

# Componenten voor de slimste sluis ter wereld

Schutsluizen voor de scheepvaart zijn in de vorige eeuw in grote aantallen gebouwd, vooral in de jaren dertig. Dat betekent dat veel sluizen de komende decennia het einde van hun levensduur bereiken, of vanwege het toenemende scheepvaartverkeer niet meer over voldoende schutcapaciteit beschikken. Van de 137 sluizen die Rijkswaterstaat in beheer heeft, zijn er 52 vóór 2040 aan vervanging toe. Het innovatieprogramma MultiWaterWerk denkt dat “standaardisatie” een middel kan zijn om deze vervangings- en renovatieopgave zo efficiënt mogelijk aan te pakken.

## Innovatie

Belangrijke reden voor de start van MWW is dat sluisbeheerders in de loop der jaren te maken hebben gekregen met verschillende oplossingen voor hetzelfde probleem. De noodzakelijke specialistische, lokale kennis en unieke reserveonderdelen komen het beheer, de beheersbaarheid en de beschikbaarheid van de sluis niet ten goede. Dat leidt tot een verslechtering van de prestaties van de sluis. Het streven is naar standaardisatie in ontwerp en realisatie van een sluis. Dit levert lagere life cycle costs op en een betere voorspelbaarheid in bouwkosten en -tijd. Bovendien neemt

de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van sluizen toe. Kortom, Nederland is op zoek naar de slimste sluis ter wereld.

In een deelproject van MWW heeft Movares een model ontwikkeld dat een conceptuele analyse van het te renoveren kunstwerk integreert met een componentenanalyse, vormgegeven in een 3D modelleerprogramma. Zo kan sneller en goedkoper worden gebouwd, terwijl tegelijkertijd de sluis voldoet aan de gestelde eisen.

“De tijd is er rijp voor.”, zo stelt Jan Dirk van Duijvenbode, innovator en bedenker

van MultiWaterWerk. “Om ervoor te zorgen dat het transport over water niet tot stilstand komt, moeten we de komende jaren in Nederland 52 sluizen renoveren. Ze zijn bijna aan het eind van hun levensduur en voldoen vaak niet meer aan de eisen van deze tijd. Implementatie van het model betekent dat gegenereerde kennis bewaard en benut wordt en dat we niet voor elke sluis vanaf specificaties naar oplossingen zoeken.”

Gerard Krooshoop, projectleider/adviseur waterbouw bij Movares, stelde voor boter bij de vis te doen en een proefneming met een 3D-ontwerp van een sluisdeel, voortbordurend op het samen met Jan Dirk ontwikkelde model. Na uitwisseling van kennis, een kijkje in de 3D-keuken bij Movares, en Jan Dirks co-creatie ‘dynamische standaard’ hebben Gerard en Jan Dirk het idee van de dynamische standaard uitgewerkt in een gestandaardiseerd drijvend remmingwerk.

## Het kennismodel van Van Duijvenbode

“De planning van het renovatieprogramma van zo’n vijftig sluizen kunnen we alleen halen als we niet voor elke sluis afzonderlijk naar oplossingen zoeken, maar gebruik maken van eerder opgebouwde kennis en ervaring. Zo kun je steeds sneller en goedkoper bouwen en er tegelijkertijd voor zorgen dat een sluis voldoet aan de eisen die eraan worden gesteld” stelt Jan Dirk van Duijvenbode.



Afb. 1 Model voor gestructureerde gegevensverzameling

“Als je dit wilt bereiken, moet je dus van elkaar leren, kennis en ervaringen uit eerdere projecten meenemen en die verder ontwikkelen in een volgend project. Mijn ervaring is dat dat lastig is. Er is bij projecten onvoldoende aandacht, en daardoor tijd, voor het vastleggen, delen en vervolgens ontwikkelen van kennis. Ontwerpen worden bijvoorbeeld gekopieerd en aangepast zodat ze in een andere situatie ook voldoen. Maar informeren naar de achterliggende gedachten bij een ontwerp, naar de problemen waar een oplossing voor is bedacht, dat blijft vaak achterwege. Zo wordt opgebouwde impliciete kennis niet overgedragen. Binnen het innovatieprogramma MultiWaterWerk is on-

