



# Emissieloos bouwen in de praktijk

Evaluatie dijkversterking  
Hansweert

Datum	17 april 2026
Versie	2.0
Documentnr.	PRW12-789699074
Status	Definitief

## Voorwoord

‘Dijkversterkingen emissieloos realiseren in 2030; hoe doen we dat?’, dat vroeg het projectteam Hansweert zich af in 2020. Ondanks dat de dijkversterking in 2027 gereed moest zijn, was het duidelijk dat direct een eerste stap gemaakt moest worden om de ambitie in 2030 voor het dijkversterkingsprogramma te kunnen gaan verwezenlijken. En zo geschiedde.

Deze rapportage beschrijft de weg die is doorlopen om de materieelstukken op het werk te krijgen en de leerervaringen die zijn opgedaan in de praktijk. Een onbekende weg van ambitie naar realisatie in de praktijk. Zowel het waterschap, als HWBP, als combinatie Answest hadden een ambitie om de stap richting emissieloos te gaan maken. Om de eerste stappen als koplopers voor elkaar te krijgen zijn echter visionairs nodig met lef vanuit een project. Ondertekende wil hierbij graag specifiek Wilbert Geuze (van Oord) bedanken. Wilbert was de initiatiefnemer en aanjager namens de aannemerscombinatie Answest (van Oord - KWS). Daarnaast wil ik graag Jan Baltissen van het HWBP bedanken. Zonder de goede samenwerking tussen waterschap, combinatie Answest en HWBP hadden de eerste stappen nooit gemaakt kunnen worden en was het nooit een succes geworden. Daarnaast veel dank aan de combinatie Answest, met name Rob van Koeveringe (KWS) en Tijmen Boersma (van Oord), die het plan werkelijkheid hebben gemaakt. Ondanks de tegenslagen die zijn opgetreden tijdens de realisatie, hebben we doorgepakt en de ambitie gerealiseerd.

We hopen met deze rapportage een extra bijdrage te leveren aan de transitie naar emissieloos realiseren van dijkversterkingen.

### **Auteur:**

Pol van de Rest (waterschap Scheldestromen)

### **Met bijdragen van:**

Klaas Kaslander (waterschap Scheldestromen)

Zef Diddens (waterschap Scheldestromen)

Jan Baltissen (Hoogwaterbeschermingsprogramma - HWBP)

Tijmen Boersma (van Oord, namens combinatie Answest)

### **Gecontroleerd door:**

IPM-team project Hansweert (waterschap Scheldestromen)

Antoinette Verkuijl-Rath (waterschap Scheldestromen)

Rob van Koeveringe (KWS, namens combinatie Answest)

# Inhoudsopgave

<b>1. Introductie</b>	<b>5</b>
1.1 Inleiding	5
1.2 Doel rapportage	6
1.3 Scope rapportage	6
1.4 Projectachtergrond	6
1.5 Leeswijzer	8
<b>2 Projectoverzicht</b>	<b>9</b>
2.1 Gebied	9
2.2 Normering	9
2.3 Kentallen	10
2.4 Werkzaamheden	10
2.5 Partijen en contract	14
2.6 Planning elektrisch materieel	14
2.7 Projectkosten en kosten inzet elektrisch materieel	15
<b>3 Van ambitie naar plan</b>	<b>16</b>
3.1 Duurzaamheidsambities	16
3.2 Aanbesteding bouwteampartner	18
3.3 Marktonderzoek en businesscases	19
3.4 Financiering + struikelblokken per partij	20
<b>4 Het plan</b>	<b>23</b>
4.1 Materieel	23
4.2 Referentie en bepaling CO <sub>2</sub> -reductie	23
4.3 Contract	25
4.4 Risico's	25
4.5 Laadplein	25
<b>5 Laden</b>	<b>26</b>
5.1 Laadplein	26
5.2 Alternatieven laadlocaties	28
5.3 Laden	28
5.4 Capaciteit laden	29
<b>6 Materieel en accu's</b>	<b>31</b>
6.1 Materieel	31
6.2 Levering en storing materieel	33
6.3 Accupakketten	35

6.4	<i>Inzet hybride materieel</i> .....	36
<b>7</b>	<b>Logistiek en uitvoerbaarheid</b> .....	<b>37</b>
7.1	<i>Transportroutes in relatie tot de uitdagingen</i> .....	37
7.2	<i>Impact op uitvoerbaarheid en producties</i> .....	38
<b>8</b>	<b>Veiligheid</b> .....	<b>39</b>
8.1	<i>Welke veiligheidsmaatregelen zijn toegepast</i> .....	39
8.2	<i>Risico's</i> .....	39
8.3	<i>Maatregelen</i> .....	40
8.4	<i>Regelgeving en richtlijnen</i> .....	40
<b>9</b>	<b>Leerpunten en advies</b> .....	<b>41</b>
9.1	<i>Inleiding</i> .....	41
9.2	<i>Doelstelling CO<sub>2</sub>-reductie behaald</i> .....	42
9.3	<i>Elektrisch materieel succesvol toegepast in dijkversterking</i> .....	43
9.4	<i>Leerervaringen en advies geborgd en gedeeld</i> .....	44
9.5	<i>Advies voor toekomstige projecten</i> .....	44
9.5.1	<i>Vroegtijdig inzicht krijgen in de opgave</i> .....	44
9.5.2	<i>Inzicht krijgen in overige randvoorwaarden</i> .....	45
9.5.3	<i>Raadplegen van nationale programma's</i> .....	45
9.5.4	<i>Creëren van duidelijke visie binnen de organisatie</i> .....	45
9.6	<i>Conclusie</i> .....	46
	<b>Bijlage 1: Overzicht leerpunten</b> .....	<b>48</b>

## 1. Introductie

### 1.1 Inleiding

Sinds 2016 is waterschap Scheldestromen bezig met het project Dijkversterking Hansweert. Op het moment van schrijven (april 2026) is de realisatie van het werk afgerond; alleen overdracht en kleine restpunten resteren nog. Tijdens het project zijn zowel binnen het waterschap, bij de aannemer, als op landelijk niveau ambities ontstaan om CO<sub>2</sub> uitstoot te reduceren van dijkversterkingen en zelfs emissieloos te gaan werken. Dit is mede bekrachtigd in convenanten.<sup>1</sup> Het project Dijkversterking Hansweert heeft een eerste mooie stap gemaakt richting het werken aan een emissieloze realisatie.

Het hoofddoel binnen Dijkversterking Hansweert was het leveren van een concrete bijdrage aan de transitie naar emissieloos realiseren van dijkversterkingen. Dit is vertaald naar drie samenhangende doelen:

1. het opnemen en realiseren van een meetbare CO<sub>2</sub> reductiedoelstelling binnen het project, met inzet van elektrisch materieel als belangrijkste maatregel;
2. het opdoen van praktische ervaring met toepassing van elektrisch materieel in een grootschalige dijkversterking, inclusief randvoorwaarden zoals energievoorziening, planning, organisatie en veiligheid;
3. het vastleggen en delen van de opgedane kennis, leerpunten en advies, zodat volgende projecten sneller, voorspelbaarder en met minder risico kunnen opschalen.



<sup>1</sup> Dit was in het begin voornamelijk het landelijke Klimaatakkoord (2019), dat is vertaald in de Klimaatwet (2019). Later kwamen het Toetsingkader emissieloos bouwen HWBP (2021) en het convenant Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) (2023).

Deze rapportage beschrijft de weg die is doorlopen en leerervaringen die zijn opgedaan. Een weg van pionieren naar realisatie in de praktijk. Alles was nieuw en onzeker bij de opstart van het project. De ambities waren nog niet SMART, de mogelijkheden en risico's waren onbekend. Ondanks deze onzekerheden is het gelukt om elektrisch materieel op het werk te krijgen en is een groot deel van werkzaamheden met elektrisch materieel uitgevoerd.

## 1.2 Doel rapportage

Het hoofddoel van deze rapportage is:

- Een bijdrage leveren aan de transitie naar emissieloos realiseren voor toekomstige (dijkversterkings-)projecten van waterschap Scheldestromen, als voor andere waterschappen (en mogelijk voor andere overheden).

Dat doen we door middel van onderstaande 3 subdoelen;

- Beschrijven van de weg die doorlopen is om het materieel van ambitie ook daadwerkelijk op het werk te krijgen;
- Het delen van 3 jaar praktijkervaring van het werken met elektrisch materieel;
- Het geven van advies voor toekomstige projecten.

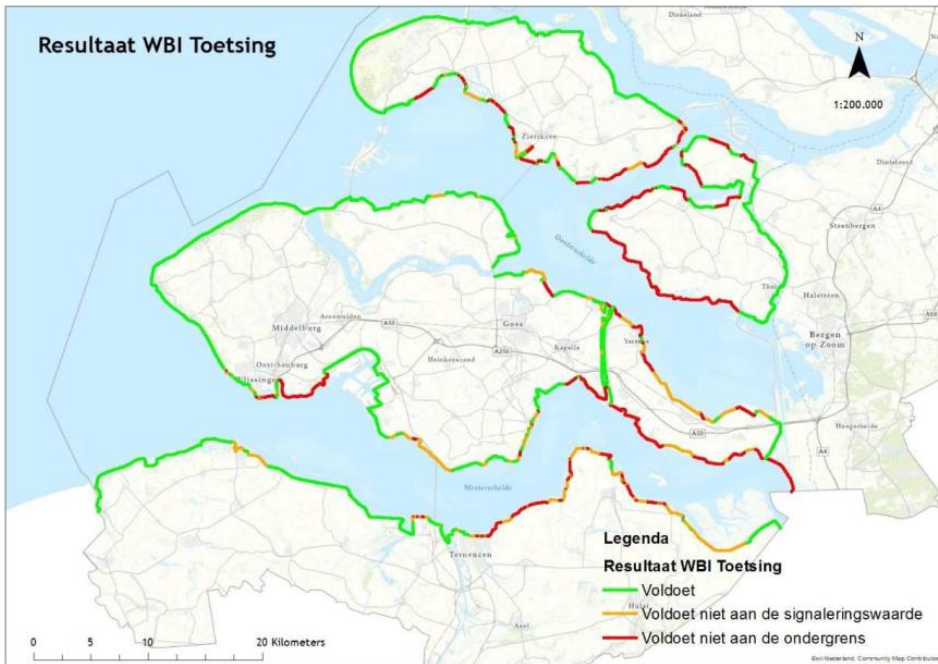
## 1.3 Scope rapportage

De scope van deze rapportage richt zich primair op:

- Focus op de CO<sub>2</sub> uitstoot op de bouwplaats (transport op de bouwplaats en realisatie werk). De uitstoot in andere onderdelen van de keten (zoals winning en het transport van materialen van en naar de bouwplaats) nemen we niet in beschouwing. In paragraaf 3.3 gaan we hier slechts zijdelings kort op in. Hier is voor gekozen, omdat de ambities ook vooral gericht zijn op de bouwplaats. Een andere overweging is de complexiteit. Er wordt nu vooral gericht op de onderdelen waar we de meeste invloed op uit kunnen oefenen;
- De rapportage richt zich op CO<sub>2</sub>-reductie door middel van toepassing van elektrisch materieel. Er is heel veel winst te boeken op reductie van emissies op andere wijzen, zoals door middel van ontwerpkeuzes, materiaalkeuzes en uitvoeringsmethodes. In het project is gepoogd de MKI-waarde aanzienlijk te reduceren, zie paragraaf 3.3. Dat is echter niet de focus en doel van deze evaluatie. Er is daarmee wel degelijk een duurzaam ontwerp en uitvoeringsmethodiek toegepast. Deze rapportage richt zich echter primair op hoe dit ontwerp en uitvoeringsmethodiek door middel van elektrisch materieel gerealiseerd kan worden;
- In deze rapportage spreken we vooral over de reductie van CO<sub>2</sub>. Naast CO<sub>2</sub> zullen ook andere emissies reduceren, zoals stikstof en fijnstof. Ook het geluid reduceert. De contractuele doelstellingen worden alleen afgemeten aan CO<sub>2</sub>, waardoor er in de rapportage ook alleen in wordt gegaan op CO<sub>2</sub>;
- Dit rapport beschrijft specifiek het gebruik, de prestaties, en de leerpunten met betrekking tot het elektrisch materieel dat is ingezet tijdens het project Dijkversterking Hansweert.

## 1.4 Projectachtergrond

Dijkversterking Hansweert is qua omvang het grootste project in de historie van waterschap Scheldestromen. Het is de eerste en meest uitdagende in een hele reeks van dijkversterkingen die in Zeeland op het programma staan. In totaal moet er ca. 114 km dijk versterkt worden, waarvan 5,1 km bij Hansweert. In Figuur 1 zijn alle te versterken dijken bij waterschap Scheldestromen met rood aangegeven. Een enorme opgave die in 2050 gereed moet zijn. De ervaring vanuit dijkversterking Hansweert wordt gebruikt bij de andere toekomstige projecten.



Figuur 1: Beoordeling waterkeringen Zeeland (peildatum 1-1-2023) met in rood de waterkeringen die direct versterkt moeten worden en met oranje de waterkeringen die op korte termijn versterkt moeten worden

De dijkversterkingen in Zeeland bij waterschap Scheldestromen zijn vervolgens weer onderdeel van een veel groter programma: het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). HWBP is een alliantie van alle 21 waterschappen en Rijkswaterstaat. Landelijk moet er binnen het HWBP ca. 1400 km dijk versterkt worden voor 2050. De kosten daarvan zijn geraamd op ca. 24 miljard euro. In Figuur 2 zijn projecten weergegeven die op korte termijn geprogrammeerd zijn. Bij al deze projecten zal het werken met elektrisch materieel een rol spelen. Een enorme opgave voor de waterschappen en de markt.



Figuur 2: Projecten van het HWBP op de programmering 2025-2030

## 1.5 Leeswijzer

Deze rapportage start in hoofdstuk 2 met de achtergrond van het dijkversterkingsproject Hansweert. Hoofdstuk 3 beschrijft hoe gekomen is van een ambitie naar een uitgewerkt plan. Het plan zelf wordt beschreven in hoofdstuk 4. De praktijkervaringen worden beschreven in de volgende hoofdstukken: laden (hoofdstuk 5), materieel (hoofdstuk 6), logistiek en uitvoerbaarheid (hoofdstuk 7) en veiligheid (hoofdstuk 8). De leerervaringen zijn samengevat in hoofdstuk 9 en daarnaast wordt advies gegeven voor toekomstige projecten. Ook is in dit hoofdstuk beschreven in hoeverre aan de missie is voldaan.

In het gehele document benoemen we leerpunten. Deze zijn met blauwe blokken aangegeven in de tekst.

## 2 Projectoverzicht

### 2.1 Gebied

Dijkversterking Hansweert betreft een traject van ongeveer 5,1 kilometer. Dit bevindt zich in Zeeland langs de zuidzijde van Zuid-Beveland aan de Westerschelde. In het gebied zijn drie locaties aanwezig met een relatief zware elektriciteitsvoorziening: het gemaal Schore van het waterschap, het aannemersbedrijf van der Straaten en een scheepswerf Kaai 85.

#### Leerpunt 1 - Netcapaciteit bepalend

*De aanwezigheid van een zware elektriciteitsaansluiting is een cruciale randvoorwaarde voor de inzet van elektrisch materieel. Onderzoek in de verkenningsfase de mogelijkheden van de al aanwezige aansluitingen bij bedrijven, gemeentes etc.*

Binnen dit traject herkennen we drie duidelijk van elkaar te onderscheiden deelgebieden, elk met een eigen ruimtelijke context (zie Figuur 3):

1. Aan de oostzijde ligt het deelgebied Kanaal, bij de monding van het Kanaal door Zuid-Beveland. Dit gebied wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van sluisen, een buitendijks slibdepot en een bedrijventerrein op een scheepswerf;
2. Aansluitend volgt een traject langs het dorp, waar de dijk direct grenst aan de dorpsbebouwing van Hansweert. De woningen liggen hier dicht aan de binnentoe van de dijk, wat de ruimtelijke inpassing van de versterking complex maakte. Aan de buitenzijde bevindt zich een bedrijventerrein (van der Straaten);
3. Het westelijkste deel kenmerkt zich door een open landschap met buitendijkse platen en binnendijks de agrarische percelen, sportvelden en waterstaatkundige objecten zoals gemaal Schore en twee windturbines.

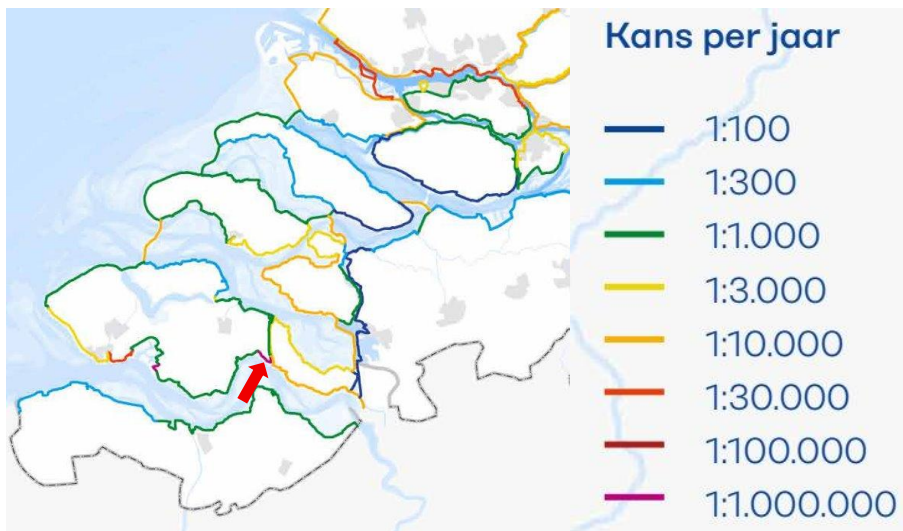


Figuur 3: Projectgebied dijkversterking Hansweert met de 3 onderscheidende deelgebieden

### 2.2 Normering

In de wet is vastgelegd dat in 2050 alle primaire waterkeringen moeten voldoen aan de normen die sinds 1 januari 2017 van kracht zijn. Deze normen zijn erop gericht dat elke Nederlander die door een primaire waterkering wordt beschermd ten minste een 'basisveiligheid' krijgt. Daarbovenop worden gebieden extra beschermd als er bij een overstroming kans is op grote groepen dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade of ernstige schade door uitval van vitale en kwetsbare infrastructuur van nationaal belang (bijvoorbeeld kerncentrale Borssele).

Doordat het dorp Hansweert zich bevindt in een soort van ‘badkuip’ (een kleine laag liggende polder aan alle zijden omsloten door dijken) staat er bij een dijkdoorbraak in een zeer korte tijd meters water en is de tijd voor evacuatie te kort. De norm bij Hansweert moet hierdoor erg hoog zijn. Deze is bepaald op 1:100.000 jaar. Alleen bij de kerncentrale van Borssele is deze norm hoger in Zeeland (zie Figuur 4). Doordat de afstand van de huidige staat van de dijk tot de norm erg groot is, is de urgentie van het project groot en daarnaast is de opgave enorm.



