

# DECISIO



Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat  
**ONDERZOEK FINANCIËLE IMPACT  
SCHOON EN EMISSIELOOS BOUWEN**

DEFINITIEF, FEBRUARI 2023

# DECISIO

## TITEL

Onderzoek financiële impact schoon en emissieloos bouwen

## DATUM

Februari 2023

## STATUS RAPPORT

Definitief

## OPDRACHTGEVER

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

## PROJECTTEAM DECISIO

Renee van der West  
Sebastiaan Tieleman  
Diane Stiemer  
Niels Hoefsloot

## CONTACTGEGEVENS DECISIO | ECONOMISCH ONDERZOEK EN ADVIES

Valkenburgerstraat 212  
1011 ND Amsterdam  
T 020 - 67 00 562  
E [info@decisio.nl](mailto:info@decisio.nl)  
I [www.decisio.nl](http://www.decisio.nl)

## Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusies	1
1. Inleiding	6
2. Methodiek	7
2.1 Doorrekening op basis van casussen	7
2.2 Verschillende verschoningsopties doorgerekend	7
3. Resultaten financiële impact	11
3.1 Herinrichting weg stedelijk gebied	11
3.2 Bouwrijp maken voor nieuwbouwontwikkeling	16
3.3 Dijkversterking	20
3.4 Net op zee	24
3.5 Gevoeligheidsanalyses	26
Bijlage 1. Uitgangspunten	32
Bijlage 2. Bronnen	39

## Samenvatting en conclusies

### Aanleiding, doel en methodiek

Sinds 2021 werken overheden, marktpartijen en kennisinstellingen binnen het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) samen aan een routekaart waarin de verduurzaming van werk-, voer- en vaartuigen in de bouw (of ingezet op bouwprojecten)<sup>1</sup> tot 2030 vorm krijgt. In dat kader is Decisio gevraagd om inzicht te geven in de financiële impact van schoon en emissieloos bouwen. Dit onderzoek is een eerste aanzet om die financiële impact op projectniveau in beeld te brengen en inzicht te krijgen in de factoren die bepalend zijn voor de financiële impact.

De financiële impact is berekend aan de hand van casuïstiek. Voor vier casussen is eerst in beeld gebracht wat de kosten zijn voor uitvoering met conventionele technieken, oftewel met werk-, voer- en vaartuigen op diesel of benzine. Vervolgens is berekend wat de kosten voor werk, voer- en vaartuigen zijn als het project schoner (conform het minimum- of basisniveau van de routekaart SEB) of emissieloos (inzet volledig elektrisch materieel) wordt uitgevoerd. Voor vaartuigen is gekeken naar twee verschoningsopties namelijk biobrandstof en een SCR-katalysator.

Een centraal gegeven in het maken van de vergelijking tussen het conventioneel uitvoeren en het emissieloos of schoner uitvoeren van een project zijn de meerkosten. De meerkosten worden per casus op twee manieren uitgedrukt, namelijk als percentage van de totale projectkosten (inzet materieel, arbeid, inkoop materialen, etc.) en als percentage van de kosten voor inzet van materieel. Als er over meerkosten ten opzichte van de kosten voor inzet van (conventioneel) materieel wordt gesproken betreft het een percentage van de door ons berekende hoofdonderdelen van de kosten:

1. Werk-, voer- en vaartuigen (afschrijvingen, energiedrager, onderhoud, verzekeringen)
2. Laadinfrastructuur (meerkosten van vijf verschillende scenario's voor de laadinfrastructuur zijn onderzocht)

Uit het onderzoek en uit gesprekken met stakeholders blijkt dat de meerkosten per type project erg uiteen lopen. De meerkosten die in dit onderzoek naar voren komen, zijn dan ook niet in beton gegoten. Wel geven de resultaten richting aan de bandbreedte van meerkosten voor schone en emissieloze bouwprojecten.

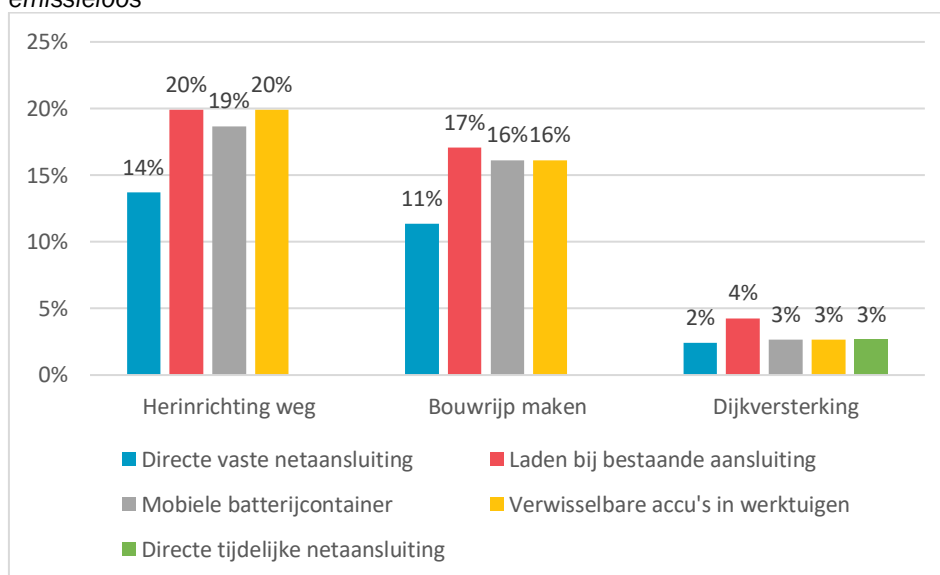
---

<sup>1</sup> Het betreft de gehele bouwsector: Grond-, Water-, en Wegenbouw (GWW) inclusief spoor, de Burgerlijke en Utiliteitsbouw (B&U), kustlijnverzorg, vaargeulonderhoud en de bouw van energieprojecten.

## Resultaten financiële impact

De meerkosten als gevolg van schoner en emissieloos bouwen lopen sterk uiteen per type project, verschoningsoptie en type laadinfrastructuur dat wordt ingezet. De meerkosten op de totale projectkosten van de onderzochte casussen lopen uiteen van 2 tot 20 procent bij de overstap naar emissieloze werktuigen (zie figuur 0-1). De onderzochte varianten van schoner bouwen (minimum- en basisniveau in 2023) hebben meerkosten van minder dan 0,1 procent van de totale projectkosten.

Figuur 0-1 Resultaten financiële impact op totale projectkosten van overstap naar emissieloos



Daarnaast is gekeken naar de meerkosten van de inzet van schoner of emissieloos materieel ten opzichte van de inzet van conventioneel materieel. De totale bandbreedte van deze meerkosten loopt uiteen van ongeveer 0,1 procent tot 105 procent. Dit hangt af van de mate van inzet van emissieloze werk-, vaar- en voertuigen en welke vorm van laadinfrastructuur wordt ingezet. Een samenvatting van de resultaten van de financiële impact is weergegeven in tabel 0-1.

Tabel 0-1 Samenvattende tabel meerkosten voor de inzet van materieel t.o.v. conventionele kosten

	Emissieloos <sup>2</sup>	Schoner (conform minimumniveau <sup>3</sup> )	Schoner (conform basisniveau <sup>4</sup> )	Schoner (scheepvaart)
Herinrichten weg <sup>5</sup>	55% - 80%	0,1%	0,2%	n.v.t.
Bouwrijp maken grond <sup>6</sup>	60% - 90%	0,2%	0,5%	n.v.t.
Dijkversterking	60% - 105%	0,6%	1%	n.v.t.
Net op zee	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	Biobrandstof: 7% SCR- katalysator: 1%

## Conclusies en inzichten

### Meerkosten inzet emissieloos materieel

- De meerkosten die optreden wanneer de projecten volledig elektrisch worden uitgevoerd, worden voor een groot deel bepaald door de benodigde investeringen voor laadinfrastructuur. Dit is niet het geval wanneer gebruik wordt gemaakt van bestaande publieke laadinfrastructuur. In dat geval worden de kosten voor de laadinfrastructuur opgenomen in het laadtarief waardoor de laadkosten toenemen. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit in dit onderzoek niet is gekeken naar de praktische haalbaarheid van deze optie en dat de vraag nog is in hoeverre het vermogen van bestaande publieke laadinfrastructuur toereikend is voor specifieke bouwprojecten.
- Ook de kosten voor afschrijving van elektrische werktuigen zijn een relatief groot aandeel van de totale kosten voor de inzet van materieel. Hiertegenover staat wel een daling van de kosten voor de energiedrager.
- Het laadinfrastructuurscenario waarbij een vaste aansluiting wordt gerealiseerd is in de huidige berekeningen vaak de optie met de minste meerkosten omdat

<sup>2</sup> De resultaten zijn weergegeven in een bandbreedte omdat meerdere opties voor laadinfrastructuur zijn doorgerekend die tot verschillende kostenuitkomsten leiden.

<sup>3</sup> Mogelijk is er een extra eenmalige investering (door versneld afschrijven van werktuigen). Deze is niet opgenomen in de tabel omdat deze investering niet toegeschreven kan worden aan één project. De casusomschrijving in hoofdstuk 3 gaan hier nader op in.

<sup>4</sup> Mogelijk is er een extra eenmalige investering (door versneld afschrijven van werktuigen). Deze is niet opgenomen in de tabel omdat deze investering niet toegeschreven kan worden aan één project. De casusomschrijving in hoofdstuk 3 gaan hier nader op in.

<sup>5</sup> Bij het bepalen van de bandbreedte is het laadinfrastructuur scenario "tijdelijke vaste aansluiting" niet meegenomen omdat dit scenario voor deze casus niet realistisch is.

<sup>6</sup> Bij het bepalen van de bandbreedte is het laadinfrastructuur scenario "tijdelijke vaste aansluiting" niet meegenomen omdat dit scenario voor deze casus niet realistisch is.

slechts een deel van de investeringskosten aan de bouw wordt toegerekend<sup>7</sup>. Dit is een optie voor projecten waarbij de aansluiting na afronding van de bouwfase voor andere doeleinden gebruikt kan worden (bijv. woningbouw). Hierdoor dalen de totale meerkosten voor het bouwproject. Aandachtspunt bij dit scenario is dat de netaansluiting tijdig gerealiseerd wordt. In de praktijk blijkt dit nog niet altijd mogelijk.

- Bij gebruik van bestaande laadinfrastructuur is er in sterke mate sprake van schaalnadelen in termen van draaiuren. Voor kleinere projecten zoals de casus 'Herinrichting weg' kan het gebruik maken van bestaande publieke laadinfrastructuur een optie zijn met relatief lage meerkosten. Bij projecten met meer draaiuren is eigen laadinfrastructuur sneller de voordeligste optie. Met eigen laadinfrastructuur daalt de kWh-prijs, die bij grotere projecten de eenmalige investeringen meer compenseert. Een andere factor waardoor de totale meerkosten afnemen bij toenemende draaiuren is de energiedrager. Een groter aantal draaiuren betekent een groter totaal brandstof-/energieverbruik. Omdat de kosten per uur verbruik bij het gebruik van conventionele werktuigen hoger liggen dan bij het gebruik van elektrische werktuigen, leidt dit tot een kostenbesparing die toeneemt met het aantal draaiuren. Dit wordt nog versterkt doordat energiebelasting wordt geheven door middel van een degressief systeem: des te meer energie wordt afgenomen des te minder belasting wordt betaald.
- De gevoeligheidsanalyses tonen aan dat de uitkomsten van het model significant kunnen veranderen bij veranderingen van de inputparameters. Dit is van belang voor de interpretatie van de huidige berekening, maar vooral ook voor toekomstige ontwikkelingen. Als de benzineprijzen stijgen, of als de aanschafprijzen van elektrische werktuigen dalen kan dit leiden tot aanzienlijk lagere meerkosten ten opzichte van de huidige resultaten.
- Het werken met zwaardere werktuigen (qua vermogen) hoeft niet altijd te leiden tot hogere meerkosten ten opzichte van het werken met lichtere werktuigen. Zwaardere werktuigen hebben een hogere aanschafprijs, maar er is ook besparing op kosten van de energiedrager. Zwaar materieel verbruikt namelijk relatief meer brandstof en de elektriciteitsprijzen zijn lager dan de dieselprijzen (ten tijde van dit onderzoek).

#### *Meerkosten schoner bouwen (conform minimum- en basisniveau Routekaart SEB)*

Naast een doorrekening van de volledige elektrificatie van de bouwprojecten zijn ook de kosten doorgerekend indien bouwprojecten worden uitgevoerd volgens het minimum- of basisniveau van de routekaart SEB. Kort samengevat houdt dit in dat de meeste werktuigen in 2023 aan emissieklasse IIIA of IIIB moeten voldoen.

---

<sup>7</sup> Zie kader op pagina 9 voor een toelichting van de toedelingmethodiek.