derzocht hoe die uitwisseling van kennis wél goed kan plaatsvinden.”, vervolgt Jan Dirk van Duijvenbode. “De resultaten klinken eigenlijk allemaal heel logisch. Het gaat er bijvoorbeeld om dat mensen elkaar ontmoeten, dat kennisdeling een onderdeel van het takenpakket wordt en dat kennis en ervaringen op een duidelijke en eenduidige manier worden vastgelegd”. Veel kennis en ervaring is versnipperd aanwezig bij marktpartijen en niet algemeen toegankelijk. Het is belangrijk om alle gedocumenteerde kennis en kunde beschikbaar te hebben bij de start van een ontwerpogave.”

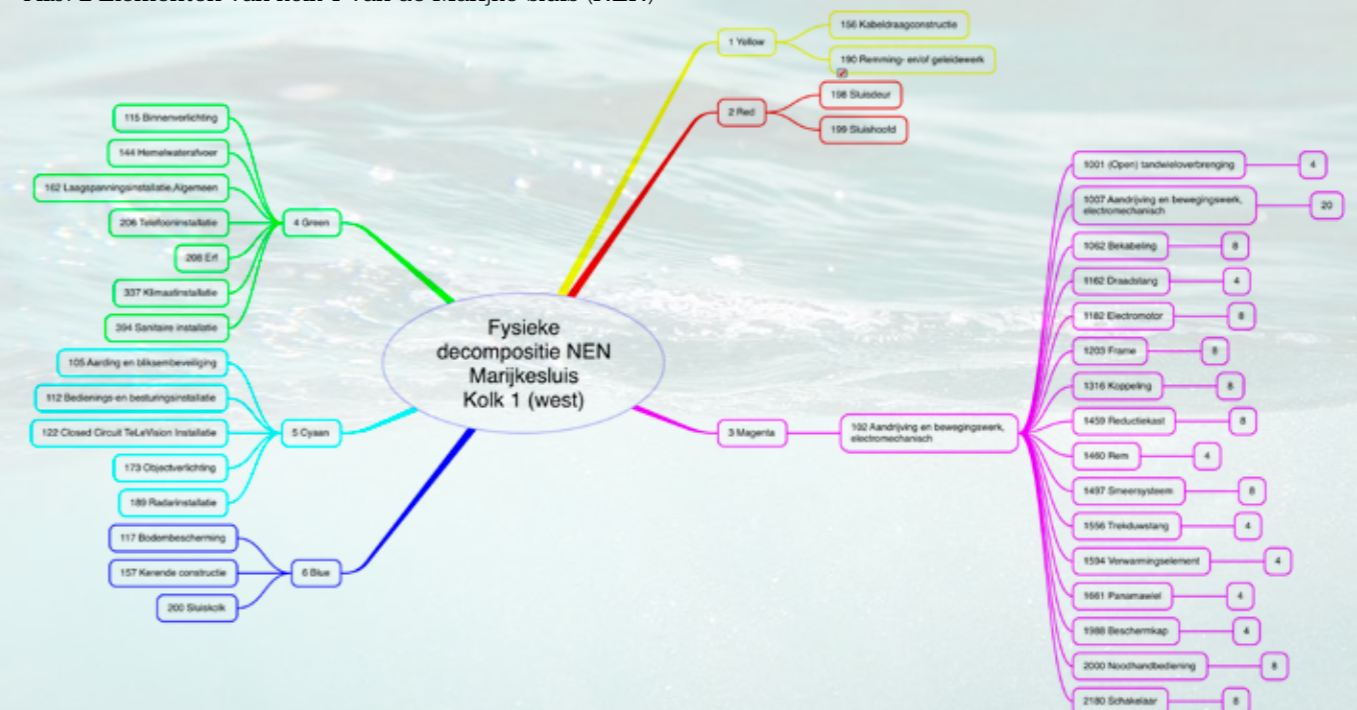
## Ontwerpfase

Van Duijvenbode begon met het gedetailleerd in kaart brengen van de ontwerpfase van een sluis. “Daar wordt vanuit heel verschillende perspectieven naar gekeken. Je kunt het conceptueel benaderen als proces vanuit het areaal, of de locatie waar de sluis moet komen. Als je alle kenmerken van het areaal in beeld hebt en weet aan welke eisen de sluis moet voldoen, dan kun je een functionerende en goed te onderhouden sluis ontwerpen, bouwen en in onderhoud nemen. Een tweede perspectief is denken vanuit de elementen waarmee elke sluis wordt opgebouwd. Het gaat dan bijvoorbeeld om het sluis- hoofd, de kolk, het schutten, de beno-

digde nutsvoorzieningen of de geometrie. Deze elementen worden aangepast aan de lokale situatie.”