Figuur 4: Wettelijke normering Zeeland (de rode pijl wijst Hansweert aan)

### 2.3 Kentallen

Voor de uitvoering van Dijkversterking Hansweert zijn grote hoeveelheden grond- en bouwstoffen toegepast. Al het bulkmateriaal zoals zand, klei en betonzuilen, is per schip aangevoerd via twee speciaal aangelegde tijdelijke dammen in de Westerschelde. De belangrijkste hoeveelheden zijn:

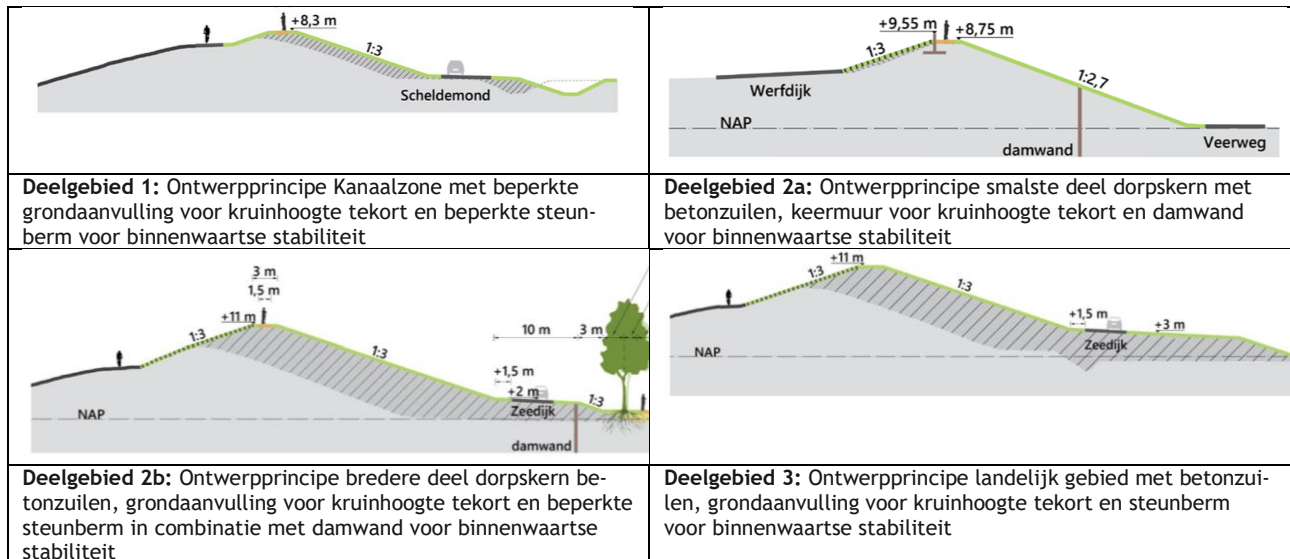
- Zand: 518.000 m<sup>3</sup>, voor het uitvoeren van de kruinverhoging en aanleg van de steunbermen;
- Klei: 386.000 ton, voor de erosiebestendige toplaag ter afdekking van het zand;
- Steen: 147.000 ton, voor de aanlandingen en de overlaging op het slibdepot;
- Betonzuilen (Quattroblocks): 50.000 m<sup>2</sup>, voor het bekleden van het buitentalud van de dijk;
- Damwand: 1.850 ton, toegepast als stabiliteitsmaatregel bij krappe locaties en bebouwing;
- Keermuur: 227 meter, ten behoeve van de kruinverhoging langs de Werfdijk;
- Wegasfalt: 24.000 ton, voor aanleg van de wegen;
- Gietasfalt: 7.500 ton, ter plaatse vervaardigd voor de overlaging van het slibdepot;
- Open steenasfalt en waterbouwasfalt (OSA/WAB): 6.500 ton, als bekleding van de kruin van de dijk.

Naast bovenstaande kentallen van de dijk bestonden de werkzaamheden uit: kabels en leidingen, verplaatsing voetbalvelden, speelvoorzieningen, zittribune en praathuis. De werkzaamheden waren hiermee zeer divers te noemen, waardoor er verschillende materieelstukken benodigd waren en ook verschillende onderaannemers.

### 2.4 Werkzaamheden

Dijkversterking Hansweert omvat een traject van ongeveer 5,1 kilometer. Volgens de nieuwe normering voldeed dit traject niet aan de vereiste veiligheid door een te lage kruinhoogte (2 tot 3 m), onvoldoende stabiliteit van het binnentalud en een niet-erosiebestendige toplaag op het bovenste deel van het buitentalud. Het hoogtetekort van de dijk is opgelost door deze te verhogen met 2 tot 3 m, waarbij de dijk kern van zand is aangevuld en afgedekt met een erosiebestendige laag van klei. Bij de dorpskern was onvoldoende ruimte om het volledige kruinhoogtetekort op te lossen met grond en daarom is hier ook gebruik gemaakt van een betonnen keermuur op de kruin. De stabiliteit is vergroot door de dijk over een groot

deel uit te breiden met een binnendijkse steunberm van ca. 3 m hoog en 10-20 m breed, bestaande uit zand en/of grond afgedekt met klei. In de dorpskern was daar onvoldoende ruimte voor en is gebruik gemaakt van damwanden onder het maaiveld in de binnenteen van de dijk in plaats van een steunberm. Het bovenste deel van het zeewaartse talud is versterkt met betonzuilen. In de Kanaalzone was de dijkversterking beperkter met een kruinverhoging van 0,8m en een beperkte steunberm. De werkzaamheden zijn hoofdzakelijk binnendijks uitgevoerd, alleen ter plaatse van het slibdepot was ook buitendijkse ruimte beschikbaar. De ontwerpprincipes in de verschillende deelgebieden zijn weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Ontwerpprincipes van de verschillende deelgebieden

**Fase 1 - Kanaalzone, zie deelgebied 1 in Figuur 3 (jan. 2023 - feb. 2024)**

In de eerste fase is gewerkt aan de versterking van de dijk in de Kanaalzone. De voorbereidende werkzaamheden bestonden uit de aanleg van tijdelijke wegen, verkeersomleidingen en depots. Ook vond het verleggen van kabels en leidingen plaats, waaronder de drinkwatertransportleiding van Evides, een DOW-leiding en diverse aansluitingen van DNWG.

Er zijn twee aanlandingen in de Westerschelde gerealiseerd ter hoogte van de sportvelden en de Kapelbank, om zand, klei en steenbekleding per schip aan te voeren. Dit voorkwam 35.000 transporten over de weg, waardoor er aanzienlijk minder hinder was voor de omgeving. Deze aanlandingen bestonden uit 80.000 ton steen en 11 zinkstukken. Voor het gehele project zijn er 400 schepen vol zand en klei aangevoerd via de aanlandingen. Na de werkzaamheden aan de dijk zijn de aanlandingen weer verwijderd. Een deel van de stenen is hergebruikt op andere locaties.



Figuur 6: Aanleg aanlandingen

De werkzaamheden in de Kanaalzone bestonden vooral uit een grondaanvulling van het dijklichaam. Ook de versterking van de dijk bij het slibdepot is uitgevoerd in fase 1. Bij het slibdepot werden op het bovenbehoop betonzuilen (Quattroblocks) aangebracht. Daarnaast brachten we op een deel van het traject een steunberm aan. De wegen rond het slibdepot zijn verlegd en opnieuw ingericht. De dijkopgang en de weg van de Lange Geer werden afgegraven en opnieuw ingericht.



Figuur 7: Aanleg dijk Kanaalzone en dijk slibdepot

**Fase 2 - Dorpskern en landelijk gebied, zie deelgebied 2 en 3 in Figuur 3 (feb. 2024 - april 2026)**

Na de afronding van de Kanaalzone startte begin 2024 de tweede fase, gericht op de dijkversterking in de dorpskern en het landelijke gebied rond Hansweert.

Verticale drainages (WICKS) zijn aangebracht om zettingen in de ondergrond te versnellen, gevolgd door het groot grondverzet voor de kruinverhoging en steunberm. Het huidige dijklichaam is ontgraven, de zandkern aangevuld met zand en afgedekt met vrijkomende klei en een erosiebestendige nieuwe kleilaag. Dit waren de grootste werkzaamheden voor het project. Zowel zomer en winter is er door een speciaal maatregelenplan ‘werken in stormseizoen’ doorgewerkt aan de dijk.



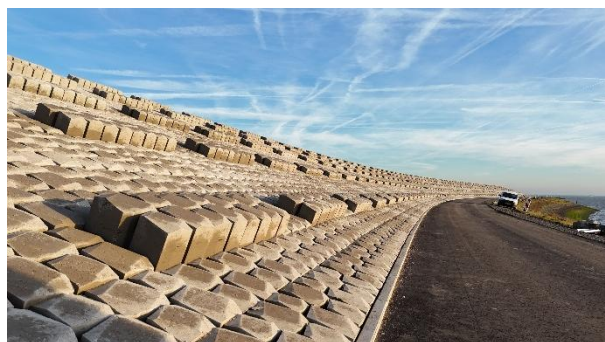
Figuur 8: Realisatie grondwerk voor verhoging kruin en aanbrengen steunberm met zand en klei

Langs de Veerweg en bij de sportvelden zijn damwanden geplaatst, deels getrild en deels gedrukt. Deze zijn alleen toegepast op de locaties waar vanwege bebouwing geen ruimte was voor een steunberm van grond.



Figuur 9: Het drukken van damwanden in de binnenteen van de dijk

Op het boventalud van dijk zijn betonzulen (Quattroblocks) geplaatst. Deze betonnen elementen zijn via de scheepstransporten aangevoerd. Deze zijn in een hoog-laag verband aangebracht, waardoor de dijk 0,5 m minder hoog hoefde te worden en 3 m minder breed, wat gunstig is voor de MKI-waarde.



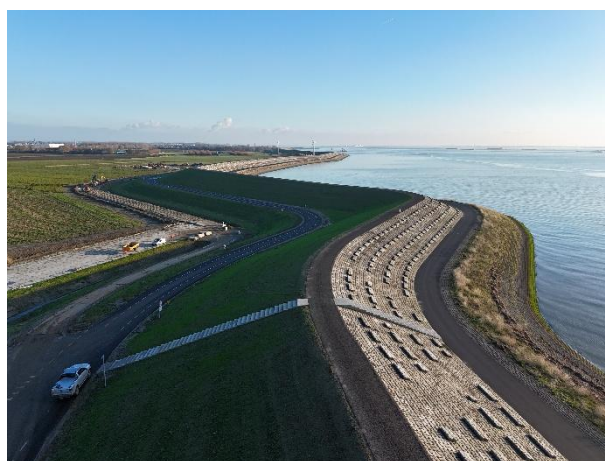
Figuur 10: Aanbrengen betonzuilen met hoog-laag patroon

Bij de Ringdijk rond het slibdepot zijn geen betonzuilen toegepast, maar is over de bestaande bekleding breuksteen aangebracht, gepenetreerd met gietasfalt. Een markant onderdeel van de dijk is de realisatie van de keermuur in de dorpskern. Deze keermuur komt 0,8 m boven de kruin uit en 1,60 m zit onder de grond.



Figuur 11: Aanleg keermuur op kruin

De parkzone moest opnieuw worden ingericht, door middel van aanleg van duikerbruggen, herinrichting vijvers, aanleg speeltoestellen, aanleg wegen en aanbrengen van bomen en struiken. Ter compensatie van de ruimtelijk kwaliteit is daarnaast een zittribune bij een strandje aangelegd en een praathuisje bij Schore. Ook de dijktrappen zijn vernieuwd.



Figuur 12: Aanleg dijktrappen met in rechterkader gehele eindsituatie dijk

## 2.5 Partijen en contract

Dijkversterking Hansweert is uitgevoerd in opdracht van waterschap Scheldestromen, dat verantwoordelijk was voor de aansturing en besluitvorming. Deze dijkversterking was onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Het HWBP is een alliantie van alle 21 waterschappen en Rijkswaterstaat. De kosten van de dijkversterking worden verdeeld: het Rijk betaalt 50%, gezamenlijke waterschappen 40% en het individuele waterschap 10%.



Er is gewerkt met een zogenaamd tweefasen contract. Hierdoor was de aannemer al tijdens de planuitwerkingsfase betrokken bij het project. In de planuitwerkingsfase vormden het waterschap, combinatie Answest en Witteveen+Bos samen het bouwteam. Witteveen+Bos verzorgde de milieueffectrapportage (MER), het ontwerp tot en met het definitieve ontwerp (DO) en de technische onderbouwing. Zij hadden geen rol in de opgave op het gebied van elektrisch materieel.

De aannemerscombinatie Answest is een samenwerking tussen Van Oord Nederland en KWS Infra. Binnen de planuitwerking had combinatie Answest een belangrijke rol bij het toetsen van de maakbaarheid van het ontwerp en het inbrengen van uitvoeringskennis. Deze vroege betrokkenheid zorgde voor praktische oplossingen, optimale materiaalstromen en een realistisch uitvoeringsplan.



### Leerpunt 2 - Vroege betrokkenheid loont

*Vroege betrokkenheid van de aannemer vergroot de maakbaarheid van duurzame keuzes, waaronder de inzet van elektrisch materieel.*

Na afronding van de planuitwerkingsfase en vaststelling van het DO bestond het bouwteam in de realisatiefase uitsluitend uit waterschap Scheldestromen en combinatie Answest. Answest was verantwoordelijk voor het uitvoeringsontwerp (UO), de werkvoorbereiding en de realisatie. Deze gefaseerde aanpak zorgde voor een soepele overgang van ontwerp naar uitvoering en een efficiënte realisatie met korte communicatielijnen.

Bij de opgave van de inzet van het elektrisch materieel waren de belangrijkste betrokken:

- Het projectteam waterschap Scheldestromen: initiatiefnemer, onderdeel van onderzoeksteam en medefinancier;
- Aannemerscombinatie Answest (Van Oord Nederland en KWS Infra): uitvoerende partij van grootste deelonderzoek, realisatie in de praktijk en de investeerder in het materieel;
- HWBP: medefinancier.

Het projectteam waterschap Scheldestromen diende voor het plan akkoord te hebben van de interne opdrachtgever waterschap, de Algemene Vergadering en Dagelijkse Bestuur waterschap. Daarnaast diende er akkoord te zijn van de programmadirectie van het HWBP. Aannemerscombinatie Answest diende akkoord te hebben van beide directies. Daarnaast waren de verschillende materieelproducenten actief betrokken evenals de stroomleveranciers (met name Stedin). Het begeleidingsteam HWBP diende akkoord te hebben van de programmadirectie van het HWBP.

## 2.6 Planning elektrisch materieel

De relevante data voor de inzet van het elektrisch materieel zijn hieronder opgesomd. Voor de verdere inhoud verwijzen wij naar hoofdstuk 3.

Oktober 2019	Start aanbestedingstraject voor het tweefasen contract. Deze uitvraag was vooral gericht op duurzaamheid in gehele keten (en natuurlijk EMVI-criteria). Gedurende het project kwam daar focus inzet elektrisch materieel bij;
April 2020	Start Bouwteam
November 2020	Gesprekken projectteam, waterschap, aannemer, HWBP voor bepaling ambities inzet elektrisch materieel;
Maart 2021	Indienen voorstel waterschap en Answest aan HWBP voor onderzoek maatregelen;
Mei 2021	Akkoord HWBP uitwerken marktonderzoek en businesscases door waterschap en Answest;
Januari 2022	Marktonderzoek, onderzoek laadvoorzieningen en businesscases gereed;
Maart 2022	Gesprekken verdeling kosten en risico's tussen waterschap, Answest en HWBP;
Maart 2022	Aanvang gesprekken met Stedin over de mogelijkheid voor een laadvoorziening bij het gemaal;
April 2022	Principevoorstel Bouwteam gereed. Indienen voorstel d.m.v. tussentijdse afspraak bij HWBP;
Eind mei 2022	Akkoord op principevoorstel HWBP aan waterschap. Moment dat Answest kon gaan investeren in materieel en aanvraag aansluiting Stedin;
Eind juni 2022	Indienen subsidieaanvraag waterschap aan HWBP;
September 2022	Akkoord op subsidieaanvraag;
November 2022	Aanvraag capaciteit en aanleg trafostation bij Stedin;
Maart 2023	Eerste elektrische materieelstuk op werk;
Maart 2023	Gebruik tijdelijke laadvoorziening Kaai en van der Straaten
November 2023	Laadplein gereed en in gebruik;
November 2025	Laatste inzet elektrisch materieel en verwijderen laadplein;
April 2026	Evaluatie.

### Leerpunt 3 - Besluitmoment cruciaal

*Formele besluitvorming bepaalt het moment waarop investeringen in elektrisch materieel en netaansluitingen daadwerkelijk kunnen starten. Het beslismoment moet tijdig worden gepland gezien de lange doorlooptijd van bestellen van het materieel en regelen van laadvoorzieningen.*

## 2.7 Projectkosten en kosten inzet elektrisch materieel

Dijkversterking Hansweert had een totale projectomvang van ongeveer € 160 miljoen. Dit bedrag omvatte zowel de realisatie van de dijkversterking zelf als de bijbehorende inrichting en aanpassingen in het gebied. Ook viel de voorbereiding van 2016 t/m 2022 in dit bedrag. Binnen dit budget was een pakket aan emissiearme maatregelen opgenomen.

De extra projectkosten die specifiek zijn toe te rekenen aan deze duurzaamheidsmaatregelen bedroegen € 2,53 miljoen, oftewel ongeveer 1,9% van de totale projectkosten. Daarbij was er € 2,23 miljoen geraamd als meerprijs voor elektrisch materieel t.o.v. conventioneel materieel, aanleg van laadinfrastructuur en aanschaf van accu's. Daarnaast bestond dit bedrag uit 3 ton als risicovoorziening voor combinatie Answest. De voorziene risico's waren: 1) Uitval van de machine tijdens het werk, 2) Te laat leveren van de machine 3) Productie/efficiëntie valt tegen, 4) Uitval/achterblijven energieleverantie, 5) Aansluitkosten onvoldoende voorzien. Alle risico's zijn in meer of mindere mate opgetreden.

Met dit pakket is een berekende CO<sub>2</sub>-reductie van 1606 ton gerealiseerd tijdens de uitvoering, wat neerkomt op ongeveer 26% minder uitstoot dan bij een conventionele aanpak. De kosteneffectiviteit van deze maatregelen komt daarmee uit op ongeveer € 1.580 per ton CO<sub>2</sub>-reductie.

Gedurende het project zijn er geen meerkosten bijgekomen voor het waterschap ten gevolge van de inzet van het elektrisch materieel. De aannemerscombinatie was grotendeels risicodragend. De aannemerscombinatie heeft daardoor wel meerkosten gehad.

### Leerpunt 4 - Risico verdeling met aannemer

*Bij innovatieve inzet van elektrisch materieel zijn er verschillende financiële risico's. Het is van belang de risico's goed te alloceren. Beide partijen moeten openstaan een deel van de risico's te dragen.*

## 3 Van ambitie naar plan

### 3.1 Duurzaamheidsambities

#### Bepalen ambities

Het bepalen van de ambities op het gebied van duurzaamheid in 2020 was niet eenvoudig. Waterschappen en het Rijk hadden zich verbonden aan ambitieuze doelstellingen op gebied van energie, klimaat en duurzaamheid, zoals in Klimaatakkoord, Nationaal Grondstoffenakkoord en Green Deal Duurzaam GWW 2.0. De ambities en het beleid bleken echter nog niet concreet en specifiek genoeg om sturing te kunnen geven aan dijkversterkingsprojecten. Ook was er nog geen toetsingskader van het HWBP, waardoor het onduidelijk was welke kosten en onder welke voorwaarden door het HWBP gesubsidieerd zouden worden.

Wat in 2020 wel duidelijk was, was dat er hoge ambities lagen op het gebied van duurzaamheid. Er werd toen al gesproken over werken in 2030 geheel emissieloos te realiseren. Ondanks dat deze ambities nog niet vastlagen en SMART waren, was het in 2020 zeker dat er gestart moest worden met verduurzaming van projecten, anders zou de haalbaarheid van de ambities in 2030 in gedrang komen. De eerste stappen die ondernomen zijn lagen op het gebied van emissiereducerend ontwerpen en emissiereducerende uitvoeringslogistiek. Dit is beschreven in paragraaf 3.2. Dit duurzame ontwerp en de uitvoeringsmethode wilden we vervolgens op een duurzame wijze realiseren, door middel van toepassing van elektrisch materieel. Dit beschrijven we in deze evaluatie.

#### SMART maken van ambities en toetsingskader

In de periode van 2020 tot 2022 veranderde er veel en werden de ambities concreter en SMART beschreven. Wat vooral meewerkte was dat er duidelijke subsidieregeling kwam van het HWBP (Toetsingskader emissieloos bouwen). Het HWBP heeft samen met 3 voorbeeldprojecten, waaronder Dijkversterking Hansweert, een prototype toetsingskader opgesteld. Dat toetsingskader gaf de duidelijkheid die het project nodig had.

