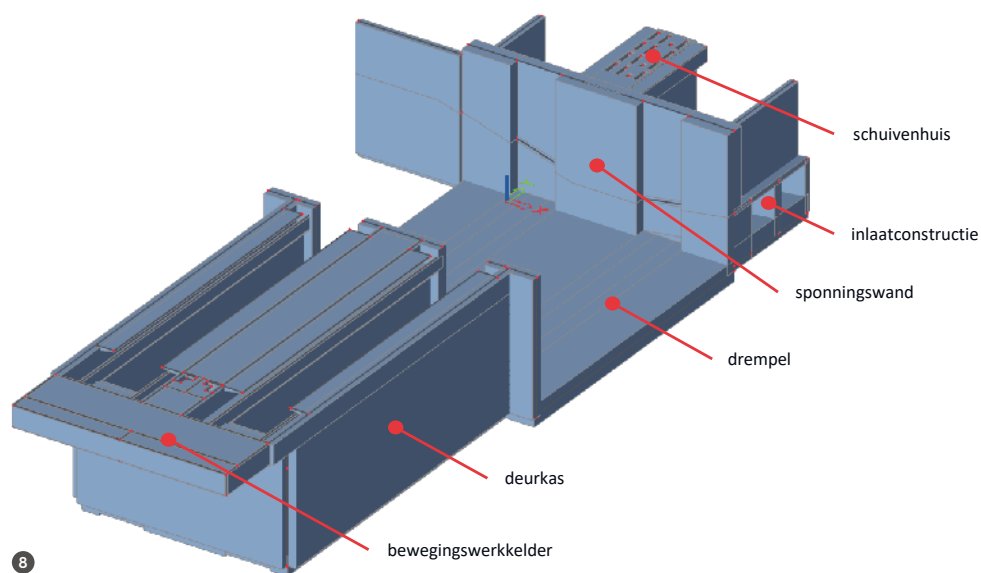
De constructies van de deurkassen, drempel en inlaatconstructie zijn monoliet met elkaar verbonden, waardoor de krachtswerking en vervormingen van deze constructies door elkaar worden beïnvloed. Daarom is ervoor gekozen deze onderdelen in één rekenmodel te schematiseren. De bewegingswerkkelder, die scharnierend is opgelegd op de achterzijde van de deurkas (waardoor de invloed kleiner is), is niet meegenomen in het rekenmodel.

De bouwkuipwanden (diepwanden) zijn ontworpen als tijdelijke constructie en zijn dus niet berekend op een levensduur van 100 jaar.

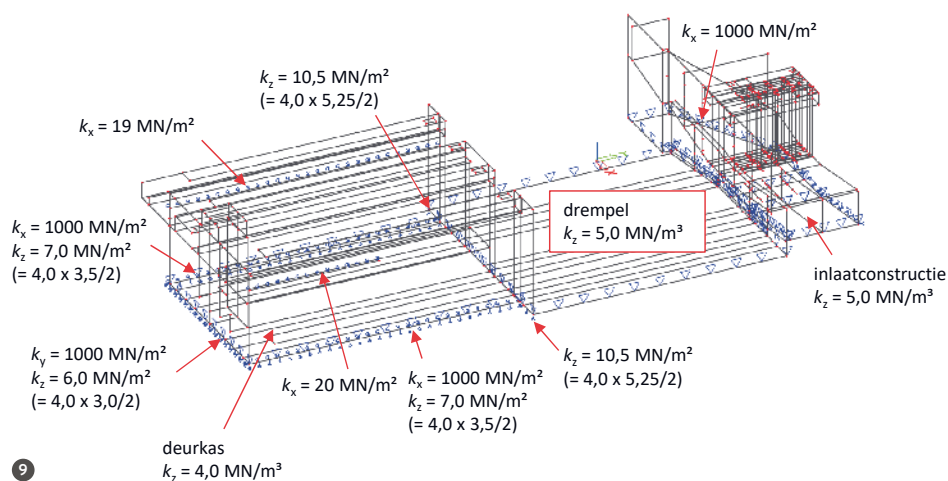
De betondoorsneden zijn veelal gescheurd. Voor het rekenmodel is aangenomen dat alle betonelementen zijn gescheurd en dat de gescheurde elasticiteitsmodulus van het beton gelijk is aan een derde van de ongescheurde stijfheid. Er is gerekend met een elasticiteitsmodulus van 11.000 N/mm².

