

Emissieloos bouwen

Voorbeeldproject dijkversterking Wolferen-Sprok

Auteur:

Werkgroep emissieloos bouwen Wolferen- Sprok (WOS)

Versie:

definitief

Datum:

september 2021

Status:

Definitief

Auteurs:

J. Baltissen, L. Bergsma, R. Bouwens,
B. de Fockert, W. Jelier, R. van den Poel, R.
van Rhijn, L. Terwel, L. Timmerman

Gecontroleerd door:

A. Doornhof, J. Folkersma, R. van Rhijn,
M. Versteegen, M. Wolbers

Handtekening auteur

Handtekening gecontroleerd door

Handtekening vrijgegeven door

Inhoudsopgave

1 Inleiding	4
1.1 Aanleiding	4
1.2 Centrale vraag: hoe moeten we uitvoering geven aan emissieloos bouwen?	4
1.3 Doelen van het voorbeeldproject Wolferen-Sprok (WOS)	5
1.4 Leeswijzer	5
2 Werkwijze en randvoorwaarden	6
2.1 Werkgroep en stapsgewijze werkwijze	6
2.2 Uitgangspunten en werkwijze	6
2.3 Scope emissiereductiemaatregelen	6
2.4 Typen emissiereductiemaatregelen	7
2.5 Referentiesituatie	7
3 In kaart brengen emissies referentiesituatie (1990)	9
3.1 Waar zitten de grootste emissies	9
3.2 Wat is de CO ₂ -uitstoot van materieel?	10
4 Inventarisatie maatregelen	12
4.1 Een slank en modulair ontwerp	13
4.2 Dijk op maat door meer onderzoek en gebiedseigen grond hergebruiken	13
4.3 Asfalt of de wegfundering hergebruiken	13
4.4 Damwanden in teen in plaats van in de kruin bij aanwezigheid van bebouwing	13
4.5 Meer milieukundig onderzoek naar de kwaliteit van de grond	14
4.6 Hergebruik van stalen damwanden	14
4.7 Damwanden (staal, kunststof) in plaats van grond gebruiken	14
4.8 Opslag van materialen dichterbij de bouwplaats	14
4.9 Materieelinzet K&L optimaliseren	14
4.10 Aanleg kunststof (heave-scherm) versus stalen damwanden	14
4.11 Materieel Stageklasse II naar V	14
4.12 Elektrisch materieel	15
4.13 Het Nieuwe Draaien	15
4.14 Invloed meekoppelkansen	15
5 Beoordeling maatregelen	16
5.1 Effecten op emissie, kosten en planning	16
5.2 Overige effecten	18
5.2.1 Een slank en modulair ontwerp	18
5.2.2 Materieel Stageklasse II naar V	18
5.2.3 Elektrisch materieel	19
5.3 Randvoorwaarden voor inzet van elektrisch materieel	20
5.4 Emissie op de bouwplaats versus duurzaamheid in het algemeen	21

6 Routes naar emissieloos of emissiearm realiseren	23
6.1 Beschrijving van de routes	23
6.2 Effecten op emissies en kosten per route	24
6.3 Samenvatting van de effecten op emissies en kosten per route voor WOS.....	29
6.4 Gekozen maatregelen WOS en effecten	29
7 Conclusies en aanbevelingen: in 6 stappen naar lagere emissies	31
7.1 Conclusies voorbeeldproject Wolferen-Sprok (WOS) en dijkversterkingen in het algemeen ...	31
7.2 Aanbevelingen voor dijkversterkingen in het algemeen.....	33

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de Klimaatwet is vastgelegd dat Nederland in 2030 minstens 49% minder CO₂ moet uitstoten t.o.v. van 1990 en minstens 95% minder CO₂-uitstoot in 2050 ten opzichte van 1990. Onlangs heeft de EU besloten deze doelstelling voor 2030 op te hogen naar 55%. De verwachting is dat Nederland deze hogere doelstelling binnenkort ook zal doorvoeren in haar beleid voor de verschillende sectoren, waaronder de Grond- Weg- en Waterbouw (GWW).

Om uitvoering te geven aan de Klimaatwet heeft de minister van Infrastructuur en Water (I&W) 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 CO₂ of andere broeikasgassen uitstoot. Het ministerie en Rijkswaterstaat werken daarom aan een strategie Klimaatneutrale en Circulaire Infra (KCI) waarin transitiepaden worden uitgewerkt en toegepast om in 2030 emissieloos infraprojecten uit te voeren. De Unie van Waterschappen sluit hierbij aan door samen met Interprovinciaal Overleg (IPO) en Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) en het ministerie van I&W een routekaart te gaan opstellen. Voor dijkversterkingen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) zijn nog geen specifieke doelen gesteld, maar het is de verwachting dat bovengenoemde strategie en routekaart op termijn ook van toepassing zal zijn op dit type infrastructurele projecten. Op dit moment loopt een aantal dijkversterkingsprojecten hierop vooruit, zoals bijvoorbeeld de Stenendijk Hasselt, Sterke Lekdijk en Hansweert; hier wordt emissieloos materieel al ingezet of worden hiervoor concrete plannen gemaakt.

Met het oog op de stikstofproblematiek worden eisen gesteld aan emissies bij het uitvoeren van dijkversterkingsprojecten. Voor een vergunning in het kader van de Wet natuurbescherming (Wnb) is het noodzakelijk dat de depositie van stikstof op Natura2000 gebieden wordt teruggebracht tot een zeer laag niveau, en waar mogelijk tot nul. Voor de voortgang van dijkversterkingsprojecten die door de stikstofuitstoot effect hebben op Natura2000-gebieden is het daarom essentieel dat de stikstofemissies worden geminimaliseerd. Emissieloos bouwen kan hiervoor de oplossing zijn.

1.2 Centrale vraag: hoe moeten we uitvoering geven aan emissieloos bouwen?

De belangrijkste vraag op dit moment voor dijkversterkingsprojecten is: hoe moeten we invulling geven aan emissieloos bouwen? Het doel is duidelijk maar wat betekent dit voor de uitvoering? Wie moet dan wanneer en wat gaan doen? En hoe zorgen we ervoor dat de dijkversterkingsprojecten tegelijkertijd nog steeds volgens planning worden uitgevoerd en de kosten niet te veel stijgen?

Een deel van de antwoorden wordt nu al gevonden in lopende dijkversterkingsprojecten en diverse sectorbrede initiatieven waarbij kennis, methoden en technieken worden ontwikkeld. Het gaat dan bijvoorbeeld om initiatieven in het kader van de Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB), de Buyergroep Zero Emissie en het Emissieloos Netwerk Infra (ENI). Tegelijkertijd is er behoefte aan concrete informatie over wat het technisch en financieel betekent als je op de bouwplaats emissieloos wilt werken. Ook in het licht van de snelle ontwikkelingen rondom elektrisch werken en werken op waterstof. Wat eerst nog verre toekomst was, is nu op een termijn van 5 jaar mogelijk mits we nu de nodige stappen zetten.

Bovenstaande vormt de aanleiding voor Waterschap Rivierenland om in het kader van het Kennis en Innovatieprogramma van het HWBP aan de slag te gaan met het concreet uitwerken van emissieloos of tenminste emissiearm bouwen op de bouwplaats. Daarbij is nauwe samenwerking gezocht met de

programmadirectie van het HWBP en de betrokken aannemers (Combinatie De Betuwse Waard) die uitvoering geven aan het dijkversterkingsproject Wolferen-Sprok (WOS).

1.3 Doelen van het voorbeeldproject Wolferen-Sprok (WOS)

Het hoofddoel van dit voorbeeldproject is om een bijdrage te leveren aan de transitie naar emissieloos (of tenminste emissiearm) realiseren van dijkversterkingen. Het gaat daarbij om het tegengaan van de volgende emissies op de bouwplaats: stikstof, fijnstof en CO₂. Het voorbeeldproject draagt daaraan bij door concreet voor de dijkversterking Wolferen-Sprok de volgende deeldoelen uit te werken:

1. Benoemen hoe (met welke maatregelen) de werkzaamheden op de bouwplaats emissieloos (of tenminste emissiearm) kunnen worden gerealiseerd;
2. Inzicht krijgen in eventuele belangrijke neveneffecten van deze maatregelen (bijvoorbeeld op kosten en planning);
3. Benoemen welke maatregelen het meest wenselijk zijn (vanuit het oogpunt van efficiency/effectiviteit en het beperken van mogelijk nadelige neveneffecten);
4. Delen van verkregen kennis m.b.t. bovenstaande deeldoelen bij een 1^e schil van betrokkenen bij (toekomstige) dijkversterkingsprojecten en een 2^e (bredere) schil van mogelijk geïnteresseerden.

Er is in dit voorbeeldproject voor gekozen om de gewenste concrete kennis op te bouwen aan de hand van de dijkversterking Wolferen-Sprok (WOS). Dit project bevindt zich nu in de planuitwerkingsfase en gaat op korte termijn starten met de uitvoering. Het project biedt daarmee een goede mogelijkheid om de opties voor emissieloos bouwen te vergelijken met de regulier geplande uitvoering. Bijkomend voordeel is dat er binnen het project reeds werd gewerkt aan de uitwerking van een businesscase voor het werken met een elektrische kraan in het kader van de stikstofproblematiek.

Er is in dit voorbeeldproject voor gekozen om de uitstoot in andere onderdelen van de keten (zoals de productiefase van materialen of het transport van materialen van en naar de bouwplaats) niet mee te nemen in de analyse. Uiteraard betekent dit dat de inzichten uit dit voorbeeldproject moeten worden gecombineerd met kennis uit de andere onderdelen in de keten om de totale uitstoot van projecten en maatregelen te kunnen beschouwen.

1.4 Leeswijzer

Het rapport start in H2 met een toelichting op de werkwijze voor het uitwerken van het voorbeeldproject WOS. In H2 staat de scope van de emissieloos bouwen en de voor de maatregelen geldende randvoorwaarden en uitgangspunten. Vervolgens brengt H3 in kaart waar de grootste emissies zitten en de oorzaak van de uitstoot en H4 maakt een inventarisatie van mogelijke maatregelen om de emissies te reduceren. De beoordeling van de verkregen inzichten in emissieloos bouwen staat in H5 en H6 geeft een combinatie van routes om de emissies op het project te reduceren (emissiearm) of te elimineren van emissies (emissieloos). Als laatste geeft H7 de conclusies voor WOS en aanbevelingen om emissieloos bouwen te realiseren bij andere (toekomstige) (dijkversterkings-)projecten.

Bijlage 1 bevat een uitgebreidere toelichting op de effecten van de maatregelen.

2 Werkwijze en randvoorwaarden

2.1 Werkgroep en stapsgewijze werkwijze

Voor de uitwerking van het voorbeeldproject WOS is een werkgroep samengesteld met medewerkers van het waterschap, de betrokken aannemers (Ploegam en Dura Vermeer) en adviesbureau Royal HaskoningDHV. Deze partijen werkten al samen in projectontwerpteam de Betuwse Waard. De werkgroepleden leveren ieder vanuit hun eigen expertise en ervaring hun bijdrage aan de uitwerking van het voorbeeldproject. Zie bijlage 3 voor een overzicht van de leden van de werkgroep.

De werkgroep heeft de volgende stappen doorlopen:

1. Vaststellen van de referentie-situatie;
2. In kaart brengen van de emissies op de bouwplaats (CO₂, fijnstof en stikstof) bij de referentiesituatie via een zwaartepuntanalyse (o.a. o.b.v. DuboCalc): waar zitten de grootste emissies en wat is hiervan de oorzaak;
3. Inventarisatie van mogelijke maatregelen om de grootste emissies te reduceren;
4. Beoordelen van de effecten van maatregelen op de totale emissie (CO₂, fijnstof en stikstof) en overige effecten (kosten, gezondheid, geluidshinder etc.);
5. Verkennen van mogelijke routes (combinaties van maatregelen) naar emissieloos bouwen en visualisatie van deze routes in watervalgrafieken (visualisatie van kosten versus baten);
6. Opstellen van conclusies en aanbevelingen voor dit project en toekomstige projecten.

2.2 Uitgangspunten en werkwijze

In de uitwerking van het voorbeeldproject WOS zijn de volgende uitgangspunten en werkwijze aangehouden:

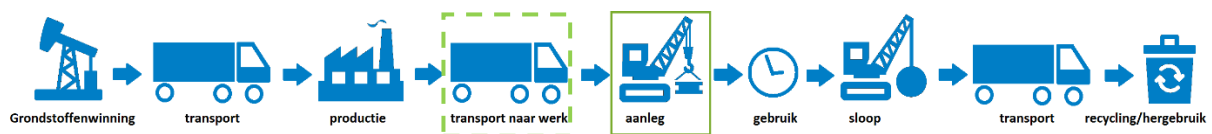
- De uitwerking van het voorbeeldproject heeft betrekking op de concrete situatie van het project WOS en is gebaseerd op de specifieke gegevens van dit project. De uitwerking loopt parallel aan de reguliere uitwerking om de situatie zo reëel mogelijk in beeld te krijgen.
- Zero-emissie op de bouwplaats is de stip op de horizon. De pilot is primair gericht op zero-emissie van broeikasgassen in termen van CO₂-equivalenten (eq), fijnstof en stikstof.
- De emissie van de referentiesituatie en de reductie van maatregelen is voor zover mogelijk berekend en anders bepaald op basis van expert judgement. Zie bijlage 1 voor een toelichting op de wijze van berekenen (o.a. DuboCalc)
- De kosten van de reductiemaatregelen zijn grotendeels ingeschat op basis van expert judgement. Voor de kosten van elektrisch materieel is gebruik gemaakt van subsidieaanvragen voor elektrisch materieel (zie Bijlage 1 voor uitwerking kosten).
- Het voorbeeldproject brengt de mogelijke maatregelen voor de korte, midden- en langere termijn in beeld om tot substantiële emissiereductie te komen.
- De emissiereductiemaatregelen zijn gericht op zero-emissie op de bouwplaats. Uitstoot in andere fases en onderdelen van de keten (bv. grondstoffenwinning, transport naar de bouwplaats, recycling van materialen) zijn in principe niet in beeld gebracht of hoogstens kwalitatief benoemd wanneer hier een zeer relevante impact wordt verwacht.
- Belangrijk onderdeel van het voorbeeldproject is 'emissieloos ontwerpen'. Dit betekent dat het ontwerp van de dijk gericht is op zo min mogelijk emissies bij de uitvoering.

2.3 Scope emissiereductiemaatregelen

Uitgangspunt voor de emissiereductiemaatregelen is dat deze gefocust zijn op de bouwplaats. Het gaat dan dus vooral om de uitstoot die wordt veroorzaakt door het materieel (dumpers, kranen, heistellingen etc.) op de bouwplaats. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** Uitstoot in andere onderdelen van de keten wordt in dit voorbeeldproject niet meegenomen, ook al brengen de fases

grondstoffenwinning t/m productie ('cradle-to-gate') en het transport vanaf de productie naar het werk soms hoge emissies met zich mee. Hier is voor gekozen vanwege drie redenen. Ten eerste is er veel interesse voor de emissies op de bouwplaats, onder andere als gevolg van de stikstofwetgeving. Ten tweede is deze kennis van emissies op de bouwplaats relatief goed te 'vertalen' naar andere dijkversterkingen en heeft deze daarmee generieke waarde. En tot slot was het noodzakelijk om ons te beperken tot een deel van keten gezien de beschikbare tijd en middelen.

De resultaten van dit voorbeeldprojecten moeten dus ook vanuit deze keuze worden gezien. Om tot een compleet zero-emissie project te komen, is het noodzakelijk om ook deze andere uitstootbronnen te reduceren en te verduurzamen en kan niet worden volstaan met de maatregelen die in dit rapport worden genoemd.



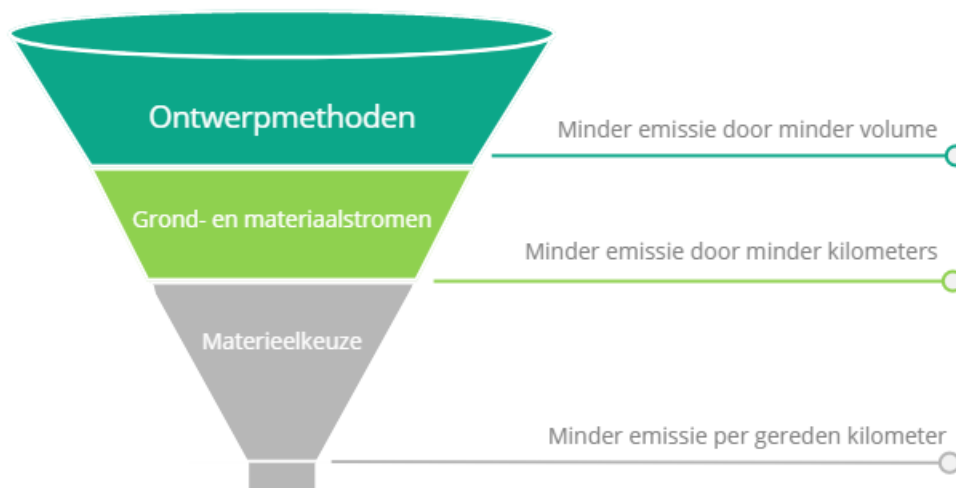
Figuur 1: Overzicht levenscyclusfasen voor emissieloos bouwen; in dit voorbeeldproject ligt de focus op de werkzaamheden op de bouwplaats (transport op de bouwplaats en aanleg).

2.4 Typen emissiereductiemaatregelen

De volgende typen emissiereductiemaatregelen zijn te onderscheiden:

1. Minimalisatie van te verwerken volumes door slimme ontwerpmethoden (= minder emissie door minder volume);
2. Minimalisatie van aantal af te leggen kilometers door slimme grond- en materiaalstromen (= minder emissies door minder af te leggen kilometers)
3. Minimalisatie van emissies door inzet van verschillende opties inzet van materieel (= minder emissies per kilometer dijkversterking)

NB. Onder type 1 valt impliciet ook de overweging om geen dijkversterking uit te voeren ('refuse'). Dit is de ultieme minimalisatie van te verwerken volumes.



Figuur 2: Type maatregelen om emissies te reduceren

2.5 Referentiesituatie

Om het effect van maatregelen te bepalen is een referentiesituatie vastgesteld. Het landelijk doel is minimaal 49% reductie ten opzichte van de situatie in 1990. Voor dijkversterkingen is niet exact vast

te stellen wat de uitstoot zou zijn geweest bij een dijkversterking in 1990. In het voorbeeldproject is daarom gekozen voor een referentiesituatie die de werkwijze in 1990 zo dicht mogelijk benadert.

