

DECISIO



Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
ADDENDUM FINANCIËLE IMPACT
SCHOON EN EMISSIELOOS BOUWEN:
EXTRA PERIODEN

DEFINITIEF

DECISIO

TITEL

Addendum financiële impact schoon en emissieloos bouwen: extra perioden

DATUM

4 september 2023

STATUS RAPPORT

Definitief

OPDRACHTGEVER

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

PROJECTTEAM DECISIO

Peter Haanen

Thijs Visscher

Niels Hoefsloot

CONTACTGEGEVENS DECISIO | ECONOMISCH ONDERZOEK EN ADVIES

Valkenburgerstraat 212

1011 ND Amsterdam

T 020 – 67 00 562

E info@decisio.nl

I www.decisio.nl

Bron afbeelding voorblad: Ingimage

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	1
2.	Methodiek	2
2.1	Casussen	2
2.2	Perioden en emissie-eisen Routekaart SEB	2
3.	Resultaten financiële impact	5
3.1	Volledig elektrisch	5
3.2	Minimumniveau.....	6
3.3	Basisniveau	8
Bijlage 1. Uitgangspunten		11
	Conventionele werktuigen	11
	Elektrische werktuigen	12
	Kostprijs SCR katalysator en DPF roetfilter	14
	Energiedragers	15
	Minimum- en basisniveau routekaart	15
Bijlage 2. Bronnen		17

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, CO₂ 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 heeft Decisio in februari 2023 een rapport¹ opgeleverd over de financiële impact van schoon en emissieloos bouwen op projectniveau. In dit onderzoek is 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 conventionele werkwijze met diesel en benzine als brandstof. Dit addendum beschrijft de resultaten van dit onderzoek voor de perioden 2025, 2028 en 2030 voor de casussen herinrichting weg, bouwrijp maken, dijkversterking en baggeren.

Leeswijzer

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

¹ <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2023D30184&did=2023D30184>

2. Methodiek

De methodiek die gehanteerd wordt is uitgebreid beschreven in het initiële rapport: ‘Onderzoek financiële impact schoon en emissieloos bouwen’ (Decisio, februari 2023²). In het hoofdrapport staat beschreven dat een directe vaste netaansluiting het meest voor de hand ligt qua laadinfrastructuur voor de hieronder onderzochte casussen. We rekenen alleen deze optie door in dit addendum, mits er gebruik gemaakt wordt van elektrisch materieel³.

2.1 Casussen

In deze studie zijn vier casussen doorgerekend, namelijk:

- Herinrichting weg stedelijk gebied
- Bouwrijp maken voor nieuwbouwontwikkeling
- Dijkversterking
- Baggeren⁴

2.2 Perioden en emissie-eisen Routekaart SEB

In de Routekaart SEB worden vier termijnen gehanteerd: 2023, 2025, 2028 en 2030. In lijn met de eerdere analyses van de financiële impact van schoon en emissieloos bouwen op projectniveau wordt gekeken naar drie verschoningsopties: minimumniveau, basisniveau en volledig elektrisch (zie volgende pagina voor de bijbehorende eisen). Voor het minimum- en basisniveau worden alle perioden doorgerekend. Voor de optie volledig elektrisch wordt alleen gekeken naar 2023 en 2030.

Tabel 2-1 Meegenomen verschoningsopties en perioden

	2023	2025	2028	2030
Minimumniveau	X	X	X	X
Basisniveau	X	X	X	X
Volledig elektrisch	X			X

Het minimumniveau geldt voor mobiele werktuigen die gebruikt worden bij bouw- en sloopactiviteiten die vergunning- of meldingsplichtig zijn. Het basisniveau geldt voor bouw-, sloop- en onderhoudsprojecten met een publieke opdrachtgever en is van

² <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2023D30184&did=2023D30184>

³ Andere opties (m.u.v. tijdelijke vaste aansluiting) zijn kostentechnisch nauwelijks verschillend van elkaar. Voor de casus baggeren is dezelfde methodiek gebruik.

⁴ Deze casus is beschreven in een addendum op het hoofdrapport.

toepassing op mobiele werktuigen, voertuigen en vaartuigen. Het volledig elektrisch niveau geldt voor mobiele werk-, voer- en vaartuigen.

