

# Groepsverslag

## MDP – Duurzame en circulaire Friese logistieke binnenvaart oplossing

Jelle Douma | Werktuigbouwkunde; Jelmer Huizenga | Bouwkunde;  
Marit Oostebrink | Bouwkunde; Rozemarijn de Rijk | Bouwkunde; Riemer Zuidema | Civiele Techniek



# Voorwoord

Voor u ligt het verslag van het multidisciplinaire (MDP) project binnen de technische opleidingen Bouwkunde, Civiele Techniek en Werktuigbouwkunde aan de NHL Stenden Hogeschool in Leeuwarden. Dit project stond in het teken van het ontwikkelen van een duurzame en circulaire logistieke oplossing voor afvalvervoer over de Friese binnenwateren, in opdracht van afvalverwerker Omrin.

Binnen dit project hebben wij als studenten van verschillende technische opleidingen samengewerkt aan innovatieve oplossingen op het gebied van onder andere kade-inrichting, automatisering van laad- en lossystemen en het ontwerpen van een bemanningsverblijf. De samenwerking tussen de verschillende studierichtingen heeft hierbij geholpen aan een compleet technisch onderbouwd eindresultaat, onderzocht vanuit diverse studierichtingen.

Wij willen graag het lectoraat Maritieme Innovatieve Technieken, de betrokken bedrijven Omrin en Spaansen, de gastsprekers van Provinsje Fryslân, Maritieme Academie Harlingen en KOTUG en de begeleidende tutores van NHL Stenden bedanken voor hun begeleiding en ondersteuning tijdens dit project. Dankzij hun hulp hebben wij ons kunnen verdiepen in dit actuele vraagstuk op het gebied van techniek, duurzaamheid en logistiek.

Dit project zorgde niet alleen voor de mogelijkheid om onze vakkennis toe te passen, maar ook om te leren van andere studierichtingen en te groeien in samenwerking, communicatie en het bedenken van praktische oplossingen in een realistische casus.

Wij wensen u veel leesplezier!

Met vriendelijke groeten,

Projectgroep 6gL:

Jelle Douma, Jelmer Huizenga, Marit Oostebink, Rozemarijn de Rijk & Riemer Zuidema  
Leeuwarden, 20 juni 2025

# Samenvatting

Dit multidisciplinaire project richtte zich op het ontwikkelen van een duurzame en circulaire logistieke oplossing voor het transport van afval en bouwmaterialen over de Friese binnenwateren, met de nadruk op de route tussen Heerenveen en Harlingen. In opdracht van afvalverwerker Omrin is onderzocht hoe restafval richting de Reststoffen Energie Centrale (REC) en retourvrachten van zand en grind vanuit Harlingen efficiënter en milieuvriendelijker kunnen worden vervoerd. Door samen te werken met Spaansen wordt gestreefd naar het verminderen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot en het beperken van het vrachtverkeer over de weg.

Binnenvaart blijkt een effectief alternatief voor wegtransport. Een binnenvaartschip heeft een aanzienlijk grotere laadcapaciteit dan een vrachtwagen, waardoor minder ritten nodig zijn. Dit verlaagt emissies, verkeersdrukke en transportkosten. De vaarroute valt binnen exploitatiecategorie A1 en is dus geschikt voor combinaties tot 86 meter lengte, waarmee varen zonder vergunningen mogelijk is.

Voorwaarde voor het functioneren van dit systeem is de aanleg van geschikte kades op vier locaties. Waar Spaansen en Dambeton reeds over kades beschikken, moeten deze bij Omrin in Heerenveen en Harlingen nog worden ontworpen. In Harlingen past dit binnen het bestemmingsplan; in Heerenveen vormt een beheersverordening een juridische belemmering, waarvoor een planwijziging of BOPA nodig is. Technisch gezien zijn stevige funderingen vereist vanwege slappe ondergrond, met damwanden, groutankers en betonvloeren. Harlingen krijgt daarnaast een roll-on/roll-off-brug vanwege het getijdenverschil van circa twee meter.

In Heerenveen is gekozen voor twee smalle insteekhavens van 90 bij 10 meter, met ruimte voor vrachtverkeer tussen de bakken. Harlingen krijgt één brede haven van 90 bij 26 meter. Beide locaties zijn voorbereid op uitbreiding en geautomatiseerde containerbehandeling.

Voor het transport van restafval is gekozen voor perscontainers. Deze zijn herbruikbaar, gesloten en beperken geur- en afvalverspreiding. Ze sluiten aan op het bestaande systeem van Omrin en zijn geschikt voor roll-on/roll-off-verwerking. Ondanks het nadeel dat ze niet stapelbaar zijn, zorgt het logistieke ontwerp voor een efficiënte benutting van ruimte en transportcapaciteit.

De duwbakken worden voortgestuwd door een KOTUG E-Pusher met twee gekoppelde duwbakken: één voor afvalcontainers, de andere (indien van toepassing) voor zand en grind. De totale lengte blijft binnen de gestelde 86 meter. In Harlingen wordt vanwege het getij gebruikgemaakt van speciale laadbruggen. Op de terugreis worden soms lege containers gecombineerd met zand en grind richting Akkrum.

De gehele cyclus wordt uitgevoerd met één duwboot en vier ploegen van twee bemanningsleden, werkend in roulatie. Met 2 ploegen per vaart, hiervoor is een compact en comfortabel verblijf ontworpen, afgestemd op het werk- en rustschema. Ook is een walgebonden controlecentrum ontwikkeld: modulair, circulair en uitgerust met duurzame energievoorzieningen. Hier worden planning en aansturing van het logistieke proces centraal gecoördineerd.

# Inhoudsopgave

Voorwoord .....	1
Samenvatting .....	2
Inhoudsopgave.....	3
Inleiding .....	4
Ontwerp een kade met afmeerfaciliteit nabij de Omrin-faciliteiten .....	5
Ruimtelijke passing en eigendomssituatie van kade-locaties.....	5
Technische eisen op de kades voor lading- en scheepstype .....	7
Ontwerp havens Heerenveen en Harlingen .....	10
Ontwerp een efficiënt en kosteneffectief laad- en lossysteem voor afvaltransport.....	12
Analyse van de afvalstroom: soort, volume en transportmogelijkheden.....	12
Optimale laad- en lossystemen: kosten, snelheid en duurzaamheid .....	14
Procesverloop en logistieke veranderingen in afvaltransport .....	16
Installatiekosten minimaliseren en voorbereiden op autonome bediening.....	17
Ontwerp een bemanningsverblijf of commando- en controlecentrum .....	18
Ontwerpeisen aan bemanningsverblijf en controlecentrum in de binnenvaart .....	18
Technische voorzieningen voor huidig en toekomstig gebruik.....	18
Indeling op basis van werk- en rustritme .....	19
Multifunctioneel inrichten en toekomstige ontwikkelingen .....	19
Duurzaam commando- en controlecentrum aan wal .....	20
Conclusie.....	22
Literatuurlijst.....	23

# Inleiding

Het vervoer van goederen over de weg, voornamelijk met vrachtauto's, speelt een belangrijke rol in de logistiek. Toch brengt deze vorm van transport veel nadelen met zich mee. Denk hierbij aan hoge kosten voor brandstof, personeel, onderhoud, verkeersdruk en luchtvervuiling. Bovendien rijden vrachtauto's meestal zonder lading terug na het afleveren van de goederen. Dit zorgt voor inefficiënt gebruik van transportmiddelen en onnodige uitstoot.

Een alternatief voor het vervoer over de weg is het gebruik van binnenvaartschepen. Binnenvaart is een relatief duurzame en kostenefficiënte manier om goederen te vervoeren. Eén binnenvaartschip kan een laadcapaciteit hebben die vergelijkbaar is met die van ongeveer 14 vrachtwagens. Door het inzetten van deze vorm van transport kan het aantal vrachtwagens op de weg flink worden verminderd. Dit resulteert in lagere transportkosten en een vermindering van de uitstoot. Waar vrachtwagens vaak leeg terugkeren, kunnen schepen worden ingezet om ook bij de terugreis vracht mee te nemen. Dit verhoogt de efficiëntie en voorkomt de niet-rendabele ritten.

Uiteraard zijn er ook nadelen verbonden aan de binnenvaart. De gemiddelde toegestane snelheid van een binnenvaartschip is lager dan die van een vrachtwagen, ongeveer 8 kilometer per uur. Hierdoor duurt het gemiddeld 8 uur en 30 minuten om de route van 68 kilometer tussen Harlingen en Heerenveen af te leggen. Dit kan planning en levertijden beïnvloeden, voor sommige goederen kan dit mogelijk problemen veroorzaken.

In dit project zal worden onderzocht wat de mogelijkheden zijn voor transport door middel van de binnenvaart tussen Harlingen en Heerenveen. Twee betrokken partijen, Omrin (gespecialiseerd in afvalinzameling en-verwerking) en Spaansen (leverancier van zand en grind), zijn belanghebbende in dit project en hebben beide interesse voor vervoer over water als duurzaam alternatief voor wegtransport.

De route bestaat uit twee logistieke stromen. De eerste is het afvaltransport: dagelijks wordt vanuit de afvalverwerking in Heerenveen ongeveer 400 ton restafval per schip vervoerd naar de afvalenergiecentrale van Omrin in Harlingen. De tweede stroom is het transport van zand en grind, vanuit Spaansen in Harlingen worden ladingen zand en grind vervoerd naar Leeuwarden en Akkrum. Deze retourvracht zorgt ervoor dat het schip efficiënt benut wordt, zonder lege vaarten.

Om deze logistieke transitie goed te onderbouwen, zijn er voor dit project meerdere deelvragen en subdeelvragen opgesteld. Deze behandelen onder andere het ontwerpen van de haven, de technische haalbaarheid van het laad- en lossysteem en het ontwerpen van een bemannings- en controlecentrum op de boot én aan de wal.