#### Leerpunt 5 - Ambitie moet concreet

*Het vroegtijdig vastleggen van een concrete ambitie en zekerheid over financiering maakt de inzet van elektrisch materieel niet vrijblijvend en geeft een duidelijke koers voor het project.*

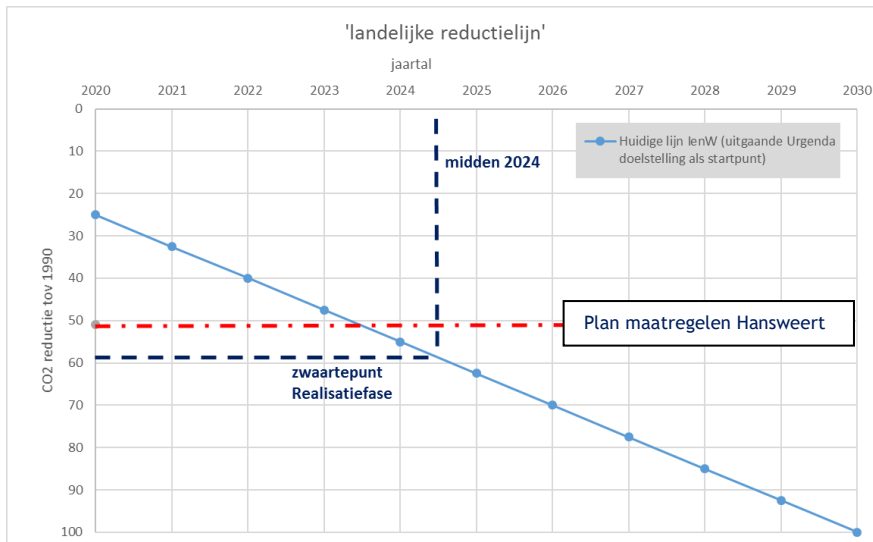
#### Toetsingskader

In de Klimaatwet is vastgelegd dat Nederland in 2030 minstens 49% minder CO<sub>2</sub> moet uitstoten t.o.v. van 1990 en minstens 95% minder CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2050 ten opzichte van 1990. De EU heeft in 2021 besloten deze doelstelling voor 2030 te verhogen naar 55%. Het ministerie van Infrastructuur en Water (I&W) heeft vervolgens besloten dat rijksprojecten in 2030 emissieloos moeten worden uitgevoerd. Dit betekent dat het ministerie van I&W in 2030 bij de uitvoering van haar taken geen CO<sub>2</sub> of andere broeikasgassen uitstoot. Het HWBP heeft besloten deze lijn te volgen als grens wat subsidiabel is. Uitgangspunt is 100% reductie van CO<sub>2</sub> in 2030 en 25% reductie t.o.v. 1990 in 2020. Hiertussen is het verloop lineair. Deze lijn wordt de 'landelijke reductielijn' genoemd, die met blauw is weergegeven in Figuur 13. Voor project Hansweert was de realisatie gepland van begin 2023 tot eind 2026<sup>2</sup>. Het zwaartepunt van de realisatiefase valt daarmee in midden 2024. In Figuur 13 is af te lezen dat dit overeenkomt met een CO<sub>2</sub>-reductie van 60% t.o.v. 1990, ofwel 35% t.o.v. 2020.

#### Leerpunt 6 - Subsidiekader essentieel

*Duidelijkheid over subsidiabiliteit is cruciaal om investeringen in elektrisch materieel mogelijk te maken.*

<sup>2</sup> Uiteindelijk is de realisatie eind 2025 afgerond. Een jaar eerder dan gepland.



Figuur 13: Landelijke reductielijn<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> en reductielijn project

### Ambitie Hansweert

Het uitgevoerde onderzoek (zie paragraaf 3.3) is uitgevoerd voordat dit Toetsingskader beschikbaar kwam. Het was gedurende het onderzoek daardoor nog onbekend naar hoeveel reductie toegewerkt kon worden. Het was van belang om vooral een realistisch doel te stellen. Bij het bepalen van het doel is de laadcapaciteit maatgevend gebleken en in mindere mate de hoeveelheid beschikbare materieelstukken.

#### Leerpunt 7 - Laadcapaciteit leidend

*De beschikbare laadcapaciteit is bepalend voor de haalbare inzet van elektrisch materieel.*

Er was laadcapaciteit om maximaal 3 machines op te laden. Uitgaande van de 3 meest kostenefficiënte machines (prijs/CO<sub>2</sub> reductie) is vervolgens de CO<sub>2</sub>-reductie bepaald (zie paragraaf 3.3). Deze machines gaven een reductie van 26% t.o.v. 2020 en 51% t.o.v. 1990 (zie rode lijn in Figuur 13). Dit viel binnen de landelijke reductielijn, waardoor bij het indienen van het voorstel aan het HWBP, het voorstel niet bijgesteld hoefde te worden. In het project en deze evaluatie kijken we naar de reductie t.o.v. 2020. De reden hiervan is vooral omdat deze vergelijking eenvoudiger en beter te maken is.

**NB:** De bijhorende referentiesituatie is de situatie met regulier materieel t.o.v. het jaar 2020. Hierbij is voor het reguliere materieel uitgegaan van stage IV/V en Euro 5/6 motoren. Dat was het reguliere materieel van Van Oord en KWS-infra in 2020. Dat was echter schoner materieel dan het gemiddelde materieel landelijk. De daadwerkelijke CO<sub>2</sub>-reductie is daardoor in de praktijk hoger. Deze referentie is aangehouden om een eenvoudiger vergelijk te kunnen maken.

Voor dijkversterkingsprojecten van het HWBP was het duidelijk dat op relatief korte termijn (2030) projecten emissieloos gerealiseerd moeten worden. Het is dan meer dan logisch om ruim voor 2030 stappen te maken met het emissieloos realiseren van een project.

#### Leerpunt 8 - Langetermijnvisie noodzakelijk

*Investerings in elektrisch materieel vragen een duidelijke langetermijnvisie vastgelegd in beleid.*

#### Leerpunt 9 - Begin ondanks onzekerheid

*Onzekerheden mogen geen reden zijn om de transitie naar elektrisch materieel uit te stellen. Besteed aandacht aan de bijbehorende risico's en onzekerheden. Laat dit geen belemmering zijn om met elektrisch materieel aan de slag te gaan.*

<sup>3</sup> Weergegeven is de reductielijn die in 2021 van kracht was. Er is nu een nieuwe reductielijn, zie <https://www.hwbp.nl/documenten/2025/06/16/toetsingskader-emissieloos-bouwen-hwbpv2>

### 3.2 Aanbesteding bouwteampartner

Waterschap Scheldestromen heeft gebruikt gemaakt van een tweefasen contract (ontwerp, voorbereiding en uitvoering). De beoogd aannemer was daardoor al in de planuitwerkingsfase bij het project betrokken. Bij de aanbesteding voor het verkrijgen van de aannemer als partner in het Bouwteam, is duurzaamheid als een belangrijk EMVI-criterium meegenomen (één van de drie criteria). Doel daarbij was vooral de Milieu Kosten Indicator (MKI) te minimaliseren. Mede op basis van een goed plan van aanpak op het gebied van duurzaamheid heeft combinatie Answest de opdracht verworven.

MKI is een maatstaf die de milieu-impact van een project uitdrukt in euro's. Het is een schaduwprijs die de verwachte maatschappelijke kosten weergeeft om de milieueffecten van de volledige levenscyclus (van grondstofwinning tot recycling/hergebruik) te compenseren. Hoe lager de MKI-waarde, hoe duurzamer het product. MKI is dus gericht op alle fasen in de productieketen, zie Figuur 14. Dit in tegenstelling tot het elektrisch materieel, dat alleen op de aanlegfase is gericht.



Figuur 14: Alle fasen in productieketen

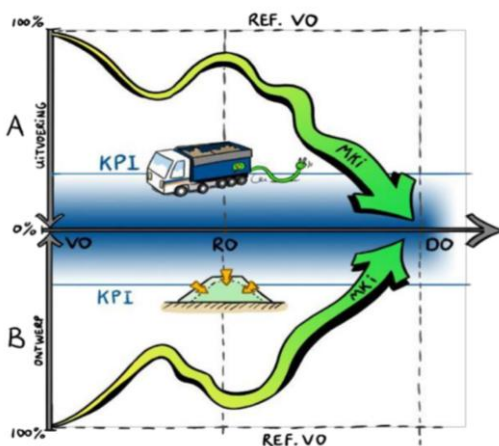
De volgende zaken zijn uitgevoerd in het project:

- MKI-basiscursus voor het gehele team;
- MKI-uitgangspuntennotitie, vaststellen kader en randvoorwaarden;
- MKI-rekentool, voor snelle en laagdrempelige ontwerpafwegingen;
- MKI-referentieberekening voor alle 3 de ontwerploops;
- MKI-adviesnotitie in alle ontwerploops, met o.a. zwaartepuntanalyse en reductiemogelijkheden voor volgende fasen.

Om de MKI-waarde van het project te minimaliseren, maakte MKI integraal deel uit van het ontwerpproces met een gefaseerde aanpak. De volgende projectfasen zijn hier te onderscheiden: Voorlopig Ontwerp (VO), Referentieontwerp (RO), Definitief Ontwerp (DO), Uitvoeringsontwerp (UO) en Realisatie.

De eerste stap was het opstellen van de MKI Referentieberekening van het VO. Dit vormde de ‘baseline’ in het ontwerptraject en uitgangspunt voor de ‘MKI-reductie’. In de fasen van VO naar UO waren drie reductiesporen te onderscheiden, waarbij spoor A en B zijn weergegeven in Figuur 15:

- Uitvoering - MKI als stuurmiddel met weinig of geen relatie tot ontwerpkeuzes
- Ontwerp - MKI als onderdeel van de afweging in ontwerpkeuzes
- Inkoop - MKI als onderdeel van inkoopafwegingen

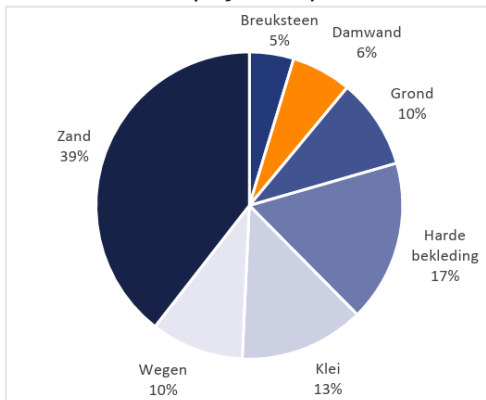


Figuur 15: MKI-reductie door uitvoerings- (A) en ontwerpkeuzes (B)

De aanpak stond globaal uit:

- Het maken van een zwaartepuntanalyse bij start elke ontwerploop;

- Op basis van de zwaartepuntanalyse het geven van adviezen voor reductiemogelijkheden voor de volgende fase(n). Zie Figuur 16 voor berekening UO. Omdat het zwaartepunt lag bij zand, klei en grond heeft daar de meeste focus op gelegen, maar ook de andere materialen zijn beschouwd.
- Er is verder gericht op 3 onderscheidende zaken:
  - **Grond:** Reductie van de MKI-score door te streven naar een sluitende grondbalans. Door het realiseren van een sluitende grondbalans was er minder aan- en afvoer van grond/zand/klei nodig waardoor een aanzienlijke reductie van de MKI-score mogelijk was;
  - **Variantenstudies:** Door het maken van verschillende variantenstudies zowel ten aanzien van ontwerpkeuzes als uitvoeringskeuzes, is onderzocht welke varianten goed scoren op MKI. Deze uitkomsten zijn vervolgens meegenomen in de definitieve keuze voor een ontwerp of product;
  - **Inkoop:** De integratie van MKI in de uitvraag naar leveranciers. De referentie MKI-score (uit RO-fase) van verschillende (bulk) producten is bij de uitvraag aan leveranciers meegegeven met het verzoek om onder deze score te leveren. Vervolgens is zowel op basis van prijs als op MKI een keuze gemaakt voor een leverancier.



Figuur 16: Zwaartepunt berekening

De MKI-waarde is van het VO (€ 5.806.066) naar het UO (€ 3.410.000) afgenomen met 44%. De MKI-waarde behorende bij het UO is als contracteis opgelegd voor gunning van het werk. In de realisatie is deze eis behaald en de MKI-waarde nog verder gereduceerd tot € 2.332.100. Dat is vooral gelukt doordat er vanwege een nieuwe Bodemkwaliteitskaart er minder grond hoefde te worden afgevoerd en hergebruikt kon worden in het werk. Hierdoor hoefde er ook minder grond aangevoerd.

In totaal is daarmee een MKI-reductie behaald van 60%. De verwachting is dat daardoor de CO<sub>2</sub>-uitstoot over de gehele levenscyclus ook is gereduceerd met 60%.

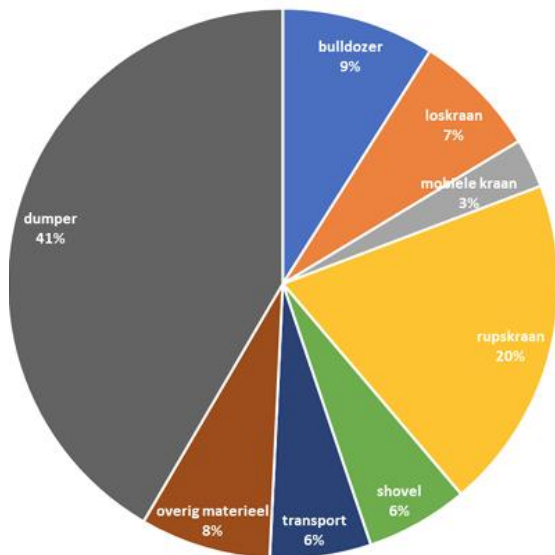
#### Leerpunt 10 - Emissieloos bouwen is sluitstuk van duurzame aanpak

*Er is veel winst te behalen door gebruik van elektrisch materieel, maar er is minstens zoveel winst aan de voorkant te halen door slimme ontwerpkeuzes en slimme uitvoeringsmethodes zoals optimaliseren van grond- en materiaalstromen en keuze van leveranciers.*

### 3.3 Marktonderzoek en businesscases

Om het aantal en type materieelstukken voor het werk te bepalen zijn de volgende stappen ondernomen:

1. Onderzoek laadvoorzieningen.
2. De referentie situatie is vastgesteld. Daarbij is bepaald welke type diesel materieelstukken normaal gezien in zouden worden gezet, hoeveel uren deze draaien en hoeveel de CO<sub>2</sub>-uitstoot is van deze machines.
3. De belangrijkste bijdragen aan CO<sub>2</sub>-uitstoot zijn in beeld gebracht door het maken van een zwaartepuntanalyse. De materieelstukken met de meeste uitstoot op het project draaiden logischerwijs ook meestal de meeste uren.



Figuur 17: Zwaartepuntanalyse materieelstukken werk

4. Marktonderzoek naar beschikbare technologie diverse elektrische materieel soorten (die de diesel materieelstukken uit de referentie situatie kunnen vervangen), inclusief het innovatielandschap. Dit is uitgevoerd voor primaire de materieelstukken met de meeste uitstoot, maar ook de materieelstukken met minder uitstoot zijn ook meegenomen; alleen met minder diepgang.
5. Uitwerken diverse business cases: Economische haalbaarheid, effectiviteit (CO<sub>2</sub>-reductie/kosten), risico's, kosten en baten afwegen ter voorbereiding op eventuele investeringsbeslissingen, toepasbaarheid voor het project (past het o.a. binnen de planning).
6. Overzicht van de kansen en belemmeringen voor emissiearme uitvoering.
7. Prioritering van maatregelen t.b.v. emissiearm materieel.
8. Voorstel wat ter financiering aan de verschillende partijen wordt voorgelegd.

Uiteindelijk hebben deze stappen geleid tot een concreet voorstel 'Principevoorstel Emissiearm bouwen Dijkversterking Hansweert', d.d. 15-04-2022. Dit voorstel is uiteindelijk na goedkeuring door verschillende directies omgezet in een definitief plan op 02-06-2022. Het plan lichten we nader toe in het volgende hoofdstuk.

Het aantal materieelstukken is uiteindelijk vooral bepaald op basis van de beschikbare oplaadcapaciteit. Dit komt toevalligerwijs redelijk overeen met het aantal materieelstukken wat viel binnen de subsidieregeling, die ook in 2022 beschikbaar kwam.

### 3.4 Financiering + struikelblokken per partij

De verschillende betrokken partijen (waterschap, HWBP, van Oord en KWS) moesten allen een deel van de financiering dragen. Daarbij waren er de onderstaande struikelblokken.

Het **waterschap** had nog geen beleid, dat voor project Hansweert direct toepasbaar was. Interne vragen die daardoor ontstonden waren zoal: "Waarom moeten wij als overheid vooroplopen?", "Kunnen we niet wat minder doen?", "Het is allemaal nog nieuw, kleven er niet te veel risico's aan?", en vooral "Is dat wel subsidiabel?". Voor het pakket van maatregelen moest het projectteam akkoord hebben van de interne opdrachtgever, de net opgerichte stuurgroep en het bestuur.

Het **HWBP** had in het begin van het traject nog geen duidelijk kader om te toetsen of de inzet van elektrisch materieel subsidiabel was. Daardoor ontstond snel discussie hoeveel materieelstukken subsidiabel waren en of dat ook gold voor de oplaadcapaciteit. Daarnaast was het lastig om te toetsen of de maatregelen marktconform waren.

#### Leerpunt 11 - Laadinfra meefinancieren

*Onzekerheid over subsidiabiliteit van laadinfrastructuur kan besluitvorming vertragen.*

In eerste instantie was het beleid van het HWBP dat de maatregelen subsidiabel waren overeenkomstig het beleid van het waterschap. Het waterschap moest namelijk niet alleen werken met elektrisch materieel indien daarvan een groot deel gesubsidieerd werd. In 2022 kwam het HWBP met een duidelijke subsidieregeling 'Toetsingskader emissieloos bouwen', waarbij Dijkversterking Hansweert als één van de 3 voorbeeldprojecten werd gebruikt en ook als test voor het kader. Dat toetsingskader gaf de duidelijkheid die het project nodig had. Het begeleidingsteam van het HWBP moest goedkeuring hebben van de programmadirectie HWBP.

Voor de **aannemerscombinatie Answest** waren er de grootste uitdagingen. Hier gaan we daarom wat uitgebreider op in. Ten eerste bestond deze uit 2 verschillende bedrijven met beiden een eigen beleid en toekomstvisie. De aannemers waren degenen die de grootste investering moesten doen en daarom een groot risico liepen. De investeringskosten voor materieel vormden het grootste deel van de investering, zeker in verhouding met regulier materieel. Dit had te maken met het volgende:

- Ontwikkelkosten: ondanks dat het in de media gonsde van de geruchten, rolden er in werkelijkheid nog maar enkele machines van de band, voor groot materieel zelfs nog maar één type. Dit betekende dat de productiewijze nog lang niet gestandaardiseerd was en kon profiteren van die verhoogde efficiency. Sterker nog: er moest veelal teruggevallen worden op het ombouwen van bestaand materieel. Veelal was de kostprijs van een e-machine het dubbele of nog meer van een reguliere machine.
- Onzekerheid ROI (return on investment): de ROI werd door twee verschillende maar met elkaar verweven onderwerpen beïnvloed; (1) verouderde technologie en (2) inzet projecten:
  1. Verouderde technologie: de techniek rondom met name accupakketten ontwikkelt razend-snel. Dit betekent dat de machine van nu over enkele jaren al veel inefficiënter is, en daarmee kostbaarder is dan next-gen. machines die dan hoogstwaarschijnlijk ook in grote getalen OEM (Original Equipment Manufacturer - seriematig geproduceerde machines) zijn en dus ook efficiënter (= goedkoper) geproduceerd worden. Dit remt sterk de behoefte om nu te investeren en heeft daarmee het logische gevolg dat de OEM-ontwikkeling helemaal niet op gang komt. Er moet daarom van een korte afschrijvingstermijn worden uit gegaan.
  2. Inzet projecten: veel projecten die op dit moment worden aangenomen en op middellange termijn (5 jaar) in uitvoering gaan, houden nog onvoldoende rekening met de inzet van duurere machines. Opdrachtgevers hebben hiervoor nog geen, te abstract of nog niet ontwikkelend beleid, en zijn daarom nog niet bereid meer te betalen. Ook dit remt sterk de behoefte vanuit de aannemerscombinatie om nu te investeren ondanks dat zij ook hoge ambities hebben.