Als referentiesituatie is gekozen:

1. Het ontwerp 'voorkeursalternatief ontwerploop 2'. Dit is een ontwerp dat het midden houdt tussen het ruwe ontwerp uit de verkenningsfase en het compleet geoptimaliseerde ontwerp aan het einde van de planuitwerking. Er is voor dit ontwerp gekozen aangezien:
 - a. dit past bij de werkwijze waarop een dijkontwerp werd geoptimaliseerd in 1990;
 - b. dit het eerste ontwerp van WOS is dat voldoende is uitgewerkt om emissies bij te kunnen berekenen. Het ontwerp van de verkenningsfase was daarvoor niet voldoende uitgewerkt.
2. Inzet van stage II materieel (het gangbare materieel in 1990).

3 In kaart brengen emissies referentiesituatie (1990)

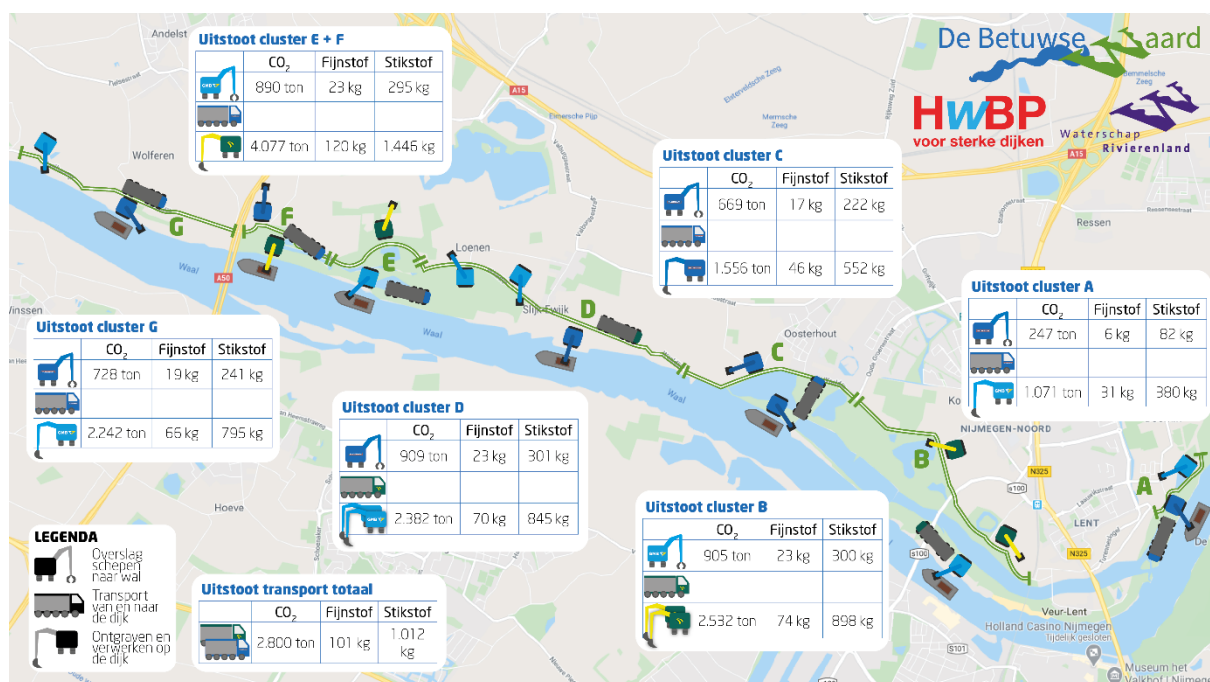
Het voorbeeldproject WOS is gestart met het in kaart brengen van de (grootste) emissies op de bouwplaats voor de referentiesituatie. Hiervoor zijn de benodigde werkzaamheden voor aanleg en lokale transporten van materialen op de bouwplaats (grond, staal) in kaart gebracht evenals het daarvoor benodigde materieel. Deze gegevens zijn als input gebruikt voor een DuboCalc-berekening. DuboCalc is een softwaretool om snel en eenvoudig de milieukosten en emissies van ontwerpvarianten van GWW-werken te berekenen.

3.1 Waar zitten de grootste emissies

De grond- en materiaalstromen op de bouwplaats zijn in beeld gebracht, zie **Figuur 3**. In de planuitwerkingsfase is het project ingedeeld in 7 verschillende clusters om het werk overzichtelijk op te delen. De uitstoot is per cluster (A t/m G) van de dijk bekeken op CO₂, stikstof en fijnstof voor de volgende drie soorten werkzaamheden:

- Overslag van schepen naar de wal;
- Transport tussen de wal en de dijk;
- Ontgraven en verwerken op de dijk.

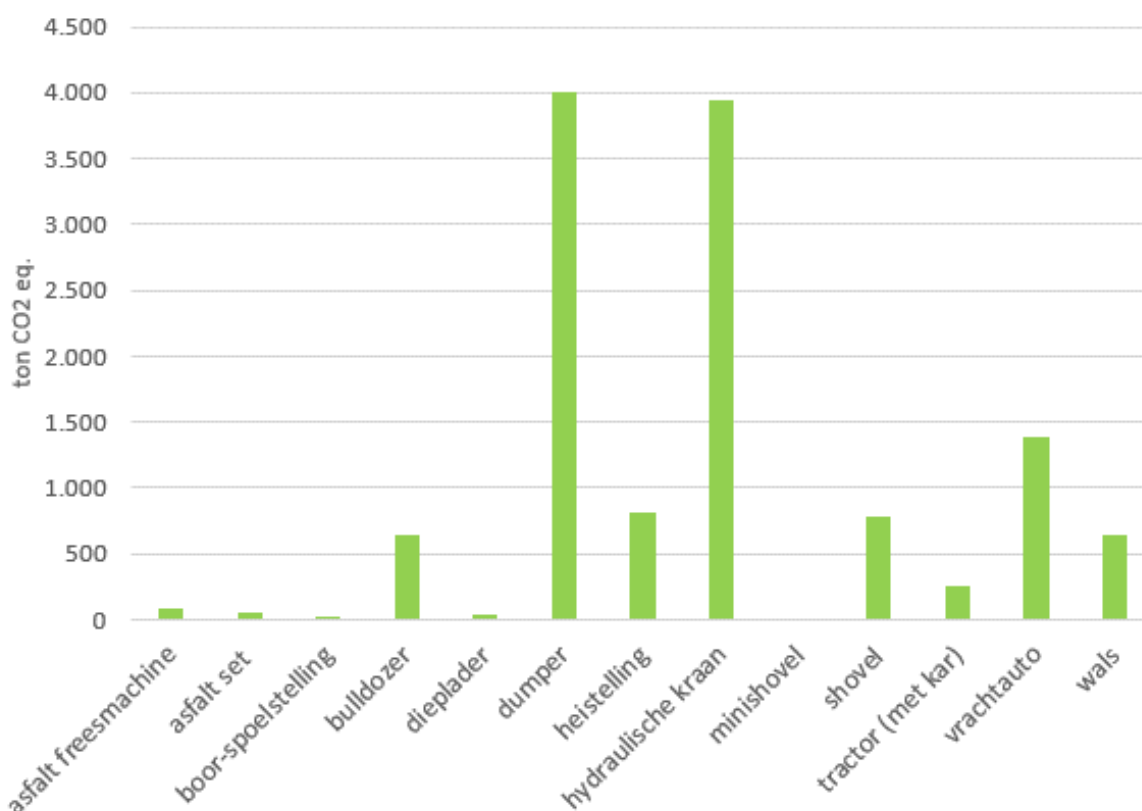
Er is voor gekozen om transporten van de schepen voor de aankomst op de bouwplaats (en al het andere transport buiten de bouwplaats) niet mee te nemen omdat op moment van het onderzoek niet bekend was wat de bestemmingen waren voor de schepen. Daardoor zou dit een te grote variatie/ bandbreedte voor het onderzoek betekenen.



Figuur 3: Infographic met emissies per cluster op basis van de referentiesituatie. Emissie van transport is voor het totale project berekend.

3.2 Wat is de CO₂-uitstoot van materieel?

Voor dijkversterking WOS is eerst inzichtelijk gemaakt welke materieelstukken (bestaande uit stage II materieel) op de bouwplaats de grootste impact hebben op de CO₂-uitstoot, zie Figuur 4. In deze figuur wordt de totale uitstoot op de bouwplaats weergegeven per type materieel voor het hele werk. De uitstoot wordt voornamelijk veroorzaakt door de dumpers en hydraulische kranen. De dumpers verplaatsen grond, zand en klei van en naar depots of naar de uiteindelijke plek in het werk: zie Tabel 1 voor de uitstoot vanuit verschillende soorten materieel. De kranen laden en lossen voornamelijk de schepen en ontgraven en verwerken de grond op depots en op de juiste locatie in het werk. Het is dus vooral het materieel van het grondwerk dat de grootste impact heeft op de CO₂-uitstoot. De emissiereductiemaatregelen zijn vooral (maar niet uitsluitend) op die typen materieel gericht.



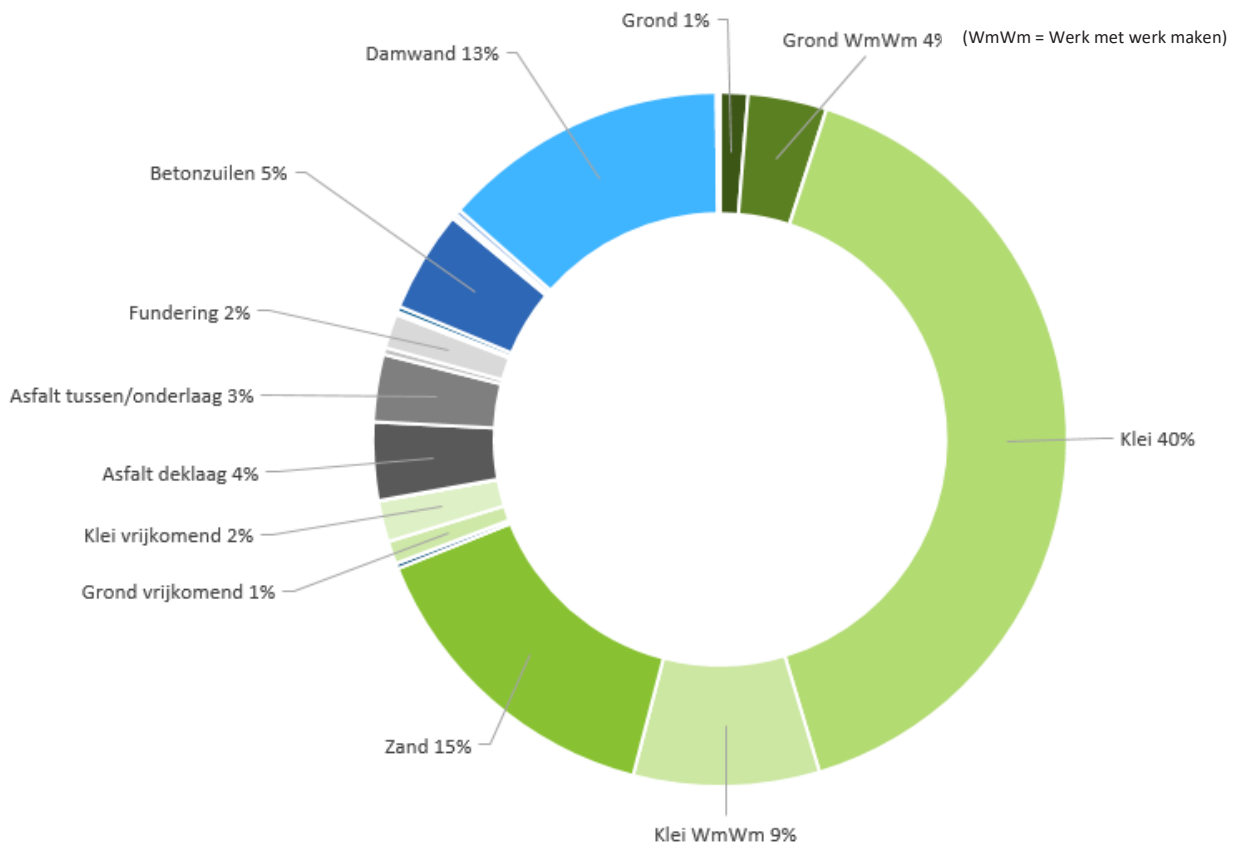
Figuur 4: Emissies per type materieel op de bouwplaats in ton CO₂ voor het gehele werk

Tabel 1: Globale werkzaamheden per materieelstuk.

Materieelstuk	Werkzaamheden	Materiaal
Asfaltfreesmachine	Frezen	Asfalt
Asfalt set	Aanleggen	Asfalt
Boor-spoelstelling	Aanbrengen	Ankers
Bulldozer	Verwerken	Grond, zand, klei
Dieplader	Transporteren	Stalen damwand
Dumper	Transporteren	Grond, zand, klei
Heistelling	Aanbrengen	Kunststof heavescherm, stalen damwand
Hydraulische kraan	Ontgraven, laden, lossen, verplaatsen, verwerken	Grond, zand, klei, kunststof heavescherm, stalen damwand, asfalt

	Aanbrengen/ verwijderen	Pasplank voor stalen damwand, ankers, gordingen, steenbekleding, geotextiel
Minishovel	Aanbrengen	Bestratingsmateriaal
Shovel	Verwijderen, aanbrengen	Fundering, bestratingsmateriaal
Tractor (met kar)	Egaliseren, inzaaien Transporteren	Gras Gordingen, steenbekleding
Vrachtauto	Transporteren	Allerlei materialen
Wals	Verdichten	Grond, zand, klei, fundering

De grootste impact op de CO₂-uitstoot zit vooral in het materieel gerelateerd aan het grondwerk. Figuur 5 geeft de verdeling van de uitstoot van het materieel per type materiaal aan voor de gehele levenscyclus. De grootste emissies in het grondtransport worden (bij WOS) veroorzaakt door klei (40%).



Figuur 5: Verdeling van de totale CO₂ eq. impact per materiaal voor de gehele levenscyclus

4 Inventarisatie maatregelen

Aan de hand van de uitstoot per cluster voor de referentiesituatie, zie [Figuur 3](#) vorig hoofdstuk, is bekeken waar een emissiereductie te behalen is en zijn 14 mogelijke uitstoot-reducerende maatregelen geformuleerd. Deze maatregelen zijn tot stand gekomen in een brainstormsessie met de werkgroep.

Er is daarbij gezocht naar maatregelen die een reductie in emissie op de bouwplaats opleveren in zowel CO₂, stikstof en fijnstof én die technisch uitvoerbaar zijn voor WOS. Tabel 2 geeft de 14 geformuleerde emissiereductie maatregelen voor de bouwplaats die zijn uitgesplitst in 3 reductie types (zie paragraaf 2.2); slim ontwerpen, slimme grond- en materiaalstromen en slim transport en verwerking. In de paragrafen 4.1 tot en met 4.14 geven we een korte beschrijving per maatregel. NB. Biobrandstoffen zijn niet meegenomen als maatregel, aangezien deze geen reductie opleveren op de bouwplaats.

Tabel 2: Geformuleerde emissiereductie maatregelen voor op de bouwplaats

Type	#	Maatregel
Slimme ontwerpmethoden (= minder m ³)	1	Een slank en modulair ontwerp
	2	Dijk op maat maken door meer onderzoek en gebiedseigen grond hergebruiken
	3	Asfalt of de wegfundering hergebruiken
	4	Damwanden in teen in plaats van in de kruin bij hinder van de omgeving
Slimme grond- en materiaalstromen (= minder af te leggen km)	5	Meer milieukundig onderzoek naar de kwaliteit van de grond
	6	Hergebruik van stalen damwanden binnen het project
	7	Damwanden (staal, kunststof) in plaats van grond gebruiken
	8	Opslag van materialen dichterbij de bouwplaats
	9	Materieelinzet optimaliseren (zowel voor de DVS als voor K&L)
Slim transport en verwerking (= minder emissie per km dijkversterking)	10	Aanleg kunststof (heave-scherm) versus stalen damwanden
	11	Materieel Stageklasse II naar V
	12	Elektrisch materieel
	13	Wat levert het nieuwe draaien op
Overig	14	Hoeveel invloed hebben de meekoppelkansen op de uitstoot

4.1 Een slank en modulair ontwerp

Bij een klassieke dijkversterking wordt een dijk meestal versterkt voor een levensduur van 50 jaar. Deze lange levensduur leidt in de regel tot forse aanpassingen aan de dijk. Door te kiezen voor een kortere levensduur van bijvoorbeeld 10 of 15 jaar, wordt de ingreep minder groot en de bijbehorende emissie lager. Daarbij is de veronderstelling (het wenkend perspectief) dat de dijk over 10 á 15 jaar volledig emissieloos kan worden versterkt en dat de hydraulische belasting in de tussentijd niet de norm van de dijk overschrijdt.

Om te voorkomen dat in de toekomst complete dijken moeten worden vervangen kan de dijk modulair worden ontworpen. Dit betekent dat het ontwerp rekening houdt met de vervangbaarheid en het hergebruik van onderdelen zoals asfalt, bestratingen en constructies zonder dat de gehele dijk daarvoor vanaf nul opgebouwd moet worden. Hiermee sorteren we voor op een circulaire dijk.

4.2 Dijk op maat door meer onderzoek en gebiedseigen grond hergebruiken

Door meer onderzoek uit te voeren aan de dijk, kan de bestaande dijk voorafgaand aan het opstellen van het ontwerp zeer gedetailleerd in kaart worden gebracht. Met het extra detail, kan de dijk veel exacter uitgerekend worden waarbij aannames minder conservatief hoeven te zijn. Dit leidt tot een gereduceerd ontwerp en tot extra mogelijkheden voor het hergebruik van grond wat duurzamer is door het verkorten van de transportafstand (Tekst box 1). Als er weinig gegevens van de bestaande dijk aanwezig zijn, is het immers ook niet mogelijk grote hoeveelheden te hergebruiken, simpelweg omdat je geen goed beeld hebt van het aanwezige materiaal en de kwaliteit ervan.

NB. Deze maatregel benadrukt ook het belang van goed assetmanagement.

Gebiedseigen grond hergebruiken

De Projectoverstijgende Verkenning “Dijkversterking met Gebiedseigen Grond” (POV DGG, 26 maart 2020) zoekt naar optimalisatie van grondverzet en toepassing binnen het HWBP. Het rapport laat zien dat het toepassen van gebiedseigen grond duurzamer wordt omdat transport en de daaraan gekoppelde uitstoot gereduceerd wordt. Het verkorten van de transportafstand lijdt tot de helft in MKI-waarde voor aanvoer van grond. Vanuit duurzaamheid oogpunt is dit een cruciale drijfveer voor de inzet van gebiedseigen grond.

Tekst box 1: Conclusies toepassen gebiedseigen grond POV DGG

4.3 Asfalt of de wegfundering hergebruiken

Bij dijkversterkingen kan er een geheel nieuwe wegconstructie ontworpen worden, maar het is ook een optie om te bekijken of het een mogelijkheid is om zoveel mogelijk van de bestaande constructie te hergebruiken. Hiervoor kan het nodig zijn om extra onderzoek te doen naar de constructie, waardoor deze maatregel een link heeft met maatregel 2: Dijk op maat door meer onderzoek en gebiedseigen grond hergebruiken.

