



# Zero-emissiebouwplaats

Inrichting en meerkosten



# Inhoudsopgave

- 1 Introductie
- 2 Infographic
- 3 Ontwikkelingen zero-emissiematerieel
- 4 Kosten energievoorziening
- 5 Meerkosten zero-emissiebouwplaats
- 6 Conclusies



# 1 Introductie

Binnen het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) werken verschillende partijen, waaronder Rijkswaterstaat en ProRail, samen om mobiele werktuigen en bouwlogistiek zo snel mogelijk te verduurzamen. Dit is van belang om de nationale klimaatdoelstellingen te halen en draagt bij aan het verminderen van de stikstofproblematiek.

## Kader 1 - Emissies door mobiele werktuigen

Mobiele werktuigen en aggregaten hebben een substantieel aandeel in landelijke emissies; TNO<sup>1</sup> heeft in 2020 berekend dat circa 9% van de CO<sub>2</sub>-emissies in transport afkomstig is van mobiele werktuigen, 8% van de NO<sub>x</sub>- en 12% van de fijnstofuitstoot. Daarbij is logistiek materieel dat in de bouw wordt gebruikt niet in deze cijfers opgenomen, waarmee het aandeel van bouwplaatsgerelateerde emissies nog aanzienlijk hoger ligt.

Rijkswaterstaat en ProRail zijn in verschillende projecten al aan het verkennen hoe zero-emissiebouwmaterieel ingezet kan worden. In toekomstige aanbestedingen willen beide partijen dat het aandeel van zero-emissiebouwmaterieel dat ingezet wordt in Rijksinfrastructuurprojecten toeneemt.

In maart 2022 heeft CE Delft<sup>2</sup> in opdracht van Rijkswaterstaat onderzocht wat de meerkosten zijn wanneer 100% van alle werktuigen en voertuigen op de bouwplaats batterij-elektrisch wordt aangedreven. De publicatie die voor u ligt is een samenvatting van dit onderzoek.

De publicatie start met een infographic, waarin de belangrijkste resultaten worden gepresenteerd. In de daaropvolgende hoofdstukken worden de belangrijkste resultaten uit het onderzoek verder toegelicht.

De kostenposten die beïnvloed worden door de overstap naar zero-emissie, zijn de **directe kosten<sup>3</sup> van het materieel**. Deze kosten bestaan uit bouwlogistiek, materieelkosten en energiekosten, zie ook Tabel 1.

De directe kosten van het materieel vormen één van de onderdelen binnen de **totale directe projectkosten voor de ondernemer**, waaronder bijvoorbeeld ook loonkosten vallen en kosten voor materiaal.

In dit onderzoek vergelijken we de kostenposten voor het gebruik van batterij-elektrische werktuigen en -voertuigen ten opzichte van dieselwerk- en voertuigen en we geven aan hoe groot deze meerkosten zijn (als percentage) ten opzichte van de totale directe projectkosten.

<sup>1</sup> TNO, 2020. Haalbaarheidsonderzoek naar de elektrificatie van zware mobiele werktuigen.

<sup>2</sup> CE Delft, 2022. ZE-bouwplaats: Inrichting ZE-bouwplaats en meerkosten.

<sup>3</sup> De directe kosten zijn uitvoeringskosten, waarbij overheadkosten zoals ontwerp-, ontwikkel-, planningskosten en winst niet worden meegerekend.



Tabel 1 - Opbouw kostenposten binnen directe kosten materieel

Kostenpost	Beschrijving
Bouwlogistiek	De kosten van de logistiek van grondstoffen, bouwmaterialen en van personeel veranderen, aangezien deze uitgevoerd zullen worden door batterij-elektrische voertuigen. De kosten zijn berekend door vermenigvuldiging van de gebruikskosten <sup>4</sup> per kilometer (afschrijving, onderhoud, energie en belastingen), met de gereden kilometers in het bouwproject.
Materieelkosten	Materieelkosten bestaan uit de afschrijving van het materieel en de onderhoudskosten over de tijdsduur van het bouwproject. De afschrijving is afhankelijk van de aanschafprijs, afschrijvingsperiode en restwaarde.
Energiekosten materieel	De energiekosten zijn de kosten die gemoeid zijn met gebruik en levering van energie voor het bouw materieel. Deze bestaan uit de inkoop van elektriciteit, netkosten, batterijcontainer(s), laadpalen, wisselaccu's, transport van wisselaccu's of batterijcontainers en de kosten voor het plaatsen van deze accu's of containers.

Binnen dit onderzoek zijn enkel voorbeelden van Rijksinfrastructuurprojecten geselecteerd en geanalyseerd.

We categoriseren deze projecten in kortlopende (< 6 maanden) en langlopende (> 6 maanden) projecten. Per categorie worden de gemiddelde resultaten van de cases gegeven.

De Klimaat en Energieverkenning (KEV<sup>5</sup>) 2021 dient als basis voor het prijspeil in dit onderzoek. Voor elektriciteit wordt een prijs van circa 0,10 €/kWh in 2020 en 0,11 €/kWh in 2030 gehanteerd, uitgaande van een grootverbruiker met een energiegebruik van 50.000 tot 100.000 kWh per

jaar. De prijs voor elektriciteit bestaat uit de groothandelsprijs, energiebelasting, ODE<sup>6</sup> en netkosten. Voor de dieselprijs nemen wij ook KEV 2021 als bron. De prijs die wij hanteren is 1,40 €/liter in 2020 en in 2030.

De oorspronkelijke studie is uitgevoerd om Rijkswaterstaat en ProRail meer inzicht te geven in de meerkostenkosten van een zero-emissie bouwplaats. Omdat de resultaten ook voor opdrachtnemers en andere partijen nuttig kunnen zijn, is deze publieke versie geschreven. Voor aannemers spelen echter naast de meerkosten ook andere overwegingen een rol, zoals hoge investeringskosten in zero-emissiematerieel, het inpassen van zero-emissiematerieel in het werkproces en de inzet bij meerdere opdrachtgevers. De huidige studie gaat daar niet in detail op in.