#### **Leerpunt 12 - Technologische onzekerheid**

*Snelle technologische ontwikkeling vergroot investeringsonzekerheid bij elektrisch materieel, terwijl de inmiddels groeiende en meer structurele vraag bij dijkversterkingen de investeringsbereidheid in elektrisch materieel juist versterkt.*

Waar Answest mee geholpen zou zijn was optimalisatie van het beleid van werken in het stormseizoen. Met een strikt beleid staat het elektrisch materieel in de winter stil op het werk. Inzet elders is niet direct rendabel als andere partijen in een uitvraag niet specifiek vragen om elektrisch materieel.

#### **Leerpunt 13 - Flexibel beleid werken in stormseizoenen vergroot rendement**

*Beleid rondom werken in het stormseizoen heeft directe invloed op de rendabiliteit van elektrisch materieel. Door tijdig ruimte te bieden voor doorwerken in het stormseizoen kan stilstand worden voorkomen en het elektrisch materieel effectief ingezet worden.*

Om te gaan investeren moest het projectteam van Answest goedkeuring hebben van zowel de directie van Van Oord als KWS en wilden zij zekerheid hebben dat zowel waterschap als het HWBP-goedkeuring gaven aan het voorstel.

De afspraak die gemaakt is bestond uit:

- Combinatie Answest kreeg een vast bedrag betaald gebaseerd op verschiltarief regulier versus elektrisch materieel, incl. de benodigde laadinfrastructuur + klein deel van de kosten t.g.v. verwachtte stilstand tijdens stormseizoenen. De combinatie was geheel risicodragend en mocht daarom een risicoreservering opnemen. Als de inzet door de combinatie meer was dan het contractuele doel dan was er meer CO<sub>2</sub>-winst, maar ontving de combinatie geen extra geld. Als activiteiten niet

uitgevoerd waren, werden de geraamde kosten van niet uitgevoerde activiteiten in mindering gebracht op de verleende subsidie.

- Het HWBP betaalde 90% van de kosten uit de aanbidding van combinatie Answest. Van deze 90% werd 50% gefinancierd door het Rijk en 40% verdeeld over alle waterschappen.
- Het waterschap betaalde 10% van de kosten uit de aanbidding van combinatie Answest. Het waterschap was niet risicodragend.

Er was goedkeuring nodig vanuit vele verschillende partijen met andere belangen en andere risico's, wat een grote uitdaging was. Ons leerpunt: ga vooral samenzitten, zoek de gezamenlijke belangen en verschillen, en probeer zo open mogelijk de kaarten op tafel te leggen. Dat geeft vertrouwen in elkaar, begrip voor de ander, het versnelt de besluitvorming en voorkomt onverwachte ongewenste besluiten op bijvoorbeeld het gebied van financiering.

**Leerpunt 14 - Samenzitten om tot consensus te komen**

*Zoek de gezamenlijke belangen en verschillen, en probeer zo open mogelijk de kaarten op tafel te leggen.*

## 4 Het plan

### 4.1 Materieel

Het was van belang een realistisch doel te stellen qua CO<sub>2</sub>-reductie vooral in het begin van de energietransitie naar een emissieloze bouwplaats. Er waren nog zeer veel zaken onzeker bij de start van project Dijkversterking Hansweert. Door het stellen van een realistisch doel is het doel ook haalbaar gebleken zonder vertraging van de werkzaamheden, ondanks verschillende tegenvallers. Bij het stellen van toekomstige doelstellingen geldt hetzelfde. Stel niet eerst de doelstellingen en bekijk daarna wat realistisch is, maar bekijk eerst wat realistisch is en stel daarna de doelstelling.

Ook wordt geadviseerd te bekijken hoe effectief de maatregelen zijn binnen je project. De investeringen per ton CO<sub>2</sub>-reductie zullen namelijk per maatregel aanzienlijk verschillen. Ook zijn de laadmogelijkheden per project aanzienlijk verschillend. Daarom wordt geadviseerd de doelstelling te bepalen op basis van realistische haalbaarheid, doelmatigheid en daarnaast ook de noodzaak vanuit vergunningen.

#### Leerpunt 15 - Haalbaarheid eerst

*Bepaal eerst de technische en logistieke haalbaarheid voordat de CO<sub>2</sub>-doelstelling wordt vastgesteld.*

Op basis van het onderzoek zoals genoemd in voorgaand hoofdstuk zijn de in te zetten materieelstukken bepaald. Het aantal materieelstukken is primair bepaald door de beschikbare laadcapaciteit. Daarnaast wilden we het doel realistisch maken, gezien alle onzekerheden die er waren.

#### Leerpunt 16 - Realistisch starten

*Het stellen van een realistische CO<sub>2</sub>-doelstelling is cruciaal vanwege technische en organisatorische onzekerheden. Dit geldt vooral in het begin van de energietransitie, die nu al ver op gang is.*

De volgende materieelstukken waren gepland:

- 1 zero emissie graafmachine 25-30 ton;
- 1 zero emissie graafmachine 30-35 ton;
- 1 zero emissie wiellader (shovel) 2750-3000 ltr (L90/L120).

Aanvullend daarop waren de volgende zaken benodigd:

- Trafostation en overige laadinfrastructuur;
- 2 mobiele accupakketten.

In de contractuele afspraken is opgenomen dat het resultaat van de CO<sub>2</sub>-reductie gold. Het was daarmee toegestaan voor de aannemerscombinatie om dit materieel te vervangen door ander elektrisch materieel. Hier is voor gekozen omdat er nog onzekerheden waren ten aanzien van tijdige levering, productie in de praktijk en definitieve keuze en bijbehorende levering van de wiellader (huur of koop). Het was niet mogelijk de CO<sub>2</sub>-reductie te behalen door andere middelen, zoals gebruik van HVO. Dat is een effectieve manier om op een werk reductie te behalen, maar draagt weinig bij aan de transitie.

#### Leerpunt 17 - Resultaat centraal

*Het contracteren op totale CO<sub>2</sub>-reductie biedt flexibiliteit in de keuze en vervanging van elektrisch materieel.*

Het materieel werd ingezet voor specifieke bulktaken om langdurige inzet op het project te vergroten. Deze activiteiten van de graafmachines bestonden onder andere uit het lossen van schepen, ontgraven en aanbrengen van klei, zand en grond, en plaatsen van betonzulen. De wiellader werd vooral ingezet voor allround bouwplaatsondersteuning zoals schuiven van de werkbaan, vegen, laden en lossen van materialen, en waar mogelijk ook het bij rijden van de accu's.

### 4.2 Referentie en bepaling CO<sub>2</sub>-reductie

#### Referentie situatie

Om de CO<sub>2</sub>-reductie van het materieel te kunnen bepalen is eerst vastgesteld wat de referentiesituatie is. De referentiesituatie is bepaald op basis van de materieelplanning van het werk voor het Uitvoeringsontwerp (UO). Voor elk materieelstuk is gepland hoeveel dagen deze werkzaamheden op het werk uitvoerden en hoeveel het project daarmee daadwerkelijk uitstootte indien alle machines dieselmachines betroffen.

Daarbij werd er alleen gekeken naar machines die binnen de werkgrenzen (activiteiten op de bouwplaats) draaiden. Vrachtwagens die veelvuldig buiten de werkgrenzen reden waren daarom ook niet opgenomen.

De bijbehorende referentiesituatie was de situatie met regulier materieel in het jaar 2020. Hierbij is voor het reguliere materieel uitgegaan van stage IV/V en Euro 5/6 motoren. De basis voor de CO<sub>2</sub>-berekening voor de referentie situatie was redelijk eenvoudig; door de geplande draaiuren voor een reguliere machine te vermenigvuldigen met het theoretische brandstofverbruik is het totale brandstofverbruik bepaald. Dit brandstofverbruik is vervolgens uitgedrukt in CO<sub>2</sub> uitstoot middels de conversie van NMD/Ecolnvent van 'diesel burned in building machine', waarbij 1 liter gasolie/diesel overeenkomt met de uitstoot van 3,28 kg CO<sub>2</sub>. Hieruit volgde dat de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van het project 6.220 ton is.

#### Leerpunt 18 - Monitor draaiuren

*Het is belangrijk vroegtijdig na te denken over de wijze van monitoren. Monitoring op basis van draaiuren is eenvoudiger en beter toetsbaar dan monitoring op bespaarde brandstof.*

#### CO<sub>2</sub>-reductie

Het UO is al een heel duurzaam ontwerp; er is dus alleen bepaald wat puur de CO<sub>2</sub>-reductie is door inzet van het elektrische materieel ten opzichte van regulier materieel voor realisatie van dit duurzame ontwerp.

De CO<sub>2</sub>-reductie wordt bepaald door de begroote inzet van brandstofmachines voor de betreffende werkzaamheden te vervangen door elektrische machines. Hierbij wordt de inzet van brandstofmachines en het gemiddeld theoretisch brandstofverbruik, zoals is voorzien in de begroting voor de betreffende werkzaamheden, vervangen door geen verbruik (elektrisch materieel).

Voor elke machine is afzonderlijk de equivalente uitstoot bepaald. De equivalente uitstoot is gemiddelde uitstoot van een materieelstuk voor alle geplande activiteiten die het materieelstuk in de begroting staat met regulier materieel.

Kort gezegd wordt de CO<sub>2</sub>-reductie bepaald door het aantal draaiuren van elke elektrische machine vermenigvuldigd met de factor van de equivalente CO<sub>2</sub>-uitstoot (en daarmee reductie bij elektrisch) van een dieselmachine.

Tabel 1: Overzicht ingeplande materieelstukken, inzet dagen en bijbehorende CO<sub>2</sub>-reductie

Materieelstuk	Totale inzet	EQ CO <sub>2</sub> -reductie [ton/dag]	Totale CO <sub>2</sub> -reductie [ton]
Graafmachine 25-30 ton (Caterpillar 320/323 Z-line)	700 dagen	0,944	661
Graafmachine 30-35 ton (Caterpillar 330 Z-line LRE)	600 dagen	0,945	567
Wielwader 2750-3000 ltr (Volvo L120 en/of L70/90)	720 dagen	0,525	378
		<b>TOTAAL</b>	<b>1606 ton CO<sub>2</sub>-reductie</b>

#### Monitoring

Omdat de brandstofcomponent geheel wegvalt bij een elektrische machine is het meten van CO<sub>2</sub>-reductie 'aan de pijp' niet mogelijk. Het is dus logisch dat monitoring gebeurt aan de hand van het bespaarde brandstofverbruik en/of de inzet in uren. Dit kan dan vervolgens weer omgezet worden naar tonnen CO<sub>2</sub>-reductie.

Er is gekozen om bij de monitoring het aantal ingezette uren te monitoren en niet het bespaarde brandstofgebruik. Dit komt het beste overeen met de kostenopstelling en is relatief eenvoudig te monitoren en te toetsen.

Zoals eerder beschreven is de equivalente uitstoot de gemiddelde uitstoot van een materieelstuk voor alle geplande activiteiten die het materieelstuk in de begroting staat met regulier materieel. De elektrische machines worden namelijk ingezet op verschillende activiteiten. Per activiteit kan de uitstoot van het ingezette reguliere materieel verschillen. Het monitoren van activiteiten per machine is erg omslachtig. Dit zou betekenen dat één elektrische machine verschillende reducties per dag heeft, afhankelijk van de activiteit die hij uitvoert. Dat is lastig te monitoren. Om dit te vereenvoudigen maken we gebruik van een

equivalente uitstoot, een gemiddelde bepaald over de inzet en bijdrage van de verschillende materieelstukken in de CO<sub>2</sub>-begroting. Er is daarom gekozen voor de gemiddelde uitstoot te nemen van alle geplande activiteiten van die machine. Het gaat daarbij dus om theoretische volumes, theoretische inzet en het theoretische brandstofverbruik.

**Leerpunt 19 - Vereenvoudig monitoring**

*Kies bij monitoring voor een praktisch uitvoerbare methode in plaats van maximale theoretische nauwkeurigheid.*

De monitoring is hiermee vrij simpel. Het aantal uren van elke machine wordt bijgehouden met de daarbij corresponderende CO<sub>2</sub>-reductie. Om de voortgang te monitoren wordt dit vergeleken met de oorspronkelijke activiteiten en bijbehorende planning van CO<sub>2</sub>-reductie.

### 4.3 Contract

De belangrijkste contractafspraken waren:

- De opdrachtnemer diende de doelstelling van de CO<sub>2</sub>-reductie van 1606 ton te behalen door middel van de inzet van elektrisch materieel op de bouwplaats.
- De opdrachtnemer diende ieder half jaar, vanaf aanvang van de realisatiefase, de opdrachtgever te rapporteren over de realisatie en voortgang van de CO<sub>2</sub>-reductie
- De rapportage omvatte minimaal: 1. De feitelijke realisatie van CO<sub>2</sub>-reductie vanaf aanvang van de realisatiefase afgezet tegen de geplande CO<sub>2</sub>-reductie volgens de aangeboden CO<sub>2</sub>-berekening; en 2. Inzicht in de afwijkingen en bijsturing.
- Ten aanzien van de werkelijke inzet van materieel op dergelijke lange termijn waren er nog behoorlijke onzekerheden, daarom was het goed expliciet te benoemen dat niet de materieeltypen en hun inzet zelf de basis vormden, maar de totale CO<sub>2</sub>-reductie.
- Indien er een ander materieelstuk dan gepland op het werk wordt ingezet moet voor dit materieelstuk de bijbehorende equivalente CO<sub>2</sub>-uitstoot worden aangeleverd.
- Er gold geen vaste boeteclausule als de doelstelling niet werd gehaald, alleen werden er wel kosten verrekend als de doelstelling niet behaald werd. Dit werd naar rato afgerekend, in verhouding van 'behaalde CO<sub>2</sub>-reductie' / '1606 ton' x totale geraamde kosten aanbieder.

**Leerpunt 20 - Financiële prikkel proportioneel**

*Een proportionele financiële verrekening werkt beter dan een vaste boete bij innovatieve maatregelen.*

### 4.4 Risico's

De risicoservering van combinatie Answest bestond uit de onderstaande risico's:

- Uitval van een machine tijdens het werk;
- Te laat leveren van een machine;
- Productie/efficiëntie valt tegen;
- Uitval/achterblijven energieleverantie;
- Aansluitkosten onvoldoende voorzien.

### 4.5 Laadplein

Alle maatregelen voor het laden zijn geregeld onder verantwoordelijkheid van combinatie Answest. Daaronder viel:

- het inrichten van het laadplein bij het gemaal;
- De levering van energiec capaciteit door afspraken te maken met Stedin;
- De aanleg van een nieuw trafostation en overige laadinfrastructuur;
- De aanschaf van de benodigde (mobiele) accu's inclusief laden en transporteren.

Voor meer achtergrond verwijzen we naar het volgende hoofdstuk.

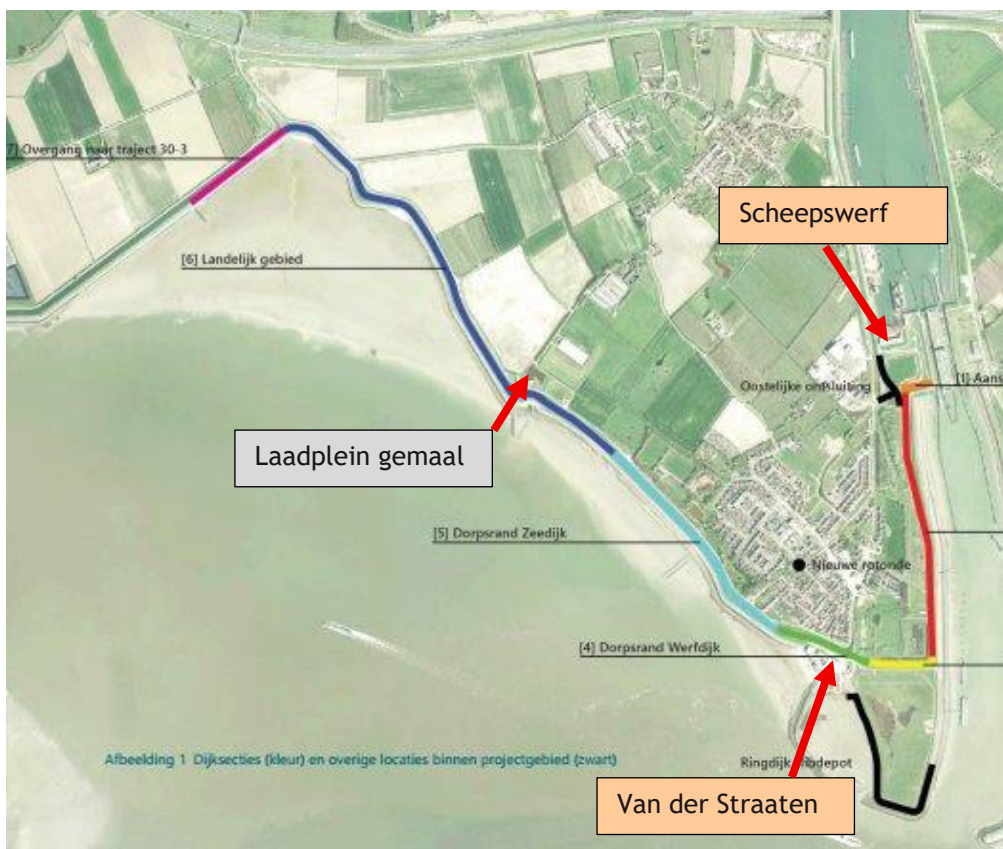
## 5 Laden

### 5.1 Laadplein

De locatie van het laadplein was gelegen bij het gemaal van het waterschap. Bij het gemaal was een terrein aanwezig wat qua omvang groot genoeg was om een laadplein in te kunnen richten. De aanwezigheid van een middenspanningskabel maakte de aansluiting relatief eenvoudig. De locatie van het laadplein bij het gemaal was ideaal vanwege de locatie, centraal gelegen in het werk (zie Figuur 18). Hierdoor waren de transportafstanden minimaal van de accu's en/of de materieelstukken. Dit bespaarde tijd en maakte de logistiek eenvoudiger. Vooral bij een lintvormig projectgebied zoals een dijk had een centrale ligging een enorme meerwaarde.

#### Leerpunt 21 - Centrale ligging laadplein

*Een centrale ligging van een laadplein is ideaal, vooral bij een lintvormig werk zoals een dijktraject.*



Figuur 18: Locatie laadplein gemaal en alternatieve locaties van der Straaten en scheepswerf

De inrichting van het laadplein is weergegeven in Figuur 19. Er was al een ouder transformatorstation aanwezig die gebruikt wordt voor het gemaal. Deze had echter onvoldoende capaciteit. Daarom is bij Stedin een verzoek gedaan een nieuw transformatorstation aan te leggen. Het duurde 12 maanden van de aanvraag van het station tot in gebruik name. Het oude station had een capaciteit van 160 kW en het nieuwe station een capaciteit van 700 kW. Naast het transformatorstation zijn 2 powerlock stations geplaatst. Deze powerlock stations konden gebruikt worden om materieel en accu's te laden. In de praktijk werden hier de accu's opgeladen. De accu's stonden op een trailer, die direct naar de materieelstukken vervoerd konden worden. Er is ook nog een verdeelkast van 125A geplaatst (paddenstoel), die gebruikt kon worden voor de graafmachine (Cat 330 Z-line). De inrichting van het laadplein en de aanvragen bij de energieleverancier waren de verantwoordelijkheid van de aannemerscombinatie.

