

- Titel project: **Onderzoek modulaire smart grid voor binnenvaart**
 - Projectperiode: 1-3-2024 t/m 28-2-2025
 - NAW gegevens indienende partij: MartTronics Maritiem Elektro BV

 - Naam projectleider: Martijn van der Woude
 - Email projectleider: martijn@martronics.nl
 - Telefoonnummer projectleider: 06-10547344

 - Samenwerkingspartners: Grid.com BV
 - Email contactpersoon: m.vanleest@grid.com
 - Telefoonnummer contactpersoon: 06-27893343
-
- Maritiem speerpunt waarop het MIIP van toepassing is
Towards Zero Emissions:
 - Emissiereductie: Door de efficiëntie te optimaliseren, draagt een EMS bij aan de vermindering van schadelijke emissies, zoals CO₂, NO_x, SO_x, en fijnstof, wat bijdraagt aan een schonere maritieme omgeving (NML speerpunt 1).
 - Operationele optimalisatie: Een slim EMS kan helpen bij het optimaliseren van operationele processen, zoals routeplanning en snelheidsregeling, wat leidt tot verder verbeterde efficiëntie in varen (NML speerpunt 3).
-
- Inhoudelijk rapport waarin verloop en eindresultaten, maar ook het beoogde vervolgtraject en de haalbaarheid van het gesubsidieerde project zijn vastgelegd:
 - **Doelstellingen van het MIIP:**

Onderzoeken of we technisch en economisch een modulair Maritiem-EMS kunnen ontwikkelen dat specifiek geschikt is voor een binnenvaartschip van gemiddelde grootte, met de capaciteit om real-time monitoring en aanpassing van energieverbruik te realiseren.
 - **Uitvoering van het MIIP:**

1. Inleiding

In het kader van de regeling Maritieme Innovatie Impulsprojecten (MIIP) heeft MarTronics, in samenwerking met Grid.com, een onderzoeksproject uitgevoerd naar de ontwikkeling van een modulair Maritiem Energy Management Systeem (EMS) voor de binnenvaart. Dit eindverslag beschrijft de aanleiding, doelstellingen, aanpak, resultaten, conclusies en het beoogde vervolgtraject van het project. Ook bevat dit rapport de technische opbouw van het ontwikkelde proof of concept en de evaluatie van de haalbaarheid voor toekomstige opschaling.

2. Doelstelling

Na dit onderzoek willen we verder met de ontwikkeling en vermarkting van een EMS dat het energieverbruik real-time kan monitoren en aansturen, dus uiteindelijk een belangrijke bijdrage aan emissiereductie mits schaalbaar voor meerdere schepen of locaties.

Subdoelen:

- In kaart brengen van de technische eisen voor een modulair EMS.
- Ontwikkeling van een softwarematig proof of concept.
- Integratie van emissie- en energiecomponenten.
- Toetsing van economische en technische haalbaarheid in de werkplaats en aan boord van een of meerdere binnenvaartschepen.
- Voorbereiding op een prototypefase en marktintroductie.

3. Maritieme context en relevantie

Het onderzoek sluit aan bij de speerpunten van Nederland Maritiem Land, met name:

- NML Speerpunt 1 – Towards Zero Emissions: door emissiedata inzichtelijk te maken, helpt het systeem bij reductie van CO₂, NO_x, SO_x en fijnstof.
- NML Speerpunt 3 – Operationele optimalisatie: het EMS biedt inzicht in energieverbruik en maakt optimalisatie van vaargedrag mogelijk.

4. Onderzoeksaanpak

Het project is opgezet in vier fasen:

4.1 Fase 1: Behoeftanalyse en systeemontwerp

In deze fase zijn gerichte interviews gehouden met schippers en operators actief in de binnenvaart:

- (M)R.Kerkhof, Zwartsluis, 8-3-2024
- (M)S.Zijda, Hasselt, 24-5-2024
- (M)S van Amstel, Meppel, 15-03-2024
- P.Romijn, Hasselt, 26-04-2024
- M.Selles, Zwartsluis 10-05-2024
- R. Stuuat, Zwolle 07-06-2024