- De meerkosten ten opzichte van de totale projectkosten voor het minimumniveau zijn ca. 0,02 procent. Voor het basisniveau liggen de meerkosten tussen 0,04 en 0,09 procent. De meerkosten ontstaan door de aanschaf van werktuigen die voldoen aan de juiste emissieklasse.
- Daarnaast zijn er mogelijk eenmalige kosten voor het vervroegd afschrijven van werktuigen. Omdat werktuigen die lager zijn dan emissieklasse IIIA/IIIB al minimaal 10 jaar niet meer mogen worden geproduceerd, geldt dit alleen bij de inzet van relatief oud materieel: voor het basisniveau geldt dat de eenmalige kosten toenemen vanaf een levensduur van 12 jaar. Voor het minimumniveau is dit pas vanaf een levensduur van 16 jaar. Omdat werktuigen meestal niet voor een enkel project worden ingezet, moeten deze eenmalige kosten aan meerdere projecten toebedeeld worden.
- Procentueel gezien zijn de meerkosten minimaal. In absolute waarde kunnen de meerkosten wel oplopen naarmate de omvang van het project toeneemt.

#### *Meerkosten schoner bouwen voor de scheepvaart*

- Voor de casus 'net op zee' is gekeken naar twee schonere opties: één waarbij geavanceerde biobrandstoffen worden ingezet en één waarbij een SCR-katalysator wordt gebruikt in schepen. De meerkosten van deze opties zijn respectievelijk 7% en 1%.



## 1. Inleiding

### **Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen**

Dit onderzoek is onderdeel van programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB). Het doel van SEB is om de bouwsector te verduurzamen. Dit wordt gedaan door samen met stakeholders in de bouwsector een haalbare en effectieve routekaart op te stellen waarin de verduurzaming van mobiele werk-, voer- en vaartuigen tot 2030 vorm krijgt. De routekaart verbindt de doelstellingen in relatie tot stikstof, CO<sub>2</sub> en fijnstof en koppelt deze aan een emissiereductiepad voor mobiele werk-, voer- en vaartuigen, inclusief maatregelen en acties om de reductie te bewerkstelligen. De routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen is geen op zichzelf staand initiatief, maar sluit aan bij bestaande akkoorden en initiatieven en focust op samenwerking en samenhang.

### **Onderzoek naar financiële impact**

In het kader van SEB is er vraag naar meer inzicht in de financiële impact van schoon en emissieloos bouwen op projectniveau. In dit onderzoek is daarom in beeld gebracht wat het verschil is in kosten en baten van projecten die met schonere en emissieloze werk-, voer- en vaartuigen worden uitgevoerd ten opzichte van een werkwijze met diesel en benzine als brandstof. Dit is gedaan aan de hand van vier casussen (zie hoofdstuk 2).

### **Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 wordt de methodiek kort toegelicht en beschreven welke verschoningsopties zijn doorgerekend. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de resultaten, casussen en gevoeligheidsanalyses gepresenteerd. Bijlage 1 gaat in op de uitgangspunten van het onderzoek.

## 2. Methodiek

### 2.1 Doorrekening op basis van casussen

Om inzicht te krijgen in de financiële impact van schoon en emissieloos bouwen zijn vier projecten doorgerekend die reeds zijn uitgevoerd of in uitvoering zijn. Door betrokkenen is voor deze casussen informatie aangeleverd over de inzet van type werktuigen, aanschafkosten, etc.. Het gaat om de volgende casussen (in hoofdstuk 3 staat een nadere toelichting):

1. Herinrichting weg in stedelijk gebied
2. Bouwrijp maken grond voor nieuwbouwoontwikkeling
3. Dijkversterking
4. Net op zee

### 2.2 Verschillende verschoningsopties doorgerekend

#### **Twee verschoningsopties voor schonere bouwprojecten**

Per casus zijn verschillende verschoningsopties doorgerekend. Ten eerste zijn de kosten berekend indien binnen de projecten al het materieel volledig elektrisch wordt ingezet<sup>8</sup>. Emissieloos bouwen kan ook via andere technieken gerealiseerd worden. In dit onderzoek is gekozen om alleen naar elektrificatie te kijken omdat ten tijde van het onderzoek hier de meeste betrouwbare informatie voor beschikbaar was. Ten tweede zijn de kosten doorgerekend indien projecten schoner worden uitgevoerd volgens het minimumniveau (in 2023) en het basisniveau (in 2023) van de Routekaart SEB (zie onderstaand kader).

#### *Emissie-eisen Routekaart SEB*

In de Routekaart SEB zijn maximale eisen opgesteld op drie niveaus: minimum, basis en ambitieus. Het minimumniveau houdt kort samengevat in dat de meeste werktuigen in 2023 aan emissieklasse IIIA moeten voldoen<sup>9</sup> (en er nog geen eisen zijn voor emissieloze werktuigen). Het minimumniveau geldt alleen voor mobiele werktuigen en niet voor bouwtransport en vaartuigen. Het basisniveau stelt voor bijna alle typen werktuigen emissieklasse IIIB verplicht en voor bouwtransport EURO V (licht en zware vrachtwagens) en EURO 5 (bestelbusjes)<sup>10</sup>. Aan de hand van een gemiddelde verdeling van de werktuigen/voertuigen naar emissieklasse (zie ook 4.5) is ingeschat welke extra investeringen nodig zijn om aan de emissie-eisen te voldoen.

<sup>8</sup> Voor de casus net op zee wordt de volledige elektrificatie niet doorgerekend omdat dit volgens gesprekspartners (nog) geen realistisch toekomstbeeld is.

<sup>9</sup> Afhankelijk van de vermogensklasse van een werktuig geldt voor sommige werktuigen nog geen emissie-eis.

<sup>10</sup> Voor een volledige omschrijving van de emissie-eisen zie de Routekaart SEB.

Voor de casus 'net op zee' sluiten de bovenstaande verschoningsopties niet goed aan. Daarom worden voor deze casus twee andere verschoningsopties doorgerekend: 1) het bestaande materieel maakt gebruik van schonere brandstof (geavanceerde biobrandstof) en 2) het bestaande materieel maakt gebruik van een SCR-katalysator (zie onderstaand kader voor uitleg begrippen).

#### *Biobrandstof*

In dit onderzoek wordt uitgegaan van geavanceerde biobrandstoffen (diesel, methanol of gas) met een duurzame grondstof (zoals benoemd in deel A van Annex IX uit REDII). Het gebruik van dergelijke biobrandstoffen reduceert de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 70 tot 90 procent ten opzichte van de conventionele brandstof<sup>11</sup>. De effecten op luchtkwaliteit zijn beperkt<sup>12</sup>.

#### *Selective Catalytic Reduction (SCR)*

Selectieve katalytische reductie is een chemisch proces dat wordt gebruikt om stikstofemissies in verbrandingsprocessen te verminderen. Een SCR-katalysator kan in een bestaand schip worden ingebouwd. In combinatie met het toevoegen van AdBlue worden uitlaatgassen nabehandeld en daarmee stikstofemissies gereduceerd<sup>13</sup>. Met het installeren van een SCR-katalysator kan de TIER III emissie-eis<sup>14</sup> behaald worden.

### **Nulalternatief als basis**

Voor alle casussen worden de meerkosten bepaald in vergelijking met het nulalternatief: een uitvoering met werktuigen op diesel. In het nulalternatief zijn de volgende kosten in beeld gebracht:

- Afschrijvingen werk-, voer- en vaartuigen
- Kosten energiedrager
- Onderhoud en verzekeringen

De meerkosten voor de inzet van materieel laten zien hoe bovenstaande kosten veranderen als bouwprojecten schoner of emissieloos worden uitgevoerd.

### **Vijf opties voor laadinfrastructuur**

Indien een bouwproject (deels) emissieloos wordt uitgevoerd, is het noodzakelijk dat het elektrisch materieel opgeladen kan worden. In dit onderzoek zijn de kosten

<sup>11</sup> Reductive op basis van Well-to-Wake.

<sup>12</sup> TNO (2022). Inventarisatie en categorisatie huidige en toekomstige aanbod mobiele werktuigen, bouwlogistieke voertuigen, spoorwerktuigen en vaartuigen die worden ingezet voor de waterbouw.

<sup>13</sup> In de berekeningen is uitgegaan van een toevoeging van AdBlue van 3 procent van het totale brandstofverbruik beslaat (bron: gesprekken stakeholders).

<sup>14</sup> Regelgeving van de Internationale Maritieme Organisatie (IMO) met betrekking tot de uitstoot van stikstofoxiden door scheepvaart.

van verschillende opties voor laadinfrastructuur doorgerekend. De verschillende opties voor laadinfrastructuur worden hieronder kort toegelicht:

- **Vaste aansluiting:** bij deze optie wordt een nieuwe elektriciteitsaansluiting op het net gerealiseerd. Deze aansluiting blijft bestaan na afronding van het bouwproject waardoor niet alle kosten aan het bouwproject worden toegerekend (zie ook onderstaand kader). In dit onderzoek zijn de volgende kosten meegenomen: afschrijvingen voor de eenmalige aansluitvergoeding, vastrecht en transportvergoeding. Dit scenario is waarschijnlijk niet voor elk project realistisch. De praktische inpasbaarheid is echter niet onderzocht.
- **Tijdelijke aansluiting:** net als bij de vaste aansluiting wordt ook bij deze optie een nieuwe aansluiting gerealiseerd, maar deze aansluiting is niet meer actief na afronding van het bouwproject. In dit onderzoek zijn de volgende kosten meegenomen: afschrijvingen voor de eenmalige aansluitvergoeding, vastrecht en transportvergoeding.
- **Laden bij bestaande publieke laadinfrastructuur:** het gaat hier om reeds gerealiseerde publieke laadinfrastructuur. Elektrische werktuigen kunnen opladen bij deze bestaande laadpalen. Hiervoor betaalt de gebruiker een tarief waarin zowel de prijs van de elektriciteit is verrekend als de gebruikskosten van de laadpaal<sup>15</sup>. Dit scenario is alleen realistisch op locaties waar reeds publieke laadinfrastructuur gerealiseerd is (of waar dit gepland staat) en waar het vermogen van de laadpalen passend is bij het benodigd laadvermogen van het materieel. Deze praktische inpasbaarheid is niet onderzocht in dit onderzoek.
- **Batterijcontainer op de bouwplaats:** hierbij worden werktuigen opgeladen via een batterijcontainer op de bouwplaats. De batterijcontainer wordt buiten de bouwplaats opgeladen. In de berekeningen wordt uitgegaan van de aanschaf van een batterijcontainer. Alleen de afschrijvingen voor de duur van het project worden meegenomen in de kosten<sup>16</sup>. Ook wordt rekening gehouden met laadverliezen.
- **Verwisselbare accu's in werktuigen:** hierbij worden lege accu's van werktuigen op de bouwplaats vervangen door volle accu's. De accu's worden buiten de bouwplaats opnieuw opgeladen. In de berekeningen wordt uitgegaan van de aanschaf van accu's. Alleen de afschrijvingen voor de duur van het project worden meegenomen in de kosten. Daarnaast zijn kosten voor plaatsing van de accu's in de werktuigen (met knijperwagen) en laadverliezen meegenomen<sup>17</sup>.

---

<sup>15</sup> Uitgangspunt is € 0,40/kWh, zie ook bijlage 1.

<sup>16</sup> Kosten voor het verplaatsen van de batterijcontainers zijn niet meegenomen in dit onderzoek.

<sup>17</sup> Kosten voor de aan- en afvoer van accu's zijn niet meegenomen in dit onderzoek.

## *Toerekenen kosten vaste aansluiting aan bouwproject*

In dit onderzoek is aangenomen dat indien gekozen wordt voor het realiseren van een vaste aansluiting, de aansluiting in de toekomst voor een ander doel wordt ingezet. Dit betekent dat niet alle kosten toe te rekenen zijn aan de bouwfase. Om de kosten voor de bouwfase te schatten zijn de volgende aannames gehanteerd:

- Een vaste aansluiting wordt vijf jaar eerder gerealiseerd dan gepland om ook beschikbaar te zijn in de bouwfase.
- We berekenen de Netto Contante Kosten (NCK) van de investering voor een vaste aansluiting in jaar 1 (gebruik door bouw) en jaar 5 (gebruik door nieuwbouw).
- Het verschil in NCK is toe te rekenen aan de bouwfase.
- Het verdisconteringspercentage fungeert in deze berekening dus in feite als de afschrijvingsfactor.

Een volledig overzicht van de gehanteerde aannames, kengetallen en berekeningen is opgenomen in bijlage 1.

## 3. Resultaten financiële impact

In dit hoofdstuk worden per casus de resultaten van de doorrekening van de verschoningsopties toegelicht. De resultaten zijn samengevat in een figuur waarbij met percentages de financiële impact wordt weergegeven. Oftewel, hoeveel procent meer of minder kosten worden in de varianten gemaakt ten opzichte van het nulalternatief (een uitvoering met werktuigen op diesel).