#### Leerpunt 22 - Lange doorlooptijd aansluiting

*Aanvraag en realiseren van netaansluitingen hebben een lange doorlooptijd en moet daarom vroegtijdig worden opgestart.*

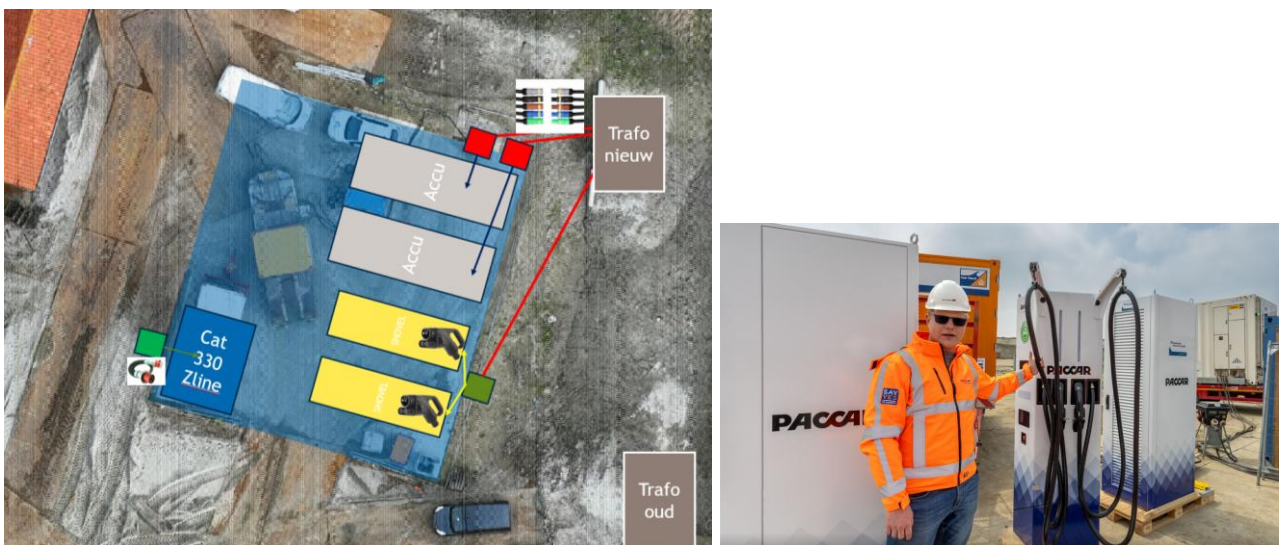


Figuur 19: Inrichting laadplein bij start project en powerlock station (rode blokken links en foto rechts)

In het eerste jaar van de realisatie zijn ook nog 2 andere laadlocaties gebruikt, bij aannemersbedrijf van der Straaten en bij de scheepswerf (zie verder paragraaf 5.2). Deze locaties zijn in eerste instantie gebruikt omdat het laadplein nog niet gereed was en nadat het laadplein gereed was om de laadcapaciteit uit te breiden.

### Uitbreiding laadplein

In de loop van het project is door de aannemerscombinatie Answest besloten het laadplein uit te breiden (zie Figuur 20). De reden hiervan was dat er een achterstand op de doelstelling was, doordat het laadplein later klaar was en machines later zijn geleverd. Het laden van een mobiele accu (250 kW) aan het elektriciteitsnetwerk ging sneller dan een machine direct aan het netwerk (130 kW). De mobiele accu kon vervolgens een vermogen leveren van 320 kW, dus de batterij van het materieel was op dat moment de beperkende factor. Er was sprake van energieverliezen tussen elektriciteitsnetwerk naar de mobiele accu en vervolgens vanuit de mobiele accu naar de batterij van de machine. Om deze reden is besloten om te investeren in een snellaadstation specifiek voor de shovel. Op deze manier kwam er een mobiele accu beschikbaar voor het energietekort van de graafmachines. Echter, dit stond enigszins op gespannen voet met het gecontracteerde transportvermogen van het laadstation. De snellader had een vermogen van 1000 KVA en bestond uit twee powerlock-aansluitingen. De tijd tussen bestellen en leveren bedroeg 5 maanden. De extra kosten zijn gemaakt door de aannemerscombinatie.



Figuur 20: Nieuwe inrichting laadplein (links) en snellader (rechts)

## 5.2 Alternatieven laadlocaties

Aanvankelijk was het de bedoeling alleen gebruik te maken van een laadplein bij het gemaal. Dit laadplein kon echter niet op tijd in gebruik worden genomen. Dit had onder andere te maken met het om-draaien van de fasering van het werk, vanwege vertragingen op het gebied van grondverwerving en verleggen kabels en leidingen. Ook werd verwacht dat het laadplein sneller aangesloten kon worden dan uiteindelijk het geval was.

### Leerpunt 23 - Relatie planning en laadinfra

*De beschikbaarheid van laadcapaciteit is belangrijk voor het vaststellen van de uitvoeringsplanning.*

Omdat het laadplein niet beschikbaar was, is er een tijdelijke laadvoorziening gerealiseerd nabij de Kaai. Deze locatie bleek geschikt dankzij de aanwezigheid van een oude scheepswerf, waardoor er voldoende ruimte en mogelijkheden waren voor het plaatsen van een extra laadpunt. Deze locatie is vooral veel gebruikt totdat het laadplein gereed was, maar is ook daarna nog in minder mate in gebruik gebleven. Daarnaast werd een graafmachine opgeladen bij het bedrijf Van der Straaten, dat direct aan het werkgebied grensde. De laadlocatie bij Van der Straaten is gebruikt totdat het laadplein gereed was. De tijdelijke laadlocaties zijn weergegeven in Figuur 18.

### Leerpunt 24 - Netwerkgestie vraagt om een alternatieve aanpak

*Kijk naast een nieuwe aanvraag via het net naar benutten van bestaande aansluitingen en alternatieve opties om voldoende laadcapaciteit te organiseren. Er zijn meerder mogelijkheden om laadcapaciteit te verkrijgen dan via een nieuwe aanvraag op het netwerk.*

### Leerpunt 25 - Bekijk reeds aanwezige laadlocaties van het waterschap

*Kijk in eerste instantie naar beschikbare locaties om op te laden binnen de assets van het waterschap (RWZI, gemaal). Vaak is er capaciteit beschikbaar om het materieel op te kunnen laden.*

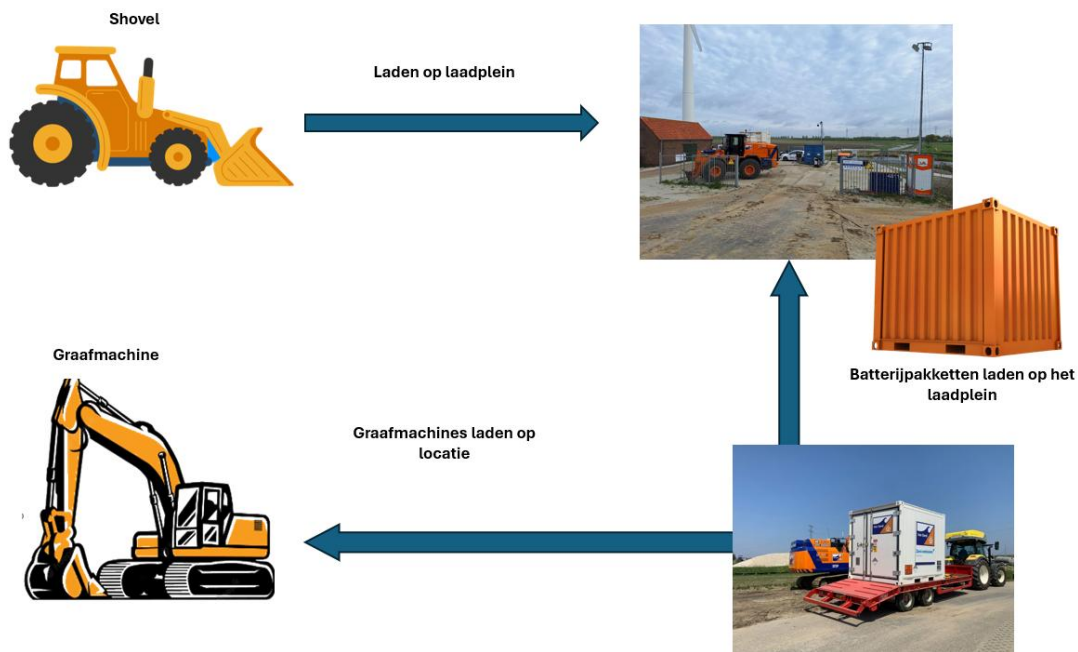
In de loop van de werkzaamheden is er ook nog gesproken met een lokale onderaannemer (Kloosterman) voor nog een extra oplaadpunt met een transportvermogen van 700 kW. Dit zou nog een extra oplossing kunnen zijn voor de energiec capaciteit. Een nadeel aan deze locatie was de transportroute. Dit oplaadpunt was namelijk gelegen in Eversdijk, zo'n tien minuten rijden van het projectkantoor. Uiteindelijk is hier daarom dan ook niet voor gekozen.

Ook is er in de loop van de werkzaamheden gekeken naar een innovatieve laadoplossing. Met deze oplossing zou het elektrisch materieel kunnen blijven laden, zelfs bij congestie bij elektriciteitsafname. Het concept omvat een mobiele stroomvoorziening, bestaande uit een accu in combinatie met zonnepanelen en/of windturbines. De benodigde vergunningen zijn besproken met het bevoegd gezag, maar vanwege de aanzienlijke doorlooptijd van het proces en vanwege versnelling van de uitvoeringsplanning was dit niet meer rendabel.

## 5.3 Laden

Het laden van het materieel verschilde per materieelstuk. De graafmachines reden op rupsbanden. Deze reden daardoor traag en het rijden kostte veel energie. De graafmachines werden daarom vrijwel altijd op hun werklocatie opgeladen door middel van het accupakket dat naar de graafmachine werd gebracht. De shovels hebben wielen en waren daardoor snel en het verplaatsen kost weinig energie. De shovels reden daarom zelf richting het laadplein om daar opgeladen te worden. De shovels zijn in het begin geladen bij het laadplein via de powerlocks stations en daarna via de nieuw geplaatste snelladers (met CCS2 lader).

De batterijpakketten (accu's) zijn altijd opgeladen op het laadplein. Deze stonden op een trailer, waardoor deze eenvoudig konden worden getransporteerd.



Figuur 21: Het laden van materieel

Het laadmoment hing af van de activiteiten die uitgevoerd moesten worden, maar gemiddeld gezien kon het opladen plaatsvinden op de onderstaande momenten: 9:00-9:30 uur, 12:30-13:00 uur, 16:30-7:00 uur. Dat betekende effectief dat de machines werden opgeladen gedurende de 2 pauzes en de nacht. De accu's werden opgeladen op alle tussengelegen momenten.

Vanwege de hogere energievraag dan vooraf bedacht was het noodzakelijk het materieel vaker op te laden. In eerste instantie is gekeken om de laadlogistiek en werktijden slimmer op elkaar af te stemmen. Dit bleek op gespannen voet met de Arbeidstijdenwet en/of beschikbaarheid aan voldoende vakmensen. Om de stilstandtijden toch zoveel mogelijk terug te dringen (en dus meer CO<sub>2</sub> te kunnen reduceren) is vervolgens gekozen om, naast de 2 voorziene accu's, additionele accu's in te zetten. Hierdoor nam ook het transport van de batterijen op het werk toe.

#### Leerpunt 26 - Realistische inschatting energieverbruik

*Bij de inschatting van het energieverbruik moet ook naast het draaien van het materieel, ook rekening worden gehouden met transport.*

#### Leerpunt 27 - Inzet voldoende accu's

*Met extra accucapaciteit kan productieverlies worden voorkomen en tegenvallers worden opgevangen.*

## 5.4 Capaciteit laden

Het beschikbare contractuele vermogen (contract Stedin, combinatie Answest) voor het laden op het laadplein was 500 kW. Het duurde 5 maanden van de aanvraag tot aansluiting. Het was een uitdaging onder dit vermogen te blijven. Het is gelukt binnen het contractuele vermogen te blijven, in tegenstelling tot de locatie bij de Kaai (zie verderop) door de machines en accu's niet tegelijk te laden en de software zo af te stellen dat deze niet de maximale capaciteit gebruikte. Hierdoor ging het laden wel minder snel en was het een uitdaging dit goed te plannen. Tijdens de uitvoering van het project stelde Stedin daarnaast congestiemanagement op afname in. Aanvragen voor het uitbreiden van het contractuele vermogen werden daardoor niet in behandeling genomen. Daarnaast dreigde afsluiting en/of boetes als het contractuele vermogen werd overschreden.

#### Leerpunt 28 - Verbruik binnen contractueel vermogen

*Door een nauwkeurige laadplanning en afstellen laadsoftware kan je maximaal gebruik maken van contractueel vermogen zonder deze te overschrijden.*

**Leerpunt 29 - Ruime aanvraag contractueel vermogen**

*Vraag het contractuele vermogen ruimer aan dan theoretisch benodigd, zodat onvoorziene gebeurtenissen kunnen worden opgevangen.*

Bij de scheepswerf op de Kaai is het contractuele vermogen wel regelmatig overschreden. In eerste instantie was het contractuele vermogen niet goed bekend en ook niet dat de aanwezige aansluiting een hoger vermogen had dan het contractuele vermogen. Dit leidde tot twee formele waarschuwingen en de dreiging van afsluiting bij verdere overschrijdingen. Het powerlock station bij de scheepswerf is daarom verplaatst naar het laadplein en de software is zo afgesteld dat deze niet de maximale capaciteit gebruikte. Het contractuele vermogen is daarna niet meer overschreden.

## 6 Materieel en accu's

### 6.1 Materieel

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de specificaties van het ingezette materieel tijdens het project. De 3 begrootte machines in de bouwteamfase zijn als eerste genoemd: de Cat. 330 Z-line, Cat. 323 F-line en Volvo L120H. In de praktijk zijn uiteindelijk 8 verschillende machines ingezet. Er zijn uiteindelijk meer machines ingezet dan oorspronkelijk begroot. In eerste plaats omdat er een achterstand op de doelstelling was, doordat de machines te laat geleverd zijn. Daarnaast waren er meer storingen dan verwacht.

#### Leerpunt 30 - Flexibele inzet

*Elektrisch materieel vroeg flexibiliteit in planning, omdat levering en prestaties onzeker waren. Zorg er daarom voor dat planning en materieelinzet hier in een vroeg stadium op worden ingericht.*

De markt van het elektrisch materieel was in de tussentijd een stuk beter geworden, waardoor het eenvoudiger was andere machines aanvullend op het werk te krijgen. De uitdaging van het groter aantal materieelstukken lag in de beschikbare oplaadcapaciteit. Daarnaast moesten de laadmomenten goed worden ingepland. Van elke machine worden hieronder de technische details, zoals accucapaciteit, laadvermogen, energieverbruik en operationele prestaties besproken. Daarnaast worden eventuele uitdagingen en bijzonderheden tijdens het gebruik van de machine belicht. Naast deze machines zijn er 3 accupakketten ingezet. Machinisten ervaren het gebruik van elektrische machines als prettig, en waren zeer snel gewend aan het gebruik.

#### Cat. 330 Z line

De Cat. 330 Z-line is een 30-ton graafmachine, uitgerust met een lange giek en omgebouwd tot elektrische uitvoering door PON Equipment. De interne accu van de graafmachine heeft een capaciteit van 420 kWh, wat onvoldoende is om de machine een volledige werkdag te laten draaien. Het verbruik van de accu varieert afhankelijk van de aard van de werkzaamheden en de omstandigheden, en kan zowel hoger als lager uitvallen. De graafmachine kan een hoog laadvermogen aan, tot 350 kW, maar het verplaatsen van de kraan vereist veel tijd en accuverbruik. Dit betekent dat het efficiënter was de benodigde batterij naar de kraan toe te brengen. De machinisten ervaren het gebruik van de machine als prettig, en een belangrijk voordeel van de graafmachine is de mogelijkheid om veel data in real-time uit te lezen, wat bijdraagt aan de efficiënte monitoring en onderhoud van de machine.



#### Cat. 323 F line

De Cat. 323 F line is een eerste generatie elektrische graafmachine, die door PON Equipment is omgebouwd tot een elektrisch aangedreven variant. Deze machine beschikt over een beperkte accucapaciteit, waardoor het niet mogelijk is om een volledige werkdag te draaien op één lading. Daarnaast is het laadvermogen relatief beperkt: het opladen gebeurt met 85 kW via een 125 A-aansluiting, wat resulteert in langere laadtijden. Tijdens het project Dijkversterking Hansweert is deze graafmachine uitsluitend ingezet voor lichte werkzaamheden. 's Nachts werd de machine opgeladen, waarna deze doorgaans inzetbaar was van 7:00 tot circa 14:00 à 15:00 uur. Een bijkomend nadeel is het beperkte datagebruik van de machine. Doordat er weinig informatie op afstand uitgelezen kan worden, is bij een storing direct de aanwezigheid van een monteur vereist om het probleem te diagnosticeren en te verhelpen.



### Volvo L 120 H

De Volvo L120H is een laadschop (shovel) die zich eenvoudig en efficiënt kan verplaatsen. Ondanks dat de shovel 's nachts volledig wordt opgeladen, is de accucapaciteit van circa 250 kWh niet voldoende om een volledig dagdeel te draaien. Het opladen verloopt met een vermogen tot 110 kW. Tijdens het werk kreeg de shovel een storing. Bij deze storing stond de shovel 3 weken midden op de projectlocatie en moest er tijdens deze weken om de shovel heen gewerkt worden, wat onhandig was. Daarnaast was het onduidelijk of er überhaupt veilig gewerkt kon worden in de omgeving van de shovel. Tijdens de reparatie was het daarnaast onduidelijk wanneer deze weer beschikbaar was.



### Doosan DSL 260 E

De Doosan DSL 260 E is eveneens een laadschop (shovel) en kenmerkt zich door zijn hoge mate van mobiliteit. Het verplaatsen van de machine kost weinig energie en het gebruik ervan wordt door de machinist als zeer prettig ervaren. Deze shovel is ingezet ter vervanging van een van de elektrische kranen, maar werd helaas pas laat op het project geleverd. In de eerste weken na levering deden zich daarnaast diverse softwareproblemen voor, waardoor de shovel regelmatig terug moest naar de leverancier voor aanpassingen en ondersteuning. Wanneer de shovel tijdens de pauze wordt opgeladen, is het mogelijk om er een volledige werkdag mee te draaien. De accucapaciteit bedraagt 400 kWh en opladen kan met een vermogen tot 130 kW.



### Elektrische mobiele kraan

De elektrische mobiele kraan komt van het bedrijf Kloosterman. De kraan is omgebouwd tot elektrische kraan en werd opgeladen door een van de accu's op locatie. De kraan heeft een groot vermogen, waardoor de kraan mee kon helpen aan het leggen van de Quattro-blocks en het profileren van de dijk. De chauffeur ervaart het gebruik van de kraan als prettig. Daarnaast rijdt deze kraan sneller ten opzichte van de andere elektrische kranen. Als de kraan 's nachts wordt opgeladen aan een van de accu's kan de kraan een hele dag draaien op het project en hoeft dus tijdens de 'schaft' niet opgeladen te worden. Dat is prettig geweest van de productiviteit en de efficiency van de werkzaamheden. De kraan is relatief nieuw en heeft geen problemen gehad het gehele project.



### Elektrische asfaltmachine

De elektrische asfaltmachine is onderdeel van het materieel van KWS. Tijdens de dijkversterking werd deze ingezet voor het asfalteren van meerdere wegvakken. De machine is omgebouwd tot een volledig elektrische uitvoering. De asfaltmachine beschikt over een accucapaciteit van 265 kWh en kan worden opgeladen via zowel wisselstroom (AC) als gelijkstroom (DC). De maximale laadsnelheid bedraagt 120 kW bij DC-laden en 44 kW bij AC-laden. Het gemiddeld energieverbruik ligt op circa 48 kWh per dag. Wanneer de machine 's nachts volledig wordt opgeladen en aanvullend tijdens schafmomenten wordt bijgeladen, kan deze net een volledige werkdag draaien. In de praktijk betekent dit dat de machine doorgaans net geen 8 uur operationeel is. Gedurende het project heeft de asfaltmachine gefunctioneerd zonder noemenswaardige problemen.



### Elektrische wals

De elektrische wals maakt eveneens deel uit van het emissievrije materieel van KWS. Tijdens de dijkversterking ondersteunde deze wals de elektrische asfaltmachine bij het walsen van asfalt. Net als diverse andere machines is de wals omgebouwd naar een volledig elektrische uitvoering. De machine beschikt over een accucapaciteit van 110 kWh en kan uitsluitend worden opgeladen via wisselstroom (AC). Bij gebruik van een 63 ampère-aansluiting bedraagt de maximale laadsnelheid 44 kW en bij een 32 ampère-aansluiting is dit 22 kW. Het gemiddelde energieverbruik van de wals ligt op circa 15 kWh per dag. Door de wals 's nachts op te laden en aanvullend tijdens de schafmomenten, kan deze zonder onderbreking een volledige werkdag worden ingezet. Ook de wals heeft tijdens het project zonder noemenswaardige problemen gefunctioneerd.