#### Afstemming aannames onderzoek

Tegelijk met het onderzoek van CE Delft voor RWS en ProRail zijn in het kader van SEB ook door de onderzoeksbureaus TNO, Decisio, en Copernicos onderzoek gedaan naar de financiële impact van de transitie naar schoon en emissieloos bouwen.

Vanuit het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is het initiatief genomen om belangrijke uitgangspunten, parameters en rekenregels met betrekking tot de kosten tussen deze onderzoeken met elkaar af te stemmen.

De gemeenschappelijke uitgangspunten van dit onderzoek en de andere onderzoeken is terug te vinden in de [Uitgangspuntenlijst](#). Deze uitgangspuntenlijst wordt regelmatig geüpdatet.

<sup>4</sup> CE Delft, 2020. Laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen in stadslogistiek.

<sup>5</sup> PBL, 2021. Klimaat en Energieverkenning 2021.

<sup>6</sup> ODE = Opslag Duurzame Energie.



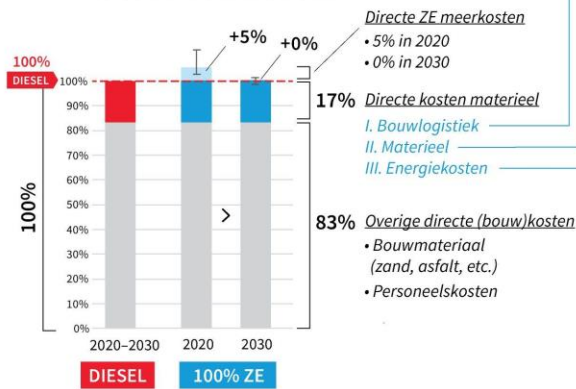
# 2 Infographic



## Zero Emissie Bouwplaats

De Rijksoverheid wil dat in aanbestedingen het aandeel zero-emissie (ZE) bouwmaterieel toeneemt. In opdracht van Rijkswaterstaat heeft CE Delft onderzoek gedaan naar de meerkosten van een bouwplaats waarbij alle werktuigen en voertuigen batterij-elektrisch zijn.

### TOTALE DIRECTE PROJECTKOSTEN VOOR OPDRACHTNEMER



### CONCLUSIE

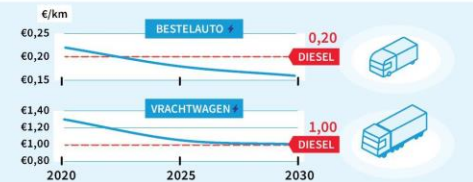
Volgens de verwachte ontwikkelingen van batterij- en elektriciteitsprijzen zullen de directe kosten materieel afnemen richting 2030. In 2020 bedragen de meerkosten nog circa 5%\* t.o.v. diesel. In 2030 zijn de directe projectkosten tussen elektrisch en diesel vergelijkbaar. In veel gevallen zal dit een positieve businesscase opleveren voor de zero emissie bouwplaats.

\* Over de totale directe en indirecte kosten zijn de meerkosten dan gemiddeld 3,5%. Hierin is geen rekening gehouden met fiscale regelingen en subsidie.

### DIRECTE KOSTEN MATERIEEL

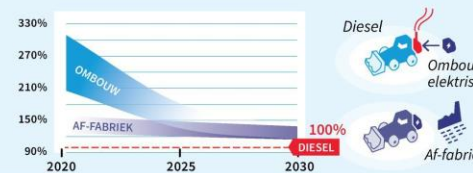
#### I. Bouwlogistiek

Bouwlogistiek bestaat uit de aan- en afvoer van bouwmaterialen en grondstoffen, maar ook uit het vervoer van personeel van en naar de bouwplaats. Voor de ZE bouwplaats worden deze vervoerstromen uitgevoerd door batterij elektrische voertuigen.



#### II. Materieelkosten

Materieelkosten gedurende een bouwproject bestaan uit afschrijving en onderhoudskosten. Werktuigen die omgebouwd worden van diesel naar elektrisch zijn duurder dan elektrische werktuigen direct uit de fabriek (af-fabriek). Onderhoudskosten voor elektrisch zijn lager dan voor diesel.



#### III. Energiekosten

**Kortlopende projecten < 6 maanden** | **Langlopende projecten > 6 maanden**

#### 1. BATTERIJCONTAINER

Een batterijcontainer zorgt voor een flexibele energievoorziening op een bouwplaats. Deze flexibiliteit is gunstig voor kortlopende projecten.

#### 2. WISSELACCU'S

Energie intensieve projecten kunnen profiteren van wisselaccu's. Deze worden buiten het werktuig opgeladen, bijvoorbeeld op een locatie buiten de bouwplaats.

accutransport vanaf externe locatie

#### 3. AANSLUITING OP BOUWPLAATS

Een (bouw)aansluiting zorgt ervoor dat er direct op de bouwplaats geladen kan worden. De aanleg hiervan kost tijd en is relevant voor langlopende projecten.

Year	Optioneel (€/kWh)	Wisselaccu's (€/kWh)	Batterij-/accutransport (€/kWh)	Laadpalen (€/kWh)	Batterijcontainer(s) (€/kWh)	Inkoop elektriciteit en netkosten (€/kWh)
2020	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
2030	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36

Ontwerp: yulia.ink.com





# 3 Ontwikkelingen zero-emissiematerieel

## Huidige situatie bouwmaterieel

Het segment bouwmaterieel valt onder de mobiele werktuigen (NRMM<sup>7</sup>) en is zeer divers. Het varieert van kleine handapparaten, zoals blazers en zagen, tot bulldozers, grote kranen en asfalteermachines. Maar ook de aggregaten, pompen en compressoren die ingezet worden op bouwplaatsen, worden gerekend tot het segment van de mobiele werktuigen. Naast mobiele werktuigen veroorzaakt ook de aan- en afvoer van goederen en personen emissies door de vervoerbewegingen van vrachtwagens, bestelwagens en personenauto's.