4.4 Damwanden in de teen in plaats van in de kruin bij aanwezigheid van bebouwing

Door damwanden in de teen van de dijk te zetten i.p.v. in de kruin heb je kortere damwanden nodig en zijn de toe te passen profielen vaak ook minder zwaar. Hierdoor is minder inzet benodigd van het materieel om de damwanden te plaatsen. In de praktijk is het al zo dat de voorkeur altijd uitgaat naar het plaatsen van een damwand in de teen. Indien dit niet mogelijk is door de aanwezigheid van bebouwing wordt normaal gesproken overgegaan op het plaatsen van een damwand in de kruin. Maatregel 4.4. betreft de optie om de damwand tóch in de teen te plaatsen, ondanks dat dit tot gevolg heeft dat eventuele bebouwing moet worden geamoveerd.

4.5 Meer milieukundig onderzoek naar de kwaliteit van de grond

Door meer milieukundig onderzoek uit te voeren maken we minder conservatieve aannames voor de kwaliteit van de grond en dit draagt bij aan een efficiënter grondstromenplan. Met meer onderzoek kunnen de grenzen in kwaliteit van grond beter in kaart gebracht worden. In overeenstemming met het Besluit Bodemkwaliteit mag de kwaliteit van ontvangende grond niet verslechteren. Hoe meer je dus van de ondergrond en het vrijkomende materiaal weet, hoe efficiënter je deze grondstromen op elkaar af kan stemmen.

4.6 Hergebruik van stalen damwanden

Bij het gebruik van stalen damwanden kunnen we kiezen voor het hergebruiken van oude damwanden vanuit het eigen dijklichaam of andere dijklichamen. Dit betreft constructies welke bij eerdere dijkversterkingen (veelal eind jaren '90) zijn aangebracht.

4.7 Damwanden (staal, kunststof) in plaats van grond gebruiken

Een dijkversterking wordt voornamelijk met grond gerealiseerd. Er zou vanuit het oogpunt van emissies op de bouwplaats echter ook eerder voor damwanden gekozen worden. Dit voorkomt grote hoeveelheden grondverzet en met name dus emissie op de bouwplaats. NB. Wat niet vergeten dient te worden is de grote emissie bij de productie van het staal. Dit negatieve effect is vele malen groter dan de emissiereductie op de bouwplaats. Dit maakt dat deze maatregel verder niet is uitgewerkt in het kader van dit voorbeeldproject en ook geen onderdeel uitmaakt van de in dit rapport aanbevolen routes naar emissieloos bouwen.

4.8 Opslag van materialen dicht bij de bouwplaats

Als opslag van materialen dicht bij de bouwplaats mogelijk is, worden de transportafstanden kleiner. Deze extra ruimte kan gerealiseerd worden door extra werkstroken langs het traject of nabijgelegen depots.

4.9 Materieelinzet K&L optimaliseren

De Kabels en Leidingen (K&L) infrastructuur wordt binnen dijkversterkingen veelal gerealiseerd door de netwerkbeheerders van desbetreffende K&L. Deze netbeheerders werken vaak met eigen gecertificeerde aannemers met materieel dat niet al aanwezig is vanuit de dijkversterking. Hiervoor wordt vaak separaat materieel ingevoerd wat bij voorbaat niet efficiënt is. Vaak is het dan ook nog zo dat éénzelfde tracé door verschillende netbeheerders gebruikt wordt waarbij sleuven 2x gegraven worden. Hier kunnen emissies worden gereduceerd door het werk te combineren met de dijkversterking of het materieelinzet van de verschillende netbeheerders te bundelen.

4.10 Aanleg kunststof (heave-scherm) versus stalen damwanden

Als er kan worden gekozen voor kunststof damwanden dan levert dat een reductie in emissie op de bouwplaats doordat er met een andere heistelling en lichter materieel voor het transport kan worden gewerkt.

4.11 Materieel Stageklasse II naar V

In de huidige situatie is stageklasse V-materieel beschikbaar bij leveranciers. Dit materieel voldoet aan strengere uitstoot-normen en is schoner dan oud materieel. Het gaat dan vooral om kleinere machines, zoals shovels en minikranen. Voor grotere materieelstukken, zoals heistellingen en asfalt sets, is stage V beperkter beschikbaar.

NB. Grote materieelstukken gaan over het algemeen lang mee, waardoor die over een langere periode worden afgeschreven en stageklassen naast elkaar bestaan.

4.12 Elektrisch materieel (en materieel op waterstof)

Met de inzet van elektrisch materieel wordt de emissie op de bouwplaats gereduceerd tot nul voor ieder van de elektrische materieelstukken. Datzelfde zou gelden voor materieel op waterstof. Aangezien deze laatste variant qua infrastructuur nog niet haalbaar is voor WOS, is deze variant verder buiten beschouwing gelaten.

Bij elektrisch materieel is het van groot belang dat het elektrisch materieel niet op dieselaggregaten wordt opgeladen; dit zorgt namelijk voor veel uitstoot en energieverliezen. In het project kunnen we kiezen om slechts een deel van het materieel te elektrificeren afgestemd op de materieelbehoefte. In dat geval is het belangrijk om bij die keuze het materieel met de grootste uitstoot te elektrificeren.

NB. Elektrisch materieel heeft een grote directe emissiereductie op de bouwplaats tot gevolg. Wanneer we echter de emissie in gehele keten (Well-to-Wheel) beschouwen, dan is ook de bron van de elektriciteit van groot belang. Bij de inzet van elektrische kranen kan bijvoorbeeld het gebruik van grijze stroom voor meer uitstoot zorgen dan het gebruik van diesel kranen. Een voorwaarde om zero emissie in de gehele keten te behalen is dan ook dat het elektrisch materieel wordt opgeladen met stroom opgewekt uit een duurzame energiebron zoals zonne- en windenergie.

4.13 Het Nieuwe Draaien

De GreenDeal 'Het Nieuwe Draaien' is een initiatief van de GWW sector en geeft handvatten voor emissiereductie voor zowel opdrachtgevers als aannemers. Het Nieuwe Draaien bevat o.a. een cursus waarbij machinisten uitleg krijgen over een optimale wisselwerking tussen mensen en machine, waardoor het brandstofverbruik en de uitstoot tot een minimum worden beperkt.

4.14 Invloed meekoppelkansen

Meekoppelkansen zijn werkzaamheden door derden die kunnen worden gecombineerd met/aansluiten op de werkzaamheden van de dijkversterking. Er zijn diverse soorten meekoppelkansen denkbaar:

- Kansen om meerwaarde te creëren op het gebied van bijvoorbeeld recreatie, biodiversiteit of ruimtelijke kwaliteit (aanleg van een fietspad, een uitkijkpunt, specifieke beplanting etc)
- Kansen om meerwaarde te creëren voor direct omwonenden (oprit verbreden/asfalteren);
- Kansen om werk met werk te maken met andere projecten in de omgeving. Dit kunnen projecten zijn in de directe omgeving, maar kunnen ook wat verder weg gelegen projecten zijn of projecten die pas in een later stadium worden gerealiseerd. Denk bij dat laatste aan het alvast voorbereiden van het stroomnet op de aanleg van een nieuwe woonwijk in de toekomst. Wat betreft projecten die wat verder weg zijn gelegen kan het bijvoorbeeld gaan om het benutten van elkaars reststromen aan grond en overig materiaal. Dit kan nog altijd tot minder emissies leiden dan wanneer de grond bijvoorbeeld uit België moet worden gehaald.

Wanneer het extra werkzaamheden zijn (die anders niet zouden worden uitgevoerd), dan leidt dit tot extra emissies. Wanneer het echter werkzaamheden zijn die anders ook zouden worden uitgevoerd, dan leidt het combineren van de werkzaamheden (meekoppelkans + dijkversterking) tot een reductie van emissies door de efficiënte inzet van materieel. Dit omdat er optimalisaties plaatsvinden in het gebruik van bouwwegen, inrichten werkerterrein, aan- en afvoer van materieel etc.

5 Beoordeling maatregelen

5.1 Effecten op emissie, kosten en planning

De vastgestelde maatregelen van Tabel 2 zijn beoordeeld op het effect van de emissiereductie die op de bouwplaats te behalen valt. De beoordeling van de maatregelen is positief (groen), neutraal (geel) of negatief (rood) bevonden voor emissie, kosten en planning.

Tabel 3 geeft het totaaloverzicht van de 14 maatregelen en geeft aan of de maatregelen kwantitatief (vinkje in de laatste kolom) of kwalitatief zijn uitgewerkt. De berekende emissiereducties in CO₂, stikstof en fijnstof van de maatregelen zijn inzichtelijk gemaakt in Figuur 5. Maatregel 1 (een slank en modulair ontwerp) en maatregel 11 (materieel stageklasse II naar V) en maatregel 12 (elektrisch materieel) hebben een groot effect op de emissiereductie. De beoordeling van de maatregelen en hun effecten op emissies, kosten en planning wordt in detail verder toegelicht in 7.2Bijlage 1. De beoordelingen zijn onderbouwd met berekeningen en (indien dat niet mogelijk was) gebaseerd op het expert judgement van de leden van de werkgroep.

Tabel 3: Effecten van maatregelen op emissie, kosten en planning (groen is positief, blanco is neutraal, geel is licht negatief en rood is negatief).

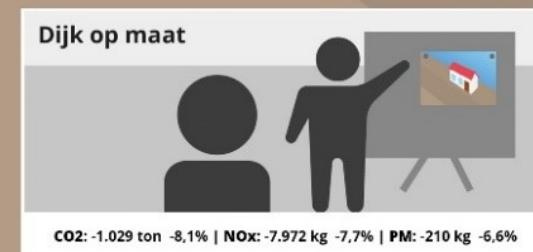
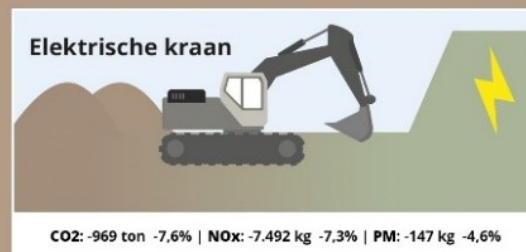
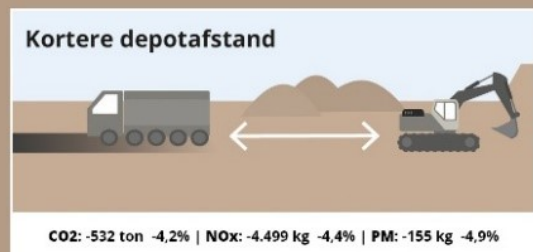
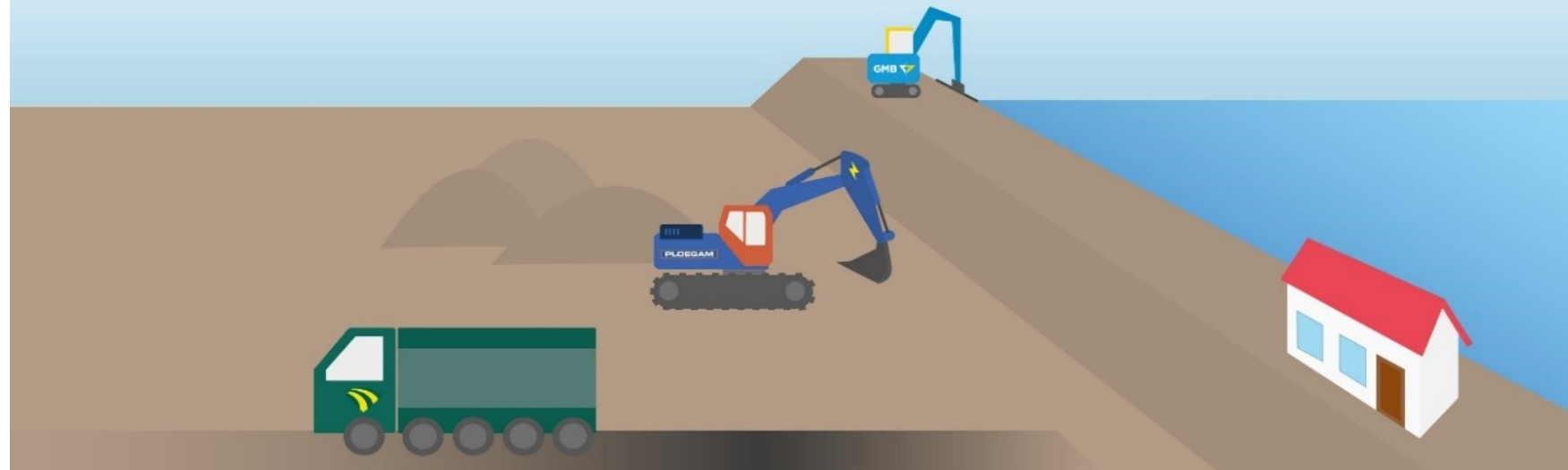
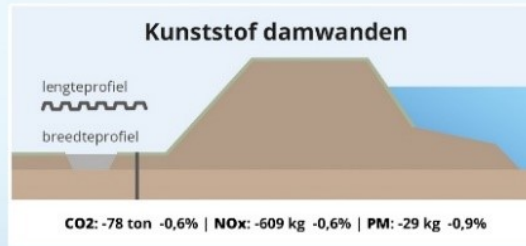
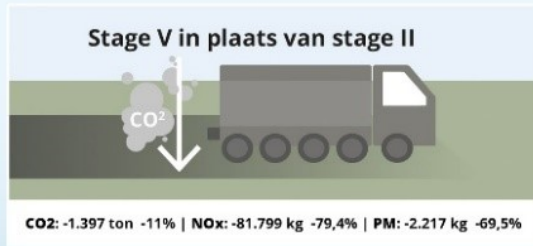
Type maatregel	#	Maatregel	Emissie	Kosten	Planning	Kwantitatief	Kwalitatief
Slim ontwerpen (= minder m ³)	1	Een slank en modulair ontwerp	✓	✓	✓		✓
	2	Dijk op maat maken door meer onderzoek en gebiedseigen grond hergebruiken	✓	✓	✓	✓	
	3	Asfalt of de wegfundering hergebruiken	✓	✓	✓	✓	
	4	Damwanden in teen in plaats van in de kruin bij hinder van de omgeving ¹	✓				
Slimme grond en materiaalstromen (= minder km)	5	Meer milieukundig onderzoek naar de kwaliteit van de grond	✓	✓	✓		✓
	6	Hergebruik van stalen damwanden	✓	✓	✓		✓
	7	Damwanden (staal, kunststof) in plaats van grond gebruiken ¹	✓				
	8	Opslag van materialen dicht bij de bouwplaats	✓	✗	✓	✓	
	9	Materieelinzet K&L optimaliseren	✓	✓	✓		✓
Slim transport en verwerking (= minder emissie per km)	10	Aanleg kunststof (heave-scherm) versus stalen damwanden	✓	✓	✓	✓	
	11	Materieel Stageklasse II naar V	✓	✓	✓	✓	
	12	Elektrisch materieel	✓	✗	✗	✓	
	13	Het nieuwe draaien	✓	✓	✓		✓
Overig	14	Invloed meekoppelkansen	✗	✓	✓		✓

¹ Deze maatregel zorgt voor extra emissies (en veel verlies aan draagvlak in de omgeving) door het moeten verwijderen van bestaande bebouwing en is daarom in dit voorbeeldproject niet verder uitgewerkt/meegenomen.

² Het gebruik van een damwand vergeleken met (een groter volume) grond is in principe positief voor de uitstoot op de bouwplaats zelf. Wat echter niet vergeten dient te worden is de grote hoeveelheid emissies bij de productie van de damwand. Deze maatregel is daarom in dit voorbeeldproject niet verder uitgewerkt/ meegenomen.

Figuur 6: Berekende CO₂, stikstof en fijnstof reductie van de maatregelen

CO₂, NO_x en PM reducerende maatregelen



5.2 Overige effecten

In H5.1 zijn de maatregelen en hun effecten op emissies, kosten en planning gepresenteerd. In deze paragraaf beschrijven we enkele overige relevante effecten voor drie maatregelen. De beoordeling van de maatregelen is positief (groen), neutraal (geel) of negatief (rood) bevonden. Het gaat om de drie maatregelen die een groot effect hebben op emissiereductie.

5.2.1 Een slank en modulair ontwerp

Bij een klassieke dijkversterking wordt een dijk versterkt voor een levensduur van 50 jaar. Door te kiezen voor een kortere levensduur, kan worden volstaan met een slanker ontwerp. Door deze slankere dijk modulair te ontwerpen kan worden voorkomen dat er bij toekomstige versterkingen onderdelen gesloopt moeten worden. Deze maatregel heeft grote positieve effecten op de emissie van CO₂, fijnstof en stikstof maar kent ook aantal andere effecten, zowel positief als negatief. Deze worden hieronder voor een aantal relevante variabelen opgesomd in Tabel 4.

Tabel 4: Overige effecten van een slank en modulair ontwerp

Organisatie	Bij een slanker ontwerp zijn er tijdens de <u>realisatiefase</u> minder materieel, minder materialen (depots) en minder mensen nodig. Dit scheelt in de complexiteit van de organisatie.	Green
	Om tot een slanker ontwerp te komen zijn er tijdens de <u>verkenningsfase</u> meer ontwerploops (en bijbehorende inzet van deskundigen/bodemonderzoek) nodig om tot een slank en toch verantwoord ontwerp te komen.	Red
Circulariteit	Een slank ontwerp leidt in principe tot een lager verbruik aan grondstoffen en heeft daarmee een positief effect op circulariteit. Hierbij merken we op dat deze redenering vooral opgaat wanneer een slank ontwerp wordt vergeleken met een ruim ontwerp zonder dat de samenstelling (aan materialen) verandert.	Green
	Als je in het slanke ontwerp echter andere materialen (bijvoorbeeld een stalen damwand i.p.v. extra grond) aanbrengt dan is het effect op circulariteit ook sterk afhankelijk van die verandering van materiaal.	Yellow
Ruimtelijke kwaliteit	Het effect van een slanke dijk op ruimtelijke kwaliteit kan zowel positief als negatief zijn. Over het algemeen is de bestaande kwaliteit beter te handhaven met een slanke dijk; de verandering is immers minder groot. Tegelijkertijd kan een robuuste dijk kansen bieden voor extra ruimte voor recreatie en natuur. Dat kan in die zin ook een toegevoegde waarde leveren in CO ₂ opname en recreatie.	Yellow
Gezondheid	Aangezien er minder fijnstof wordt uitgestoten is er sprake van een positief effect op de gezondheid van zowel uitvoerders en omwonenden als flora en fauna.	Green

5.2.2 Materieel Stageklasse II naar V

Nieuwer materieel voldoet aan strengere uitstoot-normen en is daardoor schoner dan oud materieel. Ook deze maatregel heeft dus grote effecten op de emissie van het werk. Overige positieve en negatieve effecten zijn opgesomd in Tabel 5.