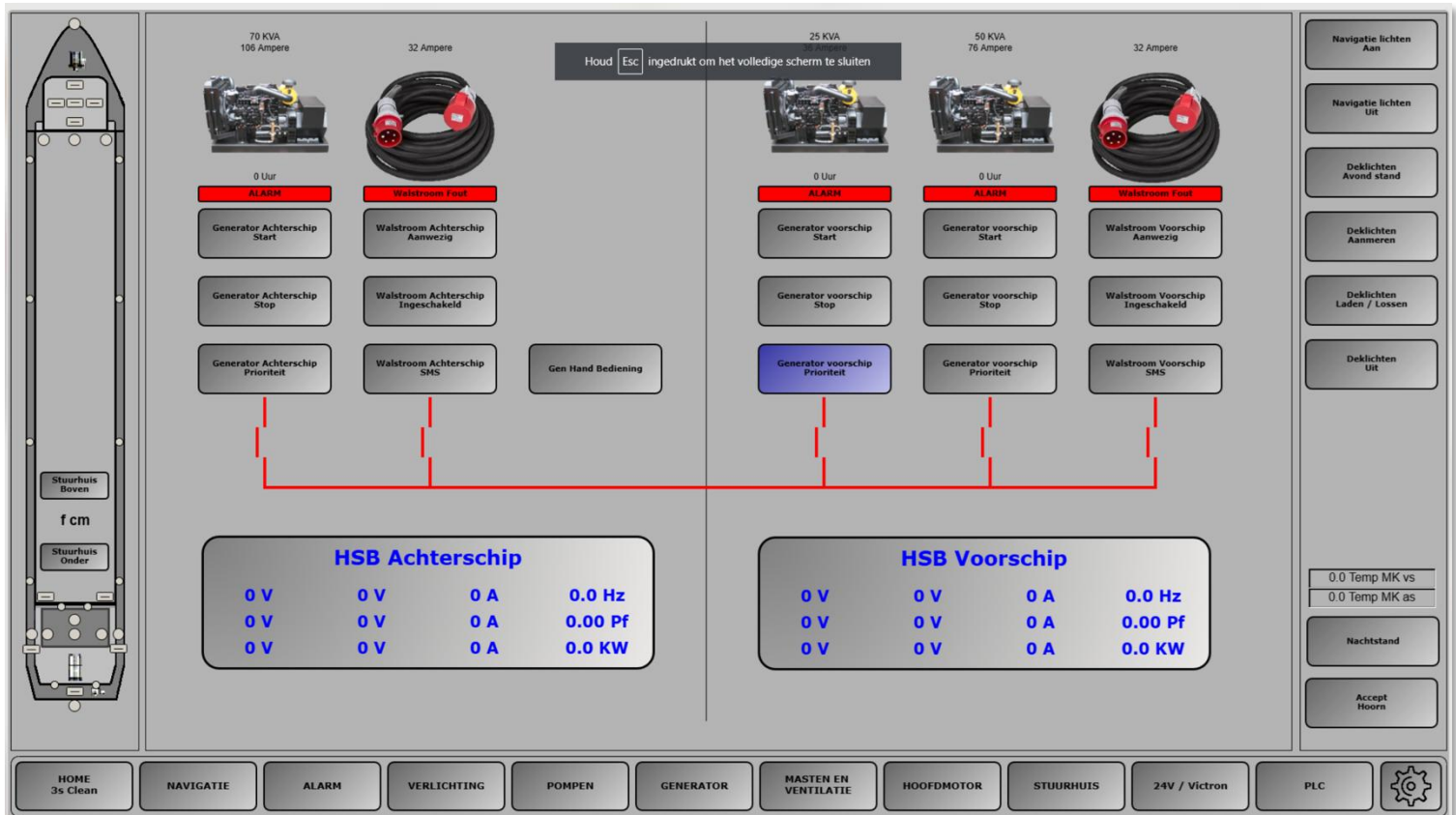
Hierbij lag de nadruk op vragen als: Welke energiecomponenten worden momenteel gebruikt? Welke gegevens missen zij in hun dagelijkse operaties? En welke tools gebruiken ze voor energie- of routebeheer?

Uit deze gesprekken bleek dat er weinig inzicht is in realtime energieverbruik, dat emissiegegevens vaak ontbreken en dat er veel behoefte is aan een laagdrempelig en visueel systeem. Ook bleek dat verschillende scheepstypen (drogelading, containervaart, passagiersvervoer) sterk uiteenlopende energieprofielen kennen.

Parallel is een benchmark uitgevoerd van EMS-oplossingen in de gebouwde omgeving en industriële sector. Elementen zoals modulaire opbouw, datalogging en remote beheer zijn daar gemeengoed, maar in de maritieme sector nauwelijks doorontwikkeld. Deze inzichten zijn samengebracht in een functioneel en technisch ontwerp van een modulair EMS toegespitst op de binnenvaart: schaalbaar, real-time, visueel, en geschikt voor meerdere componenttypen.