De netgrootte in het rekenmodel is 1,0 m. Als vuistregel wordt vaak de plaatdikte als grootte voor de netelementen gekozen. In het rekenmodel hebben de meeste plaat-elementen een grotere dikte dan 1,0 m, maar ook enkele platen een kleinere dikte dan 1,0 m. De gekozen netgrootte is voldoende om nauwkeurige resultaten te krijgen. Bij een element dat een kleinere dikte heeft, is een controle uitgevoerd met een verfijnde netgrootte. →

Om een verticaal verplaatsingsverschil tussen diepwand en deurkaswand mogelijk te maken is de doorkoppeling in een omhulskoker aangebracht



8



9

Oplegging fundering op staal De constructies zijn, zoals eerder aangegeven, gefundeerd op staal. In het rekenmodel zijn de vloeren daarom voorzien van een verende oppervlakteondersteuning. De oplegging staat permanent onder druk waardoor kan worden volstaan met het invoeren van een lineair elastische veer. De aangehouden veerstijfheden zijn bepaald aan de hand van de berekende zettingen in D-Settlement en Plaxis. Daarnaast is ter verificatie de methode Craig gebruikt. De veerstijfheid onder de constructies wordt in hoofdzaak bepaald door de aanwezige Boomse kleilaag. De ondergrenswaarden zijn bepaald op basis van de laag karakteristieke waarden van de grondstijfheid voor de Boomse kleilaag. Voor

de bovengrens is een drie keer hogere stijfheid gehanteerd, waarmee een analyse is uitgevoerd.

Achter de wanden is geen bedding voor de grond ingevoerd. Voor de belasting op de wanden is gerekend met neutrale gronddruk. Het model wordt aan de onderzijde van de wanden in horizontale richting vastgehouden met een verende lijnoplegging.

Legankers Zoals eerder aangegeven worden de diepwanden ter plaatse van de deurkas horizontaal gesteund door legankers met ankerschermen. De legankers worden doorgekoppeld aan de definitieve buitenwanden. Ter plaatse van de achterwand bevinden

zich ook legankers. Doordat de buitenwanden van de deurkas ter plaatse van de achterwand al over de hele hoogte worden gesteund, levert het doorkoppelen van de legankers in die zone geen voordeel op. Ter plaatse van de achterwand worden de ankers daarom niet doorgekoppeld (fig. 10).

De legankers zijn in werkelijkheid puntondersteuning. Door de dikke buitenwand (3,5 m) en de kleine hart-op-hart-afstand van de legankers (circa 1,8 m) zullen deze puntondersteuning zich echter als lijnondersteuning gaan gedragen. In het rekenmodel worden de puntondersteuning van de legankers dan ook ingevoerd als lineair elastische lijnondersteuning.

Uitval ankerscherm bij aanvaring Bij het buitenhoofd bevindt het ankerscherm van de legankers aan de brugzijde zich achter een deel van de frontmuur. Bij aanvaring is het mogelijk dat het ankerscherm niet meer volledig functioneert. In het ontwerp is de conservatieve aanname gedaan dat het volledige ankerscherm zijn functie verliest.