Innovator Jan Dirk van Duijvenbode wil de twee perspectieven samenbrengen. “Het lijken twee sporen, maar eigenlijk zijn ze onlosmakelijk met elkaar verbonden”, legt hij uit. “Je moet kennis hebben van de omgeving waarin je bouwt en van de kenmerken van een sluis. Samen zorgen ze ervoor dat je een optimale constructie neerzet.” Hij vatte zijn ideeën samen in twee modellen die op elkaar aansluiten. Zijn eerste model (zie afbeelding 1) beschrijft een gestructureerde methode voor gegevensverzameling en start met de analyse van areaal (A) waar de sluis wordt gebouwd. Hoe ziet dat eruit? Wat is het verval? Welke scheepvaartroutes lopen er? Zijn er havens, stuwen of spuicomplexen in de buurt? Wie verzorgt het onderhoud? Dit zijn allemaal omgevingsfactoren waar je rekening mee moet houden in je ontwerp. Vervolgens maak je de stap naar de probleemanalyse (P), het opzetten van je programma van eisen. In deze fase staan vragen centraal als: Wat zijn de functionele eisen, de gebruikerseisen en de eisen vanuit onderhoud? Wat wil de omgeving? Welke eisen stel je aan veiligheid? Op basis van de areaalgegevens en de probleemanalyse kunnen in de volgende fase ontwerpers (D), bouwers (C) en de onderhoudskundig-

Afb. 2 Elementen van kolk 1 van de Marijke-sluis (NEN)



gen aan de slag om gezamenlijk tot een sluisontwerp te komen dat voldoet aan alle eisen, uitvoerbaar is én goed is te onderhouden (M).

### Componenten

Hier komt ook het tweede model (zie afbeelding 2) in beeld: de elementen waarmee een sluisontwerp kan worden opgebouwd. Deze elementen moeten worden ontworpen op basis van de eisen en de omgevingskenmerken. Samen moeten ze één functionerende sluis opleveren. Jan Dirk van Duijvenbode: "Ik heb eerst een grove onderverdeling gemaakt: geometrie, sluishoofd, sluisdeur, kolk, schutfunctie en nutsfaciliteiten. Deze onderdelen heb ik weer opgesplitst in kleinere componenten waarbij de Marijkesluis het vertrekpunt is. Als je dit proces doorzet, kun je uiteindelijk een sluis tot op de kleinste onderdelen uiteenrafelen en in een 3D-modelleerprogramma vormgeven. Met deze onderdelen kun je een sluselement samenstellen en vastleggen in 3D-tekeningen. Als je slim ontwerpt en variabelen definieert, krijg je bouwstenen die op iedere locatie kunnen worden ingepast.

### Open source database

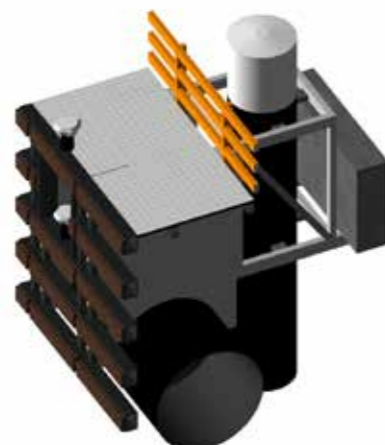
Jan Dirk van Duijvenbode: "Die opsplitsing voor alle elementen van sluisen vraagt om een behoorlijke investering, maar ik ben ervan overtuigd dat je die met drie MultiWaterWerken terugverdient. Verder moeten we de gegevens vastleggen in een BIM open source database. Naast de componenten moeten in die database ook ervaringen worden vastgelegd, goede en slechte. Ontwerpers kunnen dan altijd gebruikmaken van de nieuwste gegevens, voortbouwen op beproefde concepten en hun eigen resultaten weer toevoegen aan de database. Dan ontwikkel je kennis en werk je met elkaar toe naar die slimste sluis ter wereld. Als overheid kunnen we hier in samenwerking met onderzoeksinstituten en het bedrijfsleven een werkbare vorm voor vinden." Kortgezegd werkt de methode Van Duijvenbode twee kanten op: je begint op hoog niveau met het systematisch beschrijven van het areaal en het programma van eisen. Vervolgens bouw je met de kleinste 3D-elementen en de kennis en ervaring van eerdere projecten snel en efficiënt