4.2 Fase 2: Ontwikkeling proof of concept (PoC)

Op basis van het systeemontwerp is een eerste versie van het EMS gerealiseerd binnen het GRID-platform. De frontend werd vormgegeven als een visueel grid waarin energiecomponenten (zoals batterijen, zonnepanelen, omvormers) als drag-and-drop blokken toegevoegd konden worden. Elk component kreeg zijn eigen set parameters zoals status, input/output en refresh rate.



In de backend is een datastructuur opgezet waarbij via API-koppelingen real-time informatie kon worden opgehaald of gesimuleerd. De eerste datastromen omvatten:

- Dynamische componenten met interval-refresh
- Weerdata via een KNMI API met real-time weerinformatie per locatie
- Mockdata voor batterijen, zonnepaneeloutput en motorverbruik

Daarnaast is een device library opgezet met verschillende types energiecomponenten. Elk device is configureerbaar op type, locatie, status en verbruiksscenario. Deze componenten zijn verwerkt in het visuele grid, met een directe live-uitwisseling van gegevens.

4.3 Fase 3: Test en evaluatie

De PoC werd uitvoerig getest binnen een simulatieomgeving (software Grid en werkplaats MarTronics) waarin een virtueel schip werd uitgerust met diverse energiecomponenten. Hierbij werden realistische scenario's nagebootst, zoals:

- Wisselende belasting op de accu
- Variërende zonnepaneeloutput gedurende een dagcyclus
- Piekbelasting tijdens motoractivering

Tijdens deze tests werd gekeken naar:

- Functionele betrouwbaarheid: alle componenten werkten zoals ontworpen; storingen werden correct afgehandeld.
- Schaalbaarheid: het systeem bleek stabiel tot meer dan 100 actieve componenten binnen één sessie.
- Gebruiksvriendelijkheid: door visuele feedback en het eenvoudige grid-systeem konden gebruikers zonder technische achtergrond het systeem intuïtief gebruiken.

Ook is getest op netwerkstoringen, waarbij de retry-logica van de backend succesvol bleek. Het systeem herstelde zichzelf automatisch zonder dataverlies. Deze robuustheid bevestigt de geschiktheid voor omgevingen met onbetrouwbare connectiviteit.



4.4 Fase 4: Haalbaarheidsstudie en vervolgon ontwerp

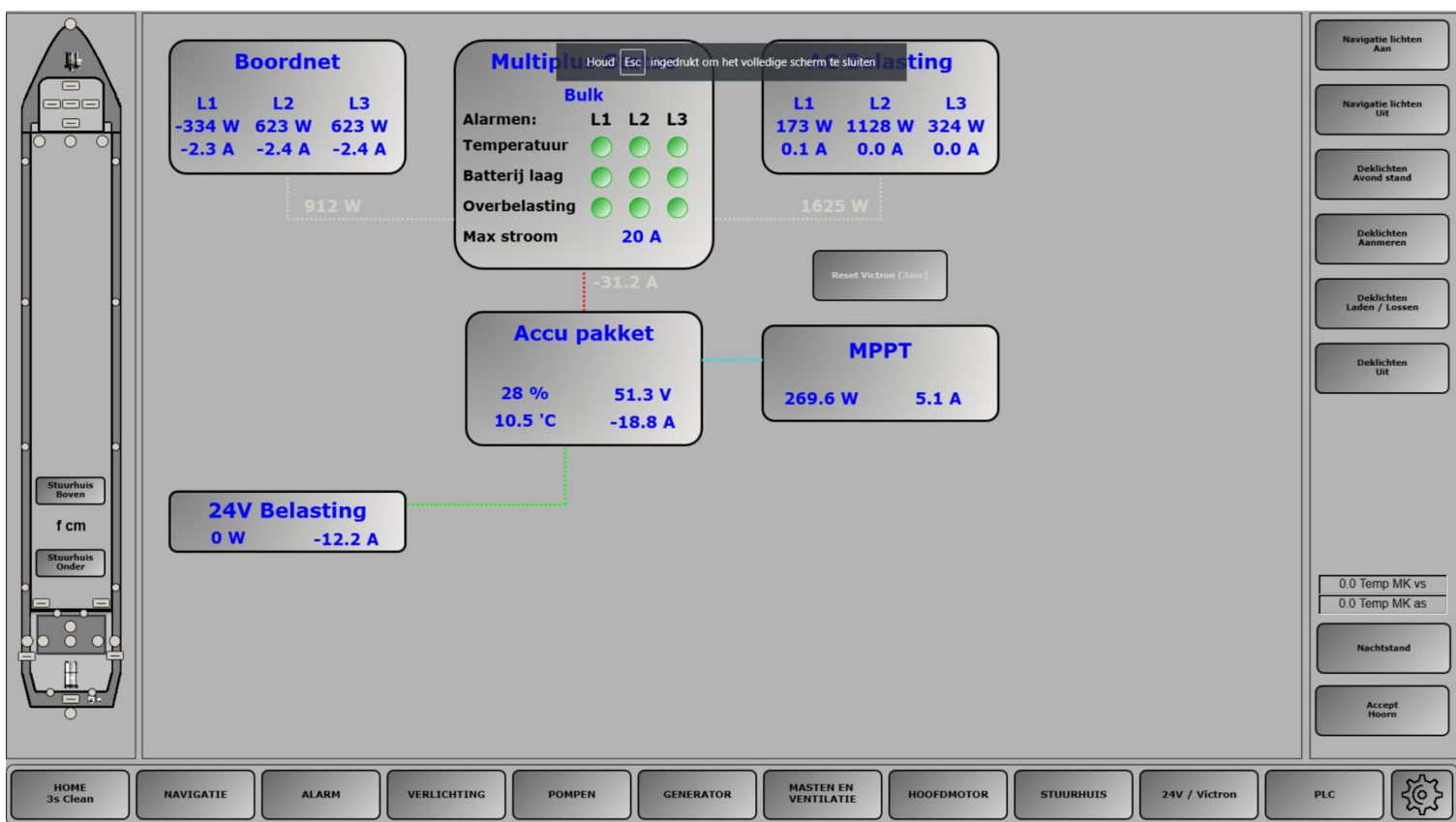
Op basis van het werkende prototype is een kosten-batenanalyse opgesteld. De verwachte voordelen bij toepassing op een gemiddeld binnenvaartschip zijn:

- 5–10% besparing op brandstofverbruik door optimalisatie van energiegebruik en snelheid
- 10–20% minder emissiepieken (PM/NO_x/SO_x) bij bewuste operationele aanpassing op basis van meetdata
- Reductie in onderhoudskosten door vroegtijdige detectie van inefficiënties of defecten

Daarnaast is een eerste ontwerp opgesteld voor de opschaling naar een werkend prototype met fysieke hardware (sensoren, scherminterfaces) en koppeling met bestaande boordcomputers. De noodzakelijke vervolgstappen zijn in kaart gebracht, waaronder:

- Selectie en certificering van sensoren voor fijnstof, NO_x en CO₂
- Verduurzaming van de backend met databescherming voor multi-tenantgebruik
- Opleidingstrajecten voor schippers en vlootbeheerders

Deze fase resulteerde in een duidelijk implementatiepad richting een pilot in de praktijk.



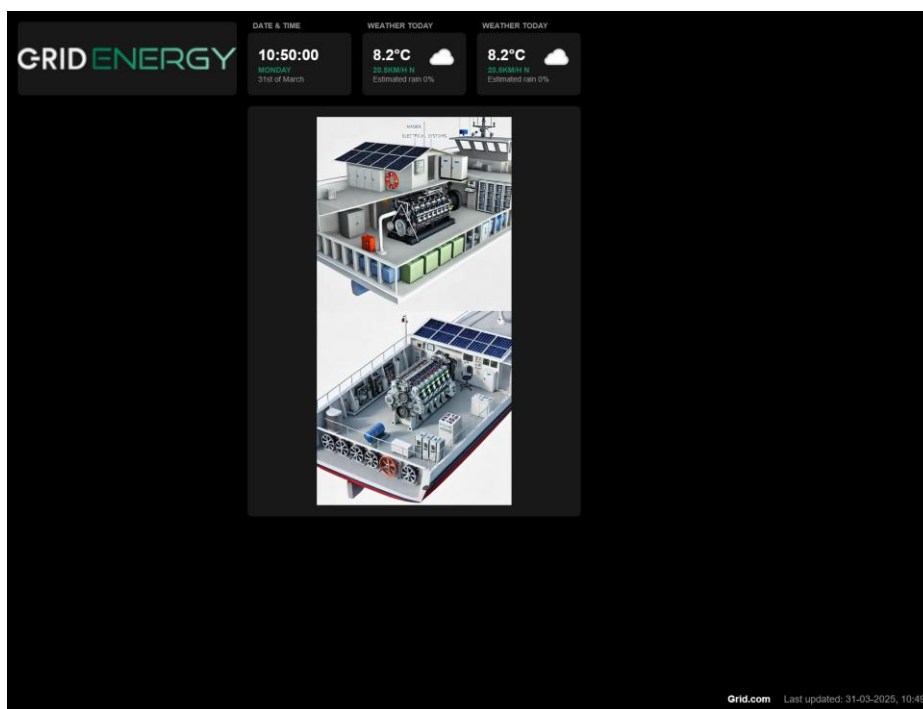
5. Proof of Concept: beschrijving en werking