### 3.1 Herinrichting weg stedelijk gebied

#### Omschrijving casus

Dit project betreft de herinrichting van een reguliere stadsweg (50 km/u) naar een fietsstraat. Het gaat om een tracé van ca. 200 meter in druk stedelijk gebied. De grootste ingrepen betreffen het opnieuw asfalteren van het traject, het aanleggen van inritblokken en het aanleggen van een snelheidsplateau voor de overgang naar een 30 km/u-gebied. Het tracé is een belangrijke toegangsweg naar de binnenstad. In opdracht van de gemeente wordt een deel van het tracé ingericht als fietsstraat waar de bus te gast is en auto/vrachtverkeer niet meer is toegestaan. Het andere deel van het tracé wordt ingericht als tweerichtingsweg voor alle verkeer met brede fietspaden. De uitvoering van dit project neemt circa zes weken in beslag.

In dit project is het volgende type materieel gebruikt:

- |                        |              |
|------------------------|--------------|
| ▪ Aggregaat            | ▪ Laadschop  |
| ▪ Vrachtauto met kraan | ▪ Bandenzaag |
| ▪ Vrachtauto           | ▪ Trilplaat  |
| ▪ Frees                | ▪ Stamper    |
| ▪ Mobiele kraan        | ▪ Midiloader |
| ▪ Minigraver           |              |

#### Resultaat financiële impact

*Inschatting meerkosten t.o.v. totale projectkosten*

De totale projectkosten voor het herinrichten van een weg lopen uiteraard sterk uiteen. Wij zijn er voor deze casus vanuit gegaan dat de totale projectkosten € 112.000,- bedragen. Wanneer de berekende meerkosten worden afgezet tegen de totale projectkosten leidt dit tot de volgende resultaten<sup>18</sup>:

- Volledig elektrisch: 14 tot 20 procent meerkosten
- Minimumniveau: 0,02 procent meerkosten
- Basisniveau: 0,05 procent meerkosten

<sup>18</sup> Alle resultaten zijn exclusief mogelijke eenmalige investering voor vervroegde afschrijving van werktuigen/voertuigen.

In de verdere analyse van deze casus wordt ingezoomd op de meerkosten die optreden in vergelijking met de kosten voor de inzet van conventioneel materieel (werktuigen, laadinfrastructuur en bouwtransport).

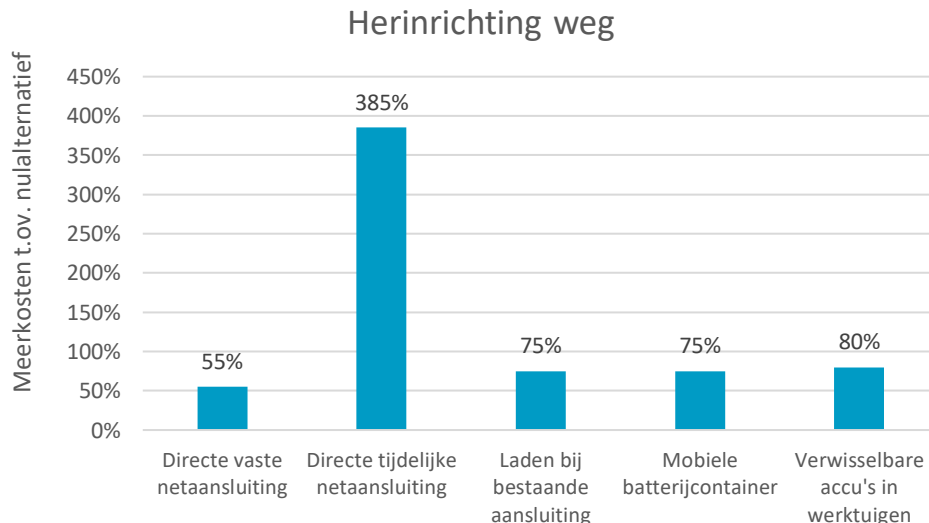
### *Kosten conventioneel*

De kosten voor de inzet van conventioneel materieel in dit project komen uit op ongeveer € 28.000,-. Deze kosten bestaan uit afschrijvingen, verbruik energiedrager, onderhoud en verzekeringen. Arbeidskosten en materiaalkosten zijn hierin niet meegenomen.

### *Volledig elektrische uitvoer*

Een overstap naar een volledig elektrische uitvoer van een herinrichtingsproject leidt, afhankelijk van de laadoptie, tot ongeveer 55 tot 385 procent aan meerkosten voor de inzet van materieel (t.o.v. nulalternatief). In figuur 3-1 zijn de meerkosten per laadoptie weergegeven.

*Figuur 3-1 Meerkosten inzet materieel, casus herinrichten weg, volledig elektrische uitvoering*



De meerkosten voor de inzet van elektrisch materieel ten opzichte van de inzet van conventioneel materieel worden door verschillende factoren verklaard.

- Een relatief groot deel van de meerkosten komt door de **laadinfrastructuur** (30%, zie figuur 3-2). Indien het project emissieloos wordt uitgevoerd, moet worden geïnvesteerd in elektriciteitsvoorzieningen, terwijl dit geen kostenpost is indien het project met conventionele werktuigen wordt uitgevoerd. De kosten

voor de elektriciteitsvoorzieningen lopen sterk uiteen. De kosten voor de laadinfrastructuur zijn het laagst indien een vaste aansluiting wordt gerealiseerd. De kosten zijn dan laag omdat een groot deel van de kosten voor de netaansluiting op de volgende gebruiker wordt afgeschoven. Een optie bij een relatief klein project in een stedelijk gebied is om aan te sluiten bij de bestaande laadinfrastructuur. De kosten voor de aanleg van de infrastructuur vallen in dat geval weg. Daarentegen moet dan wel een vergoeding worden betaald voor het gebruik van de bestaande infrastructuur, waardoor het elektriciteitstarief stijgt. Een tijdelijke directe aansluiting leidt tot hoge kosten omdat het een forse investering is die geheel aan het bouwproject wordt toegeschreven. Onderdeel van deze investering zijn kosten die niet variabel zijn naar het aantal draaiuren of aantal projectdagen, bijvoorbeeld de kosten van de elektriciteitskabels en een eenmalige aansluitvergoeding.

- Daarnaast liggen de **aanschafprijzen** van emissieloos bouw materieel hoger dan van conventioneel materieel. Dit heeft met name effect op de afschrijvingskosten. De afschrijvingskosten stijgen van ca. 25 procent van de totale kosten voor de inzet van conventioneel materieel naar een aandeel van ca. 40 procent van de totale kosten voor de inzet van elektrisch materieel. In absolute zin betekent dit dat de afschrijvingskosten ongeveer verdubbelen indien het project elektrisch wordt uitgevoerd ten opzichte van een conventionele uitvoering van het project.
- **Onderhoudskosten en verzekeringskosten** hebben slechts een beperkt effect op de kosten van het project. De kosten voor de inzet van materieel nemen in absolute zin iets toe indien gebruik wordt gemaakt van elektrisch materieel ten opzichte van conventioneel materieel<sup>19</sup>. Als aandeel van de totale kosten voor de inzet van materieel leidt dit echter tot verwaarloosbare verschillen.
- Tegenover alle stijgende kostenposten staat ook een kostendaling. Het volledig elektrisch uitvoeren van het project leidt namelijk in bijna alle gevallen tot een besparing op de **kosten van de energiedrager**. In het nulalternatief zijn de brandstofkosten ongeveer 60 procent van de totale kosten voor de inzet van materieel. In de meeste elektrische alternatieven dalen deze tot circa 20 procent van de totale kosten voor de inzet van materieel. Uitzondering hierop is indien gebruik wordt gemaakt van bestaande laadinfrastructuur, waarbij het aandeel hiervan op de kosten voor de inzet van elektrisch materieel circa 50 procent is. Dit komt doordat bij bestaande infrastructuur met hogere elektriciteitstarieven wordt gewerkt, aangezien de gebruiker hier niet enkel elektriciteit inkoopt maar ook betaalt voor het gebruik van de infrastructuur. Hierdoor vallen de kosten voor de energiedrager in dit alternatief per saldo in

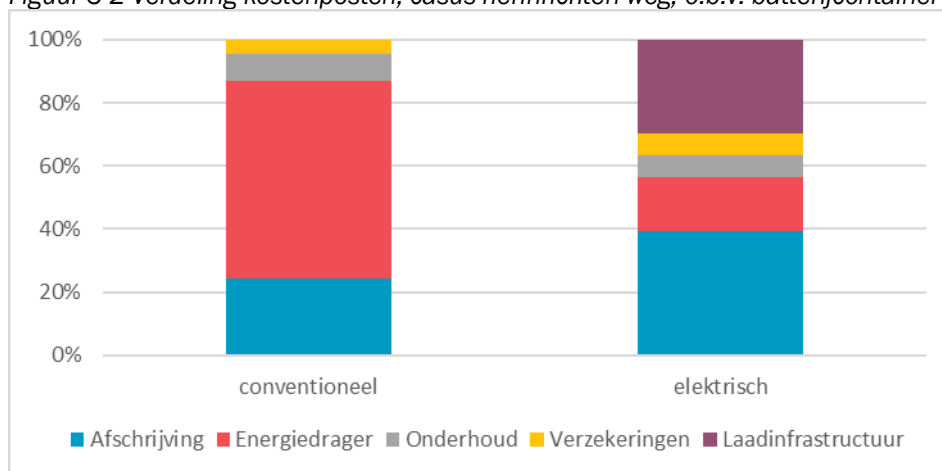
---

<sup>19</sup> Onderhouds- en verzekeringskosten worden meegenomen als percentage van de aanschafkosten (zie ook bijlage 1). Uitgangspunt is dat deze percentages gelijk blijven bij conventioneel en elektrisch materieel. Dit leidt ertoe dat de absolute kosten toenemen.



absolute zin hoger uit dan in het nulalternatief<sup>20</sup>. Bij de andere opties voor laadinfrastructuur wordt de infrastructuur binnen het project aangelegd en hoeft deze vergoeding dus niet te worden betaald.

*Figuur 3-2 Verdeling kostenposten, casus herinrichten weg, o.b.v. batterijcontainer*



### *Schoner bouwen volgens emissie-eisen routekaart*

De meerkosten voor schoner bouwen zijn berekend voor twee niveaus: het minimum- en basisniveau. De meerkosten voor de inzet van materieel voor het voldoen aan de emissie-eisen van deze niveaus bestaan uit twee componenten. Werktuigen en voertuigen moeten eventueel versneld worden afgeschreven. Daarnaast moeten er nieuwe werk- en voertuigen worden aangeschaft/omgebouwd zodat deze aan de juiste emissieklasse voldoen. Hierdoor zijn de jaarlijkse kosten voor afschrijving hoger. De resultaten zijn weergegeven in tabel 3-1.

*Tabel 3-1 Meerkosten minimum- en basisniveau, casus herinrichten weg*

	Minimum niveau	Basis niveau
Meerkosten inzet materieel	0,1%	0,2%

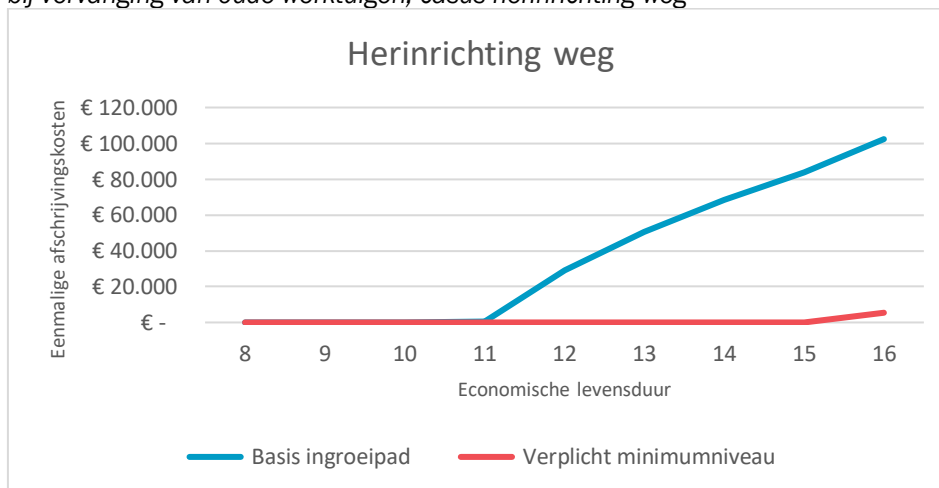
De hogere aanschafprijs leidt binnen dit project tot ongeveer 0,2 procent meerkosten ten opzichte van de totale kosten voor de inzet van materieel in het nulalternatief. Het versneld afschrijven van de oude conventionele werk- en voertuigen leidt tot eenmalige kosten die slechts ten dele toegeschreven kunnen worden aan dit project. In principe gaat dit onderzoek uit van een gemiddelde economische levensduur van 8 jaar. In dat geval is er geen versnelde afschrijving omdat de economische levensduur van de werktuigen in emissieklasse IIIA/B of

<sup>20</sup> Deze kosten vallen mogelijk wat lager uit indien met de exploitant van de laadpalen een overeenkomst gesloten kan worden, maar het is niet zeker of dit altijd mogelijk is en in hoeverre dit de kosten beïnvloedt. Dit is daarom in dit onderzoek niet meegenomen.

lager al bereikt is. Werktuigen in deze emissieclassen mogen al minimaal 10 jaar niet meer geproduceerd worden. Daarnaast geldt vanuit de arbeidsinspectie de eis om minimaal stage IIIb in te zetten.