Tabel 5: Overige effecten van schoner materieel

Gezondheid	Minder fijnstof en minder geluidshinder leidt tot een positief effect op de gezondheid van zowel uitvoerders en omwonenden als flora en fauna	
Circulariteit	Door expliciet te vragen naar stage V, wordt het oudere materieel overbodig. Dit kan een negatief effect hebben op circulariteit tenzij het materieel goed wordt hergebruikt (deels of compleet). Voor afgeschreven materieel is er een goede tweedehands markt waar het materieel of delen hergebruikt worden. Om die reden scoort deze maatregel 'neutraal'.	
Werkplezier	Het nieuwer en geluidsarme materieel draagt (vaak) bij aan werkplezier van de werknemers.	
Uitval en reparatie	Het nieuwer materieel kent minder risico's op uitval en reparatie en vraagt minder onderhoud	
Aanbesteding	Door in te uitvraag expliciet naar stage V te vragen, kan het in theorie zo zijn dat de markt wordt overvraagd. Dit geldt met name bij een grote vraag op de markt (bij grotere projecten en/of bij projecten die gelijktijdig met andere projecten op de markt komen). Overigens is de kans hierop beperkt aangezien de markt hierop voorsorteert via leasebedrijven die tijdelijk materieel kunnen leveren. Het leasen van materieel leidt echter wel tot hogere prijzen.	

5.2.3 Elektrisch materieel

Bij de toepassing van elektrisch materieel vindt er geen uitstoot meer plaats op de bouwplaats. Behalve emissiereductie op de bouwplaats leidt dit tot diverse effecten zoals beschreven in Tabel 6.

Tabel 6: Overige effecten van elektrisch materieel

Gezondheid	Bij elektrisch materieel wordt geluidshinder en uitstoot van fijnstof tot nul gereduceerd en dat is positief voor de machinisten, omwonenden en fauna	
Circulariteit	Elektrisch materieel kent minder slijtage en daardoor gaat de motor langer mee. Dit levert een positief effect op circulariteit.	
	De huidig beschikbare accu's zijn slecht te recyclen en de productie brengt vervuiling met zich mee. De accu's hebben daarom een negatief effect op circulariteit. Met de huidige ontwikkelingen wordt er verwacht dat recyclebare accu's spoedig op de markt komen.	
	Door expliciet te vragen naar stage V, wordt het oudere materieel overbodig. Dit kan een negatief effect hebben op circulariteit tenzij het materieel goed wordt hergebruikt (deels of compleet). Voor afgeschreven materieel is er een goede tweedehands markt waar het materieel of delen hergebruikt worden. Om die reden scoort deze maatregel 'neutraal'.	
Aanbesteding	Door in de uitvraag expliciet naar elektrisch materieel te vragen, kan het in theorie zo zijn dat de markt wordt overvraagd. Dit geldt met name bij een grote vraag op de markt (bij grotere projecten en/of bij projecten die gelijktijdig met andere projecten op de markt komen). Overigens is de kans hierop beperkt aangezien de markt hierop voorsorteert via	

	leasebedrijven die tijdelijk materieel kunnen leveren. Het leasen van materieel leidt echter wel tot hogere prijzen.	
Uitvoerbaarheid	Elektrisch materieel kan alleen worden ingezet wanneer de laadinfrastructuur op orde is. Dit kan vooral belemmerend werken als er grotere aantallen elektrisch materieel worden ingezet. Zie paragraaf 5.3 voor de randvoorwaarden bij de inzet van elektrisch materieel.	
Uitval en reparatie	Elektrisch materieel kent minder slijtage en dat heeft daardoor minder onderhoud nodig.	
	'Kinderziektes' kunnen leiden tot meer uitval.	
Veiligheid	De veiligheid van elektrisch materieel is nog in ontwikkeling (brandbaarheid van accu's/ contact met water etc.)	
Lekkages	Aangezien er geen sprake meer is van fossiele brandstoffen is er ook geen hinder van lekkages bij het tanken.	

5.3 Randvoorwaarden voor inzet van elektrisch materieel

Om emissieloos bouwen te realiseren is de inzet van elektrisch materieel noodzakelijk. In deze paragraaf beschrijven we de randvoorwaarden op de bouwplaats om elektrisch materieel in te kunnen zetten. Het gaat daarbij hoofdzakelijk om drie zaken:

- Aansluiting;
Accu's van elektrisch materieel zijn qua capaciteit nog niet vergelijkbaar met accu's welke in de automotive-sector gebruikt worden en vragen op dit moment nog een 63A-aansluiting (krachtstroom).
- Stroomvoorziening;
Met name bij grote hoeveelheden benodigde stroom kan het zijn dat het stroomnet (nog) niet toereikend is en dient er gekeken te worden naar alternatieven. Dit geldt ook wanneer het beleid ten aanzien van kabels en leidingen rondom de dijk te complex is of wanneer het niet efficiënt is om voor korte duur het stroomnet uit te breiden.
Vanuit de evenementenbranche is veel ervaring met alternatieven om stroom op locatie te krijgen. Denk bijvoorbeeld aan batterijpakketten, laadcontainers, en lokale energieopwekking vanuit wind/zon. Daarbij is het voor alle soorten van stroomvoorziening belangrijk om te werken met duurzaam opgewekte stroom. Uit onderzoek is gebleken dat grijze stroom bv. op gebied van CO₂ slechter scoort dan fossiele brandstoffen.
- Logistiek tussen oplaadpunt en materieel;
Om emissieloos te kunnen bouwen is het belangrijk dat ook deze logistiek emissieloos wordt uitgevoerd. Dit kan worden gerealiseerd door elektrische vrachtauto's (voorzien van autolaadkraan) in te zetten. Dergelijke oplossingen zijn vanuit de automotive-sector reeds voorhanden. En verder is het belangrijk om de afstand tussen oplaadpunt en materieel zo klein mogelijk te houden.
Voor de veiligheid is het van belang om in te zetten op zo min mogelijk handelingen om onveilige situaties te voorkomen.

Om bovenstaande randvoorwaarden te realiseren is het van groot belang dat de aannemer én de netwerkbeheerder in een vroeg stadium (tijdens de planfase) worden betrokken. De aannemer kan daarbij de randvoorwaarden nader specificeren en de netwerkbeheerder kan vervolgens verkennen waar voldoende capaciteit in het net beschikbaar is en hoe de benodigde aansluitingen het meest

efficiënt kunnen worden ingericht. Het belang van het vroegtijdig betrekken van de netwerkbeheerder wordt groter naarmate er meer inzet van elektrisch materieel plaats zal vinden. Door de netwerkbeheerder tijdig te betrekken kan de benodigde infrastructuur op tijd worden gerealiseerd en kan er mogelijk ook werk met werk worden gemaakt. Het gaat dan bijvoorbeeld over voor de dijkversterking benodigde verleggingen van kabels en leidingen, maar er kan ook werk met werk worden gemaakt met een stroomvoorziening voor andere projecten (zoals de realisatie van een nieuwe woonwijk in de buurt).

Tot slot merken we op dat er op dit moment nog weinig groot elektrisch materieel beschikbaar is wat wordt ingezet voor dijkversterkingsprojecten. Om de kans op emissieloze (of emissiearme) dijkversterkingen te vergroten zijn de volgende zaken van belang:

- Inzet van elektrisch materieel kan aangemoedigd worden door dit zo vroeg mogelijk te implementeren in het project waarbij de markt dus ook de kans krijgt om hier tijdig op te anticiperen. Dit biedt de mogelijkheid om eventueel ontbrekend elektrisch materieel te huren, te kopen of traditioneel materieel te laten ombouwen. Zie <https://www.natuurenmilieu.nl/wp-content/uploads/2019/09/Elektrische-mobiele-werktuigen-in-beeld.pdf> voor een overzicht van het beschikbare elektrisch materieel. Aangezien vooral groot elektrisch materieel schaars is, kan het een overweging zijn om een groot stuk materieel te vervangen door meerdere kleinere (en wel elektrische) modellen. Bijkomend voordeel van een tijdige implementatie van elektrisch werken in een project, is dat de reductie aan emissie dan ook gebruikt kan worden om de vergunbaarheid van dijkversterkingen te vergroten door de uitstoot van bv. stikstof te beperken.
- De transitie naar elektrisch materieel vraagt grote, risicovolle investeringen. Het is belangrijk dat deze investeringen en risico's door de markt en opdrachtgevers gezamenlijk worden beheerst en gedragen.
- De inzet van elektrisch materieel brengt hogere kosten met zich mee, in ieder geval op de korte termijn. Dit betekent dat de financiers (waterschappen en HWBP) hier rekening mee moeten houden. Mogelijk kunnen de extra kosten worden gecompenseerd door werkzaamheden te faseren/ later uit te voeren.

5.4 Emissie op de bouwplaats versus duurzaamheid in het algemeen

Dit rapport focust op het reduceren van emissies op de bouwplaats. Dit is echter maar één aspect van duurzaamheid. Andere belangrijke zaken (die in dit rapport niet volledig aan de orde komen) zijn:

- Andere delen van de keten, zoals de productie van materialen, dragen ook bij aan emissies. Door alleen te focussen op de emissiereductie op de bouwplaats kan een maatregel in dit voorbeeldproject voordeliger uitkomen dan wanneer de gehele levenscyclus zou zijn beschouwd. De toepassing van een stalen damwand is daarvan een goed voorbeeld. Dit materiaal leidt tot meer uitstoot bij de productie dan dat het oplevert door geen grond te gebruiken op de bouwplaats. Om de totale emissies van een project te reduceren is het dus noodzakelijk om de gehele levenscyclus van grondstoffenwinning t/m eindelevensduur te beschouwen.
- Duurzaamheid bestaat ook uit andere aspecten dan emissiereductie, zoals het circulair omgaan met materialen en het zorgen voor een klimaatadaptief ontwerp. Er zijn verschillende opties en instrumenten beschikbaar om duurzaamheid in (tender)uitvragen mee te nemen, bijvoorbeeld kwalitatief met een Plan Duurzaamheid, of kwantitatief met Stikstof, CO₂ eq. of MKI-berekeningen. Het is aan opdrachtgever om de keuze te maken wat de scope van de duurzaamheidsuitvraag is en op welke manier duurzaamheid mee wordt genomen. Om focus aan te brengen is het advies is om niet álles op het gebied van duurzaamheid uit te vragen,

maar de nadruk te leggen op één of twee duurzaamheidsonderwerpen te leggen. Deze moeten aansluiten bij de duurzaamheidsdoelstellingen van het project.

6 Routes naar emissieloos of emissiearm realiseren

In deze paragraaf lichten we toe welke combinaties van maatregelen ('routes') zijn verkend om te komen tot emissieloos (of tenminste emissiearm) werken op de bouwplaats.

6.1 Beschrijving van de routes

De routes bestaan uit een combinatie van verschillende maatregelen die allemaal starten met slim ontwerpen en optimalisatie van de materiaalstromen in de planuitwerkingsfase. Deze maatregelen vormen de basis voor alle routes aangezien deze maatregelen 'no-regret' zijn (kostenverlagend en effectief).

Qua aanvullende maatregelen in de realisatiefase zijn er drie hoofdroutes verkend:

- Route 1: werken met schoner materieel (van stageklasse II naar V)
- Route 2: werken met elektrisch materieel:
 - 2a. toepassing van 8 elektrische kranen en 9 elektrische dumpers (dit zijn alle kranen en dumpers bij WOS)
 - 2b. toepassing van alleen maar elektrisch materieel
- Route 3: Combinatie van elektrisch en schoner materieel (= Route 2a + overig materieel stage V)

NB. Bij alle routes wordt uitgegaan van het Nieuwe Draaien (no-regret).

De redenen dat deze routes zijn verkend zijn als volgt:

- Route 1: schoner materieel is gangbaar, goed beschikbaar en de kosten zijn op dit moment niet hoger dan bij inzet van het minder schone materieel. NB. Op de langere termijn kunnen de kosten voor schoner materieel wel toenemen, als de markt wordt overvraagd.
- Route 2a: elektrische kranen en dumpers leveren het grootste aandeel in de CO₂ uitstoot én zijn relatief goed beschikbaar voor retrofit.
- Route 2b: deze route is verkend om te kijken wat er nodig is om 100% emissiereductie te realiseren. NB. Het benodigde materieel moet deels nog ontwikkeld worden.
- Route 3: deze route levert inzicht in de (op de korte termijn) maximaal te bereiken emissiereductie zonder zwaar materieel te elektrificeren.

6.2 Effecten op emissies en kosten per route

De totale CO₂-emissie van de dijkversterking zonder maatregelen bedraagt 12.686 ton wat gelijk staat aan de uitstoot van 550 huishoudens per jaar. De totale emissies van WOS op de bouwplaats is inzichtelijk gemaakt in Tabel 7.

Tabel 7: Totale emissie van de referentiesituatie van WOS op de bouwplaats

Gas	Emissie
CO ₂	12.686 ton
Fijnstof	103.023 kg
Stikstof	3.191 kg

De effecten op emissies en kosten zijn per route weergegeven in Tabel 7. Deze effecten zijn als volgt bepaald (zie voor een nadere toelichting bijlage 1):

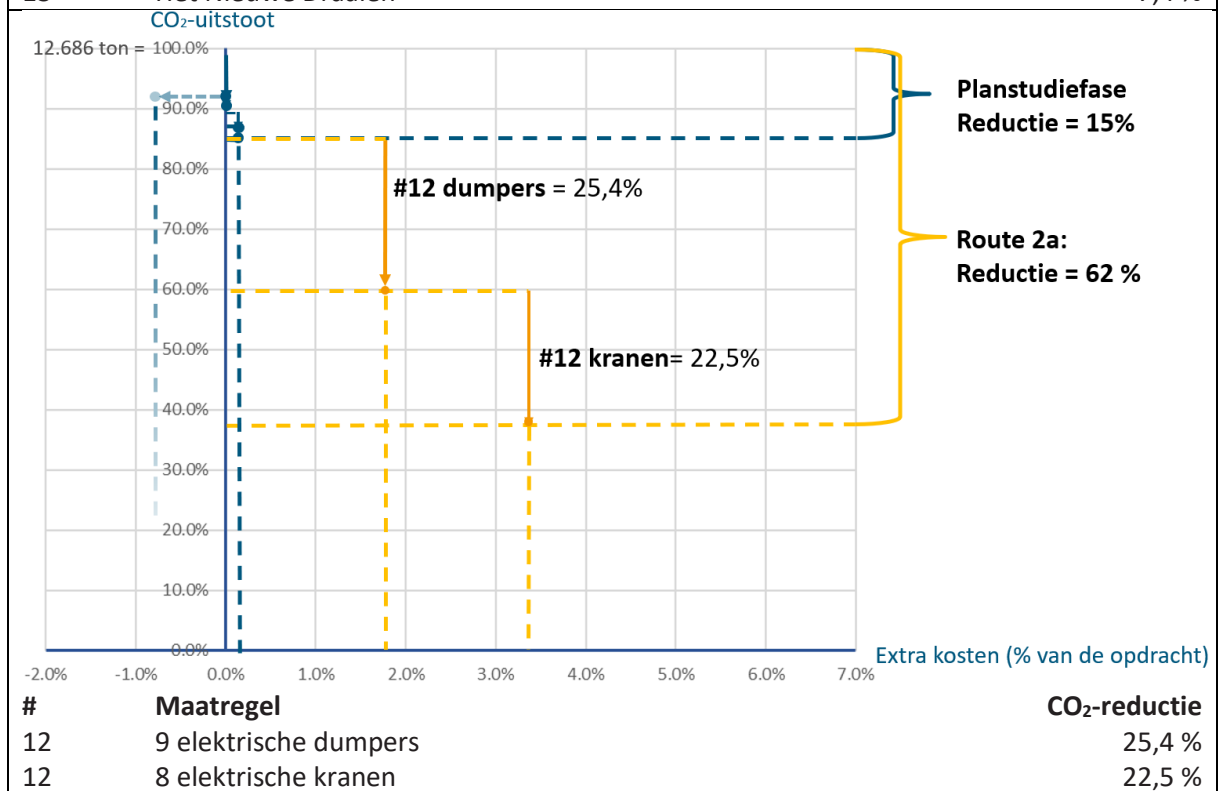
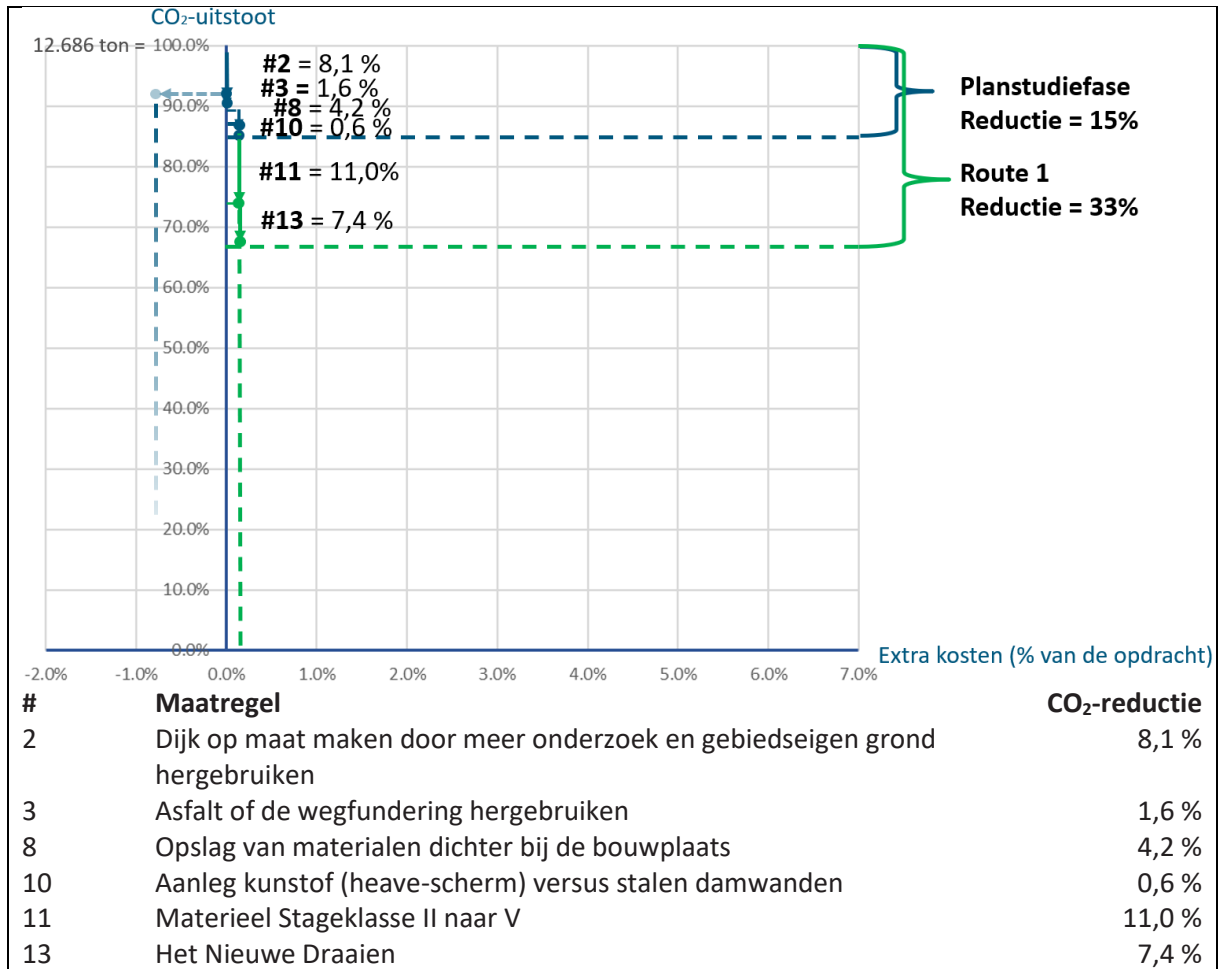
- De kostenindicaties zijn voornamelijk ingeschat op basis van expert judgement. Voor de kosten van elektrisch materieel is gebruik gemaakt van analyses uit de subsidieaanvragen;
- De reducties in CO₂ emissies zijn bepaald op basis van DuboCalc;
- De reducties in fijnstof en stikstof zijn bepaald met het programma Aerius.