Momenteel wordt het overgrote deel van het bouwmaterieel aangedreven door verbrandingsmotoren die voornamelijk op diesel lopen. Het doel van Rijkswaterstaat en ProRail is dat er steeds meer zero-emissie mobiele werktuigen op hun bouwplaatsen ingezet worden. Onder zero-emissie-technieken worden over het algemeen technieken verstaan die tijdens het gebruik ter plaatse geen CO<sub>2</sub>, fijnstof (PM<sub>10</sub>) en stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) uitstoten. Elektrische aandrijving is in principe zero-emissie.

De elektriciteit kan worden geleverd door batterijen, direct via een kabel aan het apparaat of bijvoorbeeld via brandstofcellen. Voor de introductie van brandstofcel-aangedreven machines geldt dat deze door de combinatie van kosten, complexiteit en inefficiënte energieomzetting op de korte termijn nog niet op gang lijkt te komen. Batterijontwikkelingen gaan daarentegen behoorlijk snel, en ook voor het zwaarste materieel wordt aangenomen dat dit over vijf tot tien jaar batterij-elektrisch kan worden

aangedreven. Batterij-elektrische werktuigen zijn het uitgangspunt geweest voor dit onderzoek naar zero-emissiebouwplaatsen.

## Batterij-elektrisch bouwmaterieel

Figuur 1 - Voorbeelden van elektrisch bouwmaterieel, v.l.n.r., trilplaat, wiel- en rupsgraafmachine



Een nadeel van batterij-elektrische werktuigen is dat de batterijcapaciteit beperkt is en dat bij intensief gebruik werktuigen regelmatig (bij)geladen moeten worden. Dit zorgt ervoor dat het werktuig op bepaalde momenten niet gebruikt kan worden vanwege het opladen van de batterijen. Een mogelijk alternatief zijn werktuigen die gebruikmaken van wissel-accu's. Hierdoor kunnen lege accu's verwisseld worden voor volle accu's, waardoor het werktuig korter buitengebruik is. Deze accu's worden geladen op de bouwplaats of op een andere locatie. Voor beide opties dient er laadinfrastructuur met voldoende capaciteit aanwezig te zijn.

## Ontwikkelingen in aanschafkosten van zero-emissiematerieel

De ontwikkeling van batterijen lijkt de introductie van middelgrote en grote elektrische werktuigen op de korte- en middellange termijn te ondersteunen. Voor het relatief lichte materieel zijn er al elektrische varianten beschikbaar bij de grote fabrikanten van bouwmaterieel.

<sup>7</sup> NRMM = Non Road Mobile Machinery.

Het aanbod van middelzware tot zware machines is momenteel nog beperkt maar groeit. Met name de grote elektrische werktuigen zijn vaak nog omgebouwde dieserversies. Bij ombouw wordt in een conventioneel werktuig de fossiele verbrandingsmotor vervangen door één of meer elektromotoren met accupakket(ten). De accu's kunnen permanent bevestigd of verwisselbaar zijn.

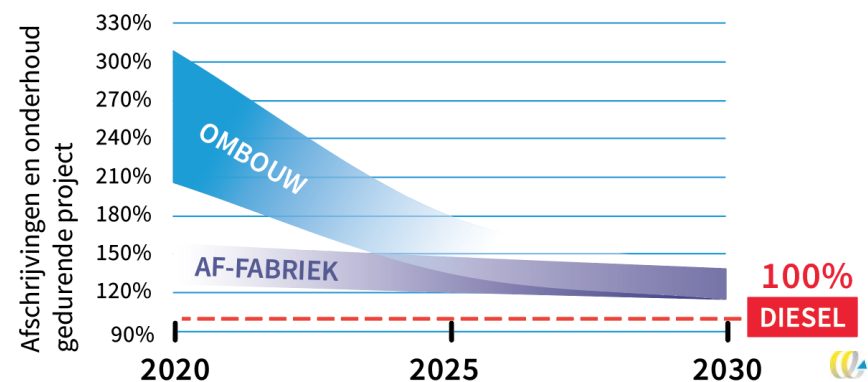
Figuur 2 - Twee typen batterij-elektrisch werktuig, ombouw van dieserversie naar batterij-elektrisch of werktuig ontworpen en gefabriceerd vanuit de fabrikant (af-fabriek)



Het aandeel ombouw zal naar verwachting plaatsmaken voor machines die vanuit de fabriek batterij-elektrisch zijn ontworpen en gefabriceerd (af-fabriek), zoals te zien is in Figuur 3.

De productiekosten van af-fabriek elektrische werktuigen liggen lager dan die van werktuigen die omgebouwd zijn. Ombouw betreft vaak prototypes of specifiek en op maat gemaakt materieel, waar relatief veel ontwikkel-tijd en -budget voor nodig is.

Figuur 3 - Ontwikkeling van materieelkosten, bestaande uit afschrijving en onderhoud over de projectduur. Analyse op basis van deskresearch en accuprijzen (Tabel 2)



Projectgemiddeld komen de **materieelkosten** (afschrijving en onderhoud gedurende het project) daarmee in 2020 circa twee tot drie keer hoger uit dan voor vergelijkbaar conventioneel materieel. Richting 2030 dalen de materieelkosten (vooral door stijgend aandeel af-fabriek materieel) en komen naar verwachting gemiddeld circa 1,2 tot 1,4 maal hoger uit dan voor diesel.

Wanneer we verder inzoomen op de materieelkosten, dan blijkt uit een inventarisatie van beschikbaar elektrisch materieel dat de **aanschafkosten** momenteel circa drie tot vier keer hoger liggen dan vergelijkbaar conventioneel materieel. In 2020 betreft dit veel elektrisch materieel op basis van ombouw. Op de lange termijn zullen de meerkosten van elektrisch materieel vooral worden bepaald door de accuprijs<sup>8</sup> (af-fabriek).