Voor deze calamiteitssituatie is het rekenmodel aangepast. De legankers zijn aan de brugzijde verwijderd en de ULS-combinatie is beschouwd als een calamiteitssituatie. De waterstanden zijn aangehouden behorende bij een overschrijdingskans van 1/10 jaar. Dit in tegenstelling tot de waterstanden in de ULS-combinatie waarbij een

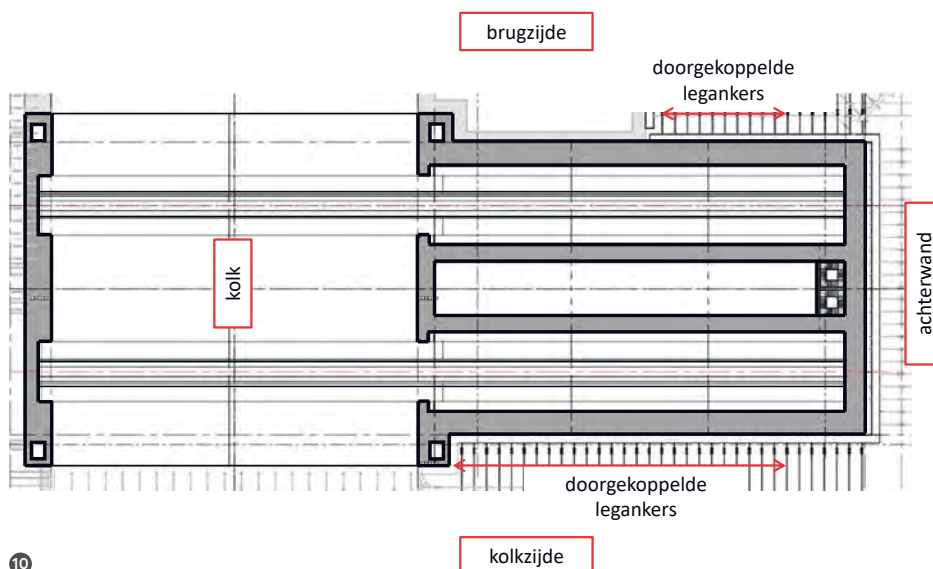
overschrijdingskans van 1/4000 jaar wordt aangehouden.

