Maatschappelijke baten emissieloos bouwen



CE Delft

Inhoud

Maatschappelijke baten emissieloos bouwen

Dit rapport is geschreven door:
Ellen Schep, Naomi van der Hek, Joukje de Vries en Matthijs Otten

Delft, CE Delft, oktober 2026

Publicatienummer: 26.250377.147a

Opdrachtgever:
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Ellen Schep (CE Delft)

© 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 sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

Samenvatting 5

1 Inleiding 7
1.1 Achtergrond en doel 7
1.2 Doel en onderzoeksvragen 7
1.3 Afbakening 8
1.4 Welke baten nemen we mee? 8
1.5 Leeswijzer 9

2 Methode 11
2.1 Overzicht bouwsector binnen scope Schoon en Emissieloos Bouwen 11
2.2 Scenario's 12
2.3 Milieuprijzen 14

3 Resultaten 16
3.1 Overzicht resultaten 16
3.2 CO_2-reductie 17
3.3 NO_x-reductie 20
3.4 PM_{10}-reductie 22
3.5 Ammoniak (NH_3) 25
3.6 NMVOS 27
3.7 Dieselmotoremissies 28
3.8 Geluidsoverlast 33
3.9 Trillingen 37
3.10 De geur van diesel 38
3.11 Baten reduceren stikstofbeperkingen 39
3.12 Minder gevoelig voor fossiele prijsschokken 41

4 Specifieke casussen 43
4.1 Casus 1: Nieuw gemeentehuis 43
4.2 Casus 2: Ondergrondse hoogspanningsverbinding 44
4.3 Casus 3: Versterking zeedijk 45
4.4 Reflectie 46

5 Conclusies 47
Algemeen beeld 47

A	Achtergrond SEB	50
B	Scenario’s	54
C	Aanpak casussen	61
	Literatuur	67

Samenvatting

In deze studie onderzoeken we, in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, welke maatschappelijke baten kunnen worden gerealiseerd met emissieloos bouwen bij publieke aanbestedingen. We brengen waar mogelijk de omvang van de baten in beeld en waarderen deze in euro's. We schetsen een situatie waarbij in de periode tot en met 2035 alle mobiele en stationaire werktuigen, specifiek spoormaterieel en vaartuigen versneld emissieloos worden en vergelijken deze met een referentiesituatie waarin vernieuwing van de vloot tot minder emissies leidt, maar geen aanvullend beleid wordt gevoerd.

De resultaten kunnen worden gebruikt in de beleidsafweging rondom het stimuleren van emissieloos bouwen. Emissieloos bouwen kan onder andere door de inzet van bouwmaterieel dat waterstof- of elektrisch gedreven is. Er is al veel bekend over de (meer)-kosten van bouwen met emissieloos materieel in de bouw ten opzichte van conventionele technieken, zoals dieselmaterieel. De baten zijn nog beperkt in beeld gebracht, maar zijn wel belangrijk om een completer beeld te krijgen van de maatschappelijke waarde van de transitie naar emissieloos bouwen.

Het programma Schoon en Emissieloos Bouwen

Het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) richt zich op het versnellen van de transitie naar een bouwsector zonder schadelijke uitstoot en met meer aandacht voor een gezonde leefomgeving. Het SEB is opgesteld en ondertekend door een coalitie van de rijksoverheid, medeoverheden (provincies, gemeenten en waterschappen) en diverse branche- en netwerkorganisaties uit de bouwsector.

Resultaten

De belangrijkste baten zijn klimaatbaten door minder uitstoot van CO_2, baten voor natuur en gezondheid door minder uitstoot van fijnstof en stikstof en baten voor gezondheid door minder overlast van geluid en dieselmotoremissie (DME).

Tabel 1 laat zien dat voor de periode 2025-2035 dit uitkomt op ongeveer € 3,8 miljard, waarbij ook in de toekomst jaarlijkse baten blijven doorlopen. Hier komen de niet-gekwantificeerde baten nog bij. De meeste baten worden gerealiseerd bij de mobiele en stationaire werktuigen. Dit is in omvang de grootste groep van bouwmaterieel bij publieke aanbestedingen.

Tabel 1 – Resultaten baten emissieloos bouwen, 2025-2035

Soorten baten	Totale monetaire waardering (in mln euro)
Gekwantificeerde baten	
Klimaatbaten (CO_2-reductie)	1.027
Luchtkwaliteitsbaten reductie stikstof (NO_x)	1.500
Luchtkwaliteitsbaten reductie fijnstof (PM_{10})	279
Gezondheidsbaten reductie dieseldampen	Max. 101
Gezondheidsbaten reductie geluid	Max. 964 + effecten omwonenden
Niet-gekwantificeerde baten	
Gezondheidsbaten reductie trillingen	+
Voorkomen vertraging bouwprojecten vanwege stikstofbeperkingen	+
Reductie kwetsbaarheid fossiele prijsschokken	+/?
Totaal	**Max. 3.872 + niet-gekwantificeerde baten**

Noot: Een positieve waardering betekent een welvaartsbaat vanwege de overgang op emissieloos bouwen.

Niet alle baten konden worden gekwantificeerd. Hierdoor kunnen de daadwerkelijke baten nog hoger uitpakken. Gevoeligheidsanalyses met hogere en lagere prijzen voor CO_2 en PM_{10} laten een bandbreedte zien van € 650 miljoen - € 5,8 miljard voor CO_2 en € 130 miljoen - € 465 miljoen voor PM_{10}.

Meerkosten van het programma SEB worden door TNO geschat op € 4,9 miljard voor 2023-2030. Deze kosten zijn niet één-op-één vergelijkbaar met de scope van deze studie, maar het laat wel zien dat de baten qua ordegrootte in lijn liggen met de meerkosten.

Aan de hand van drie casussen zijn de baten op projectniveau bepaald. Hier zien we dat de te kwantificeren baten, afhankelijk van de omvang van het project, oplopen van enkele duizenden tot enkele honderdduizenden euro's. Het belang zal met name afhangen van de mate waarin gemotoriseerde activiteiten plaatsvinden (grondverzet, aggregaten), het geproduceerde geluid, het aantal mensen dat hier last van heeft en de reductie door elektrisch materieel.

Conclusie

We concluderen dat voor de periode 2025-2035 met schoon en emissieloos bouwen maximaal € 3,8 miljard te kwantificeren maatschappelijke baten te realiseren zijn, waarbij ook in de toekomst jaarlijkse baten blijven doorlopen. Hier komen kwalitatieve baten nog bij. Deze berekende baten kunnen echter alleen worden gerealiseerd als het veronderstelde reductiepad in de praktijk wordt behaald. Inzicht in deze baten kan bijdragen aan de besluitvorming rondom het stimuleren van emissieloos bouwen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doel

Het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) richt zich op het versnellen van de transitie naar een bouwsector zonder schadelijke uitstoot en met meer aandacht voor een gezonde leefomgeving. Dat kan onder andere door de inzet van bouwmaterieel dat waterstof- of elektrisch aangedreven is.

Er is al veel bekend over de (meer)kosten van bouwen met emissieloos materieel ten opzichte van conventionele technieken, zoals dieselmaterieel. Emissieloos bouwen levert echter ook voordelen op: emissieloos bouwmaterieel geeft bijvoorbeeld minder geluids-overlast en stoot geen luchtvervuilende stoffen (zoals stikstof, fijnstof en CO_2) uit. Dit levert met name gezondheidsvoordelen op voor mensen in de omgeving van de bouwprojecten.

In dit project, uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, onderzoeken we welke maatschappelijke effecten kunnen worden gerealiseerd en wat in potentie de omvang van die effecten is. Het onderzoek resulteert in een overzicht en kwantitatieve schatting van de omvang van de maatschappelijke effecten van emissieloos bouwen ten opzichte van een referentiesituatie.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt:

“Welke maatschappelijke effecten kunnen worden gerealiseerd door de inzet van emissieloos bouwmaterieel in plaats van fossiele werktuigen?”

Om deze vraag te beantwoorden, behandelen we de volgende subvragen:

1. Wat zijn de klimaateffecten door vermeden emissies van broeikasgassen?
2. Wat zijn de baten door vermeden emissies van fijnstof en stikstof?
3. Wat zijn de gezondheidsbaten door vermeden dieseldampen op de bouwplaats?
4. Wat zijn de gezondheidsbaten door vermeden geluidsoverlast en trillingen?
5. Welke overige effecten van de inzet van emissieloos bouwmaterieel zijn er, en wat is hiervan de omvang?

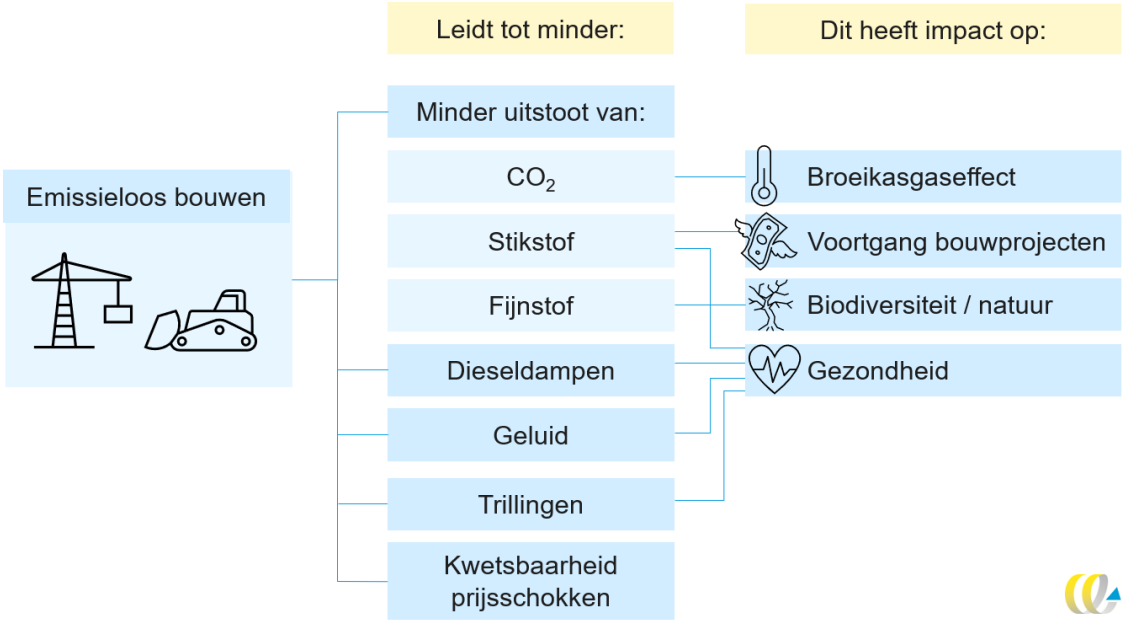
1.3 Afbakening

- De scope van de analyse omvat alle publieke aanbestedingen tot en met 2035. In lijn met de doelen uit het programma Schoon en Emissieloos Bouwen, nemen we aan dat in 2035 alle publieke aanbestedingen met volledig emissieloos materieel worden uitgevoerd. Referentie is een situatie van 'business as usual': door vernieuwing van de vloot worden voertuigen steeds schoner, maar er vindt geen versnelling van emissieloos bouwen plaats.
- In deze studie brengen we de financiële (meer)kosten van emissieloos bouwen niet in kaart. Daarmee is deze studie *geen* volledige maatschappelijke kosten-batenanalyse, maar een analyse die zich uitsluitend richt op de maatschappelijke effecten van emissieloos bouwen ten opzichte van conventioneel bouwmaterieel. Wanneer we spreken over maatschappelijke effecten, bedoelen we in de context van dit onderzoek dus uitsluitend de externe (niet-financiële) maatschappelijke effecten.
- Focus ligt op emissies op de bouwplaats, ofwel de Scope-1-emissies. Dit is in lijn met de scope van het convenant Schoon en Emissieloos Bouwen. Emissies van opgewekte of ingekochte elektriciteit (Scope 2) en ketenemissies (Scope 3; denk aan productie van batterijen of productie van diesel) blijven buiten beschouwing. Effecten zijn dus alleen de bruto-effecten van vermeden dieseluitstoot, en niet de netto-effecten waarbij ook rekening is gehouden met extra elektriciteitsproductie en veranderingen in productieketens.
- Qua materieel ligt de focus op mobiele en stationaire werktuigen, waterbouw (uitsluitend varend materieel) en specifiek spoormaterieel. Bouwvoertuigen (ook wel het wegverkeer) blijven buiten scope, omdat hun emissies grotendeels buiten de bouwplaats plaatsvinden. Voor bouwvoertuigen zijn er wel eisen opgenomen in de routekaart.
- Zero-emissie (ZE) is in de routekaart gedefinieerd als materieel dat geen directe uitstoot van CO_2, NO_x en PM veroorzaakt. Biobrandstoffen kunnen bijdragen aan de transitie naar duurzamer bouwmaterieel.
- Baten worden beschouwd voor de periode 2025-2035. Conform de Algemene Leidraad MKBA (CPB & PBL, 2013) worden alle effecten gewaardeerd in constante prijzen van het basisjaar 2025. We rekenen met een discontovoet van 2,8%. Hierin volgen we het advies van de Werkgroep Discontovoet (Ministerie van Financiën, 2025).

1.4 Welke baten nemen we mee?

Figuur 1 laat zien welke baten we meenemen in deze studie. We maken daarbij onderscheid tussen het fysieke effect (bijvoorbeeld minder geluid) en de impact. De impact proberen we zo veel mogelijk in euro's te kwantificeren.

Figuur 1 – Overzicht baten in scope



We nemen innovatie niet als afzonderlijke baat mee. Deze keuze sluit aan bij de afbakening van het onderzoek waarbij is gekozen voor het perspectief van BV Nederland en daarnaast de keuze om uitsluitend de effecten die op de bouwplaats optreden mee te nemen. De transitie kan echter wel innovatie stimuleren en leiden tot verdelingseffecten tussen bedrijven. Sommige bedrijven ondervinden mogelijk nadeel, terwijl andere met innovatieve oplossingen een concurrentievoordeel opbouwen.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 licht de aanpak van het onderzoek stap voor stap toe. Eerst bakenen we af welke onderdelen van de bouwsector en welke emissies binnen de analyse vallen. Daarna beschrijven we het autonome referentiepad en het scenario waarin het materieel bij publieke aanbestedingen in 2035 volledig emissieloos is. Tot slot leggen we uit hoe de vermeden emissies met milieuprijzen worden omgerekend naar maatschappelijke baten.

Hoofdstuk 3 presenteert de resultaten. Na een totaaloverzicht volgen eerst de gekwantificeerde klimaat- en luchtkwaliteitsbaten van minder CO_2, NO_x en PM_{10}. De berekeningen voor NH_3 en NMVOS worden afzonderlijk besproken vanwege beperkingen in de data en het emissiepad. Vervolgens komen de gezondheidsbaten van minder dieselmotoremissies, geluid, trillingen en geur aan bod. Het hoofdstuk sluit af met de mogelijke baten van minder stikstofgerelateerde projectvertraging en een lagere gevoeligheid voor fossiele prijsschokken.

In **Hoofdstuk 4** geven we de resultaten van drie casussen. Hierin zijn op projectniveau de baten van emissieloos bouwen bepaald.

Hoofdstuk 5 brengt de bevindingen samen. Het hoofdstuk maakt onderscheid tussen gemonetariseerde en kwalitatief beoordeelde effecten en bespreekt de voorwaarden, onzekerheden en afbakeningen die bepalend zijn voor de interpretatie van de uitkomsten.

Bijlage A geeft achtergrondinformatie over het programma en de Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen. **Bijlage B** onderbouwt de scenario's voor mobiele en stationaire werktuigen, waterbouw en specifiek spoormaterieel. **Bijlage C** geeft meer achtergrond over de aanpak van de casussen.

2 Methode

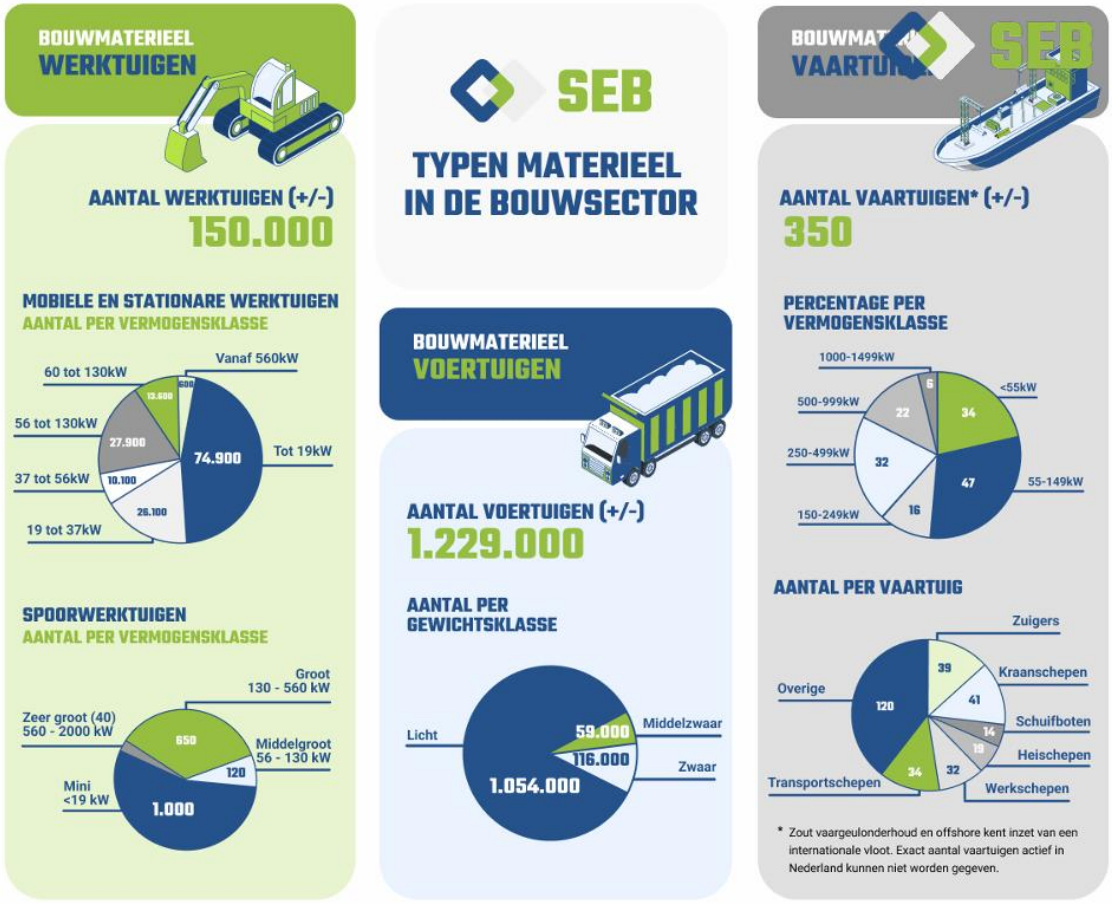
In dit project onderzoeken we de potentie en omvang van de maatschappelijke effecten van emissieloos bouwen bij publieke aanbestedingen. In dit hoofdstuk gaan we in op de methode. We beschrijven dat we in deze studie de baten van verschoning van mobiele en stationaire werktuigen, spoorwerktuigen en de waterbouw in beeld brengen. We doen dit op basis van scenario's waarbij emissies in 2035 tot nul worden gereduceerd, afgezet tegen een autonoom referentiepad op basis van inschattingen van TNO. Voor het inschatten van de baten van emissiereductie maken we gebruik van milieuprijzen.

2.1 Overzicht bouwsector binnen scope Schoon en Emissieloos Bouwen

In dit project onderzoeken we welke maatschappelijke effecten kunnen worden gerealiseerd en wat in potentie de omvang van die effecten is. Om een inschatting te maken van het transitiepad richting volledig emissieloos bouwen in 2035 volgen we de routekaart van Schoon en Emissieloos Bouwen.

Figuur 2 geeft een overzicht van de bouwsector opgedeeld in: mobiele- en stationaire werktuigen, spoorwerktuigen, bouwtransport en vaartuigen voor waterbouw zoals dit voor de routekaart is vastgesteld. Voor verschillende deelsegmenten in de bouwsector is een transitiepad opgesteld met eisen aan de maximale emissies van het bouwmaterieel.
De emissie-eisen worden gevormd door de stagenormen (mobiele en stationaire werktuigen), de euronormen (bouwtransport) en tier-klassen en CCR-klassen (varend bouwmaterieel). Ze zijn erop gericht het gebruik van verouderd, verontreinigd materieel terug te dringen door ze versneld uit te faseren. Daarnaast zijn er verschillende ambitieniveaus voor de sector. Aanvullende achtergrond is te vinden in Bijlage A en B en in de Routekaart SEB. Voertuigen zijn in dit onderzoek buiten scope, omdat emissies voornamelijk buiten de bouwplaats plaatsvinden.

Figuur 2 – Omvang van het bouwmaterieel[1]



Bron: (SEB, 2023)

2.2 Scenario's

In eerdere onderzoeken zijn er al doorrekeningen gemaakt van de routekaart (TNO, 2023a, 2023b, 2025c). In dit onderzoek trekken we de lijn verder door te focussen op de vraag:

> *"Welke maatschappelijke effecten kunnen worden gerealiseerd door de inzet van emissieloos bouwmaterieel in 2035 in plaats van fossiele werktuigen?"*

Hierdoor is zowel de periode langer ten opzichte van sommige doorrekeningen (tot 2035) als de ambitie hoger (namelijk 100% zero-emissie (ZE)). Het scenario van 100% emissieloos in 2035 gaat op onderdelen verder dan de huidige Routekaart SEB. Voor mobiele en stationaire werktuigen van 56-560 kW staat inderdaad 100% ZE in 2035, maar voor zeer zwaar/ specialistisch materieel >560 kW loopt het pad volgens de routekaart tot 2035-2040 (TNO, 2025a).

[1] Deze figuur is overgenomen van de Routekaart SEB. Vermoedelijk klopt de vermogensklasse 60-130 kW niet en moet dit 130-560 kW zijn. Dit heeft geen gevolgen voor de resultaten.

De effecten worden in kaart gebracht door de baten van Scenario 2 af te zetten tegen Scenario 1 (de referentie).

Tabel 2 – Scenario's

Scenario 1: Autonome ontwikkeling (referentie)	Scenario 2: ZE in 2035
We gebruiken een schatting van de emissies die plaats zouden vinden zonder aanvullend beleid, volgens de inschatting van TNO.	Hierbij gaan we uit van de emissiereducties zoals berekend door TNO tot 2030 en daarna schalen de emissies lineair af tot 0 in 2035.

2.2.1 Mobiele en stationaire werktuigen

Mobiele en stationaire werktuigen maken in principe geen gebruik van de openbare weg maar zijn wel mobiel inzetbaar doordat ze zich op de bouwplaats kunnen voortbewegen. Daarnaast kijken we ook naar aggregaten. Voorbeelden van mobiele en stationaire werktuigen zijn graafmachines, wielladers en mobiele kranen. De mobiele en stationaire werktuigen worden opgedeeld in verschillende vermogensklassen met voor elke klasse verschillende emissienormen die zijn gekoppeld aan de stagenormen (zie B.1).