Tabel 2-2 Gehanteerde emissie-eisen minimumniveau Routekaart

	kW/type	2023	2025	2028	2030
Mobiele werktuigen	1-19	-	-	100% zero emission*	100% zero emission*
	19-37	Stage IIIa	Stage IIIa	100% zero emission*	100% zero emission*
	37-56	Stage IIIb	Stage IIIb	Stage IIIb	100% zero emission*
	56-130	Stage IIIa	Stage IV met roetfilter	Stage IV met roetfilter	Stage IV met roetfilter
	130-560	Stage IIIa	Stage IV met roetfilter	Stage IV met roetfilter	Stage IV met roetfilter
	>560	-	-	Katalysator en roetfilter	Katalysator en roetfilter
	Stationair	Stage IIIa	Stage IV met roetfilter	100% zero emission*	100% zero emission*

* TNO (2023) gaat door de overgangsregeling uit van 70 procent zero emission.

Bron: routekaart SEB, april 2023

Tabel 2-3 Gehanteerde emissie-eisen basisniveau Routekaart

	kW/type	2023	2025	2028	2030
Mobiele werktuigen	1-19	-	-	100% zero emission	100% zero emission
	19-37	Stage IIIa	Stage IIIa	100% zero emission	100% zero emission
	37-56	Stage IIIb	Stage IIIb	100% zero emission	100% zero emission
	56-130	Stage IIIb	Stage IV met roetfilter	Stage IV met roetfilter	Stage IV met roetfilter
	130-560	Stage IIIb	Stage IV met roetfilter	Stage IV met roetfilter	Stage IV met roetfilter
	>560	-	-	Katalysator en roetfilter	Katalysator en roetfilter
	Stationair	Stage IIIb	Stage IV met roetfilter	100% zero emission	100% zero emission
Voertuigen	Bestelauto's (N1)	Euro 5	Euro 6	100% zero emission	100% zero emission
	Lichte vrachtwagens (N2)	Euro V	Euro VI	Euro VI	100% zero emission
	Zware vrachtwagens (N3)	Euro V	Euro VI	Euro VI	Euro VI

Vaartuigen	Transitiepad kustlijn- en vaargeulonderhoud - zoet	Minimaal 20% duurzame energiedragers	Minimaal 35% duurzame energiedragers	Emissie-eisen conform CCR II. Minimaal 60% duurzame energiedragers	Emissie-eisen conform CCR II. Minimaal 75% duurzame energiedragers
------------	--	--------------------------------------	--------------------------------------	--	--

Bron: routekaart SEB, april 2023

Prijsontwikkeling

Om de casussen op verschillende tijdstippen in de toekomst te berekenen gebruiken we prijsontwikkelingen voor kosten van energiedragers en voor aanschafkosten van materieel. Op lange termijn nemen we aan dat diesel en benzine duurder zullen worden ten opzichte van elektriciteit⁵. Omdat er geen recente analyse beschikbaar is over de ontwikkeling van biobrandstof, wordt er in dit rapport vanuit gegaan dat de prijs van biobrandstof constant blijft⁶. Daarnaast verwachten we dat door schaalvoordelen en innovaties de aanschafkosten voor elektrisch materieel omlaag zullen gaan. In het rekenmodel passen we voor de mobiele werktuigen hierop een kostprijsverbeteringsfactor toe. De aannames hierover zijn terug te vinden in Bijlage 1. In de casus baggeren is de kostprijsverbeteringsfactor niet toegepast op de beun- en transportschepen, vanwege onzekerheid over toekomstige voortstuwingsconcepten, brandstoffen, infrastructuur en regelgeving. De ontwikkeling naar elektrische vaartuigen komt daardoor in praktijk langzamer op gang.

⁵ Zie ook de ontwikkelingen zoals opgenomen in de Klimaat en energie verkenningen (2022) van het PBL

⁶ Dit heeft te maken met de verrekening van HBE opbrengsten die naar verwachting toenemen over tijd. Zie ook <https://www.emissieautoriteit.nl/organisatie-en-klimaatbeleid/klimaatbeleid/wat-is-hernieuwbare-energie-voor-vervoer>

3. Resultaten financiële impact

In dit hoofdstuk zijn per casus de resultaten van de doorrekening van de verschoningsopties toegelicht. De resultaten zijn samengevat in tabellen waarbij met percentages de financiële impact is weergegeven: hoeveel procent meer of minder kosten worden in de varianten gemaakt ten opzichte van het nulalternatief (een uitvoering met materieel op diesel/benzine). Hierin maken we onderscheid tussen basisniveau, minimumniveau en volledig elektrisch. Daarnaast zijn de meerkosten weergegeven voor de vier eerdergenoemde casussen, in de drie periodes (2025, 2028 en 2030) van de routekaart SEB. Voor de volledigheid staan de meerkosten voor 2023 ook in de tabellen, deze komen voort uit het hoofdrapport.