een sluis die precies past bij de situatie ter plaatse. Nederland krijgt een steeds slimmere sluisfamilie en marktpartijen exporteren steeds slimmere ontwerp-kennis. Dat lijkt de slimste sluis ter wereld!

### Proef Remmingwerk

Gerard Krooshoop en Jan Dirk van Duijvenbode delen het idee dat 3-dimensionaal ontwerpen een bijdrage kan leveren om elkaar beter te begrijpen en zodoende sneller en efficiënter te werken. Na een kijkje in de 3D-keuken bij Movares, en Jan Dirks co-creatie 'dynamische standaard' hebben Krooshoop en MultiWaterWerk het idee van de dynamische standaard uitgewerkt in een proef, met als doel het bundelen van kennis, het communiceren met alle stakeholders, het vastleggen van ontwerpkeuzen en dit alles eenvoudig aan te kunnen passen. Het traject startte met het vooronderzoek van Rijkswaterstaat. Uit dit vooronderzoek is geconcludeerd dat standaardisatie bij een drijvend remmingwerk goede kansen biedt omdat deze bijna overal zijn toe te passen. Een remmingwerk is een afmeerconstructie bij een sluis waar schepen veilig kunnen afmeren en wachten tot dat ze veilig door de sluis kunnen. Rijkswaterstaat heeft een 2D-opzet voor het ontwerp van het drijvend remmingwerk geïnitieerd. De proef bestaat uit een startbespreking om de uitgangspunten voor het standaard remmingwerk vast te stellen, een werksessie waarin vanuit een 3D-model en decompositie de eisen per onderdeel worden vastgesteld,

Afb. 3 Digitaal detailmodel en 3D geprint model (schaal 1:20) van het remmingwerk



een Virtual Reality-sessie waarin we het model vanuit de voorgaande sessie nader kunnen bekijken en kunnen aanscherpen, en het printen van twee schaalmodellen (schaal 1:20 en 1:100) waarin de resultaten zijn vastgelegd.

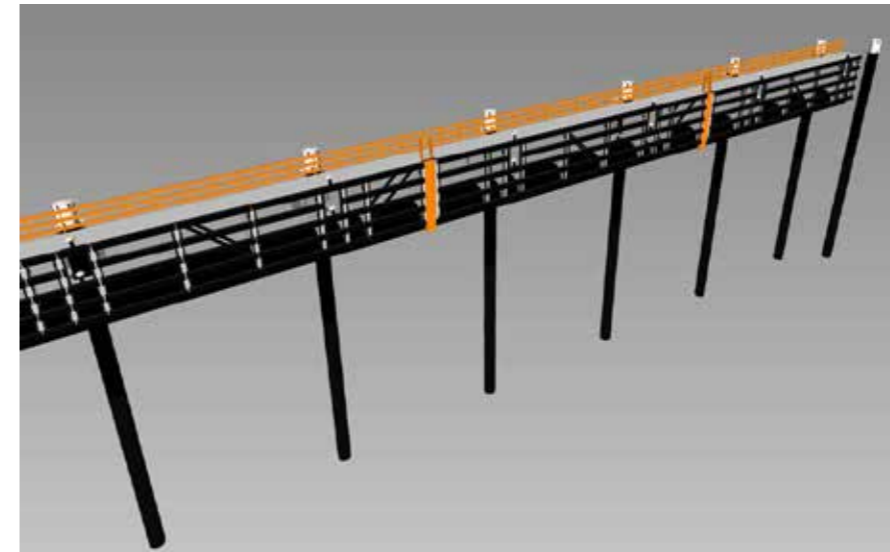
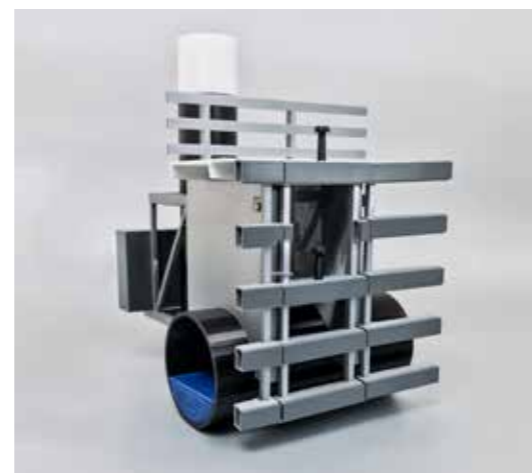
De basiskenmerken van het drijvende remmingwerk zijn:

1. Het remmingwerk is geschikt voor scheepvaartklasse CEMT-Va (lxb=110mx11,4meter)
2. Lengte remmingwerk 133 meter
3. Palen hart op hart 13,5 meter
4. Lengte wrijfhouten 4 meter
5. Trap hart op hart 27 meter
6. Bolders hart op hart 13,5 meter
7. Opbouw uit standaardelementen
8. Elementen met wrijfhouten zijn uitwisselbaar

### Decompositie en 3D-model

Voor het ontwerp van het standaard drijvende remmingwerk is een 2D-ontwerp van RWS als basis gehanteerd. Hiervan is een decompositie gemaakt volgens de systematiek van de NEN2767. De decompositie resulteert in een onderverdeling in 19 bouwdelen.

De bouwonderdelen zijn vervolgens verwerkt in het 3D-parametrische remmingwerkmodel van Movares. Resultaat is de conceptversie van het standaard remmingwerk. Hierbij is de parametrische aanpak een groot voordeel gebleken: voorstellen tot optimalisaties zijn eenvoudig en snel in te voeren en effecten direct zichtbaar.



Afb. 4 Digitaal parametrisch remmingwerkmodel

### Voorbeeld van optimalisatie

Patrick Hendriks van Bosch Rexroth geeft een voorbeeld voor het optimaliseren van aandrijfconcepten bij sluisontwerpen. "Vaak wordt er in de eerste ontwerpfasen nog uitgegaan van traditionele hydraulische of elektromechanische aandrijvingen. Er zijn echter ook andere concepten denkbaar zoals elektrohydraulische of elektromechanische actuatoren. (afbeelding 5 en 6). Een keuze voor dit soort innovatieve systemen biedt voordelen in termen van veiligheid, energie-efficiëntie en onderhoud, maar kan ook een voordelig effect hebben op de totale constructie van de sluis. Door in een vroegtijdig stadium de afweging en keuze te maken voor het optimale aandrijfconcept, kunnen de mogelijke effecten en voordelen hiervan op het totale sluisontwerp optimaal benut worden" aldus Patrick Hendriks. "Denk bij een keuze voor elektrohydraulische actuatoren bijvoorbeeld aan een fysieke ruimtebesparing in het sluisontwerp, door het elimineren van een hydraulisch aggregaat. Hierdoor kan de omvang van de betonkelder aanzienlijk worden teruggebracht". De keuze voor elektrohydraulische (EHA) of elektromechanische (EMA) cilinders wordt bepaald door de eigenschappen van beide oplossingen en de slaglengtes en belastingen zoals samengevat in tabel 3.

Afb. 5 Elektrohydraulische cilinder



Afb. 6 Elektromechanische cilinder



Tabel 3 Overzicht van een mogelijke standaard voor bewegingswerken

	2m – 3m	3m – 4m	4m – 5m	5m – 6m
0kN – 500kN	EMA / EHA	EMA / EHA	EMA / EHA	EMA / EHA
500kN – 1000kN	EMA / EHA	EMA / EHA	EHA	EHA
1000kN – 1500kN	EMA / EHA	EHA	EHA	EHA
1500kN – 2200kN	EHA	EHA	EHA	EHA

### Werksessie parametervaststelling

Het traject is vervolgd in een gezamenlijke werksessie om van de negentien bouwdelen uit de decompositie de parameters vast te stellen. Als eerste stap is de implementatie van de bouwdelen vastgesteld. Bouwdelen zijn als volgt geïmplementeerd:

- Ruimtereservering: voor deze onderdelen is enkel een ruimte gereserveerd (afmetingen) waarbinnen in een latere fase een gedetailleerd onderdeel geplaatst wordt.
- Verdere detaillering:
- Niet toegepast: deze onderdelen zijn geen onderdeel van het Standaardremmingwerk.