<sup>8</sup> TNO, 2021. Kostencurves droog grondverzet.



We nemen aan dat het aandeel af-fabriek zal groeien en in 2030 alle elektrische mobiele werktuigen af-fabriek zijn.

De accuprijs hebben we berekend aan de hand van de verwachte accucapaciteit per werktuig (kWh) en de prijs per kWh, zie Tabel 2.

Deze prijzen zullen naar verwachting significant dalen en daarmee ook de aanschafkosten van elektrisch materieel.

Tabel 2 - Accuprijzen opgenomen in berekening kosten materieel

2020 [€/kWh]	2025 [€/kWh]	2030 [€/kWh]
350	299	256

Bron: Batterijkosten in 2020<sup>9</sup>, vermenigvuldigd met verloop naar 2030.<sup>10</sup>

De kosten voor **onderhoud** liggen voor elektrisch materieel lager. Uitgedrukt in €/draaiuur, gaan we voor grote conventionele dieselmachines uit van tussen de € 3 tot € 5 en bij klein mechanisch gereedschap van € 0,5 tot € 1,0. In dit onderzoek nemen we aan dat de onderhoudskosten voor elektrisch materieel de helft bedragen van conventioneel materieel.

<sup>9</sup> Topsector Logistiek, 2020. Laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen in stadslogistiek.

<sup>10</sup> NREL, 2021. Cost projections for Utility-Scale Battery Storage.





# 4 Kosten energievoorziening

Om machines te kunnen laten draaien, dienen er energievoorzieningen op de bouwplaats te zijn. Voor conventionele werktuigen worden er meestal dieseltanks naar de bouwplaats getransporteerd, waaruit de machines worden bijgetankt. Bij elektrische werktuigen zijn er meerdere opties mogelijk om de batterijen op te laden.

## Verschillende opties voor energievoorzieningen

Per locatie verschilt het welke configuratie van energievoorziening het goedkoopst en meest relevant is. Binnen het onderzoek zijn per voorbeeldproject meerdere opties voor energievoorziening bekeken.

We lichten hier de drie meest relevante toe, namelijk:

- een batterijcontainer op de bouwplaats voor kortlopende projecten (< 6 maanden);
- een netaansluiting op de bouwplaats voor langlopende projecten (> 6 maanden);
- het gebruik van wisselaccu's die opgeladen worden op een locatie in eigen beheer en naar de bouwlocatie worden getransporteerd (zie Tabel 3).

Tabel 3 - Mogelijkheden en toepasbaarheid van energievoorzieningen op de bouwplaats

Infrastructuur	Beschrijving	Toepasbaarheid
Batterijcontainer	Een batterijcontainer kan op de bouwplaats neergezet worden en heeft genoeg capaciteit om meerdere werktuigen of wisselaccu's op te laden. Wanneer de container leeg raakt dient deze (elders) opgeladen te worden en is transport nodig.	Projecten met relatief korte doorlooptijd (< 6 maanden), waarbij het aanleggen van een vaste aansluiting niet haalbaar is.
Aansluiting op de bouwplaats	Hier wordt een nieuwe aansluiting op het elektriciteitsnet aangevraagd. Deze aansluiting kan tijdelijk zijn (bouwaansluiting) of permanent.	Projecten met relatief lange doorlooptijd (> 6 maanden).
Verwisselbare accu's	Accupakketten die in een werktuig verwisseld kunnen worden wanneer ze leeg raken. Doordat accu's buiten het werktuig geladen kunnen worden ontstaat er minder tijdverlies doordat werktuigen niet buitengebruik staan om op te laden. De accu's kunnen op de bouwplaats opgeladen worden of op een externe locatie, waarbij in dat laatste geval accutransport nodig is.	Relevant wanneer de benodigde energie niet genoeg is om alleen in rusttijden of 's nachts te laden. Wisselaccu's kunnen optioneel gecombineerd worden met andere toepassingen.

## Energiekosten

Om de energiekosten<sup>11</sup> te bepalen is inzicht nodig in de elementen waaruit de energiekosten zijn opgebouwd. Deze elementen staan gepresenteerd in Tabel 4 en vormen samen de totale energiekosten voor het materieel op de bouwplaats. Ter vergelijking, de energiekosten voor het gebruik van conventioneel dieselmaterieel zijn, uitdrukt per kWh elektriciteit, gelijk aan € 0,36 per kWh.

<sup>11</sup> Energiekosten worden in dit onderzoek weergegeven als €/kWh.



Tabel 4 - Opbouw van energiekosten

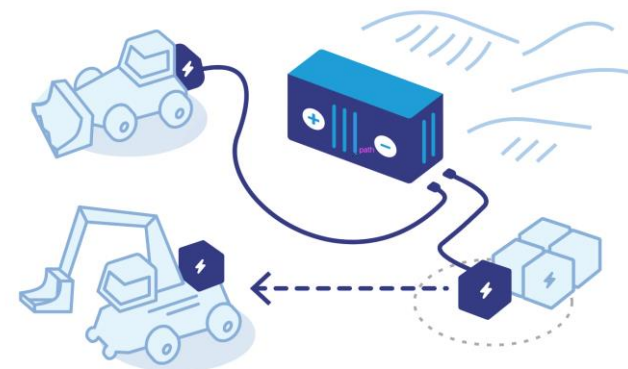
Kosten	Beschrijving
Inkoop elektriciteit en netkosten	De kosten voor de inkoop van elektriciteit bestaan uit de groot-handelsprijs en belastingen (energiebelasting en ODE <sup>12</sup> ). Voor de ontwikkelingen van de elektriciteitsprijs baseren we onze aannames op de projecties van PBL <sup>13</sup> . Netkosten bestaan uit een eenmalige aansluitvergoeding, een periodieke aansluitvergoeding en een transportvergoeding.
Batterijcontainer(s)	Batterijcontainers kunnen aangeschaft worden of gehuurd. Daarnaast zijn er kosten voor transport van en naar de bouwplaats.
Laadpalen	Werktuigen of losse accu's worden opgeladen door laadpalen. We gaan, afhankelijk van het project, uit van 150 kW en 350 kW laadaansluitingen (snelladers). De kosten bestaan uit de aanschaf en afschrijving over de projectduur.
Batterij-/accu-transport	Wanneer een batterijcontainer leeg raakt zal deze op een locatie buiten de bouwplaats opgeladen moeten worden. Hetzelfde geldt voor verwisselbare accu's. Hiervoor is transport nodig per vrachtwagen.
Wisselaccu's	Kosten voor de aanschaf en de afschrijving van de verwisselbare accu's over de projectduur. Hierin nemen we niet de accu's mee wanneer deze onderdeel uitmaken van het werktuig zelf.
Verwisselen van accu's	Een knijperwagen is nodig om de accupakketten te verwisselen in een werktuig.