Om een beeld te krijgen van de omvang van de verschillende casussen staan in tabel 3-1 de totale projectkosten van het nulalternatief. De totale projectkosten van het nulalternatief bestaan uit afschrijvingen, verbruik energiedrager, onderhoud en verzekeringen. Arbeidskosten en materiaalkosten zijn hierin niet meegenomen. Voor alle casussen verwachten we dat de totale projectkosten voor conventionele projecten zullen stijgen over de tijd, doordat conventionele brandstofprijzen jaarlijks stijgen.

Tabel 3-1: totale projectkosten (afgerond) uitgaande van het nulalternatief (conventioneel). Prijspeil 2023

Casus	2023	2025	2028	2030
Herinrichting weg (x 1000)	€ 30	€ 30	€ 35	€ 40
Bouwrijp maken (x 1000)	€ 60	€ 65	€ 70	€ 75
Dijkversterking (x 1000)	€ 14.600	€ 15.100	€ 16.000	€ 16.600
Baggeren (x 1000)	€ 135	€ 135	€ 135	€ 135

3.1 Volledig elektrisch

De meerkosten van volledig elektrisch ten opzichte van conventioneel liggen in 2023 tussen 43 en 68 procent. De meerkosten voor het voldoen aan de emissie-eisen van dit niveau bestaan uit drie componenten. Ten eerste moeten werk- en voertuigen versneld worden afgeschreven. Ten tweede moeten er nieuwe werk- en voertuigen worden aangeschaft/omgebouwd zodat deze aan de juiste eisen voldoen. Ten derde moet er laadinfrastructuur worden gerealiseerd. De totale projectkosten bestaan uit afschrijvingen, verbruik energiedrager, onderhoud, verzekeringen en kosten voor laadinfrastructuur. Arbeidskosten en materiaalkosten zijn hierin niet meegenomen. De aanschafkosten van elektrisch materieel liggen

over het algemeen hoger dan de aanschafkosten van conventioneel materieel. Hierdoor zijn de jaarlijkse kosten voor afschrijvingen hoger. De brandstofkosten/verbruikskosten voor elektrisch materieel liggen echter lager, doordat elektriciteit een goedkopere brandstof is dan conventionele brandstof. De resultaten zijn weergegeven in tabel 3-2.

Tabel 3-2: meerkosten volledig elektrisch ten opzichte van het nulalternatief

Casus	2023	2030
Herinrichting weg	43%	1%
Bouwrijp maken	44%	-4%
Dijkversterking	53%	14%
Baggeren	68%	58%

In 2030 is een kostprijsverbeteringsfactor gehanteerd voor aanschaf van emissievrij bouw materieel. Daarnaast stijgen de diesel- en benzineprijzen harder dan de elektriciteitsprijs⁷. Deze ontwikkelingen maken conventioneel bouwen duurder (duurdere energiedrager) en elektrisch bouwen goedkoper (dalende aanschafprijzen en goedkopere energiedrager). Deze ontwikkeling is te zien in tabel 3.2: de meerkosten in 2030 nemen af ten opzichte van 2023. Voor casus herinrichting weg dalen de meerkosten van 43 naar 1 procent, voor bouwrijp maken van 44 naar -4 procent, voor dijkversterking van 53 naar 14 procent en voor baggeren van 68 naar 58 procent. De meerkosten voor baggeren dalen procentueel minder snel dan in de andere casussen, omdat de kostprijsverbeteringsfactor voor elektrische vaartuigen niet gehanteerd is.

3.2 Minimumniveau

Het minimumniveau geldt voor mobiele werktuigen die gebruikt worden bij bouw- en sloopactiviteiten die vergunning- of meldingsplichtig zijn. De meerkosten bij het minimumniveau ten opzichte van conventioneel variëren in 2025 per casus van 0,0 tot 0,7 procent, in 2028 van -1,9 tot 8,4 procent en in 2030 van -5,7 tot 7,2 procent.

Tabel 3-3: meerkosten minimumniveau ten opzichte van het nulalternatief.