# Ontwerp een kade met afmeerfaciliteit nabij de Omrin-faciliteiten

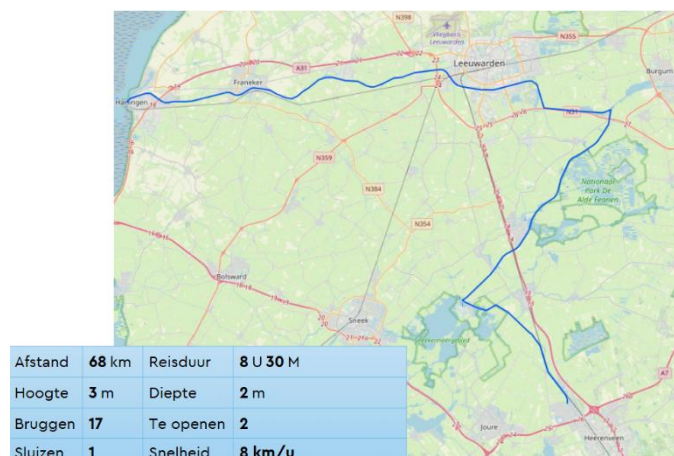
Een belangrijke stap in de duurzame en circulaire logistiek in Friesland is het zorgen voor binnenvaarttransport tussen Harlingen en Heerenveen. Binnen dit project staat onder andere het ontwikkelen van een kade met afmeerfaciliteit centraal, direct gelegen nabij de bestaande Omrin-faciliteiten. Deze infrastructuur vormt de schakel tussen land en water en maakt het mogelijk om afvalstromen efficiënt over te slaan tussen vrachtwagens en binnenvaartschepen.

Het ontwerp van een dergelijke kade is echter geen standaardopgave. Er moet rekening worden gehouden met diverse technische, ruimtelijke en maatschappelijke factoren. Denk hierbij aan de huidige eigendomssituatie van de beoogde locaties, beschikbare ruimte, milieuzonering, omgevingswetgeving en de mogelijke overlast voor omwonenden. Ook moet het ontwerp aansluiten op het type binnenvaartschip dat wordt ingezet, inclusief bijbehorende eisen zoals diepgang, walstroomvoorzieningen en aanlegconstructies.

In dit hoofdstuk wordt stap voor stap onderzocht hoe een technisch en ruimtelijk haalbaar ontwerp kan worden gerealiseerd. Door het combineren van civieltechnische kennis, bouwkundige inzichten en duurzaamheid wordt toegewerkt naar een voorstel dat recht doet aan zowel de logistieke doelstellingen van het project als de belangen van de omgeving.

## Ruimtelijke passing en eigendomssituatie van kade-locaties

Het afvaltransport dat momenteel over de weg plaatsvindt, zal in de toekomst over water worden verplaatst. De vaarroute die hiervoor het meest geschikt is loopt via Heerenveen, Terherne of Akkrum, Grou, Wergea, Leeuwarden, Dronryp, Franeker en Harlingen. Op deze route mag zonder vergunningen of ontheffingen gevaren worden met een duwboot-/duwbakcombinatie van maximaal 86 meter lang en 9,5 meter breed. Deze afmetingen vallen binnen de grenzen van exploitatiecategorie A1.



Figuur 1: Binnenvaartroute Heerenveen-Harlingen

Omrin beschikt aan beide uiteinden van deze vaarroute over grondposities met potentie voor de aanleg van een haven of aanmeerkade. Deze voorzieningen moeten echter nog ontwikkeld worden. Voor het vervoer van zand en grind, dat Spaansen wil verplaatsen van Harlingen naar Akkrum, is in Harlingen al een geschikte aanmeerkade beschikbaar. In Akkrum lijkt eveneens een geschikte losvoorziening aanwezig te zijn. Om het volledige transport over water mogelijk te maken, zal Omrin dus zelf eigen havens of loskades moeten realiseren.



## Heerenveen

In Heerenveen bezit Omrin een ruime kavel waarop Ecopark De Wierde is gevestigd. Niet het gehele terrein wordt benut voor afvalverwerking. Aan de westzijde bevindt zich een perceel van 8,19 hectare dat mogelijk geschikt is voor havenontwikkeling. De kortste afstand tussen het water en de stortbult op dit perceel bedraagt 58 meter. Het terrein ligt achter de stortbult, gezien vanaf de hoofdingang. Toch vormt de bereikbaarheid geen groot obstakel, omdat er een bestaande toegangsweg ligt die momenteel wordt gebruikt voor een tijdelijke opslag van balen.



Figuur 2: Beschikbare grond Heerenveen

Ondanks dat de kavel in eigendom is van Omrin, moet bij iedere nieuwe ontwikkeling voldaan worden aan wet- en regelgeving van de gemeente en andere bevoegde instanties. Een van de belangrijkste juridische kaders is het bestemmingsplan. Hierin wordt vastgelegd hoe gronden mogen worden gebruikt en welke functies of bouwwerken zijn toegestaan. In dit geval valt de kavel echter niet onder een actueel bestemmingsplan, maar onder een beheersverordening (gemeente Heerenveen, 2015). Deze regeling legt het huidige gebruik vast en sluit in principe verdere ontwikkelingen uit. Voor de aanleg van een haven is daarom expliciete toestemming nodig.

Deze toestemming kan op verschillende manieren verkregen worden. De meest directe aanpak is het opstellen van een nieuw bestemmingsplan door de gemeente, waarin de havenontwikkeling wordt toegestaan. Daarnaast bestaat onder het oude juridische stelsel de mogelijkheid om een omgevingsvergunning voor afwijking aan te vragen. Sinds januari 2024 is ook de Omgevingswet van kracht, die diverse bestaande wetgevingen bundelt. Binnen dit nieuwe stelsel kan toestemming worden verkregen via een buitenplanse omgevingsactiviteit, ook wel bekend als BOPA. In beide gevallen beoordeelt de gemeente of de ontwikkeling wenselijk en passend is.

Naast gemeentelijke toestemming is ook contact met Wetterskip Fryslân noodzakelijk. Deze regionale waterbeheerder is verantwoordelijk voor onder andere vergunningverlening bij werkzaamheden in of rondom het vaarwater. Op het betreffende terrein in Heerenveen ligt een sloot op de plaats waar de haven zou moeten komen. Deze watergang is in eigendom van het Wetterskip. Wat de plannen of bezwaren van het wetterskip zijn met betrekking tot deze sloot is niet duidelijk.

## Harlingen

In de zeehaven van Harlingen beschikt Omrin over een kavel waarop de Reststoffen Energie Centrale (REC) is gevestigd. Deze kavel grenst over een aanzienlijk deel aan het water. Het terrein, aangeduid in oranje in figuur 3, beslaat in totaal circa 1,4 hectare. Hoewel de volledige kavel grenst aan het havengebied, is slechts een gedeelte van ongeveer 100 meter diep genoeg om het voorgestelde ontwerp te kunnen accommoderen. De bereikbaarheid van het terrein is goed, met een verharde toegangsweg aan de zuidzijde.



Figuur 3: Beschikbare grond Harlingen

In tegenstelling tot de situatie in Heerenveen, valt deze kavel wel onder een vastgesteld bestemmingsplan. Het betreft het bestemmingsplan “Industriehaven 2006” (gemeente Harlingen, 2008), dat in 2015 gedeeltelijk is herzien. Binnen dit plan is het perceel van Omrin aangemerkt als bedrijventerrein. Het bestemmingsplan beschrijft dat deze bestemming bedoeld is voor bedrijfsgebouwen en bijbehorende voorzieningen, waaronder havens, hijsinstallaties en laad- en loswallen.

Aan deze voorzieningen zijn wel bouwvoorschriften verbonden. Zo geldt voor hijsinstallaties een maximale hoogte van 45 meter, terwijl kades en andere voorzieningen een maximale hoogte van 20 meter mogen hebben. Voor de ontwikkeling van een standaard aanmeerkade zijn deze beperkingen niet problematisch. Uitzonderingen op deze regels zijn binnen het plan opgenomen, maar voor deze casus niet relevant.

Ook in Harlingen is overleg met Wetterskip Fryslân noodzakelijk. Voor eventuele werkzaamheden aan of nabij het water moeten passende vergunningen worden aangevraagd. Het gaat dan onder andere om graven, bouwen of aanpassen van waterkeringen.

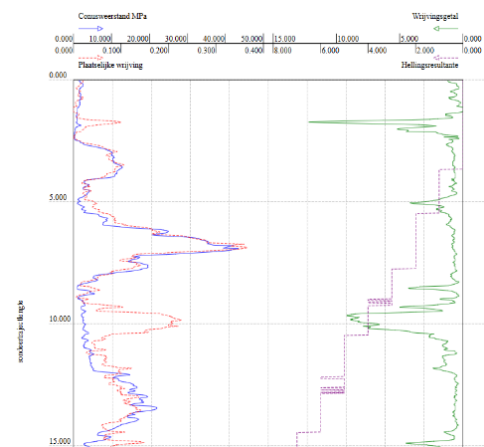
## Technische eisen op de kades voor lading- en scheepstype

Bij het ontwerpen van een haven is het belangrijkste deel van het proces: “het voldoen aan de technische eisen”. Zonder deze stap kan de haven mogelijk beschadigd raken. Hierdoor zal de haven niet alleen zijn functie niet meer kunnen volbrengen, maar kunnen er mogelijk ook ongelukken ontstaan. Daarom is het van belang dat de haven aan alle eisen voldoet om deze scenario’s te voorkomen.

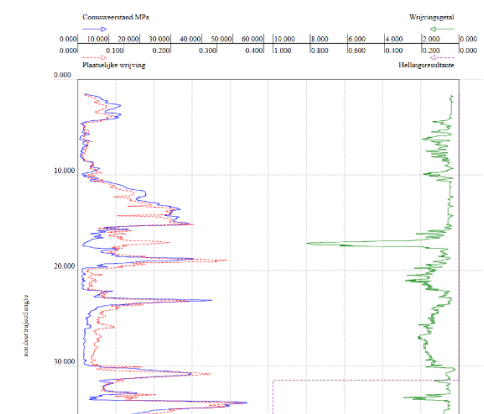
### Ondergrond

Volgens NEN 5740 dient altijd een verkennend bodemonderzoek plaats te vinden op een locatie waar de kwaliteit van de ondergrond onbekend is voordat hier gebouwd mag worden. Deze stap is van belang om te zorgen dat de ondergrond niet zal instorten bij de constructie van de havens.