In Tabel 1 op pagina 20 zijn de bouwdelen en de implementatie weergegeven. Van de nader uit te werken onderdelen zijn in de werksessie de parameters met bijbehorende parameterkeuzes vastgesteld. (Zie tabel 2 parametermatrix).

### VR-sessie

De afspraken uit de werksessie zijn door Movares uitgewerkt in het parametrisch 3D-model. Om inpassing in een realistische situatie te beoordelen is het 3D-model geanimeerd en in een realistische omgeving geplaatst. Omdat Movares over een 3D-omgeving van de sluis en stuw van Amerongen beschikt is ervoor gekozen om hierin de animatie van het standaard remmingwerk te plaatsen. In de VR-sessie is het standaard remmingwerk gepresenteerd in de vorm van een digitaal 3D-model en een animatiebestand in de VR-omgeving van sluis Amerongen. Aan de hand van deze drie onderdelen is de matrix met keuzen en het 3D-model aangescherpt. Resultaat is een animatie waar iedereen zich met een VR-bril over, op, en rond het drijvend remmingwerk kan bewegen. >

## Evaluatie van deze proef

Het MWW-team en Movares zijn tevreden over het resultaat van de proef. De proef beantwoordt aan de vooraf gestelde drie doelen, namelijk: het bundelen van kennis, het communiceren met alle stakeholders en het vastleggen van ontwerpkeuzen. De kennis is gebundeld in de parametermatrix en het 3D-model. Met behulp van het 3D-model, de animatie en de prints is met iedereen te communiceren over deze constructie, van techneut tot wethouder. Door de 3D-beelden en animatie is het uit te leggen waarom de constructie zo is. Door het parametrische model zijn aanpassingen snel te verwerken en te beoordelen.

Een mogelijke volgende stap is het toevoegen in een contract en in de uitvoering.

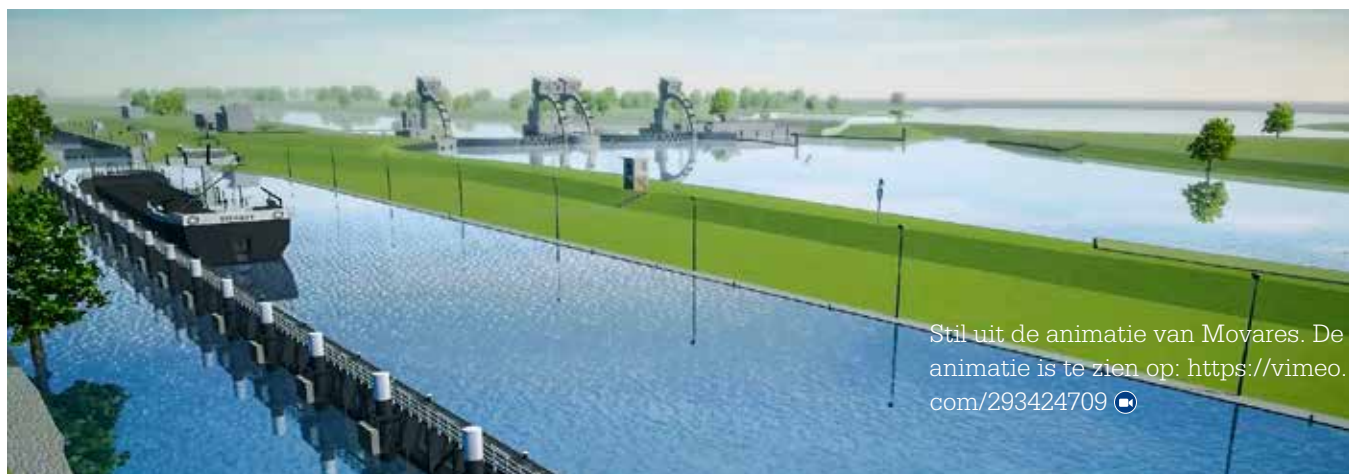
Jan Dirk van Duijvenbode,  
Gerard Krooshoop en Patrick Hendriks  
8 februari 2019 ■