Casus	2023	2025	2028	2030
Herinrichting weg	0,1%	0,2%	-1,9%	-5,7%
Bouwrijp maken	0,2%	0,3%	8,4%	7,2%
Dijkversterking	0,6%	0,7%	1,1%	1,7%
Baggeren ⁸	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

⁷ KEV prognose, PBL (2022)

⁸ Er zijn meerkosten in alle perioden voor de casus baggeren doordat er een roetfilter in de graafmachine geplaatst moet worden. Deze meerkosten zijn echter nihil.

Bij casus herinrichting weg moet in 2025 in drie van de twintig mobiele werktuigen een roetfilter geplaatst worden om aan het minimumniveau te voldoen. De meerkosten van het project stijgen daardoor naar 0,2 procent. In 2028 moet er laadinfrastructuur worden aangelegd, omdat alle niet-stationaire werktuigen onder kW 37 en alle stationaire werktuigen volledig elektrisch moeten zijn. De kosten van laadinfrastructuur zijn doorgerekend aan de hand van verwacht gebruik in de bouwfase. Hiervoor geldt: hoe langer de looptijd van het project, hoe groter het deel van de operationele- en investeringskosten voor laadinfrastructuur dat toegeschreven wordt aan het project. Voor casus herinrichting weg geldt dat in 2028 vijftien van de twintig werktuigen elektrisch zijn (minimumniveau). Naast extra kosten voor laadinfrastructuur zijn de afschrijfkosten op elektrisch materieel hier ook hoger, maar de kosten op energiedragers zijn lager. Onderaan de streep dalen de meerkosten naar -1,9 procent in 2028. De extra kosten voor laadinfrastructuur (deze kosten zijn relatief laag, omdat de looptijd van het project 'slechts' 42 dagen telt) en afschrijfkosten zijn lager dan de kostenbesparingen op de energiedrager. In 2030 dalen de meerkosten naar -5,7 procent. Enerzijds stijgen de kosten voor laadinfrastructuur omdat in 2030 zeventien van de twintig werktuigen elektrisch zijn (ten opzichte van vijftien in 2028). Anderzijds zijn vanwege de kostprijsverbeteringsfactor de totale kosten voor afschrijvingen lager en zijn de kosten voor energiedrager gedaald vanwege lagere elektriciteitsprijzen in 2030.

Bij casus bouwrijp maken is een andere ontwikkeling te zien. In eerste instantie stijgen de meerkosten naar 0,3 procent, omdat in alle twaalf mobiele werktuigen een roetfilter geplaatst moet worden. Vervolgens stijgen de meerkosten naar 8,7 procent. Hoewel er in 2028 maar één werktuig (bronneringspomp) in de casus bouwrijp maken elektrisch is, vindt er toch een behoorlijke stijging plaats. De bronneringspomp draait veel uren binnen het project, waardoor een significant deel van de investeringskosten voor de elektrische bronneringspomp aan dit project worden toebedeeld. Daarnaast is de looptijd langer ten opzichte van casus herinrichting weg, namelijk 70 dagen. Ook is voor de bronneringspomp laadinfra nodig met een significant hoog vermogen, waardoor de investerings- en operationele kosten relatief hoog zijn. In 2030 dalen de meerkosten naar 7,2 procent. Er vinden geen extra investeringen plaats om aan emissie-eisen te voldoen. De daling heeft te maken met het goedkoper worden van elektriciteit ten opzichte van conventionele brandstof en de daling in afschrijvingen vanwege de kostprijsverbeteringsfactor.

Voor de casus dijkversterking stijgen de meerkosten naar 0,7 procent in 2025, omdat in vijftientig van de achtentwintig mobiele werktuigen een roetfilter geplaatst moet worden. In 2028 stijgen de meerkosten verder (naar 1,1 procent), maar niet zo hard als in de casus bouwrijp maken. Dit komt doordat er slechts twee

werktuigen (twee minigravers) hoeven te voldoen aan de eis emissievrij. Hierdoor wordt weinig bespaard op de energiedrager en zijn er ook weinig meerkosten in verband met de laadinfrastructuur en aanschafkosten elektrisch materieel. In 2030 moet de wals elektrisch zijn. De meerkosten stijgen naar 1,7 procent. De besparingen op de energiedrager zijn lager dan de meerkosten vanwege laadinfrastructuur: er moet laadinfra met een hoger vermogen worden aangeschaft ten opzichte van 2028. Daarnaast heeft het project een looptijd heeft van 3.285 dagen, daarom wordt een groot deel van de investerings- en operationele kosten voor laadinfrastructuur toegewezen aan het project.