Echter heeft er in zowel Harlingen als Heerenveen momenteel geen bodemonderzoek plaatsgevonden. Daarom is er voor dit project gekozen om, in plaats van sonderingen en boringen uit te voeren op de locaties van de twee havens, uit te gaan van grondonderzoeken vanuit locaties in de omgeving. Hierdoor kunnen sommige aannames over de ondergrond inaccuraat zijn en afwijken van de echte situatie. Daarom wordt aangeraden aan Omrin om alsnog te kiezen voor een grondonderzoek voorafgaand aan de constructie van de havens.



Figuur 4: Sondering Heerenveen



Figuur 5: Sondering Harlingen

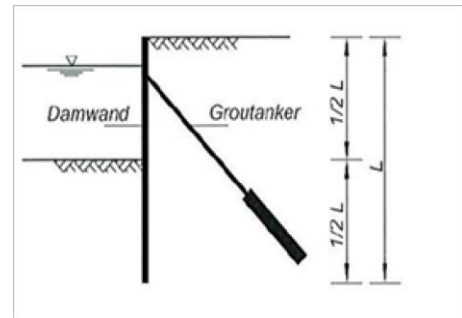


Volgens de sonderingen van figuur 4 en 5, uit het Broloket van de Rijksoverheid, bestaat de ondergrond op de locaties voornamelijk uit klei. Dit is te zien aan de lage conusweerstand en wrijvingen in de grafieken. Klei is kenmerkend vanwege zijn lage draagkracht. Het zal voor deze locaties dus van groot belang zijn een goede fundering aan te leggen voor de bouw van de havens.

## Fundatie

De ondergrond voor de havens heeft een lage draagkracht; hierdoor zal een goede fundering van groot belang zijn.

Volgens de reader Geotechniek voor het HBO en persoonlijke communicatie met leraar Geotechniek, de heer Klaas Siderius op 2 juni 2025, zullen de havens op de volgende manieren moeten worden gefundeerd: voorbelasting met zand en damwanden met groutankers.



Figuur 6: Voorbeeld groutanker

Voorbelasting met zand houdt in dat er op de locatie een laag zand zal worden gestort. Deze belasting zal de ondergrond doen inzakken over een periode van enkele weken tot maanden. Na dit proces is het niet mogelijk voor de grond om opnieuw in te zakken. Zand is hierbij ook een zettingsvaste ondergrond; hierdoor kunnen de havens direct op de ondergrond worden gebouwd.

Aan de waterkant van de haven wordt gekozen voor damwanden met groutanker, zoals in figuur 6. Deze fundatie is benodigd om de druk van het water tegen te gaan en de structurele integriteit van de havens te behouden. Een groutanker wordt voornamelijk gebruikt bij een ondergrond met een lage draagkracht die goed penetreerbaar is, zoals bijvoorbeeld klei. De groutanker zal aan de damwanden worden bevestigd en worden geplaatst op een diepere en sterkere grondlaag om een zo stabiel mogelijke constructie te realiseren.

## Haven type

Naar aanleiding van persoonlijke communicatie met André Jeruzalem op 26 mei 2025 heeft Omrin de voorkeur gegeven aan een insteekhaven voor beide locaties in Heerenveen en Harlingen. Een insteekhaven is een kunstmatige inham die haaks op een hoofdvaarweg is aangelegd en dient voor het aanmeren, laden en lossen van binnenvaartschepen.

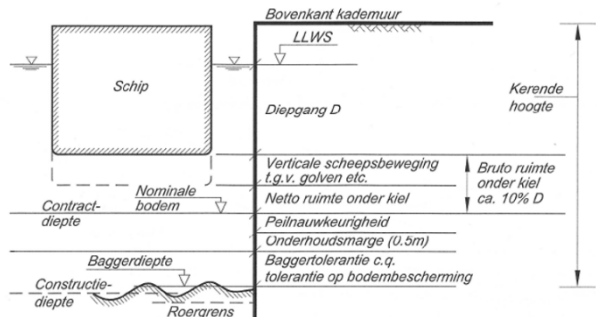
Door de ligging buiten de hoofdvaargeul wordt het doorgaande scheepvaartverkeer niet gehinderd. De haven beschikt over voldoende diepgang, verstevigde oevers en afmeerfaciliteiten. Dankzij de directe verbinding met het vaarwegennet en het achterland is de insteekhaven geschikt voor logistieke en industriële toepassingen.

Voor dit project wordt gekozen om in Heerenveen twee insteken te plaatsen in de haven met een afmeting van 90 bij 10 meter, en in Harlingen, wegens het gebrek aan ruimte, voor één insteek van 90 bij 26 meter.

## Damwanden

Bij de aanleg van een haven is het bepalen van de juiste hoogte en diepte van de damwand essentieel om stabiliteit, veiligheid en duurzaamheid te garanderen. Volgens de reader Geotechniek HBO kan de lengte van de damwand, en hierbij ook de diepte van de waterwegen, worden bepaald door middel van figuur 7.

Voor de havens in Heerenveen en Harlingen wordt gekozen om een schip met een maximale diepgang van 4 meter te kunnen laten meren. Ook wordt gekozen om in Heerenveen de bovenkant van de kade 1,5 meter boven het water te laten uitsteken, en in Harlingen 1 meter boven de maximale waterstand. Voor de baggertolerantie wordt gekozen voor 0,5 meter tolerantie.



Figuur 7: Berekening afmeting diepte haven

Met deze waardes komt naar voren dat de bovenkant van de kade in Heerenveen 6,4 meter boven de waterdiepte komt te liggen, en in Harlingen 8,2 meter wegens de getijden. Voor de volledige lengtes van de damwanden worden deze waardes verdubbeld om te voldoen aan de eis dat de damwanden voor de helft onder de grond moeten liggen. Dit betekent voor Heerenveen een benodigde lengte van 12,8 meter en in Harlingen 16,4 meter voor de damwanden.

## Betonvloer

Om breuken in de havenvloer te vermijden is het van groot belang dat de ondergrond alle mogelijke krachten kan opnemen. Havenvloeren zijn veelal gemaakt van gewapend beton. Voor dit project is daarom ook gekozen voor een gewapende betonvloer in Harlingen en Heerenveen. Voor de havens wordt gekozen voor een betonvloer van kwaliteitstype C45 gewapend beton. Ook wordt gekozen voor een vloerdikte van minimaal 0,5 meter. Hierdoor zal de kans op falen van de betonvloer minimaal zijn.

## RO/RO-brug

Een RO/RO brug, zoals in figuur 8, is een type brug dat wordt gebruikt bij havens om tijdens zowel eb als vloed de roll-on/roll-off methode van laden/lossen mogelijk te maken. Dit type brug zal benodigd zijn in de haven van Harlingen wegens het getijdenverschil op deze locatie. Volgens Rijkswaterstaat bedraagt deze namelijk maximaal 2,14 meter.



Figuur 8: Voorbeeld RO/RO-brug

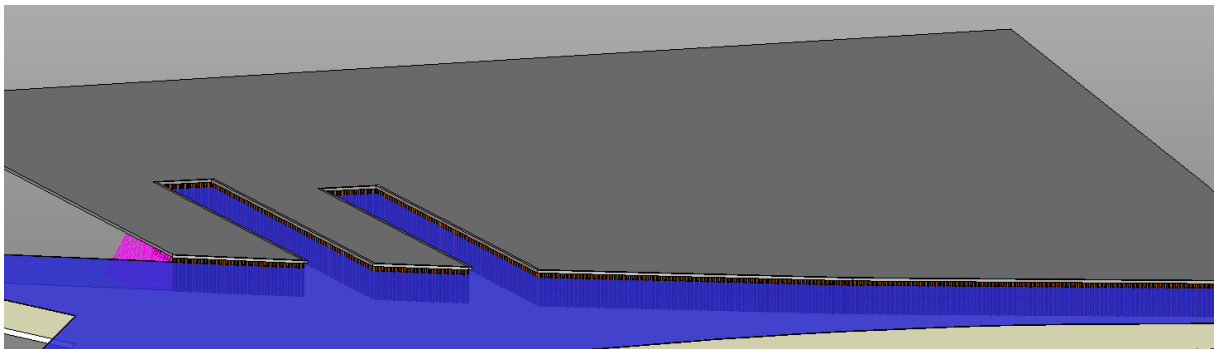
Voor de RO/RO-brug is het van belang dat deze bestand is tegen de krachten van de vrachtwagens en containers die erop en ervan af zullen rijden. Voor de locatie in Harlingen is ook van belang dat de stalen onderdelen van de brug niet worden aangetast door het zoute water van het kanaal. Dit kan leiden tot het falen van de bewegende delen van de brug, wat kan resulteren in het onuitvoerbaar worden van het laad- en lossysteem of zelfs ongevallen. Daarom is de minimeis van de sterkte van de brug 600.000 kN en wordt regelmatig onderhoud sterk aangeraden.

Om te voldoen aan de maximale toelaatbare helling van 8% voor vrachtwagens is berekend dat de brug een minimale lengte van 21 meter moet hebben. Deze lengte zorgt ervoor dat het hoogteverschil op een veilige en wettelijk toegestane manier wordt overbrugd.

## Ontwerp havens Heerenveen en Harlingen

De havens van Heerenveen en Harlingen zijn gemoduleerd in Revit en voldoen aan alle eisen vernoemd binnen het rapport. In dit hoofdstuk worden de uiteindelijke ontwerpmodellen gepresenteerd. De visualisaties geven een beeld bij de ruimtelijke indeling en ontwerp van de havens. Daarnaast wordt kort toegelicht hoe de ontwerpkeuzes zijn afgestemd op de functionele eisen en randvoorwaarden die eerder in het project zijn vastgesteld.