### Elektrische grader

De elektrische grader maakt onderdeel uit van het emissievrije materieel van de Drenth Groep en werd door combinatie Answest ingezet tijdens de dijkversterking. De machine werd gebruikt voor het profileren en egaliseren van de wegfundatie, als voorbereiding op de asfaltwerkzaamheden. De grader is omgebouwd tot een volledig elektrische uitvoering. De accu-capaciteit bedraagt 325 kWh en bezit een on-board lader van 40 kW. Met een snellader kan de accu in 2 uur tijd van 20 tot 80% geladen worden. Met een CEE 400V/63A aansluiting kan in 7 uur tijd van 10 tot 100% geladen worden en met een 32A aansluiting in 13 uur van 10 tot 100%. De fabrikant geeft een werktijd op van 8 uur.



#### Leerpunt 31 - Accu-capaciteit vraagt om goede werkdagplanning

*In de praktijk is tussentijds laden of slim plannen nodig om een gehele werkdag aaneengesloten werkzaamheden uit te voeren.*

#### Leerpunt 32 - Type werkzaamheden bepaalt stroomverbruik

*Het stroomverbruik verschilt veel per activiteit. De activiteiten kunnen worden afgestemd op het stroomverbruik.*

#### Leerpunt 33 - Laadmomenten afstemmen op schafttijden

*De laadmomenten moeten goed worden afgestemd op de schafttijden van de medewerkers.*

#### Leerpunt 34 - Kies nieuwe generatie materieel

*De nieuwe generatie materieel heeft over het algemeen meer accu-capaciteit, minder storingen en is beter real time te monitoren.*

#### Leerpunt 35 - Opschalen elektrisch materieel lastig

*Elektrisch materieel is moeilijker op en af te schalen dan regulier materieel. Dit komt door de beschikbaarheid, beperkte laadcapaciteit en in mindere mate logistieke uitdagingen van materieel naar het werk, als mede accu's op het werk.*

## 6.2 Levering en storing materieel

### Levering

Voor aanvang van de inzet van het elektrisch materieel op het project moesten de machines tijdig geleverd worden. De oorspronkelijke levertijd was geschat op zes maanden, maar in de praktijk bleek deze te variëren tussen negen en twaalf maanden. Hierdoor kon het elektrisch materieel niet tijdig worden ingezet. De langere levertijd was voornamelijk toe te schrijven aan een beperkte beschikbaarheid bij de leveranciers en de complexiteit van het ombouwen van de machines. Daarnaast vormde het verkrijgen van de benodigde certificeringen en keurmerken een aanzienlijke uitdaging.

#### Leerpunt 36 - Levertijd materieel ruim inplannen

*Voor de levertijd van het elektrisch materieel moet een marge (ca. 3-6 maanden) in de planning worden opgenomen.*

Om de leveringsproblematiek te mitigeren heeft Combinatie Answest de 'Commissie Materieel' opgericht. Deze commissie bestond uit vertegenwoordigers van de materieeldiensten van Van Oord en KWS, evenals de technisch- en realisatiemanager van het project. De materieeldiensten onderhielden regelmatig contact met leveranciers zoals Pon Equipment, SMT/Volvo, Staal/Doosan, Big Ass Battery en Stedin. Binnen de commissie werd de voortgang van de leveringen besproken en werden de consequenties voor het project geanalyseerd. Ook werd aandacht besteed aan specifieke problemen binnen het project, waarbij indien nodig leveranciers en specialisten werden betrokken.

#### Leerpunt 37 - Inrichten commissie materieel

*Richt een vaste commissie op die de levering, storingen en risico's van elektrisch materieel centraal coördineren.*

### Storingen

Na aankomst van het elektrisch materieel op het werkterrein traden er storingen op bij meerdere machines. Storingen werden vooraf verwacht, aangezien het toepassen van nieuwe technologieën doorgaans gepaard gaat met kinderziektes. In de praktijk bleek echter dat het aantal storingen en de duur ervan aanzienlijk groter waren dan voorzien.

Zo stonden de elektrische shovels (Volvo L120 Electric en Doosan) in totaal 65 dagen stil gedurende een periode van 25 weken, wat neerkwam op 48% van de beschikbare tijd. De machines zijn herhaaldelijk van het werk gehaald en teruggestuurd naar de leverancierslocaties in Zweden en Veghel voor herstel. De hydraulische graafmachine CAT323 Z- line kende een uitval van 154 dagen op een totaal van 52 weken, een beschikbaarheidspercentage van slechts 59%. De voornaamste oorzaak van de storingen lag in softwareproblemen, met name in de communicatie tussen de accupakketten en de machinebesturing. Deze zogenoemde 'handshake' - de softwarematige acceptatie van de energievoorziening - functioneerde regelmatig niet naar behoren. In tegenstelling tot diesel materieelstukken, konden de elektrische machines meestal niet op het werk gerepareerd worden. Het verhelpen van een storing duurde daardoor langer. De oorzaak was vaak lastig te achterhalen. Deze kon liggen aan het materieel zelf, de software of de accu's, waarvoor verschillende partijen verantwoordelijk waren.

**Leerpunt 38 - Software kritieke factor**

*Storingen kunnen worden veroorzaakt door het materieel zelf, de software of de accu's. De meeste storingen worden veroorzaakt door softwareproblemen.*

Gedurende het project gingen de ontwikkelingen snel. De levertijden van nieuwe machines werden aanzienlijk verkort. De uitval door storing liep sterk terug; in het laatste half jaar is er vrijwel geen storing meer geweest.

**Leerpunt 39 - Houd rekening met ontwikkelingen**

*Gedurende het werk zijn er veel ontwikkelingen. Het elektrisch materieel is beter beschikbaar, technische storingen komen steeds minder vaak voor, de laadinfrastructuur verbetert en projectteams leren om hun werkzaamheden anders te organiseren.*

### Inzetbaarheid

De effectieve inzetbaarheid van elektrisch materieel in de dagelijkse uitvoering was minder dan verwacht. In de oorspronkelijke planning is ervan uitgegaan dat elektrische machines een volledige werkdag inzetbaar zouden zijn, mits deze tijdens reguliere werkpauses en in de avonduren werden opgeladen. In de praktijk bleek deze aanname niet haalbaar: de meeste machines konden geen volledige werkdag draaien en sommige zelfs geen halve dag. Als gevolg hiervan moesten machines vaker tussentijds worden opgeladen tijdens de werkdag, wat leidde tot verminderde productieve tijd. Deze beperking heeft direct gevolgen gehad voor de logistieke planning en de voortgang van de werkzaamheden. Afhankelijk van de positie van de werkzaamheden op het kritieke pad binnen projectplanning, werd deze vertraging ofwel geaccepteerd, of werd tijdelijk gekozen voor de inzet van (diesel)materieel om de voortgang te borgen.

### Productie

Het oorspronkelijk plan ging ervan uit dat de productie van elektrisch materieel per daadwerkelijk draaiuur vergelijkbaar was met die van diesel materieel. Maar dit bleek te verschillen, afhankelijk van de aard van de werkzaamheden. Werkzaamheden zoals het ontgraven van grote laagdikten grond of het opbreken van verhardingen vroegen meer vermogen/opbrekkracht van een machine dan bijvoorbeeld het profileren van de teelaarde. Bij een grotere vraag naar vermogen/opbrekkracht was er meer energie nodig. Bij een dieselmachine ging bij zware omstandigheden het brandstofverbruik omhoog, waarbij de brandstoftank meer dan voldoende groot was voor een dagproductie in deze situatie. Bij elektrisch materieel was de opslagcapaciteit van de batterij de beperkende factor. Om zo zuinig mogelijk met de beschikbare energie om te gaan werd de productie verlaagd om het aantal laadmomenten (en dus stilstand) te reduceren wat per saldo efficiënter was voor het draaien met elektrisch materieel. De productie per gewerkt draaiuur lag ongeveer 10-15 % lager in vergelijking met regulier materieel.

**Leerpunt 40 - Productie kan afwijken**

*De productie van elektrisch materieel kan iets lager liggen dan conventioneel materieel. Dit verschilt per type werk en de gekozen laadstrategie. Indien de laadcapaciteit niet beperkend is, is er geen verschil in productie.*

### Coördinator elektrisch materieel en storingsdienst

Bij de inzet van elektrisch materieel kwam meer kijken dan verwacht. De innovatieve machines vereisten hoge vermogens, speciale snelladers, verschillende elektrische aansluitingen en een efficiënte energieoverdracht, wat het proces complexer maakte. Machines worden voortdurend doorontwikkeld en dus steeds aangepast, geüpdatet en omgewisseld. In deze dynamische situatie ontbrak het aan voldoende algemeen verspreide kennis en capaciteit om dit met gedeelde verantwoordelijkheden op het project op te

vangen. Er was behoefte aan één aanspreekpunt met expertise, die de communicatie tussen de machinisten, de uitvoering en de verschillende leveranciers van de machines coördineerde. Daarnaast was coaching van de machinisten noodzakelijk om ondanks tegenslagen de best mogelijke oplossingen te vinden en door te zetten. Er is gaande het proces een storingsdienst binnen de aannemerscombinatie opgericht die project overkoepelend te werk ging. Hierdoor werden geleerde lessen op het ene project direct toegepast op het andere project. Deze storingsdienst stond in direct contact met de machinisten, materieeldiensten, leveranciers/specialisten en de coördinator elektrisch materieel.

**Leerpunt 41 - Centraal aanspreekpunt**

*Zorg voor één centraal aanspreekpunt die de specialistische kennis samenbrengt en coördineert.*

**Leerpunt 42 - Inrichten storingsdienst**

*Richt een projectoverstijgende storingsdienst in bij de aannemer, zodat kennis van storingen kan worden toegepast op andere projecten en op het lopende project snel zijn opgelost.*

**Inzet personeel**

Een machinist van het elektrisch materieel kan niet zomaar door een ‘reguliere’ machinist worden vervangen tijdens ziekte en/of vakantie. Het gevolg is dat als een machinist ziek wordt of met vakantie is, er een vervanger met de juiste kwalificaties gezocht dient te worden. Deze zijn op dit moment ‘schaars’. Een gevolg kan dus zijn dat het betreffende elektrisch materieel stil komt te staan bij ziekte en/of vakantie van de machinist. Daarnaast kan niet iedere monteur aan een elektrisch materieel-stuk werken i.v.m. het ontbreken van de nodige kwalificaties (onder o.a. werken met stroom (hoogspanning)). Dit kan leiden tot langere wachttijden om storingen te verhelpen. Beide onderwerpen zijn tijdens de aanbestedingsfase niet onderkend door alle betrokken partijen. Vanwege de snelle transitie neemt momenteel het gekwalificeerde personeel ook toe, echter was dit ten tijde van uitvoering van project Hansweert nog onvoldoende, waardoor machines enkele keren stilstonden.

**Leerpunt 43 - Inzet personeel**

*Voor de inzet voor het werken met elektrisch materieel is specifiek gekwalificeerd personeel nodig. Personeel is daardoor moeilijker beschikbaar.*

**6.3 Accupakketten**

Het laatste type materieel dat wordt besproken, zijn de accupakketten. Deze batterijen zijn essentieel voor het opladen van verschillende andere materieelstukken, zoals kranen en shovels. Op de locatie zijn drie verschillende accupakketten gebruikt, die onderling verschillen in capaciteit, type aansluiting en het vermogen waarmee ze konden laden en ontladen. De aansluitingen waren daardoor niet uitwisselbaar. De ene kon opgeladen worden met wisselspanning AC (uit net) en de andere ook met gelijkstroom DC, waarvoor eerst omvorming nodig was. In onderstaande tabel zijn de specificaties van de verschillende accupakketten weergegeven.

**Leerpunt 44 - Variatie in accupakketten**

*De accu's verschillen onderling in capaciteit, type aansluiting en het vermogen, waardoor uitwisselbaarheid beperkt is. Verdere standaardisatie is noodzakelijk.*

Tabel 2: Specificaties van de verschillende toegepaste accupakketten

Batterij	Kleur	Eigenaar	kW in	Aansluiting	kW uit	Aansluiting	Capaciteit [kWh]	Machine
Big Ass battery	Oranje	Van Oord	250 (AC)	Powerlock	350	CCS2 (DC)	800	330
Pon rental	Wit	PON	250 (AC)	Powerlock	350	CCS2 (DC)	400	Shovel
Big Ass battery rental	Wit	Van Oord	85 (DC)	125A/Powerlock	85	125A (AC)	400	323F



Figuur 22: Eén van de accupakketten (de Big Ass battery) die de elektrische kraan aan het opladen is

Gedurende het werk is er één extra accu op het werk gekomen (er waren er 2 gepland). Dit was nodig om de materieelstukken tijdig te kunnen laden. Met 2 accu's was dat lastig haalbaar, vanwege de werktijden van de verschillende medewerkers. Alleen als 's nachts een medewerker de accu's aan de lader zou verwisselen was het gebruik van 2 accu's haalbaar geweest. Daarnaast was de accucapaciteit en laadsnelheid lager dan verwacht.

Initieel werd er verwacht dat het elektrisch materieel genoeg accucapaciteit had om een hele werkdag (8 draaiuren) te kunnen functioneren als het tijdens de normale werkpauses en avonduren werd opgeladen. Dit bleek niet het geval. Voor de shovels betekende dit, dat zij extra moesten laden overdag om ervoor te zorgen dat zij de dag vol konden maken, omdat de accucapaciteit van de machine zelf niet groot genoeg bleek om de uren tussen de pauses vol te maken. Bij de graafmachines zorgde vooral de frequentie in laadstoringen vanuit de laadbatterij in combinatie met een lagere laadsnelheid voor minder werkuren dan verwacht. Gezien de schommelingen in energieprestaties, door voortdurende updates en reparaties aan de batterijen was de performance hiervan niet eenduidig vast te leggen en bleek erg afhankelijk van het moment. De laadsnelheid is momenteel 30-35% trager dan verwacht. De accupakketten hebben daarnaast 25-30% minder energiec capaciteit dan verwacht, dit resulteert in het 3x vaker heen-en-weer transporteren van de accu's tussen het laadplein en het materieel dan voorzien. Dit geeft een grote impact op de logistieke planning in het werk; er moet overdag vaker geladen worden. Tijdens het opladen staat het elektrisch materieel stil. Afhankelijke van het kritieke pad in de planning werd gedurende het werk de vertraging geaccepteerd of werden de werkzaamheden tijdelijk uitgevoerd met regulier materieel.

**Leerpunt 45 - Realistische laadsnelheid en energiec capaciteit**  
*Houd bij de planning rekening met lagere laadsnelheid en energiec capaciteit dan de fabrieksopgave.*

#### 6.4 Inzet hybride materieel

Gedurende het werk is aanvullend gebruik gemaakt van vijf hybride materieelstukken. Deze waren niet voorzien op het werk.

- Elektrische kraan op kraanschip Werkendam;
- Bulldozer D6 XE Hybrid;
- Bulldozer D5 next gen Hybrid;
- HGM Sennebogen 850E;
- HGM Sennebogen 855E.

Samen resulteerde deze hybride inzet in een additionele CO<sub>2</sub>-reductie van 453 ton.

## 7 Logistiek en uitvoerbaarheid

Voor een efficiënte inzet van elektrisch materieel is een doordachte logistieke organisatie van cruciaal belang. Het tijdig aan- en afvoeren van batterijen speelt hierbij een sleutelrol, aangezien het stilvallen van machines leidt tot verminderde productiviteit en vertragingen in het werkproces. Het waarborgen van goed functionerende transportroutes is dan ook essentieel om de continuïteit van het materieelgebruik te garanderen. In de praktijk blijkt het echter vaak een complexe opgave om deze logistieke routes optimaal in te richten.

### 7.1 Transportroutes in relatie tot de uitdagingen

Tijdens de dijkversterking bij Hansweert was het oorspronkelijke plan om batterijen met een waterstoftrekker te vervoeren naar het materieel. Deze trekker bleek echter onvoldoende krachtig. Dit kwam vooral door het gewicht van de accu van 16.000 kg en de gedeeltelijk onverharde transportroute. Daarom is in het vervolg van het project gekozen voor transport met een tractor en aanhangwagen.

#### Leerpunt 46 - Gewicht accupakketten onderschat

*Het gewicht van accupakketten stelt hogere eisen aan transportmaterieel en ondergrond dan vooraf vaak wordt aangenomen.*



*Figuur 23: Vervoer accupakket door op waterstof aangedreven trekker*

Het vervoer van batterijen met een tractor en aanhanger bracht eveneens logistieke uitdagingen met zich mee. Een belangrijk nadeel was dat de tractor tijdens de dijkversterking bij Hansweert uitsluitend over nagenoeg verharde wegen kon rijden. Hierdoor was het voertuig beperkt tot het onderhoudspad, de weg aan de binnenzijde van de dijk, de verschillende depots en het laadplein om de betreffende machines te bereiken. Daarnaast moest er voldoende ruimte beschikbaar zijn zodat de kraan na de laadpauze kon keren. Een mogelijke oplossing om deze beperking te omzeilen was het gebruik van langere kabels, maar dit is technisch op dit moment nog niet realiseerbaar. Daarom moest de batterij binnen een straal van drie meter van het materieel worden geplaatst.

#### Leerpunt 47 - Opstelruimte accupakket

*Door de beperkte mogelijke kabellengte moet het accupakket dicht bij het materieel worden geplaatst. Hiervoor moeten vaak extra voorzieningen worden gemaakt, zoals rijplaten, keerplek en opstelplek.*

Voor aanvang van de pauzetime werden de batterijen vanuit het laadstation naar de kranen vervoerd met een tractor en aanhanger. Gemiddeld duurde het verplaatsen van één batterij, inclusief het aan- en afkoppelen, tussen de 10 en 15 minuten. Deze tijdsduur was echter sterk afhankelijk van de specifieke locatie en bereikbaarheid van de kraan. Hoe eenvoudiger de toegang tot de machine, des te sneller de batterij

kon worden afgeleverd. In complexe of stedelijke omgevingen kan de benodigde tijd per verplaatsing aanzienlijk toenemen, wat directe gevolgen heeft voor de planning en inzetbaarheid van personeel en materieel. Een efficiënte inrichting van het transportproces is daarom van groot belang om vertragingen te voorkomen. Tijdens de dijkversterking bij Hansweert werd veel gewerkt op een ondergrond van klei en veen, wat aanzienlijke logistieke uitdagingen met zich meebracht. De tractor kon niet op deze ondergrond rijden. In sommige gevallen gold dit ook voor de kraan, die dan op schotten of rijplaten geplaatst moest worden om inzetbaar te blijven.

Wanneer de kraan opgeladen moest worden, moest de machine via verplaatsing van schotten richting de tractor met het accupakket worden gebracht. De tractor kon namelijk de kraanlocatie niet bereiken. Deze handeling kostte veel tijd, waarin de kraan niet inzetbaar was, wat leidde tot verminderde productiviteit en een langere uitvoeringstijd. Daarnaast bracht deze werkwijze extra kosten met zich mee. Voor het creëren van een veilige parkeerplaats voor het zware accupakket moesten soms duikers of dammen worden aangelegd of moest de ondergrond worden gestabiliseerd met zand. Het aanbrengen van rijplaten was in alle gevallen noodzakelijk.

**Leerpunt 48 - Bereikbaarheid bepalend voor productie**

*De bereikbaarheid van het materieel heeft directe invloed op laadtijd, stilstand en productie; logistiek ontwerp beïnvloedt daarmee rechtstreeks de uitvoerbaarheid.*

## 7.2 Impact op uitvoerbaarheid en producties

De transportroutes en de logistiek hebben een grote invloed op de uitvoerbaarheid van het werk en de productiecapaciteit op het project. De beschikbaarheid en toevoer van energie zijn cruciaal voor het functioneren van de kranen; zonder een tijdige levering van de batterij kunnen deze machines niet opereren. In tegenstelling tot shovels, die zelfstandig naar het laadplein kunnen rijden, zijn de kranen hiervoor afhankelijk van externe transportmiddelen, zoals een tractor.