In figuur 3-3 staan de resultaten als wordt uitgegaan van een langere economische levensduur. Uitgaande van een economische levensduur van 8 tot 16 jaar kunnen de eenmalige kosten voor versnelde afschrijving uiteenlopen van € 0,- tot € 100.000,- (zie figuur 3-3).

*Figuur 3-3 Effect van toename in levensduur op de eenmalige afschrijvingskosten bij vervanging van oude werktuigen, casus herinrichting weg*



## 3.2 Bouwrijp maken voor nieuwbouwontwikkeling

### Omschrijving casus

Dit project betreft het bouwrijp maken van grond voor een nieuwe gebiedsontwikkeling, in dit geval een kindcentrum (scholen, opvang, etc.) van ca. 5.000 m<sup>2</sup>. Het te ontwikkelen gebied ligt aan de rand van een stedelijk gebied en is goed ontsloten voor verkeer. Het bouwrijp maken van de grond is slechts één element van de gehele gebiedsontwikkeling. De werkzaamheden duren zo'n tien weken en worden in opdracht van de gemeente uitgevoerd.

#### In dit project is het volgende materieel gebruikt:

- |                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| ▪ Mobile kraan              | ▪ Tractor         |
| ▪ Rupskraan                 | ▪ Vrachtwagen     |
| ▪ Hydraulische kraan (rups) | ▪ Bulldozer       |
| ▪ Laadschop                 | ▪ Drainmachine    |
| ▪ Wals                      | ▪ Bronneringspomp |
| ▪ Shovel                    |                   |

### Resultaat financiële impact

#### *Inschatting meerkosten t.o.v. totale projectkosten*

De totale projectkosten van het project zijn ongeveer € 300.000,-. De totale kosten voor bouwprojecten gericht op bouwrijp maken kunnen echter sterk uiteen lopen afhankelijk van de specifieke werkzaamheden. Wanneer de berekende meerkosten worden afgezet tegen de totale projectkosten leidt dit tot de volgende resultaten<sup>21</sup>:

- Volledig elektrisch: ongeveer 11 tot 17 procent meerkosten
- Minimumniveau: circa 0,02 procent meerkosten
- Basisniveau: circa 0,09 procent meerkosten

In de verdere analyse van deze casus wordt ingegaan op de meerkosten die optreden voor de inzet van het benodigde materieel (werktuigen, laadinfrastructuur en bouwtransport).

#### *Kosten conventioneel*

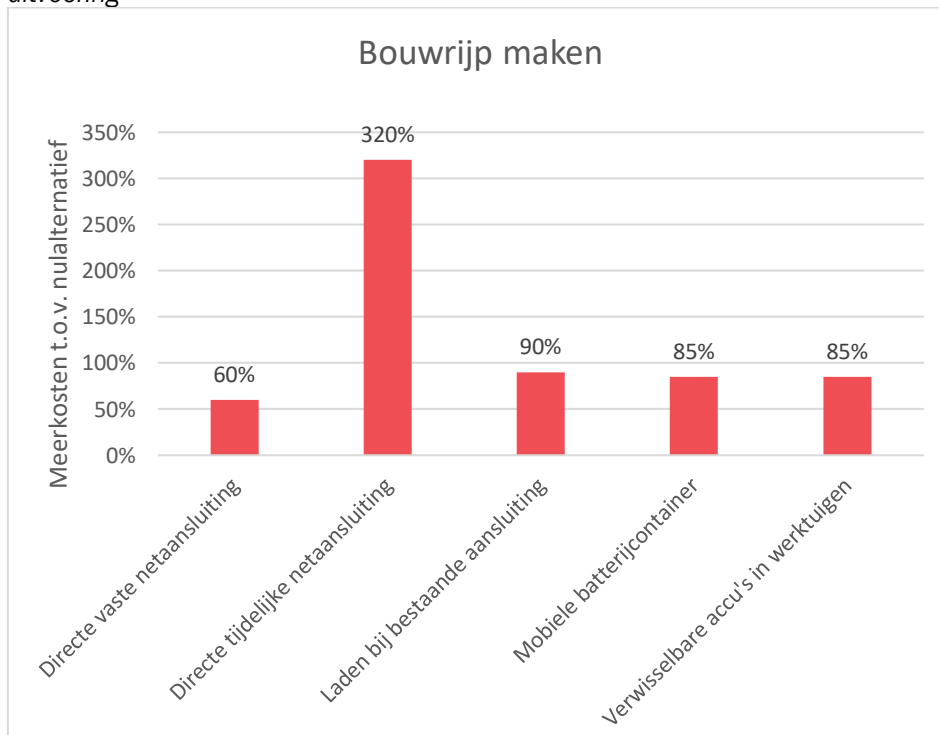
De kosten voor de inzet van conventioneel materieel komen in dit project uit op ongeveer € 57.000,-. De kosten bestaan uit afschrijvingen, kosten energiedrager, onderhoud en verzekeringen. Arbeidskosten en materiaalkosten zijn hierin niet meegenomen.

<sup>21</sup> Alle resultaten zijn exclusief mogelijke eenmalige investering voor vervroegde afschrijving van werktuigen/voertuigen.

## Volledig elektrische uitvoer

Een overstap naar een volledig elektrische uitvoering van het bouwrijp maken van grond voor een nieuwbouwwontwikkeling leidt tot ongeveer 60 tot 320 procent aan meerkosten voor de inzet van materieel ten opzichte van conventioneel bouwen. Het verschil in de percentages komt door het type laadinfrastructuur waarvoor wordt gekozen. In figuur 3-4 zijn de meerkosten per laadoptie weergegeven.

Figuur 3-4 Meerkosten inzet materieel, casus bouwrijp maken, volledig elektrische uitvoering



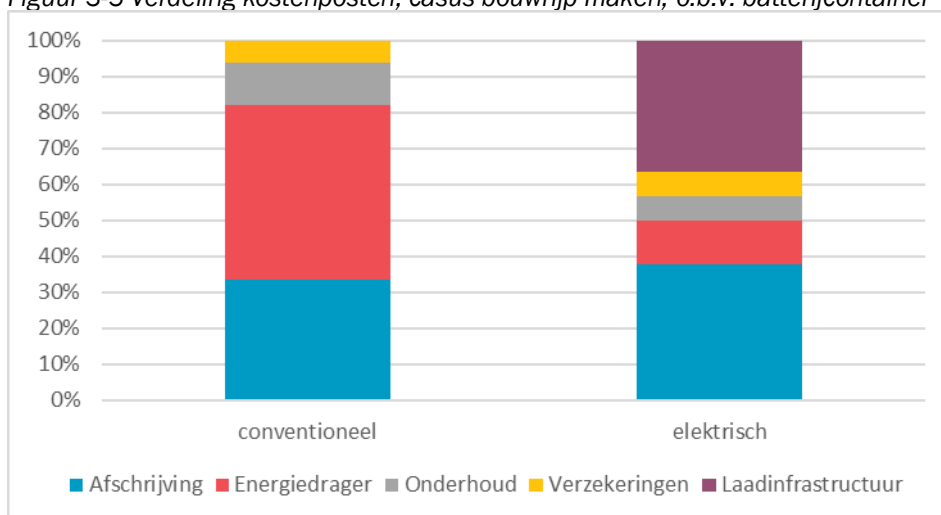
De meerkosten voor het volledig elektrisch uitvoeren van het project worden door verschillende factoren verklaard.

- Een relatief groot deel van de meerkosten komt door de **laadinfrastructuur** (36%, zie figuur 3-5). De meest voor de hand liggende optie bij het bouwrijp maken van grond voor nieuwbouw is het aanleggen van een vaste aansluiting, aangezien deze mogelijk ook kan worden gebruikt voor de toekomstige nieuwbouwwijk. In dit geval is dat ook een van de opties die tot de minste kosten leidt.
- Een tweede belangrijke kostenpost zijn de werktuigen zelf. De **aanschafprijzen** van elektrisch materieel ligt namelijk hoger dan van conventioneel materieel, waardoor afschrijvingskosten toenemen. De afschrijvingskosten hebben een groot aandeel in de totale meerkosten. Indien het project op conventionele

wijze wordt uitgevoerd dan bedragen de afschrijvingskosten ongeveer 30 procent van de totale kosten voor de inzet van materieel. Bij een volledig elektrische uitvoering van het project bedragen de afschrijvingskosten ongeveer 40 procent van de totale kosten voor de inzet van materieel. In absolute zin zijn de afschrijvingskosten van elektrisch materieel ongeveer twee keer zo hoog als de afschrijvingskosten van conventioneel materieel.

- **Onderhoudskosten en verzekeringskosten** hebben slechts een beperkt effect op de totaalkosten van het project. De kosten nemen in absolute zin iets toe.
- Bij een volledig elektrische uitvoering van het project liggen de kosten voor de **energiedrager** lager dan bij een conventionele uitvoering van het project. Uitzondering hierop is indien gebruik wordt gemaakt van bestaande laadinfrastructuur. Het elektriciteitsstarief is in dat geval hoger aangezien hier niet alleen voor de elektriciteit zelf wordt betaald maar in dit tarief ook een vergoeding is opgenomen voor het gebruik van de bestaande infrastructuur. Het aandeel van de kosten voor de energiedrager is dan ca. 50 procent van de totale kosten voor de inzet van elektrisch materieel. Eenzelfde percentage als bij de conventionele variant. Voor de overige opties voor laadinfrastructuur dalen de kosten voor de energiedrager wel. Het aandeel hiervan op de totale kosten voor de inzet van materieel neemt daarmee ook af, naar ongeveer 10 procent.

Figuur 3-5 Verdeling kostenposten, casus bouwrijp maken, o.b.v. batterijcontainer



### Schoner bouwen volgens emissie-eisen routekaart

De meerkosten voor schoner bouwen zijn berekend voor twee niveaus: het minimum- en basisniveau. De meerkosten voor de inzet van materieel voor het voldoen aan de emissie-eisen van deze niveaus bestaan uit twee componenten. Werktuigen en voertuigen moeten eventueel versneld worden afgeschreven.

Daarnaast moeten er nieuwe werk- en voertuigen worden aangeschaft/omgebouwd om aan de juiste emissieklasse te voldoen. Hierdoor zijn de jaarlijkse kosten voor afschrijving hoger. De resultaten zijn weergegeven in tabel 3-2.

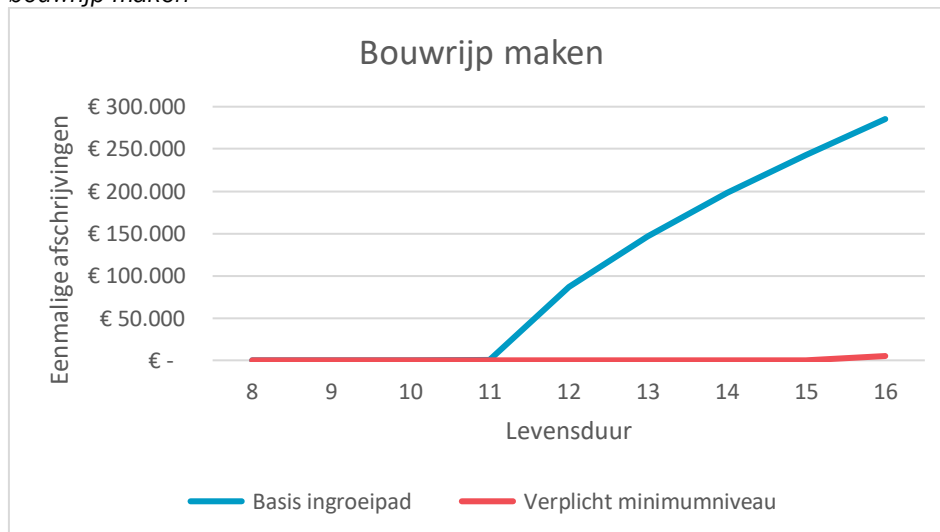
Tabel 3-2 Meerkosten minimum- en basisniveau, casus bouwrijp maken

	Minimum niveau	Basisniveau
Meerkosten inzet materieel	0,2%	0,5%

De hogere afschrijvingen leiden binnen dit project tot ongeveer 0,5 procent meerkosten ten opzichte van de kosten voor de inzet van materieel in het nulalternatief. Het versneld afschrijven leidt tot eenmalige kosten die slechts ten dele toegeschreven kunnen worden aan dit project. In principe gaat dit onderzoek uit van een gemiddelde economische levensduur van 8 jaar. In dat geval is er geen versnelde afschrijving omdat de economische levensduur van de werktuigen in emissieklasse IIIA/B of lager al bereikt is.

Uitgaande van een langere economische levensduur (tot 16 jaar) kunnen de eenmalige kosten voor versnelde afschrijving tussen € 0,- en € 285.000,- liggen (zie figuur 3-6).