### Heerenveen



*Figuur 9: Model haven Heerenveen*

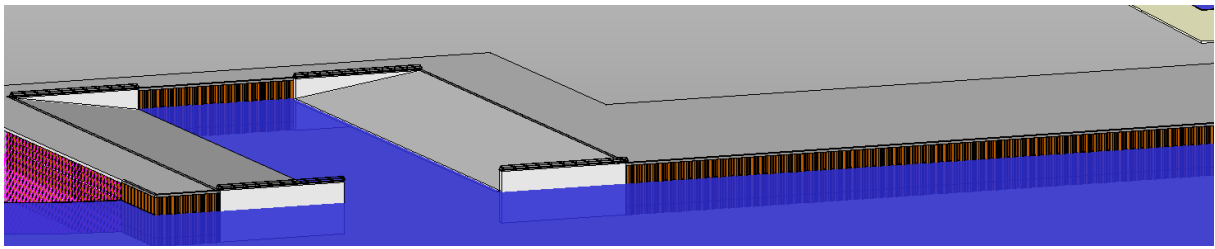
Voor de haven in Heerenveen (zie figuur 9) is, vanwege de beschikbare ruimte op locatie, gekozen voor de aanleg van twee afzonderlijke insteekhavens. Deze insteekhavens zijn op enige afstand van elkaar geplaatst. Deze positionering maakt het mogelijk om duwbakken aan beide zijden te laden, dit is noodzakelijk omdat in Harlingen slechts vanaf één zijde gelost kan worden – waarbij het willekeurig is welke zijde dit betreft.

Beide insteekhavens hebben een lengte van 90 meter en een breedte van circa 10,5 meter. Deze afmetingen maken de havens geschikt voor het ontvangen en beladen van de maximale duwbakcombinaties die op deze vaarroute worden gebruikt.

De tussenruimte tussen beide insteekhavens bedraagt 15 meter. Dit is de minimale breedte die vrachtwagens hebben om te manoeuvreren tussen de havens. Aan de noordzijde van het terrein is er aanzienlijk meer ruimte beschikbaar. Deze ruimte kan eventueel benut worden voor opslagdoeleinden of toekomstige uitbreidingen.

Het laden van de duwbakken gebeurt door middel van een aangepaste variant van de roll-on/roll-off-methode. Aangezien er in Heerenveen geen sprake is van getijdeverschillen, is de toepassing van een traditionele RO/RO-brug (roll-on/roll-off-brug) overbodig. Dit vereenvoudigt de laadoperatie en verkort de benodigde laadtijd.

## Harlingen



*Figuur 10: Model haven Harlingen*

Bij het ontwerpen van de haven in Harlingen in figuur 10 is gekozen voor een insteekhaven evenals in Heerenveen. Echter wordt er voor Harlingen gekozen voor één insteek in plaats van de twee in Heerenveen. Hiervoor is gekozen wegens het gebrek aan ruimte op de locatie. Door de twee insteken samen te voegen neemt deze minder ruimte in waardoor toch een insteekhaven gerealiseerd zal kunnen worden. De insteek bedraagt 26 meter en kunnen hierdoor twee schepen naast elkaar aanmeren.

Voor het aanmeren van de schepen, tijdens eb en vloed, is voor deze haven gekozen om twee RO/RO-bruggen te gebruiken. Deze bruggen kunnen tijdens de getijden zich op en neer bewegen om het laden en lossen ten alle tijden mogelijk te maken.

Hierbij is ook voldoende ruimte overgelaten voor mogelijke opslag van containers op de kade. Hierdoor zal Omrin in de toekomst grotere hoeveelheden afval kunnen opslaan en verwerken.

# Ontwerp een efficiënt en kosteneffectief laad- en lossysteem voor afvaltransport

Op het moment wordt al het verzamelde huishoudelijke restafval uit bijna 40 gemeentes en veel bedrijven eerst op meerdere manieren verwerkt bij Omrin in Heerenveen; Ecopark De Wierde. Het scheidingstraject op Ecopark De Wierde begint bij de geavanceerde scheidings- en bewerkingsinstallatie (SBI). Met een jaarlijkse verwerking van meer dan 190.000 ton restafval (gelijk aan ruim 6.000 volle vrachtwagen) (Omrin, z.d.) is de SBI een essentieel onderdeel van Omrin om afval om te zetten in energie.



Figuur 11: Ecopark De Wierde Heerenveen (Omrin, z.d.)

De SBI maakt gebruik van meerdere geavanceerde technieken om afvalstromen te scheiden; eerst zal het afval door diverse blazers en trommels worden verwerkt voor het scheiden van lichte en zware materialen. Vervolgens worden de afvalstromen gezeefd om te sorteren op verschillende groottes. Tot slot worden de kunststoffen in de afvalstromen herkend en gesorteerd door infrarood installaties.

Daarnaast is de vergistingsinstallatie op Ecopark De Wierde samen met de DANO-trommel een geavanceerd systeem voor de verwerking van organisch afval. Deze combinatie zorgt voor een efficiënte manier om biogas te produceren uit afvalstromen die eerder moeilijk te verwerken waren, zoals luiers en ander organisch materiaal. Eerst worden luiers en ander organisch afval fijn gemalen in de DANO-trommel, het fijn gemaakte materiaal wordt vervolgens in de vergistingsinstallatie verwerkt tot gas, waarvan een deel wordt gebruikt als brandstof voor de eigen vrachtwagens van Omrin.

Vervolgens wordt het resterende afval dat niet geschikt is voor recycling of vergisting in een container geperst en per vrachtwagen vervoerd naar de Reststoffen Energie Centrale (REC) in Harlingen. In deze installatie wordt het afval verbrand, waarbij warmte en elektriciteit worden opgewekt.

## Analyse van de afvalstroom: soort, volume en transportmogelijkheden

Bij deze afvalstroom gaat het om residu van het verwerkte restafval dat dagelijks vanuit de locatie van Omrin in Heerenveen naar de afvalenergiecentrale (REC) in Harlingen wordt vervoerd. Het betreft afval dat niet geschikt is voor recycling of vergisting en bestemd is voor verbranding.



Figuur 12: Reststoffen Energie Centrale Harlingen (Omrin, z.d.)

Het volume is jaarlijks tussen de 70.000 en 100.000 ton, oftewel ongeveer 400 ton per werkdag. Dit afval wordt nu volledig per vrachtwagen vervoerd (20 ritten van elk 20 ton per dag). Momenteel wordt het volledige volume per vrachtwagen vervoerd. In Harlingen komt per dag ongeveer 1.000 ton afval aan, waarvan 400 ton uit Heerenveen komt. Hierbij worden nog geen zeeschepen ingezet voor afvaltransport naar Harlingen. Deze gegevens zijn gebaseerd op persoonlijke communicatie en aangeleverde documentatie van Omrin (30 mei 2025).



Voor het vervoer van restafval over water zijn er verschillende verpakkingsvormen en transportsystemen mogelijk. De keuze heeft gevolgen voor de kosten, de transportefficiëntie en de mogelijkheid tot automatiseren. Er worden drie realistische opties onderzocht: vervoer als stortlading, vervoer in balen of bigbags en vervoer in perscontainers.

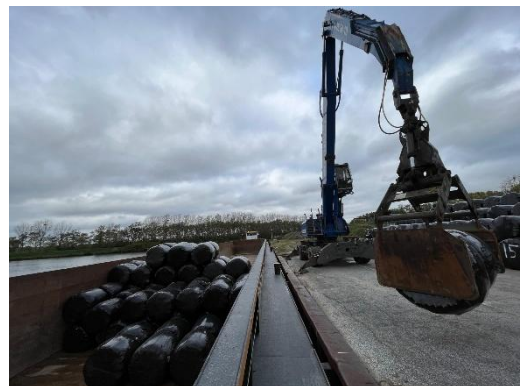
### Stortlading

Bij transport als stortlading wordt het afval los, dus onverpakt, direct in het ruim of in een duwbak gestort. Deze methode staat bekend als een van de eenvoudigste en goedkoopste vormen van bulktransport. In theorie biedt dit systeem voordelen vanwege het ontbreken van verpakkingsmateriaal en de mogelijkheid om grote hoeveelheden afval in korte tijd te laden en lossen. Dit kan bijvoorbeeld met een grijper of een transportsysteem met een schuifvloer.

De praktijk laat echter zien dat stortlading vooral geschikt is voor homogene, droge bulkproducten zoals zand, grind of graan. Voor huishoudelijk restafval, dat nat, geurig en wisselend van samenstelling kan zijn, zorgt deze vorm van transport voor nadelen. Los afval heeft een hoog risico op geurverspreiding, verwaaiing en lekkage van vocht en vuilwater. Bovendien moet het afval voor deze vorm van vervoer worden opgeslagen in een open of deels afgesloten laadbak, wat extra eisen stelt aan de hygiëne, waterdichting en afdekvoorzieningen. Ook de noodzaak om de laadruimte na iedere rit grondig te reinigen voor het retourtransport van zand en grind verhoogt de kosten. Hoewel stortlading logistiek snel en goedkoop lijkt, zijn de risico's op milieuschade en overlast voor de omgeving zo groot dat deze optie niet bijdraagt aan een duurzame oplossing van afvaltransport over water.

### Balen of bigbags

Een andere reeds gebruikte methode is het verpakken van geperst afval in balen of bigbags. Hierbij wordt het restafval eerst samengeperst, waarna het wordt omwonden in staaldraad en verpakt in folie of opgeslagen in bigbags. Dit levert uniforme, hanteerbare eenheden op die eenvoudig te stapelen zijn, zowel op de kade als in het schip. Deze vorm van transport zorgt daarom voor voordelen op het gebied van logistiek, hygiëne en controle over de lading. Doordat ze gesloten zijn, is er nauwelijks sprake van geurverspreiding of zwerfvuil, en zijn ze goed te behandelen met heftrucks of grijpers.