Het is daarom van essentieel belang dat de kranen goed bereikbaar zijn en dat de logistieke processen rondom het batterijtransport efficiënt en doordacht zijn ingericht. Een optimale bereikbaarheid minimaliseert onnodige verplaatsingen en draagt bij aan een betere benutting van het materieel. Dit heeft een directe positieve impact op zowel de uitvoerbaarheid van de werkzaamheden als op de productiviteit en kostenefficiëntie van het project.

**Leerpunt 49 - Bereikbaarheid kraan essentieel**

*Het verplaatsen van een kraan is tijdrovend en verbruikt veel energie. De logistiek moet gericht zijn op minimale machineverplaatsing, wat betekent dat de accu zo dichtbij mogelijk naar de kraan moet worden gebracht.*

**Leerpunt 50 - Tijdelijke voorzieningen benodigd**

*Er zijn regelmatig tijdelijke voorzieningen benodigd om de accu's bij het materieel te kunnen laten komen, zoals tijdelijke duikers/ dammen, ondergrond stabiliseren met zand, aanbrengen van rijplaten.*

## 8 Veiligheid

Het werken met elektrisch materieel brengt andere veiligheidsrisico's met zich mee dan het gebruik van diesel- of benzinematerieel. Daarom is het essentieel om specifieke veiligheidsmaatregelen te nemen die passen bij de kenmerken van elektrische systemen. Elektriciteit kan zowel materiële schade als letsel veroorzaken, waardoor het beheersen van deze risico's van groot belang is. Tijdens de dijkversterking bij Hansweert zijn diverse maatregelen getroffen om de veiligheid te waarborgen.

### 8.1 Welke veiligheidsmaatregelen zijn toegepast

Voorafgaand aan het treffen van veiligheidsmaatregelen was het noodzakelijk om de relevante risico's systematisch in kaart te brengen. Pas nadat deze risico's waren geïdentificeerd, konden passende beheersmaatregelen worden vastgesteld.

De risicoanalyse is uitgevoerd conform de project-RI&E en aangevuld met specifieke aandachtspunten voor hoogspanningssystemen, energieopslag en laadinfra. Hierbij is nadrukkelijk gekeken naar zowel technische risico's als gedrags- en gebruiksrisico's op de bouwplaats.

### 8.2 Risico's

Ten aanzien van het gebruik van elektrisch materieel zijn er verschillende veiligheidsrisico's. Ten eerste kan bij het aan- en afsluiten van elektrisch materieel elektrische schokken plaatsvinden. Dit kan ook gebeuren tijdens onderhoud. Deze schokken kunnen ontstaan door het onjuist gebruiken van de kabels. Dit kan leiden tot elektrocutie. Dit kan zorgen voor ernstige letselschade of tot het overlijden van de gebruiker. Een tweede risico is kabelmanagement. Laadkabels kunnen namelijk struikelgevaar veroorzaken. Dit kan zorgen voor letsel aan medewerkers. Daarnaast kunnen kabels klem raken tussen bewegende onderdelen, wat ook ernstige gevolgen kan hebben. Mechanische beschadiging kan optreden tijdens het transport en de opslag van elektrisch materieel. Verkeerd transport of onjuiste opslagmethoden kunnen leiden tot beschadigingen aan de batterijen, wat kortsluiting en brand kan veroorzaken. Ook een impact van buitenaf, zoals een shovel die tegen een batterij aan rijdt, is een risico. Thermal Runaway is een ernstig risico bij het gebruik van lithium-ion batterijen. Thermal Runaway houdt in dat er een ongecontroleerde temperatuurstijging optreedt in de batterijen, wat kan leiden tot brand of zelfs een explosie. De oorzaken van Thermal Runaway zijn onder andere mechanische beschadiging, overbelasting en kortsluiting.

Dieseldampen zijn Arbo technisch een probleem, wat door de Arbodienst duidelijk is ingekaderd. In het geval van elektrisch materieel heb je geen last van dieseldampen.

#### Leerpunt 51 - Veiligheidsrisico's elektrisch materieel

*Het werken met elektrisch materieel brengt andere veiligheidsrisico's met zich mee dan het gebruik van diesel- of benzinematerieel. Het is noodzakelijk om de relevante risico's vooraf systematisch in kaart te brengen.*

### RISICO'S



Figuur 24: De verschillende veiligheidsdomeinen bij elektrisch materieel

### 8.3 Maatregelen

Om de hierboven genoemde risico's te mitigeren, zijn verschillende gerichte en preventieve maatregelen getroffen. Om een elektrische schok te voorkomen was het belangrijk dat het personeel van de kraan en van de verplaatsing van de batterijen wist hoe zij dit veilig en correct uitvoerden. Ten aanzien van het kabelmanagement was het belangrijk om correct kabelbeheer toe te passen. Dit hield onder andere in dat er duidelijke markeringen gebruikt dienden te worden en de oplaad instructies strikt op te volgen ten behoeve van het mitigeren van de risico's. Mechanische beschadiging kon voorkomen worden door secuur om te gaan met het materieel. De batterijen waren groot en moeilijk te missen, maar een foutje zat natuurlijk in een klein hoekje. De Thermal runaway was een groot en gevaarlijk risico. Om dit risico te mitigeren werd de temperatuur door middel van een sensor gemeten. De energieopslagsystemen zoals de Big Ass Battery bevatten geavanceerde temperatuurmonitoring en werden 24/7 in de gaten gehouden. Mocht deze temperatuur overschreden worden, dan zou de batterij voorkomen dat deze in brand zou vliegen.

Naast technische maatregelen zijn organisatorische maatregelen genomen. Alleen bevoegd en geïnstrueerd personeel mocht batterijen aan- en afkoppelen. Daarnaast zijn duidelijke werkafspraken gemaakt over veilige afstanden, afzettingen rond laadpunten en toezicht tijdens laadmomenten.

Het is essentieel om specifieke veiligheidsmaatregelen te nemen die passen bij de kenmerken van elektrische systemen. Het is van belang dat de medewerkers worden opgeleid. In de praktijk blijkt dat veiligheid bij elektrisch materieel sterk samenhangt met kennis en ervaring van personeel. Door gerichte instructie en herhaalde toolboxmeetings nam het bewustzijn gedurende het project zichtbaar toe. Hierdoor werden laadhandelingen en batterijtransporten veiliger en efficiënter uitgevoerd. Daarnaast is het belangrijk dat regelmatig werkplek inspecties uitgevoerd worden van de laadinfra. Met focus op de conditie van de kabels en aansluitingen. Van een aannemer wordt verwacht dat deze in uitvoeringsplannen specifiek in gaat op de veiligheidsrisico's en daar passende maatregelen bij neemt.

#### **Leerpunt 52 - Veiligheidsmaatregelen gedurende het werk**

*Het is van belang dat de medewerkers worden opgeleid, dat er herhaalde toolboxmeetings zijn en dat er regelmatig werkplek inspecties uitgevoerd worden.*

### 8.4 Regelgeving en richtlijnen

Een van de meest genoemde maatregelen is het opvolgen van de regels en richtlijnen. Een van deze regels is bijvoorbeeld de PGS 37-1. Deze richtlijn gaat de veilige inzet van energieopslagsystemen (EOS) met lithium-ion batterijen. Deze richtlijn beschrijft hoe batterijen veilig moeten worden gebruikt, opgeslagen en getransporteerd. Daarnaast is de ADR-regelgeving van toepassing bij het vervoeren van een energieopslag systeem zoals de Big Ass Battery. Daarnaast gelden er ook verschillende normen voor het elektrisch materieel om risico's te mitigeren. Zo moet het elektrisch materieel voldoen aan verschillende veiligheidseisen. Een voorbeeld is de CE-markering. Deze markering geeft aan dat een product voldoet aan de Europese veiligheids-, gezondheids- en milieubeschermingsvoorschriften. Een van deze voorschriften is de Machinerichtlijn (2006/42/EG). Deze richtlijn beschrijft de veiligheidsvereisten voor machines in de Europese Unie. Naast deze regels, richtlijnen en normen heeft Bouwend Nederland een richtlijn opgesteld die aanbevelingen geeft voor het veilig gebruik van elektrische machines en batterijen. Deze richtlijnen zijn ook gebruikt ten behoeve van het mitigeren van de risico's.

#### **Leerpunt 53 - Regelgeving toepassen**

*Voor elektrische materieel is specifieke regelgeving van toepassing. Deze moet worden geïnventariseerd en vertaald worden naar een praktische toepassing in het project.*

## 9 Leerpunten en advies

### 9.1 Inleiding

Binnen Dijkversterking Hansweert stond duurzaamheid nadrukkelijk in het teken van het leveren van een bijdrage aan de energietransitie binnen waterveiligheidsprojecten. Het project had als doel om niet alleen een veilige waterkering te realiseren, maar tegelijkertijd concrete stappen te zetten richting emissieloos werken in de uitvoering. Door het opnemen van een meetbare CO<sub>2</sub>-reductiedoelstelling, de inzet van elektrisch materieel in de praktijk en het vastleggen van ervaringen is bij dijkversterking Hansweert daadwerkelijk bijgedragen aan deze transitie.

De inzet van elektrisch materieel binnen dit project stond in het teken van bredere landelijke doelstellingen. Binnen de waterveiligheidsopgave is afgesproken dat projecten een substantiële bijdrage leveren aan de reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot op de bouwplaats. De ambitie richting 2030 is om de uitstoot van bouw materieel stapsgewijs terug te dringen, om in 2030 emissieloos te realiseren.



Dijkversterking Hansweert was één van de eerste projecten waarin deze ambitie is vertaald naar een concrete, meetbare doelstelling en toepassing in de praktijk. Daarmee had het project een pionierskarakter. Veel randvoorwaarden waren bij de start nog onvoldoende uitgekristalliseerd, zoals beschikbaarheid en prestaties van elektrisch materieel, doorlooptijden voor energievoorziening en laadinfra, en de wijze waarop dit contractueel en financieel geborgd kon worden. Juist door deze vroege start is binnen project dijkversterking Hansweert veel geleerd over wat wel en niet werkt in een grootschalige dijkversterking, onder realistische omstandigheden.

Tegelijkertijd is de transitie sinds de start van Dijkversterking Hansweert sterk doorontwikkeld. Landelijke kaders en marktontwikkelingen hebben zich versneld, waarbij al gaandeweg gebruik is gemaakt van de toepassing bij Dijkversterking Hansweert. Enkele leerpunten uit dit project zijn inmiddels al verwerkt en op dit moment minder actueel of ze hebben een ander karakter gekregen. De kernwaarde van deze evaluatie is daarom niet alleen de inhoud van afzonderlijke leerpunten, maar vooral het inzicht in proces, randvoorwaarden en besluitvorming die nodig zijn om emissieloos werken voorspelbaar en opschaalbaar te maken.

Binnen dit project is het hoofddoel ‘bijdragen aan de energietransitie’ doelgericht vertaald naar drie verschillende ambitiesporen, die de opbouw van dit hoofdstuk bepalen:

1. CO<sub>2</sub> reductiedoelstelling realiseren met elektrisch materieel: het opnemen van een meetbare doelstelling en het sturen op aantoonbaar resultaat.
2. Elektrisch materieel succesvol toepassen in grootschalige dijkversterking: het opdoen van praktijkervaring, inclusief randvoorwaarden zoals energievoorziening, planning, organisatie en veiligheid.
3. Leerervaringen borgen en delen voor snelle en voorspelbare opschaling: het vastleggen van leerpunten en het vertalen daarvan naar toepasbaar advies voor volgende projecten.

De missie is geslaagd: de CO<sub>2</sub> doelstelling is behaald, de praktische uitvoerbaarheid is aangetoond en de belangrijkste leerervaringen zijn vastgelegd. In dit hoofdstuk worden de leerpunten en adviezen gepresenteerd als hulpmiddel voor opschaling, met oog voor wat nog steeds relevant is en wat inmiddels door de voortgang van de transitie al is verwerkt.

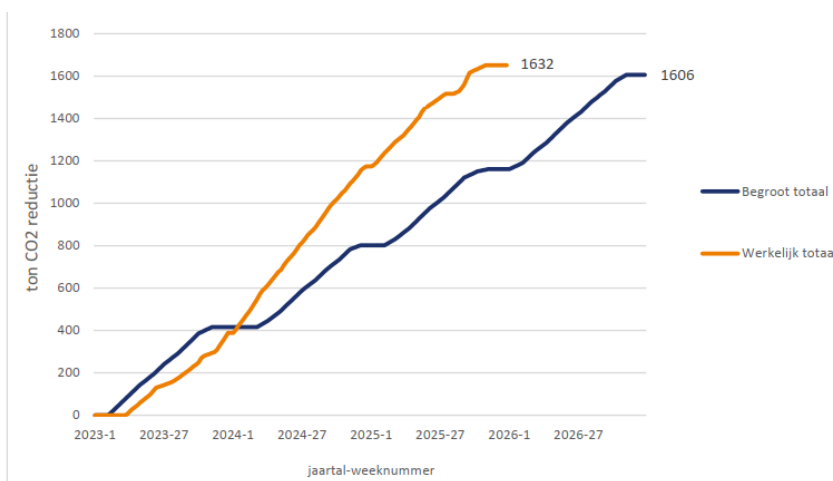
## 9.2 Doelstelling CO<sub>2</sub>-reductie behaald

De doelstelling voor het project was het reduceren van **minimaal 1606 ton CO<sub>2</sub>** door middel van het toepassen van elektrisch materieel. In Figuur 25 is de geplande inzet en de gerealiseerde inzet weergegeven. Uiteindelijk is, ondanks verscheidene tegenslagen, de doelstelling gehaald. Er is een **reductie van 1632 ton CO<sub>2</sub>** gerealiseerd. Dat komt overeen met een reductie van 26%. Opvallend is vooral dat het is gelukt deze reductie te behalen in een veel korter tijdsbestek. Het materieel was later op het werk dan gepland. Daarnaast liep het werk dusdanig voorspoedig dat het werk een jaar eerder gereed was dan gepland. Dat kwam vooral doordat er het gehele stormseizoen is doorgewerkt met aanvullende maatregelen voor het werken in het stormseizoen. De materiele inzet was dus van kortere duur dan gepland, maar de inzet per dag was hoger en zonder tussenpauzes.



Voor de inzet van emissieloos materieel was het van belang om deze continue voor lange tijd in te zetten. De aannemer kon immers het materieel niet direct inzetten op een ander werk. Het doorwerken tijdens stormseizoen maakte de inzet emissieloos materieel veel doelmatiger.

Belangrijk is dat deze reductie niet incidenteel tot stand kwam, maar het resultaat was van structurele inzet van meerdere elektrische machines gedurende langere tijd. Daarmee is de stap gezet van experiment naar integrale toepassing.



Figuur 25: Aantal ton CO<sub>2</sub>-reductie door inzet van elektrisch materieel (begroot en gerealiseerd)

Het project laat zien dat het vroegtijdig vastleggen van een concrete ambitie noodzakelijk is om de inzet van elektrisch materieel richting te geven en niet vrijblijvend te laten zijn. Het is vanwege de lange lever-tijd belang dat de betrokken aannemer snel zekerheid heeft en kan overgaan tot het bestellen van materieel. Het is gebleken dat het besluitmoment cruciaal is, omdat formele besluitvorming bepalend is voor het moment waarop investeringen in elektrisch materieel en netaansluitingen daadwerkelijk kunnen starten.

### 9.3 Elektrisch materieel succesvol toegepast in dijkversterking

Een tweede doelstelling was het opdoen van praktische ervaring met de inzet van elektrisch materieel in een complexe dijkversterking, voor zowel opdrachtnemer als opdrachtgever. Beide partijen hebben duidelijk veel geleerd, waardoor volgende projecten efficiënter kunnen verlopen. Ondanks verschillende leerpunten is de inzet van elektrisch materieel in de uitvoering overwegend soepel verlopen. Er waren tegenslagen, maar deze waren voorzien, beheersbaar en passend bij een project met een pionierend karakter.

De uitvoering heeft laten zien dat elektrisch materieel technisch goed toepasbaar is in een dijkversterking, mits de randvoorwaarden op orde zijn. Daarbij bleek allereerst dat voldoende netcapaciteit en leverzekerheid van elektriciteit cruciale randvoorwaarden zijn voor succes. Het is daarbij van belang niet alleen te kijken naar nieuwe netaansluitingen, maar juist ook naar reeds aanwezige aansluitingen en laadlocaties in de omgeving en assets van het waterschap (gemalen/rwzi's) die benut kunnen worden. Omdat het realiseren van nieuwe aansluitingen een lange doorlooptijd kent en aan de levering van stroom door derden hoge kosten verbonden zijn, moeten onderzoek en aanvraag naar de laadvoorziening in een vroeg stadium worden opgestart.

Ook de inrichting van laadinfra en logistiek heeft grote invloed op de inzetbaarheid van het materieel. Bij een lintvormig werk zoals een dijkversterking werkt een centraal gelegen laadplein het meest efficiënt. Daarnaast is gebleken dat door een zorgvuldige laadplanning en een goede instelling van de laadsoftware het beschikbare contractuele vermogen optimaal benut kan worden zonder dit te overschrijden. Tegelijkertijd vraagt het laden in de praktijk vaak, vanwege het transport van zware accu's, aanvullende tijdelijke voorzieningen, zoals tijdelijke duikers, stabilisatie van de ondergrond of rijplaten de accu's en laadvoorzieningen bij het materieel te krijgen.

Verder bleek dat elektrisch materieel een andere manier van werken vraagt dan conventioneel materieel. Niet maximale productie per uur, maar optimale energiebenutting per dag werden leidend. In de pioniersfase van dit project waren inzetbaarheid per werkdag, laadsnelheid en accucapaciteit nog duidelijker aandachtspunten dan nu. Op dit gebied is in de afgelopen periode al veel ontwikkeling zichtbaar geworden, waardoor dit nauwelijks nog belemmerend werkt. De accu's verschillen onderling in capaciteit, type aansluiting en het vermogen, waardoor uitwisselbaarheid beperkt is. Verdere standaardisatie is noodzakelijk. Er is geconstateerd dat de inzet van emissieloos materieel twee nieuwe taken/functies toevoegt aan dijkversterkingen. Het gaat daarbij ten eerste om het coördineren van het laden, zorgdragen dat de accu's op tijd worden geladen. Een 2<sup>e</sup> taak/functie betreft het plannen van inzet van materieel zodat deze optimaal energie benutten.

De opgedane ervaringen hebben geholpen om de inzet van elektrisch materieel beter te organiseren en hebben bijgedragen aan verdere professionalisering en standaardisatie binnen volgende projecten. Daarbij is ook gebleken dat duidelijk en tijdig beleid rond werken in het stormseizoen direct van invloed is op de effectieve inzet en het rendement van elektrisch materieel, omdat hiermee onnodige stilstand kan worden voorkomen. Voor doelmatige inzet van emissieloos materieel is het van belang dat deze continue en voor lange tijd kan worden ingezet. Onderbrekingen waarbij het materieel stilstaat moeten worden vermeden.

Ook organisatorisch zijn belangrijke lessen geleerd. Voor de levering van elektrisch materieel moet voldoende marge in de planning worden opgenomen, omdat levertijden lang kunnen zijn. Daarnaast helpt het om de inzet van elektrisch materieel centraal te organiseren, bijvoorbeeld via een vaste commissie die levering, storingen en risico's coördineert. Daarbij is één centraal aanspreekpunt wenselijk, zodat specialistische kennis wordt gebundeld en de afstemming tussen partijen goed verloopt. Verder is gebleken dat contracteren op de totale CO<sub>2</sub> reductie flexibiliteit biedt in de keuze en vervanging van elektrisch materieel gedurende het werk. Voor de monitoring bleek het registreren van draaiuren bovendien eenvoudiger en beter toetsbaar dan monitoring op basis van bespaarde brandstof.