Tabel 1 - Bouwdelen en implementatie

Nummer	Bouwdeel	Ruimte reservering	Verdere detaillering	Niet toegepast
1	Beschermepaal		x	
2	Buispaal		x	
3	Bolder	x		
4	Wrijfschort		x	
5	Wrijfschort met haalkom		x	
6	Geleiding	x		
7	Contragewicht	x		
8	Drijfkist		x	
9	Frame wrijfschort		x	
10	Paalbeugel		x	
11	Looppad		x	
12	Ladderruimte	x		
13	Ladderschort	x		
14	Ladderbeugels		x	
15	Bebording			x
16	Camerasysteem			x
17	Verlichting			x
18	Leuning	x		
19	Verbindingsbrug			x

Algemene gegevens				z	eenheid	Bron	Toelichting					
Totale theoretische lengte remmingswerk				133,1	m	RVV 2017	1,3x kolk lengte (+1,3x lengte maatgevend schip)					
Scheepvaartklasse				CEMT-Va	-	document GPO						
MHW5 noord				8.4	m+NAP		Maatgevende hoog waterstand					
MLW5 noord				2.32	m+NAP		Maatgevende laag waterstand					
Bodemniveau					m+NAP		uit grondprofiel					
Inheid diepte					m+NAP	Berekening	uit grondprofiel					
Bouwd	param	nr	NEN nummer	input	fix	keuze	volgt uit andere	wij te bepalen	Gemaakte keuze	eenheid	Achterliggende bron	Toelichting
1	5.00	Beschermepaal	(1432)	input	fix	keuze	volgt uit andere	wij te bepalen	Gemaakte keuze	eenheid	Achterliggende bron	Toelichting
2	5.00	Buispaal	(1432)	input	fix	keuze	volgt uit andere	wij te bepalen	Gemaakte keuze	eenheid	Achterliggende bron	Toelichting
3	5.00	Bolder	(1091)	input	fix	keuze	volgt uit andere	wij te bepalen	Gemaakte keuze	eenheid	Achterliggende bron	Toelichting
4	5.00	Wrijfschort	(1433)	input	fix	keuze	volgt uit andere	wij te bepalen	Gemaakte keuze	eenheid	Achterliggende bron	Toelichting
4	4.01	Hoogte boven waterspiegel MHW5							3000	mm	RVV 2017	
4	4.02	Diepte onder waterspiegel MHW5							300	mm	RVV 2017	
4	4.03	Breedte							4000	mm	Document gpo	Pas element 1,5m
4	4.04	Afstand tussen gordingen							300	mm	RVV 2017	
4	4.05	Aantal gordingen per schort							5	st		Volgt uit voorwaarden RVW onderste, bovenste en tussensafstanden gordingen
4	4.06	Dikte gording							250	mm	Document gpo	
4	4.07	Hoogte gording							300	mm	Document gpo	
4	4.08	Dikte koker gording										uitwerken in berekening
4	4.09	Type gording							UHMW-PE (UV- bestendig)		GPO	stalen koker met UHMW-strip ervoor
4	4.10	Dikte UHMW-strip							70	mm	Aanname	
4	4.11	Stabiliteitsverbanden										Per sectie van 13,5m één stabiliteitsverband
4	4.12	Profielbreedte stabiliteitsverband								mm		zelfde als koker onder looppad
4	4.13	Profielhoogte stabiliteitsverband								mm		zelfde als koker onder looppad
4	4.14	Dikte koker stabiliteitsverband								mm		uitwerken in berekening
4	4.15	Afstand tussen verbindingsbalken										uitwerken in berekening
4	4.16	Breedte verbindingsbalk							100	mm	Aanname	
4	4.17	Diepte verbindingsbalk							100	mm	Aanname	
4	4.18	Dikte koker verbindingsbalk								mm		uitwerken in berekening
4	4.19	Bevestigingssysteem										niet relevant voor model
4	4.20	Ruimte tussen schorten							80	mm	Aanname	

Tabel 2 Parametermatrix



Stil uit de animatie van Movares. De animatie is te zien op: <https://vimeo.com/293424709>