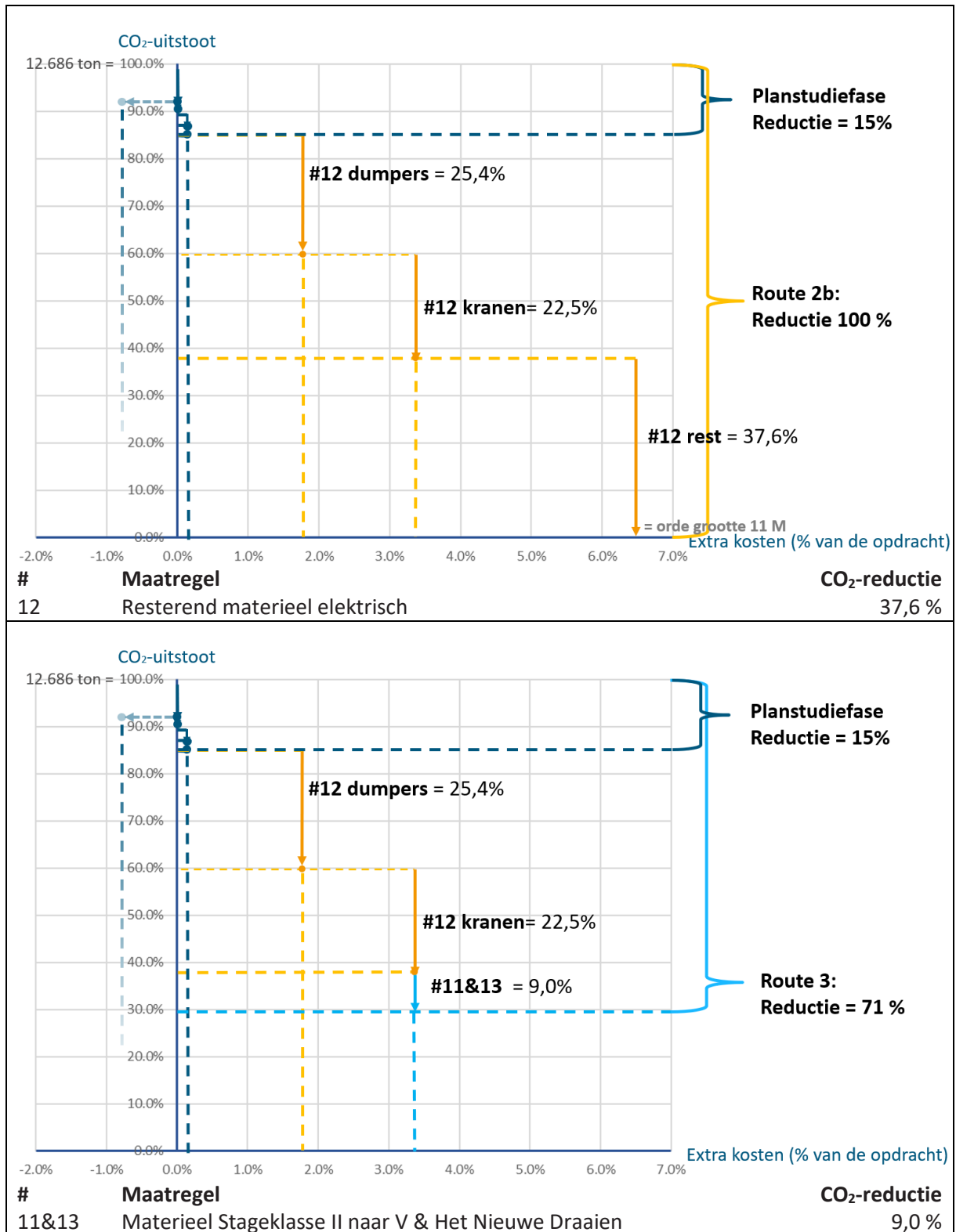
De reductiepercentages zoals weergegeven in tabel 8, zijn inclusief de maatregelen tijdens de planuitwerkingsfase (de maatregelen 'slim ontwerpen' en optimalisatie van de materiaal- en grondstromen uit Tabel 2). Deze maatregelen in de planuitwerkingsfase leveren een reductie van +/- 15% van de totale emissie voor zowel CO₂ als fijnstof als stikstof.

De resultaten zijn per route gevisualiseerd in watervalgrafieken in Figuur 7 (CO₂-reductie en kosten) en Figuur 8 (stikstof-reductie en kosten). Aangezien de reductie percentages voor stikstof en fijnstof in het algemeen overeenkomen, is gekozen om de visualisatie voor fijnstof op te nemen in Bijlage 2. De watervalgrafieken visualiseren de reducties en kosten van de individuele maatregelen.

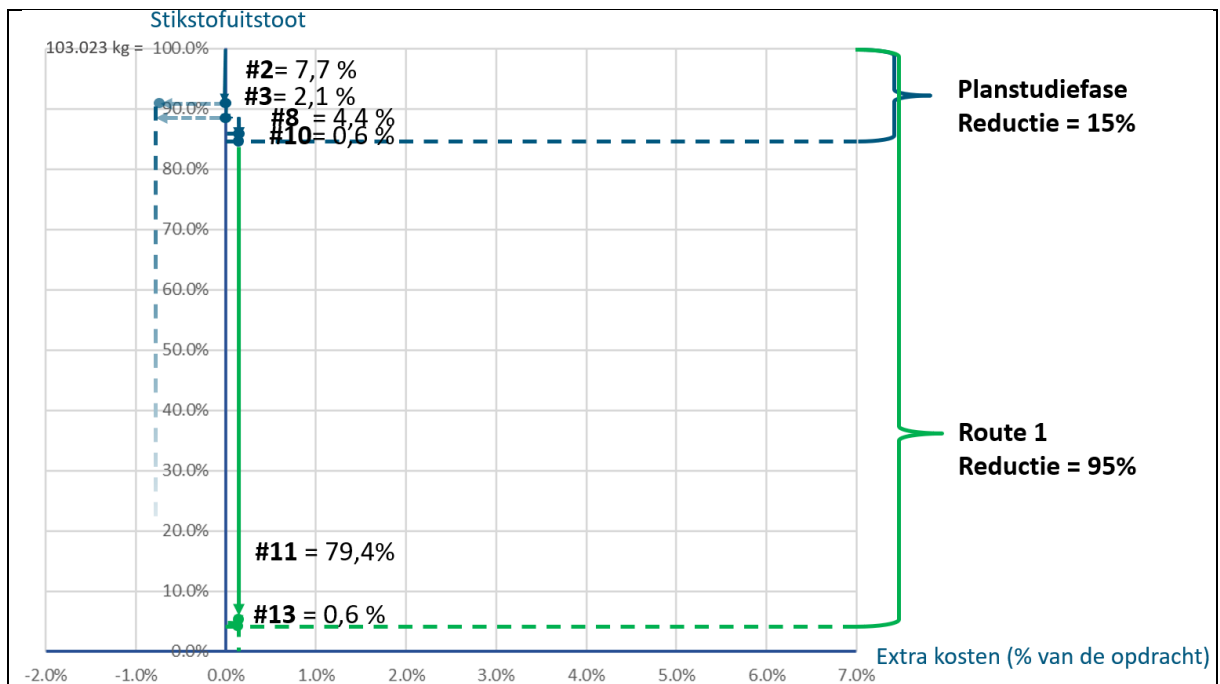
Tabel 8: Effecten op emissies (CO₂, Stikstof en fijnstof) en kosten per route

Route	CO ₂ reductie (%)	Stikstof reductie (%)	Fijnstof reductie (%)	Kosten (M€)
1: Materieel Stageklasse V	33	95	86	-
2a: Toepassing van elektrische kranen en dumpers	62	62	57	5,4
2b: Toepassing van alleen maar elektrisch materieel	100	100	100	11
3: Combinatie van elektrisch materieel en schoner materieel (Route 2a + overig materieel stageklasse V)	71	98	93	5,4

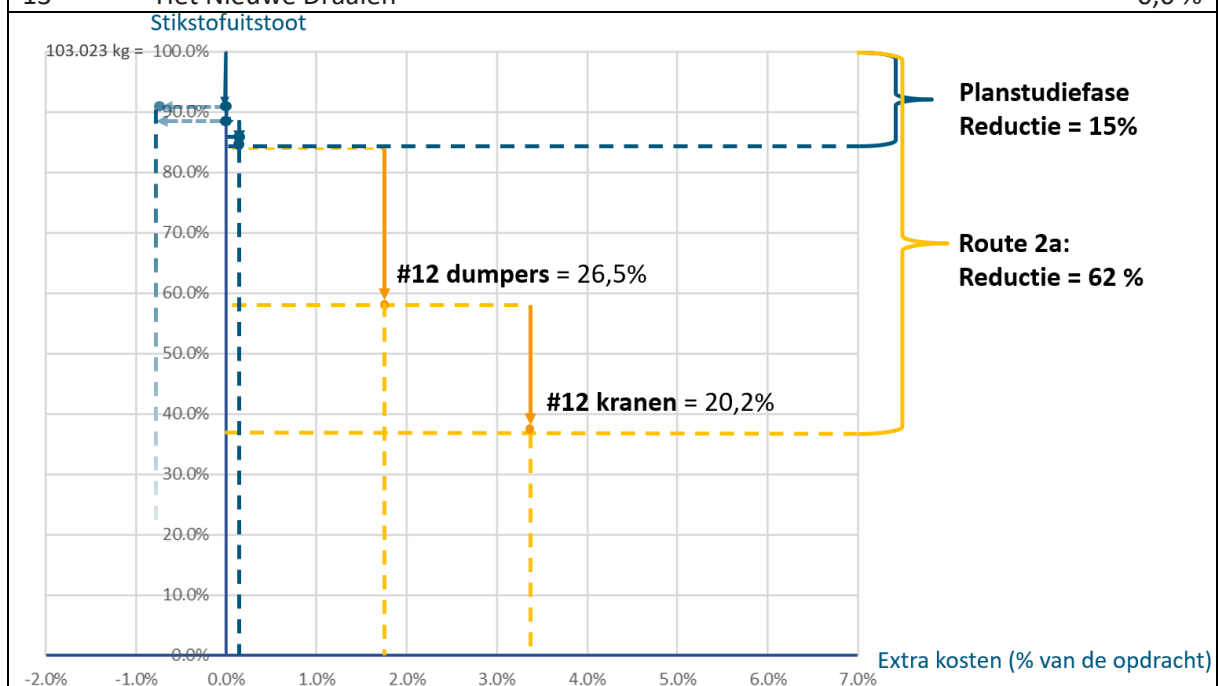




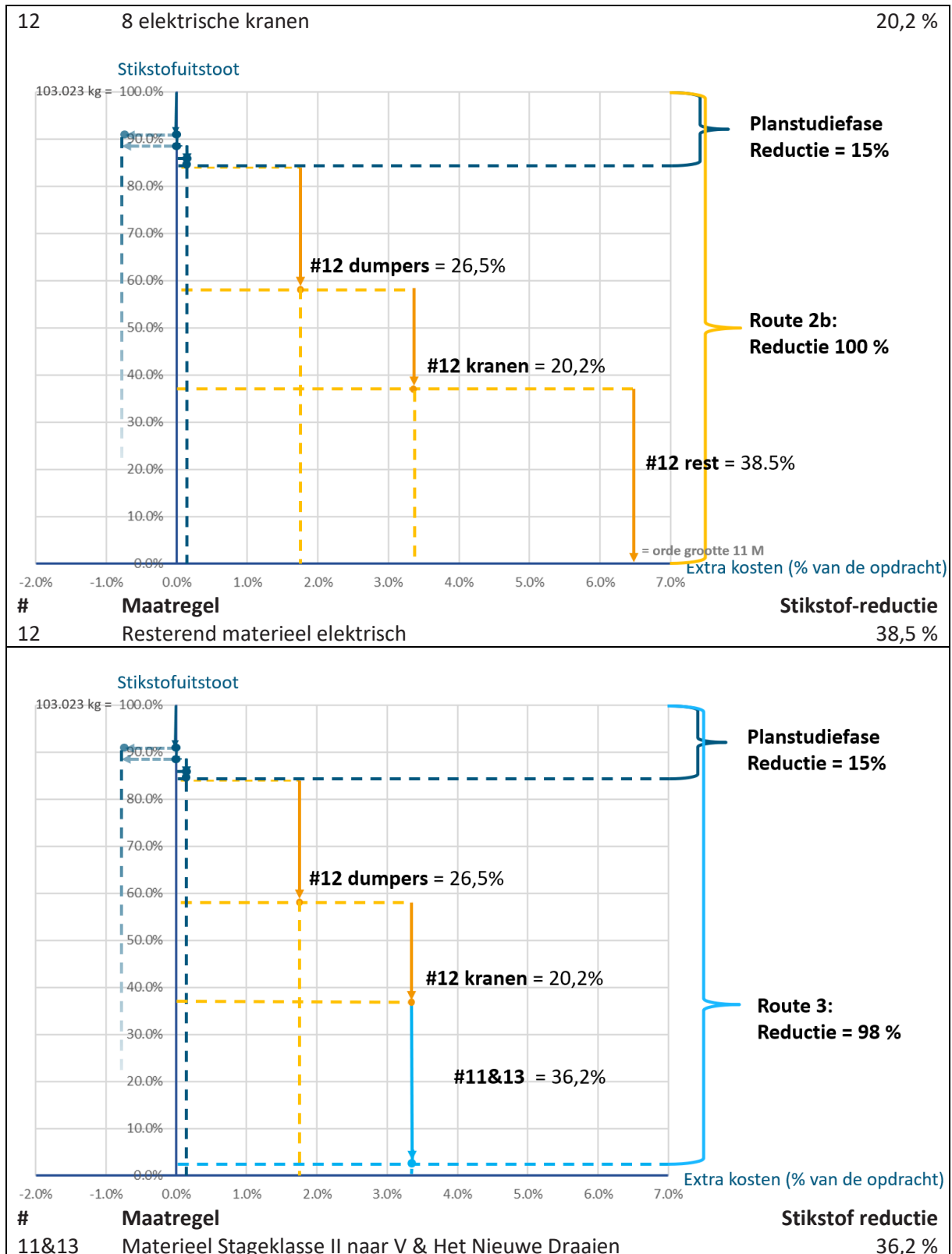
Figuur 7: CO₂-emissiereductie en indicatie kosten op de bouwplaats per route. De individuele maatregelen zijn aangegeven met # Nr. Deze maatregelnummers corresponderen met de nummering in Tabel 2.



#	Maatregel	Stikstof reductie
2	Dijk op maat maken door meer onderzoek en gebiedseigen grond hergebruiken	7,7 %
3	Asfalt of de wegfundering hergebruiken	2,1 %
8	Opslag van materialen dichterbij de bouwplaats	4,4 %
10	Aanleg kunstof (heave-scherm) versus stalen damwanden	0,6 %
11	Materieel Stageklasse II naar V	79,4 %
13	Het Nieuwe Draaien	0,6 %



#	Maatregel	Stikstof reductie
12	9 elektrische bumpers	26,5 %



Figuur 8: Stikstof-emissiereductie en indicatie kosten op de bouwplaats per route. De individuele maatregelen zijn aangegeven met # Nr. Deze maatregelnummers corresponderen met de nummering in Tabel 2.

6.3 Samenvatting van de effecten op emissies en kosten per route voor WOS

Hieronder worden de effecten van de verschillende routes naar emissiearm of emissieloos werken op de bouwplaats beschreven. Het gaat hierbij om de complete set aan maatregelen, inclusief de maatregelen uit de planuitwerkingsfase: 'slim ontwerpen' en optimalisatie van de materiaal- en grondstromen. Deze maatregelen uit de planuitwerkingsfase leveren samen zo'n 15% reductie in CO₂-emissie.

- Route 1 'schoner materieel' brengt voornamelijk geen extra kosten met zich mee en levert een reductie in emissies van 33%, 95% en 86% (voor respectievelijk CO₂, stikstof en fijnstof). Via deze route kunnen dus al vergaande reducties voor stikstof en fijnstof worden bereikt. De CO₂-reductie van deze route is echter beperkt in vergelijking met de reductie in stikstof en fijnstof.
- Route 2a 'elektrische kranen en dumpers' levert een CO₂-reductie van 62% en dit voldoet aan de ambitie die op Europees niveau is afgesproken voor 2030. Deze route levert echter een aanzienlijk minder hoge reductie aan fijnstof en stikstof dan route 1 én brengt een verhoging van de totale projectkosten van 3,3% met zich mee.
- Route 2b 'volledig elektrisch materieel' is de enige route die leidt tot zero-emissie (zowel voor CO₂, stikstof als fijnstof) en brengt een verhoging van de totale projectkosten van 6,7% met zich mee.
- Route 3 'combinatie van elektrische en schoner materieel' levert een emissiereductie van 71%, 98% en 93% (voor respectievelijk CO₂, stikstof en fijnstof). De kostenverhoging is identiek aan route 2a (3,3%).

NB. Uit bovenstaande valt af te leiden dat het toepassen van Stage V vooral een positief effect heeft op fijnstof en stikstof. Wanneer het belangrijk is om CO₂ te reduceren dan is echter een overstap naar elektrisch materieel nodig om een substantiële reductie te behalen.