### Batterijcontainer op de bouwplaats

De batterijcontainer kan gebruikt worden om energie naar de bouwplaats toe te brengen. Dit is interessant wanneer het niet mogelijk is om een aansluiting met het elektriciteitsnet te realiseren op de bouwplaats of wanneer het project een te korte duur heeft voor het aanleggen van een aansluiting. Batterijcontainers zijn om deze redenen vooral relevant voor kortlopende projecten (< 6 maanden).

<sup>12</sup> ODE = Opslag Duurzame Energie.

Figuur 4 - Batterijcontainer, gebruik van wisselaccu's is optioneel

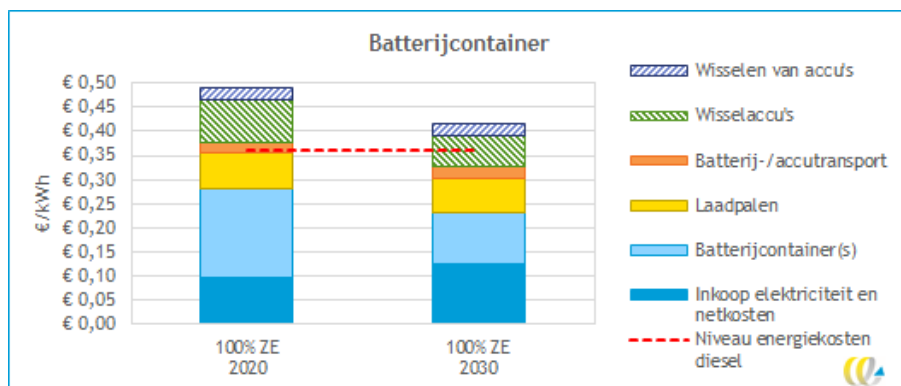


Voor kortlopende intensieve projecten (< 6 maanden) blijkt dat het gebruik van batterijcontainers vergelijkbare energiekosten heeft als het gebruik van diesel in 2020 (Figuur 5). Voor 2030 liggen de energiekosten met het gebruik van batterijcontainers op de bouwplaats gemiddeld lager dan wanneer er diesel wordt gebruikt. Het aandeel van de batterijcontainer in de totale energiekosten is relatief groot, maar neemt af richting 2030. Wanneer er binnen het project geen ruimte is om laadtijd in te passen zouden wisselaccu's van pas kunnen komen (in aanvulling op de batterijcontainers). Echter, hierdoor stijgen de totale energiekosten, die dan ook in 2030 mogelijk hoger uitkomen dan voor diesel, afhankelijk van de specifieke situatie (Figuur 5 geeft het gemiddelde van meerdere cases weer).

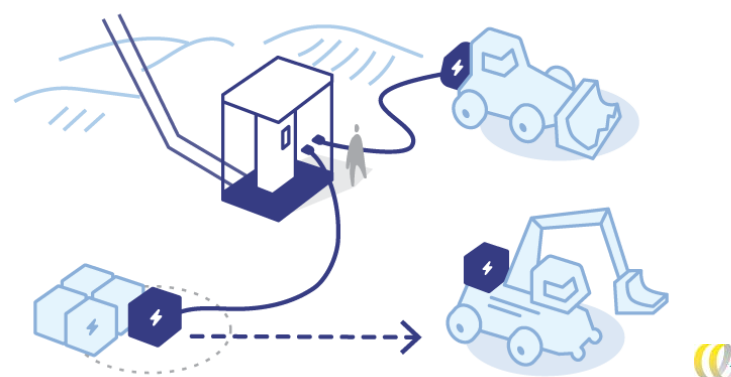
<sup>13</sup> Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 2021. Klimaat en Energieverkenning 2021.



Figuur 5 - Energiekosten gebruik batterijcontainer bij korte projecten (< 6 maanden)



Figuur 6 - Aansluiting op de bouwplaats, gebruik van wisselaccu's is optioneel



### Aansluiting op de bouwplaats

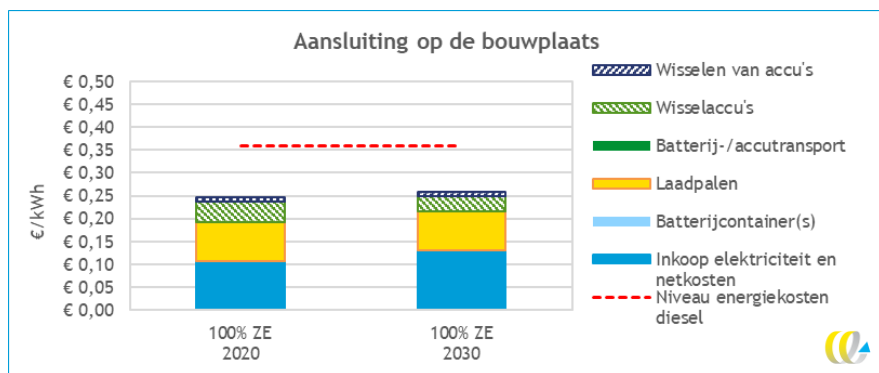
Uit de analyse blijkt dat een aansluiting op de bouwplaats het meest direct en daarom het effectiefst en goedkoopst is om werktuigen op te laden. Optioneel is het gebruik van wisselaccu's die opgeladen worden op de bouwplaats.