Voor zowel Scenario 1 als 2 maken we gebruik van de data van TNO (2025a). Voor een inschatting van de autonome ontwikkeling richting 2035 hebben we per vermogensklasse aanvullende gegevens gekregen van TNO over de bijbehorende emissies. Daarbij gaan we er, net als TNO, vanuit dat 50% van de emissies is toe te rekenen aan publieke aanbestedingen.

2.2.2 Waterbouw

Waterbouw is een specialisatie binnen de bouwsector die zich richt op infrastructuur in en rond water, zoals kustbescherming, vaarwegen en energieopwekking op zee. Waterbouw bestaat uit verschillende typen (SEB, 2023; TNO, 2025c). Vanwege de focus op publieke aanbestedingen richt dit onderzoek zich op kustlijnzorg en vaargeulonderhoud met varend materieel, voor zowel zoute als zoete waterbouw. Het convenant is ondertekend door onder andere Rijkswaterstaat, Havenbedrijf Rotterdam en de waterschappen, waarmee de belangrijkste publieke opdrachtgevers in deze sector zijn vertegenwoordigd.

Voor de inschatting van het emissiepad van CO_2 en NO_x van zoute waterbouw volgen we de data van TNO (2025c). Voor fijnstof is een dergelijk afnamepad niet beschikbaar omdat de emissienorm voor de zoute vloot (tier III) hier geen eisen aan stelt (SEB, 2023). Hier zijn we uitgegaan van een lineaire reductie tot 0 in 2035.

De omvang en emissies van de zoete waterbouwvloot zijn bekend voor 2021 (TNO, 2023b). Daarnaast is de reductie tot 2030 bekend (TNO, 2023a).

Voor de inschatting van de emissies in 2023 en 2030 volgen we de data van TNO over het autonome pad (TNO, 2023a, 2023b, 2025c)

2.2.3 Specifiek spoormaterieel

Spoorspecifiek bouwmaterieel wordt ingezet bij de aanleg, vernieuwing en het onderhoud van spoorinfrastructuur. Het gaat om materieel voor uiteenlopende werkzaamheden, zoals het werken met ballast, dwarsliggers, spoorstaven en bovenleidingen. Paragraaf B.3 beschrijft de verschillende typen materieel. Spoorwerktuigen zijn meestal gespecialiseerde machines die specifiek zijn ontwikkeld voor werkzaamheden op of rond het spoor.

ProRail is verantwoordelijk voor de aanbestedingen waarbij dit type materieel wordt ingezet. Omdat ProRail het convenant Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) heeft ondertekend, zijn de afspraken uit SEB in beginsel van toepassing op al het werk waarvoor ProRail opdrachtgever is (TNO, 2025c). In deze analyse rekenen we het gebruik van spoorspecifiek bouwmaterieel daarom toe aan publieke aanbestedingen.

Voor de inschatting van het emissiepad van specifiek spoormaterieel maken we gebruik van data van TNO (2025c). Voor de autonome ontwikkeling van emissies van specifiek spoormaterieel kijken we naar gegevens uit (TNO, 2023a).

Deze autonome emissiereductie richting 2030 is naar verwachting beperkt. Dat komt doordat spoorspecifiek materieel gemiddeld lang meegaat vanwege vaak kapitaalintensieve investeringen met een zeer lange afschrijvingsperiode. Hierdoor verloopt de natuurlijke vlootverjonging langzaam. Daarnaast is de emissiewetgeving voor diesellocomotieven minder streng dan voor veel andere typen mobiele en stationaire werktuigen. Hierdoor wordt zonder aanvullend beleid geen grote autonome daling van de emissies verwacht. TNO schat de autonome emissiereductie richting 2030 in op minder dan 10% voor NO_x en PM_{10} en minimaal voor CO_2 (TNO, 2023a).

2.3 Milieuprijzen

Om deze effecten te kwantificeren, gebruiken we de milieuprijzen uit het Handboek Milieuprijzen 2023 (CE Delft, 2023). Deze milieuprijzen drukken de maatschappelijke schade uit in euro's per kilogram emissie. Door het voorkomen van emissies kan deze extra schade worden voorkomen. Hierbij richten we ons alleen op de gebruiksfase en nemen we ketenemissies niet mee.

In principe gaan we uit van de centrale waarde van een milieuprijs. Dit is de milieuprijs voor een gemiddelde uitstoothoogte op een gemiddelde locatie. Voor CO_2 loopt de milieuprijs jaarlijks op met 4,3%. Daarnaast voeren we voor CO_2 een gevoeligheidsanalyse uit door ook naar de hoge CO_2-prijs van het Handboek Milieuprijzen 2023 te kijken en een nog hogere CO_2-prijs van € 1.175 per ton CO_2 die bij interne besluitvorming van de provincie Utrecht wordt gehanteerd. Deze is gebaseerd op een inschatting van de schadekosten met een discontovoet van 0%, terwijl de waardering in het Handboek Milieuprijzen is gebaseerd op preventiekosten.

Tot slot worden de CO_2-baten ook nog gerapporteerd wanneer met de Welvaarts- en Leefomgevingsscenario's (WLO) Hoog-Vertraagd en Laag-Snel wordt gerekend. Deze omvatten de hele bandbreedte van de WLO-scenario's.

Daarnaast hanteren we als standaard bij de waardering van fijnstofbaten niet de centrale milieuprijs, maar de gemiddelde milieuprijs die past bij de uitstoothoogte aan de grond. Dit sluit beter aan bij de aard van de werkzaamheden op de bouwplaats. Dit verhoogt de milieuprijs van € 84 per kg naar € 178 per kg.

De maatschappelijke baten worden verdisconteerd met een discontovoet van 2,8%.

Tabel 3 – Overzicht gehanteerde milieuprijzen

Milieuprijzen	Centrale waarde € per kg (2025)	Verbijzondering € per kg (2025) (bovenwaarde HBM)	Verbijzondering € per kg (2025) (provincie Utrecht)	Verbijzondering € per kg (2025) (WLO-scenario Hoog-Vertraagd)	Verbijzondering € per kg (2025) (WLO-scenario Laag-Snel)
CO_2	0,158	0,195	0,1175	0,107	0,310
NO_x	36,4				
PM_{10}	84,5				
PM_{10} - grond/gemiddeld		178			
PM_{10} - grond/stad		234			
PM_{10} - grond/platteland		132			
NH_3	60,1				
NMVOS	3,3				

NB: PM_{10} bestaat uit fijnstofdeeltjes met een diameter kleiner dan 10 micrometer en omvat daarmee ook kleinere deeltjes, waaronder $PM_{2,5}$. Er is gekozen voor rapportage van PM_{10} in plaats van $PM_{2,5}$ omdat dit aansluit bij eerdere rapportages van TNO. Daarnaast zit de schadelijkheid van $PM_{2,5}$ deels verdisconteerd in de schadelijkheid van PM_{10}. Beide milieuprijzen kunnen dus niet tegelijkertijd worden meegenomen.

Voor het waarderen van geluid maken we alleen bij de casussen gebruik van milieuprijzen. Meer informatie over deze methode kan je terugvinden in Bijlage C.3.

3 Resultaten

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de resultaten van het onderzoek. We zien dat de totale gekwantificeerde baten van het onderzoek worden ingeschat op maximaal € 3,8 miljard in contante waarde voor de periode 2025-2035, waarbij ook in de toekomst jaarlijkse baten blijven doorlopen. De belangrijkste baten zijn de klimaatbaten van de reductie van CO_2, de bredere baten (met name gezondheid) van stikstofreductie en de baten van minder geluid bij emissieloos bouwen. Niet alle baten konden kwantitatief in beeld worden gebracht. Hierdoor kunnen daadwerkelijke baten hoger liggen.

3.1 Overzicht resultaten

De totale baten van emissieloos bouwen worden geschat op € 3,8 miljard voor de periode 2025-2035, waarbij ook in de toekomst jaarlijkse baten blijven doorlopen. Tabel 4 toont een overzicht van de totale baten van emissieloos bouwen per effect, voor de periode 2025-2035, uitgaande van volledig emissieloos materieel bij publieke aanbestedingen in 2035. Gemiddeld genomen, komt dit neer op ongeveer € 0,3 miljard per jaar. Hoewel deze baten tot en met 2035 zijn berekend, zullen de jaarlijkse maatschappelijke baten van emissieloos materieel blijven doorlopen. In Tekstkader 1 staat toegelicht hoe deze baten tegen de meerkosten afgezet kunnen worden.

Tabel 4 – Resultaten baten emissieloos bouwen 2025-2035

Soorten baten	**Totale monetaire waardering (in mln euro)**
Gekwantificeerde baten	
Klimaatbaten (CO_2-reductie)	1.027
Luchtkwaliteitsbaten reductie stikstof (NO_x)	1.500
Luchtkwaliteitsbaten reductie fijnstof (PM_{10})	279
Gezondheidsbaten reductie dieseldampen	Max. 101
Gezondheidsbaten reductie geluid	Max. 964 + effecten omwonenden
Niet-gekwantificeerde baten	
Gezondheidsbaten reductie trillingen	+
Voorkomen vertraging bouwprojecten vanwege stikstofbeperkingen	+
Reductie kwetsbaarheid fossiele prijsschokken	+/?
Totaal	**Max. 3.872 + niet-gekwantificeerde baten**

NB: Een positieve waardering betekent een welvaartsbaat vanwege de overgang op emissieloos bouwen.

Tekstkader 1 – Baten afgezet tegen de meerkosten

Baten afgezet tegen de meerkosten

TNO (2025b) heeft een inschatting gemaakt van de meerkosten van de transitie naar schoon en emissieloos bouwen. Deze meerkosten worden voor het meest ambitieuze scenario geschat op € 4,9 miljard voor de periode 2023-2030. Dit betekent dat een groot deel van de te kwantificeren baten (maximaal ongeveer € 3,8 miljard) de meerkosten kan compenseren. Daarbij zullen de maatschappelijke baten ook na de zichtperiode jaarlijks blijven doorlopen.

Er zijn echter een paar kanttekeningen te maken waardoor de meerkosten niet één-op-één met de baten vergeleken kunnen worden en slechts een vergelijking van ordegrootte geven. Ten eerste komen onze gekwantificeerde baten tot stand door alleen naar publieke aanbestedingen te kijken. Dit zou grofweg overeen kunnen komen met het basis- en ambitieuze niveau in Scenario 1 (3,3 miljard euro).

Ten tweede representeert Scenario 1 het maximale potentieel van de SEB-routekaart. Hierbij gaat de routekaart in het ambitieuze niveau vanaf 2030 uit van 90-100% emissieloze mobiele en stationaire werktuigen, voor specialistisch spoormaterieel is de eis dat het zware materieel 50-100% emissieloos wordt tussen 2035-2040 en voor waterbouw is de eis minimaal 75% duurzame energiedragers. In dit onderzoek gaan we uit van het uiterste van deze minimumeisen door uit te gaan van volledig emissieloos in 2035. Ook verschillen de onderzoeksperiodes.

In de komende paragrafen volgt een toelichting per effect.

3.2 CO_2-reductie

Tabel 5 toont de baten als gevolg van een lagere CO_2-uitstoot van het emissieloos materieel. Deze worden geschat op ruim € 1 miljard. CO_2 draagt bij aan klimaatverandering doordat het de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer verhoogt en daarmee het broeikaseffect versterkt. Klimaatverandering leidt onder meer tot hogere temperaturen en meer hittegolven, veranderingen in neerslagpatronen, zeespiegelstijging en een grotere kans op droogte, overstromingen, bosbranden en zware stormen. Dit veroorzaakt schade aan menselijke gezondheid, landbouw en voedselproductie, ecosystemen, gebouwen en andere kapitaalgoederen. Daarnaast kunnen ecosystemen verloren gaan en kunnen bij sterke opwarming kantelpunten optreden met mogelijk onomkeerbare gevolgen.

In de tabel is ook te zien hoe hoog de baten zijn, als een andere CO_2-prijs wordt gehanteerd. Baten lopen op tot € 1,2 miljard bij een hoge CO_2-prijs. Deze hogere CO_2-prijs is meegenomen omdat steeds meer onderzoek de schade van klimaatverandering beter in beeld brengt en wijst op een hogere CO_2-prijs richting 2030 (Rennert et al., 2022; Tol, 2023).

Tabel 5 – Overzicht baten CO_2-reductie, in mln euro

Type bouwmaterieel	**Baten bij centrale CO_2-prijs, HBM 2023** (mln euro, prijspeil 2025)	**Baten bij hoge CO_2-prijs, HBM 2023** (mln euro, prijspeil 2025)	**Baten bij € 1175 / ton volgens provincie Utrecht** (mln euro, prijspeil 2025)	**Baten volgens WLO-scenario Hoog-Vertraagd** (mln euro, prijspeil 2025)	**Baten volgens WLO-scenario Laag-Snel** (mln euro, prijspeil 2025)
Mobiele en stationaire werktuigen	742*	913	4.198	466	1.350
Waterbouw - Zout	201*	248	1.139	126	366
Waterbouw - Zoet	64*	78	364	40	117
Specifiek spoormaterieel	20*	25	114	13	37
Totaal	**1.027***	**1.264**	**5.815**	**646**	**1.870**

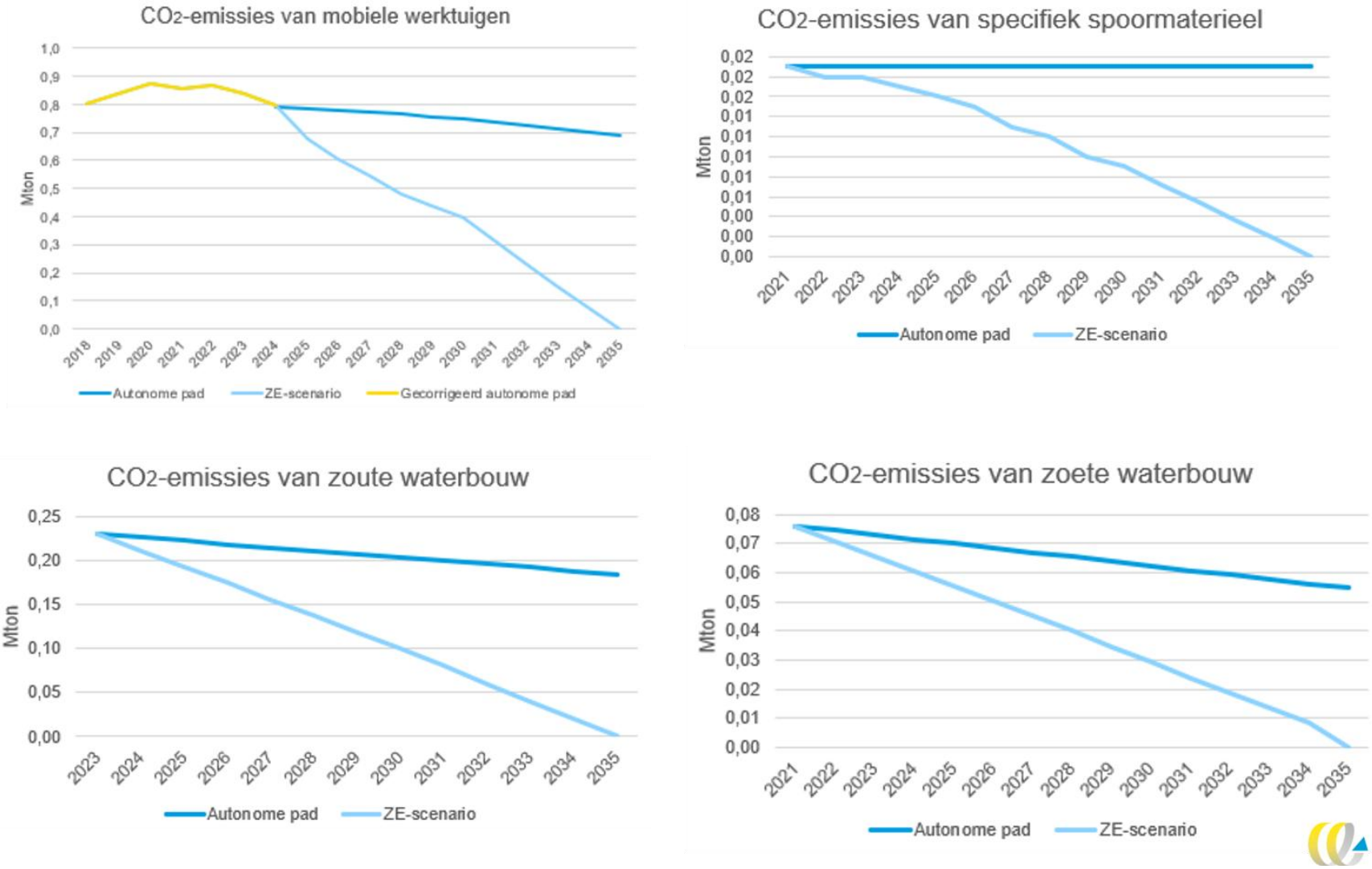
* Lichtgeel gemarkeerd is de standaard die wij hanteren in het batenoverzicht.

Ook brengen we in deze tabel in beeld wat de baten zijn als we een (constante) CO_2-prijs hanteren van € 1.175/ton. Deze CO_2-prijs wordt gehanteerd door de provincie Utrecht in de interne besluitvorming. Deze prijs is fors hoger dan de gangbare bedragen, omdat bijvoorbeeld ook rekening is gehouden met klimaatrechtvaardigheid en zogenaamde *climate tipping points* (Provincie Utrecht, 2026). Bij het gebruik van deze prijs bedragen de baten € 5,8 miljard.

Tot slot zijn de baten weergegeven wanneer gerekend wordt met de CO_2-prijs van de WLO-scenario's. Hierin is gekozen voor de hoogste en laagste CO_2-prijs uit de scenario's Hoog-Vertraagd en Laag-Snel. De CO_2-prijs vanuit het Handboek Milieuprijzen valt binnen deze bandbreedte.

In Figuur 3 is het verschil te zien tussen het autonome pad en het 100% ZE-scenario. Dit verschil wordt gemonetariseerd met de milieuprijs uit het Handboek Milieuprijzen om tot de baat te komen (CE Delft, 2023).

Figuur 3 – CO_2-emissies van mobiele en stationaire werktuigen, waterbouw en specifiek spoormaterieel



Opmerking bij deze grafieken: De stijging van CO_2-emissies tussen 2018 en 2024 kan samenhangen met veranderingen in de bouwactiviteit en daarmee in de inzet en draaiuren van mobiele en stationaire werktuigen. Uit de beschikbare rapportage kan echter niet worden afgeleid in welke mate dit de waargenomen stijging verklaart. Wel is waarneembaar in TNO (2025c) dat de investeringen tussen 2014 en 2022 zijn toegenomen.

De daling in het autonome pad verschilt per materieeltype. Bij mobiele en stationaire werktuigen is de afname van de CO_2-uitstoot relatief beperkt, omdat Stage V-dieselmotoren nauwelijks minder CO_2 uitstoten dan oudere motoren. De daling komt vooral door de ingroei van elektrische machines en het toenemende gebruik van hernieuwbare brandstoffen. Bij de waterbouw hangt de autonome afname samen met geleidelijke vlootvernieuwing terwijl dit bij het zware spoorspecifiek materieel beperkt blijft door de lange levensduur en trage vervanging van het materieel (TNO, 2023a, 2023b, 2025a, 2025c).

3.3 NO_x-reductie

Stikstofoxiden (NO_x) veroorzaken via verschillende routes schade aan menselijke gezondheid en ecosystemen. Blootstelling aan stikstofdioxide (NO_x) hangt samen met schade aan de luchtwegen. Daarnaast leidt de depositie van stikstofverbindingen tot verzuring en vermesting van bodems, waardoor de biodiversiteit kan afnemen.

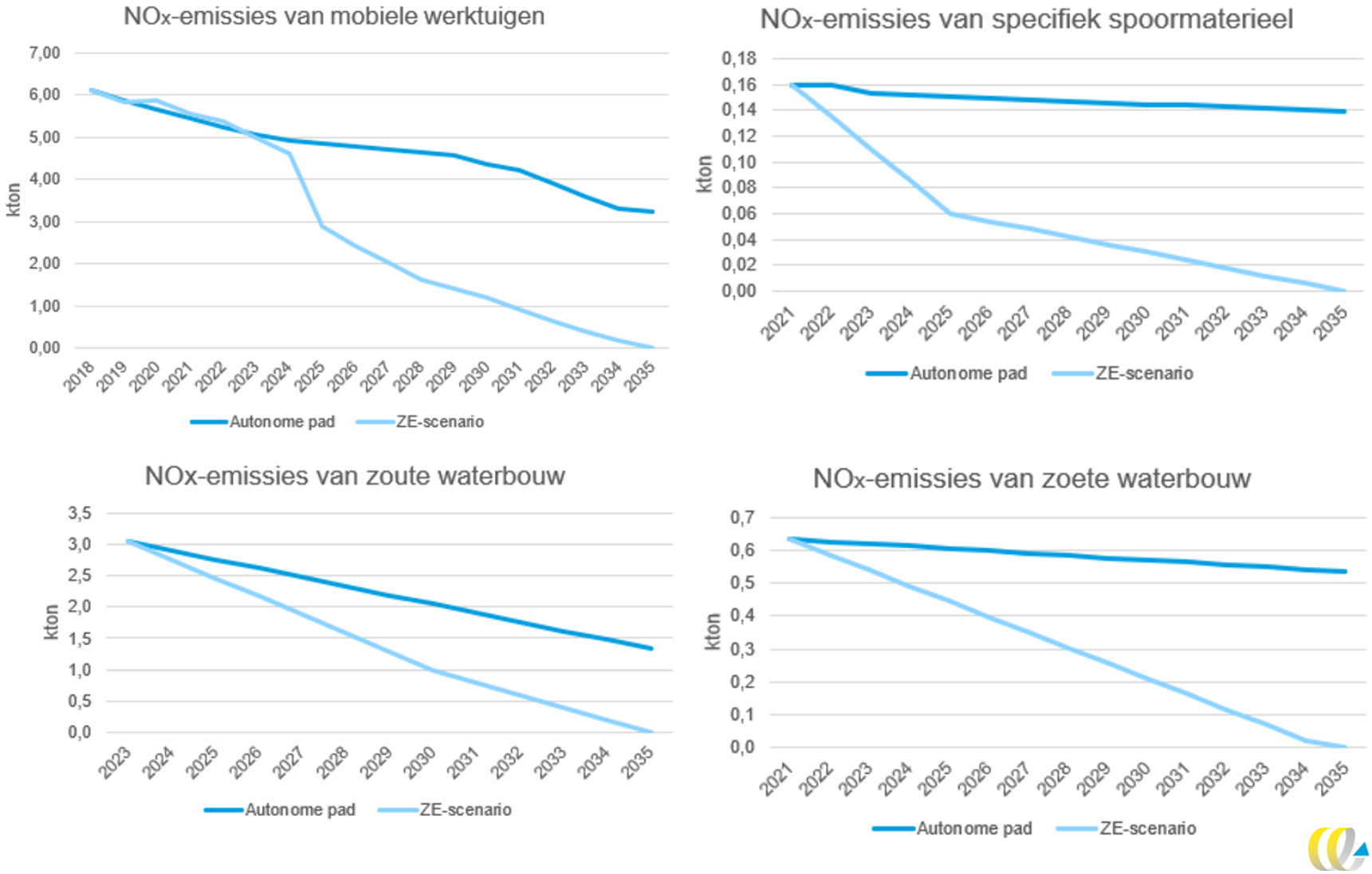
Tabel 6 laat zien dat de baten van emissieloos bouwen door minder stikstofuitstoot kunnen oplopen tot meer dan € 1,5 miljard.