Tot slot is gebleken dat de inzet van elektrisch materieel ook specifieke eisen stelt aan personeel, veiligheid en regelgeving. Voor het werken met elektrisch materieel is specifiek gekwalificeerd personeel nodig, waardoor beschikbaarheid van personeel een aandachtspunt is. Tegelijkertijd werd door machinisten



positief gereageerd op het werken met elektrisch materieel vanwege het lagere geluidsniveau en het comfort. Elektrische machines brengen andere veiligheidsrisico's met zich mee dan conventioneel materieel. Het is daarom noodzakelijk deze risico's vooraf systematisch in kaart te brengen, medewerkers gericht op te leiden en tijdens het werk toolboxmeetings en werkplekinspecties uit te voeren. Ook moet de relevante regelgeving tijdig worden geïnventariseerd en vertaald naar praktische toepassing binnen het project.

De leerervaringen hebben geleid tot een realistischer beeld van de technische, organisatorische en veiligheidskundige randvoorwaarden voor toekomstige projecten. Alle leerervaringen zijn samengevat per categorie in Bijlage 1.

#### 9.4 Leerervaringen en advies geborgd en gedeeld

Een derde doelstelling was het vastleggen en delen van de opgedane kennis, leerpunten en advies, zodat volgende projecten sneller, voorspelbaarder en met minder risico kunnen opschalen. Deze evaluatie vormt het centrale product daarvan. Ook zijn er op diverse locaties presentaties gegeven en is er kennis uitgewisseld met andere overheden. De inzichten rondom laadinfra, inzetbaarheid, storingen en logistiek vormen waardevolle input voor volgende dijkversterkingen.

Door ervaringen vast te leggen en te delen binnen de organisatie en het bredere netwerk van waterveiligheidsprojecten, wordt voorkomen dat ieder project opnieuw dezelfde leerfase moet doorlopen. Het project heeft daarmee bijgedragen aan versnelling van de transitie door transparant te zijn over zowel successen als knelpunten.

De grootste meerwaarde van Dijkversterking Hansweert ligt niet alleen in de gerealiseerde reductie, maar in het feit dat aannames zijn getoetst in de praktijk en dat concrete cijfers en ervaringen beschikbaar zijn voor vervolgprojecten.

De ervaringen bij Dijkversterking Hansweert laten zien dat de inzet van elektrisch materieel meer vraagt dan alleen de aanschaf van machines en het realiseren van een laadplein. De geleerde lessen op het gebied van ambitie, netcapaciteit, contracteren, logistiek en organisatie hebben geleid tot een aantal concrete aanbevelingen voor toekomstige projecten.

Deze aanbevelingen zijn bedoeld om projecten in een vroeg stadium beter voor te bereiden op de inzet van elektrisch materieel, risico's beheersbaar te maken en de uitvoerbaarheid te vergroten. Door tijdig inzicht te krijgen in de opgave, randvoorwaarden scherp te definiëren en gebruik te maken van beschikbare kennis en programma's, kan de energietransitie op projectniveau effectiever en doelmatiger worden vormgegeven.

#### 9.5 Advies voor toekomstige projecten

De belangrijkste leerpunten vanuit dit project zijn in dit document weergegeven in blauwe blokken. Daarnaast zijn deze samengevat in voorgaande paragrafen van dit hoofdstuk. Buiten deze leerervaringen vanuit het project worden in onderstaande paragraaf nog aanvullende adviezen gegeven voor toekomstige projecten. Daarbij worden niet alleen de opgedane ervaringen meegenomen, maar ook de huidige ontwikkelingen buiten het project.

##### 9.5.1 Vroegtijdig inzicht krijgen in de opgave

Het is van belang vroegtijdig (begin verkenningfase) inzicht te hebben in de uitgangspunten van het project m.b.t. de inzet van elektrisch materieel. Is er, mogelijk vanwege stikstofuitstoot, een verplicht benodigde inzet van elektrisch materieel nodig om het project vergunbaar te krijgen? Dit zou betekenen dat de inzet van elektrisch materieel (ofwel de reductie in uitstoot) een vereiste is en dus een gefixeerd, minimum (controleerbaar) percentage van de volledige inzet van materieel. Het kan ook zijn dat de inzet van elektrisch materieel gebaseerd is op een ambitie, target, of doelstelling van klimaatverandering. Dit zou betekenen dat de uiteindelijk behaalde inzet van elektrisch materieel kan afwijken van deze intentie.



Vroegtijdig helderheid krijgen over de inzet van elektrisch materieel is van groot belang, omdat dit bepalend is voor de benodigde stroomafname over de projectduur. Deze stroomafname is weer van belang om de inventarisatie van laadlocaties (laadscan) scherp te krijgen (hoeveel kWh wordt er dagelijks afgenomen, hoeveel laadpunten zijn er nodig, wat voor aansluitingen zijn er nodig, etc.).

We raden aan vroeg in de verkenningsfase te starten met een laadscan. Tijdens de laadscan zal snel duidelijk worden of er in de omgeving beschikbare laadlocaties zijn en of deze voldoen aan de vereisten. Bij de laadscan zal creatief gekeken moeten worden naar potentiële laadlocaties; locaties die al een (zware) aansluiting hebben en deze maar deels gebruiken (die overcapaciteit hebben) of locaties waar zelf veel stroom wordt opgewekt, welke niet lokaal wordt verbruikt (en dus wordt terug geleverd aan het net). Hieruit zal dan snel blijken of er een mogelijkheid is om een laadlocatie intern (in eigen beheer, op een eigen locatie) mogelijk is, of dat er extern gezocht moet worden. Op veel locaties is er vaak overcapaciteit aanwezig. Er moet vooral gekeken worden of de tijdstippen wanneer deze capaciteit beschikbaar is, geschikt is om het materieel op te laden.

Naast het uitvoeren van een laadscan wordt aangeraden een nieuwe aansluiting aan te vragen met ruim genoeg capaciteit. Dit heeft een lange doorlooptijd en is onzeker vanwege netcongestie, maar op lange termijn (5-10 jaar) kan dit wel mogelijk blijken. Dit moet daarom dan ook naast de laadscan worden gezien.

### 9.5.2 Inzicht krijgen in overige randvoorwaarden

Naast het inzichtelijk krijgen van de stroomvraag van het project zijn er meer (gedetailleerde) randvoorwaarden die in een zo vroeg mogelijk stadium duidelijk moeten worden. Als er intern iets gerealiseerd kan worden dienen daar uiteraard tijdig de plannen voor worden opgesteld, vergunning aangevraagd, etc. Wanneer er extern iets moet gebeuren geldt dit ook, inclusief gespreksvoering met derde partijen. Ook moet er worden nagedacht hoe het contractueel met de aannemer (afnemer van de stroom) wordt vastgelegd (afgesproken prijs per kWh, hoe om te gaan met investeringskosten, minimale afnames, geen 100% garantie op 24/7 afname mogelijkheid, etc.).

### 9.5.3 Raadplegen van nationale programma's

Er zijn meerdere organisaties/ programma's die zich bezighouden met het realiseren van elektrisch materieel op de bouwplaats (SEB, HWBP). Vanuit deze instanties zijn stappenplannen, laadscans, handreikingen, etc. beschikbaar. Daarnaast kan er hulp van 'relatiemanagers' ingeschakeld worden die kunnen helpen in het opzoeken van relevante informatie en het uitzoeken van bijvoorbeeld subsidieregelingen. Het vroegtijdig betrekken van dit soort instanties kan zorgen voor een gestroomlijnder geheel (voorkomen van dubbel werk) en (in het geval van het HWBP) ook (financieel) draagvlak creëren voor en zekerheid over financiering van de inzet van elektrisch materieel op het project.

### 9.5.4 Creëren van duidelijke visie binnen de organisatie

Wanneer er binnen de uitvoerende organisatie (het waterschap) een heldere visie ligt met betrekking tot de inzet van elektrisch materieel zal dit voor een soepeler en eenduidiger proces zorgen. Op deze manier weten projectmedewerkers op voorhand wat de uitgangspunten voor dit onderwerp zijn en zorgt dit voor een snellere afwikkeling van vragen of verzoeken binnen de organisatie. Daarnaast zal het er ook voor zorgen dat andere uitvoerende partijen (aannemerij) hun beleid kunnen aanpassen op deze visie. Wanneer er vanuit de opdrachtgever duidelijk wordt gesteld dat er bij komende projecten een bepaalde vraag van elektrisch materieel gaat zijn kunnen aannemers hierop inspelen met hun investeringsbeleid. Transparantie en helderheid op dit vlak zorgt dan ook voor een breder draagvlak door de gehele keten en kan daarnaast de mogelijkheden (hoeveelheid en verscheidenheid van inzet elektrisch materieel) vergroten en op termijn de kosten drukken (meer aanbieders zal leiden tot versnelde ontwikkelingen en lagere prijzen).

## 9.6 Conclusie

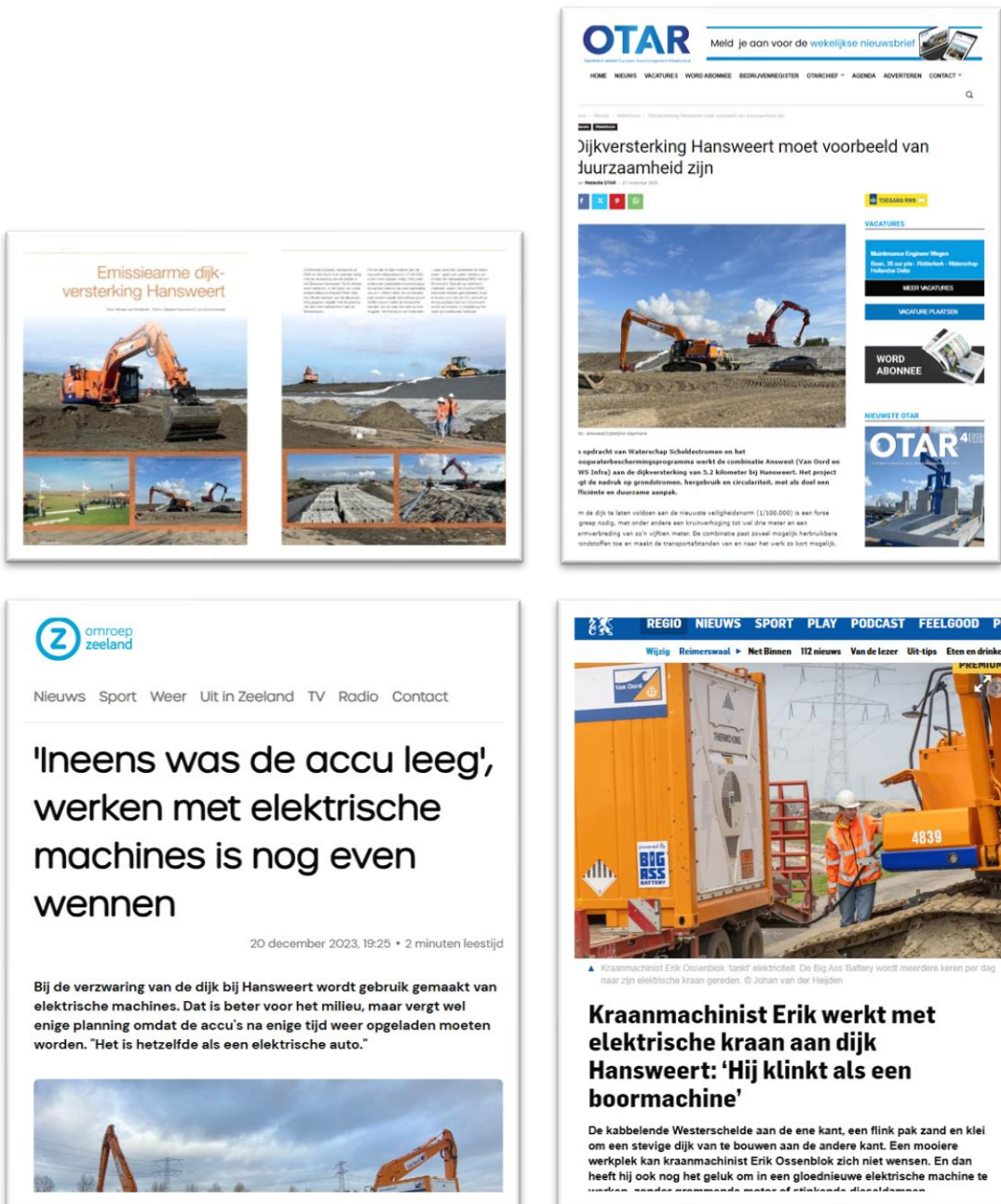
Het projectteam Hansweert beschouwt de missie als zeer geslaagd.

De beoogde CO<sub>2</sub>-reductie is gerealiseerd, elektrisch materieel is structureel toegepast en essentiële praktijkervaring is opgedaan. Tegelijkertijd heeft het project duidelijk gemaakt dat verdere opschaling richting 2030 alleen mogelijk is wanneer randvoorwaarden zoals netcapaciteit, leverzekerheid, planning en organisatorische inrichting structureel worden meegenomen.

Het hoofddoel was uiteindelijk een bijdrage leveren om de energietransitie op gang brengen. Gedurende het werk blijkt de energietransitie goed op gang te zijn gekomen. Dat is te zien aan veel verschillende facetten:

- Bij start van het project behoorde project Hansweert bij de koploperprojecten en was het vrij uniek om bij HWBP-projecten elektrisch materieel toe te passen. Momenteel wordt het werken met elektrisch materieel in de meeste HWBP-projecten toegepast;
- Het elektrisch materieel is veel beter beschikbaar en de levertijden zijn veel korter geworden;
- Het elektrisch materieel is verder doorontwikkeld;
- Storingen komen steeds minder vaak voor;
- Projectteams van de aannemer hebben geleerd om hun werkzaamheden anders te organiseren;
- De capaciteit van de verschillende accu's was in het begin vaak onvoldoende om een hele dag door te kunnen werken. Een deel van de machines die het werk hebben gerealiseerd zijn na het werk direct omgebouwd met een verdubbelde accucapaciteit. De uitdagingen voor het opladen, behalen van productie en logistiek van de accu's worden daardoor steeds kleiner.

**Eindconclusie** is hiermee dat de doelstelling ruimschoots is behaald. De ervaring, kennis en marktontwikkeling, vormen een stevige basis voor verdere opschaling richting 2030.



Figuur 26: Enkele voorbeelden van inzet elektrisch materieel in de media

## Bijlage 1: Overzicht leerpunten

### Vorbereiding - ambitie, randvoorwaarden en haalbaarheid

In de voorbereidingsfase worden de belangrijkste randvoorwaarden bepaald. Hier gaat het om ambitie, netcapaciteit, subsidiabiliteit, technische haalbaarheid en positionering van laadinfrastructuur. Besluiten in deze fase bepalen in hoge mate of de inzet van elektrisch materieel uitvoerbaar wordt of niet.

#### Ambitie en visie

Een duidelijke, realistische en tijdig vastgelegde ambitie voorkomt vrijblijvendheid. Tegelijk moet ruimte blijven voor technologische ontwikkeling en voortschrijdend inzicht.

- Leerpunt 5 - Ambitie moet concreet
- Leerpunt 8 - Langetermijnvisie noodzakelijk
- Leerpunt 9 - Begin ondanks onzekerheid
- Leerpunt 10 - Emissieloos bouwen is sluitstuk van duurzame aanpak
- Leerpunt 15 - Haalbaarheid eerst
- Leerpunt 16 - Realistisch starten

#### Netcapaciteit en laadinfrastructuur

Elektrisch materieel staat of valt met beschikbare energie. Netcapaciteit, contractueel vermogen en positionering van het laadplein moeten vroegtijdig worden onderzocht en vastgelegd.

- Leerpunt 1 - Netcapaciteit bepalend
- Leerpunt 7 - Laadcapaciteit leidend
- Leerpunt 21 - Centrale ligging laadplein
- Leerpunt 22 - Lange doorlooptijd aansluiting
- Leerpunt 23 - Relatie planning en laadinfra
- Leerpunt 24 - Netwerkg congestie vraagt om een alternatieve aanpak
- Leerpunt 25 - Bekijk reeds aanwezige laadlocaties van het waterschap
- Leerpunt 29 - Ruime aanvraag contractueel vermogen

#### Techniek en marktontwikkeling

De markt voor elektrisch materieel ontwikkelt zich snel. Beschikbaarheid, prestaties en betrouwbaarheid veranderen tijdens de looptijd van een project. Daarmee moet in strategie en planning rekening worden gehouden.

- Leerpunt 12 - Technologische onzekerheid
- Leerpunt 34 - Kies nieuwe generatie materieel
- Leerpunt 39 - Houd rekening met ontwikkelingen

### Contracteren - risico, financiering en sturing

In de contractfase wordt bepaald hoe ambitie wordt vertaald naar resultaatverplichtingen, monitoring en risicoverdeling. Heldere afspraken over subsidiabiliteit, financiële prikkels en flexibiliteit zijn essentieel om innovatie mogelijk te maken.

#### Samenwerking en besluitvorming

Innovatieve inzet vraagt bestuurlijke duidelijkheid, tijdige besluitvorming en open risicodialoog tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.

- Leerpunt 2 - Vroege betrokkenheid loont
- Leerpunt 3 - Besluitmoment cruciaal
- Leerpunt 4 - Risico verdeling met aannemer
- Leerpunt 6 - Subsidiekader essentieel
- Leerpunt 11 - Laadinfra meefinancieren
- Leerpunt 13 - Flexibel beleid werken in stormseizoen vergroot rendement
- Leerpunt 14 - Samenzitten om tot consensus te komen

#### Contractvorm en monitoring

Sturen op resultaat in plaats van middel geeft flexibiliteit. Monitoring moet controleerbaar, proportioneel en praktisch uitvoerbaar zijn.

- Leerpunt 17 - Resultaat centraal

- Leerpunt 18 - Monitor draaiuren
- Leerpunt 19 - Vereenvoudig monitoring
- Leerpunt 20 - Financiële prikkel proportioneel

### Realisatie - logistiek, techniek en organisatie

De realisatiefase maakt zichtbaar waar de praktische uitdagingen liggen. Hier blijken accucapaciteit, bereikbaarheid, planning, storingsen en personele inzet bepalend voor het succes.

#### Materieel en prestaties

Elektrisch materieel kent andere prestatiekenmerken dan conventioneel materieel. Accucapaciteit, laadsnelheid en software beïnvloeden inzetbaarheid en productie.

- Leerpunt 30 - Flexibele inzet
- Leerpunt 31 - Accucapaciteit vraagt om goede werkdagplanning
- Leerpunt 32 - Type werkzaamheden bepaalt stroomverbruik
- Leerpunt 35 - Opschalen elektrisch materieel lastig
- Leerpunt 36 - Levertijd materieel ruim inplannen
- Leerpunt 38 - Software kritieke factor
- Leerpunt 40 - Productie kan afwijken
- Leerpunt 44 - Variatie in accupakketten
- Leerpunt 45 - Realistische laadsnelheid en energiecapaciteit

#### Organisatie en kennis

De inzet van elektrisch materieel vraagt specialistische kennis, centrale coördinatie en structurele borging van storingsafhandeling.

- Leerpunt 37 - Inrichten commissie materieel
- Leerpunt 41 - Centraal aanspreekpunt
- Leerpunt 42 - Inrichten storingsdienst
- Leerpunt 43 - Inzet personeel

#### Logistiek en uitvoering

Energievoorziening wordt een logistieke factor. Bereikbaarheid, ondergrond en tijdelijke voorzieningen beïnvloeden direct de productie.

- Leerpunt 26 - Realistische inschatting energieverbruik
- Leerpunt 27 - Inzet voldoende accu's
- Leerpunt 28 - Verbruik binnen contractueel vermogen
- Leerpunt 33 - Laadmomenten afstemmen op schafttijden
- Leerpunt 46 - Gewicht accupakketten onderschat
- Leerpunt 47 - Opstelruimte accupakket
- Leerpunt 48 - Bereikbaarheid bepalend voor productie
- Leerpunt 49 - Bereikbaarheid kraan essentieel
- Leerpunt 50 - Tijdelijke voorzieningen benodigd

#### Veiligheid en regelgeving

Elektrisch materieel brengt andere risico's en aanvullende regelgeving met zich mee. Veiligheid moet integraal worden georganiseerd.

- Leerpunt 51 - Veiligheidsrisico's elektrisch materieel
- Leerpunt 52 - Veiligheidsmaatregelen gedurende het werk
- Leerpunt 53 - Regelgeving toepassen