Figuur 3-6 Effect toename in levensduur op kosten eenmalige afschrijvingen, casus bouwrijp maken



## 3.3 Dijkversterking

### Omschrijving casus

Deze casus is gebaseerd op een project waarbij een dijk wordt versterkt op een traject van 55 kilometer. De dijk moet versterkt worden omdat deze op sommige plekken niet meer voldoet aan de veiligheidseisen. De dijk moet vooral steviger en stabiel worden gemaakt. De dijkversterking wordt in verschillende fases uitgevoerd en de werkzaamheden nemen naar verwachting acht jaar in beslag. De dijkversterking is onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Dit is een programma waarin waterschappen en Rijkswaterstaat samenwerken om de veiligheidsnormen van dijken op orde te houden.

Voor dit project is alleen de lokale bouwtransport voor zwaar vrachtverkeer bekend. De aan- en afvoer van materiaal is niet meegenomen in de berekening. De aan- en afvoer van dijkversterkingsprojecten kan minimaal zijn wanneer hergebruik van grondstoffen wordt ingezet.

#### In dit project is het volgende materieel gebruikt:

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| ▪ Vrachtauto        | ▪ Heimachines         |
| ▪ Tractor           | ▪ Trencher/Grondfrees |
| ▪ Rupsgraafmachines | ▪ Wals (voor grond)   |
| ▪ Mobiele kraan     | ▪ Asfaltfrees         |
| ▪ Minigraver        | ▪ Asfaltmachine       |
| ▪ Shovel            | ▪ Wals (voor asfalt)  |
| ▪ Bulldozer         |                       |

### Resultaat financiële impact

#### *Inschatting meerkosten t.o.v. totale projectkosten*

De totale projectkosten voor deze casus schatten we in op minimaal 350 miljoen euro<sup>22</sup>. Afhankelijk van de omvang en complexiteit van een dijkversterkingsproject lopen de totale projectkosten uiteraard uiteen. Wanneer de berekende meerkosten worden afgezet tegen de totale projectkosten leidt dit tot de volgende resultaten<sup>23</sup>:

- Volledig elektrisch: circa 2 tot 4 procent meerkosten
- Minimumniveau: ongeveer 0,02 procent meerkosten
- Basisniveau: ongeveer 0,04 procent meerkosten

<sup>22</sup> Uitgaande van 6,4 miljoen euro/km aan totale projectkosten (HWBP, 2019).

<sup>23</sup> Alle resultaten zijn exclusief mogelijke eenmalige investering voor vervroegde afschrijving van werktuigen/voertuigen.

In de verdere analyse van deze casus wordt ingezoomd op de meerkosten die optreden in vergelijking met de kosten voor de inzet van conventioneel materieel (werktuigen, laadinfrastructuur en bouwtransport).

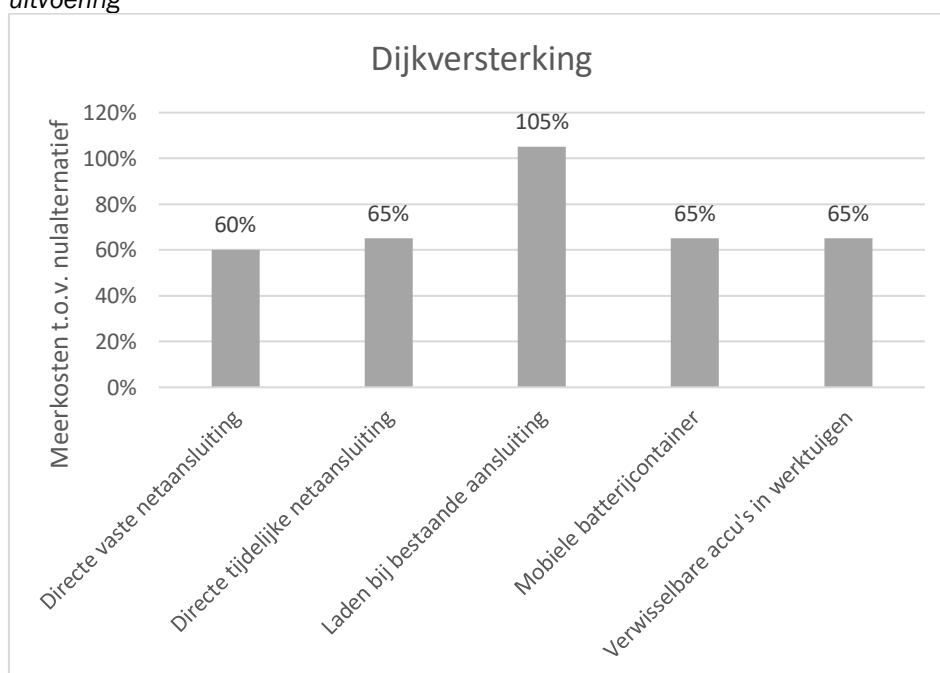
### *Kosten conventioneel*

De kosten voor de inzet van conventionele werktuigen komen in dit project uit op ongeveer 16 miljoen euro. De kosten bestaan uit afschrijvingen, kosten voor energiedrager, onderhoud en verzekeringen. Arbeidskosten en materiaalkosten zijn hierin niet meegenomen.

### *Volledig elektrische uitvoer*

Een overstap naar een volledig elektrische uitvoer van een dijkversterkingsproject leidt tot ongeveer 60 tot 105 procent meerkosten voor de inzet van materieel. In figuur 3-7 zijn de meerkosten per laadoptie weergegeven.

*Figuur 3-7 Meerkosten inzet materieel, casus dijkversterking, volledig elektrische uitvoering*



Kijkend naar de onderliggende kostenposten laat de analyse zien dat:

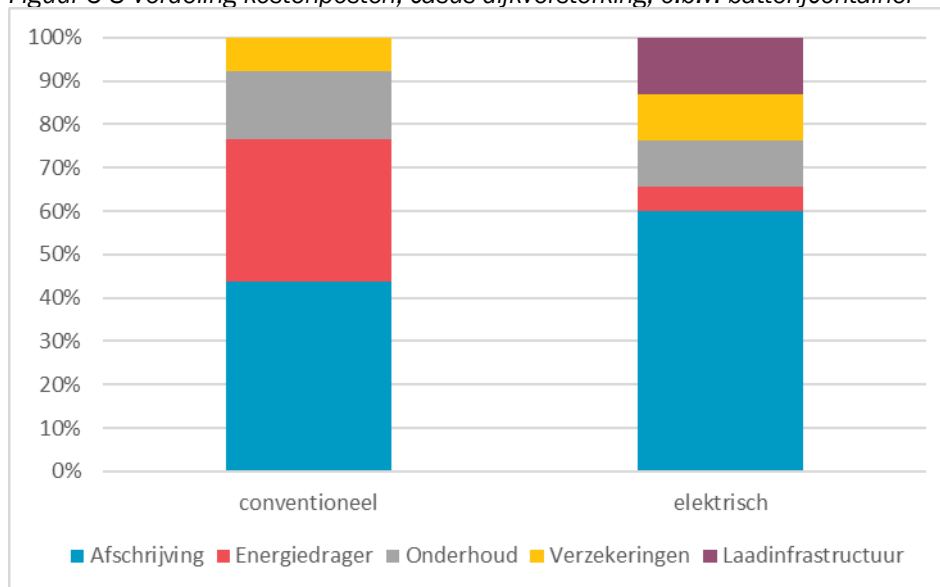
- De meerkosten die ontstaan door investeringen in **laadinfrastructuur** verschillen bij de meeste opties niet veel van elkaar. Het aandeel van laadinfrastructuur op de totale kosten voor de inzet van elektrisch materieel is ca. 15 procent. Uitzondering hierop is de optie laden bij bestaande infrastructuur. In dat geval zijn er geen extra kosten voor laadinfrastructuur



maar worden de kosten van de energiedrager hoger omdat geladen wordt met een hoger (commercieel) laadtarief. Deze laadoptie is voor deze casus de minst gunstige optie<sup>24</sup>.

- De absolute kosten voor de **afschrijvingen** worden bij volledige elektrificatie bijna 2,5 keer zo groot. In het nulalternatief is het aandeel afschrijving ca. 45 procent van de totale kosten voor de inzet van conventioneel materieel. Indien het project volledig elektrisch wordt uitgevoerd zijn de afschrijvingskosten 60 procent van de totale kosten voor de inzet materieel.
- Het volledig elektrisch uitvoeren van het project leidt in bijna alle gevallen tot een besparing op **kosten voor de energiedrager**. Bij een conventionele uitvoering betreft dit ca. 30 procent van de totale kosten. Bij een volledig elektrische uitvoering van het project zijn de kosten voor de energiedrager ca. 5 procent van de totale kosten voor de inzet van materieel. Bij deze kosten spelen sterke schaalvoordelen omdat de belasting op energie werkt volgens een degressief systeem. Een uitzondering daarop is de laadoptie waarbij gebruik wordt gemaakt van bestaande publieke laadinfrastructuur. De kosten voor de energiedrager zijn ongeveer 35 procent van de totale kosten voor de inzet van elektrisch materieel, gelijk aan het aandeel in het nulalternatief.
- De absolute kosten voor **onderhoud en verzekeringen** stijgen t.o.v. het nulalternatief. Het aandeel van deze kosten in de totale kosten voor de inzet van materieel gaat van 15 en 10 procent (nulalternatief) naar 10 en 10 procent (volledig elektrisch) voor respectievelijk onderhoud en verzekeringen.

Figuur 3-8 Verdeling kostenposten, casus dijkversterking, o.b.v. batterijcontainer



<sup>24</sup> Daarnaast moet onderzocht worden of laden bij bestaande infrastructuur voor deze casus praktisch haalbaar is.

## Schoner bouwen volgens emissie-eisen routekaart

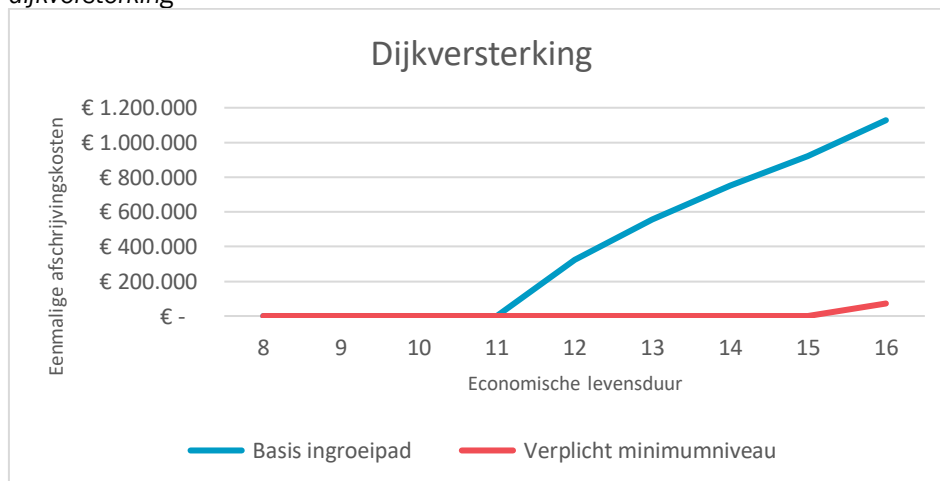
De meerkosten voor schoner bouwen zijn berekend voor twee niveaus: het minimum- en basisniveau. De meerkosten voor de inzet van materieel voor het voldoen aan de emissie-eisen van deze niveaus bestaan uit twee componenten. Werktuigen en voertuigen moeten eventueel versneld worden afgeschreven. Daarnaast moeten er nieuwe werk- en voertuigen worden aangeschaft/omgebouwd zodat de werktuigen aan de juiste emissieklasse voldoen. Hierdoor zijn de jaarlijkse kosten voor afschrijving hoger. Deze kosten kunnen slechts gedeeltelijk aan dit project worden toegeschreven omdat de werktuigen ook toegepast worden in andere projecten en daar dezelfde emissie-eis zal gelden. De resultaten zijn weergegeven in tabel 3-3.

Tabel 3-3 Meerkosten minimum- en basisniveau, casus dijkversterking

	Minimumniveau	Basisniveau
Meerkosten inzet materieel	0,6%	1%

Uitgaande van een economische levensduur tussen 8 en 16 jaar kunnen de eenmalige kosten voor de versnelde afschrijving van werktuigen liggen tussen € 0,- en € 1 miljoen (zie figuur 3-9). In principe gaat dit onderzoek uit van een gemiddelde economische levensduur van 8 jaar. In dat geval is er geen versnelde afschrijving omdat de economische levensduur van de werktuigen in emissieklasse IIIA/B of lager al bereikt is.