Tabel 6 – Overzicht baten NO_x-reductie, in mln euro

Type bouwmaterieel	**Baten bij centrale NO_x-prijs** (mln euro, prijspeil 2025)
Mobiele en stationaire werktuigen	1.025
Waterbouw - Zout	314
Waterbouw - Zoet	122
Specifiek spoormaterieel	46
Totaal	**1.506**

In Figuur 4 is het verschil te zien tussen het autonome pad en het 100% ZE-scenario. TNO (2023a) verwachtte voor specifiek spoormaterieel al voor 2025 een aanzienlijke reductie, maar of deze daadwerkelijk is gerealiseerd, is niet te verifiëren vanwege ontbrekende data. De verwachte reductie loopt op tot 80% in 2030. Deze reductie is met name het gevolg van SCR-katalysatoren die worden ingebouwd bij bestaand materieel (TNO, 2023a). Het is daarom van belang dat emissies worden gemonitord, zodat de gerealiseerde emissiereductie kan worden vastgesteld.

Figuur 4 – NO_x-emissies van mobiele en stationaire werktuigen, waterbouw en specifiek spoormaterieel



De autonome NO_x-emissies dalen vooral door vlootverjonging en strengere motornormen (TNO, 2023a, 2023b, 2025a, 2025c). Bij mobiele en stationaire werktuigen zorgt de instroom van Stage V-materieel en de toepassing van SCR-katalysatoren voor een duidelijke afname. In de zoute waterbouw dragen de ingroei van Tier III-schepen en de retrofit van SCR-systemen bij. Voor zoete waterbouw is de autonome daling kleiner, waarschijnlijk omdat er vooral een ingroei van biobrandstoffen wordt verwacht (TNO, 2023a).
Bij spoorspecifiek materieel verloopt natuurlijke vlootverjonging langzaam, maar de sterke daling die rond 2025 in het ZE-scenario is verondersteld, is gebaseerd op de inbouw van SCR-katalysatoren bij bestaand materieel. Daarna nemen de emissies in deze analyse lineair af tot nul in 2035.

De geraamde reductie wordt alleen gehaald als SCR-systemen in de praktijk goed werken. Defecten van de SCR-systemen kunnen de werking verminderen. Monitoring en handhaving zijn daarom nodig om de verwachte reductie te realiseren.

3.4 PM_{10}-reductie

We berekenen de gezondheidsbaten van de reductie van fijnstofemissies aan de hand van het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2023). Hierbij hanteren we niet de gemiddelde milieuprijs als standaard, maar de milieuprijs die geschikt is voor uitstoot aan de grond. Wel rapporteren we beide waarderingen.

De standaardmilieuprijzen zijn gebaseerd op een gemiddelde Nederlandse uitstootbron, terwijl emissies van bouwmaterieel dicht bij de grond plaatsvinden (< 25 meter). Tabel 38 van het Handboek Milieuprijzen laat zien dat de schadekosten per kilogram PM_{10} bij uitstoot aan de grond aanzienlijk hoger zijn door de grotere menselijke innamefractie. Toepassing van de milieuprijs voor uitstoot aan de grond verhoogt de centrale waardering van € 69 naar € 146 per kg PM_{10}.

In Tabel 7 is daarom af te lezen wat de waardering van fijnstof zou zijn met de centrale milieuprijs en met een afslag voor de waardering van fijnstof met als uitstoothoogte vanaf de grond. Dit verhoogt de schadebaten tot gemiddeld € 279 miljoen (t.o.v. € 133 miljoen). Afhankelijk van waar het fijnstof neerslaat, in stedelijk gebied of op het platteland, kan dit oplopen tot respectievelijk € 207 tot 466 miljoen.

Tabel 7 – Overzicht baten PM_{10}-reductie, in mln euro

Type bouwmaterieel	**Baten bij centrale PM_{10}-prijs** (mln euro)	**Baten bij PM_{10}-prijs voor gemiddelde uitstoot op de grond** (mln euro)	**Baten bij PM_{10}-prijs voor uitstoot op de grond in stedelijk gebied** (mln euro)	**Baten bij PM_{10}-prijs voor uitstoot op de grond op het platteland** (mln euro)
Mobiele en stationaire werktuigen	90	189	347	140
Waterbouw - Zout	31	64	85	48
Waterbouw - Zoet	9	19	24	14
Specifiek spoormaterieel	4	8	11	6
Totaal	**133**	**279**	**466**	**207**

Noot: Geel gemarkeerd is de standaard die wij hanteren in het batenoverzicht.

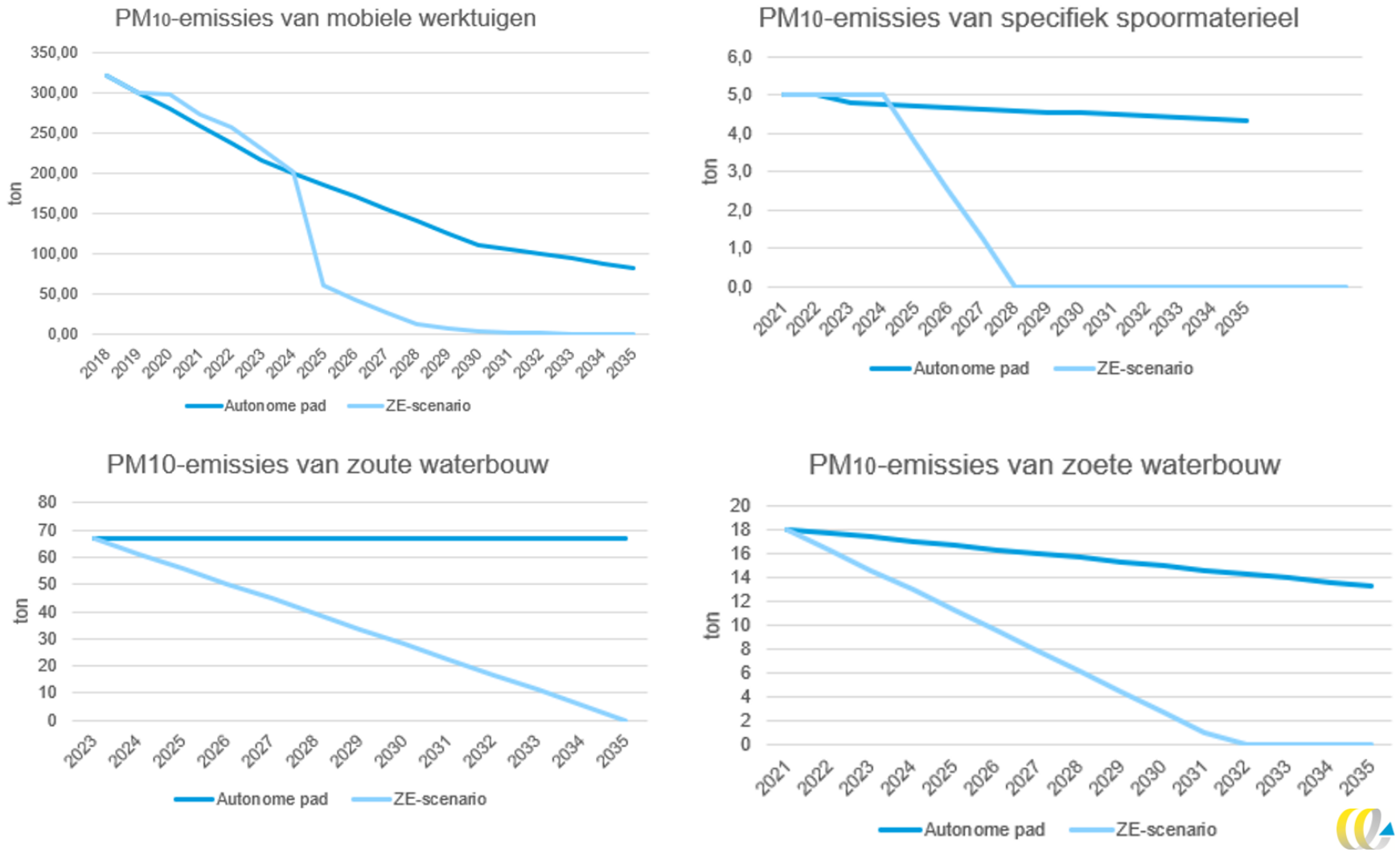
PM_{10} bestaat uit fijnstofdeeltjes met een diameter kleiner dan 10 micrometer en omvat daarmee ook kleinere deeltjes, waaronder $PM_{2,5}$. Er is gekozen voor rapportage van PM_{10} in plaats van $PM_{2,5}$ omdat dit aansluit bij eerdere rapportages van TNO. Daarnaast zit de schadelijkheid van $PM_{2,5}$ deels verdisconteerd in de schadelijkheid van PM_{10}. Beide milieuprijzen kunnen dus niet tegelijkertijd worden meegenomen.

Daarnaast kijken we alleen naar de fijnstofemissies uit de uitlaat en niet naar bandenslijtage. Bandenslijtage speelt vooral een rol bij bouwlogistiek vanwege het vaker remmen. Momenteel wordt bandenslijtage niet gerapporteerd voor mobiele en stationaire werktuigen en zijn er ook geen eisen over opgenomen in de routekaart. Wel zijn de fijnstofemissies als gevolg van bandenslijtage naar verwachting beperkt ten opzichte van motoremissies (behalve voor bouwlogistiek en emissieloos bouwmaterieel) en is ook de impact van emissieloos hierop beperkt. Dit betekent dat fijnstof van bandenslijtage wel een relatief groter aandeel gaat hebben naargelang er meer emissieloos bouwmaterieel rond gaat rijden. Als deze emissies verder moeten worden teruggebracht, is aanvullend beleid en innovatie nodig.

De gezondheidsschade van fijnstof hangt sterk samen met de grootte en mogelijk ook de chemische samenstelling van de deeltjes: kleinere deeltjes dringen dieper door in de longen en zijn doorgaans schadelijker. PM_{10} leidt onder andere tot gezondheidsschade, zoals bronchitis, vervuiling van het milieu en schade aan gebouwen.

In Figuur 5 is het verschil te zien tussen het autonome pad en het 100% ZE-scenario. TNO (2023a) schat in dat er voor 2025 al meer dan 90% van de PM_{10}-uitstoot wordt gereduceerd en TNO (2025c) schat zelfs in dat in 2025 de uitstoot is gereduceerd tot nul.

Figuur 5 – PM_{10}-emissies van mobiele en stationaire werktuigen, waterbouw en specifiek spoormaterieel



Voor mobiele en stationaire werktuigen komt een groot deel van de emissiereductie als gevolg van autonome vlootverjonging, namelijk ongeveer 65% in 2030 ten opzichte van 2018. Dit komt omdat naar verwachting een groot deel van het toekomstig materieel is uitgerust met een gesloten roetfilter (TNO, 2025a). Voor spoorspecifiek materieel is de sterke reductie rond 2025 gebaseerd op de retrofit van roetfilters, maar door beperkte monitoring is onzeker of deze daling al volledig is gerealiseerd. Bij zoete waterbouw neemt de uitstoot af door vlootvernieuwing richting schonere motoren. Voor zoute waterbouw stelt de Tier III-norm geen eisen aan fijnstof, waardoor vanuit de Routekaart geen afnamepad kan worden verondersteld (TNO, 2023a, 2023b, 2025a, 2025c). We hebben daarom zelf een lineair afnamepad opgesteld voor zoute waterbouw tot 2035.

Regelmatige controle op de werking van gesloten roetfilters is belangrijk omdat defecte of verwijderde roetfilters de fijnstofuitstoot aanzienlijk kan verhogen. Zonder toezicht en handhaving wordt de verwachte emissiereductie daarom waarschijnlijk niet gerealiseerd (TNO, 2025a).

3.5 Ammoniak (NH_3)

De bijdrage van NH_3 is beperkt, maar is meegenomen daar waar gegevens beschikbaar waren. Dit blijft relevant, omdat het absolute en relatieve belang van NH_3 kan toenemen naarmate andere emissies afnemen. Ammoniak (NH_3) veroorzaakt zowel gezondheidsschade als schade aan natuur en ecosystemen. In de atmosfeer reageert ammoniak met andere stoffen tot secundair fijnstof, dat bij inademing gezondheidsschade veroorzaakt. Na depositie kan ammoniak via omzetting naar nitraat of opname als ammonium bijdragen aan bodemverzuring. Een ander deel van de stikstof blijft beschikbaar als voedingsstof en veroorzaakt vermesting. Beide processen kunnen leiden tot een afname van de biodiversiteit.

Bij zeer hoge concentraties kan ammoniak ook rechtstreeks effecten op de luchtwegen veroorzaken, maar volgens het Handboek Milieuprijzen van CE Delft (2023) betreft dit vooral blootstelling op werkplaatsen zoals de intensieve veehouderij. Dergelijke blootstelling wordt niet goed weergegeven door de gemiddelde milieuprijs voor Nederland.

Hoewel er ook op bouwplaatsen blootstelling aan ammoniak plaatsvindt wordt de schade hiervan niet meegenomen in de verdere analyse. Alleen voor mobiele en stationaire werktuigen zijn voldoende gegevens beschikbaar over de NH_3-emissies. De bijdrage van NH_3 aan de totale gemonetariseerde baten is bovendien zeer beperkt en bedraagt op basis van de huidige berekening maximaal ongeveer 1% (€ 23 miljoen). Tot slot bevat de Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen geen afzonderlijke eisen voor de reductie van NH_3-emissies.

Deze bijdrage is waarschijnlijk nog overschat. In de huidige berekening is aangenomen dat de NH_3-emissies lineair afnemen tot nul in 2035. In werkelijkheid wordt verwacht dat de emissies eerst toenemen door de verdere ingroei van dieselmaterieel met SCR-katalysatoren en pas later afnemen als gevolg van elektrificatie. Hierdoor ontstaan in de eerste jaren extra maatschappelijke kosten, terwijl de baten van emissiereductie pas later optreden. De nettobaten van NH_3-reductie zullen daarom naar verwachting lager uitvallen dan de momenteel berekende 1% van de totale baten.

Ondanks de vermoedelijk lage bijdrage van NH_3 is deze emissie wel onderzocht waar gegevens beschikbaar waren. Omdat dit alleen voor mobiele en stationaire werktuigen mogelijk was, is NH_3 niet meegenomen in het totaaloverzicht in Paragraaf 3.1. Verder onderzoek blijft wel relevant, omdat het absolute en relatieve belang van NH_3 kan toenemen naarmate andere emissies verder afnemen.

Tekstkader 2 – Werking van een SCR-katalysator en het effect op stikstofemissies

SCR-katalysatoren

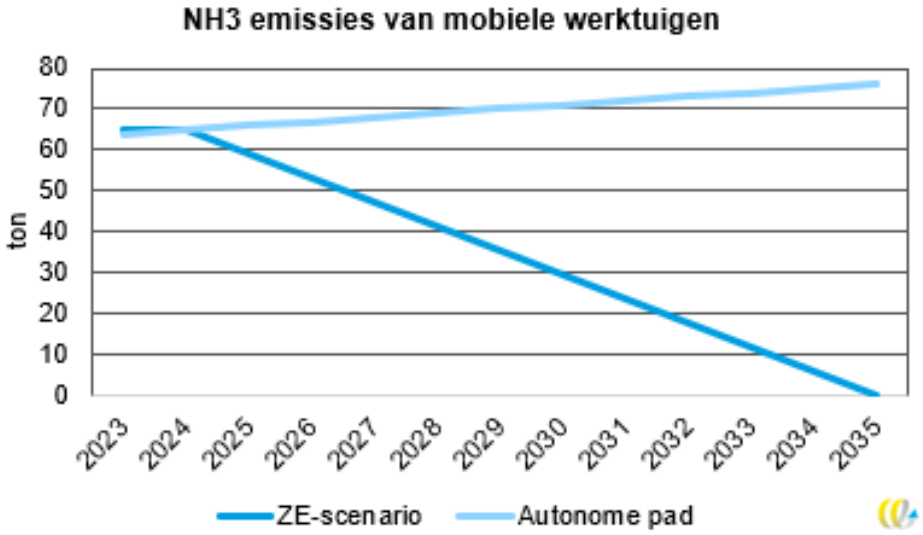
Een SCR-katalysator verlaagt de NO_x-uitstoot door AdBlue, een ureumoplossing, in de uitlaatgassen te injecteren. Hierbij ontstaat ammoniak (NH_3), dat in de katalysator met NO_x reageert tot stikstof en water. Wanneer niet alle ammoniak reageert, komt een deel via de uitlaat vrij. Dit wordt ammoniakslip genoemd.



Dit kan onder meer optreden bij een te hoge dosering van AdBlue en bij een lage motorbelasting, wanneer de uitlaatgastemperatuur onvoldoende hoog is voor een goede werking van de katalysator. Materieel met een SCR-katalysator kan daardoor een hogere NH_3-emissie hebben dan materieel zonder SCR, terwijl de NO_x-emissie juist sterk afneemt. Een nauwkeurige dosering en een aanvullende ammoniakslipkatalysator kunnen deze emissie beperken (TNO, 2026b).

Figuur 6 toont de ontwikkeling van NH_3-emissies tot 2035 (Emissieregistratie, lopend). De beperkte omvang van de NH_3-emissies hangt samen met het feit dat de emissies van bouwmaterieel vrijwel volledig uit stikstofoxiden (NO_x) bestaan en niet uit NH_3-emissies. NH_3-emissies ontstaan vooral bij dieselmaterieel met SCR-katalysatoren, zoals Stage IV- en Stage V-motoren. Bij deze systemen wordt AdBlue gebruikt om NO_x-emissies te reduceren, waarbij een kleine hoeveelheid ammoniak kan vrijkomen. Door de verdere ingroei van Stage IV- en Stage V-materieel kunnen de NH_3-emissies daarom op korte termijn nog licht toenemen. Zowel TNO (2023a) als de SEB (2023) geven echter aan dat deze emissies zeer beperkt of verwaarloosbaar zijn ten opzichte van de NO_x-emissies.

Figuur 6 – NH_3-emissies van mobiele en stationaire werktuigen



3.6 NMVOS

NMVOS staat voor niet-methaan vluchtige organische stoffen. Het is een verzamelnaam voor koolstofhoudende stoffen die gemakkelijk verdampen. NMVOS is dus geen afzonderlijke stof. De samenstelling van de emissie en de directe toxiciteit verschillen per verbinding (CE Delft, 2023).

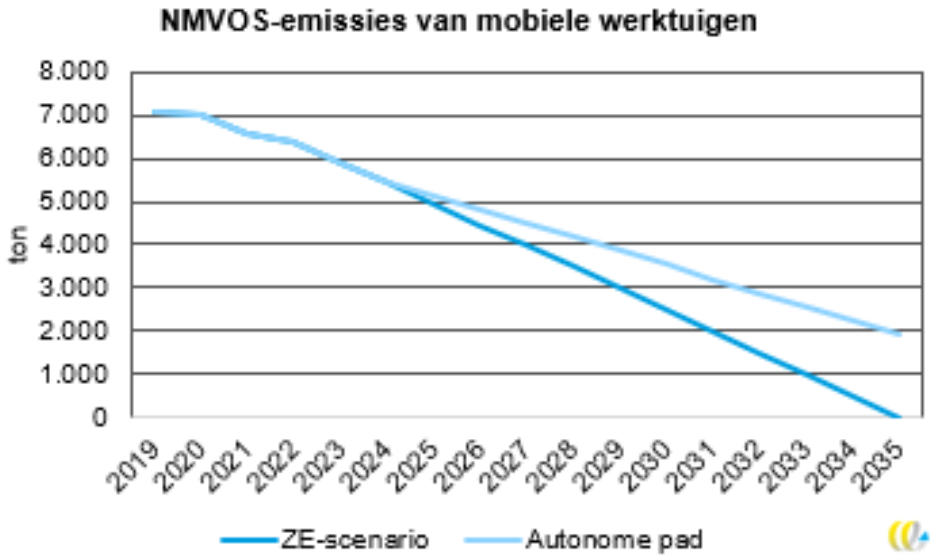
NMVOS komen onder meer vrij bij de verdamping van oplosmiddelen en brandstoffen en bij de verbranding van brandstoffen. Voor bouwmaterieel gaat het vooral om onverbrande of onvolledig verbrande koolwaterstoffen in de uitlaat van verbrandingsmotoren. Daarom kunnen er NMVOS vrijkomen bij dieselaangedreven mobiele en stationaire werktuigen, waterbouwvaartuigen en specifiek spoormaterieel. Ook bij verbranding van alternatieve brandstoffen kunnen NMVOS ontstaan. Elektrisch materieel zonder verbranding aan de uitlaat voorkomt deze emissie.

In de buitenlucht dragen NMVOS samen met stikstofoxiden (NO_x) en zonlicht bij aan de vorming van ozon op leefniveau. Deze relatie is niet lineair en hangt af van de verhouding tussen NMVOS en NO_x. In Nederland is relatief veel NO_x aanwezig, waardoor vermindering van NMVOS doorgaans de meest directe route is om ozonvorming te beperken. Ozon kan de long- en hartfunctie aantasten en kan leiden tot ademhalingsklachten, ontstekingsreacties, ziekenhuisopnamen en vroegtijdige sterfte. Daarnaast schaadt ozon gewassen en ecosystemen en tast het materialen aan, waaronder rubber en verf. Het Handboek Milieuprijzen rekent in de stofspecifieke milieuprijs voor NMVOS ook gezondheidsschade door de vorming van secundaire organische aerosolen mee. Eventuele directe toxiciteit van afzonderlijke verbindingen wordt niet volledig door een generieke NMVOS-prijs weergegeven (CE Delft, 2023).

Figuur 7 toont een daling van de emissies van mobiele en stationaire werktuigen tussen 2019 en 2024 (Emissieregistratie, lopend). In het autonome pad is deze historische ontwikkeling lineair doorgetrokken, waardoor in 2035 nog ongeveer 1,9 kton resteert. In het ZE-scenario daalt de emissie vanaf 2024 lineair tot nul in 2035. De Routekaart SEB bevat geen afzonderlijke eis voor NMVOS. De nuluitstoot in 2035 is daarom een scenario-aanname die aanvullend beleid of materieel zonder directe verbrandingsemissies vereist. De aanvullende berekening levert ongeveer € 32 miljoen aan contante baten op in 2025-2035. Dit is iets minder dan 2% van de gemonetariseerde totale baten.