6.4 Gekozen maatregelen WOS en effecten

Bij Wolferen-Sprok heeft een afweging van reductiemaatregelen plaatsgevonden aan de hand van de volgende aspecten (in samenhang met overige projectdoelstellingen):

- a) De doelen ten aanzien van emissiereductie (zoals geformuleerd in de projectopdracht of zoals meer algemeen geformuleerd in de duurzaamheidsambities van de opdrachtgever)
- b) De voorwaarden ten aanzien van emissies die worden opgelegd vanuit benodigde vergunningen (met name stikstofreductie vanuit de natuurwetgeving)
- c) De efficiëntie en effectiviteit van maatregelen in relatie tot de beschikbare middelen. Deze zijn inzichtelijk gemaakt door middel van een watervalgrafiek.
- d) De neveneffecten van mogelijke maatregelen tijdens de realisatie maar ook in andere onderdelen van de keten (zoals effecten op gezondheid, geluidshinder, planning, beheer en onderhoud, emissies van materialen tijdens de productie etc.).
- e) De beschikbaarheid van materieel, materiaal en infrastructuur die nodig is om de maatregelen te realiseren.

Voor WOS heeft dit geresulteerd in de toepassing van de volgende reductiemaatregelen (zie Tabel 9).

Tabel 9: Reductiemaatregelen en reducties bij WOS

Maatregelen toegepast in WoS	Gereduceerd t.o.v. de referentiesituatie		
	Ton CO ₂	Kg stikstof (NO _x)	Kg fijnstof (PM)
Maatregel 2. Dijk op maat	1.029	7.972	210
Maatregel 3. Wegfundering laten zitten	202	2.187	70
Maatregel 10. Kunststof damwanden i.p.v. stalen damwanden	78	609	29
Maatregel 8. Opslag van materialen dichterbij de bouwplaats	532	4.499	155
Maatregel 11. Materieel stageklasse II naar V	1.397	81.799	2.217
Maatregel 12. Elektrische kraan	775	519	29
Maatregel 13. Het Nieuwe Draaien	945	596	51
<i>Totaal gereduceerd</i>	<i>4.958</i>	<i>98.181</i>	<i>2.761</i>
<i>Reductiepercentage</i>	<i>39%</i>	<i>95%</i>	<i>87%</i>

Let op:

In de tabel is weergegeven hoeveel CO₂, NO_x en PM de maatregelen die op WOS zijn toegepast hebben gereduceerd ten opzichte van de referentiesituatie waarbij is uitgegaan van de toepassing van Stage II materieel. Echter, voor de huidige situatie is stage II al niet meer de standaard, maar is een combinatie van stage IIIb-IV de standaard. De tabel geeft dus wel weer hoeveel WOS heeft gereduceerd t.o.v. hoe het in 1990 ging, maar niet wat de reductie voor WOS is t.o.v. een huidige standardsituatie zonder maatregelen.

7 Conclusies en aanbevelingen: in 6 stappen naar lagere emissies

In dit voorbeeldproject staat de vraag centraal op welke manier het project Wolferen Sprok emissieloos (of emissie-arm) kan worden uitgevoerd en wat dat betekent voor dijkversterkingen in het algemeen. Het voorbeeldproject heeft een focus op de emissies van CO₂, fijnstof en stikstof op de bouwplaats. Emissies in andere fases van het project (zoals bijvoorbeeld de productie van materialen) zijn in dit voorbeeldproject niet in beschouwing genomen.

In dit voorbeeldproject zijn door de werkgroep (met leden van het waterschap Rivierenland, HWBP, Ploegam, Dura Vermeer en Royal HaskoningDHV, zie bijlage 3) de volgende stappen doorlopen:

1. Vaststellen van de referentie-situatie van de dijkversterking Wolferen-Sprok;
2. In kaart brengen van de emissies op de bouwplaats (CO₂, fijnstof en stikstof) bij de referentiesituatie via een zwaartepuntanalyse (o.a. o.b.v. DuboCalc). Inclusief de werkzaamheden ten behoeve van de meekoppelkansen. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om de aanleg van een extra trap over de dijk, een nieuwe aansluiting op de weg etc.;
3. Inventarisatie van mogelijke maatregelen om de grootste emissies (van de dijkversterking inclusief meekoppelkansen) te reduceren;
4. Beoordelen van de effecten van maatregelen op de totale emissie (CO₂, fijnstof en stikstof) en overige effecten (kosten, gezondheid, geluidshinder etc.)
5. Verkennen van mogelijke routes (combinaties van maatregelen) naar emissieloos bouwen en visualisatie van deze routes in watervalgrafieken (visualisatie van kosten versus baten)
6. Opstellen van conclusies en aanbevelingen

Het voorbeeldproject heeft geleid tot 14 mogelijke maatregelen om de dijkversterking van Wolferen-Sprok op de bouwplaats emissieloos uit te voeren. Deze 14 maatregelen zijn opgesomd in Tabel 2 (zie hoofdstuk 4). De 14 maatregelen zijn onder te verdelen in 3 categorieën: slim ontwerpen, slimme grond- en materiaal stromen en aanpassing van materieel.

De conclusies van het voorbeeldproject worden hieronder aan de hand van de drie categorieën maatregelen samengevat. Deze conclusies zijn in ieder geval van toepassing op het project Wolferen-Sprok, maar zijn op verschillende aspecten ook vertaald naar dijkversterkingen in het algemeen. De meer generieke aanbevelingen worden nader toegelicht in paragraaf 7.2.

7.1 Conclusies voorbeeldproject Wolferen-Sprok (WOS) en dijkversterkingen in het algemeen

Onderstaande conclusies hebben betrekking op de emissies op de bouwplaats van de dijkversterking. NB. Om de totale emissie van een dijkversterking te verminderen, moeten ook de emissies in de andere fases van het project worden beschouwd.

1. De totale emissie van de referentiesituatie van WOS is berekend op:
 - a. 12.686 ton CO₂
 - b. 103.023 kg stikstof
 - c. 3.191 kg fijnstof
2. Emissieloos uitvoeren begint bij een slim ontwerp van de dijkversterking. Emissiereductie door slim ontwerpen bestaat uit de volgende drieslag:
 - Breng de bouwopgave scherp in beeld door voldoende onderzoek, zodat conservatieve aannames kunnen worden voorkomen;
 - Voorkom over-dimensionering door de dijk zo 'slank' mogelijk te ontwerpen;

- Identificeer andere kansrijke maatregelen met behulp van een zwaartepunt analyse: welke onderdelen van het ontwerp leiden tot de grootste emissies op de bouwplaats? Welke aanpassingen in het ontwerp zijn mogelijk om die emissies te verminderen?

Deze drieslag levert zowel een substantiële reductie in emissies (15% bij WoS) als in kosten. Duurzaamheid gaat hierbij hand in hand met het streven naar een sober en doelmatig ontwerp. Daarnaast dragen deze maatregelen bij aan circulariteit (minder verbruik van primaire grondstoffen), ruimtelijke kwaliteit (minder aantasting van bestaande waarden) en een minder complexe organisatie tijdens de uitvoering. Slim ontwerpen is daarmee een eerste en belangrijke no-regret stap die de basis vormt van een emissieloos of emissie-arm project.

3. In de voorbereiding van de werkzaamheden op de bouwplaats (transport en aanleg) kan de emissie gereduceerd worden door het optimaliseren van grond- en materiaalstromen. Maatregelen die hieraan bijdragen bestaan uit:

- Zoveel mogelijk toepassen van gebiedseigen grond en in ieder geval hergebruik van eigen grond;
- Het vrijmaken van meer ruimte voor opslag van materialen dicht bij de uitvoering.

Deze optimalisatie van grond- en materiaalstromen draagt bij aan reductie van emissies (bij WOS is sprake van een reductie van 5%) en levert daarnaast een vermindering van hinder (geluid/geur/zicht) voor de omgeving.

Het hergebruik van eigen grond heeft bij WOS een positief effect op de kosten. Dit wordt veroorzaakt door de afname van acceptatiekosten voor het grondoverschot en de afname van transportafstanden. Wanneer er grond uit andere (lokale) projecten wordt benut kunnen de effecten op de kosten zowel positief als negatief zijn, dit is afhankelijk van verschillende factoren zoals transportafstanden en marktprijzen.

Het vrijmaken van meer ruimte voor opslag van materialen heeft een positief effect op de planning aangezien het de transportafstanden verkort, maar kan wel extra kosten met zich meebrengen voor het reserveren van de ruimte.

Het verkennen van mogelijkheden om grond- en materiaalstromen te optimaliseren is daarmee een logische eerste stap richting emissieloos bouwen. De mate waarin deze verkenning leidt tot een efficiënte emissiereductie is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden (beschikbare ruimte/ kwaliteit van gebiedseigen grond etc).

4. Tijdens de werkzaamheden op de bouwplaats kan de emissie verder worden gereduceerd door de inzet van schoner of zelfs elektrisch materieel. De opties (routes) worden hieronder toegelicht, in volgorde van kostenefficiëntie. De berekende emissiereducties die in deze alinea worden vermeld hebben betrekking op WOS en zijn inclusief de effecten van de maatregelen 'slim ontwerp' en optimalisatie van materiaal en grondstromen, zie ook paragraaf 6.1.

Ook de effecten op kosten die in deze alinea worden vermeld zijn berekend voor WOS en kunnen afwijken voor andere projecten.

- a. Route 1 'schoner materieel' (stage klasse V). Deze route heeft een groot effect op de emissie van stikstof en fijnstof (+/- 85%). De reductie van de CO₂-uitstoot is met zo'n 30% aanmerkelijk minder groot dan de reductie van fijnstof en stikstof. Deze inzet van schoner materieel brengt op dit moment geen extra kosten met zich mee. Route 1 is daarmee een no-regret optie, tenzij de emissiereductie hoger moet zijn en/ of de kosten toch hoger uitvallen. De emissies kunnen nog iets verder worden teruggebracht door de machinisten te laten werken conform de richtlijn van het Nieuwe Draaien.
- b. Route 3 (Inzet van elektrische kranen en dumpers, overig materieel stage V). Deze keuze levert hoge emissiereducties voor zowel CO₂ als fijnstof en stikstof (orde grootte 70%-95%). Met deze optie wordt de Europese klimaatdoelstelling van 55% CO₂ reductie ruimschoots gehaald. De kostenverhoging bedraagt naar verwachting zo'n 3 á 4% van de

totale opdrachtsom (exclusief de kosten voor de laadinfrastructuur). Mocht dit niet haalbaar zijn in een project (vanwege de kosten, de beschikbaarheid van elektrisch materieel of de benodigde laadinfrastructuur) dan is het natuurlijk mogelijk om een kleiner aandeel aan elektrisch materieel in te zetten. Daarbij wordt opgemerkt dat er vanuit het oogpunt van emissiereductie geen reden is om hierbij bij voorkeur te kiezen voor elektrische dumpers of bij voorkeur te kiezen voor elektrische kranen. Beiden typen materieel leveren vergelijkbaar aandeel in de reductie van emissies.

- c. Route 2b (inzet van alleen elektrisch materieel). Deze route is op dit moment nog niet uitvoerbaar, maar de verwachting is dat dit in de toekomst mogelijk gaat worden. Alleen met deze optie kan zero emissie worden gerealiseerd. De kosten zullen naar verwachting orde grootte 6 á 7% van de totale opdrachtsom bedragen. Deze inschatting heeft alleen betrekking op de kosten van het materieel en is dus exclusief de kosten voor de laadinfrastructuur.
- d. Route 2a 'elektrische kranen en dumpers' levert een CO₂-reductie van 62% en dit voldoet aan de ambitie die op Europees niveau is afgesproken voor 2030. Deze route levert echter een aanzienlijk minder hoge reductie aan fijnstof en stikstof dan route 1 én brengt een verhoging van de totale projectkosten van 3,3% met zich mee.

Uit het voorbeeldproject blijkt dat het nu nog niet mogelijk is om de dijkversterking Wolferen-Sprok volledig emissieloos te realiseren op de bouwplaats. Wel zijn er diverse mogelijkheden om de emissies op de bouwplaats substantieel te reduceren. Deze mogelijkheden hebben in veel gevallen ook een positief effect op de kosten, gezondheid, reductie van (geluids-) hinder en planning.

Bij Wolferen-Sprok heeft een afweging van maatregelen plaatsgevonden aan de hand van de volgende aspecten (in samenhang met overige projectdoelstellingen):

- f) De doelen ten aanzien van emissiereductie (zoals geformuleerd in de projectopdracht of zoals meer algemeen geformuleerd in de duurzaamheidsambities van de opdrachtgever)
- g) De voorwaarden ten aanzien van emissies die worden opgelegd vanuit benodigde vergunningen (met name stikstofreductie vanuit de natuurwetgeving)
- h) De efficiëntie en effectiviteit van maatregelen in relatie tot de beschikbare middelen. Deze zijn inzichtelijk gemaakt door middel van een watervalgrafiek.
- i) De neveneffecten van mogelijke maatregelen tijdens de realisatie maar ook in andere onderdelen van de keten (zoals effecten op gezondheid, geluidshinder, planning, beheer en onderhoud, emissies van materialen tijdens de productie etc.).
- j) De beschikbaarheid van materieel, materiaal en infrastructuur die nodig is om de maatregelen te realiseren.

Voor WOS heeft dit geresulteerd in de toepassing van zes reductiemaatregelen (zie tabel 9 in paragraaf 6.4) met een gezamenlijke reductie van 32% CO₂, 95% stikstof en 85% fijnstof ten opzichte van de referentiesituatie (werkwijze in 1990).

7.2 Aanbevelingen voor dijkversterkingen in het algemeen

Voor opdrachtgevers van dijkversterking zijn de volgende aanbevelingen relevant:

- Begin op tijd. Om emissiereductie efficiënt te realiseren is het belangrijk om in een vroeg stadium (tijdens de verkenningsfase) te starten met het in beeld brengen van de mogelijke maatregelen en daarbij de partijen te betrekken die nodig zijn om de maatregelen mogelijk te maken (aannemers/ netbeheerders/ financiers). Juist in het beginstadium van een project kunnen de meest kostenefficiënte maatregelen (slim ontwerpen) worden genomen. Ook is het van belang om al in een vroegtijdig stadium met elkaar te verkennen welke ambities (en eisen) er zijn ten aanzien van emissiereductie, zodat maatregelen kunnen worden uitgewerkt die

specifiek aan die ambities bijdragen. Bij de dijkversterking van Wolferen-Sprok heeft de stikstofnorm een belangrijke rol gespeeld. Bij andere projecten kan juist een organisatie-brede ambitie rondom CO₂-reductie de doorslag geven. Tot slot is het in de voorbereiding van een project belangrijk dat er een realistische raming wordt opgesteld. De huidige SSK-ramingen gaan in principe uit van materieel op fossiele brandstoffen. Zorg dat de meerkosten van eventueel elektrisch materieel al in een vroegtijdig stadium in beeld worden gebracht en in relatie tot de ambities en eisen worden besproken. Kijk of de meerkosten kunnen worden gecompenseerd door de werkzaamheden in de tijd te spreiden.

- Maak gebruik van de stappen 1 tot en met 6 van dit voorbeeldproject (zie de tweede alinea van dit hoofdstuk).
- Betrek de aspecten a t/m e uit paragraaf 7.1 om tot keuzes voor maatregelen te komen (zie hierboven).
- Monitor de effecten tijdens de uitvoering en maak de nieuwe kennis beschikbaar voor algemeen gebruik. (zie hieronder)

Tot slot merken we op dat een tweetal zaken die voor de transitie naar emissieloos bouwen belangrijk zijn niet door binnen individuele projecten kunnen worden gerealiseerd. Het gaat dan om:

- de beschikbaarheid van schoner fossiel materieel (stage V) en/ of de beschikbaarheid van elektrisch materieel én bijbehorende infrastructuur.
- de beschikbaarheid van kennis over de effecten van maatregelen op emissies, kosten en planning (en andere neveneffecten).

Het is daarom van belang dat opdrachtgevers en andere stakeholders gezamenlijk de ontwikkeling van benodigd materieel/ infrastructuur en kennis blijven aanjagen.

Bijlage 1 : Uitwerking maatregelen op emissie, kosten en planning

De uitwerking van de 14 maatregelen is gericht op de emissiereductie die op de bouwplaats te behalen valt. Indien in de uitwerking van de maatregelen een groot effect is voorzien op de emissie tijdens de winning, productie of transport buiten de bouwplaats dan zijn deze maatregelen niet verder uitgewerkt. Voor de vastgestelde maatregelen zijn de effecten bepaald voor zowel emissies, als kosten en planning.

Voor emissies zijn de maatregelen individueel kwantitatief uitgewerkt voor CO₂, stikstof en fijnstof. Indien de maatregelen voor emissie niet kwantitatief uitgewerkt konden worden, is het effect kwalitatief beschreven.

Alle CO₂-berekeningen zijn uitgedrukt in CO₂ equivalenten; dat wil zeggen dat naast CO₂ ook andere broeikasgassen zoals methaan zijn meegenomen en zijn uitgedrukt in CO₂-eq. De berekeningen voor CO₂ zijn gebaseerd op de draaiuren van het materieel, het brandstofverbruik en de CO₂-uitstoot per liter uit de CO₂ prestatieladder. Alle berekeningen die voor NO_x (stikstof) en PM (fijnstof) zijn gemaakt, zijn – conform de standaard werkwijze met AERIUS – gebaseerd op de draaiuren van het materieel, het vermogen, de Stageklasse, TAF-factor en de emissie per kWh.

De kosten van de reductiemaatregelen zijn grotendeels ingeschat op basis van expert judgement. Voor de kosten van elektrisch materieel is gebruik gemaakt van de informatie uit subsidieaanvragen voor het elektrisch materieel. Een eventuele lagere heffing op CO₂ is niet meegenomen in de kosten.

Maatregel 1: Een slank en modulair ontwerp

Emissie

Voor een lagere emissie kan worden overwogen om een slank ontwerp te maken met een kortere levensduur, in plaats van een robuust ontwerp met een langere levensduur. Hierdoor kan bij de huidige versterking veel grondtransport worden voorkomen. De verwachting is namelijk dat in de nabije toekomst van 5 tot 10 jaar elektrisch materieel voldoende beschikbaar is. In de toekomst kan het 'slanke' ontwerp, als dit niet meer aan de eisen voldoet, dan met emissieloos materieel worden versterkt.

Om ook in de toekomst een reductie in emissie te behouden is het wel noodzakelijk om het slanke ontwerp ook modulair te maken, waarbij de dijk makkelijker uitgebreid en aangepast kan worden. Er wordt dan rekening gehouden met toekomstige aanpassingen, waardoor de dijk bij toekomstige dijkversterkingen niet onnodig hoeft te worden afgegraven. Hoe minder er bij een volgende versterking moet worden uitgevoerd, hoe beter het behoud van waarde van de materialen die er al liggen en hoe lager de emissie zal zijn.

Het is dus belangrijk om het ontwerp op de juiste wijze zowel slank als modulair te maken en zo de minste emissie te veroorzaken en het meeste waardebehoud van materialen te realiseren, zowel nu als in de toekomst.

Kosten

De engineeringkosten nemen niet sterk toe als de dijk slanker wordt gerealiseerd. Voor het modulair maken van de dijk kan er mogelijk wel een beperkte toename van engineeringkosten zijn.