Figuur 3-9 Effect toename in levensduur op kosten eenmalige afschrijvingen, casus dijkversterking



## 3.4 Net op zee

### Omschrijving casus

Tennet is bezig met het aansluiten van twee windparken op zee door middel van een 'stopcontact' op zee. De windparken hebben beiden een vermogen van ongeveer 700 MW. Via een aanlanding bij Wijk aan Zee wordt de stroom naar een nog te bouwen transformatorstation (380 kV) geleid. Het project bestaat uit:

- Twee platformen op zee (in elk gebied één) voor de aansluiting van windturbines.
- Twee kabelsystemen (220 kV) vanaf het platform naar land.
- Vier ondergrondse kabelsystemen (220 kV) op land voor transport naar het transformatorstation.
- Uitbreiding van een bestaand transformatorstation
- Realisatie van nieuw transformatorstation

#### In dit project is het volgende materieel gebruikt:

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| ▪ Boorinstallatie                      | ▪ Liermachine                  |
| ▪ Valpijpschip                         | ▪ Offshore noodstroomgenerator |
| ▪ Guard vessel                         | ▪ Personentransport            |
| ▪ Hijskraan                            | ▪ Rupsgraafmachine             |
| ▪ Hopper                               | ▪ Sleepboot                    |
| ▪ Jack-up barge (drijvend hefplatform) | ▪ Transportbak                 |
| ▪ Kabellegschip                        | ▪ Trenching support vessel     |
| ▪ Kraanschip                           | ▪ Vrachttransport              |

### Verschoningsopties voor casus net op zee

Voor deze casus worden andere verschoningsopties doorgerekend dan bij de voorgaande casussen. De volgende opties zijn berekend<sup>25</sup>:

- Nulalternatief (o.b.v. conventionele schepen op diesel)
- Schoner o.b.v. geavanceerde biobrandstof (alleen effect op CO<sub>2</sub>-uitstoot)
- Schoner o.b.v. SCR-installatie (alleen effect op stikstofemissies)

In dit onderzoek is geen berekening gemaakt voor volledig emissieloze offshore schepen. Deze ontwikkelingen staan nog in de beginfase waardoor ervaringscijfers beperkt beschikbaar zijn. Aan de hand van gesprekken zijn wel enkele cijfers opgehaald. In onderstaand kader zijn een aantal grove indicaties opgenomen voor de kosten van (deels) emissieloze technieken.

<sup>25</sup> Ten tijde van dit onderzoek waren er voor het transitiepad Energie nog geen emissie-eisen bekend. In gesprekken met marktpartijen zijn wij tot twee verschoningsopties gekomen.

## *Kostenindicaties (gedeeltelijk) emissieloze schepen voor offshore werkzaamheden*

- Batterijpakketten worden op dit moment ingezet voor het stationair gebruik of het opvangen van pieken. Wanneer bij kleine schepen 300 kW wordt geïnstalleerd en bij grote schepen 600 kW, wordt zowel voor grote als kleine schepen een brandstofreductie van 15 tot 20 procent verwacht.
- Het varen op waterstof is volop in ontwikkeling. Om een schip op waterstof te laten varen zijn verschillende aanpassingen aan het schip nodig. De kosten voor het aanpassen van een traditionele machinekamer voor het gebruik van waterstof kost naar schatting 1,2 miljoen euro.
- Het bouwen van een schip dat via brandstofcellen op waterstof vaart is naar schatting 10 keer zo duur als het bouwen van een conventioneel schip. Indien deze factor wordt toegepast op de huidige casus worden de meerkosten 335 procent. Dit zijn dan enkel meerkosten voor de hogere aanschafprijs van de schepen.
- Het (om)bouwen van een general cargo-schip in hybride vorm (bijv. geschikt voor diesel en methanol) is naar schatting 30 procent duurder dan conventionele bouw. Daarnaast worden de operationele kosten ook hoger. Naar schatting ongeveer 2 tot 8 keer zo hoog, afhankelijk van het type brandstof dat wordt gebruikt.

## **Resultaat financiële impact**

### *Inschatting meerkosten t.o.v. totale projectkosten*

De totale projectkosten voor deze casus schatten worden ingeschat op minimaal 1,2 miljard euro. Wanneer de berekende meerkosten worden afgezet tegen de totale projectkosten leidt dit tot de volgende resultaten:

- Schoner o.b.v. biobrandstof: ongeveer 0,54 procent meerkosten
- Schoner o.b.v. SCR-installatie: ongeveer 0,1 procent meerkosten
- In de verdere analyse van deze casus wordt ingezoomd op de meerkosten die optreden in vergelijking met de kosten voor de inzet van conventioneel materieel.

### *Kosten conventioneel*

De kosten voor de inzet van conventioneel materieel van dit project komen uit op ongeveer 89 miljoen euro. De kosten bestaan uit afschrijvingen, brandstofverbruik, onderhoud en verzekeringen. Arbeidskosten en materiaalkosten zijn hierin niet meegenomen.

### *Schonere uitvoering o.b.v. biobrandstof*

Indien het project wordt uitgevoerd met biobrandstof in plaats van diesel, blijven alle kostenposten gelijk behalve de kosten voor de energiedrager. De prijs van biobrandstof ligt hoger dan diesel. Dit leidt tot ongeveer 7 procent aan meerkosten voor de inzet van materieel.

## *Schonere uitvoering o.b.v. SCR-installatie*

De meerkosten bij een schonere uitvoering o.b.v. een SCR-installatie ontstaan door de investering in de SCR-katalysator<sup>26</sup> en het toevoegen van AdBlue aan de brandstof. De overige kostenposten blijven gelijk. De investering van de SCR-katalysator wordt niet geheel afgewenteld op deze casus. Het schip kan immers ook op andere projecten ingezet worden. De investeringskosten zijn daarom gealloceerd naar het aantal uur dat het schip is ingezet.

Het installeren van SCR-katalysator leidt bij deze casus tot ongeveer 1 procent aan meerkosten voor de inzet van materieel.

## 3.5 Gevoeligheidsanalyses

In deze paragraaf zijn de resultaten de gevoeligheidsanalyses opgenomen. Deze analyses laten zien wat het effect is van veranderingen van parameters op de totale meerkosten. De gevoeligheidsanalyses zijn uitgewerkt voor:

- Hogere/lagere aanschafprijzen van elektrisch materieel
- Hogere/lagere dieselprijs
- Langere/kortere levensduur van elektrische materieel
- Toenemende draaiuren
- Hogere investeringskosten overgang basisniveau

Voor de gevoeligheidsanalyses die gericht zijn op de volledige elektrificatie van materieel is het laadscenario 'batterijcontainer' gebruikt als basis voor alle gevoeligheidsanalyses omdat dit scenario geschikt is voor alle casussen<sup>27</sup>. De gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd voor de meerkosten op de kosten voor de inzet van materieel (werktuigen, laadinfrastructuur en bouwtransport) en niet op de totale projectkosten.

### **Aanschafprijzen elektrisch materieel**

De aanschafprijzen voor elektrisch materieel zijn bepaald voor 2022 (zie bijlage 1). Toekomstige prijsontwikkelingen zijn daar niet in meegenomen. In de komende jaren gaan de aanschafprijzen van elektrisch materieel waarschijnlijk omlaag. Dit komt door zowel door technologische ontwikkelingen als een groter aanbod.

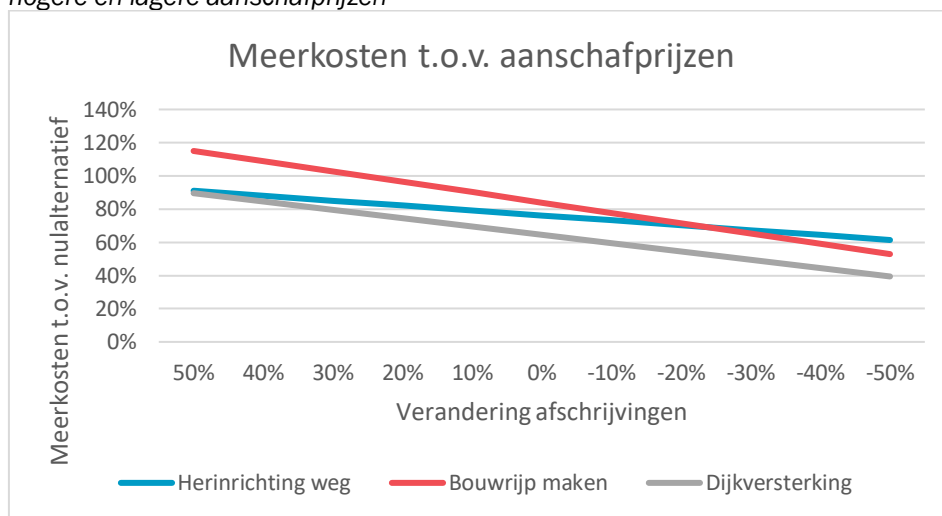
---

<sup>26</sup> In de berekening wordt uitgegaan van investeringskosten voor een SCR-installatie van € 70,-/kW (bron: gesprekken stakeholders).

<sup>27</sup> Wanneer een ander laadscenario als basis wordt genomen, zal het verloop van de grafiek niet veranderen. Alleen de totale meerkosten die als basis worden meegenomen in de berekening verschillen per laadscenario.

Tegelijkertijd zit er ook een onzekerheid in de huidige aanname over meerprijzen. Die kunnen voor de huidige prijzen zowel hoger als lager uitvallen. De gevoeligheidsanalyse laat daarom zowel het effect van hogere als lagere aanschafprijzen op de totale meerkosten voor de inzet van materieel zien<sup>28</sup> (zie figuur 3-10).

*Figuur 3-10 Meerkosten voor inzet van materieel bij volledige elektrificatie bij hogere en lagere aanschafprijzen<sup>29</sup>*



In de figuur wordt het resultaat weergegeven van een procentuele verandering van de afschrijving op elektrische werktuigen. Bij de casus bouwrijp maken is het effect van lagere/hogere afschrijvingen het sterkst. Een daling/stijging van de aanschafprijzefactoren met bijvoorbeeld 10 procent leidt in dit geval tot ca. 6 procent lagere/hogere meerkosten voor de inzet van materieel. Voor de casussen herinrichting weg en dijkversterking is dit respectievelijk ca. 3 procent en 5 procent.

## Brandstofprijzen

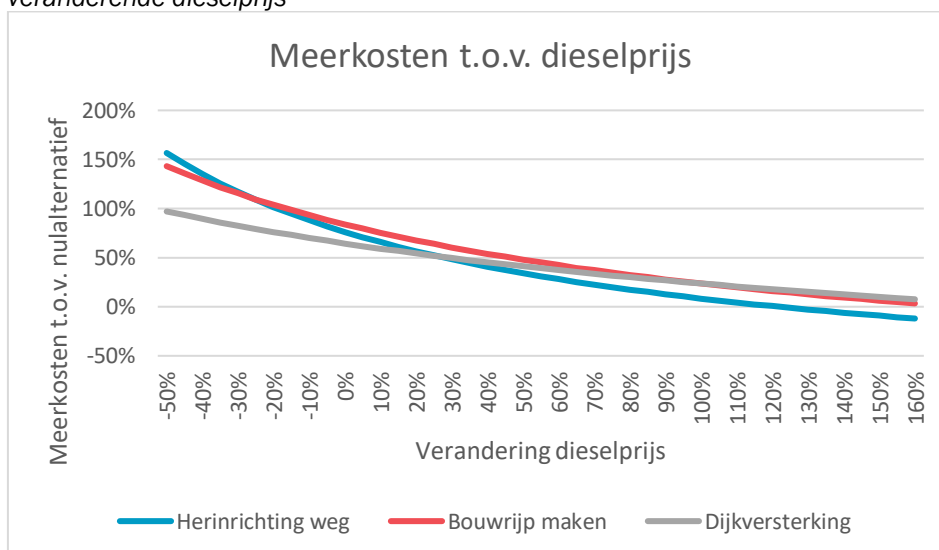
De brandstofprijzen, die zijn gebruikt in dit onderzoek, zijn gebaseerd op de Klimaat- en Energieverkenning 2021 (KEV) van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)<sup>30</sup>. De brandstofprijzen zijn echter in 2021 en 2022 fors gestegen. Het is onzeker hoe de brandstofprijzen zich in de toekomst gaan ontwikkelen. Om inzicht te geven in effecten van hogere en lagere brandstofprijzen op de totale financiële impact, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De resultaten zijn weergegeven in figuur 3-11.

<sup>28</sup> Hiervoor gebruiken we als proxy de afschrijvingen van elektrische materieel.

<sup>29</sup> De gevoeligheidsanalyse is berekend voor de laadoptie batterijcontainer. De helling van de grafiek verandert niet bij een andere laadoptie. Alleen de totale meerkosten en daarmee het break-even-point zal verschillen per laadoptie.

<sup>30</sup> Uitgangspunt is een dieselprijs van € 1,50 per liter. Zie ook het hoofdstuk 'Uitgangspunten'

Figuur 3-11 Meerkosten voor inzet van materieel bij volledige elektrificatie bij een veranderende dieselprijs<sup>31</sup>



Uit de analyse blijkt dat de dieselprijs minstens 120 procent moet toenemen om de meerkosten naar 0 procent te krijgen<sup>32</sup>. Hierbij verandert alleen de dieselprijs en blijven de andere kostenfactoren constant. De casus herinrichten weg zit aan onderkant van deze bandbreedte en de casus bouwrijp maken aan bovenkant bandbreedte. De gevoeligheid van de meerkosten t.o.v. van de dieselprijs wordt bepaald door het aandeel brandstofkosten t.o.v. de totale kosten. De meerkosten zijn minder gevoelig voor veranderingen in de dieselprijzen dan veranderingen in de aanschafprijzen.