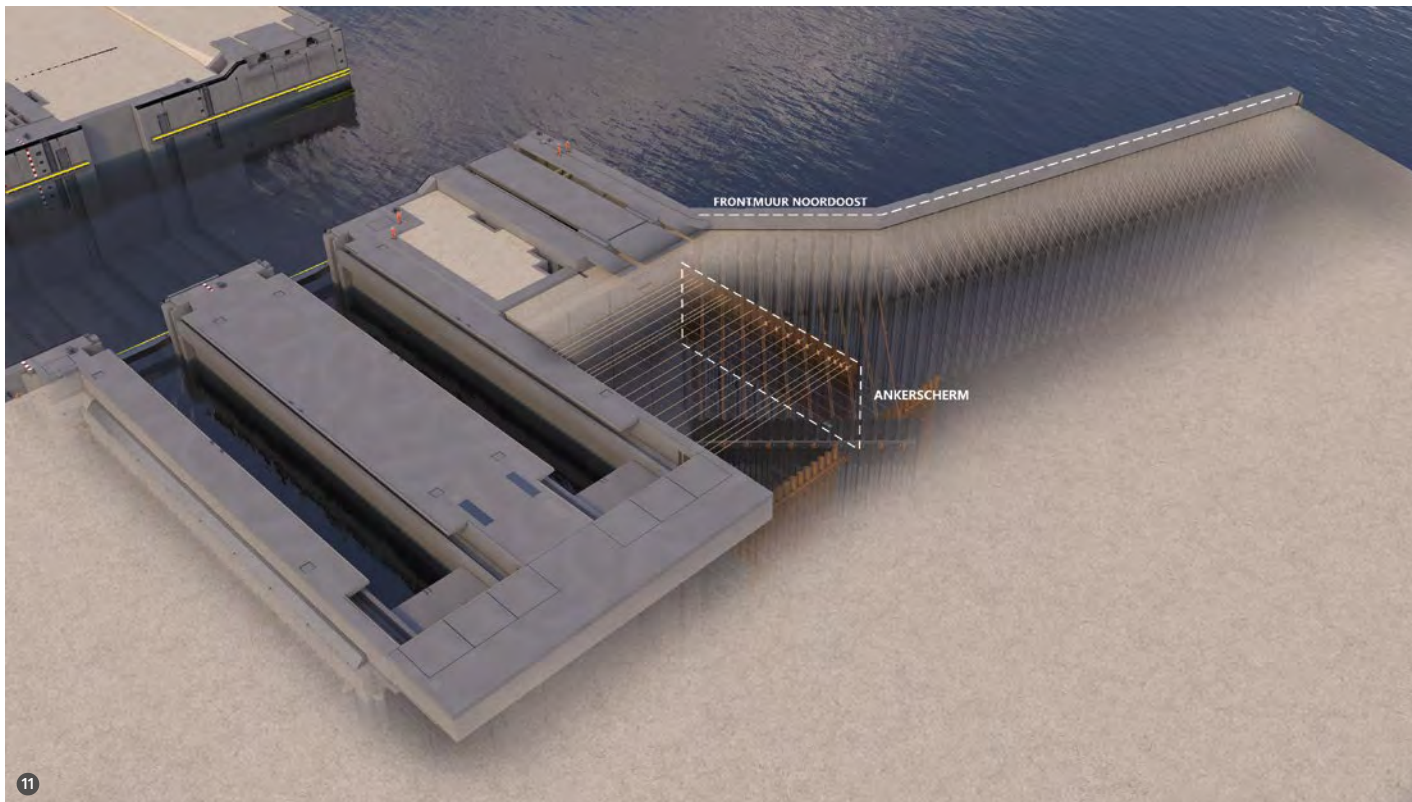
Boomse klei onder de sluishoofden

Onder de onderwaterbetonvloer is bij het binnenhoofd een circa 14 m dikke laag Boomse klei aanwezig. Dit is afwijkend van de situatie bij het buitenhoofd, waar de laag Boomse klei afneemt in dikte van circa 14 m tot 0 m bij de aansluiting met de kolk. Tijdens het ontgraven van de bouwkuip zal de Boomse klei zwellen door de verlaging van de korrelspanningen. De korrelspanningen nemen gedurende de bouw van het sluishoofd weer toe, waardoor het sluishoofd mogelijk weer gaat zakken. Op basis van berekeningen met D-Settlement en Plaxis 2D, waarbij is gevarieerd met de grondparameters, is voor het binnenhoofd berekend dat de deurkassen in de gebruiksfase maximaal 110 mm zullen zetten. De verwachting is dat een deel van deze zetting al tijdens de bouw zal zijn opgetreden, waardoor de uiteindelijke zetting kleiner zal zijn.

Raakvlak tussen bouwkuipwand en deurkaswand

Tijdens de bouw van de bouwkuip zullen de bouwkuipwanden uitbuigen. Ter plaatse van het ankerniveau (NAP +0,00 m / NAP +0,5 m) kunnen de horizontale vervormingen theoretisch gezien oplopen tot maximaal 280 mm bij het binnenhoofd en 210 mm bij het





11

buitenhoofd. De maximale vervorming in de buik van de diepwand is ordegrootte 290 mm. Om te voorkomen dat de bouwkuipwanden na het droogzetten van de bouwkuip binnen de constructieve doorsnede van de deurkas- sen vallen, zijn ze op voorhand 380 mm naar buiten geplaatst. Hierbij is rekening gehouden met de uitbuiging, de plaatsings- en diktetoleranties van de diepwanden.

Zoals eerder beschreven, is ervoor gekozen om de betonwanden los te houden van de diepwanden. Als de deurkas namelijk zou blijven hangen aan de diepwand, ontstaan er mogelijk verticale trekkrachten in de wanden van de deurkas en ontstaat er ongewenste buiging in de vloer.