De energiekosten voor een aansluiting op de bouwplaats vallen gemiddeld ver onder energiekosten voor diesel (Figuur 7). Het is voor deze optie met name van belang dat de aansluiting op tijd gerealiseerd kan worden. Het aanleggen van de bouwaansluiting dient vooraf aangevraagd te worden bij de netbeheerder en daardoor meegenomen te worden in de planning, bijvoorbeeld op het moment dat alle bestaande kabels en leidingen op de bouwplaats in kaart worden gebracht. Tot voor kort moest volgens de wet een netbeheerder een bouwaansluiting realiseren binnen 18 weken. Dit is tegenwoordig een 'redelijke afsluitermijn'<sup>14</sup>. Indien er in de regio onvoldoende capaciteit beschikbaar is, kan de aansluitermijn een stuk langer zijn, soms wel enkele jaren. Een aansluiting op de bouwplaats is daarom vooral relevant voor langlopende projecten (> 6 maanden).

<sup>14</sup> ACM, 2022. [Hoe kan ik een bouwaansluiting \(tijdelijke aansluiting\) krijgen?](#)



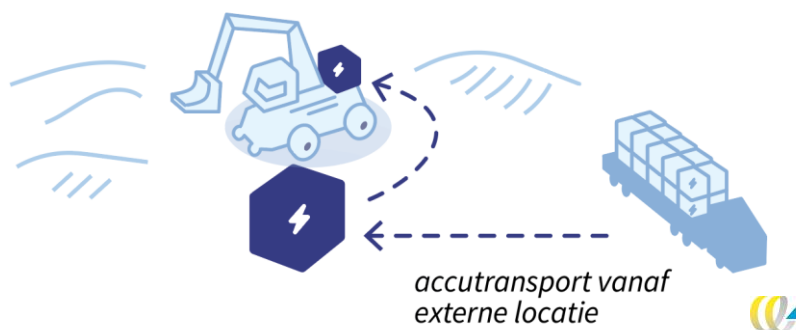
Figuur 7 - Energiekosten gebruik bouwaansluiting bij lange projecten (> 6 maanden)



### Wisselaccu's met opladen op locatie in eigen beheer

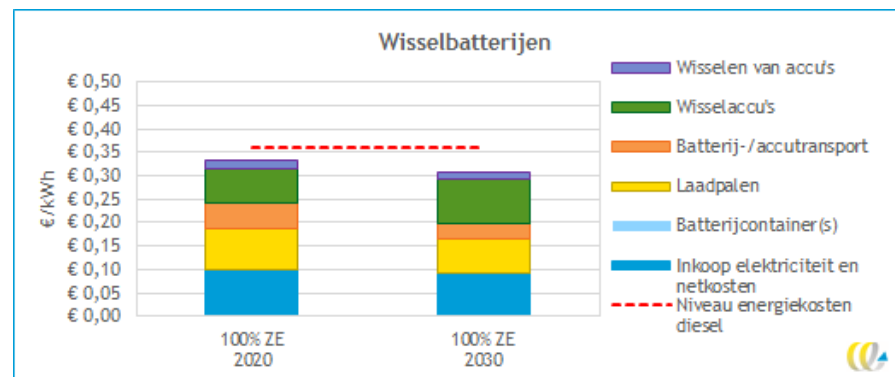
Wisselaccu's zijn relevant voor kortlopende en langlopende projecten. In dit scenario zijn wisselaccu's de hoofdenergievoorziening, waarbij geen andere energievoorziening op de bouwplaats gebruikt wordt. Het verwisselen wordt uitgevoerd met een vorkheftruck of knijperwagen.

Figuur 8 - Wisselaccu's die aangevoerd worden vanaf een locatie buiten de bouwplaats



De energiekosten zijn gemiddeld lager dan de energiekosten voor het gebruik van diesel. Hierbij gaan we uit van het laden op een terrein in eigen beheer. Het laden van accu's tegen een commercieel laadtarief komt namelijk ver boven het niveau van diesel uit.

Figuur 9 - Energiekosten gebruik wisselbatterijen, korte en lange projecten



### Vergelijking tussen energievoorzieningen

De energievoorzieningen verschillen gemiddeld qua energiekosten. Tussen de drie verschillende energievoorzieningen zijn belangrijke verschillen te onderscheiden:

- Een aansluiting op de bouwplaats heeft veelal de laagste kosten en is vooral interessant voor relatief langlopende projecten. Aangezien de aanleg van de aansluiting tijd kost en er rekening gehouden moet worden met de planning van het project, is deze manier van energievoorziening minder relevant voor relatief kortlopende projecten.
- Voor kortlopende, energie-intensieve projecten zijn batterijcontainers goed toepasbaar door de flexibiliteit die ze bieden. Batterijcontainers kunnen namelijk relatief snel ingezet worden op de