De bijdrage van NMVOS lijkt daarom beperkt, maar is onderzocht waar gegevens beschikbaar waren. Dit was alleen het geval voor mobiele en stationaire werktuigen en is daarom niet opgenomen in het totaaloverzicht in Paragraaf 3.1. Wel blijft het onderzoeken van deze stof relevant, omdat het absolute en relatieve belang van NMVOS kan toenemen naarmate andere emissies afnemen.

Figuur 7 – NMVOS-emissies van mobiele en stationaire werktuigen



3.7 Dieselmotoremissies

In aanvulling op de eerdere waarderingen van CO_2, NO_x en PM_{10} zullen we in deze paragraaf ingaan op de gezondheidsbaten via de reductie aan dieseldampen. Dit doen we omdat dieseluitlaat voor bouwvakkers niet alleen algemene luchtvervuiling is, maar een directe blootstelling aan een kankerverwekkend mengsel van dieselroet en andere uitlaatstoffen.

3.7.1 Wat zijn dieselmotoremissies?

Dieselmotoremissie (DME) is een kankerverwekkende stof die ontstaat tijdens de verbranding van dieselolie in motoren. DME bestaat uit gassen, dampen en vaste deeltjes, waaronder roetdeeltjes. In de literatuur wordt dieselmotoremissie ook aangeduid als dieseluitlaat of *diesel engine exhaust*. Werknemers kunnen DME inademen als voertuigen of machines met een dieselmotor worden gebruikt, zowel binnen als buiten (CE Delft, 2023). Dit is relevant voor de bouw, omdat op bouwplaatsen veel dieselaangedreven materieel wordt gebruikt, zoals graafmachines, generatoren, kranen en trilplaten.

DME bevat onder meer roet, ultrafijnstof, NO_x, CO en polycyclische aromatische koolwaterstoffen. Voor arbeidsblootstelling wordt DME vaak gemeten met elementair koolstof (EC) of respirabel elementair koolstof (REC) als marker voor dieselroet. De Gezondheidsraad beschouwt respirabele elementaire koolstofdeeltjes als de beste blootstellingsmarker voor dieselmotoremissie, omdat deze indicator goed meetbaar is en een nauwkeurige weergave geeft van de concentratie roetdeeltjes in de emissie (Ministerie van SZW, s.l.). Elementair koolstof veroorzaakt zelf geen kanker, maar is een indicator voor blootstelling aan het mengsel van dieselroet en daaraan verbonden stoffen. Dit is belangrijk omdat PM_{10} of NO_x op zichzelf niet de volledige toxische en carcinogene samenstelling van dieseluitlaat representeert.

De inzet van emissieloos materieel voorkomt de lokale uitstoot van DME bij de bron. Daarmee wordt een ander type gezondheidsschade vermeden dan de schade die via generieke milieukosten PM_{10} en NO_x wordt gewaardeerd. De gezondheidswinst betreft vooral de reductie van directe beroepsmatige blootstelling van mensen op de bouwplaats die dicht bij draaiend dieselmaterieel werken.

3.7.2 De gezondheidsschade van DME

De gezondheidseffecten van DME kunnen worden onderscheiden in acute klachten en chronische gezondheidsschade (Ministerie van SZW, 2018). Kortdurende blootstelling aan DME kan leiden tot irritatie van ogen en luchtwegen. Langere of herhaalde blootstelling, vooral aan blauwe of zwarte rook, kan leiden tot hoesten, benauwdheid en kortademigheid (HSE, n.d.). Deze gezondheidseffecten treden vooral op wanneer dicht bij de emissiebron wordt gewerkt, zoals bij stationair draaiende machines of in slecht geventileerde of half-open werkruimtes.

Daarnaast wordt DME ook in verband gebracht met kanker. Zo heeft de World Health Organisation (WHO) dieseluitlaat geclassificeerd als kankerverwekkend voor mensen, op basis van voldoende bewijs voor een verband met longkanker (WHO, 2012).

Verder rapporteert International Agency for Research on Cancer (IARC) een positieve associatie met blaaskanker, maar met beperktere bewijskracht dan voor longkanker. Gezondheidsproblemen die ontstaan door blootstelling aan DME uiten zich in de meeste gevallen pas jaren na de blootstelling. Daardoor worden de baten van emissieloos

materieel niet volledig zichtbaar in kortetermijneffecten zoals ziekteverzuim, maar vooral in een lager langetermijnrisico op ernstige ziekten.

In epidemiologische studies onder beroepsgroepen met hoge of langdurige blootstelling, zoals truckchauffeurs en mijnwerkers, is een verhoogd risico op longkanker gevonden. In sommige risicogroepen loopt het gerapporteerde extra risico op longkanker op tot circa 40% (WHO, 2012). In de Europese Unie worden jaarlijks bijna 4.700 gevallen van longkanker en ruim 4.200 sterfgevallen toegeschreven aan blootstelling van dieseluitlaatgassen (STOP Carcinogens at Work, n.d.). Dit geeft een indicatie van de mogelijke ernst van langdurige beroepsmatige blootstelling, maar kan niet zonder correctie worden toegepast op bouwvakkers. De blootstelling in de bouw verschilt namelijk sterk per activiteit, werktuig, afstand tot de bron, ventilatie, onderhoudstoestand, duur van de werkzaamheden en aandeel stationair draaien. Voor de bouw is de richting van het effect goed onderbouwd, maar de omvang van het risico vraagt om blootstellingsgegevens op werkplekniveau.

3.7.3 Ernst van de vermeden schade

De ernst van de vermeden schade is hoog, omdat DME een kankerverwekkende stof is waarvoor geen veilig blootstellingsniveau kan worden vastgesteld. De Commissie Gezondheid en beroepsmatige blootstelling aan stoffen (GBBS) van de Gezondheidsraad heeft geschat welke concentraties respirabele elementaire koolstofdeeltjes overeenkomen met gangbare risiconiveaus voor beroepsmatige blootstelling. Daarbij komt de commissie uit op 0,011 µg per m^3 lucht voor het streefrisiconiveau en 1,03 µg per m^3 meter lucht voor het verbodsrisiconiveau. Deze niveaus liggen aanzienlijk lager dan de wettelijke grenswaarde van 10 µg EC per m^3 die per 1 juli 2020 geldt voor DME op de werkplek (Ministerie van SZW, s.l.; Staatscourant van het Koninkrijk der Nederlanden, 2020).

De Sociaal-Economische Raad (SER) geeft hierbij aan dat er voor deze grens is gekozen vanwege de praktische haalbaarheid en de wens om op korte termijn een wettelijk minimumbeschermingsniveau voor alle werknemers vast te leggen. Volgens de SER was het, mede door achtergrondconcentraties en de technische haalbaarheid in verschillende sectoren, op dat moment niet mogelijk om een wettelijke grenswaarde vast te stellen tussen het streef- en verbodsrisiconiveau[2] (Staatscourant van het Koninkrijk der Nederlanden, 2020). Dat neemt niet weg dat DME op het toegestane niveau nog steeds onveilig is. Daarom moet volgens de arbeidshygiënische strategie altijd eerst worden gekeken of de dieselmotor vervangen kan worden door een ander type aandrijving. Wanneer vervanging technisch mogelijk is, is de werkgever verplicht om de dieselmotor te vervangen. De Nederlandse Arbeidsinspectie benoemt het wegnemen van de bron, dus de dieselmotor, als de meest effectieve manier om blootstelling aan DME tegen te gaan (Ministerie van SZW, 2018).

[2] Na 4 jaar zou worden bekeken of een verlaging mogelijk is, maar hier is nog geen update over gevonden.

Sinds 2020 voert de Nederlandse Arbeidsinspectie gerichte inspecties uit bij garagebedrijven, betonmortelbedrijven en afvalverwerkende bedrijven, waaruit blijkt dat kennis over de risico's van DME vaak ontbreekt en vervanging van dieselaangedreven apparaten en voertuigen nog beperkt wordt overwogen (Nederlandse Arbeidsinspectie, 2024). De inzet van emissieloos materieel sluit goed aan bij het beleid van de Arbeidsinspectie door niet te sturen op emissiebeperking via filters of organisatorische maatregelen, maar de blootstelling aan dieseluitlaat bij de bron te voorkomen.

De hoeveelheid en samenstelling van dieseluitlaat hangen onder meer af van het motortype, de motorafstelling, de onderhoudstoestand, de brandstofkwaliteit, de belasting van de motor en de temperatuur waarbij de motor werkt. De zichtbare rook kan daarbij een signaal zijn voor verhoogde blootstelling. Blauwe rook bestaat vooral uit olie en onverbrande brandstof en wijst op een slecht onderhouden of slecht afgestelde motor. Zwarte rook bestaat uit roet, olie en onverbrande brandstof en wijst op een mechanisch defect. Witte rook bestaat uit waterdruppels en onverbrande brandstof, ontstaat bij een koude start en verdwijnt meestal wanneer de motor warm is (HSE, n.d.).

Voor bouwplaatsen betekent dit dat de gezondheidswinst van emissieloos materieel het grootst is in situaties waarin dieselmaterieel intensief wordt gebruikt en werknemers dicht bij de bron werken. Voorbeelden zijn werkzaamheden met graafmachines of shovels in de directe nabijheid van grondwerkers, inzet van aggregaten of compressoren op vaste plekken, stationair draaiend materieel en werkzaamheden in tunnels, parkeergarages, loodsen of andere slecht geventileerde ruimten. Ook bij buitenwerk kan blootstelling relevant blijven, omdat de afstand tussen werknemer en uitlaatbron vaak klein is.

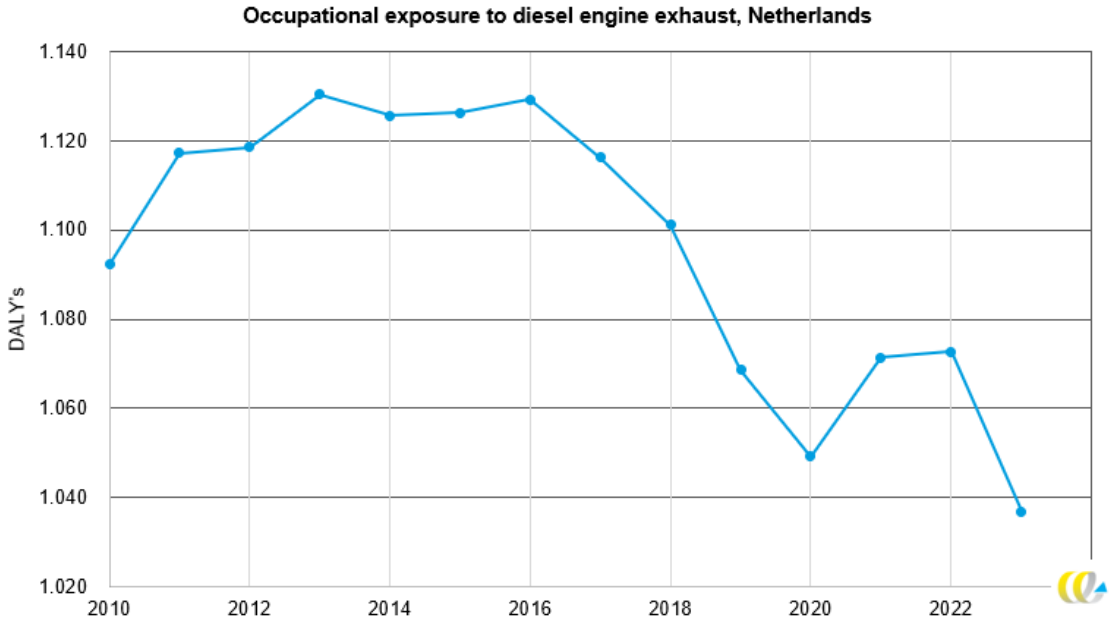
De gezondheidsbaten van emissieloos materieel bestaan uit het vermijden van blootstelling aan DME en daarmee uit het beperken van acute luchtwegklachten, chronische luchtwegschade en vooral langetermijnrisico's op kanker. Het Handboek Milieuprijzen bevat geen afzonderlijke waardering voor DME. Daardoor worden deze specifieke arbeidsgezondheidsbaten slechts gedeeltelijk meegenomen wanneer uitsluitend wordt gerekend met milieukosten voor PM_{10} en NO_x. Door nog apart naar de waardering van DME-schade te kijken weten we hoeveel de baten maximaal verhoogd kunnen worden.

3.7.4 Top-down waardering dieselmotoremissies

Volgens Global Burden of Disease Collaborative Network (2023) verloor de Nederlandse bevolking van 2013-2023 gemiddeld 1.090 volledig gezonde levensjaren als gevolg van DME bij blootstelling tijdens het werk (zie Figuur 8). Dit wordt uitgedrukt in DALY's (disability-adjusted life years), wat staat voor het aantal verloren levensjaren in volledige gezondheid. Het Handboek Milieuprijzen van CE Delft (2023) waardeert een DALY met € 103.611 (prijspeil 2025). Daarmee komt voor Nederland de jaarlijkse totale gezondheidsschade neer op ruim € 100 miljoen.

Niet alle schade is echter toe te schrijven aan de bouwsector. Andere sectoren waar veel dieselmotoremissies worden uitgestoten, zijn garagebedrijven en de afvalverwerkende sector (Nederlandse Arbeidsinspectie, 2024). Op basis van een enquête van de Nationale Enquête Arbeidsomstandigheden 2025 is het aandeel vanuit de bouw geschat op 9% (TNO, 2026a). Daarmee kan gezondheidsschade als gevolg van dieselmotoremissies in de bouw geschat worden op ruim € 10 miljoen per jaar. In netto contante waarde komt dit neer op maximaal € 100 miljoen voor de periode 2025-2035. Een deel van deze schade is meegenomen in de waardering van PM_{10} en NO_x, daarom nemen we dit op als maximale additionele baten.

Figuur 8 – Beroepsmatige blootstelling aan DME in DALY's



Bron: (Global Burden of Disease Collaborative Network, 2023), aangepast door CE Delft.

3.7.5 Aandachtspunten

Een bottom-up monetaire waardering van vermeden DME-schade vraagt om aanvullende gegevens over blootstelling op werkplekniveau, zoals de concentratie REC of EC, de duur van blootstelling, het aantal blootgestelde werknemers, de afstand tot de emissiebron, de ventilatiecondities, het machinegebruik en de onderhoudstoestand. De vermeden schade is ernstig van aard, omdat het gaat om blootstelling aan een kankerverwekkende stof zonder veilig blootstellingsniveau. De omvang van de baten is locatiespecifiek en hangt af van de intensiteit van dieselgebruik, de nabijheid van werknemers tot de bron en de mate waarin werkzaamheden plaatsvinden in besloten of slecht geventileerde situaties.

3.8 Geluidsoverlast

Emissieloos bouwen kan bijdragen aan minder geluidsoverlast. In dit hoofdstuk beschrijven we hoe deze baten kunnen worden beoordeeld. We maken eerst een top-down-inschatting van de monetaire waardering van geluidsoverlast. Daarna bespreken we de mogelijkheid van een bottom-upbenadering via milieuprijzen en de beperkingen rondom het toepassen hiervan op bouwactiviteiten. Vervolgens gebruiken we bevindingen uit de literatuur om de potentiële baten van emissieloos bouwmaterieel kwalitatief te onderbouwen.

3.8.1 Impact op de gezondheid van mensen

De literatuur wijst erop dat bouwgeluid kan leiden tot stress, slaapverstoring, verstoring van dagelijkse activiteiten en verminderde concentratie. Akosile et al. (2025) schrijven over de effecten van bouwgeluid op bouwvakkers dat geluidsniveaus boven 70 dB(A)[3] kunnen leiden tot fysiologische veranderingen. Geluidsniveaus tussen 35 en 65 dB(A) kunnen hinder veroorzaken, terwijl niveaus tussen 66 en 85 dB(A) lichamelijke alarmreacties kunnen oproepen en bij langdurige blootstelling kunnen bijdragen aan gehoorschade. De review wijst er ook op dat het karakter van geluid relevant is. Complex en onvoorspelbaar geluid vermindert de leerefficiëntie sterker dan continu geluid, onder meer doordat het nauwkeurigheid en reactietijd aantast. Dit wordt verklaard door verstoring van cognitieve verwerking en toename van mentale vermoeidheid.

Daarnaast merkt Bellona (2021) op dat geluid indirecte veiligheidsrisico's veroorzaakt. Hoge geluidsniveaus en gehoorbescherming bemoeilijken communicatie op de bouwplaats, waardoor collega's, signalen of waarschuwingen minder goed worden gehoord. Volgens Bellona (2021) is dit, samen met het ongemak van gehoorbescherming, een reden waarom een deel (30%) van de werknemers gehoorbescherming niet consequent gebruikt. Daardoor neemt het risico op gehoorschade verder toe.

Onderzoek naar fysiologische effecten bevestigt dat bouwgeluid meetbare reacties in het lichaam kan oproepen. In Mir et al. (2023) wordt geconcludeerd dat verschillende typen bouwgeluid invloed hebben op indicatoren zoals hartslag, hartslagvariabiliteit en activiteit van het autonome zenuwstelsel. De studie laat zien dat alle onderzochte geluidstypen fysiologische effecten kunnen veroorzaken, maar dat de mate van effect verschilt per geluidstype. Impulsief en hoogfrequent geluid, zoals van een drilboor of zaag, werd als stressvoller ervaren dan bijvoorbeeld een bulldozergeluid. De auteurs benadrukken dat effecten afhangen van het type geluid, het geluidsniveau, de blootstellingsduur en de onderzochte populatie. Dit benadrukt dat bouwgeluid moeilijk met één factor kan worden beschreven.

[3] dB(A) is een eenheid voor geluidssterkte gecorrigeerd voor het menselijk oor.

Ook vanuit stedelijke blootstelling is er bewijs dat omgevingsgeluid samenhangt met welzijn en gezondheid. Zhang and Zhou (2023) stellen dat geluid uit stedelijke bouwactiviteiten en dagelijks stedelijk verkeer van invloed kan zijn op gedrag, welzijn, productiviteit en gezondheid. Overmatige blootstelling aan geluid kan volgens deze studie leiden tot irritatie, slechtere slaap en een hogere prevalentie van hypertensie en hart- en vaatziekten. De studie verwijst bovendien naar de WHO-nachtrichtlijnen, waarin wordt aangegeven dat nachtelijke geluidsniveaus vanaf 40 dB negatieve gezondheidseffecten kunnen veroorzaken. De gevonden drempelwaarden verschillen per activiteit en context, met onder meer ongeveer 45 dB als passend geluidsniveau thuis en ongeveer 34 dB tijdens slaap.

Voor omwonenden van bouwplaatsen zijn vooral hinder, verstoring en slaapkwaliteit relevant. Ng (2000) bevestigt dat effecten sterker zijn bij bewoners die dichter bij de bouwplaats wonen. Bewoners reageren op bouwgeluid door harder te praten, ramen gesloten te houden of ruimten te verlaten. Studenten die dichter bij de bouwplaats woonden, ervoeren meer afleiding en meer verstoring van dagelijkse activiteiten, waaronder studeren, lezen en geconcentreerd nadenken. De studie beschrijft bouwgeluid bovendien als een van de meest onaangename geluiden in de woonomgeving. Ook wordt verwezen naar onderzoek waaruit blijkt dat intermitterend geluid rond 45 dB(A) al kan leiden tot lichtere slaap, ontwaken, slechtere ervaren slaapkwaliteit en een slechter humeur.

3.8.2 Impact op biodiversiteit

Daarnaast heeft geluid ook impact op het welzijn van dieren. De EEA (2025) geeft aan dat 29% van Europa's Natura 2000-gebieden last heeft van vervoersgeluid dat risico's vormt voor dieren. In Nederland heeft mogelijk zelfs meer dan de helft van de Natura 2000-gebieden te veel geluidsoverlast. Geluidsoverlast kan onder andere leiden tot gedragsveranderingen, een verminderde reproductiviteit en het verlies van geschikte habitatplekken. Geluid bemoeilijkt namelijk de communicatie tussen dieren en kan zo een belemmering vormen voor de jacht en het paren. Vooral vogels, zoogdieren, amfibieën, insecten, reptielen en spinachtigen ondervinden hiervan hinder.

Een studie in Amsterdam laat bijvoorbeeld zien dat geluidsoverlast, ten opzichte van lichtvervuiling, populatiedichtheid en stedelijke hitte-effecten, de meest negatieve impact heeft op het verzamelen van voedsel door vogels. Door het hardere geluid vermeden vogels bepaalde gebieden en verzamelden zij minder efficiënt voedsel (Krijnen & Hernández-Agüero, 2025).

Ook onderwatergeluid door waterbouw kan het waterleven verstoren door een toename van stress en gedragsveranderingen. Door een toename van het achtergrondgeluid kunnen vissen en andere waterdieren zich moeilijker oriënteren en wordt de interactie tussen prooi- en roofdieren bemoeilijkt (EEA, 2025).

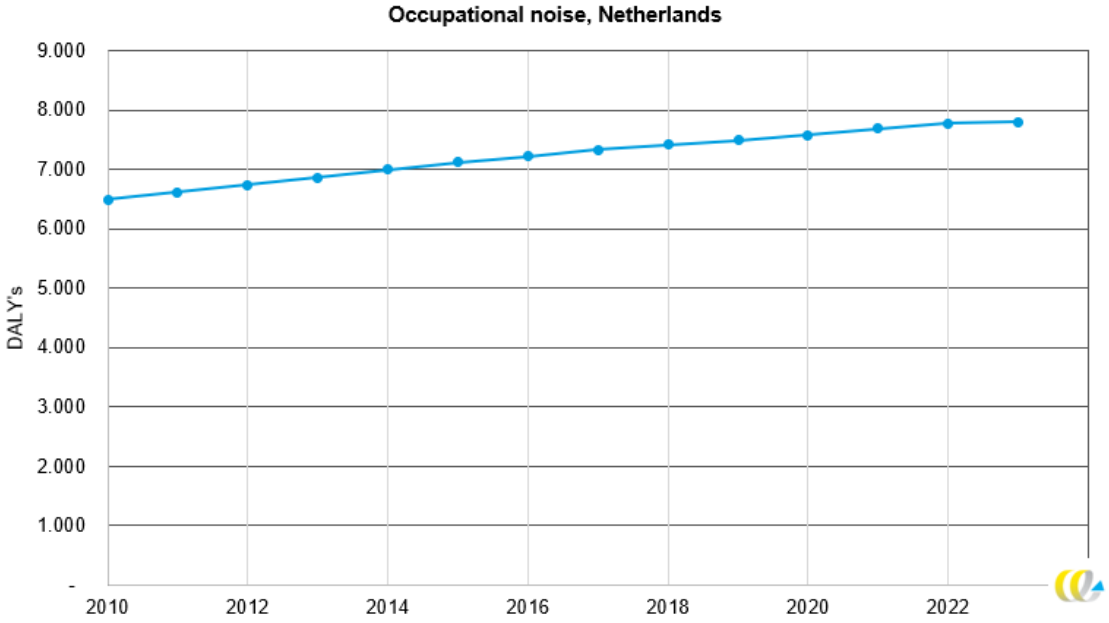
3.8.3 Top-down: Waardering geluidsoverlast

Een rapport van de EEA (2025) geeft aan dat de geluidshinder van vervoer resulteert in een jaarlijks verlies van 1,5 miljoen gezonde levensjaren binnen Europa. Dit wordt uitgedrukt in DALY's (disability-adjusted life years). Het Handboek Milieuprijzen van CE Delft (2023) waardeert een DALY met € 103.611 (prijspeil 2025). Daarmee komt voor heel Europa de jaarlijkse gezondheidsschade van verkeer neer op € 155 miljard.