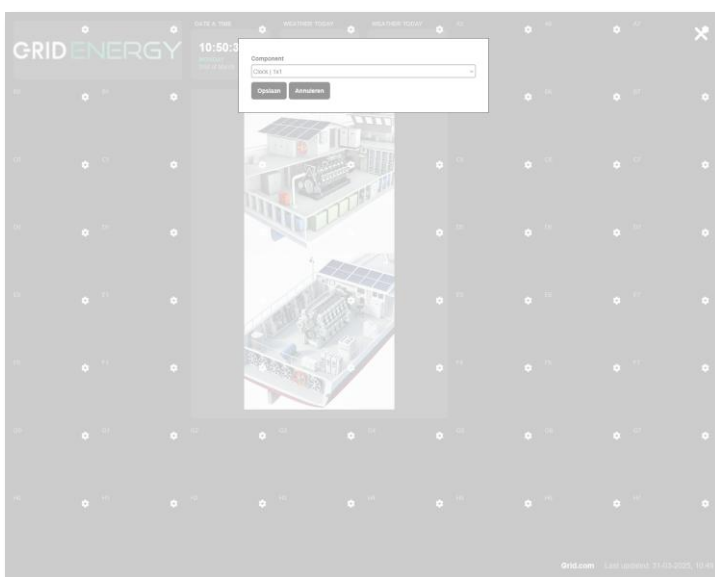
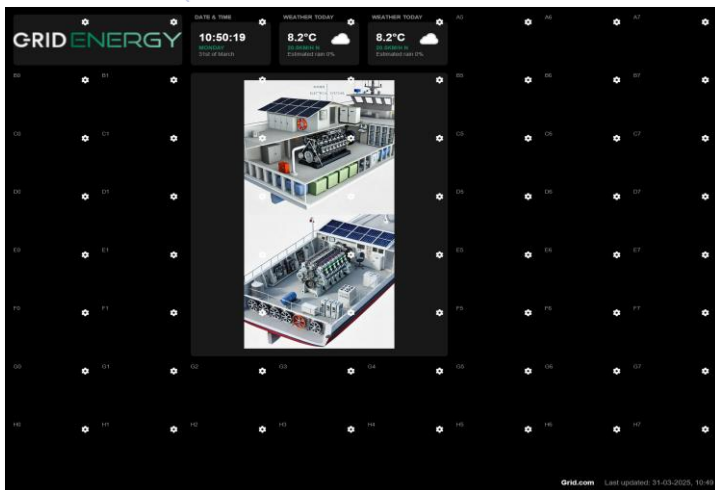
Het proof of concept is ontwikkeld binnen het GRID-platform. Belangrijke elementen:

- Grid Canvas: visuele omgeving waarin componenten geplaatst kunnen worden op een schip-indeling.
- Dynamische componenten: modules zoals "Clock", "Weather Today" en "Random Color" met real-time refresh-rates.
- Device Management: beheer van devices en types (zoals windmolens, laadpalen, batterijen, zie bijgevoegde screenshots).
- Cast integratie: weergave op schermen aan boord met realtime waarden.
- Statusmonitoring: visuele en tekstuele feedback over actuele waarden.

Screenshots 1 t/m 10 tonen respectievelijk:

1. Componentenbeheer
2. Toevoeging van dynamische componenten
3. Dashboard met live weersinformatie
4. Locatiestructuur (o.a. testlocatie: Boot EMS)
5. Devicebeheer (zonnepanelen, batterij, etc.)
6. Device types met verwerkingsnippets
7. Cast lijst
8. Grid-interface met rooster (B0 t/m H7) en aanpasbare blokken
9. Selectie van component via popup
10. Device group met gekoppelde zonnepanelen





GRID
Title

- Dashboard
- Components**
- Device Groups
- Device Types
- Devices
- TV Casts
- Organizations
- Gebruikers
- Locaties
- Mail Accounts
- Menu Items
- Modules
- Logout

```
SELECT 'r'.record_id, 'r'.title, 'r'.record_type, 'r'.refresh, 'r'.record_status
FROM 'components' AS 'r'
WHERE ('r'.record_status IN ('0', '1', '2'))
ORDER BY 'r'.record_id ASC
LIMIT 50;
DEBUG: /views/default/subviews/resource-list.php:64
```

COMPONENTS

				Titel	Type	Maat	Refresh
<input checked="" type="checkbox"/>				Random Color	Color	3x5	Every 1 Minute
<input type="checkbox"/>				Random Color	Color	1x1	Every 5 Minutes
<input type="checkbox"/>				Random Color	Color	2x1	Every 1 Minute
<input type="checkbox"/>				Random Color	Color	1x3	Every 1 Minute
<input type="checkbox"/>				Clock	Clock	1x1	Every 60 Minutes
<input type="checkbox"/>				Weather Today	Weather Today	1x1	Every 60 Minutes

Found 6 records.