- bouwplaats, sneller dan het aanleggen van een vaste netaansluiting. Bij langlopende projecten is een aansluiting op de bouwplaats voordeliger.
- In sommige gevallen zijn de kosten voor een batterijcontainer lager dan het gebruik van wisselaccu's die op een locatie buiten de bouwplaats geladen worden en getransporteerd. Dit hangt af van het type project en vooral de intensiteit van de energievraag. Als de energievraag hoog is wordt er efficiënt gebruikgemaakt van de batterijcontainer en dalen de energiekosten. Dit komt omdat de huur- of aanschafkosten van de batterij vaststaan en zo de (gemiddelde) energiekosten (€/kWh) dalen.
  - Wisselaccu's zijn als hoofdenergievoorziening te gebruiken, of als toevoeging op een andere hoofdenergievoorziening zoals een batterijcontainer of aansluiting op de bouwplaats. Als toevoeging kunnen wisselaccu's mogelijk ertoe leiden dat energiekosten hoger worden dan voor diesel.
- De combinatie van een vaste aansluiting op het elektriciteitsnet en een batterijcontainer voor peakshaving<sup>15</sup> blijkt kostbaarder dan een grotere aansluiting met meer capaciteit (indien realiseerbaar). Wanneer een grotere aansluiting niet te realiseren is kan peakshaving natuurlijk wel een goede oplossing bieden.
  - Het laden van machines of van wisselaccu's op een externe locatie zoals bij een publiek snellaadstation, tegen een commercieel tarief van elektriciteit van 0,40 €/kWh, is duurder dan het laden op eigen terrein.

### *Overige energievoorzieningen*

Andere combinaties van energievoorziening blijken minder relevant te zijn voor een zero-emissiebouwplaats. Hierin spelen kosten en de toepasbaarheid een rol. De volgende energievoorzieningen hebben we geanalyseerd. Deze kwamen gemiddeld duurder uit dan de hiervoor behandelde drie energievoorzieningen:

- De inzet van extra elektrisch materieel is kostentechnisch erg ongunstig. Het idee is dat extra materieel ingezet wordt wanneer ander materieel geladen wordt. Het is gunstiger om (extra) wisselaccu's te gebruiken.

---

<sup>15</sup> Peakshaving is het opvangen van piekvraag in energie door het gebruik van de extra capaciteit die een batterijcontainer op bepaalde momenten kan leveren.

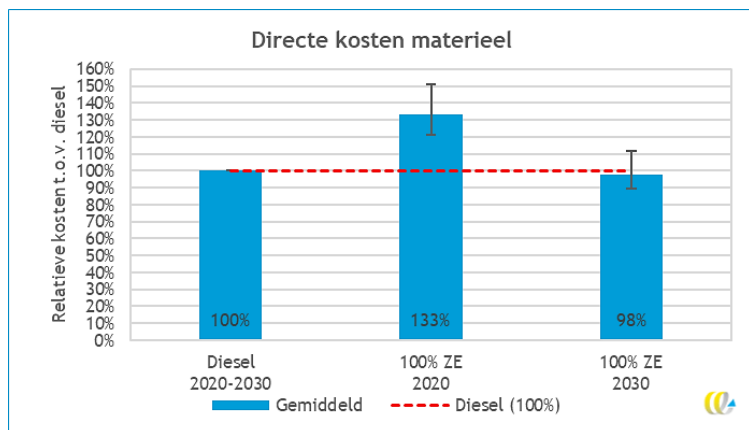


# 5 Meerkosten zero-emissiebouwplaats

## Meerkosten zero-emissiebouwplaats

De kostenposten die beïnvloed worden door de overstap naar zero-emissie zijn de directe kosten van materieel, bestaande uit de kosten voor bouwlogistiek, materieelkosten en energiekosten. Figuur 10 geeft de directe kosten van materieel weer. Deze vormen een gedeelte van de totale directe projectkosten (Figuur 12).

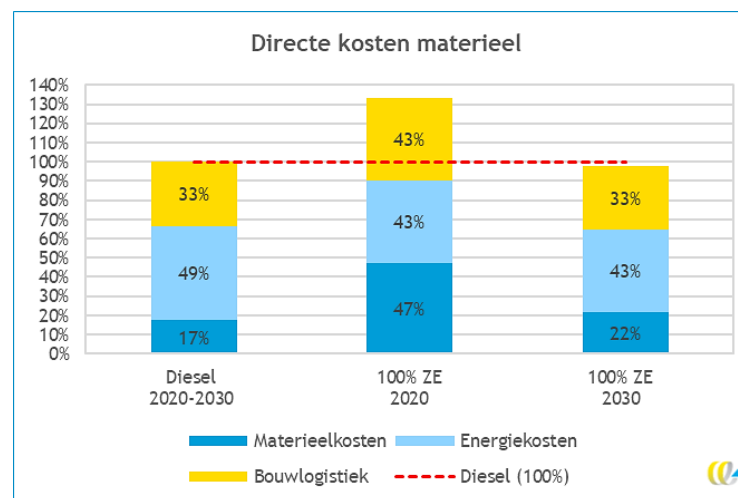
Figuur 10 - Vergelijking tussen directe kosten van materieel voor diesel en batterij-elektrisch



Uit de analyse komt naar voren dat de gemiddelde directe kosten van materieel voor elektrisch in 2020 circa 133% bedragen van de directe kosten van materieel van diesel (variërend van 115 tot 146%). In 2030

zakken de kosten naar 98% van diesel (variërend van 84 tot 106%). Binnen de totalen van Figuur 10 hebben de elementen bouwlogistiek, materieel- en energiekosten een verschillend verloop. In Figuur 11 wordt dit weergegeven.

Figuur 11 - Directe materieelkosten van batterij-elektrisch, opgesplitst in aandelen bouwlogistiek, energie- en materieelkosten, ten opzichte van diesel



Waar de directe kosten van materieel voor elektrisch aangedreven bouwlogistiek in 2020 nog hoger zijn dan voor diesel, zijn deze in 2030 ongeveer gelijk. In 2030 zijn de energiekosten lager voor elektrisch dan voor diesel. Materieelkosten zijn in 2020 significant hoger voor elektrisch dan voor diesel, maar de meerkosten nemen af richting 2030. Dit komt doordat de aanschafkosten van elektrische machines lager worden. We gaan ervan uit dat in 2020 alle machines ombouw zijn en in 2030 alle machines af-fabriek.