Daarnaast is ook een inschatting te maken voor Nederland. Volgens Global Burden of Disease Collaborative Network (2023) verloor de Nederlandse bevolking van 2013-2023 gemiddeld 7.443 volledig gezonde levensjaren als gevolg van gehoorverlies dat aan beroepslawaai wordt toegeschreven (zie Figuur 9). Uitgaande van dezelfde waardering van een DALY komt daarmee de jaarlijkse totale gezondheidsschade in Nederland neer op bijna € 800 miljoen.

Niet alle gehoorschade is echter toe te schrijven aan de bouwsector. De meeste meldingen van slechthorendheid komen uit de sector overheid en openbaar bestuur met onder andere de politie, defensie en de brandweer. Daarna volgt bouwnijverheid met ongeveer 13% van de meldingen (NCVB, 2023). Daarmee kan gezondheidsschade als gevolg van geluidsoverlast in de bouw geschat worden op € 100 miljoen per jaar. Verdisconteerd komt dit neer op bijna € 1 miljard voor de periode 2025-2035. Deze schade bestaat enkel uit schade vanuit beroepsziekten in de bouw. Hierin is de schade voor omwonenden niet meegenomen.

Figuur 9 – Beroepsmatige blootstelling aan geluidsoverlast in DALY's



Bron: (Global Burden of Disease Collaborative Network, 2023), aangepast door CE Delft.

3.8.4 Bottom-up: Waardering van geluidsoverlast met milieuprijzen

Geluidsoverlast kan worden gewaardeerd met milieuprijzen. Daarbij wordt een monetaire waarde toegekend aan blootstelling aan geluid, uitgedrukt als een prijs per persoon per decibel per jaar. Deze benadering maakt het mogelijk om een verfijning aan te brengen in de top-downinschatting (zie 3.8.3) omdat hiermee onderscheid kan worden gemaakt in geluidscontouren en omdat geluidsoverlast van omwonenden kan worden meegenomen.

De achterliggende redenering is dat geluid niet alleen overlast veroorzaakt, maar ook gezondheidseffecten kan hebben. Relevante gezondheidseffecten zijn onder meer stress, slaapverstoring en hart- en vaatziekten. Hierdoor gelden internationale richtwaarden, zoals een advieswaarde van 45 dB(A) Lden[4] voor blootstelling over een etmaal (RIVM, n.d.). Boven dergelijke niveaus neemt de kans op negatieve gezondheidseffecten toe.

De milieuprijzen zijn echter niet één-op-één geschikt voor de waardering van emissieloos bouwen. De milieuprijzen voor geluid zijn vooral ontwikkeld voor relatief continue en grootschalige bronnen zoals wegverkeer, spoorverkeer en vliegverkeer. Bouwgeluid heeft een ander karakter. Het is vaak tijdelijk (voor omwonenden), plaatsgebonden, wisselend in intensiteit en sterk afhankelijk van het type werkzaamheden, materieel, werktijden en afstand tot omwonenden. Daardoor is een generieke prijs per persoon per dB per jaar minder goed toepasbaar op bouwplaatsen.

Een tweede beperking is dat bouwgeluid niet alleen wordt bepaald door motorisch geluid. Bij sommige werkzaamheden ontstaat veel geluid door zagen, heien, breken of andere procesgeluiden. Elektrificatie vermindert vooral het constante motorgeluid van conventioneel materieel, maar neemt niet alle geluidsbronnen op de bouwplaats weg. De baten van emissieloos bouwen hangen dus af van de mate waarin motorgeluid bepalend is voor de totale geluidbelasting.

3.8.5 Aandachtspunten

Deze inzichten ondersteunen de verwachting dat emissieloos bouwmaterieel maatschappelijke baten kan opleveren wanneer het leidt tot minder geluid op en rond de bouwplaats. De belangrijkste winst zit waarschijnlijk in het verminderen van continu motorgeluid van conventioneel materieel. Dat kan hinder, stress en verstoring voor omwonenden beperken en de werkomstandigheden op de bouwplaats verbeteren. Tegelijkertijd is de omvang van de baten afhankelijk van het type werkzaamheden. Bij activiteiten waarbij impactgeluid domineert, zoals heien[5], breken of zagen, zal elektrificatie van het materieel de totale geluidbelasting minder sterk verlagen.

---

[4] Lden staat voor ‘Level day-evening-night’ en is de Europese maat voor de gemiddelde geluidsbelasting door omgevingslawaai over een heel jaar, uitgedrukt in decibel.

[5] Voor heien worden al steeds meer alternatieven gebruikt, zoals schroeven en boren, die de geluidsoverlast doen afnemen Meulenberg, T. (2016, 12-06-2026). *Wanneer gebruik je schroefpalen in plaats van traditionele heipalen?* Fundex. https://www.fundex.nl/wanneer-gebruik-je-schroefpalen-in-plaats-van-traditionele-heipalen/.

Wel worden sommige impactgeluiden, zoals van heien, vaak al gereguleerd via vergunningen. Vergunningen stellen dan dat er alleen op bepaalde uren gewerkt mag worden, maar ook dat de geluidsintensiteit onder een bepaald niveau moet blijven waardoor er structureel op andere heimethoden wordt teruggevallen en het impactgeluid ook vermindert. De literatuur wijst daarom vooral op een kwalitatief positief effect, maar biedt onvoldoende basis om zonder projectspecifieke geluidsgegevens een robuuste monetaire waardering af te leiden.

Elektrisch materieel zal qua geluidsoverlast vooral verschil maken bij werkzaamheden waarbij weinig of geen impactgeluid optreedt. In die situaties kan stiller materieel mogelijk ook ruimere werktijden mogelijk maken, mits dit past binnen lokale regels en projectspecifieke voorwaarden.

Een aandachtspunt is dat stiller materieel ook nieuwe veiligheidsrisico's kan introduceren. Emissieloos bouwmaterieel maakt weinig geluid en kan daardoor bij lage snelheden minder snel worden opgemerkt. Wel speelt dit vooral bij bestelwagens en grotere vrachtwagens, die niet binnen de scope van het huidige onderzoek vallen. Arcadis (2023) wijst erop dat Europese wetgeving elektrische voertuigen verplicht om een Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS) te hebben, zodat zij ook bij lage snelheden hoorbaar zijn. Voor elektrische werktuigen geldt deze verplichting niet, omdat het risico op incidenten kleiner wordt ingeschat.

3.9 Trillingen

Bij trillingen is het hele lichaam in trilling. Blootstelling aan trillingen en schokken vindt met name plaats bij bouwmaterieel zoals grondverzetmachines en kranen. Trillingen bij fossiele werktuigen ontstaan met name door motortrillingen. Met name machinisten hebben hier hinder van; grondwerkers en omwonenden hebben hier geen last van. Hiernaast kunnen trillingen ontstaan door activiteiten zoals graven, boren, heien of andere stotende activiteiten. Afhankelijk van de afstand tot grondwerkers en omwonenden kunnen zij hier in mindere mate ook overlast van ervaren.

Trillingen kunnen leiden tot gezondheidseffecten zoals (Volandis):

- rugklachten en rugaandoeningen;
- vermoeidheid;
- maagklachten;
- minder zicht en coördinatie tijdens het werk.

Deze gezondheidseffecten leiden ertoe dat werknemers minder goed kunnen functioneren en kunnen arbeidsongeschiktheid tot gevolg hebben (Volandis, 2018).

De inzet van emissieloos bouwmaterieel reduceert de impact van motortrillingen. Trillingen gerelateerd aan stotende activiteiten blijven bestaan. Volgens experts uit de praktijk kan de impact met de helft afnemen. Minder trillingen kan leiden tot minder uitval en minder nadelige gezondheidseffecten, maar het effect hiervan is niet gekwantificeerd. Wel lijkt dit effectiever dan het verminderen van de blootstellingstijd door de werkzaamheden over meerdere personen te verdelen. Na het halveren van de blootstellingstijd is de trillingsbelasting nog 70% van de oorspronkelijke belasting (Doornbusch et al., 2009). Overigens kunnen ook gedragsaanpassingen (goede zithouding) en aanpassingen aan het materieel (afgeveerde stoelen) de impact van trillingen op gezondheid reduceren (Volandis, 2018).

Volandis (2018) stelt dat ruim 20% werknemers in de bouw te maken hebben met lichaamstrillingen en schokken veroorzaakt door het werken met trillend gereedschap. Het gaat dan voornamelijk om machinisten van grondverzetmachines en chauffeurs van kippers, dumpers, baggeraars, kraanmachinisten en bedieners van asfalteermachines. Gebaseerd op cijfers van 2025 werken in de bouw ongeveer 450.000 werknemers (CBS, lopend).
Bij volledige elektrificatie bedraagt de maximale direct blootgestelde doelgroep dus rond de 90.000 mensen in de bouwsector. Het aantal vermeden klachten, verzuimdagen of gevallen van arbeidsongeschiktheid kan met de beschikbare gegevens niet worden gekwantificeerd (Volandis, 2018).

3.10 De geur van diesel

Geurhinder, en stress die het oplevert, kan leiden tot gezondheidsklachten als hoofdpijn, duizeligheid en misselijkheid. Ook hinder is een gezondheidseffect. Het kan leiden tot boosheid, afkeer en kan een onprettig gevoel geven. Hierdoor kan je gezondheid minder worden (GGD, n.d.).

Er is beperkt onderzoek gedaan naar de beleving van dieselgeur. Het meest uitgebreide onderzoek komt uit 1970 (National Air Pollution Administration, 1970) en hierin is middels verschillende tests de ervaring van de geur van diesel beoordeeld. Uit de studie blijkt dat mensen de geur van diesel als extreem onprettig ervaren en associëren met onder meer vervuiling, onveiligheid en chemische irritatie. Al bij lage intensiteit is de geur detecteerbaar, deze wordt direct als onprettig ervaren, maar niet direct als storend. Bij hoge concentraties is de waardering zeer negatief. Volgens praktijkexperts verschilt de beleving van de dieselgeur op de bouwplaats van persoon tot persoon. Sommige medewerkers ervaren de geur als storend, terwijl anderen dit niet zo ervaren. Vaak wordt de geur hinderlijk ervaren nadat een tijdje emissieloos is gewerkt.

In de praktijk worden vooral medewerkers die rond de machine werken aan de geur van diesel blootgesteld. Als een machinist in een afgesloten cabine zit, is de overlast beperkt.

Emissieloos bouwen elimineert de negatieve geureffecten van diesel. Er is echter geen waardering van de effecten bekend, daarom geven we geen kwantificering en monetarisering. Hierbij moeten we bovendien rekening houden met overlap: het kan zijn dat een deel van de negatieve gezondheidseffecten in de waardering van bijvoorbeeld de emissies zit. Volgens praktijkexperts zitten de negatieve gezondheidseffecten van diesel met name in de uitgestoten stoffen.

3.11 Baten reduceren stikstofbeperkingen

Stikstofemissie en -depositie veroorzaken effecten die ecosystemen verstoren, biodiversiteit verminderen en gezondheidsrisico's vergroten (al eerder beschreven in Paragraaf 3.3). De zogenaamde PAS-uitspraak uit 2019 heeft ertoe geleid dat het Programma Aanpak Stikstof (PAS) niet gebruikt mag worden als basis voor toestemming voor activiteiten. Hierdoor is het lastiger om vergunningen te krijgen, onder meer voor bouwactiviteiten vanwege de uitstoot van stikstof tijdens de bouwfase. Dit leidt tot vertraging in bouwprojecten, met economische en maatschappelijke schade tot gevolg. Inzet van emissieloos bouwmaterieel kan leiden tot het volledig of in grote mate reduceren van de stikstofuitstoot waardoor projecten doorgang kunnen vinden (zie Tekstkader 3 voor het onderscheid tussen deze economische baten en stikstofbaten uit Paragraaf 3.3).

Er is een aantal inschattingen gedaan van de economische schade van de stikstofbeperkingen. Bouwend Nederland (2025) schat de potentiële schade van misgelopen of bedreigde investeringen in woningbouw en utiliteitsbouw (dus geen infrastructuur) tot 2030 op € 93,5 miljard. Deze schade is gebaseerd op een inschatting van 244.000 woningen die door stikstof niet of vertraagd worden gerealiseerd. Het bedrag representeert projecten die juridisch of praktisch risico lopen en is daarmee een bovengrens.

SEO and CE Delft (2025) berekenen het bruto-omzetverlies, maar corrigeren hierbij voor aanpassing van plannen en andere werkzaamheden voor arbeiders. Zij schatten het bruto-omzetverlies op € 30 miljard. Dit verlies ontstaat doordat investeringen niet of later plaatsvinden in de sectoren woningbouw, infrastructuur, industrie en landbouw.
De grootste post is de woningbouw, met ruim € 20 miljard, het effect in de infrastructuur is beperkt met minder dan € 1 miljard. Het netto-effect is lager, omdat budgetten en arbeidsinzet verschuiven naar andere sectoren. Zo kan bijvoorbeeld in de infrastructuur een deel van het budget worden ingezet voor onderhoud in plaats van uitbreiding.
Het daadwerkelijke economische effect is daarmee gemiddeld € 0,5 miljard per jaar, ofwel € 4,1 miljard over de periode 2024-2030. Hiervan zal dus het grootste deel door woningbouw komen en een beperkt deel door infrastructuur. Het rapport Wennink (2025) concludeert op basis van de cijfers van CE Delft en SEO dat netcongestie en stikstofbeperkingen de komende jaren tot tientallen miljarden aan bruto-omzetverlies leiden. Het snel en daadkrachtig oplossen van de knelpunten in de economie kan honderden miljarden aan private investeringen mogelijk maken (Wennink, 2025).

Tekstkader 3 – Stikstofbeperkingen: stikstofbaten en economische baten

Stikstofbeperkingen: stikstofbaten en economische baten

Deze economische en maatschappelijke schade moet worden onderscheiden van de in Paragraaf 3.3 gewaardeerde baten van vermeden stikstofemissies. De stikstofbaten hebben betrekking op de vermindering van natuur- en gezondheidsschade bij bouwprojecten die daadwerkelijk worden uitgevoerd. De hier besproken economische schade ontstaat juist wanneer projecten door stikstofbeperkingen vertragen of niet doorgaan.

Of sprake is van overlap tussen beide batenposten, hangt af van de gekozen referentiesituatie. Zonder stikstofbeperkingen zouden meer projecten met conventioneel materieel doorgaan. Emissieloos materieel voorkomt in dat geval stikstofemissies, maar leidt niet tot aanvullende economische baten door het voorkomen van vertraging of uitval.

In de huidige situatie gelden echter wel stikstofbeperkingen. Projecten die met conventioneel materieel niet of pas later kunnen worden uitgevoerd, kunnen door de inzet van emissieloos materieel mogelijk alsnog of eerder doorgaan. De maatschappelijke baten bestaan dan zowel uit het voorkomen van economische en maatschappelijke schade door vertraging of uitval als uit het beperken van de stikstofuitstoot tijdens de uitvoering.

In de huidige berekening vindt geen dubbeltelling plaats. De stikstofbaten in Paragraaf 3.3 zijn gebaseerd op de geregistreerde emissies van daadwerkelijk uitgevoerde projecten. De hypothetische emissies van uitgestelde of niet-uitgevoerde projecten zijn daarin niet opgenomen en worden ook niet alsnog als vermeden emissies gewaardeerd. Voor deze projecten wordt uitsluitend gekeken naar de gerealiseerde economische en maatschappelijke schade als gevolg van vertraging of uitval. Daarmee blijven de twee batenposten in de huidige inschatting van elkaar gescheiden.

Figuur 10 – Waardering stikstofbeperkingen



Er zijn geen kwantitatieve studies bekend naar de verdere economische en maatschappelijke gevolgen van beperkingen in de bouwvergunningen voor woningbouw en infrastructuur. Wel kan beredeneerd worden dat dit nadelige gevolgen heeft. Zo leidt vertraging in de woningbouw tot langere wachttijden, hogere prijzen en woonwensen die vertraagd vervuld worden. Het Nederlands Jeugdinstituut (NJi) geeft aan dat de krapte op de woningmarkt leidt tot veel onzekerheid bij jongeren. Dit kan leiden tot stress en frustratie. Mede hierdoor stellen ze belangrijke levensbeslissingen uit (NJi, 2026).

Vertraging van infrastructuurprojecten kan op korte termijn leiden tot behoud van filedruk, maar kan in sommige regio's ook zorgen voor minder groei van bedrijvigheid en productiviteit. Ook verzwaringen van dijken en investeringen in het energienet lopen risico op vertraging door stikstof (EIB, 2024). Dit kan gevolgen hebben voor de waterveiligheid en de energietransitie remmen. Naast elektrificatie kunnen ook nieuwe bouwmethodieken worden ingezet, zoals modulair bouwen, waarbij een groot deel in de fabriek wordt geproduceerd. Hierdoor hoeven minder machines te worden ingezet en kunnen kortere bouwtijden worden bereikt.

3.11.1 Doorkijk naar 2035

De studies van Bouwend Nederland en CE Delft en SEO kijken naar de korte termijn en niet verder dan 2030. Ook nemen ze geen voorgenomen nieuw beleid mee. Het is daarom onzeker hoe deze cijfers zich richting 2035 ontwikkelen. Zo is er recent een nieuw stikstofplan gepresenteerd dat Nederland van het stikstofslot zou moeten halen (Ministerie van LVVN, 2026). Hierin is bijvoorbeeld opgenomen dat vergunningverlening mogelijk wordt voor emissiereductie, bijvoorbeeld via een passende maatregel.

3.11.2 Relevantie voor baten emissieloos bouwen

Per saldo is daarom aannemelijk dat emissieloos bouwen positieve baten heeft, maar de omvang daarvan is op dit moment lastig robuust te kwantificeren. De baten van emissieloos bouwen bij het vlot trekken van de vergunningverlening lijken vooral relevant daar waar stikstofemissies in de aanlegfase bepalend zijn. Dit geldt over het algemeen meer voor woningbouw dan bij infrastructuur. Bijvoorbeeld de aanleg van een nieuwe weg of brug zal leiden tot nieuw verkeer tijdens de gebruiksfase. Bij bepaalde onderdelen van infrastructuur, bijvoorbeeld dijkversterkingen en investeringen in netverzwaring, spelen emissies in gebruiksfase daarentegen een beperktere rol en kan emissieloos bouwen bijdragen aan het versnellen van de vergunningverlening.

Richting 2035 kan de relevantie van deze baat echter veranderen door ander stikstofbeleid en aanvullende emissiereductiemaatregelen. Snellere vergunningverlening leidt tot economische baten voor de bouwsector zelf, doordat projecten eerder of alsnog kunnen doorgaan, en bredere maatschappelijke baten, zoals minder vertraging bij infrastructuur, minder files en een kleinere bijdrage aan het woningtekort.

3.12 Minder gevoelig voor fossiele prijsschokken

Emissieloos bouwen kan de gevoeligheid voor fossiele prijsschokken verminderen, doordat de bouw minder afhankelijk wordt van diesel en andere fossiele brandstoffen. Daarmee nemen risico's van plotselinge prijsstijgingen door geopolitieke spanningen, krappe markten of verstoringen in olie- en gasmarkten af. Dit is relevant omdat fossiele brandstoffen voor mobiliteit wereldwijd uit een beperkt aantal olie-exporterende landen komen.

Ook Nederland importeert een groot deel van de olie uit een beperkt aantal landen (CBS, 2025). Een transitie naar meer hernieuwbare en lokaal opgewekte energie kan daarmee bijdragen aan voorzieningszekerheid: klimaatdoelen en voorzieningszekerheid kunnen elkaar versterken (KiM, 2026). Volgens de IEA vermindert elektrificatie de blootstelling aan fossiele prijsschokken, maar verdwijnen prijsrisico's niet volledig (IEA, 2024). Deze risico's verschuiven deels naar elektriciteit, netcapaciteit, batterijen, kritieke mineralen en schoon materieel. De mate waarin emissieloos bouwen bijdraagt aan betaalbaarheid hangt daarom af van de robuustheid van de transitie: voldoende laadinfrastructuur, netcapaciteit, flexibiliteit en veerkrachtige toeleveringsketens zijn nodig om nieuwe prijsrisico's te beperken. Per saldo kan emissieloos bouwen de blootstelling aan fossiele prijsvolatiliteit verlagen, maar de omvang van deze baat is lastig te kwantificeren en afhankelijk van de inrichting van het energiesysteem.

4 Specifieke casussen

In dit hoofdstuk is voor drie casussen uitgerekend wat de baten zijn van emissieloos bouwmaterieel ten opzichte van gangbaar materieel. Dit betreft de volgende casussen:

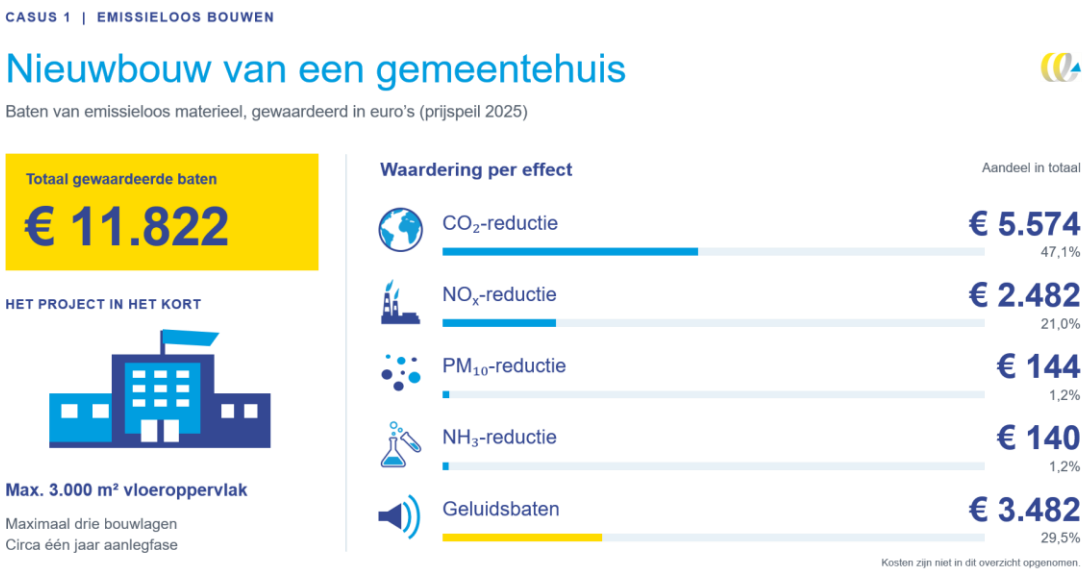
1. Utiliteitsbouw: nieuw gemeentehuis
2. Energietransitie: ondergrondse hoogspanningsverbinding
3. GWW: versterking zeedijk

Van de casussen is een AERIUS-doorrekening publiek beschikbaar. Gegevens hieruit zijn met behulp van de Emissievoorspeller gebruikt voor de berekening van de baten. Een uitgebreide methodebeschrijving is te vinden in Bijlage C. We zien dat de baten variëren van ruim € 10.000 tot bijna een half miljoen euro per project. Het belang zal met name afhangen van de mate waarin gemotoriseerde activiteiten plaatsvinden (grondverzet, aggregaten), het geproduceerde geluid, het aantal mensen dat hier last van heeft en de reductie door elektrificatie.