--- Choose a bulkaction ---
--- Choose a page ---

GRID Title

- Dashboard
- Components
- Device Groups
- Device Types
- Devices
- TV Casts
- Organizations
- Gebruikers
- Locaties
- Mail Accounts
- Menu Items
- Modules
- Logout

COMPONENT / BIJWERKEN

Algemeen

Type * Clock

Titel * Clock

Omschrijving
Omschrijving

Status * Ingeschakeld

Width * 1

Height * 1

Refresh * Every 60 Minutes

Opslaan Bijwerken Annuleren

GRID Title

- Dashboard
- Components
- Device Groups
- Device Types
- Devices
- TV Casts
- Organizations
- Gebruikers
- Locaties
- Mail Accounts
- Menu Items
- Modules
- Logout

```
SELECT 'r'.record_id, 'r'.title, 'r'.devicetype_id, 'r'.organization_id, 'r'.device_ids, 'r'.record_status
FROM 'i_devicegroups' AS 'i'
WHERE ('r'.record_status IN ('0', '1', '2'))
ORDER BY 'r'.title ASC, 'r'.record_id ASC
LIMIT 50;
DEBUG: /views/default/subviews/resource-list.php:64
```

DEVICE GROUPS

<input checked="" type="checkbox"/>			Titel	Type	Organization	Devices
<input checked="" type="checkbox"/>			Zonnepanelen	Zonnepaneel	Grid.com	5x

Found 1 records.

--- Choose a bulkaction --- > --- Choose a page --- >

GRID
Title

- Dashboard
- Components
- Device Groups
- Device Types**
- Devices
- TV Casts
- Organizations
- Gebruikers
- Locaties
- Mail Accounts
- Menu Items
- Modules
- Logout

```
SELECT 'r'.record_id, 'r'.title, 'r'.snippet, 'r'.record_status
FROM 't_devicetypes' AS 'r'
WHERE ['r'.record_status' IN ('0', '1', '2')]
ORDER BY 'r'.title ASC, 'r'.record_id ASC
LIMIT 50;
DEBUG: /views/default/subviews/resource-list.php:64
```

DEVICE TYPES

		Titel	Snippet voor verwerken data
<input checked="" type="checkbox"/>		Batterij	/snippets/devices/batterij
<input checked="" type="checkbox"/>		Gasmeter	/snippets/devices/gasmeter
<input checked="" type="checkbox"/>		Grid/Net	/snippets/devices/stroommeter
<input checked="" type="checkbox"/>		Laadpaal	/snippets/devices/laadpaal
<input checked="" type="checkbox"/>		Omvormer (Zon)	/snippets/devices/stroommeter
<input checked="" type="checkbox"/>		Stroommeter	/snippets/devices/stroommeter
<input checked="" type="checkbox"/>		Temperatuurmeter	/snippets/devices/temperatuurmeter
<input checked="" type="checkbox"/>		Tijdmeter	/snippets/devices/tijdmeter
<input checked="" type="checkbox"/>		Warmtepomp	/snippets/devices/warmtepomp
<input checked="" type="checkbox"/>		Watermeter	/snippets/devices/watermeter
<input checked="" type="checkbox"/>		Windkrachtmeter	/snippets/devices/windkrachtmeter
<input checked="" type="checkbox"/>		Windmolen	/snippets/devices/windmolen
<input checked="" type="checkbox"/>		Zonnepaneel	/snippets/devices/zonnepaneel

GRID
Title


- Dashboard
- Components
- Device Groups
- Device Types
- Devices**
- TV Casts
- Organizations
- Gebruikers
- Locaties
- Mail Accounts
- Menu Items
- Modules
- Logout

```
SELECT 'r'.record_id, 'r'.record_code, 'r'.title, 'r'.devicetype_id, 'r'.organization_id, 'r'.record_status
FROM 't_devices' AS 'r'
WHERE ['r'.record_status' IN ('0', '1', '2')]
ORDER BY 'r'.title ASC, 'r'.record_id ASC
LIMIT 50;
DEBUG: /views/default/subviews/resource-list.php:64
```