### Economische levensduur elektrische werktuigen

Uit onderzoeken en gesprekken blijkt dat er nog geen eenduidig beeld is over de technische levensduur van elektrische werktuigen. De verwachting is dat de technische levensduur in vergelijking met conventionele werktuigen omhoog gaat, maar er zijn nog geen ervaringscijfers beschikbaar. In de literatuur en uit gesprekken blijkt een bandbreedte voor de levensduur van elektrische werktuigen van 6 jaar tot 16 jaar.

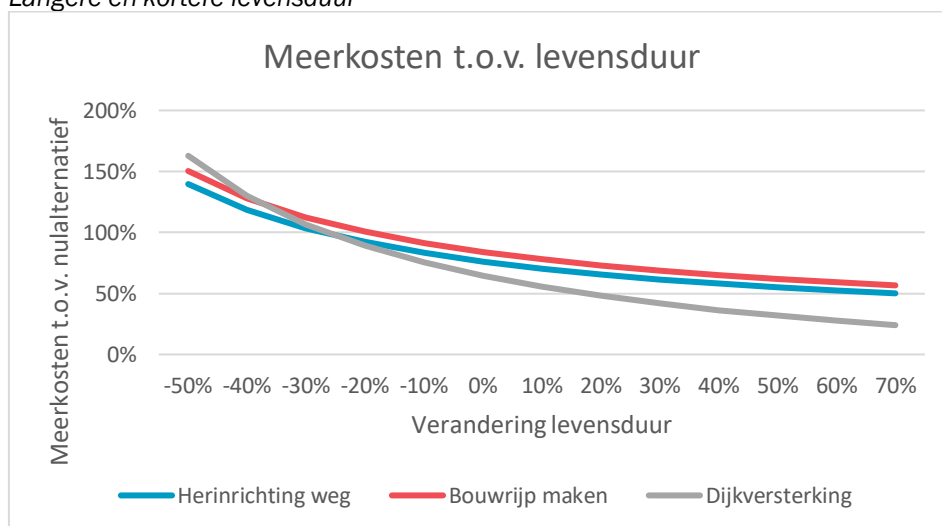
Een andere technische levensduur kan mogelijke doorwerken in een andere keuze voor de economische levensduur (afschrijvingstijd). Om het effect van een langere

<sup>31</sup> De gevoeligheidsanalyse is berekend voor de laadoptie batterijcontainer. De helling van de grafiek verandert niet bij een andere laadoptie. Alleen de totale meerkosten en daarmee het break-even-point zal verschillen per laadoptie.

<sup>32</sup> Waarbij de overige kostenparameters gelijk blijven.

of kortere economische levensduur op de totale financiële impact in beeld te brengen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

*Figuur 3-12 Meerkosten voor inzet van materieel bij volledige elektrificatie bij een Langere en kortere levensduur<sup>33</sup>*



De analyse laat zien dat een toename van de economische levensduur met bijvoorbeeld 2 jaar (+20% t.o.v. huidige levensduur), leidt tot een daling van de totale meerkosten voor de inzet van materieel met ongeveer 15 tot 25 procent. Anderzijds leidt een kortere levensduur tot een stijging van de totale meerkosten voor de inzet van materieel.

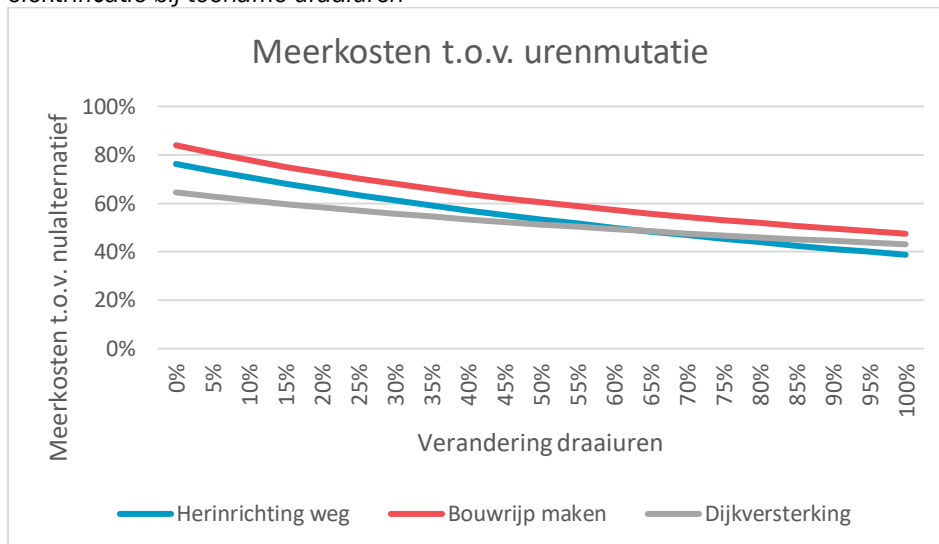
### Totaal aantal draaiuren per project

Het aantal draaiuren voor de casussen in dit onderzoek zijn gegeven en is dus geen parameter die aangepast kan worden. Wel is er een verband tussen het aantal draaiuren en de totale meerkosten (bij volledige elektrificatie). In figuur 3-13 is deze relatie weergegeven (waarbij 0% het aantal werkelijke draaiuren voor de casus is).

<sup>33</sup> De gevoeligheidsanalyse is berekend voor de laadoptie batterijcontainer. De helling van de grafiek verandert niet bij een andere laadoptie. Alleen de totale meerkosten en daarmee het break-even-point zal verschillen per laadoptie.



Figuur 3-13 Verandering meerkosten voor inzet van materieel bij volledige elektrificatie bij toename draaiuren



Naarmate het aantal draaiuren toeneemt, nemen de meerkosten af. Hier zijn twee verklaringen voor te geven. Ten eerste treden er schaalvoordelen op met betrekking tot de laadinfrastructuur. De investeringen in laadinfrastructuur zijn voor een groot deel eenmalige investeringen. Indien het aantal draaiuren toeneemt, terwijl de eenmalige investering gelijk blijft, dalen de kosten per draaiuur. Ten tweede neemt het kostenvoordeel voor de energiedrager toe naarmate de draaiuren toenemen. Een groter aantal draaiuren betekent een groter totaal verbruik. Omdat de kosten per uur verbruik bij een conventionele uitvoering van het project (diesel) hoger liggen dan bij een volledig elektrische uitvoering van het project, leidt dit tot een kostenbesparing die toeneemt met het aantal draaiuren. Dit laatste effect wordt nog versterkt doordat belastingen op elektriciteit werken volgens een degressief systeem. Des te meer elektriciteit er wordt inkocht des te lager de belasting.

### Investeringskosten overgang basisniveau

Om aan het basisniveau te voldoen moeten werktuigen worden omgebouwd of nieuwe werktuigen worden aangeschaft. Op basis van literatuur is in dit onderzoek uitgegaan van 7,5 procent hogere aanschafkosten voor werktuigen. Dit getal kent echter wat onzekerheid. Uit gesprekken met de markt blijkt een percentage hiervoor moeilijk in te schatten. Daarom wordt aan de hand van een gevoeligheidsanalyse getoond wat het effect op de meerkosten is wanneer deze parameter verandert (zie tabel 3-4).

In plaats van 0,2 tot 1 procent komen de procentuele meerkosten voor de inzet van materieel nu uit op 0,4 tot 3 procent.

Tabel 3-4 Gevoeligheidsanalyse investeringskosten overgang naar basisniveau

	Percentage meerkosten aanschafprijs		
	7,5% (basis)	15%	30%
Herinrichting weg	0,2 procent	0,4 procent	0,9 procent
Bouwrijp maken	0,5 procent	1 procent	2 procent
Dijkversterking	1 procent	2 procent	3 procent

## Bijlage 1. Uitgangspunten

### Conventionele werktuigen

De kosten van conventionele werktuigen bestaan uit vier posten: de afschrijvingen, de brandstofkosten, de onderhoudskosten en de verzekeringskosten.

De afschrijvingen worden op basis van de volgende formule berekend:

$$\text{afschrijvingen} = \frac{\text{aanschafprijs} - \text{restwaarde}}{\text{levensduur}} \cdot \text{gebruiksuren} \quad (1)$$

- De precieze aanschafprijs is in de meeste gevallen bij ons bekend omdat deze informatie door de projectuitvoerder is aangeleverd. Indien dit niet het geval is is er een inschatting gemaakt op basis van het vermogen van het werktuig.
- Voor het berekenen van de restwaarde is aangenomen dat dit zo'n 10% bedraagt van de oorspronkelijke aanschafwaarde (Decisio, 2021).
- Voor de levensduur van conventionele werktuigen nemen is aangenomen dat deze 8 jaar bedraagt<sup>34</sup>. De levensduur in jaren wordt omgezet naar de levensduur in werkuren door het aantal jaar te vermenigvuldigen met 200 dagen en 6 uur per dag (CE Delft, 2021).
- De daadwerkelijke gebruiksuren zijn bij ons bekend omdat deze informatie door de projectuitvoerder is aangeleverd.

De kosten van het brandstofgebruik worden op de volgende manier berekend:

$$\text{brandstofkosten} = \frac{\text{vermogen} \cdot \text{belasting}}{\text{energiedichtheid} \cdot \text{efficiëntie}} \cdot \text{dieselprijs} * \text{gebruiksuren} \quad (2)$$

- Het vermogen is aangeleverd door de projectuitvoerder.
- De gemiddelde belasting is in sommige gevallen aangeleverd door de projectuitvoerder. In andere gevallen wordt uitgegaan van een gemiddelde motorbelasting van 30%<sup>35</sup>.
- De energiedichtheid van diesel is ongeveer 11 kWh per liter.
- De efficiëntie van een conventionele motor is 36% (CE Delft, 2021).
- Uitgangspunt is een dieselprijs van €1,50, conform de klimaat en energie verkenningen (PBL, 2021)

Voor conventionele werktuigen wordt uitgegaan van onderhoudskosten van 4% van de aanschafprijs per jaar (Decisio, 2021). Dit wordt vervolgens omgerekend naar de

<sup>34</sup> Voor schepen wordt uitgegaan van een economische levensduur van 15 jaar (bron: gesprekken stakeholders).

<sup>35</sup> Uitgangspuntenlijst SEB (dec 2022).

kosten per gebruiksuur. Voor verzekeringskosten wordt 2% van de aanschafprijs per jaar gehanteerd. Dit wordt net zoals bij de onderhoudskosten omgerekend naar de kosten per gebruiksuur (Decisio, 2021).

## Bouwtransport

De bouwtransport is niet voor alle casussen in beeld. Aanvullend hebben wij daarom de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Licht verkeer
  - Gemiddeld 14 ritten per dag<sup>36</sup>, gemiddeld 48 kilometer per rit<sup>37</sup>.
- Zwaar verkeer
  - Voor casus herinrichten weg zijn de cijfers bekend vanuit de casus.
  - Voor de casus bouwrijp maken wordt uitgegaan van 0,001 ritten per dag per m<sup>2</sup> <sup>38</sup> en een gemiddelde afstand van 75 kilometer per rit<sup>39</sup>.
  - Voor de casus dijkversterking is de lokale zware bouwtransport bekend vanuit de casus. De overige zware bouwtransport is buiten beschouwing gelaten omdat bruikbare kengetallen bij ons niet bekend zijn.

## Elektrische werktuigen

Elektrische werktuigen kennen dezelfde kostenposten als de conventionele werktuigen. De berekening en de waarde van bepaalde parameters kan echter verschillen.

- De afschrijvingen worden berekend zoals in vergelijking (1). Voor de aanschafprijs van een elektrisch werktuig met een vergelijkbaar vermogen als het gebruikte conventionele werktuig is gebruik gemaakt van onderstaande uitgangspunten<sup>40</sup>.

Tabel 0-1 Delta aanschafkosten conventioneel t.o.v. elektrisch

	Mobiele werktuigen		Stationaire werktuigen	
	Benzine	Diesel	Benzine	Diesel
<5 kw	€ 625	€ 625	€ 3.600	
5 - 9 kw	€ 1.500	€ 1.000		
9 -19 kw	€ 700 * batterijcapaciteit (kwh)+		€ 7.200	
19 kw en hoger	€300 * vermogen (kw) + €7.000		€ 350 * batterijcapaciteit (kwh)	

<sup>36</sup> Aeriusberekening Prinses Carolinalaan Leidschendam (2021), Antea Group (2020)

<sup>37</sup> MuConsult (2021), eigen inschatting Decisio

<sup>38</sup> Antea Group (2020)

<sup>39</sup> TNO (2018)

<sup>40</sup> Uitgangspuntenlijst SEB (dec 2022)

- De restwaarde is 10% van de aanschafprijs (Decisio, 2021).
- Voor elektrische werktuigen hanteren wij een economische levensduur van 8 jaar. De levensduur in jaar wordt net zoals bij conventionele werktuigen omgezet naar levensduur in uren.
- Uitgangspunt is dat elektrische werktuigen evenveel uur moeten worden ingezet als conventionele werktuigen.