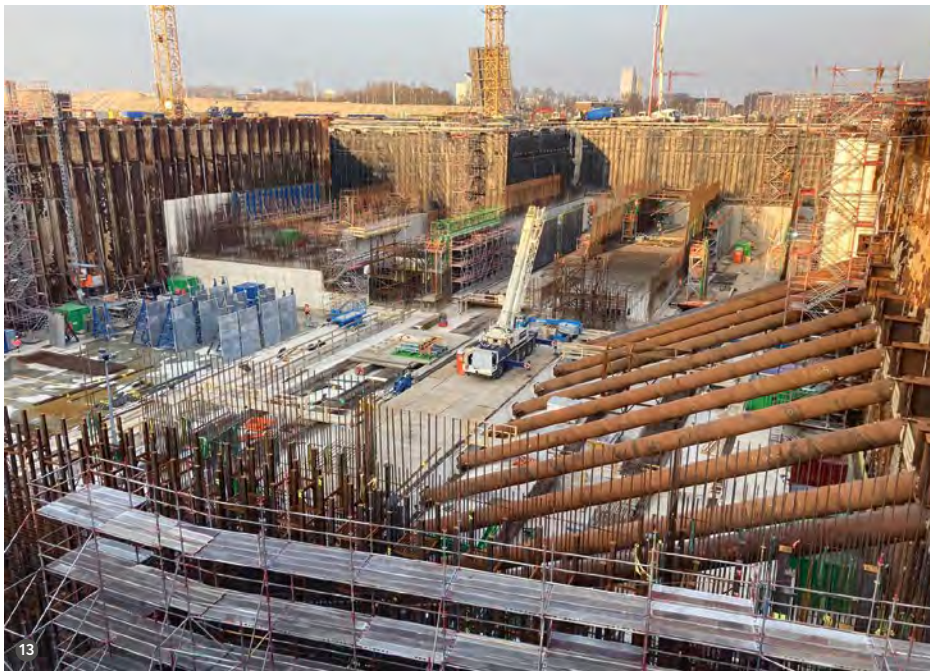
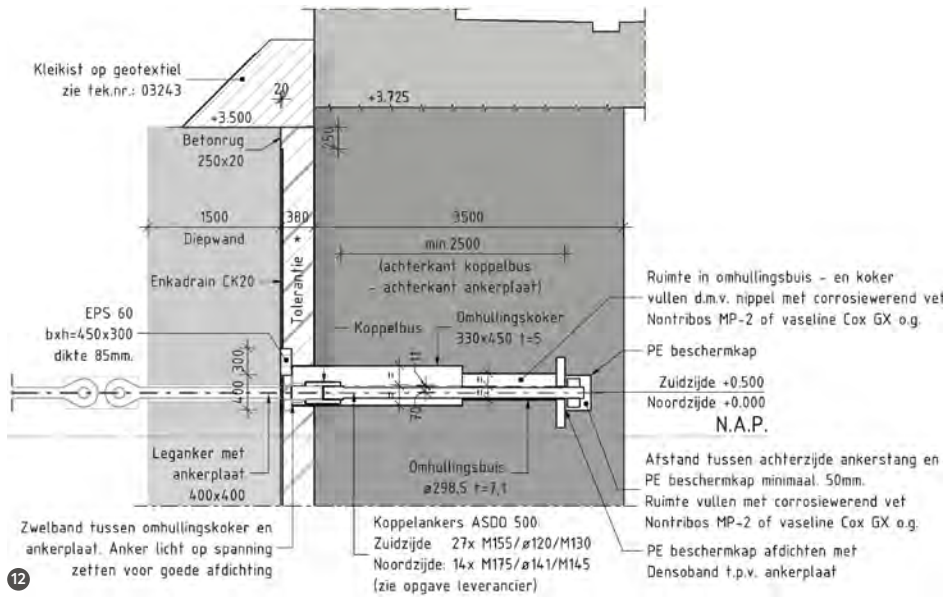
Om de verticale wrijving tussen de diepwand en de betonwand te voorkomen, moest het materiaal tussen beide onderdelen voldoende weerstand bieden tegen de speciedruk tijdens het storten en daarnaast waterdicht zijn tijdens het storten, om te voorkomen dat de holle ruimten zich zouden vullen met betonspecie/cementmelk. Bovendien moest de holle ruimte na het

uitharden van de wanden voldoende zijn, om geen direct contact te krijgen tussen de gekromde diepwand en de definitieve deurkaswand.