DEVICES

		Code	Titel	Type	Organization
<input checked="" type="checkbox"/>		B001	Batterij 1A	Batterij	Grid.com
<input checked="" type="checkbox"/>		Z002	Zonnepaneel #2	Zonnepaneel	Grid.com
<input checked="" type="checkbox"/>		Z003	Zonnepaneel #3	Zonnepaneel	Grid.com
<input checked="" type="checkbox"/>		Z004	Zonnepaneel #4	Zonnepaneel	Grid.com
<input checked="" type="checkbox"/>		Z005	Zonnepaneel #5	Zonnepaneel	Grid.com
<input checked="" type="checkbox"/>		Z00A	Zonnepaneel A	Zonnepaneel	Grid.com







Found 6 records.

GRID Title 



- Dashboard
- Components
- Device Groups
- Device Types
- Devices
- TV Casts**
- Organizations
- Gebruikers
- Locaties
- Mail Accounts
- Menu Items
- Modules
- Logout


```
SELECT 'r'.record_id, 'r'.record_code, 'r'.title, 'r'.record_status
FROM 't_tvcasts' AS 'r'
WHERE ('r'.record_status IN ('0', '1', '2'))
ORDER BY 'r'.title ASC, 'r'.record_id ASC
LIMIT 50;
DEBUG /view/default/subviews/resource-list.php:64
```

TV CASTS

<input checked="" type="checkbox"/>			Titel
<input type="checkbox"/>			Test
<input type="checkbox"/>			Test boot

Found 2 records.




--- Choose a bulkaction --- > --- Choose a page --- >  

GRID Title 



- Dashboard
- Components
- Device Groups
- Device Types
- Devices
- TV Casts
- Organizations
- Gebruikers
- Locaties**
- Mail Accounts
- Menu Items
- Modules
- Logout

```
SELECT 'r'.record_id, 'r'.title, 'r'.organization_id, 'r'.record_status
FROM 't_locations' AS 'r'
WHERE ('r'.record_status IN ('0', '1', '2'))
ORDER BY 'r'.record_id ASC
LIMIT 50;
DEBUG /view/default/subviews/resource-list.php:64
```

LOCATIES

<input checked="" type="checkbox"/>		Titel	Organization
<input type="checkbox"/>		Blankenstijn 260	GMU.online
<input type="checkbox"/>		Boot EMS	MarTronics

Found 1 records.

--- Choose a bulkaction --- > --- Choose a page --- >  

6. Resultaten

Hieronder worden onze resultaten van dit onderzoek verder uitgewerkt, het gaat om:

- A. Een poc van een modulair EMS, visueel uitbreidbaar en schaalbaar.
- B. Succesvolle integratie van real-time datastromen.
- C. Mogelijkheid om toekomstige metingen van CO₂, NO_x, SO_x, fijnstof, routegegevens en vaarsnelheden toe te voegen.
- D. Interface die eenvoudig uitbreidbaar is naar andere schepen.
- E. Bewezen functionele betrouwbaarheid binnen simulatieomgeving.

A. Modulaire opbouw en schaalbaarheid

Ons Proof of Concept EMS is ontworpen als een servicegeoriënteerde architectuur (SOA) waarbij componenten als afzonderlijke services functioneren binnen een centrale orchestrator: het GRID-platform. Dit betekent dat nieuwe energiebronnen (zoals zonnepanelen of batterijpakketten), externe sensoren (zoals luchtkwaliteitssensoren) of metadata (zoals route-informatie) als losse modules geïntegreerd kunnen worden zonder impact op de hoofdstructuur. Elke component maakt gebruik van een gestandaardiseerde JSON-structuur voor uitwisseling van data, waardoor dynamische uitbreiding in real-time mogelijk is.

De schaalbaarheid wordt ondersteund door een container-gebaseerde backend-structuur waarin services op microserviceniveau kunnen worden gedistribueerd per vaartuig. Dit is met name van belang voor schepen met hybride of multi-engine configuraties, waarbij specifieke energieblokken per sectie gemonitord worden.

B. Integratie en verwerking van real-time data

De core-engine verwerkt inkomende datastromen via een asynchrone event handler, waarbij een wachtrij van gebeurtenissen prioriteit geeft aan real-time sensorgegevens zoals energieverbruik en emissiemetingen. Hierdoor kunnen fluctuaties binnen milliseconden worden verwerkt en doorgezet naar de visuele interface.