Het totale elektriciteitsgebruik van een project wordt op de volgende manier berekend.

$$\text{elektriciteitsverbruik} = \sum_{k=1}^K \frac{\text{vermogen}_k \cdot \text{belasting}_k}{\text{efficiëntie}_k} \cdot \text{gebruiksuren}_k \quad (3)$$

Waarbij K de set is van alle werktuigen die in een bepaald project zijn gebruikt.

- Uitgangspunt is dat het vermogen gelijk is aan dat van de conventionele werktuigen.
- Uitgangspunt is dat de gemiddelde belasting gelijk is aan die van de conventionele werktuigen.
- Uitgangspunt is dat de efficiëntie van elektrische motoren 81% is (CE Delft, 2021).

Met behulp van het totale elektriciteitsverbruik worden de kosten berekend op basis van de groothandelsprijs in energie plus belastingen (CE Delft, 2021).

Voor elektrische werktuigen worden onderhoudskosten van 2% van de aanschafprijs per jaar gehanteerd (Decisio, 2021). Dit wordt vervolgens omgerekend naar de kosten per gebruiksuur. Voor verzekeringskosten wordt 4% van de aanschafprijs per jaar gehanteerd. Dit wordt net zoals bij de onderhoudskosten omgerekend naar de kosten per gebruiksuur (Decisio, 2021).

## Laadinfrastructuur

We hebben de volgende uitgangspunten gehanteerd om de kosten van de laadinfrastructuur te berekenen:

- Kosten voor het aansluiten/aanleggen van elektriciteitsinfrastructuur is gebaseerd op de grootgebruikerstarieven van Stedin (2021)
- Batterijcontainer (CE Delft, 2021)
  - Investering: 380 €/kWh
  - Levensduur: 15 jaar
  - Jaarlijkse operationele kosten: 2,5% van investering

- Efficiëntie: 85%
- Verwisselbare accu's (CE Delft, 2021)
  - Investering: 350 €/kWh
  - Levensduur: 8 jaar

Voor het berekenen van de accucapaciteit per werktuig is de volgende formule gehanteerd:

$$accucapaciteit = vermogen \cdot belasting \cdot a \quad (4)$$

Waarbij  $a$  een parameter is die staat voor het vereiste aantal autonome werkcuren. Dit betekent het aantal uur dat een werktuig gebruikt kan worden voordat het weer moet worden opgeladen.  $a$  is gelijk voor alle werktuigen.

Om het vereiste vermogen van de laadpalen en de netaansluiting te bepalen wordt de volgende formule gehanteerd:

$$vereist\ vermogen = \sum_{l=1}^L \frac{accucapaciteit_l}{b} \quad (5)$$

Waarbij  $b$  een parameter is voor het vereiste aantal uur waarbinnen de werktuigen opgeladen dienen te zijn. Uitgangspunt is dat deze parameter gelijk is voor alle werktuigen.

$L$  is de set van werktuigen die minimaal tegelijkertijd moet kunnen worden opgeladen. Hiervoor zijn twee scenario's gebruikt: een flexibel scenario en een efficiënt scenario. Voor beide scenario's geldt dat het aantal werktuigen in  $L$ ,  $c\%$  van het totaal, waarbij  $q$  een parameter is. Voor het flexibele scenario geldt dat de  $c * K$  zwaarste werktuigen worden gekozen naar vermogen. In het flexibele scenario kunnen dus altijd de zwaardere werktuigen tegelijkertijd worden opgeladen in  $b$  uur. Voor het efficiënte scenario worden zoveel mogelijk zwaardere met lichtere werktuigen gecombineerd. De minimale set  $L$  wordt hier bepaald zodat al deze oplaadcombinaties kunnen worden uitgevoerd.

Voor het zogeheten basisscenario zijn de volgende waarden voor de drie laadinfrastructuur parameters gebruikt:

Parameter	Waarde in basisscenario
$a$	3 uur
$b$	2 uur
$c$	30%

Omdat er geen informatie bij ons bekend was over de afstand van en naar een eventuele bestaande aansluiting of een eigen aansluiting voor de batterijcontainers en verwisselbare accu's zijn deze transport kosten niet door ons meegenomen.

## Energiedragers

Wij zijn uitgegaan van de volgende prijzen voor energiedragers:

- Diesel: € 1,50/liter<sup>41</sup>
- Conventionele brandstof schepen: € 0,62 cent per liter<sup>42</sup>
- Biobrandstof: € 0,87 cent per liter<sup>43</sup>
- AdBlue: € 1,00/liter<sup>44</sup>
- Elektriciteit: € 0,05 tot € 0,13 (incl. ODE en EB)<sup>45</sup>
- Elektriciteit bestaande publieke laadinfrastructuur: € 0,40/kWh<sup>46</sup>

## Minimum- en basisniveau routekaart

Om de overstap naar het minimum- en basisniveau in beeld te brengen wordt in dit onderzoek uitgegaan van een gemiddelde verdeling van werktuigen en draaiuren naar emissieklassen (zie figuren). Daarnaast is voor de aanschaf van werktuigen naar de minimale emissieklasse uitgegaan van een extra investering in werktuigen van 7,5 procent van de oorspronkelijke aanschafprijs<sup>47</sup>. Voor voertuigen is uitgegaan van een meerprijs van € 3250,- t.o.v. de oorspronkelijke aanschafprijs<sup>48</sup>.

---

<sup>41</sup> KEV 2021

<sup>42</sup> TNO & EICB (2021)

<sup>43</sup> TNO & EICB (2021)

<sup>44</sup> OK Oliecentrale 2022, gecorrigeerd naar dieselprijs

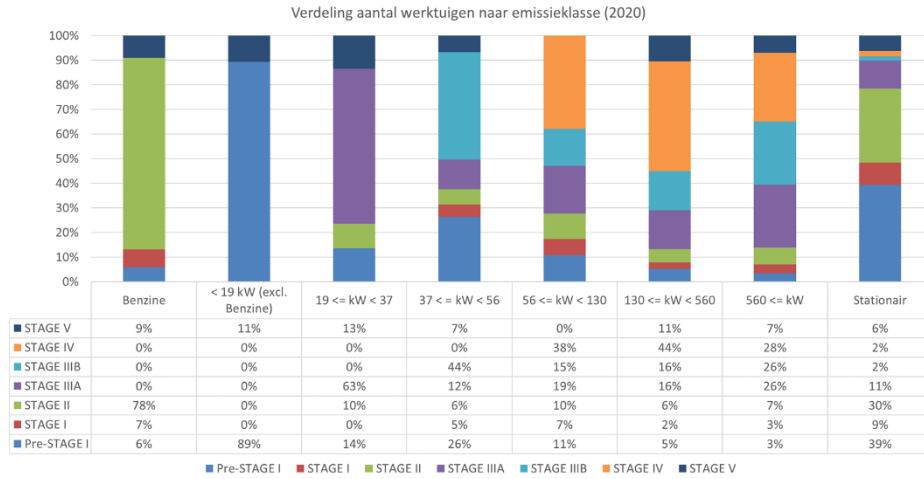
<sup>45</sup> KEV 2021, CE Delft (2021)

<sup>46</sup> CE Delft (2021)

<sup>47</sup> WUR (2012) en gesprekken stakeholders.

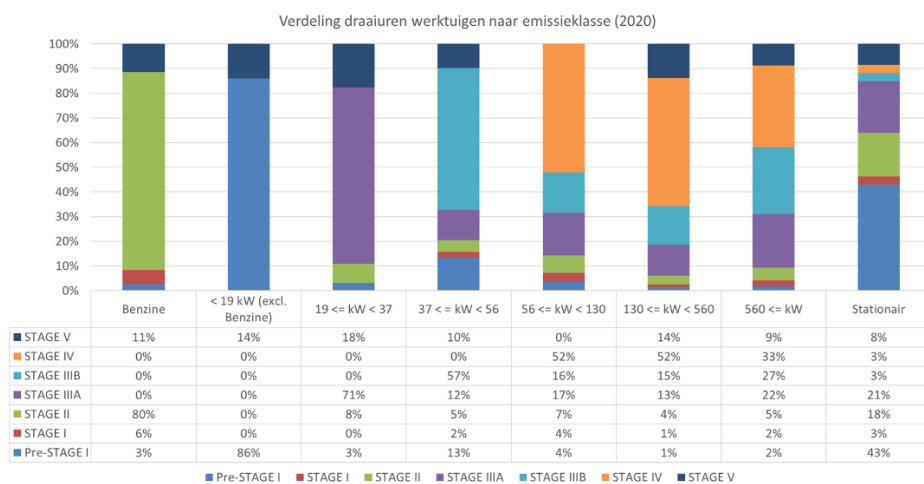
<sup>48</sup> MNP (2008) en CE Delft (2018)

Figuur 0-1 Verdeling aantal werktuigen naar emissieklasse in 2020



Bron: TNO

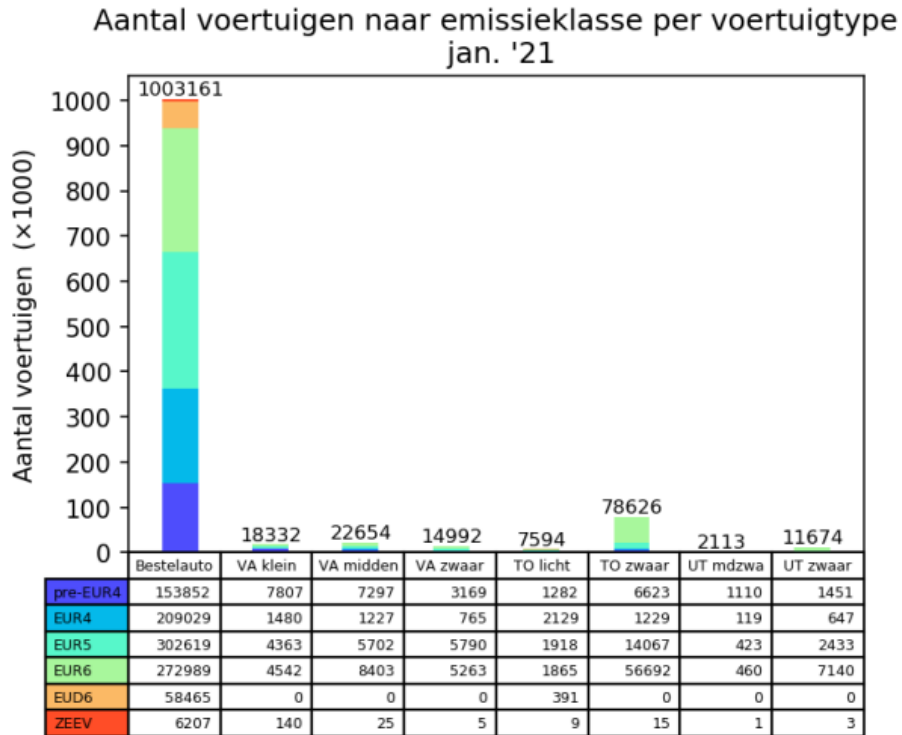
Figuur 0-2 Verdeling draaiuren werktuigen naar emissieklasse in 2020



Bron: TNO



Figuur 0-3 Verdeling voertuigen naar emissieklasse in 2021



Bron: TNO (2021)

## Bijlage 2. Bronnen

### Literatuur

- Arcadis (2020). *Kostenkengetallen menukaart investeringsimpuls verkeersveiligheid.*
- Aeriusberekening Prinses Carolinalaan Leidschendam (2021)
- Agron Advies (2021). *Onderbouwing invoergegevens AERIUS.*
- Antea Group (2020). *Memo stikstofberekening Hollevoort te Bakel*
- CE Delft (2018). *Effecten en kosten van luchtkwaliteitsmaatregelen.*
- CE Delft (2021). *ZE Bouwplaats.*
- Decisio (2021). *Total Cost of Ownership model schoon en emissieloos bouwen.*
- Gemeente Tilburg (2017). *Kosten SFR.*
- HWBP (2019). *Feitenanalyse veranderde kostenramingen HWBP.*
- MNP (2008). *Effecten van de Euro-VI-emissie-eisen voor zwaar wegverkeer in Nederland.*
- MuConsult (2021). *Landelijk reizigersonderzoek 2020.*
- PBL (2021). *Klimaat en Energieverkenningen.*
- TNO & CE Delft. (2014). *Brandstoffen voor het werkverkeer.*
- TNO (2018). *Duurzame bouwlogistiek voor binnenstedelijke woning- en utiliteitsbouw: ervaringen en aanbevelingen.*
- TNO (2020). *Factsheets stikstofmaatregelen mobiliteit.*
- TNO (2021). *Data onderzoek mobiele machines in Nederland.*
- TNO & EICB (2021). *Toekomst duurzame binnenvaart.*
- TNO (2022). *AERIUS, rekeninstrument voor de leefomgeving.*
- WUR (2012). *Schoon, schoner, schoonst.*

### Gesprekken

- Gemeente Den Bosch
- Rijkswaterstaat
- Waternet
- Tennet
- Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
- DEME Group
- Koninklijke Vereniging van Nederlandse Reders
- Acta Marine
- Boskalis