4.1 Casus 1: Nieuw gemeentehuis

De eerste casus betreft de bouw van een nieuw gemeentehuis aan de rand van een dorp. Het plan voorziet in maximaal 3.000 m² bruto vloeroppervlak en maximaal drie bouwlagen. De onbebouwde bouwlocatie omvat een bestaand parkeerterrein. In de omgeving liggen woningen, bedrijven, natuur en landbouwgronden. We gaan uit van een aanlegfase van ongeveer één jaar.

Figuur 11 – Baten emissieloos bouwen van een nieuw gemeentehuis



De materieelinzet is vooraf geraamd op basis van vergelijkbare projecten en afgestemd met de opdrachtgever. Het gaat om een graafmachine, shovel, boor-/heistelling, mobiele kraan, betonpomp, verreiker en kooiaap. De AERIUS-doorrekening bevat per werktuig gegevens over vermogen, bedrijfsduur, brandstofverbruik en, waar relevant, AdBlue-gebruik (SAB, 2024). De mobiele kraan is al als elektrisch materieel opgenomen, met een accu of bouwstroom en zonder dieselaggregaat. Voor de overige genoemde werktuigen is uitgegaan van dieselmaterieel van Stage IV.

Figuur 11 geeft een overzicht van de resultaten. Te zien is dat de totale gekwantificeerde baten ruim € 10.000 zijn. De meeste baten komen van de CO_2-reductie.

4.2 Casus 2: Ondergrondse hoogspannings-verbinding

De tweede casus betreft de aanleg van een ondergrondse hoogspanningsverbinding van 150 kV (Qirion, 2023). De kabelaanleg maakt deel uit van een groter project waarin ook een onderstation wordt gebouwd. Het tracé omvat ongeveer 1,8 kilometer open ontgraving en 0,6 kilometer gestuurde boringen. Daarnaast is horizontale bronbemaling voorzien. Volgens de planning wordt de kabelaanleg over twee bouwjaren verdeeld; het totale project duurt ongeveer drie jaar.

Figuur 12 geeft een overzicht van de resultaten. Te zien is dat de totale gekwantificeerde baten ruim € 115.000 zijn.

Voor de kabelwerkzaamheden voorziet de bron in Stage IV-dieselmaterieel: een graafmachine, bemalingsinstallatie, dumper, aggregaat en boormachine. Per bouwjaar zijn gebruiksuren, brandstofverbruik en, waar van toepassing, AdBlue-verbruik opgenomen.

Figuur 12 – Baten emissieloos bouwen van een ondergrondse hoogspanningsverbinding



4.3 Casus 3: Versterking zeedijk

De derde casus betreft de versterking van een zeedijk over circa negen kilometer, deels langs een haven en deels door landelijk gebied (AERIUS Calculator, n.d.; Arcadis, 2022). Het project omvat het verhogen van de dijk en het vervangen van de bekleding. Daaraan zijn werkzaamheden voor natuurontwikkeling en bereikbaarheid gekoppeld, waaronder een zoet-zoutovergang, kwelderontwikkeling en een extra ontsluitingsweg. Er wordt zowel op land als op het water gewerkt.

De materieelinventarisatie omvat onder meer rupskranen, dumpers, bulldozers, shovels, asfaltmaterieel, walsen en een sleepboot of kraanschip. De opgegeven inzet betreft grotendeels Stage IV-materieel. Het uitgangspuntenmemo gaat uit van een uitvoering van vier jaar.

Figuur 13 geeft een overzicht van de resultaten. Te zien is dat de totale gekwantificeerde baten ruim € 450.000 zijn.

Figuur 13 – Baten emissieloos bouwen bij de versterking van een zeedijk



4.4 Reflectie

We zien dat de baten variëren van ruim € 10.000 tot bijna een half miljoen euro per project. Het is niet exact in beeld wat de totale aanneemsommen van deze projecten waren. Het belang zal met name afhangen van de mate waarin gemotoriseerde activiteiten plaatsvinden (grondverzet, aggregaten), het geproduceerde geluid, het aantal mensen dat hier last van heeft en de reductie door elektrificatie.

Het belang van de baten en de verschillende batenposten lijkt wat af te wijken van de resultaten voor de totale markt. Enerzijds wordt dit verklaard door een andere fasering: de projecten vinden in de komende jaren plaats en worden afgezet tegen volledig emissieloos. Bij het bepalen van de baten voor alle publieke aanbestedingen is gewerkt met een afbouwpad van emissies. Anderzijds is gebruik gemaakt van verschillende bronnen voor de emissieberekening. Hierdoor kan ook een deel van het verschil verklaard worden.

5 Conclusies

Algemeen beeld

Deze analyse brengt de maatschappelijke baten in beeld van het scenario waarin bij publieke aanbestedingen in 2035 volledig emissieloos bouwmaterieel wordt ingezet. Ten opzichte van het autonome pad levert dit scenario substantiële baten op voor klimaat, luchtkwaliteit en gezondheid. Voor de periode 2025-2035 komt dit uit op ongeveer € 3,8 miljard, waarbij ook in de toekomst jaarlijkse baten blijven doorlopen. Sommige maatschappelijke baten konden niet monetair worden gewaardeerd. Dit geldt voor de baten van verminderde trillingen, kwetsbaarheid voor fossiele prijsschokken en het voorkomen van vertragingen in projecten die vanwege stikstofbeperkingen geen doorgang kunnen vinden met het traditionele bouwmaterieel. Hierdoor zijn de resultaten waarschijnlijk een onderschatting en liggen de daadwerkelijke baten hoger.

Tabel 8 – Resultaten baten emissieloos bouwen, 2025-2035

Soorten baten	**Totale monetaire waardering (in mln euro)**
Gekwantificeerde baten	
Klimaatbaten (CO_2-reductie)	1.027
Luchtkwaliteitsbaten reductie stikstof (NO_x)	1.500
Luchtkwaliteitsbaten reductie fijnstof (PM_{10})	279
Gezondheidsbaten reductie dieseldampen	Max. 101
Gezondheidsbaten reductie geluid	Max. 964 + effecten omwonenden
Niet-gekwantificeerde baten	
Gezondheidsbaten reductie trillingen	+
Voorkomen vertraging bouwprojecten vanwege stikstofbeperkingen	+
Reductie kwetsbaarheid fossiele prijsschokken	+/?
Totaal	**Max. 3.872 + niet-gekwantificeerde baten**

NB: Een positieve waardering betekent een welvaartsbaat vanwege de overgang op emissieloos bouwen.

Klimaat- en luchtkwaliteitsbaten zijn grootste batenposten

De grootste maatschappelijke baten komen van vermeden CO_2- en NO_x-emissies. De klimaatbaten zouden bij hoge CO_2-prijs zelfs oplopen tot ongeveer € 1,3 miljard of € 4,3 miljard (ten opzichte van € 1 miljard). De fijnstofbaten zijn gemonetariseerd aan de hand van een milieuprijs die past bij de uitstoot dicht bij de grond. Hierdoor stijgt de waardering van fijnstofreductie van ongeveer € 133 miljoen naar ongeveer € 279 miljoen. Er is uitgegaan van een gemiddelde uitstootlocatie, aangezien het onbekend is of werkzaamheden worden uitgevoerd in binnen- of buitenstedelijk gebied. De uitstootlocatie heeft wel invloed op het aantal mensen dat hier schade van ondervindt, wat de berekende baten doet variëren van ongeveer € 207 miljoen bij uitstoot op het platteland tot ongeveer € 466 miljoen in stedelijk gebied.

De grootste impact komt van mobiele en stationaire werktuigen, gevolgd door respectievelijk waterbouw en specifiek spoormaterieel.

Baten geluidsreductie: maximaal € 1 miljard voor personeel + effecten voor omwonenden

De totale waardering van ongeveer € 3,8 miljard bevat een top-downinschatting van ongeveer € 1,0 miljard voor beroepsmatige geluidsschade in de bouw. Deze waarde geeft een indicatie van de orde van grootte van de bestaande gezondheidsschade door geluid, maar is geen directe raming van het deel dat door elektrificatie wordt voorkomen. Het is daarom een maximum. Emissieloos materieel vermindert vooral continu motorgeluid. Proces- en impactgeluid door bijvoorbeeld heien, breken en zagen blijft bestaan. Het vermijdbare aandeel verschilt daardoor sterk per activiteit en locatie. Anderzijds neemt het geschatte bedrag alleen beroepsmatige geluidsschade mee, waardoor hinder voor omwonenden nog buiten beeld is.

Overige baten alleen kwalitatief in beeld

Naast de gemonetariseerde effecten zijn meerdere aanvullende baten aannemelijk. Het wegnemen van dieselmotoremissie voorkomt directe beroepsmatige blootstelling aan een kankerverwekkend mengsel dat niet volledig wordt gerepresenteerd door generieke milieuprijzen voor PM_{10} en NO_x. Ook minder motortrillingen, minder dieselgeur, een kleinere kans op vertraging van projecten door stikstofbeperkingen en een lagere gevoeligheid voor fossiele prijsschokken leveren naar verwachting baten op. Voor deze effecten ontbreken echter voldoende blootstellings-, project- of marktgegevens voor een robuuste monetaire waardering. Deze positieve effecten blijven buiten de optelling, maar verhogen het welvaartssaldo.

Baten afgezet tegen meerkosten

Meerkosten van het programma SEB worden door TNO geschat op € 4,9 miljard voor 2023-2030. Deze kosten zijn niet één-op-één vergelijkbaar met de scope van deze studie, maar het laat wel zien dat de baten qua ordegrootte in lijn liggen met de meerkosten.

Op projectniveau beperkte baten die vaak niet in de businesscase terugkomen

Aan de hand van drie casussen is bepaald hoe hoog de baten op projectniveau zijn. We zien dat deze variëren van ruim € 10.000 tot bijna een half miljoen euro per project. Het is niet exact in beeld wat de totale aanneemsommen van deze projecten waren, maar maatschappelijke baten zijn beperkt tot minder dan een procent. Het belang zal met name afhangen van de mate waarin gemotoriseerde activiteiten plaatsvinden (grondverzet, aggregaten), het geproduceerde geluid, het aantal mensen dat hier last van heeft en de reductie door elektrificatie.

Realisatie van de baten is niet vanzelfsprekend

De berekende baten worden alleen gerealiseerd wanneer het veronderstelde emissiepad in de praktijk wordt gehaald. Het scenario van volledig emissieloos materieel in 2035 gaat voor enkele categorieën verder dan de huidige Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen, onder meer voor zeer zwaar en specialistisch materieel. Bovendien zijn verschillende emissiepaden tussen meetjaren lineair geïnterpoleerd of richting 2035 lineair tot nul doorgetrokken. De uitkomsten moeten daarom worden gelezen als het potentieel van een beleidsmatig gerealiseerde transitie en niet als een autonome verwachting.

Beperkingen en onzekerheden

Deze studie laat alleen de bruto maatschappelijke baten van emissieloos bouwen zien. Onder meer effecten van emissies buiten de bouwplaats voor de productie van diesel, elektriciteit en batterijen, maar ook bouwlogistiek zijn buiten scope gelaten. Voor een volledig beeld verdient het de aanbeveling om in aanvullend onderzoek hier meer inzicht te verkrijgen.

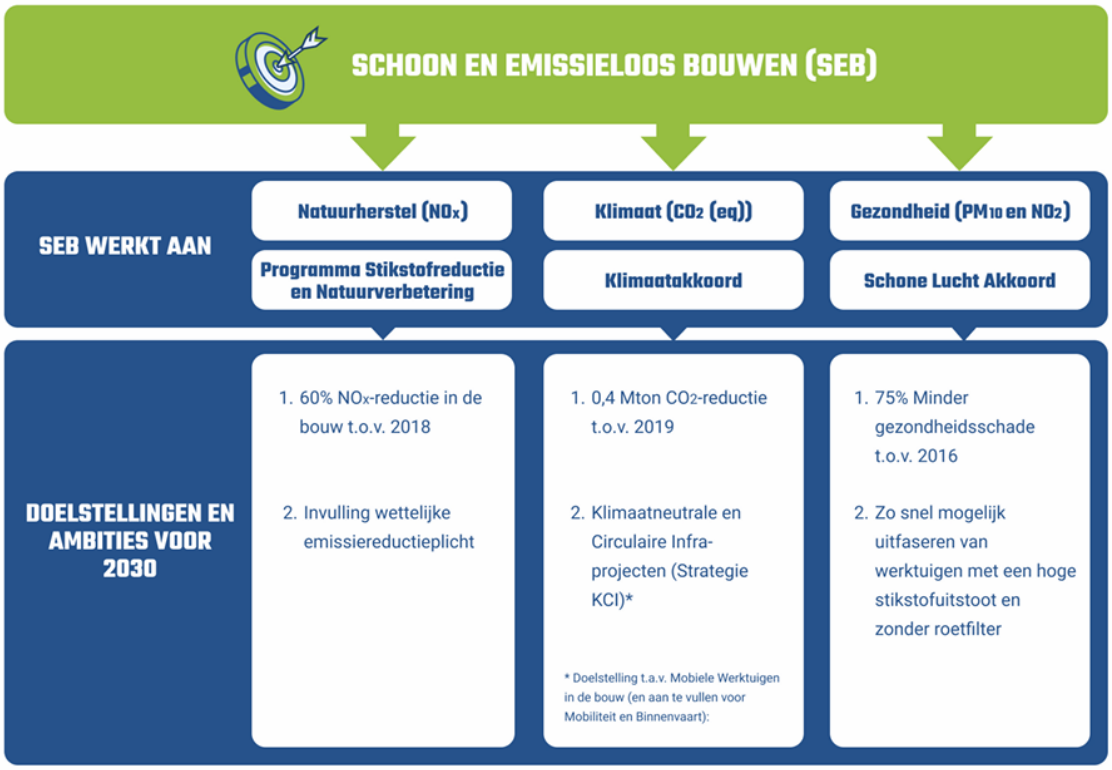
De resultaten zijn gevoelig voor de afbakening en de beschikbare emissiedata. Voor mobiele en stationaire werktuigen is aangenomen dat 50% van de emissies samenhangt met publieke aanbestedingen. Specifiek spoormaterieel is volledig aan publieke aanbestedingen toegerekend. Voor de waterbouw is kustlijnzorg en vaargeulonderhoud meegenomen en aangenomen dat het materieel hoofdzakelijk voor publieke opdrachten wordt ingezet. De inschattingen van de samenstelling van het materieelpark van waterbouw en specifiek spoormaterieel is het meest onzeker. De resultaten geven daarom een landelijke inschatting van het potentiële maatschappelijke belang van emissieloos bouwen, maar voor afzonderlijke projecten zijn locatiespecifieke analyses nodig.

A Achtergrond SEB

A.1 Wat is het doel van de SEB?

Het doel van het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) is het verbeteren van de natuur, het klimaat en de gezondheid door de emissies van werk-, voer- en vaartuigen in de bouw te reduceren (SEB, 2023). Hiermee draagt de routekaart bij aan de doelstellingen en ambities uit het Programma Stikstofreductie en Natuurverbetering, het Klimaatakkoord, het Schone Lucht Akkoord en de strategie Klimaatneutrale en Circulaire Infraprojecten (zie Figuur 14).

Figuur 14 – Doelstellingen en ambities waar programma SEB aan werkt



Bron: SEB (2023)

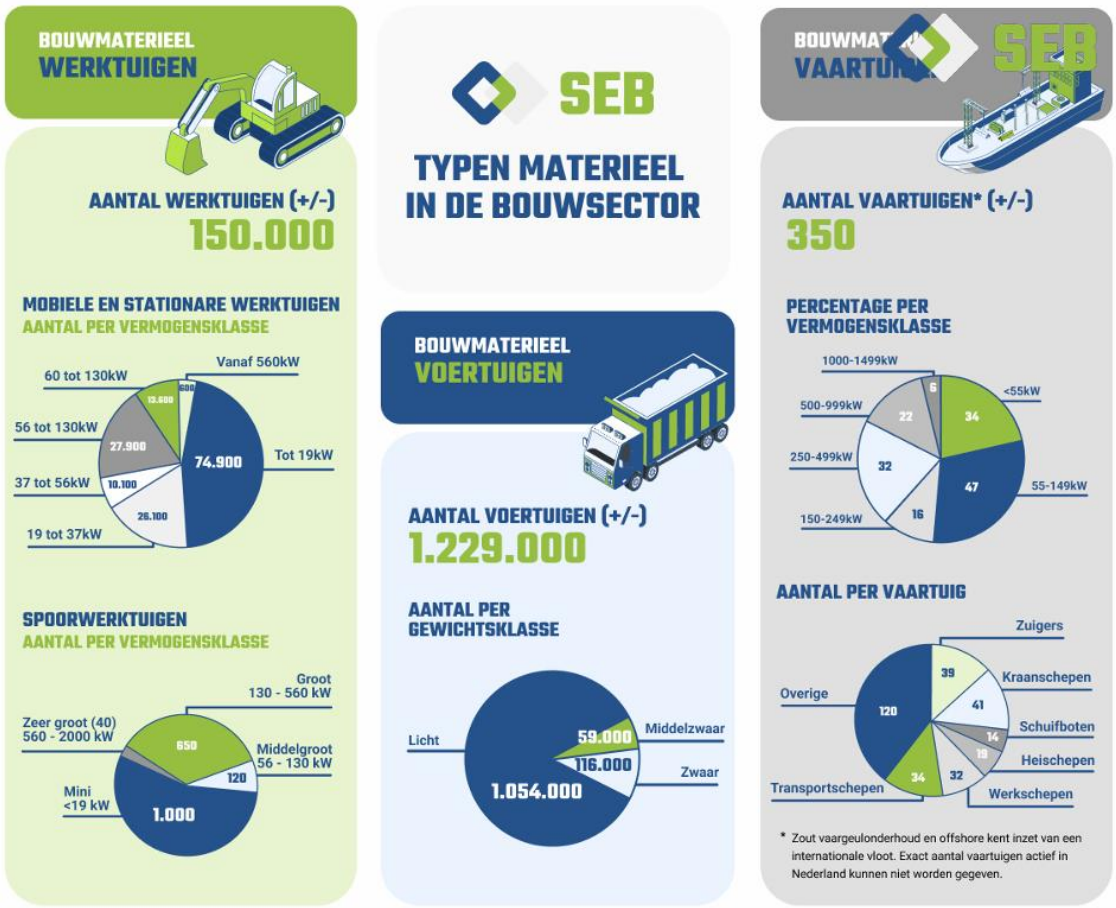
Bovendien verplicht Artikel 7.19a uit het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) initiatiefnemers om bij het verrichten van bouw- en sloopwerkzaamheden ‘adequate maatregelen’ te nemen om stikstofemissies te beperken. Deze verplichting geldt voor vergunnings- of meldplichtige activiteiten die van toepassing zijn op bouwwerken (zoals gebouwen en

‘kunstwerken’, zoals bruggen, tunnels en sluizen), maar niet op werken zoals wegen en spoorlijnen. Met de routekaart geeft SEB invulling aan de emissiereductieplicht.

A.2 Wat zegt de routekaart?

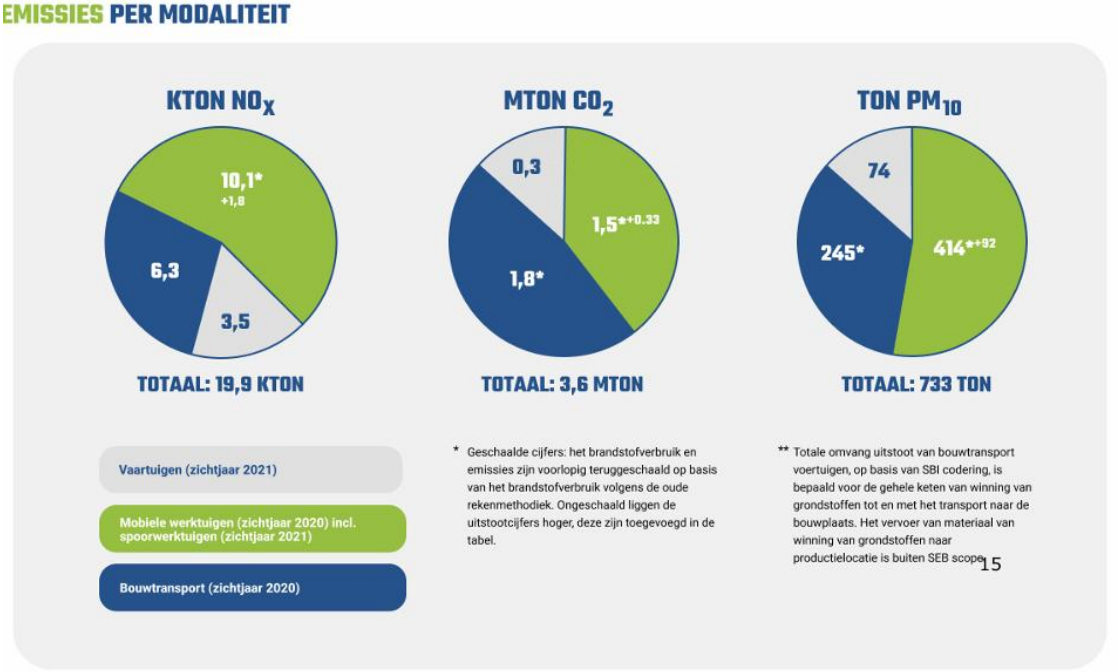
Figuur 15 geeft een overzicht van de bouwsector opgedeeld in mobiele en stationaire werktuigen en spoorwerktuigen, bouwtransport, en vaartuigen voor waterbouw. Figuur 16 geeft per categorie de bijbehorende emissies.