Voor emissiemetingen betekent dit dat bijvoorbeeld een piek in fijnstofconcentratie direct zichtbaar is op het dashboard, wat de operator in staat stelt handmatig of automatisch bij te sturen (bijv. toerentalverlaging of overschakeling naar accuvermogen).

C. Sensorintegratie en emissiereductie

Het systeem is voorbereid op integratie van de volgende sensorcategorieën:

- CO₂-sensoren (NDIR gebaseerde sensoren met seriële output): identificeren brandstofverbruik in relatie tot operationele belasting.
- NO_x/SO_x-sensoren (elektrochemische of optische sensoren): met name relevant bij dieselmotoren. Deze data kunnen gekoppeld worden aan motorgegevens om vervuilende regimes te vermijden.
- Fijnstofsensoren (laser dispersie metingen, zoals de PMS7003): meten fijnstofconcentratie in PM_{2.5} en PM₁₀ in uitlaatgas of machinekamers.

Door deze sensordata te combineren met route- en snelheidsinformatie, kunnen zogeheten "emissie hotspots" in kaart worden gebracht. In toekomstige versies kan dit leiden tot geautomatiseerde emissie-geoptimaliseerde vaaradviezen.

D. Interface en multischip-ondersteuning

De interface is ontworpen als een multi-tenant systeem waarbij meerdere schepen als aparte instantiaties worden beheerd binnen één centrale beheeromgeving. Elk

schip krijgt een eigen grid met aangepaste componentlayout. In de backend zijn deze schepen verbonden via een API gateway die authenticatie, logging en databeheer centraliseert.

In de praktijk betekent dit dat bijvoorbeeld een vlootbeheerder emissiegegevens per schip kan monitoren, vergelijken en optimaliseren. Data zijn exporteerbaar naar CSV, JSON of via webhook te integreren in vlootdashboards.

E. Simulatieomgeving en betrouwbaarheid

Tijdens de validatiefase is een reeks stress-tests uitgevoerd:

- Data-injectie met 1Hz updates voor 12 uur non-stop.
- Test van 100+ componenten simultaan in één grid.
- Simulatie van netwerkuitval en herconnectie.

Uit deze tests bleek dat het systeem consistent bleef functioneren zonder dataverlies of interface-fouten. Belangrijk hierbij is het gebruik van lokale caching in combinatie met retry-logica bij API-verlies. Deze robuustheid is cruciaal voor toepassing in operationele omstandigheden zoals in de binnenvaart, waar connectiviteit niet altijd gegarandeerd is.

Haalbaarheid

Technisch:

- Systeem is robuust en schaalbaar.
- Gebruik van standaardcomponenten en moderne webtechnologie.

Economisch:

- Kostenreductie door minder brandstofverbruik en onderhoud.
- Potentie voor uitrol als SaaS-oplossing.

Bronnen

- Maritieme Innovatieagenda (NML, 2023)
- Interne documentatie GRID-platform
- Ontwerpdocument EMS PoC v0.7
- TNO Emissie-index binnenvaart (2022)
- KNMI API voor weerdata
- Simulatiebronnen GMU.online testomgeving

Realisatie uren en kosten per deelnemer (zie bijlagen in excel en pdf)

- De inhoudelijke eindrapportage dient publiek toegankelijk te zijn, door onder meer publicatie op minimaal de website van NML, een te raadplegen (papieren) document, een artikel in een maritiem technisch tijdschrift o.i.d. en/of een voor de sector toegankelijke presentatie.
(dit volgt na afronding en uitbetaling subsidie)
- Ter zake van de loonkosten dient door middel van een urenadministratie vastgestelde urenverantwoording aanwezig te zijn. De urenstaten zijn per medewerker gespecificeerd waarbij de medewerker wordt aangeduid als junior, senior of projectleider. Indien getekende urenstaten ontbreken, dan komt het project niet langer in aanmerking voor subsidie.
(getekende urenstaten zijn bijgevoegd in excel en pdf, inclusief een totaal kostenoverzicht in vergelijking met de begroting)
- Facturen voor inhuur derden en overige kosten moeten worden toegevoegd aan de eindrapportage. Tevens moeten betalingsbewijzen van de betreffende facturen worden aangeleverd. Indien de facturen en betalingsbewijzen niet worden aangeleverd, dan komt het project niet langer in aanmerking voor subsidie.
(facturen en betaalbewijzen van materiaalkosten zijn bijgevoegd in pdf, en de gereden km's naar binnenvaartschepen staat in excel MarTronics)
- 2 nieuwsberichten (voorjaar en najaar)
(dit volgt na afronding en uitbetaling subsidie)