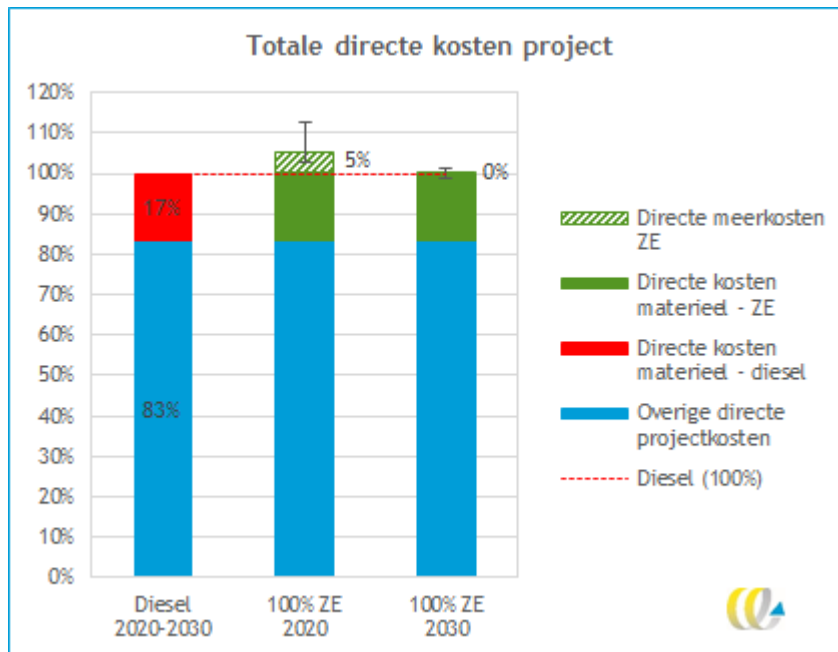




## Impact op totale directe projectkosten

Zoals eerder genoemd in dit hoofdstuk vormen de directe kosten van materieel een onderdeel van de totale directe projectkosten. Deze bestaan onder andere ook uit kosten voor bijvoorbeeld materialen en grondstoffen, maar ook personeelskosten. Van de voorbeeldprojecten uit de studie van CE Delft<sup>16</sup> vormen de directe kosten van materieel gemiddeld circa 17% van de totale directe projectkosten, maar dit varieert sterk tussen projecten.

Figuur 12 - Meerkosten van zero-emissiebouwplaats op de totale projectkosten



De meerkosten van de inzet van zero-emissiebouwmaterieel in 2020 ten opzichte van de directe kosten van de opdrachtnemer (zonder overheadkosten) zijn gemiddeld 5% en variëren tussen de 3 tot 12%, afhankelijk van het type project en het laadsceario. Over de totale directe en indirecte kosten (overhead, engineering, winstmarge, btw) zijn de meerkosten dan gemiddeld 3,5%. Hierin is geen rekening gehouden met fiscale regelingen en subsidie. Aangenomen dat in 2030 materieel af-fabriek geleverd kan worden, zijn er naar verwachting gemiddeld geen meerkosten meer op de totale projectkosten ten opzichte van diesel. Tussen de cases variëren de meerkosten tussen de -2 en 1%. Er zijn dus ook verschillende scenario's waarin de kosten van zero-emissiebouwmaterieel lager uitvallen dan voor dieselmaterieel in 2030.

### Kader 2 - Meerkosten zero-emissiebouwplaats afhankelijk van aandeel directe materieelkosten

Het aandeel van de directe materieelkosten is sterk afhankelijk van de aard van het bouwproject. Sommige projecten hebben een groot aandeel directe materieelkosten, waardoor de meerkosten voor een zero-emissiebouwplaats relatief hoger uitvallen. Om de specifieke meerkosten van een zero-emissiebouwplaats te bepalen is het van belang om de verhouding van directe materieelkosten te weten op de totale directe projectkosten.

<sup>16</sup> CE Delft, 2022. ZE-bouwplaats: Inrichting ZE-bouwplaats en meerkosten.

# 6 Conclusies

In dit onderzoek hebben we onderzocht wat de meerkosten zijn wanneer 100% van alle werktuigen en voertuigen op de bouwplaats batterij-elektrisch worden aangedreven. Uit ons onderzoek komen drie manieren van energievoorziening op de bouwplaats naar voren die kostentechnisch het meest aantrekkelijk zijn:

- batterijcontainer op de bouwplaats;
- netaansluiting op de bouwplaats;
- wisselaccu's die op een locatie in eigen beheer geladen worden.

In 2020 bedragen de meerkosten van een zero-emissiebouwplaats voor de bestudeerde cases gemiddeld circa 5% op de totale directe projectkosten voor de opdrachtnemer. In 2030 zijn de totale projectkosten van een zero-emissiebouwplaats vergelijkbaar met conventionele bouwplaats waar diesel gebruikt wordt.

De relatieve meerkosten van een zero-emissiebouwplaats zijn echter sterk afhankelijk van het type bouwplaats en variëren in 2020 voor de bestudeerde bouwplaatsen tussen de 3 en 12% op de totale directe projectkosten. De specifieke meerkosten zijn met name afhankelijk van het aandeel directe materieelkosten op het totaal van projectkosten en het type energievoorziening.

De resultaten geven binnen een bandbreedte een goede indicatie van de meerkosten van zero-emissiebouwmaterieel en laten zien dat, volgens de verwachte ontwikkelingen van batterij- en elektriciteitsprijzen, de kosten zullen gaan afnemen richting 2030 en in veel gevallen ook een positieve businesscase opleveren.



# Colofon

Delft, CE Delft, april 2023

Deze publicatie is geschreven door:  
Eric Tol, Matthijs Otten, Joeri Vendrik (CE Delft);  
Paul van de Lande (Amsterdam Consultants)

Publicatienummer: 22.220269.132

Mobiele werktuigen / Zero-emissiebouw / Goederenvervoer / Laadinfrastructuur

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

© copyright, CE Delft, Delft



## CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.