Het minimumniveau geldt alleen voor werktuigen, niet voor vaartuigen en voertuigen. Voor de casus baggeren zijn de meerkosten in alle perioden 0 procent. Dit komt doordat het materieel in deze casus bestaat uit één transportschip en een graafmachine gemonteerd op een beunschip. Er zijn meerkosten omdat de graafmachine vanaf 2025 moet voldoen aan Stage IV waarin een roetfilter vereist is. Omdat er voor de vaartuigen geen eisen gelden op het minimumniveau, zijn de meerkosten met betrekking tot de graafmachine nihil ten opzichte van de totale projectkosten.

3.3 Basisniveau

Het basisniveau geldt voor projecten met een publieke opdrachtgever en is van toepassing op mobiele werktuigen, vaartuigen en voertuigen. De meerkosten bij het basisniveau variëren in 2025 per casus van 0,2 tot 1,3 procent, in 2028 van -12,5 tot 4,2 procent en in 2030 van -17,5 tot 22,4 procent.

Tabel 3-4: meerkosten basisniveau ten opzichte van het nulalternatief.

Casus	2023	2025	2028	2030
Herinrichting weg	0,2%	0,3%	-12,5%	-17,5%
Bouwrijp maken	0,5%	1,0%	0,6%	-1,2%
Dijkversterking	1,0%	1,3%	0,6%	22,4%
Baggeren	0,2%	0,2%	4,2%	4,1%

Bij casus herinrichting weg moet in 2025 in drie van de twintig mobiele werktuigen een roetfilter geplaatst worden. Door deze investeringen stijgen de meerkosten ten opzichte van de totale projectkosten naar 0,3 procent. In 2028 dalen de meerkosten naar -12,5 procent, omdat alle bestelauto's en mobiele werktuigen van 1-56 kW (zeventien van de twintig) dan volledig elektrisch moeten zijn. Besparingen op de energiedrager zijn hoger dan de extra kosten voor laadinfrastructuur en de

hogere afschrijfkosten. De meerkosten dalen in 2030 naar -17,5 procent door lagere elektriciteitsprijzen en door lagere afschrijvingen ten opzichte van 2028.

Voor casus bouwrijp maken is een vergelijkbare ontwikkeling te zien als bij herinrichting weg. In eerste instantie stijgen de meerkosten van 0,5 naar 1,0 procent, omdat in twaalf mobiele werktuigen een roetfilter geplaatst moet worden. Vervolgens dalen de meerkosten naar 0,6 procent in 2028. De bestelbussen en bronneringspomp moeten voldoen aan de zero-emissie eis. Dit leidt tot besparingen op de energiedrager die hoger zijn dan de extra kosten voor laadinfrastructuur en afschrijfkosten voor het elektrisch materieel. In 2030 zijn de lichte vrachtwagens volledig elektrisch en dalen de meerkosten verder naar 0,7 procent. Wederom zijn de besparingen op de energiedrager hoger dan de extra afschrijfkosten. De kosten voor laadinfrastructuur nemen in 2030 niet toe ten opzichte van 2028.

Voor de casus dijkversterking stijgen de meerkosten in 2025 naar 1,3 procent in verband met het plaatsen van een roetfilter in vijftientig mobiele werktuigen. Vervolgens dalen de meerkosten in 2028 naar 0,6 procent. In 2028 zijn de bestelbussen, de minigravers en de wals volledig elektrisch. De besparingen op kosten voor de energiedrager zijn hoger dan de stijging van de afschrijfkosten van de bestelbussen en de toename in kosten door laadinfrastructuur. In 2030 is een significante stijging te zien van meerkosten naar 22,4 procent. Op dit project zijn elf lichte vrachtwagens ingezet die in 2030 allemaal volledig elektrisch zijn. De aanschafprijs van een lichte elektrische vrachtwagen ligt significant hoger dan de aanschafprijs van een conventionele lichte vrachtwagen. De besparing op energiedragers wegen niet op tegen de hogere afschrijfkosten, waardoor de meerkosten stijgen.