Planning

De verkenning en planstudie van de dijkversterking wordt niet of nauwelijks beïnvloed als de dijk slanker en meer modulair wordt uitgevoerd. De benodigde uitvoeringstijd is echter direct afhankelijk van de hoeveelheden die moeten worden verwerkt; ofwel recht evenredig met de extra volumes die worden gerealiseerd. Een slanker ontwerp leidt dus tot een evenredige afname in de tijdsplanning. De dijkversterking zal per saldo dus korter worden. Wel zal het zo zijn dat de kans reëel is dat de dijk korter veilig is en dat er dus eerder een nieuwe versterking nodig is. Je krijgt dan te maken met 2 korte dijkversterkingen in plaats van 1 lange.

Maatregel 2: Dijk op maat door meer onderzoek en gebiedseigen grond hergebruiken

Emissie

Door minder transport van grond vanwege hergebruik van gebiedseigen grond en het lean ontwerpen is bij WOS een reductie mogelijk van 8,1% voor CO₂, 7,7% voor stikstof en 6,6% voor fijnstof t.o.v. de totale emissie.

In de referentiesituatie is uitgegaan van het hergebruik van niet verontreinigde grond. In de optimalisatie zijn de eisen voor de klei versoepeld, waardoor ook klei kan worden hergebruikt. Dit zorgt voor kortere transportafstanden op de bouwplaats.

Tabel 10: Emissies voor maatregel 2: dijk op maat door meer onderzoek en gebiedseigen grond hergebruiken

Materieelinzet op werk	ton CO ₂	kg NOx	kg PM
Referentie	6.576	53.068	1.486
Optimalisatie	5.547	45.095	1.276
Absoluut verschil	1.029	7.972	210
Reductiepercentage van totaal	8,1%	7,7%	6,6%

Kosten

Meer onderzoek kan leiden tot een langere verkenning en planstudie van de dijkversterking, maar daardoor kunnen minder conservatieve aannames worden gebruikt in het ontwerpproces. De omvang van het ontwerp wordt daarmee teruggebracht evenals de uitvoeringskosten.

Met het hergebruiken van gebiedseigen grond hoeven er minder acceptatiekosten betaald worden voor het grondoverschot en nemen de transportafstanden af.

Planning

Meer inzicht in het hergebruik en de kwaliteit van toe te passen grond zorgt voor betere communicatie (minder zorgen) naar omwonenden en geeft daardoor minder risico's wat positief is voor de planning.

Maatregel 3: Asphalt of de wegfundering hergebruiken

Emissie

Het recyclen van asphalt of de wegfundering geeft minder emissie bij de productie, doordat er minder nieuwe primaire materialen gewonnen, getransporteerd en verwerkt moeten worden. Het laten liggen van het asphalt of de wegfundering en de draagkracht van deze materialen gebruiken voor de nieuwe constructie zorgt ervoor dat er minder (nieuwe) materialen nodig zijn. Dit leidt tot minder materieelinzet op de bouwplaats en minder aan- en afvoer.

In principe wordt het asfalt (behalve verontreinigd) standaard al gerecycled in een asfaltcentrale en kan het daarna hergebruikt worden als Partiële Recycling (PR) asfalt. Daarnaast is extra onderzoek gedaan naar de bestaande draagkracht van de fundering/constructie door middel van VGD-metingen (Val Gewicht Deflectie). Hieruit is gebleken dat een groot deel nog voldoende draagkracht heeft en dus met een minimale maatregel weer voldoet aan de gestelde ontwerplevensduur.

Deze specifieke maatregel is toegepast op WOS en de resultaten hiervan zijn doorgerekend. Het laten liggen van de wegfundering zorgt voor minder materieelinzet. Deze afname levert een reductie op van 1,6% voor CO₂, 2,1% voor stikstof en 2,2% voor fijnstof t.o.v. van de totale emissie.

Tabel 11: Emissies voor maatregel 3: Wegfundering hergebruiken

Materieelinzet op werk	ton CO ₂	kg NOx	kg PM
Fundering breken, afvoeren, nieuw aanvoeren	202	2.187	70
Fundering laten zitten	0	0	0
Absoluut verschil	202	2.187	70
<i>Reductiepercentage van totaal</i>	<i>1,6%</i>	<i>2,1%</i>	<i>2,2%</i>

Kosten

Er is een positief effect op de kosten bij het laten zitten van de wegfundering omdat er geen materieel en transportkosten zijn voor het uitbreken en afvoeren. Bij WOS is er sprake van een verontreiniging in de fundering. Als de fundering afgevoerd zou moeten worden, geeft dit significant hogere kosten voor het storten van de vervuilde fundering bij een erkend verwerker. Bij WOS blijft ook een groot deel van de bestaande asfaltconstructie zitten (met name de onderlagen). Dit heeft dus een gunstig effect op het frezen, afvoeren en ook zeker op de hoeveelheid nieuw te dragen tonnen. De kosten voor extra onderzoek zijn niet in verhouding tot de te realiseren besparingen waarmee het dan ook per saldo een gunstig effect op de kosten heeft.

Planning

Er is een positief effect op de planning bij het laten liggen van de wegfundering. De hoeveelheid extra onderzoek is beperkt en daarmee qua doorlooptijd ook te overzien binnen de planuitwerkingsfase. Aangezien de maatregel een zeer groot positief effect heeft op de hoeveelheden zie je dit terug in de totale doorlooptijd van het werk.

Maatregel 4: Damwanden in teen in plaats van in de kruin

Het plaatsen van damwanden in de teen van de dijk i.p.v. in de kruin heeft voor de emissies op de bouwplaats weinig invloed maar maakt wel een groot verschil voor de emissies in de productie van het staal. Voor het plaatsen van een damwand in de teen zijn er kortere damwanden nodig en zijn de toe te passen profielen vaak ook minder zwaar. In de praktijk is het al zo dat de voorkeur altijd uitgaat naar het plaatsen van een damwand in de teen. Indien dit niet mogelijk is door de aanwezigheid van bebouwing wordt overgegaan op het plaatsen van een damwand in de kruin.

Met het plaatsen van een damwand in de teen bij bebouwing is het opbreken / slopen van wegen / gebouwen nodig om de damwand te kunnen plaatsen. Op deze plekken zou de impact van het opkopen en slopen van de omgeving zwaarder wegen dan het plaatsen van de damwand in de teen. Dit omdat dit ook weer extra kosten zijn, extra ruimtebeslag, extra emissies en extra impact van de dijkversterking geeft op de leefomgeving. Daardoor heeft deze maatregel een negatief effect op het totale samenspel aan factoren en is deze niet verder uitgewerkt.

Maatregel 5: Meer milieukundig onderzoek naar de kwaliteit van de grond

Emissie

Meer onderzoek naar de milieu hygiënische kwaliteit van de grond geeft een beter inzicht in de kansen en risico's van de grond. Met het zetten van meer boringen kunnen de grenzen van eventuele vervuilde grond beter in kaart gebracht worden. Meer inzicht in de grond wil niet per definitie zeggen dat er ook meer grond hergebruikt kan worden en deze maatregel wordt daarom neutraal beoordeeld.

Kosten

De kosten in de ontwerpfase zullen hoger zijn als gevolg van extra onderzoek. Deze kosten zijn echter relatief beperkt ten opzichte van de gehele opdrachtsom. Het is aannemelijk dat de kosten van het extra onderzoek terugverdiend kunnen worden tijdens de uitvoeringsfase (minder verrassingen, meer kans om geschikte grond te kunnen hergebruiken) maar aangezien dit niet zeker is, is het effect op kosten neutraal beoordeeld.

Planning

Als er tijdens de realisatie onverwacht vervuilde grond wordt aangetroffen heeft dit een negatief effect op de doorlooptijd van het project. De vervuilde grond kan niet meer hergebruikt worden en hiervoor zal er extra grond aangevoerd moeten worden. Als dit niet voorzien is heeft dit bij voorbaat een negatief effect op planning. Inzicht aan de voorkant had kunnen leiden tot een ontwerp waarbij bijvoorbeeld nog rekening gehouden had kunnen worden met de verontreiniging.

Maatregel 6: Hergebruik van stalen damwanden

Emissie

Bij het gebruik van al bestaande damwanden hoeft er geen nieuwe damwand gefabriceerd te worden. Dat scheelt in emissies tijdens de productie. Bij het hergebruik van damwanden is er soms zelfs geen bewerking nodig om de damwand opnieuw te kunnen plaatsen. Aannemelijker is wel dat de damwanden vaak verwijderd moeten worden en op een nieuwe locatie in de dijk hergebruikt kunnen worden. Per saldo is dit voor emissie nog steeds gunstiger dan verwijderen en afvoeren of laten zitten en een compleet nieuwe constructie aanbrengen. Daarnaast hoeven hergebruikte damwanden over het algemeen van minder ver te komen; nieuwe damwanden komen namelijk grotendeels uit Luxemburg (ArcelorMittal), Abu Dhabi of China, terwijl hergebruikte damwanden te vinden zijn binnen Nederland. Qua emissie kan het dus ook aantrekkelijk zijn vrijgekomen damwand tijdelijk op te slaan alvorens deze te hergebruiken in een ander project.

Bij WOS is het contractueel verplicht om nieuwe damwanden te gebruiken en is de maatregel niet toegepast. Er is overigens wel getracht een nuttige toepassing te vinden voor de damwanden welke al in de dijk aanwezig zijn van eerdere werken. Zo worden ze bijvoorbeeld gebruikt om legankers aan vast te koppelen.

Om de maatregel kwantitatief neer te zetten is een vergelijking gemaakt van een nieuw versus een hergebruikte damwand op de emissiereductie van grondstoffenwinning t/m aanleg. Voor het transport is ArcelorMittal in Luxemburg en de projectlocatie Andelst (370 km) aangehouden voor de nieuwe damwanden en 150 km voor de hergebruikte damwanden. Het hergebruiken van een damwand bespaard 82% CO₂ t.o.v. het aankopen van een nieuwe damwand.

Tabel 12: Emissies voor maatregel 6: Hergebruik van stalen damwanden

Vergelijking voor 1 ton damwand (grondstoffenwinning t/m aanleg)	ton CO ₂
Stalen damwand nieuw	1.470

Stalen damwand hergebruikt	270
Absolute reductie	1.200
<i>Reductiepercentage</i>	<i>82%</i>

Kosten

Het aankopen van damwanden is duur, waardoor het hergebruik van damwanden positief is voor de kosten. De totale kostenoptimalisatie is afhankelijk van de beschikbaarheid en verschil in transportafstand. Anderzijds is er voor het hergebruiken van damwanden extra onderzoek nodig naar de levensduur van de damwanden op profiel, lengte en minimale dikte. Ook kan het zijn dat er kleine herstelwerkzaamheden aan damwanden moeten plaatsvinden om ze te kunnen hergebruiken (sloten open lassen, hijsgaten dicht maken etc.)

De kosten voor het extra onderzoek en deze kleine modificaties zullen in verhouding echter veel kleiner zijn dan de kostenbesparing in de aankoop.

Planning

Het effect op de planning is neutraal aangezien het onderzoek naar hergebruik plaatsvindt voorafgaand aan de realisatiefase of in de werkvoorbereiding. Door deze inspanningen vooraf te doen kost het aanbrengen van gebruikte damwanden niet extra tijd ten opzichte van nieuwe.

Indien een situatie gecreëerd kan worden waarbij de damwand in zijn geheel op de bestaande locaties kan blijven zitten ontstaat naast kosten en emissie ook een voordeel op planning.

Momenteel is er vanuit allerlei projecten veel vraag naar secundaire/hergebruikte damwanden. Dit kan betekenen dat de vraag soms groter is dan het aanbod in secundaire damwanden (van het juiste profiel). Voor de planning is het dan belangrijk om deze damwanden al te kunnen reserveren of te kopen, anders kan het zijn dat tijdens de uitvoering de juiste secundaire damwanden niet beschikbaar zijn we alsnog nieuwe damwanden inkopen.

Maatregel 7: Damwanden (staal, kunststof) in plaats van grond gebruiken

Emissie

Het gebruik van een damwand vergeleken met een groter volume grond is in principe positief voor de uitstoot op de bouwplaats zelf.

Wat echter niet vergeten dient te worden is de grote hoeveelheid emissies bij de productie van het staal. Hiervoor zou je deze maatregel altijd in combinatie met 4.1.6 uit moeten voeren waarbij beschikbaarheid een issue/risico is.

NB. De productie van kunststof damwanden brengt minder emissies met zich mee dan de productie van stalen damwanden. De kunststof damwanden zijn over het algemeen echter niet geschikt om het faalmechanisme op te lossen.

Kosten

Stalen damwanden zijn duur vergeleken met de benodigde grond. Wel is het zo dat stalen damwanden vaak ruimtebesparing oplevert wat voor een project kan schelen in de vastgoedkosten. Wel ontstaan met meer damwanden ook meer raakvlakken met K&L, kans op schade aan woningen etc. Algeheel beeld is dan ook dat stalen damwanden duurder uitvallen dan de dijk realiseren met grond.

Planning

Het plaatsen van damwanden kan een planningsvoordeel geven omdat het sneller is, maar ook negatief uitslaan als er diepwanden nodig zijn. Ook is het zo dat dergelijke constructies aanmerkelijk

meer risico's op stagnatie met zich meebrengen. Daarom is het effect op de planning neutraal bevonden.

Maatregel 8: Opslag van materialen dicht bij de bouwplaats

Emissie

Emissiereductie door optimalisatie in opslag van materiaal komt vooral door het verkleinen van de afstand naar een depot. De afstanden tussen werkzaamheden en dDepots zijn in de optimalisatie van WOS van gemiddeld 3 naar 1,15 km gereduceerd. De afname in emissie voor materieelinzet levert een reductie op van 4,2% voor CO₂, 4,4% voor stikstof en 4,9% voor fijnstof van de totale emissie.

Tabel 13: Emissies voor maatregel 8: opslag van materialen dicht bij de bouwplaats

Materieelinzet op werk	ton CO ₂	kg NO _x	kg PM
Depot op gem. 3 km afstand vanaf werklocatie	2.127	18.002	620
Depot op gem. 1,15 km afstand vanaf werklocatie	1.595	13.503	465
Absoluut verschil	532	4.499	155
<i>Reductiepercentage van totaal</i>	<i>4,2%</i>	<i>4,4%</i>	<i>4,9%</i>

Voor WOS wordt alleen teelgrond in de strook opgeslagen en de rest van de grond wordt naar depots vervoerd. Hier zou nog een optimalisatie in mogelijk zijn door bijvoorbeeld de werkstroken 20 meter breed te maken in plaats van 10 meter breed zoals deze nu zijn en daarmee meer ruimte te creëren om meer grond dicht bij het werk te kunnen opslaan en her te gebruiken. De ruimte moet wel voldoende groot zijn om verschillende soorten grond gescheiden van elkaar te kunnen opslaan.

Kosten

De directe kosten voor uitvoering worden lager aangezien er minder dumper-transporten zijn. Wel dient rekening gehouden te worden met significante meerkosten voor de tijdelijke ingebruikname van grond rondom het project. Als deze grond van het Waterschap is, is dit vaak te overzien. In geval van particulier eigendom dient tijdelijk gebruik verkregen te worden waarbij het over hoge kosten kan gaan als het een groot werk en veel m² betreft. Daarom zijn de kosten hier als negatief beoordeeld.

Planning

Depots dicht bij de bouwplaats leiden tot korte transporten of zelfs helemaal geen transporten (alleen omslaan met de kraan).

Een mogelijk risico is het verminderde draagvlak bij omwonenden door het in gebruik nemen van extra grond. Eventueel verlaagd draagvlak kan van invloed zijn op de planning. Uit ervaring is bekend dat beschikbaarheid van percelen vaak een van de grootste issues is binnen een dijkversterking. Men dient zich hier bewust van te zijn wanneer voor deze maatregel gekozen wordt.

Maatregel 9: Materieelinzet K&L optimaliseren

De werkzaamheden voor de K&L infrastructuur vallen buiten de werkzaamheden in de realisatie van de werkzaamheden, omdat het gerealiseerd wordt door de netwerkbeheerders van de desbetreffende K&L.

Bij WOS heeft het Ontwerpteam in een zo vroeg mogelijk stadium geregeld dat de werkzaamheden van de K&L-aannemer bij één combipartij worden belegd. Dit zodat nieuw te graven sleuven in één keer worden aangelegd en er geen onnodige aan- en afvoer van materieel is. Door te sturen op samenwerking zijn de afspraken die gemaakt worden met K&L aannemers zo duurzaam mogelijk gemaakt.

De effecten op emissie, kosten en planning van de K&L werkzaamheden zijn niet meegenomen in de uitwerking, omdat ze uitbesteed zijn aan de K&L beheerder.

Maatregel 10: Aanleg kunststof (heave-scherm) versus stalen damwanden

Emissie

Bij WOS is er gekozen voor het toepassen voor kunststof damwanden op locaties waar dit technisch mogelijk was. In dit voorbeeldproject is in beeld gebracht wat dit betekent voor de emissies op de bouwplaats. Het gaat daarbij voornamelijk om het verschil in benodigd materieel om de damwand te plaatsen. Vanwege het gewicht is er voor de stalen damwanden een grotere heistelling nodig. Ook draait de heistelling bij de stalen damwanden op 70-80% van het vermogen in vergelijking tot 40-50% voor de heistelling die nodig is voor de kunststof damwanden. Dit levert een besparing in materieelinzet voor de kunststof damwand op. De kunststof damwanden leveren op die manier een besparing van 0,6% voor CO₂, 0,6% voor stikstof en 0,9% voor fijnstof t.o.v. stalen damwanden van de totale emissie.

NB 1. De grootste besparing van deze maatregel zit in de productiefase; een stalen damwand levert meer emissie dan een (gerecyclede) kunststof damwand omdat er meer energie en materieel voor nodig is om te produceren. Voor de totale grondstoffenwinning t/m aanleg geeft de kunststof damwand een besparing van 87% t.o.v. stalen damwanden. Aangezien dit buiten de scope valt van dit voorbeeldproject zijn deze reducties niet meegenomen in de beoordeling van deze maatregel.

NB 2. Het eventuele afbranden van damwanden die niet geheel de grond ingaan is niet meegenomen in deze berekening, omdat de damwanden bij WOS in principe volledig de grond ingaan. Dit omdat de schermen nergens in het zicht hoeven te komen. Als er wel wordt afgebrand, dan heeft dit echter wel invloed op de emissies en zal het plaatsen van kunststof damwand nog voordeliger in emissie zijn.