Figuur 15 – Omvang van het bouwmaterieel



Bron: SEB (2023)

Figuur 16 – Emissies per modaliteit



Bron: SEB (2023)

In de routekaart is de bouwsector onderverdeeld in vier deelsegmenten waarbij voor elk deelsegment een transitiepad is opgesteld:

Transitiepad Weg, Dijk en Spoor (WDS):
Hieronder vallen mobiele en stationaire werktuigen, specialistisch bouwmaterieel en het bouwtransport voor de aanleg, het beheer en onderhoud aan wegen, dijken en spoor. Het bouwtransport valt buiten de scope van het onderzoek.
Transitiepad Woningbouw en Utiliteitsbouw (W&U):
Hieronder vallen werktuigen als hoogwerkers, betonmixers, laadschoppen, aggregaten etc. Ook het bouwtransport, zoals bestelauto's en vrachtwagens, valt onder dit transitiepad maar valt buiten de scope voor het huidige onderzoek.
Transitiepad Kustlijnzorg en Vaargeulonderhoud (KLZ & VGO):
Hieronder valt onderhoud aan de kust en vaargeulen, wat voornamelijk neerkomt op baggeren.
Transitiepad Energie:
Hieronder valt de aanleg van gasleidingen op zee, mijnbouw, wind-op-zeeprojecten, CCS. Dit transitiepad valt niet binnen de scope van het onderzoek.

Per transitiepad worden eisen gesteld aan de maximale emissies van het bouwmaterieel. Hierbij is grofweg onderscheid gemaakt tussen eisen met betrekking tot de inzet van materieel met schonere motoren én met schonere brandstoffen of andere energiedragers (inclusief emissieloos). De emissie-eisen worden gevormd door de stagenormen (mobiele en stationaire werktuigen), euronormen (bouwtransport) en tier-klassen en CCR-klassen

(varend bouwmaterieel). Ze zijn erop gericht het gebruik van verouderd, verontreinigd materieel terug te dringen door ze versneld uit te faseren. Hiertoe hanteert de routekaart vier perioden: tot 31 januari 2024, 31 januari 2027, 31 januari 2029 en vanaf 2030.

Daarnaast is de routekaart opgedeeld in drie ambitieniveaus:

1. **Het minimumniveau:** geldt voor mobiele en stationaire werktuigen en kan worden gezien als deel van de invulling ‘adequate maatregelen’ uit Artikel 7.19a Bbl.
2. **Het basisniveau:** geldt voor mobiele werk-, voer- en vaartuigen waarbij publieke en private opdrachtgevers die het convenant hebben ondertekend, eisen willen opnemen in aanbestedingsopdrachten en contracten.
3. **Het ambitieuze niveau:** geldt voor de zogenaamde koplopers die willen voldoen aan de hoogste eisen. Voor mobiele en stationaire werktuigen en bouwtransport bevat het niveau een ingroeipercentage voor de inzet van emissieloos materieel. De eisen van dit niveau worden opgenomen in aanbestedingsopdrachten en contracten.

De uitwerking van de verschillende ambitieniveaus is te vinden in de Routekaart SEB.

Naast de eisen die hierboven zijn geformuleerd in de ambitieniveaus bestaat er ook andere regelgeving waar bedrijven aan moeten voldoen. Een voorbeeld hiervan is de **minimalisatieplicht blootstelling Dieselmotoremissie (DME)** vanuit de Arbeidsomstandighedenwet. Dit houdt in dat dieselaangedreven arbeidsmiddelen moeten worden vervangen door niet-dieselaangedreven varianten als dit technisch en operationeel uitvoerbaar is. Zolang vervanging niet mogelijk is, moet de uitstoot van dieselmotoren zo ver mogelijk worden teruggedrongen, bijvoorbeeld door het plaatsen van een roetfilter of een zo ‘schoon’ mogelijke dieselmotor.

B Scenario's

B.1 Mobiele en stationaire werktuigen

Mobiele en stationaire werktuigen maken in principe geen gebruik van de openbare weg maar zijn wel mobiel inzetbaar doordat ze zich op de bouwplaats kunnen voortbewegen. Voorbeelden van mobiele en stationaire werktuigen zijn graafmachines, wielladers, aggregaten en mobiele kranen. De transitiepaden voor mobiele en stationaire werktuigen gelden ook voor specifiek spoormaterieel, maar deze categorie wordt in dit onderzoek nader toegelicht in 4.2.3. De mobiele en stationaire werktuigen worden opgedeeld in verschillende vermogensklassen met voor elke klasse verschillende emissienormen die zijn gekoppeld aan de stagenormen.

Figuur 17 – Beschrijvende tabel: Verplicht minimumniveau mobiele en stationaire werktuigen

	Periode 1 1 jan. 2023 - 31 dec. 2024	**Periode 2** 1 jan. 2025 - 31 dec. 2027	**Periode 3** 1 jan. 2028 - 31 dec. 2029	**Periode 4** 1 jan. 2030 en verder
Licht ('minimaterieel' <19 kW)	Geen eis	Geen eis	100% ZE**	100% ZE**
Licht (19-37 kW)	Stage IIIa	Stage IIIa	Stage IIIa	100% ZE**
Licht (37-56 kW)	Stage IIIa	Stage IIIb	Stage IIIb	100% ZE**
Middelzwaar (56-130 kW)	Stage IIIa	Stage IV met roetfilter*	Stage IV met roetfilter*	Stage IV met roetfilter* (2030) 100% ZE (2035)
Zwaar (130-560 kW)	Stage IIIa	Stage IV met roetfilter*	Stage IV met roetfilter*	Stage IV met roetfilter* (2030) 100% ZE (2035)
Specialistisch (levensduur >15 jaar) Zeer zwaar (>560 kW)	Geen eis	Geen eis	Katalysator en roetfilter*	Katalysator en roetfilter* 100% ZE (2035-2040)
Stationair (generatoren, pompen, torenkranen)	Gelijk aan eisen niet-stationair	Gelijk aan eisen niet-stationair	100% ZE** <560 kW >560 kW gelijk aan eisen niet-stationair	100% ZE** <560 kW >560 kW gelijk aan eisen niet-stationair

Bron: SEB (2023)

Voor licht materieel (< 56 kW) en stationair materieel is het al mogelijk over te stappen op zero-emissie voor 2030, terwijl het zwaardere specialistische materieel meer maatwerk vereist vanwege de zware vermogens, lange levensduur, beschikbaarheid van schonere alternatieven en de kleine afzetmarkt (SEB, 2023).

Databeschikbaarheid

Voor het inschatten van de aantallen mobiele en stationaire werktuigen volgen we de data van TNO (2025c) die dezelfde opsplitsing hanteert tussen mobiele en stationaire werktuigen en specifiek spoormaterieel. Deze aantallen komen grofweg overeen met die van de routekaart van SEB (2023) (130.000 versus 150.000). Om het transitiepad te schatten maken we gebruik van TNO (2025a) die een potentiële emissiereductie schat voor 2030 ten opzichte van 2018 en 2023 (vanaf de start van de routekaart). Hierbij is uitgegaan van Scenario 1 (maximale naleving) waarbij alle (semi-)publieke opdrachtgevers het convenant volgen en alle private opdrachtgevers in private werken het minimumniveau aanhouden. Er is uitgegaan van een lineair afnamepad voor de tussenliggende jaren en zodoende zijn deze van 2030 tot 2035 lineair afgeschaald naar 0.

Autonome ontwikkeling

Voor de autonome ontwikkeling hebben we gebruik gemaakt van TNO (2025a) voor de ijkpunten van 2018, 2023 en 2030. Voor een inschatting van 2035 hebben we per vermogensklasse aanvullende gegevens gekregen van TNO met de bijbehorende emissies. Tussen deze ijkpunten zijn we uitgegaan van een lineair afnamepad. De aantallen van machines en draaiuren zijn te vinden in Figuur 2.1 en 2.2 van TNO (2025a).

B.2 Waterbouw

Waterbouw is een specialisatie binnen de bouwsector die zich richt op infrastructuur in en rond water, zoals kustbescherming, vaarwegen en energieopwekking op zee.

Waterbouw bestaat uit verschillende typen (SEB, 2023; TNO, 2025c):

1. **Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud:** Dit omvat werkzaamheden om de kust en vaarwegen op diepte en op sterkte te houden.
   - Bij kustlijnzorg gaat het onder meer om het aanvullen van zand op het strand of de vooroever om kustafslag tegen te gaan.
   - Bij vaargeulonderhoud gaat het om baggerwerkzaamheden om havens, toegangsgeulen en andere vaarwegen bevaarbaar te houden. Hiervoor worden vooral baggerschepen ingezet, zoals hopperzuigers.
   - In totaal gaat het om circa 15 tot 30 verschillende vaartuigen per jaar die wereldwijd worden ingezet (SEB, 2023).

2. **Zoete waterbouw:** Dit omvat waterbouwkundige werkzaamheden in binnenwateren, zoals rivieren en kanalen, voor het op diepte houden van vaarwegen.
   - In Nederland zijn ongeveer 300-600 zoete waterbouwvaartuigen actief. Deze categorie omvat veel verschillende type vaartuigen voor verschillende werkzaamheden. Het gaat hierbij vooral om kleinere schepen, zoals maaiboten, schuifboten en kleine werkschepen (SEB, 2023; TNO, 2023b).
3. **Commerciële zandwinning op zee:** Dit omvat het winnen van zand uit zee voor toepassing in bijvoorbeeld bouwprojecten, infrastructuur of ophoogwerkzaamheden.
4. **Offshore-energie:** Dit draait om werkzaamheden voor energie-infrastructuur op zee. Het gaat onder meer om de aanleg van windparken op zee, de aanleg van kabels voor het net op zee en werkzaamheden rond olie- en gasplatforms.
   - Hiervoor wordt een breder en specialistischer palet aan vaartuigen ingezet dan bij regulier baggerwerk. Voorbeelden zijn kabelleggers, baggerschepen, jack-up schepen, valpijpschepen, installatieschepen, toeleverschepen en andere ondersteunende offshore vaartuigen.
   - Binnen SEB valt de aanleg van het net op zee onder de routekaart, waarbij TNO waterbouwvaartuigen voor de aanleg van net op zee benoemt als aparte categorie (SEB, 2023; TNO, 2025d).

Figuur 18 – Beschrijvende tabel: Ambitieuze niveau koplopers varend bouwmaterieel

	Periode 1 1 jan. 2023 - 31 dec. 2024	**Periode 2** 1 jan. 2025 - 31 dec. 2027	**Periode 3** 1 jan. 2028 - 31 dec. 2029	**Periode 4** 1 jan. 2030 -en verder
Transitiepad Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud – zout Sleephopperzuigers, kraanschip, cutter zuiger, hopperzuiger, water injectie baggeren	Ambitie 20% Tier klasse III [a] Ambitie 20% biobrandstoffen Ambitie 1% RFNBO's of HE	Ambitie 50% Tier klasse III [a] Ambitie 40% biobrandstoffen Ambitie 2% RFNBO's of HE	100% Tier klasse III [a] Ambitie 60% biobrandstoffen Ambitie 5% RFNBO's of HE	100% Tier klasse III [a] Ambitie 90% biobrandstoffen Ambitie 10% RFNBO's of HE
Transitiepad Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud – zoet Transportschip, sleep-, duw- en peilboten, schuifboten, survey schepen, kleine cutterzuigers[c], overig klein varend materieel	Ambitie 20% biobrandstoffen Ambitie 1% RFNBO's of HE	Ambitie 10% stage V (IWP-IWA-NRE) [a] Ambitie 40% biobrandstoffen Ambitie 2% RFNBO's of HE	Ambitie 40% stage V (IWP-IWA-NRE) [b] Ambitie 60% biobrandstoffen Ambitie 5% RFNBO's of HE	Ambitie 70% stage V (IWP-IWA-NRE) [b] Ambitie 85% biobrandstoffen Ambitie 15% RFNBO's of HE
Transitiepad Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud – zoet Kraanschip, cutterzuiger, bakkenzuigers, beunschepen, heischepen, werkschepen, hopperzuiger	Ambitie 20% biobrandstoffen Ambitie 1% RFNBO's of HE	Ambitie 25% stage V (IWP-IWA-NRE) [b] Ambitie 40% biobrandstoffen Ambitie 2% RFNBO's of HE	Ambitie 60% stage V (IWP-IWA-NRE) [b] Ambitie 60% biobrandstoffen Ambitie 5% RFNBO's of HE	Ambitie 100% stage V (IWP-IWA-NRE) [b] Ambitie 85% biobrandstoffen Ambitie 15% RFNBO's of HE

Bron: SEB (2023)

Volgend uit de scope van dit onderzoek ligt de focus op kustlijnzorg en vaargeulonderhoud met varend materieel, voor zowel zoute als zoete waterbouw. Deze afbakening sluit aan bij het transitiepad binnen de routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB), waarin specifiek voor deze bouwwerkzaamheden afspraken zijn opgenomen. Ook gaat het hier om publieke aanbestedingen. Het convenant is ondertekend door Rijkswaterstaat, het Havenbedrijf Rotterdam en de waterschappen, waarmee de belangrijkste publieke opdrachtgevers in deze sector zijn vertegenwoordigd.

De routekaart heeft daarnaast betrekking op energie op zee. Deze categorie valt echter buiten de scope van dit onderzoek. TenneT heeft het convenant ondertekend, waardoor het gebruik van waterbouwschepen voor de aanleg van kabels wel onder het convenant valt. Voor de aanleg van windparken geldt dit echter niet. Er hebben nog geen partijen ondertekend die verantwoordelijk zijn voor de aanbesteding van deze werkzaamheden. Het effect van het convenant op dit deel van de waterbouw wordt daarom niet meegenomen.

Databeschikbaarheid

Voor het inschatten van het emissiepad van zoute waterbouw volgen we de data van TNO (2025c) die een opsplitsing hanteert per categorie (zoals ook zandwinning, aanleg windparken). Er is uitgegaan van een lineair afnamepad voor de tussenliggende jaren en zodoende zijn deze van 2030 tot 2035 lineair afgeschaald naar 0. Een dergelijk afnamepad is niet van toepassing op fijnstof omdat de emissienorm voor de zoute vloot (tier III) hier geen eisen aan stelt (SEB, 2023).

De omvang en emissies van de zoete waterbouwvloot zijn bekend voor 2021 (TNO, 2023b). Daarnaast is de reductie tot 2030 bekend. Voor tussenliggende jaren is een lineair afnamepad aangenomen en richting 2035 is dit doorgetrokken tot 0.

Vooral de zoete waterbouw dient voorzichtig geïnterpreteerd te worden. We zijn ervan uitgegaan dat de inzet van zoete waterbouw, voornamelijk van toepassing is op publieke aanbesteding, maar er zouden ook private opdrachten kunnen zijn, bijvoorbeeld bij jachthavens, industrieterreinen, private oevers, gebiedsontwikkelingen of werkzaamheden in opdracht van bedrijven. Hier is echter geen inzicht in. Daarnaast baseert dit onderzoek zich op de data van TNO, die zelf aangeeft dat de database voor zoete waterbouw beperkt is en mogelijk een onderschatting geeft van de emissies van de totale zoetwatervloot in Nederland (TNO, 2023b).

Autonome ontwikkeling

Voor de autonome ontwikkeling wordt aangenomen dat er geen grote veranderingen optreden in de hoeveelheid gebaggerd materiaal. Jaarlijks wordt ongeveer 24 miljoen ton materiaal gebaggerd (TNO, 2025c). TNO verwacht geen substantiële veranderingen in deze volumes (TNO, 2025a).

Voor het inschatten van de emissies in 2023 en 2030 volgen we de data van TNO die een inschatting geven van het autonome pad (TNO, 2023a, 2023b); TNO (2025c). Richting 2035 trekken we de jaarlijkse afname lineair door.

SEB

De belangrijkste ontwikkeling zit niet in de omvang van de werkzaamheden, maar in de verduurzaming van het ingezette materieel en de gebruikte energiedragers.

- In het transitiepad Kustlijnzorg en Vaargeulonderhoud (zout en zoet) wordt voor 2030 ingezet op:
  - een volledige inzet van tier III (zout) en stage V (zoet) schepen;
  - bij 60% van de inzet van schepen gebruik wordt gemaakt van duurzame energiedragers;
  - NO_x-emissies moeten worden teruggebracht tot 50% ten opzichte van Tier II;
  - voor de zoute vloot is geen effect op het gebied van fijnstof aangezien de onderhavige emissienorm voor de zoute vloot (tier III) hieraan geen eisen stelt.

B.3 Specifiek spoormaterieel

Spoorspecifiek bouwmaterieel wordt ingezet bij de aanleg, vernieuwing en het onderhoud van spoorinfrastructuur. Het gaat om materieel voor uiteenlopende werkzaamheden, zoals het werken met ballast, dwarsliggers, spoorstaven en bovenleidingen. Spoorwerktuigen zijn meestal gespecialiseerde machines die specifiek zijn ontwikkeld voor werkzaamheden op of rond het spoor. Reguliere mobiele en stationaire werktuigen kunnen bij spoorwerkzaamheden ook worden ingezet, maar vallen buiten de afbakening van dit hoofdstuk.

Binnen deze categorie kan onderscheid worden gemaakt tussen vier hoofdtypen materieel (TNO, 2023b):

1. Ten eerste zijn er **werktreinen**, vaak diesellocomotieven, die worden gebruikt voor het vervoer van bouw- en onderhoudsmaterialen. Deze kunnen zowel bij bouwwerkzaamheden als bij regulier goederenvervoer worden ingezet.
2. Ten tweede gaat het om **specialistische spoorwerktuigen**, zoals stopmachines, spoorkranen, ombouwtreinen, inspectie- en meettreinen, slijp- en freestreinen en hoogwerkers.
3. Ten derde worden **rail-wegvoertuigen** ingezet, zoals krollen en lasbussen. Vooral de krol, een graafmachine die ook op rails kan rijden, wordt veel gebruikt bij spoorwerkzaamheden.
4. Tot slot is er **spoorspecifiek klein materieel**, zoals kraagboutmachines, kleine slijp- en freesmachines en schroef- en boormachines.

Figuur 19 – Beschrijvende tabel: Emissie-eisen specialistisch spoormaterieel

	Periode 1 1 jan. 2023 - 31 dec. 2024	Periode 2 1 jan. 2025 - 31 dec. 2027	Periode 3 1 jan. 2028 - 31 dec. 2029	Periode 4 1 jan. 2030 - en verder
Minimumeisen aan het ingezette materieel				
Licht spoormaterieel (<56 kW) (met name klein mechanisch gereedschap)	Autonome ontwikkeling (ambitie 20% ZE)	Ambitie: 80% ZE	100% ZE	100% ZE
Middelzwaar spoormaterieel (56-130 kW; waaronder krollen)	Stage IIIb Stimuleren ZE	Stage IV + roetfilter Ambitie: 20% ZE	Stage IV + roetfilter Ambitie: 50% ZE	Ingroei naar 100% ZE (uiterlijk 2035)
Specialistisch / zwaar spoormaterieel	Onderzoek / ontwikkeling verduurzamingsopties (retrofit/ZE/hybride)	Start toepassing SCR + roetfilter Ambitie ZE: min.1 ZE-stopmachine	Eis: minimaal SCR + roetfilter Ingroei ZE: ambitie 10-20% ZE	Eis: minimaal SCR + roetfilter Doorgroeien naar 50-100% ZE (2035-2040)
Rail-wegvoertuigen en bouwtransport*				
Middelzware rail-wegbussen (N1; < 3.500 kg)	Euro 5 Stimuleren ingroei ZE of hybride	Minimaal Euro 6, hybride of ZE *+eisen voor ZE-stadzones	Eis: 100% ZE	Eis: 100% ZE
Middelzwaar rail-weg materieel (N2/3; > 3.500 kg)	Euro V Stimuleren ingroei ZE of hybride	Minimaal Euro VI, hybride of ZE	Minimaal Euro VI, hybride of ZE	N2: 100% ZE N3: Euro VI (ZE in uiterlijk 2035)
Transport van materialen naar de bouwlocatie m.b.v. dieselloc's	Onderzoek / ontwikkeling verduurzamingsopties (retrofit/ZE/hybride) Procesmaatregelen	Start toepassing SCR + roetfilter Ingroei hybride / ZE Procesmaatregelen	Toepassing SCR + roetfilter Ambitie: 20% ZE Procesmaatregelen	Toepassing SCR + roetfilter Ambitie: > 50% ZE Procesmaatregelen

Bron: SEB (2023)

ProRail is verantwoordelijk voor de aanbestedingen waarbij dit type materieel wordt ingezet. Omdat ProRail het convenant Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) heeft ondertekend, zijn de afspraken uit SEB in beginsel van toepassing op al het werk waarvoor ProRail opdrachtgever is (TNO, 2025c). In deze analyse wordt het gebruik van spoorspecifiek bouwmaterieel daarom meegenomen als onderdeel van publieke aanbestedingen.

Databeschikbaarheid

De beschikbare gegevens over aantallen machines en inzet van spoorspecifiek bouwmaterieel zijn beperkt. Er bestaat geen publieke registratie waarin de omvang van het machinepark en de jaarlijkse inzet volledig zijn vastgelegd. Voor de emissie-inschatting wordt daarom aangesloten bij de beschikbare inzichten van TNO. TNO geeft aan dat werktreinen en specialistische spoorwerktuigen gemiddeld relatief oud zijn.

Voor het inschatten van het emissiepad van specifiek spoormaterieel maken we gebruik van data van TNO (2025c). De belangrijkste bijdrage aan de emissies komt naar verwachting van werktreinen, gevolgd door stopmachines en krollen. Samen zijn deze typen verantwoordelijk voor circa 80% van de emissies van spoorspecifiek bouwmaterieel (TNO, 2023b).

De emissieraming kent aanzienlijke onzekerheden (TNO, 2023b). Die onzekerheid hangt niet alleen samen met het ontbreken van volledige gegevens over aantallen en inzet, maar ook met technische aannames over het gebruik van het materieel. Vooral de motorbelasting is bepalend. Kleine verschillen in aangenomen belasting kunnen een grote invloed hebben op de berekende emissies. In deze analyse wordt daarom aangesloten bij de uitgangspunten van TNO.

Autonome ontwikkeling

Voor de autonome ontwikkeling van emissies van specifiek spoormaterieel kijken we naar gegevens uit TNO (2023a). Deze autonome emissiereductie richting 2030 is naar verwachting beperkt. Dat komt doordat spoorspecifiek materieel gemiddeld lang meegaat, waardoor natuurlijke vlootverjonging langzaam verloopt. Daarnaast is de emissiewetgeving voor diesellocomotieven minder streng dan voor veel andere typen mobiele en stationaire werktuigen. Hierdoor wordt zonder aanvullend beleid geen grote autonome daling van de emissies verwacht. TNO schat de autonome emissiereductie richting 2030 in op minder dan 10% voor NO_x en PM_{10} en minimaal voor CO_2 (TNO, 2023a).