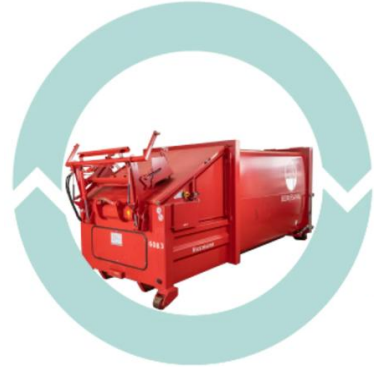
*Figuur 13: Afvalbalen in Limburg (Topsector Logistiek, 2022)*

Balen en bigbags kunnen bovendien efficiënt worden opgeslagen en vervoerd, wat bijdraagt aan een hogere laadcapaciteit per vaart. Het grote nadeel van deze methode is de extra verwerkingstap: het persen en verpakken van afval vereist dure, specifieke installaties in het proces. Daarnaast wordt voor de verpakking van balen plasticfolie en staaldraad gebruikt, wat resulteert in extra afvalstromen en verwerkingskosten. Aangezien deze materialen volgens de wet- en regelgeving niet in de verbrandingsoven mogen worden verwerkt, net als de moderne bigbags. Voor langdurig gebruik is deze verpakkingsmethode daardoor minder duurzaam en economisch minder aantrekkelijk dan een herbruikbaar systeem.

## Perscontainers

De transportvorm van perscontainers wordt al toegepast in de huidige manier van afvaltransport. In dit systeem wordt het afval direct in de container geperst, waardoor het volume wordt gereduceerd en zorgt voor vrijwel geen handmatige verwerking. Elke perscontainer werkt als een gesloten en herbruikbare transporteenheid, die eenvoudig verplaatsbaar is met een vrachtwagen of roll-on/roll-off-systeem.

Een belangrijk voordeel van deze methode is dat er vrijwel geen extra handelingen nodig zijn: het afval wordt in één beweging verzameld, geperst, vervoerd en gelost. Hierdoor blijven de arbeidskosten laag en is het systeem zeer geschikt voor (semi-)automatische verwerking. Ook hygiënisch gezien is het systeem aantrekkelijk, omdat de containers volledig afgesloten zijn en de kans op zwerfvuil of geuren minimaal is. Deze voordelen maken het gebruik van perscontainers geschikt voor de binnenvaart waarbij efficiëntie en beheersbaarheid belangrijk zijn.



*Figuur 14: Perscontainer Omrin*

Toch zijn er enkele beperkingen. In tegenstelling tot ISO-containers of balen zijn perscontainers niet stapelbaar. Dit betekent dat de hoeveelheid perscontainers per schip per vaart lager kan uitvallen. Daarnaast kunnen standaard perscontainers niet worden opgepakt met standaard havenkranen of reachstackers zonder technische aanpassingen in de vorm van een ombouwframe. Dit vereist dus een logistiek systeem dat volledig is ingericht op roll-on/roll-off, bijvoorbeeld met een de reeds gebruikte overslagvrachtwagens. Verder moeten lege containers na lossing worden teruggevoerd naar de laadlocatie, wat voor loze ruimte zorgt in het retourtraject.

## Optimale laad- en lossystemen: kosten, snelheid en duurzaamheid

Op basis van een afweging tussen kosten, snelheid en duurzaamheid komt het gebruik van perscontainers naar voren als de meest geschikte oplossing voor het transport van afval over water tussen Heerenveen en Harlingen. Deze methode sluit het best aan bij de wensen van de opdrachtgever, die zoveel mogelijk handelingen wil beperken en streeft naar een gesloten, hygiënisch en herbruikbaar systeem.

Hoewel stortlading een van de goedkoopste vormen van transport zou zijn, levert deze methode in de praktijk veel nadelen op, zoals geurverspreiding, milieubelasting, extra schoonmaakwerk en beperkte hygiënische beheersing. Deze nadelen maken het systeem onaantrekkelijk, vooral bij transport van afval over langere afstanden door bewoond gebied. De milieurisico's zijn dusdanig dat deze optie niet past binnen de duurzaamheidsdoelstellingen van het project.

Balen of bigbags zorgen voor een betere balans tussen netheid, stapelbaarheid en logistieke flexibiliteit. Door de gesloten verpakking wordt geur en verontreiniging beperkt, en het systeem is relatief eenvoudig te integreren met grijpers en vorkheftrucks. Echter, de productie van balen of bigbags vereist specifieke installaties en verpakkingsmateriaal (zoals folie en staaldraad), wat resulteert in extra afvalstromen en hogere verwerkingskosten. Bovendien mogen deze verpakkingsmaterialen wettelijk niet worden meeverbrand (volgens de Richtlijn 2008/98/EG), wat leidt tot aparte verwerking en dus extra kosten. Volgens de woordvoerders van Omrin bedragen de geschatte extra kosten per ton voor het persen en verpakken in balen of bigbags ongeveer €60 per ton, terwijl het gebruik van de huidige perscontainers neerkomt op ongeveer €12,50 per ton, inclusief retourlogistiek en verwerking van de verpakkingen.

Perscontainers zijn daarentegen herbruikbaar, gesloten en eventueel goed te integreren in een geautomatiseerd roll-on/roll-off-systeem. Hoewel ze niet stapelbaar zijn en niet zonder aanpassing met kranen kunnen worden opgepakt, zijn de voordelen van directe verwerking, lage arbeidslast en minimale milieubelasting belangrijker. De installatie van een railgeleidingssysteem aan boord van het schip en op de kade biedt een goede oplossing voor toekomstige uitbreiding en automatisering. De extra kosten voor het vervoer van lege containers op de terugweg zijn beperkt en kunnen deels worden opgevangen door het meenemen van een retourlading zand en grind naar Akkrum.

Door gebruik te maken van een KOTUG E-Pusher duwboot kan er gevaren worden met twee losse duwbakken. Deze combinatie zal zes dagen per week afval van Heerenveen naar Harlingen vervoeren. Daarnaast moet er tweemaal per week zand en grind van Harlingen naar Akkrum worden gebracht. Hiervoor wordt één duwbak gevuld met lege retourcontainers en één met zand en grind. De duwbak met zand en grind wordt gelost in Akkrum en daarna achtergelaten in Heerenveen, waardoor er per week twee duwbakken voor afval in Harlingen achterblijven en twee duwbakken voor zand en grind in Heerenveen.



*Figuur 15: KOTUG E-Pusher Type M (KOTUG International, 2024)*

Om een efficiënte doorstroming te behouden, zijn vier duwbakken voor afval en twee voor zand en grind nodig. Bij gebruik van één duwboot is er bezetting nodig van maandag tot en met zondag. Er moeten dan vier verschillende ploegen van 2 personen worden ingezet, aangezien per retourreis twee ploegen nodig zijn volgens de maximale arbeidstijd in de geldende wet- en regelgeving (Borremans, 2022). Met een schipper en een matroos, kunnen alle taken naar behoren worden uitgevoerd. Zoals de navigatie, veiligheid en communicatie, maar ook het aanleggen, laden, lossen en het onderhoud. Mocht er met twee duwboten worden gevaren, is inzet op zondag niet meer nodig om de duwbakken van locatie te wisselen. Dubbele dienst is echter niet mogelijk vanwege de maximale verwerkingscapaciteit bij de afvalenergiecentrale in Harlingen. De installatie daar kan slechts een beperkt aantal ton restafval per dag verwerken, waardoor het niet haalbaar is om twee schepen op één dag volledig te lossen.

Om de volledige route te kunnen varen zonder complexe vergunningen of ontheffingen, mag de duwboot- / duwbakcombinatie maximaal 86 meter lang en 9,5 meter breed zijn. Dit valt onder exploitatiewijze A1, volgens dhr. De Jonge (persoonlijke communicatie, 11 juni 2025), met betrekking tot vaartijden in de binnenvaart. KOTUG biedt drie modellen aan, die verschillen in lengte, breedte, diepgang en vermogen (KOTUG International, 2024). Voor een passende transportcapaciteit wordt gekozen voor de middelgrote pusher met een lengte van 16 meter, aangezien deze combinatie nog binnen de reguliere A1-categorie valt. Als de perscontainers in de breedterichting worden geladen, kan elke duwbak 14 perscontainers vervoeren. Dit is aanzienlijk minder dan bij vrachtwagentransport: dagelijks worden 20 vrachtwagens ingezet, met totaal 40 containers van elk ongeveer 10 ton, wat neerkomt op 400 ton per dag. Aangezien vrachtwagens minder belading per container kunnen meenemen, blijft de totale lading echter vergelijkbaar. Met in totaal 28 containers per vaartocht en een laadvermogen van 16 ton per container, komt dit neer op 448 ton per schip. Door twee dagen per week met één duwbak voor containers en één voor zand en grind te varen, moet er op de overige vier dagen met 448 ton afval worden gevaren om de huidige capaciteit te behouden. Daarnaast een zondagdienst om de overgebleven duwbakken in Harlingen en Heerenveen van locatie te wisselen.

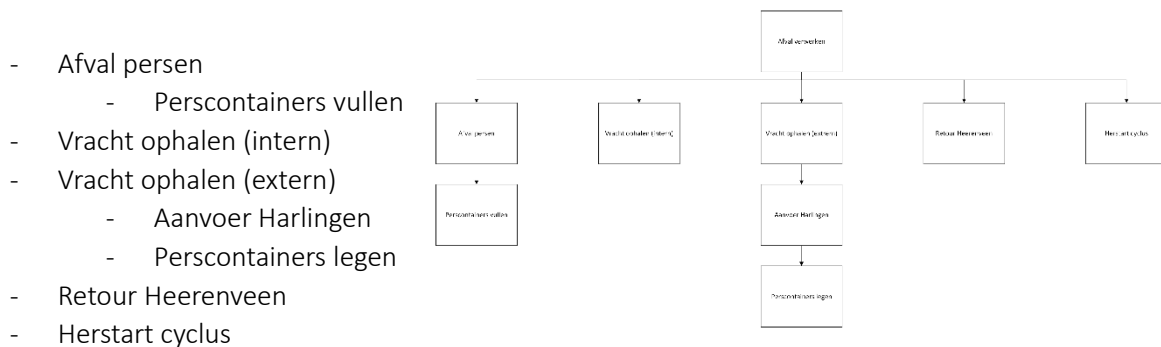
Onderstaand schema geeft een overzicht van de wekelijkse vaarroutes;

Dag	Dienst A	Dienst B
Maandag	Heerenveen - Harlingen (2x volle afval)	Harlingen - Heerenveen (2x lege afval)
Dinsdag	Heerenveen - Harlingen (2x volle afval)	Harlingen - Heerenveen (1x lege afval, 1x volle/lege zand)
Woensdag	Heerenveen - Harlingen (2x volle afval)	Harlingen - Heerenveen (2x lege afval)
Donderdag	Heerenveen - Harlingen (2x volle afval)	Harlingen - Heerenveen (1x lege afval, 1x volle/lege zand)
Vrijdag	Heerenveen - Harlingen (2x volle afval)	Harlingen - Heerenveen (2x lege afval)
Zaterdag	Heerenveen - Harlingen (2x volle afval)	Harlingen - Heerenveen (2x lege afval)
Zondag	Heerenveen - Harlingen (2x lege zand)	Harlingen - Heerenveen (2x lege afval)

Vanwege de eenvoudige bediening, goede hygiëne en hergebruik is het transport met perscontainers de beste oplossing. Het systeem vraagt wel om een investering in de logistiek, maar levert op de lange termijn veel besparingen op in werk, kosten en het milieu. Zo is het niet alleen praktisch, maar ook de beste keuze voor een duurzame en efficiënte manier van afval vervoeren over water.