Tabel 14: Emissies voor maatregel 11: aanleg kunststof versus stalen damwanden

Materieelinzet op werk 48.258 m2 damwand	ton CO ₂	kg NOx	kg PM	ton CO ₂ (grondstoffenwinning t/m aanleg)
Stalen damwand	546	2.267	83	110
Kunststof damwand	468	1.658	54	14
Absolute reductie	78	609	29	96
<i>Reductiepercentage van totaal</i>	<i>0,6%</i>	<i>0,6%</i>	<i>0,9%</i>	<i>87%</i>

Kosten

De draaiuren voor het plaatsen van een stalen of kunststof damwand zijn gelijk. De kosten van de heistelling voor het plaatsen van een stalen damwand is duurder, hierdoor is het plaatsen van kunststof goedkoper.

Ook is er een aanmerkelijk verschil in aankoop tussen kunststof en stalen damwand. Kunststof is goedkoper dan staal.

Per saldo vallen de kosten dan ook veel gunstiger uit bij het gebruik van kunststof damwanden. Opgemerkt dient te worden dat kunststof wel beperkingen kent in diepte (tot ca. 11 m1 gaat goed, daarna is het zeer risicovol) en functionaliteit (kunststof kan niet voor macrostabiliteit gebruikt worden, staal wel).

Planning

Er is geen effect op de planning voorzien. Het aanvoeren en plaatsen van kunststof of damwanden kent geen significant verschil in planning gezien op de complete dijkversterking. Een invloed kan de beschikbaarheid van kunststof zijn.

Maatregel 11: Materieel Stageklasse II naar V

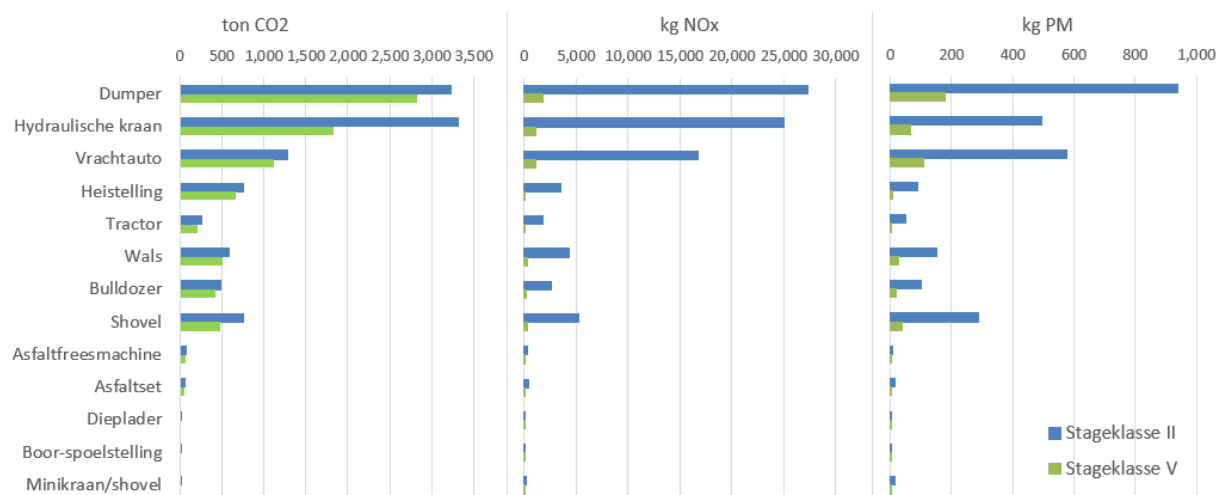
Emissie

Het verschil in uitstoot is berekend door voor al het in te zetten materieel geheel met stageklasse II of V te rekenen. De totale emissiereductie is afhankelijk van de hoeveelheid materieelinzet. Als de materieelinzet al tot het minimum beperkt is door slim te ontwerpen en slimme grond- en materieelstromen, is de reductie door deze maatregel ook kleiner. Bij de berekening van de effecten van deze maatregel is daarom uitgegaan van de situatie waarin de andere hierboven benoemde maatregelen (slim ontwerp en slimme grond en materiaalstromen) al zijn toegepast. De afname in emissie voor materieel stage V levert dan nog een reductie op van 11,0% voor CO₂, 79,4% voor stikstof en 69,5% voor fijnstof van de totale emissie. Bij het niet toepassen van de ontwerpoptimalisaties worden de reductie percentages groter.

Tabel 15: Emissies voor maatregel 11: materieel Stageklasse II naar V.

Materieelinzet op werk	ton CO ₂	kg NOx	kg PM
Stageklasse II	10.845	87.755	2.727
Stageklasse V	9.449	5.956	510
Absoluut verschil	1.396	81.799	2.217
Reductiepercentage van totaal	11,0%	79,4%	69,5%

Het aandeel in emissiereductie is per type materieel uitgezet voor CO₂, stikstof en fijnstof in Figuur 9. De inzet van stageklasse V materieel heeft vooral grote effecten op de uitstoot van stikstof en fijnstof.



Figuur 9: Emissie voor Stageklasse II en V per type materieel voor CO₂, stikstof (NOx) en fijnstof (PM).

Kosten

Materieel stage V is nieuwer in aankoop en beperkt beschikbaar, prijzen voor stage V zullen dan ook hoger liggen. De investeringskosten voor de ontwikkeling van materieel worden doorberekend in de

prijs welke aannemers moeten betalen voor het materieel. Voor oudere machines (stage II) is een 2^e hands markt beschikbaar waar dit materieel in omloop is. Ook is het zo dat 90% van het materieel in Nederland nog van een oudere stageklasse is. Opgemerkt dient te worden dat dit niet significant is (tussen de 5% en 10%). Ook is het zo dat over bijvoorbeeld 5 jaar de prijs waarschijnlijk gelijk is als gevolg van lagere aankoopkosten (stage II wordt simpelweg niet meer gemaakt) en hogere beschikbaarheid. Daarom is het effect op kosten neutraal beoordeeld.

Planning

De inzet van nieuwer materieel leidt tot minder uitval en mogelijk hogere producties. Het effect op de totale planning van een groot dijkversterkingsproject zal klein zijn.

Maatregel 12: Elektrisch materieel

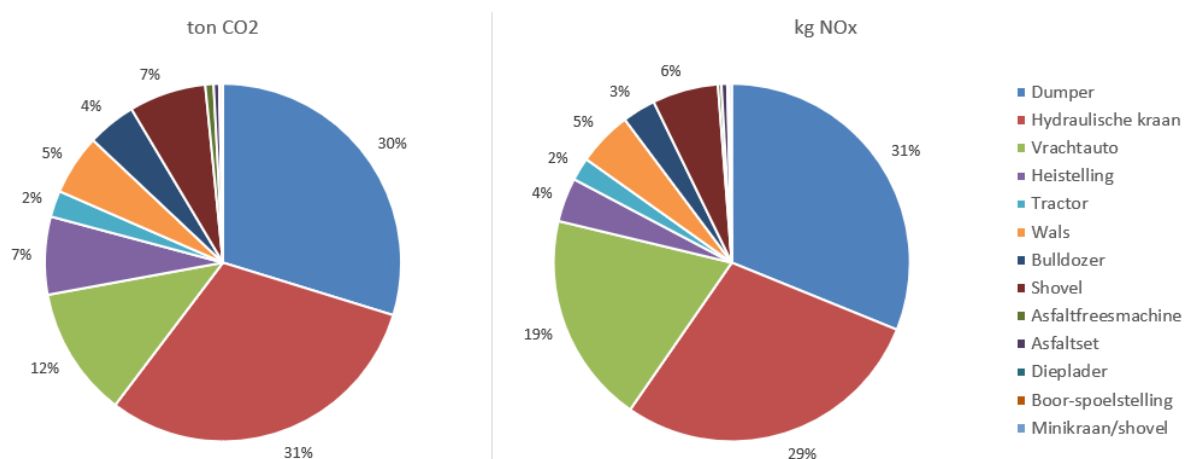
Emissie

Bij WOS is een fictieve businesscase uitgewerkt voor het toepassen van drie elektrische kranen. De elektrische kranen hebben een gezamenlijke inzet van ca van 12.000 draaiuren. Het verschil in uitstoot is berekend voor de kraan op diesel en op elektriciteit. De afname in emissie voor materieelinzet levert een reductie op van 7,6% voor CO₂, 7,3% voor stikstof en 4,6% voor fijnstof van de totale emissie.

Tabel 16: Emissies voor maatregel 12: businesscase elektrische kraan

Materieelinzet op werk	ton CO ₂	kg NOx	kg PM
Diesel kraan (Stageklasse II)	969	7.492	147
Elektrische kraan (groene stroom)	0	0	0
Absoluut verschil	969	7.492	147
<i>Reductiepercentage van totaal</i>	<i>7,6%</i>	<i>7,3%</i>	<i>4,6%</i>

Het grootste aandeel in emissies bij WOS zit vooral bij de hydraulische kranen en dumpers, zie Figuur 10. Daarom is er ook gekeken naar de emissiereductie bij het elektrificeren van alle benodigde kranen en dumpers. In totaal zijn er bij WOS 8 elektrische kranen en 9 dumpers nodig. Als alternatief voor het elektrificeren van een dumper wordt een tractor plus grondkar meer kostenefficiënt geacht. Dit omdat deze techniek meer aansluit op wat beschikbaar is in de markt vanuit de automotive-sector. Vanwege het verschil in laadvermogen van een tractor t.o.v. de dumper zouden de benodigde uren af kunnen wijken van de dumper, in de berekeningen is deze echter gelijk gehouden.



Figuur 10: Verdeling in emissie per type materieel voor CO₂ en stikstof (NO_x).

De totale emissiereductie is afhankelijk van de benodigde materieelinzet. Als de materieelinzet al tot het minimum beperkt is door slim te ontwerpen, slimme grond- en materieelstromen en stage V materieel in te zetten is de reductie ook kleiner. De uitgangssituatie is daarom gekozen na het toepassen van de ontwerptimalisaties maatregelen, maar nog vóór het toepassen van stage V materieel. De afname in emissie voor het inzetten van elektrisch kranen en bumpers levert een reductie op van 47,9% voor CO₂, 46,7% voor stikstof en 42,3% voor fijnstof van de totale emissie. Bij het niet toepassen van de ontwerptimalisaties worden de reductie percentagens groter.

Tabel 87: Emissies voor maatregel 13: 8 elektrische kranen en 9 elektrische bumpers

Materieelinzet op werk	ton CO ₂	kg NOx	kg PM
Reductie 8 elektrische kranen	2.850	20.796	409
<i>Reductiepercentage van totaal (kranen)</i>	<i>22,5%</i>	<i>20,2%</i>	<i>12,8%</i>
Reductie 9 elektrische bumpers	3.226	27.309	941
<i>Reductiepercentage van totaal (bumpers)</i>	<i>25,4%</i>	<i>26,5%</i>	<i>29,5%</i>
<i>Reductiepercentage van totaal (kranen en bumpers)</i>	<i>47,9</i>	<i>46,7</i>	<i>42,3</i>

Kosten

De meerkosten voor het elektrificeren van de materieelstukken zijn gebaseerd op een eerdere subsidieaanvraag bij het ministerie van IenW. Voor een kraan bedraagt dit per jaar €73.735 + €40.000 voor de laadinfrastructuur en voor de tractor met kar staan de kosten op €61.575 + €40.000 voor de laadinfrastructuur. De uitvoeringsfase waarin het materieel wordt ingezet bedraagt ca. 3 jaar. Deze kosten zijn genomen als de benodigde investeringskosten. De restwaarde van het materieel, wat uit 10-20% van de aanschafkosten bestaat, is niet afgetrokken van de berekende meerkosten.

Materieelinzet op werk	Kraan (8x)	Tractors (9x)
Meerkosten €	2.729.640	2.742.525
<i>% totale opdrachtsom</i>	<i>1,6%</i>	<i>1,6%</i>

Opgemerkt dient te worden dat verwachting is dat de prijzen van elektrisch materieel in de toekomst sterk kunnen afwijken van de huidige prijzen. Een materieel stuk wat nu nog niet elektrisch commercieel verkrijgbaar is moet worden omgebouwd of speciaal voor het project worden ontwikkeld wat hoge ontwikkelingskosten met zich meebrengt. In de toekomst gaan fabrikanten met de toenemende vraag inzetten op elektrisch materieel en worden de ontwikkelingskosten per stuk lager.

Planning

Met de inzet van elektrisch materieel kan er ingespeeld worden op de stikstof reductie die nodig is voor vergunningverlening in het kader van de natuurwetgeving. Aan de andere kant kost het elektrificeren van materieelstukken tijd en zal hier dan ook tijdig op in gezet moeten worden om op tijd klaar te zijn voor de realisatiefase. Hierbij dient ook het complete plaatje bekeken te worden, dus ook laadinfrastructuur, beschikbaarheid stroom, transportafstanden naar oplaadpunt, wisselen van accu's etc.

Maatregel 13: Het Nieuwe Draaien

Emissie

Het toepassen van het Nieuwe Draaien is gunstig voor emissiereductie. Door slimmer om te gaan met een bouwmachine kan een machinist wel 5-10% CO₂ en andere emissies besparen.

Kosten

Er is geen effect op de kosten voorzien. De cursus voor machinisten kost geld, maar zullen over het algemeen onder scholing gerekend worden bij de desbetreffende bedrijven en geven geen extra kosten voor het dijkversterkingsproject.

Planning

Er is geen effect op de planning voorzien. Het volgen van een cursus heeft geen invloed op de uitvoering.

Maatregel 14: Invloed meekoppelkansen

Emissies

De extra kansen die gerealiseerd worden bestaan bij WOS uit de aanleg van taludtrappen, het asfalteren en aanleggen van extra opritten en eisen aan veiligheid en levensduur aan het wegdek vanuit de Gastvrije Waaldijk (meerwaarde voor ruimtelijke kwaliteit en recreatie). De taludtrap en de oprit zijn kleine maatregelen en zullen daardoor weinig effect hebben op de totale uitstoot. Voor het realiseren van de Gastvrije Waaldijk wordt gesproken over gekleurd asfalt voor de fietsstrook. Gekleurd asfalt heeft een veel hogere CO₂-uitstoot in de productiefase vergeleken met normaal asfalt.

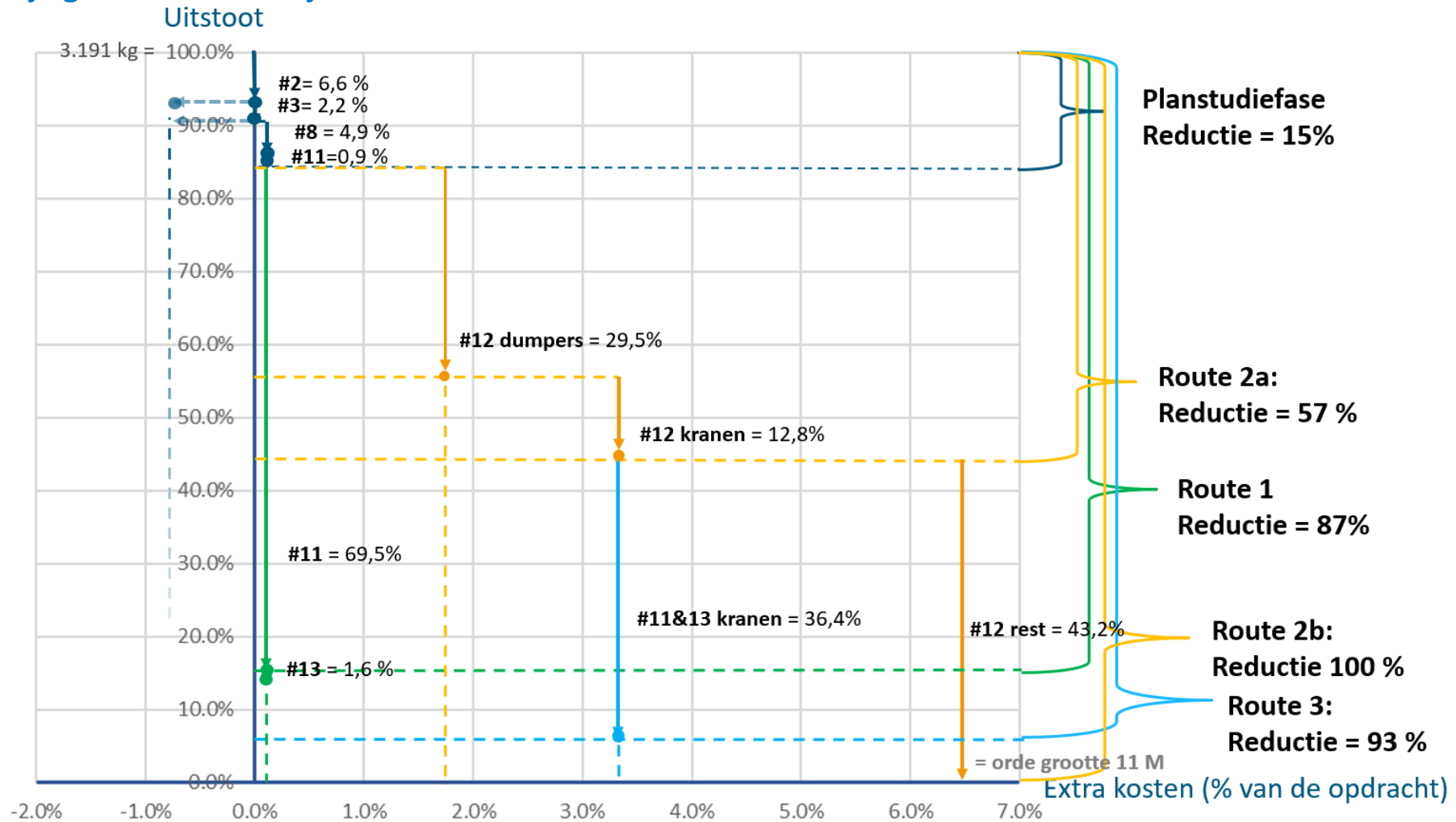
Kosten

Er is geen effect op de kosten voorzien. Dit omdat de kosten van de meekoppelkansen niet gedragen worden door de dijkversterkingsprojecten. Vanuit oogpunt van de maatschappelijke kosten is het gunstig meekoppelkansen te implementeren omdat dit de projectkosten en eenmalige kosten drukt.

Planning

Er is geen effect op de planning voorzien. Uitgangspunt voor het al dan niet meenemen van meekoppelkansen is vaak dat deze geen negatief effect op planning mogen hebben.

Bijlage 2 : Waterval fijnstof



Figuur 11: Fijnstof-emissiereductie en indicatie kosten op de bouwplaats per route. De individuele maatregelen zijn aangegeven met # Nr. Deze maatregelnummers corresponderen met de nummering in Tabel 2.

Bijlage 3 : Werkgroep emissieloos bouwen Wolferen-Sprok

naam	organisatie
Bram de Fockert	Waterschap Rivierenland
Wijnand Jelier	Waterschap Rivierenland
Lisanne Timmerman	Dura Vermeer
Rob Bouwens	Ploegam BV
Roos van de Poel	Ploegam BV
Jan Baltissen	HWBP
Roos van Rhijn	HWBP
Laura Bergsma	Royal HaskoningDHV
Lucie Terwel	Royal HaskoningDHV