C Aanpak casussen

Deze bijlage beschrijft de aanpak van de casussen.

C.1 Keuze casussen

De keuze voor de casussen is in samenspraak met de begeleidingscommissie gemaakt. Er is gekozen voor een mix van utiliteitsbouw, GWW en energietransitie. De drie casussen zijn gekozen omdat hiervoor gedetailleerde projectinformatie voor de AERIUS-calculator publiek beschikbaar was.

C.2 Klimaat- en luchtkwaliteitsbaten

C.2.1 Projectgegevens en afbakening

Voor de casussen zijn de emissies van CO_2, NO_x, ammoniak (NH_3) en fijnstof (PM_{10}) berekend en gewaardeerd.

Uit de beschikbare projectdocumentatie zijn per materieeltype het vermogen (kW), de draaiuren (uur), het dieselverbruik (liter) en, waar van toepassing en beschikbaar, het AdBlue-verbruik (liter) opgehaald. Ook gegevens over de aandrijving, vermogensklasse en emissieklasse zijn vastgelegd voor zover de bronnen die vermelden.

C.2.2 Emissieberekening en keuze van de uitkomsten

De projectgegevens zijn ingevoerd in zowel de Emissievoorspeller als de Bouwemissietool van TNO. Daarbij is zo dicht mogelijk aangesloten bij de brongegevens en de invoermogelijkheden van beide tools. De tools hebben een verschillend verfijningsniveau en hun beschikbare materieel- en emissieklassen sluiten niet altijd op dezelfde wijze aan op de projectgegevens. Zij leverden daardoor niet voor alle casussen en stoffen dezelfde uitkomsten op.

De verschillen zijn intern nagelopen aan de hand van emissiekengetallen. Op basis van deze controle is ervoor gekozen de uitkomsten van de Emissievoorspeller als basis te gebruiken voor CO_2, NO_x en NH_3. Voor PM_{10} is deze basis aangevuld met een eigen berekening op basis van het dieselverbruik.

C.2.3 Aanvullende berekening van PM_{10}

Voor de berekening van uitlaatfijnstof wordt een uniforme emissiefactor van 0,084 gram PM_{10} per liter diesel gebruikt (TNO, 2024). Dit is de in deze analyse gehanteerde eigen rekenaanname. De emissie in kilogram wordt berekend als:

$$\mathrm{PM}_{10}\,[\mathrm{kg}] = \frac{V_{\mathrm{diesel}} \times 0{,}084}{1.000}$$

Hierin is V_{diesel} het opgenomen dieselverbruik in liters. De uitkomst is de PM_{10}-emissie van het dieselmaterieel binnen de gekozen afbakening. Bij vervanging door volledig elektrisch materieel wordt deze uitlaatemissie vermeden. Slijtage-emissies en stof dat vrijkomt bij de werkzaamheden, bijvoorbeeld door grondverzet, maken geen deel uit van deze aanvullende berekening.

Tabel 9 – Aanvullende berekening PM_{10}

Casus	Diesel (liter)	PM_{10} (kg)
Ondergrondse hoogspanningsverbinding	108.419	9,11
Gemeentehuis	9.900	0,83
Versterking zeedijk	547.622	46,00

C.2.4 Waardering met milieuprijzen

De emissiereducties worden gewaardeerd met de centrale milieuprijzen van CE Delft zoals ook in Paragraaf 2.3. Voor PM_{10} gebruikt het rapport de milieuprijs voor de gemiddelde uitstoot aan de grond. Daarmee wordt uitgegaan van uitstoot nabij de grond en een gemiddelde bevolkingsdichtheid, niet van een specifiek stedelijke of landelijke omgeving. Er is geen lokale blootstellingsanalyse uitgevoerd.

De emissietotalen worden gelijkmatig over de projectduur verdeeld: drie jaar voor Hazerswoude, één voor Maurik en vier voor Lauwersmeerdijk. Voor de waardering wordt gerekend met een discontovoet van 2,8%.

C.3 Geluidsbaten

C.3.1 Materieelinzet en geluidsniveaus

Per casus zijn de beschikbare draaiuren uit de projectdocumentatie verzameld. Machines met hetzelfde materieeltype en dezelfde vermogensklasse zijn aan geluidskengetallen gekoppeld. De bijbehorende draaiuren zijn opgeteld tot een totale inzet per materieeltype.

Voor traditioneel materieel wordt een representatief geluidsniveau op 10 meter gebruikt. De kengetallen zijn grotendeels afkomstig uit Defra (2005). Voor elektrisch materieel wordt een specifieke referentiewaarde gebruikt als die beschikbaar is. Anders wordt een reductie volgens Tabel 10 aangenomen. Deze reducties zijn geen metingen aan het materieel van

de casussen. Het gebruik van drie klassen voorkomt dat een grotere nauwkeurigheid wordt gesuggereerd dan de gegevens toelaten.

Tabel 10 – Aangenomen geluidsreductie bij elektrificatie

Bepalende geluidsbron	Reductie
Aandrijving domineert	9 dB
Aandrijving en werkproces zijn beide relevant	5 dB
Proces- of impactgeluid domineert	1 dB

C.3.2 Omrekening naar een jaargemiddelde

De totale draaiuren worden gelijkmatig verdeeld over de aangenomen projectduur. Voor de waardering worden alle casussen vanaf 2026 doorgerekend (zie Tabel 11). De waarderingsjaren zijn een rekenuitgangspunt en vallen niet samen met de uitvoeringsjaren in de oorspronkelijke projectdocumentatie.

Tabel 11 – Projectduur en waarderingsjaren

Casus	Duur	Waarderingsjaren
Ondergrondse hoogspanningsverbinding	3 jaar	2026–2028
Gemeentehuis	1 jaar	2026
Versterking zeedijk	4 jaar	2026–2029

Voor materieeltype i wordt de jaarlijkse energetische bijdrage q berekend uit de jaarlijkse draaiuren h en het geluidsniveau L tijdens inzet. De bijdragen worden vervolgens energetisch opgeteld:

$$q_i = \frac{h_i}{8.760} \times 10^{\frac{L_i}{10}} \quad \text{en} \quad L_{10} = 10 \log_{10}\left(\sum_i q_i\right)$$

De noemer 8.760 is het aantal uren in een volledig jaar: 365 × 24. Het model veronderstelt daginzet en past geen avond- of nachttoeslagen toe. Het berekende niveau op 10 meter is daarom een benadering van jaarlijkse blootstelling (een L_{den}-proxy), geen volwaardige L_{den}-berekening aan een woninggevel.

C.3.3 Berekening van de geluidscontouren

Het model behandelt ieder project als één puntbron met cirkelvormige geluidscontouren. Het geluidsniveau op afstand r volgt uit de aangenomen geometrische geluidsafname:

$$L(r) = L_{10} - 20 \log_{10}\left(\frac{r}{10}\right)$$

Hierin is L_{10} het jaargemiddelde geluidsniveau op 10 meter en r de afstand in meters. Door L(r) gelijk te stellen aan 45 dB en de vergelijking om te schrijven, volgt de straal van de 45 dB-contour:

$$r_{45} = 10 \times 10^{\frac{L_{10} - 45}{20}}$$

De grens van 45 dB sluit aan bij de ondergrens van de centrale geluidswaardering in het rekenbestand. Dit is een waarderingsgrens en betekent niet dat er beneden deze grens geen hinder kan optreden. Een voorbeeld hiervan is dat bij OS Hazerswoude-Rijndijk de berekende straal afneemt van ongeveer 276 meter bij traditioneel materieel tot 180 meter bij elektrisch materieel.

C.3.4 Aantal blootgestelde inwoners en verdeling over contouren

Voor iedere casus worden 100 inwoners binnen de traditionele 45 dB-contour aangenomen. Zij worden gelijkmatig over dit oppervlak verdeeld. De aanname van 100 inwoners maakt de vergelijking tussen de projecten uitvoerbaar en inzichtelijk. De uitkomsten worden niet mede bepaald door verschillende, onvoldoende onderbouwde aantallen omwonenden.

Een locatiespecifiek aantal inwoners zou bovendien een onderbouwde verdeling over de geluidscontouren vereisen. Die verdeling kan per project verschillen, bijvoorbeeld doordat woningen vooral dichtbij of juist verder van de werkzaamheden liggen. Zonder zulke gegevens zou een specifieke indeling schijnnauwkeurigheid opleveren en niet zonder meer naar een andere context te vertalen zijn. Daarom hanteren we voor alle casussen dezelfde gestandaardiseerde aanname.

Binnen iedere casus blijft de aangenomen bevolkingsdichtheid gelijk in de traditionele en elektrische situatie. Het aantal inwoners binnen de elektrische 45 dB-contour volgt dan uit de verhouding tussen de contouroppervlakken:

$$N_{\text{elektrisch}} = 100 \times \left(\frac{r_{45,\,\text{elektrisch}}}{r_{45,\,\text{traditioneel}}}\right)^2$$

De macht 2 volgt uit de oppervlakte van een cirkel: πr². Bij OS Hazerswoude-Rijndijk blijven zo ongeveer 43 van de 100 inwoners binnen de elektrische contour. De dichtheid kan tussen casussen verschillen, omdat hun traditionele contouren niet even groot zijn.

Vervolgens worden de inwoners verdeeld over geluidsklassen van 5 dB: 45–50, 50–55 dB, enzovoort. Per ring geldt:

$$N_k = \rho \times \pi \times \left(r_{\text{buiten}}{}^2 - r_{\text{binnen}}{}^2\right)$$

Hierin is ρ de aangenomen bevolkingsdichtheid in inwoners per m². Elektrificatie leidt tot minder inwoners boven 45 dB en tot een verschuiving naar lagere geluidsklassen. Een ander totaal, bijvoorbeeld 50 in plaats van 100 inwoners, halveert de baten zolang dezelfde ruimtelijke verdeling wordt aangehouden. Een andere verdeling over de contouren vraagt om een nieuwe blootstellingsberekening.

C.3.5 Waardering en optelling van de geluidsbaten

Per geluidsklasse wordt het aantal blootgestelde inwoners vermenigvuldigd met de jaarlijkse schadeprijs. Het rekenbestand gebruikt de centrale wegverkeersprijzen uit het Handboek Milieuprijzen 2023 als benadering voor bouwgeluid. De bedragen worden per situatie opgeteld; er wordt dus niet rechtstreeks vermenigvuldigd met het aantal vermeden decibellen.

Tabel 12 – Centrale waardering van geluid per inwoner per jaar (prijspeil 2021)

Geluidsklasse	Schadeprijs (€/inwoner/jaar)
45–50 dB	25
50–55 dB	153
55–60 dB	370
60–65 dB	675
65–70 dB	1.069
70–75 dB	1.551
75–80 dB	2.122
80 dB en hoger	2.670

De jaarlijkse geluidsbaat is de schade bij traditioneel materieel minus de schade bij elektrisch materieel. Bij OS Hazerswoude-Rijndijk is dit, in prijspeil 2021, afgerond: € 10.229 − € 4.354 = € 5.875 per jaar. De baten worden over de waarderingsjaren opgeteld en met een discontovoet van 2,8% verdisconteerd.

C.4 Aannames en beperkingen

De uitkomsten zijn gestandaardiseerde geluidsbaten per 100 aangenomen inwoners binnen de oorspronkelijke contour. Zij zijn geen schatting van de werkelijke totale baten rond de projecten. Woninglocaties, afscherming, bodeminvloed, achtergrondgeluid en verplaatsing van machines zijn niet gemodelleerd. Vooral voor de langgerekte dijk bij de dijkversterking is de puntbronaanname een sterke vereenvoudiging.

De bronwaarden bevatten verschillende geluidsmaten en zijn geen projectspecifieke jaargemiddelden. Ook de elektrische reducties en de spreiding van draaiuren over bouwjaren zijn vereenvoudigingen. Het model stelt contourstralen op nul wanneer het niveau op 10 meter niet boven de betreffende klassegrens ligt. De verdeling nabij de bron is daardoor eveneens benaderend. De combinatie van deze aannames met wegverkeersprijzen maakt de waardering indicatief.

Literatuur

AERIUS Calculator. (n.d.). *AERIUS projectberekening: Dijkversterking Lauwersmeerdijk Vierhuizergat*.

Akosile, S. S., Ige, M. O., Omomola, B., Sanni, F. J., Akosile, J. O., Abiodun, P. O., & Owolabi, O. A. (2025). Effect of construction noise and control: a literature review. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings,

Arcadis. (2022). *Uitgangspunten Aeriusberekening dijkversterking Lauwersmeerdijk - Vierhuizergat*. https://cuatro.sim-cdn.nl/lauwersmeerdijk/uploads/2.-memo-uitgangspunten-aerius-berekeningen.pdf?

Arcadis. (2023). *Veiligheid rondom emissieloos materieel in de bouw en bouwtransport*. https://open.overheid.nl/documenten/9b224478-3d6d-4dda-9035-ddf1744551b0/file

Bellona. (2021, 6-10-2021). *Make construction sites silent: electrification as part of the solution*. https://bellona.org/news/zecs/2021-10-make-construction-sites-silent-electrification-as-part-of-the-solution

Bouwend Nederland. (2025). Stikstof zet bouw 244.000 woningen op slot en economische schade van €93,5 miljard dreigt. In.

CBS. (2025). *Nederland Handelsland 2025: export, import en investeringen*. https://www.cbs.nl/nl-nl/publicatie/2025/38/nederland-handelsland-2025-export-import-en-investeringen

CBS. (lopend). *Werkzame beroepsbevolking; bedrijf*. https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/85272NED/table

CE Delft. (2023). *Handboek Milieuprijzen 2023. Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts*. https://ce.nl/publicaties/handboek-milieuprijzen-2023/

CPB, & PBL. (2013). *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*. https://www.cpb.nl/publicatie/algemene-leidraad-voor-maatschappelijke-kosten-batenanalyse

Defra. (2005). *Update of noise database for prediction of noise on construction and open sites*. https://opencontent.upct.es/ffa4fcc901e84ba59c3718ba9951d6e1/384b93d666e14ef3bf4e4fe5ef12610b/8a74898996c81e920196f1fa183101dc.pdf

Doornbusch, J., Marinus, E., & Sorgdrager, B. (2009). *Trillen als een rietje*. https://www.beroepsziekten.nl/sites/default/files/documents/Artikel-Bas-AR-Trillen-als-een-rietje-051009.pdf

EEA. (2025). *Environmental noise in Europe 2025*. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe-2025

EIB. (2024). *Effecten stikstof op wegenprojecten*. https://www.eib.nl/wp-content/uploads/2024/03/Effecten-stikstof-op-wegenprojecten.pdf

Emissieregistratie. (lopend). *Emissieregistratie: dataexport*. Emissieregistratie. https://www.emissieregistratie.nl/data/data-export

GGD. (n.d.). *Geurhinder*. https://ggdleefomgeving.nl/overlast/geurhinder/

Global Burden of Disease Collaborative Network. (2023). *Global Burden of Disease Study 2023*. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/

HSE. (n.d.). *Cancer and construction: diesel engine exhaust emissions*. https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/cancer-and-construction/diesel-engine-exhaust.htm

IEA. (2024). *Strategies for Affordable and Fair Clean Energy Transitions*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/86f2ba8c-f44b-494a-95cc-e75863cebf95/StrategiesforAffordableandFairCleanEnergyTransitions.pdf

KiM. (2026). *Onderweg naar het energiesysteem van de toekomst*. https://www.kimnet.nl/documenten/2026/03/27/onderweg-naar-het-energiesysteem-van-de-toekomst

Krijnen, B., & Hernández-Agüero, J. A. (2025). Noise pollution as a major disturbance of avian predation in Amsterdam. *Wildlife Biology*, *2025*(6).

Meulenberg, T. (2016, 12-06-2026). *Wanneer gebruik je schroefpalen in plaats van traditionele heipalen?* Fundex. https://www.fundex.nl/wanneer-gebruik-je-schroefpalen-in-plaats-van-traditionele-heipalen/

Ministerie van Financiën. (2025). *Rapport Werkgroep discontovoet 2025*. https://open.overheid.nl/documenten/43d845b2-d837-4e34-9a46-dffe460e043a/file

Ministerie van LVVN. (2026). Weer ruimte voor boer, natuur en bouw: maatregelpakket voor land bouw, natuur en stikstof. In.

Ministerie van SZW. (2018). *Dieselmotoremissie*. https://www.arboportaal.nl/documenten/2018/05/07/factsheet-dieselmotoremissie

Ministerie van SZW. (s.l.). *Wat zegt de wet over dieselmotoremissie?* https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/risicos-gevaarlijke-stoffen/dieselmotoremissie/wat-zegt-de-wet-over-dieselmotoremissie

Mir, M., Nasirzadeh, F., Bereznicki, H., Enticott, P., Lee, S., & Mills, A. (2023). Construction noise effects on human health: Evidence from physiological measures. *Sustainable Cities and Society*, *91*, 104470.

National Air Pollution Administration. (1970). *Sensory Evaluation of Diesel Exhaust Odors*. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=9100HJM4.txt

NCVB. (2023). *Kerncijfers beroepsziekten 2023*. https://www.beroepsziekten.nl/sites/default/files/kerncijfers/ncvb_kerncijfers-beroepsziekten_2023.pdf

Nederlandse Arbeidsinspectie. (2024). *Toezicht op het werken met gevaarlijke stoffen: Blootstelling aan gevaarlijke stoffen*. https://www.nlarbeidsinspectie.nl/site/binaries/site-content/collections/documents/2024/07/18/toezicht-op-het-werken-met-gevaarlijke-stoffen-2020-2023/programmarapportage-blootstelling-aan-gevaarlijke-stoffen.pdf

Ng, C. F. (2000). Effects of building construction noise on residents: A quasi-experiment. *Journal of Environmental Psychology*, *20*(4), 375-385.

NJi. (2026). *Wat zijn gevolgen van de onzekere woningmarkt voor jongeren?* https://www.nji.nl/kennis/op-jezelf-wonen/wat-zijn-gevolgen-van-de-onzekere-woningmarkt-voor-jongeren#stress-en-uitstellen-levensbeslissingen

Provincie Utrecht. (2026). *Rekenen met CO_2: hoe we de impact van broeikasgassen meewegen in onze keuzes*. Provincie Utrecht. https://www.provincie-utrecht.nl/onderwerpen/energie-en-klimaat/klimaat-centraal-samen-naar-een-klimaatneutrale-provincie/rekenen-met-co2-hoe-we-de-impact-van-broeikasgassen-meewegen-onze-keuzes

Qirion. (2023). *Toelichting Aerius berekening bouwfase OS Hazerswoude-Rijndijk*. https://ro-online.alphenaandenrijn.nl/manifest/NL.IMRO.0484.HR150kvstation-ON01/b_NL.IMRO.0484.HR150kvstation-ON01_tb7.pdf

Rennert, K., Errickson, F., Prest, B. C., Rennels, L., Newell, R. G., Pizer, W., Kingdon, C., Wingenroth, J., Cooke, R., Parthum, B., Smith, D., Cromar, K., Diaz, D., Moore, F. C., Müller, U. K., Plevin, R. J., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Sheets, H.,…Anthoff, D. (2022). Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO2. *Nature*, *2022*, 687-692. https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9

RIVM. (n.d.). *Advieswaarden omgevingsgeluid van de WHO*. RIVM. https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-mmk-omgevingsgeluid/gezondheidseffecten-geluid/advieswaarden-who

SAB. (2024). *Gemeentehuis Buren, De Wetering te Maurik*. https://repository.officiele-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2025-6948/1/bijlage/exb-2025-6948.pdf

SEB. (2023). *Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen*. https://open.overheid.nl/documenten/dpc-30e6b717aaaee3d0e093857ce512c2474e7953f2/pdf

SEO, & CE Delft. (2025). *Stikstofuitstoot en stikstofbeperkingen Wat is de schade?* https://ce.nl/wp-content/uploads/2025/07/Stikstofuitstoot-en-stikstofbeperkingen.pdf

Staatscourant van het Koninkrijk der Nederlanden. (2020). *Regeling van de Staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid van 2 juni 2020, nr. 2020-0000068933, tot wijziging van Bijlage XIII van de Arbeidsomstandighedenregeling in verband met de invoering van een wettelijke grenswaarde voor dieselmotoremissie*. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2020-30304.html?

STOP Carcinogens at Work. (n.d.). *The facts on Diesel engine exhaust (DEE)*. https://stopcarcinogensatwork.eu/nl/fact/uitlaatgassen-van-dieselmotoren-dee/

TNO. (2023a). *Transitiepaden Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB)*. https://www.omgevingsweb.nl/wp-content/uploads/po-assets/906819.pdf

TNO. (2023b). *Verbeteren data voor onderbouwing programma Schoon en Emissieloos bouwen*. https://publications.tno.nl/publication/34640976/nIldDW/TNO-2023-R11094.pdf#page=59&zoom=100,152,713

TNO. (2024). *Rekenstappen voor emissietool Amsterdam*. https://publications.tno.nl/publication/34643173/Oqhu5QgF/TNO-2024-R11636.pdf

TNO. (2025a). *Evaluatie Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen*. https://open.overheid.nl/documenten/d28a3671-4330-4945-bf96-e349f5319fee/file

TNO. (2025b). *Evaluatie Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen.*

TNO. (2025c). *Schoon en Emissieloos bouwen: Emissies in de bouw 2010-2035*. https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-03/pbl-2025-tno-schoon-en-emissieloos-bouwen-emissies-in-de-bouw-2010-2035_5818.pdf

TNO. (2025d). *TNO achtergrondrapport Mobiliteit bij KEV 2024 en ERL 2025*. https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-03/pbl-2025-tno-achtergrondrapport-mobiliteit-bij-kev-2024-en-erl-2025_5863.pdf

TNO. (2026a). *Nationale Enquête Arbeidsomstandigheden 2025*. https://monitorarbeid.tno.nl/wp-content/uploads/sites/16/2026/04/NEA2025-Vogelvlucht.pdf

TNO. (2026b). *Research into the required improvements for future NRMM emission standards*. https://publications.tno.nl/publication/34646300/j5vHV5er/TNO-2026-16605.pdf

Tol, R. S. J. (2023). Social cost of carbon estimates have increased over time. *Nature Climate Change*, *13*(6), 532-536.

Volandis. Arbeidscatalogus voor de Bouw en Infra: Lichaamstrillingen. In: Volandis.

Volandis. (2018). *Advies Lichaamstrillingen*. https://www.volandis.nl/media/3957/advies-lichaamstrillingen.pdf

Wennink, P. (2025). *De route naar toekomstige welvaart - Een sterk Nederland in een relevant Europa*. https://www.rapportwennink.nl/downloads/rapport_wennink_12december2025.pdf

WHO. (2012). *IARC: Diesel engine exhaust carcinogenic*. https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-diesel-engine-exhaust-carcinogenic/?

Zhang, X., & Zhou, S. (2023). Building a city with low noise pollution: exploring the mental health effect thresholds of spatiotemporal environmental noise exposure and urban planning solution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(5), 4222. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10001488/