## Procesverloop en logistieke veranderingen in afvaltransport

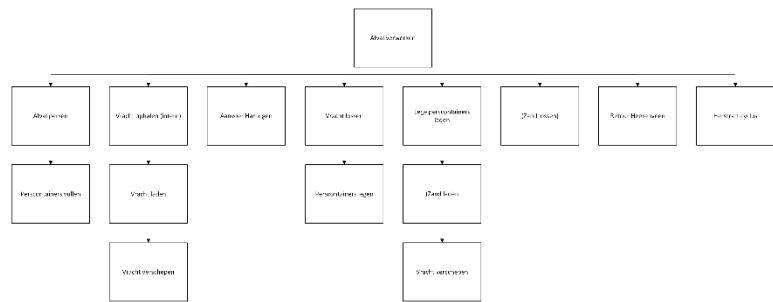
Op het moment wordt vanuit de afvalverwerkingsfabriek het afval in perscontainers geperst. Deze volle containers worden vervolgens per vrachtwagen opgehaald en tijdelijk gestald op het terrein. Hierna worden ze door een (extern) transportbedrijf verder vervoerd met twee containers per vrachtwagen. In Harlingen worden de containers stuk voor stuk omhoog gebracht en leeggestort in de verbrandingsinstallatie (zie figuur 9). Na de verbranding worden de lege containers op dezelfde manier weer teruggevoerd, waar ze beschikbaar komen voor een volgende lading afval. Hieronder wordt het bovenstaand proces visueel gemaakt in de vorm van functies en een functieboom:



Figuur 16: Functieboom huidige situatie

In principe zullen in de eerder beschreven toekomstige situatie dezelfde functies naar voren komen. Er verandert namelijk niets aan het productie- en verwerkingsproces; alleen het transport en de overslag zullen anders worden. In plaats van tijdelijke opslag worden de gevulde perscontainers direct op de duwbakken geladen. Vervolgens vaart het schip naar Harlingen, waar de perscontainers worden gelost en, net als in de huidige situatie, direct geleeagd in de verbrandingsinstallatie. Daarna zijn er twee mogelijkheden: het schip kan alle geleeagde perscontainers retour nemen óf de helft van de lege containers combineren met een retourlading van zand en grind, welke onderweg worden afgeleverd. Vervolgens worden de lege perscontainers op dezelfde wijze gelost met interne vrachtwagens en kan het proces opnieuw beginnen.

- Afval persen
  - Perscontainers vullen
- Vracht ophalen (intern)
  - Vracht laden
  - Vracht verschepen
- Aanvoer Harlingen
- Vracht lossen
  - Perscontainers legen
- Lege perscontainers laden
  - (Zand laden)
  - Vracht verschepen
- (Zand lossen)
- Retour Heerenveen
- Herstart cyclus



Figuur 17: Functieboom toekomstige situatie

Uit de vergelijking tussen de huidige en toekomstige situatie blijkt dat de kern van het verwerkingsproces gelijk blijft, maar dat de logistiek efficiënter en duurzamer wordt. Waar nu gebruik wordt gemaakt van (externe) vrachtwagens en tijdelijke opslag, maakt het toekomstige systeem direct gebruik van het laden van binnenvaartschepen zonder tussenopslag. De overslag in Harlingen blijft onveranderd, maar door het direct laden en lossen wordt tijd, ruimte en uitstoot bespaard. Daarnaast zorgt de retourvracht ook voor circulair goederenvervoer: lege containers keren terug of worden gecombineerd met zand en grind.

## Installatiekosten minimaliseren en voorbereiden op autonome bediening

Binnen het project was voorzien dat de subdeelvraag rondom kostenminimalisatie van de installatie zou worden uitgewerkt door de student van Technische Bedrijfskunde. Na een aantal weken zonder contact bleek dat de student zijn studie én zijn deelname aan het project had beëindigd. Hierdoor kwam deze subdeelvraag zonder aangewezen verantwoordelijk te staan. In overleg met de begeleidende tutor is besloten om alleen te blijven focussen op de resterende (sub)deelvragen.

Om het afvaltransport over water in de toekomst te moderniseren en te verduurzamen, kan er worden geïnvesteerd in een autonome overslagoplossing voor zowel het laden als het lossen van perscontainers. Omdat standaard perscontainers niet met standaard havenkranen of reachstackers kunnen worden opgepakt zonder aanpassingen, is het nodig om een ombouwframe te ontwikkelen dat geschikt is voor standaard hijskranen. Door contact met een andere projectgroep is dit voorstel ontworpen.

In de toekomstige situatie kunnen de perscontainers met behulp van het ombouwframe via een railsysteem direct vanuit de huidige persinstallatie automatisch naar de kade worden getransporteerd. Daar worden de perscontainers opgepakt door een geautomatiseerde havenkraan of robotarm, die op basis van vooraf ingestelde coördinaten of visiontechnologie de containers positioneert op de duwbak. Het gebruik van robotgestuurde overslag zorgt voor volledige autonomie en verlaagt de afhankelijkheid van handmatige arbeid en overslagvrachtwagens.



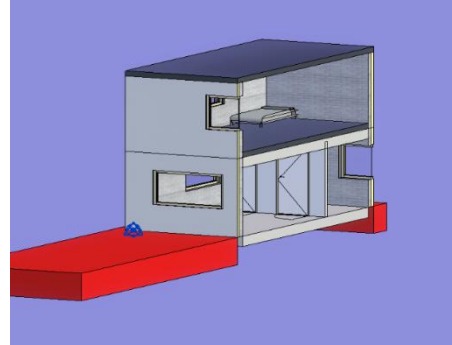
Figuur 18: Mobiële havenkraan (VDL Container Systems (z.d.))



# Ontwerp een bemanningsverblijf of commando- en controlecentrum

## Ontwerpeisen aan bemanningsverblijf en controlecentrum in de binnenvaart

In de binnenvaart gelden duidelijke eisen voor het bemanningsverblijf. Iedere opvarende moet beschikken over een comfortabele slaapplaats van minimaal twee meter lang, met voldoende ventilatie en waar mogelijk privacy. Sanitaire voorzieningen dienen hygiënisch en goed bereikbaar te zijn, met ten minste één toilet en één douche of bad per zes bemanningsleden. (OECD. (2014). De keuken moet geschikt zijn voor het bereiden en opslaan van maaltijden en voorzien zijn van een kooktoestel, aanrecht en koelkast.



Figuur 19: Doorsnede bemanningsverblijf

Het controlecentrum aan boord moet een goed zicht rondom bieden en ergonomisch zijn ingericht. Apparatuur zoals marifoon, radar en AIS zijn noodzakelijk voor veilige en efficiënte navigatie. De plaatsing van de stuurstoel, zichtlijnen en bedieningspanelen speelt hierin een belangrijke rol. Geluids- en trillingsdemping dragen bij aan comfort en veiligheid. Daarnaast zijn veiligheidsvoorzieningen zoals rookmelders, vluchtwegen en brandbeveiliging verplicht. (*Brandveiligheidsinstallaties*. (z.d.2024) Bouwkundige maatregelen zoals brandvertragende materialen en waterbestendige afwerkingen, zoals aluminium sandwichpanelen, zorgen voor duurzaamheid en voldoen aan maritieme normen.

## Technische voorzieningen voor huidig en toekomstig gebruik

Voor de energievoorziening maken schepen doorgaans gebruik van scheepsgeneratoren of walstroom. Het systeem moet voldoende capaciteit hebben voor verlichting, HVAC-installaties (heating, ventilation en airconditioning), keukenapparatuur en IT-voorzieningen. Duurzame oplossingen zoals zonnepanelen en batterijopslag worden steeds belangrijker. HVAC-installaties zorgen voor een gezond binnenklimaat en maken gebruik van moderne technieken, zoals luchtwarmtepompen. Goede ventilatie voorkomt vochtproblemen en schimmelvorming, door vervuilde of vochtige lucht efficiënt af te voeren.

Drinkwatervoorzieningen zijn gebaseerd op omgekeerde osmose met opslag- en filtersystemen om te voldoen aan de drinkwaternormen. Voor afvalwaterverwerking worden grijs- en zwartwater gescheiden opgeslagen en vervolgens biologisch of chemisch gezuiverd, volgens internationale eisen. Douches, toiletten en keukens moeten niet alleen functioneel, maar ook hygiënisch zijn. Energiezuinige inductiekookplaten en goede ventilatie dragen bij aan veiligheid en comfort.

De IT-infrastructuur aan boord is onmisbaar. Servers worden ondergebracht in een aparte ruimte voor optimale ventilatie en geluidsisolatie. Door het systeem redundant op te zetten, blijft de functionaliteit gewaarborgd bij storingen. Moderne schepen worden daarnaast steeds meer uitgerust met digitale monitoring, routeoptimalisatie en realtime communicatie met walstations.