Voor casus baggeren zijn de meerkosten in 2023 en 2025 nagenoeg gelijk, namelijk 0,2 procent. De meerkosten zijn in 2025 wel gestegen in verband met het plaatsen van een roetfilter in de graafmachine, maar de stijging is nihil op de totale projectkosten. Daarnaast neemt de verhouding biobrandstof toe ten opzichte van de conventionele brandstof voor vaartuigen. Aangezien biobrandstof duurder is dan conventionele brandstof voor vaartuigen, stijgen de brandstofkosten naarmate een groter deel biobrandstof wordt vereist. Wel wordt er in het model vanuit gegaan dat de conventionele brandstof stijgt over tijd en dat de prijs van biobrandstof gelijk blijft. Dit leidt er toe dat brandstofprijzen wel stijgen, maar dat biobrandstof ten opzichte van conventionele brandstof relatief goedkoper wordt. In 2028 stijgen de meerkosten naar 4,2 procent. In de vaartuigen moet dan een SCR-katalysator en roetfilter geplaatst worden om aan de CCR II eisen te voldoen. De investeringen die hiervoor gedaan moeten worden leiden tot hogere afschrijvingen. In 2030 dalen de meerkosten naar 4,1 procent. Deze relatief kleine daling heeft te maken met de

brandstofprijzen. Doordat de prijs voor conventionele brandstof voor vaartuigen is doorgestegen en de prijs voor biobrandstof gelijk blijft, is biobrandstof relatief goedkoper geworden.

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 bedraagt⁹. 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:

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

- 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%¹⁰.
- 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 €1,62¹¹, daarnaast gaan we uit van een prijstoename van +4,8% per jaar¹².

⁹ Voor vaartuigen wordt uitgegaan van een economische levensduur van 15 jaar (bron: gesprekken stakeholders)

¹⁰ Uitgangspuntenlijst SEB (dec 2022)

¹¹ TLN brandstofmonitor, prijspeil januari 2023

¹² PBL (2022)

Voor conventionele werktuigen wordt uitgegaan van onderhoudskosten van 4% van de aanschafprijs per jaar (Decisio, 2021). Dit wordt vervolgens omgerekend naar de 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 dag¹³, gemiddeld 48 kilometer per rit¹⁴.
- 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 m² ¹⁵ en een gemiddelde afstand van 75 kilometer per rit¹⁶.
 - 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 uitgangspunten¹⁷.

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

	Mobiele werktuigen		Stationaire werktuigen	
	Benzine	Diesel	Benzine	Diesel
<5 kw	€ 625	€ 625	€ 3.600	

¹³ Aeriusberekening Prinses Carolinalaan Leidschendam (2021), Antea Group (2020)

¹⁴ MuConsult (2021), eigen inschatting Decisio

¹⁵ Antea Group (2020)

¹⁶ TNO (2018)

¹⁷ Uitgangspuntenlijst SEB (dec 2022)

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)

- De restwaarde is 10% van de aanschafprijs (Decisio, 2021).
- Vanwege verwachte schaalvoordelen gaan we ervan uit dat de aanschafkosten elektrisch ten opzichte van conventioneel in de toekomst lager zullen zijn ten opzichte van nu. Daarom wordt uitgegaan van een kostprijsverbeteringsfactor van 5% voor mobiele werktuigen onder de kW 19. Voor mobiele werktuigen groter dan of gelijk aan kW 19 wordt uitgegaan van een kostprijsverbeteringsfactor van 6%¹⁸.
- 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.
- In het zichtjaar van de perioden is de afschrijving van werktuigen opgehoogd met de kosten die al eerder gemaakt zijn als onderdeel van de niveaus in voorgaande jaren.

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

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

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%

¹⁸ TNO (2023)

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

Kostprijs SCR katalysator en DPF roetfilter

Werktuigen

Tabel 0-2: aanschafkosten retrofit SCR & Retrofit SCR + DPF per type

		Retrofit SCR	Retrofit SCR + DPF
Generatoren	19 <= kW < 37	€ 17.000	€ 25.500
	75 <= kW < 130	€ 21.500	€ 33.000
	560-1000 kW	€ 62.500	€ 103.000
Mobiele werktuigen	< 19 kW	N/A	N/A
	19 <= kW < 37	€ 17.000	€ 25.500
	37 <= kW < 56	€ 18.000	€ 27.000
	56 <= kW < 75	€ 19.000	€ 29.000
	75 <= kW < 130	€ 21.500	€ 33.000
	130 <= kW < 300	€ 29.500	€ 47.000
	300 <= kW < 560	€ 42.000	€ 68.000

Bron: TNO (2021). Scenarioberekening van het bereik en emissie-effect van de Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel

Indien een type niet in bovenstaande tabel staat (bijvoorbeeld bij de bronneringspomp) is de delta tussen de volgende twee formules¹⁹ toegepast voor het bepalen van de aanschafkosten van een roetfilter:

- SCR-systeem: $15.150 + 47,35 * P$ [kW] €
- SCR + DPF-systeem: $22.540 + 80,50 * P$ [kW] €

Vaartuigen

In het geval van vaartuigen wordt uitgegaan van €315.000 voor het installeren van een DPF roetfilter, €420.000 voor het installeren van een SCR-katalysator. De afschrijving van de investering wordt gerekend met een termijn 15 jaar, daarnaast wordt ervan uitgegaan dat er na 15 jaar geen restwaarde meer over is van de betreffende investering.²⁰

¹⁹ TNO (2021). Scenarioberekening van het bereik en emissie-effect van de Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel.