Het toegepaste materiaal is Enkadrain CK20 met een dikte van 22 mm. De indrukking in de bouwfase was ordegrootte 15 mm. Om achterloopsheid door de holle ruimte tussen de diepwanden en de betonwanden te voorkomen, zijn maatregelen getroffen door op een aantal locaties over de gehele hoogte van de wanden 'zwelprofielen' aan te brengen. Deze profielen zetten uit bij contact met water en zorgen er zo voor dat er geen water door de holle ruimte tussen de diepwand en de deurkaswand kan lopen.

Doorkoppeling leganker

De legankers zijn doorkoppeld in de buitenwanden van de dubbele deurkas. Deze verankering moet de krachten kunnen weerstaan in de eindtoestand. Hierbij is een conservatieve aanname gedaan dat de diepwand in de eindtoestand niet meer functioneert; alle grond- en waterbelasting wordt



in het model op de wand van de deurkas aangebracht. Door het loshouden van de deurkas van de diepwand, moet er rekening worden gehouden met een verticaal verplaatsingsverschil tussen beide. Om dit verplaatsingsverschil zonder afschuiven van de doorkoppeling te kunnen laten optreden, is de doorkoppeling in een omhuilingskoker/-buis aangebracht.

De doorkoppeling bestaat uit een kop-

pelanker dat aan de ene zijde met een koppelbus wordt gekoppeld aan het reeds aanwezige leganker, en aan de andere zijde met een ankerplaat met conische moer wordt verbonden met de deurkaswand.

Het koppelanker is uitgevoerd met aan een zijde een opgestuikte draad, die dikker is dan de schacht van het anker en is veranderd in de koppelbus. De andere zijde van het koppelanker is uitgevoerd met een →

gesneden draad (iets minder capaciteit dan opgestuikte draad) in de schacht aan de zijde van de ankerplaat met de conische moer.

Doordat de kop van het anker bij de ankerplaat meezakt met de buitenwand ondergaat het koppelanker een opgelegde vervorming (kromming). De combinatie van een relatief dunne wand, een hoge axiale ankerkracht en een relatief groot verticaal vervormingsverschil tussen buitenwand en diepwand, was een uitdaging voor het ontwerp van de doorkoppeling. De maximale lengte van de doorkoppeling ligt bij de gekozen wanddikte vast en de axiale kracht zorgt voor een minimaal benodigde staaldoorsnede. Een vergroting van de staaldoorsnede om het buigende moment ten gevolge van de opgelegde vervorming op te nemen, leidt weer tot een grotere buigstijfheid en een groter optredend moment.

Tot slot

Het ontwerpen en vervolgens bouwen van de verschillende onderdelen van de sluis hoofden vraagt om een nauwe samenwerking tussen de verschillende ontwerp- en uitvoeringsteams. Er zijn veel raakvlakken tussen de civiele en werktuigbouwkundige constructies die moeten worden afgestemd. Daarnaast speelt ook de maakbaarheid bij deze civiele constructies met forse afmetingen een belangrijke rol. Zo is er veel tijd geïnvesteerd in het maken van een uitvoerbaar ontwerp van de wapening. De afstemming in de ontwerpfase bleek bijzonder waardevol, het ontwerp is gerealiseerd zonder noemenswaardige aanpassingen tijdens de uitvoering. In het volgende artikel zal het ontwerp van de brugkelders worden toegelicht. ●