## Indeling op basis van werk- en rustritme

Op het schip geldt een werk- en rustsysteem van circa acht uur op en acht uur af, wat hoge eisen stelt aan slaapcomfort. Slaapvertrekken dienen verduisterbaar en geluidsgeïsoleerd te zijn. Waar mogelijk wordt gekozen voor individuele hutten of stapelbedden die met een gordijn of schuifdeur afgesloten kunnen worden. In het project is gekozen voor een compacte maar efficiënte indeling van 6,4 x 7 meter, verdeeld over twee verdiepingen. Beneden bevinden zich de keuken, het recreatiegedeelte en één toilet. Boven bevinden zich de sanitaire voorzieningen met twee douches, een tweede toilet en twee wasbakken.

De slaapruiimte biedt plaats aan twee stapelbedden voor vier bemanningsleden die in ploegendiensten werken. Bedden worden gedeeld, maar iedereen heeft een eigen kast voor persoonlijke bezittingen. De leefruimtes zijn zodanig ingericht dat ze multifunctioneel inzetbaar zijn: als kantine, vergaderruimte of ontspanningsplek. Meubels zijn flexibel en makkelijk te verplaatsen. De focus ligt op praktisch gebruik, met voldoende comfort voor langere verblijven aan boord.

## Multifunctioneel inrichten en toekomstige ontwikkelingen

Binnen de beperkte ruimte aan boord is het multifunctioneel inrichten van ruimtes essentieel. Ruimtes moeten flexibel inzetbaar zijn voor verschillende doeleinden zoals vergaderen, ontspannen, eten of rusten. Dit vraagt om slim ontworpen, aanpasbaar meubilair dat eenvoudig verplaatst of omgevormd kan worden. Denk hierbij aan klaptafels, uitschuifbare zitplekken en modulaire elementen. Door deze flexibiliteit kan de ruimte snel aangepast worden aan het moment van de dag en de behoefte van de bemanning.

Geluidsisolatie is een belangrijk aandachtspunt in multifunctionele ruimten. Goede geluidsdemping zorgt ervoor dat mensen ongestoord kunnen rusten of werken, terwijl anderen zich in dezelfde ruimte bevinden. Dit verhoogt het comfort en bevordert de concentratie en rust aan boord. Daarnaast moeten ruimtes ergonomisch en overzichtelijk worden ingericht om de fysieke belasting voor bemanningsleden te beperken.

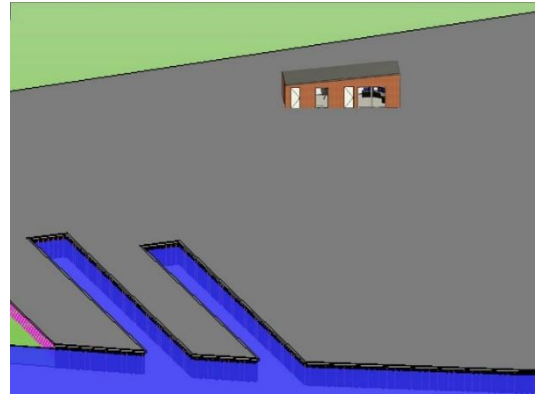
De technische infrastructuur aan boord moet voldoende zijn voor communicatie, navigatie en onderhoud. Servers en andere IT-apparatuur zijn ondergebracht in een aparte, geventileerde ruimte om oververhitting en geluidshinder te voorkomen. Redundante verbindingen zorgen ervoor dat systemen operationeel blijven bij storingen. Verder wordt de elektriciteit voor deze systemen duurzaam opgewekt via zonnepanelen, waarvan de energie opgeslagen wordt in lithium-ion batterijen. Deze batterijen zijn ondergebracht in een veilige ruimte met brand- en ventilatievoorzieningen.

Ook in de bouw is gekozen voor toekomstbestendige oplossingen. Materialen zijn licht, sterk en duurzaam, zoals aluminium en composietpanelen. Het ontwerp modules kan het schip eenvoudig worden aangepast of uitgebreid. Dit is van belang voor toekomstige ontwikkelingen zoals digitalisering, automatisering of veranderende regels houdt al rekening met mogelijke technologische vernieuwingen, waardoor het schip niet alleen functioneel, maar ook toekomstgericht inzetbaar blijft.

## Duurzaam commando- en controlecentrum aan wal

Het controlecentrum wordt geplaatst op een ruime kavel bij de kade in Heerenveen en vormt een centraal punt voor monitoring en aansturing van het binnenvaartproces. Het gebouw heeft een afmeting van 6 x 12 meter en bestaat uit twee hoofdruimten: een datahub en de ruimte voor de operationele systemen.

De binnenkant is ontworpen met circulaire principes: de wanden bestaan uit gerecycled textiel, houtvezelplaten en biocomposieten, en het interieur is lokaal en hergebruikt geproduceerd. Voor verwarming wordt een warmtepomp gebruikt, en natuurlijke ventilatie zorgt voor een gezond binnenklimaat zonder gebruik van energie-intensieve installaties. Het controlecentrum is voorzien van moderne digitale technologieën zoals een realtime volgsysteem, routeplanningstool en een digitaal model van het Friese waternetwerk. Met behulp van een dashboard kan nauwkeurig inzicht verkregen worden in de prestaties, uitstootbesparing en verkeersstromen.

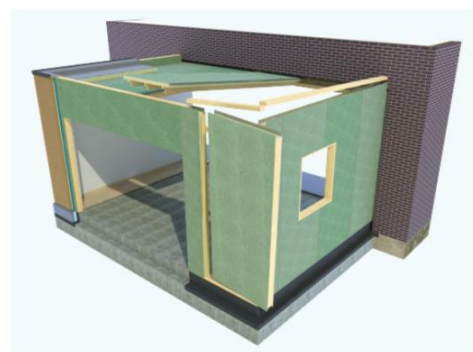


Figuur 20: Controlecentrum Heerenveen

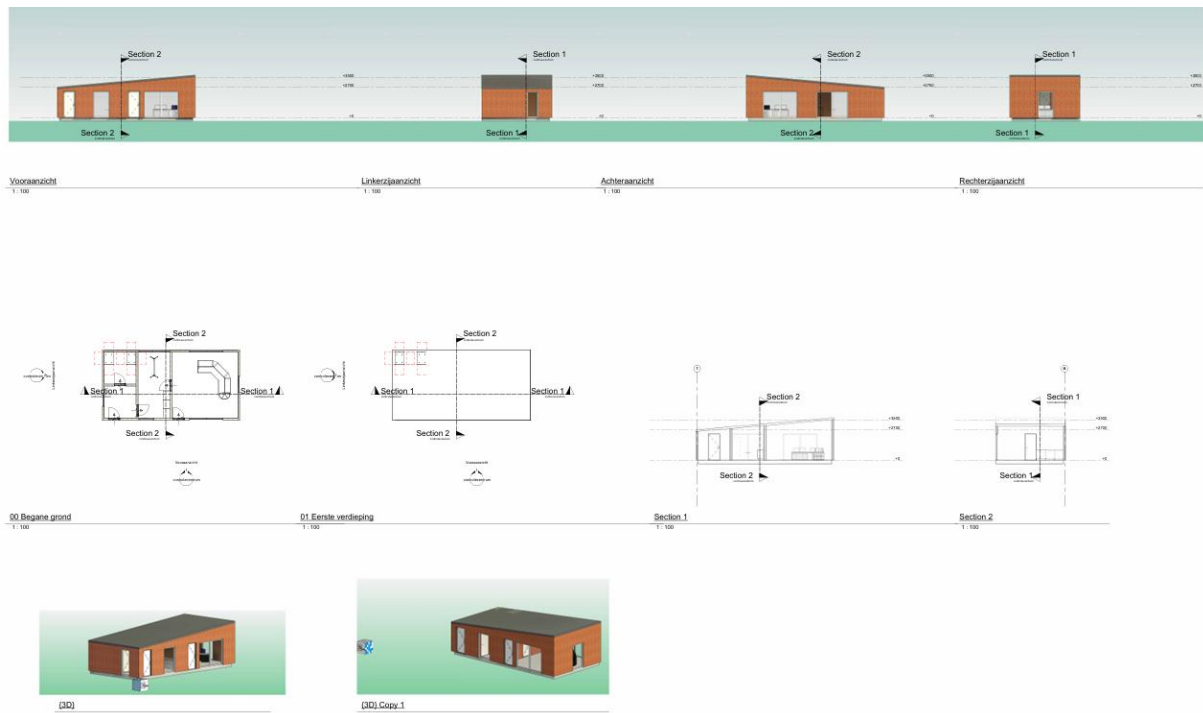
Wat het gebouw bijzonder maakt, is de volledig modulaire opbouw. De modules, gestandaardiseerd op 3 x 6 meter, zijn eenvoudig te koppelen, te stapelen of te verplaatsen. Hierdoor is het controlecentrum ook inzetbaar als tijdelijke werkplek op andere locaties. Beschadigde of verouderde modules kunnen afzonderlijk vervangen worden, wat leidt tot lagere onderhoudskosten en hoge flexibiliteit. Voor de gevels wordt gebruikgemaakt van prefab 'Ussystem'-panelen van Unilin, die bestaan uit PIR-isolatie met hoge thermische prestaties. Deze worden in de fabriek op maat geproduceerd en op locatie direct gemonteerd, waardoor een snelle, nauwkeurige en duurzame bouw mogelijk is. Dankzij deze aanpak is het controlecentrum niet alleen circulair en energie-efficiënt, maar ook volledig voorbereid op toekomstige schaalvergroting, digitalisering en veranderende behoeften in de logistieke sector.