²⁰ TNO (2023)

Energiedragers

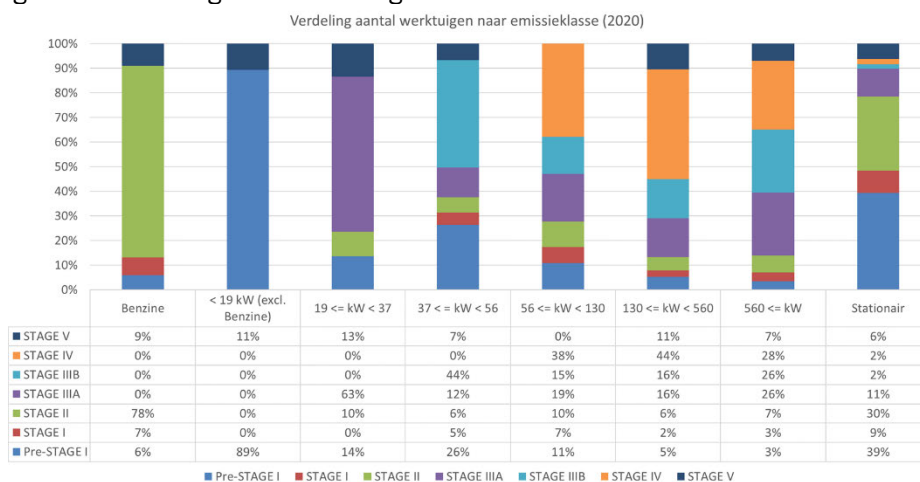
Wij zijn uitgegaan van de volgende prijzen voor energiedragers:

- Diesel: € 1,62/liter²¹, verwachte toename per jaar: 4,8%²².
- Benzine: € 1,68/liter²³, verwachte toename per jaar: 4,8%²⁴.
- Conventionele brandstof vaartuigen: € 0,62/liter²⁵, verwachte toename per jaar: 4,8%²⁶.
- Biobrandstof: € 0,87/liter (inclusief verrekening HBE)²⁷, geen verwachte toename per jaar.
- Elektriciteit: € 0,17, verwachte afname per jaar: 3,7%²⁸.

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 emissieclassen (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 aanschafprijs²⁹. Voor voertuigen is uitgegaan van een meerprijs van € 3.250,- t.o.v. de oorspronkelijke aanschafprijs³⁰.

Figuur 0-1 Verdeling aantal werktuigen naar emissieklasse in 2020



²¹ TLN brandstofmonitor, prijspeil januari 2023

²² PBL (2022)

²³ TLN brandstofmonitor, prijspeil januari 2023

²⁴ PBL (2022)

²⁵ TNO & EICB (2021)

²⁶ PBL (2022)

²⁷ TNO & EICB (2021)

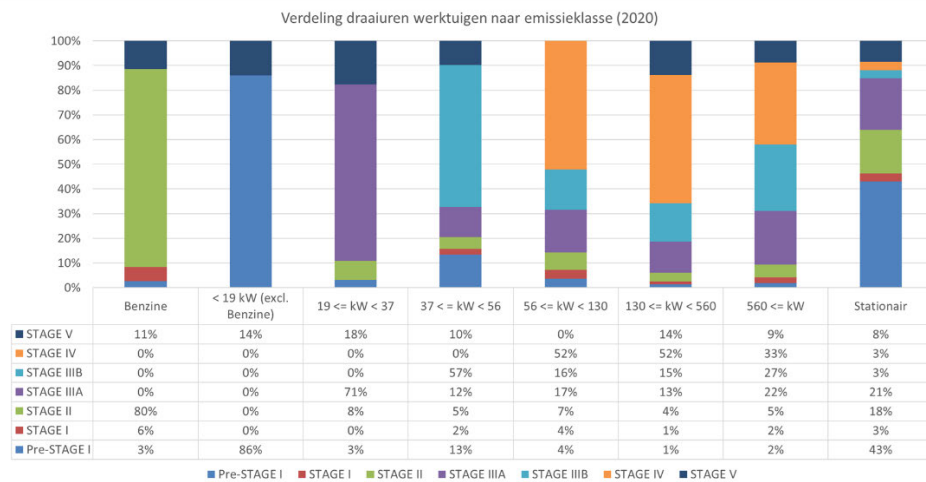
²⁸ PBL (2022)

²⁹ WUR (2012) en gesprekken stakeholders.