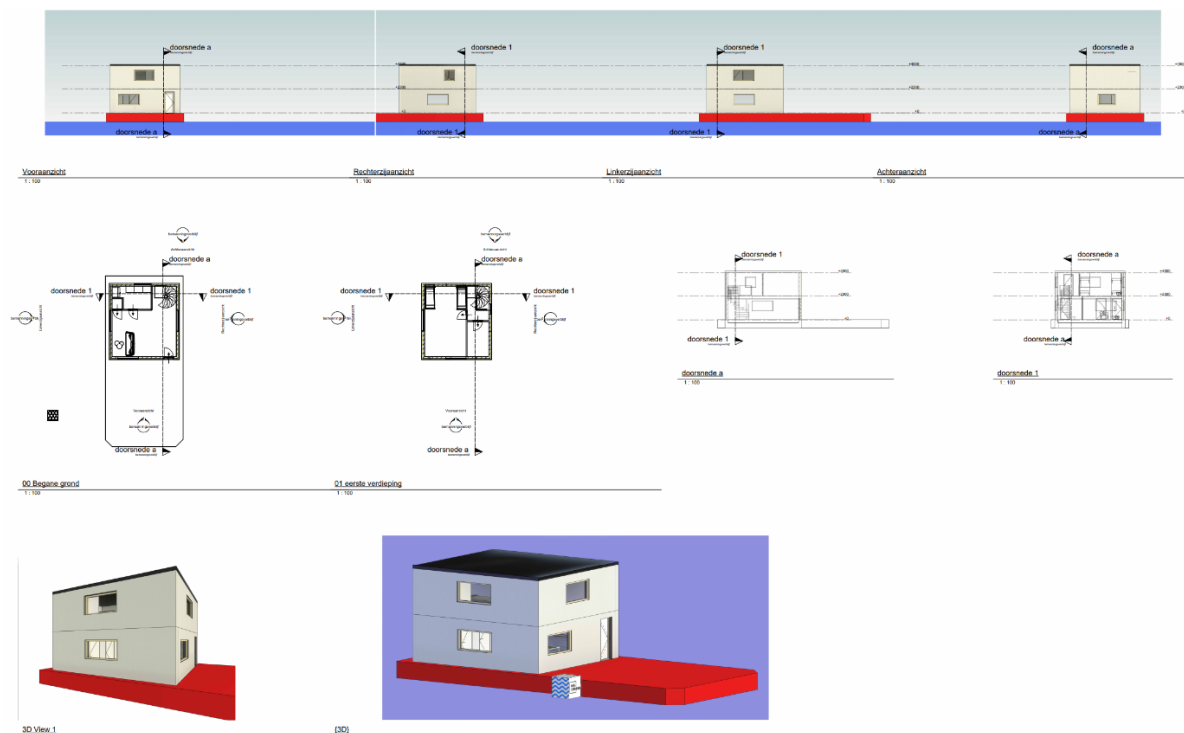
Figuur 21: 3D overzicht controlecentrum



Figuur 22: 'Ussystem'-panelen (Unilin, z.d.)



Figuur 23: Sheet controlecentrum



Figuur 24: Sheet bemanningsverblijf

# Conclusie

Het multidisciplinaire onderzoek heeft aangetoond dat binnenvaart een haalbaar en duurzaam alternatief vormt voor het huidige wegtransport van afval tussen Heerenveen en Harlingen. Dit levert veel voordelen op, waaronder een vermindering van CO<sub>2</sub>-uitstoot, lagere logistieke kosten en een ontlasting van het verkeer. De efficiëntie van de binnenvaart komt vooral voort uit de grotere laadcapaciteit per schip ten opzichte van vrachtwagens, waardoor met minder ritten dezelfde of zelfs grotere hoeveelheden vracht kunnen worden vervoerd.

Om deze transitie succesvol te kunnen realiseren, is het van belang dat alle betrokken partijen beschikken over geschikte laad- en losvoorzieningen. Terwijl Spaansen en Dambeton al beschikken over geschikte kades, geldt dit nog niet voor Omrin. Op beide locaties van Omrin dienen daarom nieuwe havenfaciliteiten te worden gerealiseerd. In Harlingen is dit planologisch toegestaan binnen het geldende bestemmingsplan, maar in Heerenveen wordt de ontwikkeling bemoeilijkt door een beheersverordening. Voor uitvoering zijn daarom een omgevingsvergunning of een wijziging van het bestemmingsplan noodzakelijk.

Bij de afweging van verschillende transportmethoden als stortlading, balen en perscontainers, bleken perscontainers het meest geschikt. Deze bieden een optimale balans tussen hygiëne, herbruikbaarheid en geschiktheid voor geautomatiseerde overslag, en sluiten goed aan bij het bestaande verwerkingsproces van Omrin. Voor het retourtransport van zand en grind vanuit Spaansen wordt gebruikgemaakt van stortlading in speciaal daarvoor gemaakte duwbakken.

De vaart is gebaseerd op een KOTUG E-Pusher in combinatie met speciaal ontworpen duwbakken. Door de lengte van de bakken te beperken, blijft de totale combinatie binnen de toegestane 86 meter voor de vaarroute. Dit maakt het mogelijk om met twee duwbakken per vaart te opereren, waarbij één duwbak eventueel kan worden ingezet voor zand en grind. Met een inzet van vier bemanningsploegen is een continue dienstregeling realiseerbaar, wat zorgt voor een efficiënte doorstroming.

Ter ondersteuning van deze logistieke operatie is een compact maar functioneel bemanningsverblijf ontworpen, waarin ruimte is voor werken, rusten en recreëren volgens de geldende binnenvaartnormen. Het verblijf is voorzien van moderne faciliteiten, ergonomisch ingericht en afgestemd op het roulerende ploegenritme aan boord. Hierdoor wordt het welzijn van de bemanning bevorderd, wat essentieel is voor een veilige en duurzame operatie.

De voorgestelde oplossing biedt een toekomstbestendig model voor afvaltransport over water. Verdere uitwerking van vergunningstrajecten, investeringen en geautomatiseerde overslag zullen zorgen voor een succesvolle implementatie. Dit project benadrukt het belang en de kracht van geïntegreerde samenwerking tussen technische disciplines bij het aanpakken van complexe maatschappelijke opgaven.



# Literatuurlijst

Ecopark De Wierde Heerenveen | Omrin. (z.d.).

<https://www.omrin.nl/ons-verhaal/ecopark-de-wierde>

Heerenveen trots op Omrin en ontwikkelingen Ecopark De Wierde | Omrin (z.d.).

<https://www.omrin.nl/ons-verhaal/nieuwsberichten/heerenveen-trots-op-omrin-en-ontwikkelingen-ecopark-de-wierde>

Reststoffen Energie Centrale (REC) | Omrin (z.d.).

<https://www.omrin.nl/ons-verhaal/reststoffen-energie-centrale>

Omrin gaat biogas maken van luiers uit huishoudelijk afval | Afvalgids. (2020, 12 oktober).

<https://www.afvalgids.nl/omrin-gaat-biogas-maken-van-luiers-uit-huishoudelijk-afval/>

Inland Shipping | KOTUG International. (2024, 4 april).

<https://www.kotug.com/towage/inland-towage/>

Unieke pilot gestart: afval in balen vervoerd over water | Topsector Logistiek. (2022, 26 oktober).

<https://topsectorlogistiek.nl/unieke-pilot-gestart-afval-in-balen-vervoerd-over-water/>

Binnenvaart | Arwen Korteweg. Port of Rotterdam. (z.d.).

<https://www.portofrotterdam.com/nl/logistiek/verbindingen/intermodaal-transport/binnenvaart>

Arbeidstijden Binnenvaart | Rob Borremans. Binnenvaart Kennis. (2022, 24 september).

<https://www.binnenvaartkennis.nl/2021/10/arbeidstijden-binnenvaart/>

Mobiele Havenkraan (MHC) | VDL Container Systems. (z.d.).

<https://www.vdlcontainersystems.com/nl/spreaders/mobiele-havenkraan>

Bestemmingsplan industriehaven 2006 | Gemeente Harlingen. (2008, 18 december).

[https://ruimtelijkeplannen.nl/documents/NL.IMRO.00720000Industriehaven-/v\\_NL.IMRO.00720000Industriehaven-.pdf](https://ruimtelijkeplannen.nl/documents/NL.IMRO.00720000Industriehaven-/v_NL.IMRO.00720000Industriehaven-.pdf)

Partiële herziening bestemmingsplan industriehaven 2006 | Gemeente Harlingen. (2014, 10 december).

<https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2015-155/1/Bijlage/exb-2015-155.pdf?utm>

Beheersverordening Heerenveen-Kanaal West | Gemeente Heerenveen. (2015, 19 juni).

[https://ruimtelijkeplannen.nl/documents/NL.IMRO.0074.BHVkanaalW-VG01/r\\_NL.IMRO.0074.BHVkanaalW-VG01.html](https://ruimtelijkeplannen.nl/documents/NL.IMRO.0074.BHVkanaalW-VG01/r_NL.IMRO.0074.BHVkanaalW-VG01.html)

Regels op de kaart | Omgevingsloket. (z.d.).

<https://omgevingswet.overheid.nl/regels-op-de-kaart/zoeken/locatie>

NEN 5740:2023- Bodemonderzoek voor verkennend en nader onderzoek | Nederlands Normalisatie-Instituut. (2023, 1 oktober).

<https://www.nen.nl/nen-5740-2023-nl-315089>

De Vos, J. (2014). Ontwerp van kade constructies [Hoofdstuk 10]. In Werkgroep Waterbouw KIVI afdeling Hoger Onderwijs Techniek (Red.), *Reader HBO Geotechniek* (pp. 10-1 – 10-26). KIVI.

Ondergrondgegevens | BRO Lokaal. (z.d.).

<https://www.brolokaal.nl/ondergrondgegevens>

Getijgegevens | Rijkswaterstaat. (z.d.).

<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata-en-waterberichtgeving/waterdata/getij>

Brandveiligheidsinstallaties | Informatiepunt Leefomgeving. (z.d.).

<https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/gebruiken-bouwwerk/rijksregels/brandveiligheidsinstallaties/>

Binnenvaartregeling | Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2024, augustus 29).

<https://www.binnenvaartkennis.nl/wp-content/uploads/2024/09/wettennl-Regeling-Binnenvaartregeling-BWBR0025958.pdf>

Water governance in the Netherlands: Fit for the future? | OECD. (2014).

<https://doi.org/10.1787/9789264102637-en>

Ussystem Wall DS | Unilin. (z.d.).

[https://www.unilininsulation.com/nl-nl/producten/Ussystem-Wall-DS\\_MSP0000182048](https://www.unilininsulation.com/nl-nl/producten/Ussystem-Wall-DS_MSP0000182048)