³⁰ MNP (2008) en CE Delft (2018)

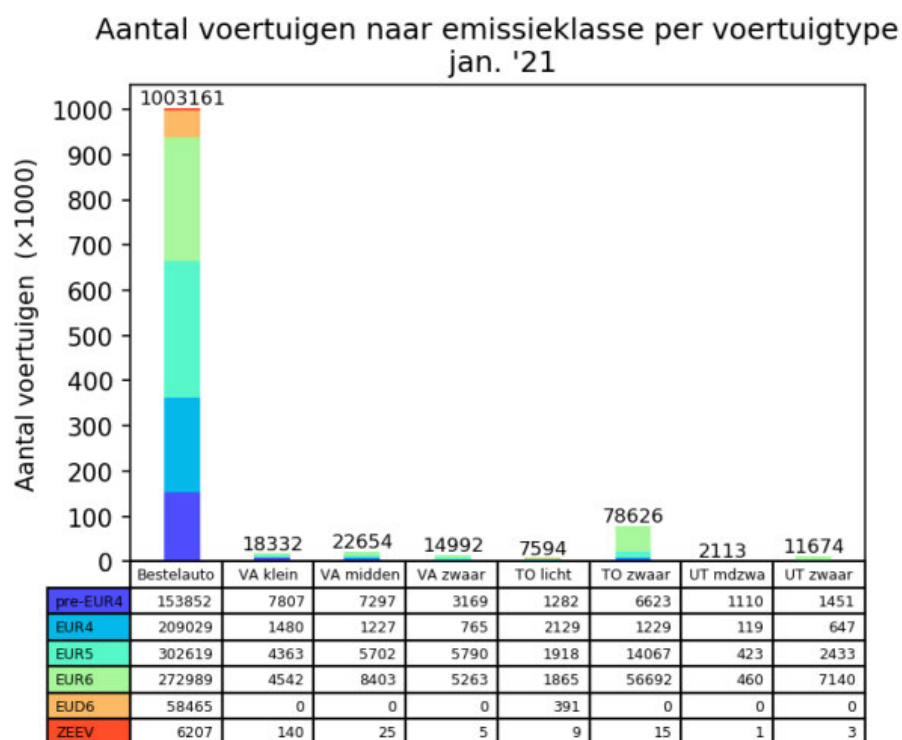
Bron: TNO

Figuur 0-2 Verdeling draaiuren werktuigen naar emissieklasse in 2020



Bron: TNO

Figuur 0-3 Verdeling voertuigen naar emissieklasse in 2021



Bron: TNO (2021). TNO (2021). Data onderzoek mobiele machines in Nederland.

Bijlage 2. Bronnen

Literatuur

- Aeriusberekening Prinses Carolinalaan Leidschendam (2021)
- 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*.
- Decisio (2023). *Onderzoek financiële impact schoon en emissieloos bouwen*.
- MNP (2008). *Effecten van de Euro-VI-emissie-eisen voor zwaar wegverkeer in Nederland*.
- MuConsult (2021). *Landelijk reizigersonderzoek 2020*.
- PBL (2022). *Klimaat en Energieverkenningen*.
- TLN brandstofmonitor, *prijspeil diesel*, geraadpleegd op januari 2023
- TNO (2018). *Duurzame bouwlogistiek voor binnenstedelijke woning- en utiliteitsbouw: ervaringen en aanbevelingen*.
- TNO (2021). *Data onderzoek mobiele machines in Nederland*.
- TNO (2021). *Scenarioberekening van het bereik en emissie-effect van de Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel*.
- TNO & EICB (2021). *Toekomst duurzame binnenvaart*.
- TNO (2023). *Inschatting meerkosten programma Schoon en Emissieloos Bouwen voor mobiele werktuigen, bouwtransport en kustlijnverzorging en vaargeulonderhoud tot 2030*.
- 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
- Martens en Van Oord