

RAPPORT

Onderzoek Mobiele Werktuigen in de Industrie

Klant: Rijkswaterstaat
Referentie: BK1244-100-101
Status: Definitief/0001
Datum: 28 november 2024

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

George Hintzenweg 85
3068 AX Rotterdam
Netherlands
Mobility & Infrastructure
Trade register number: 56515154

Telefoon: +31 88 348 90 00
Email: info@rhdhv.com
Website: royalhaskoningdhv.com

Titel document:	Onderzoek Mobiele Werktuigen in de Industrie
Sub titel:	
Referentie:	BK1244-100-101
Uw kenmerk	
Status:	Definitief/0001
Datum:	28 november 2024
Projectnaam:	RWS - Mobiele werktuigen Industrie
Projectnummer:	BK1244-101-100
Auteur(s):	Maud Willems
Opgesteld door:	Maud Willems
Gecontroleerd door:	Erik Groen, Ragnar Klabbers
Datum:	26 november 2024
Goedgekeurd door:	Erik Hoving
Datum:	28 november 2024
Classificatie:	Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

Management samenvatting	4
1. Aanleiding en doel onderzoek	5
2. Methode: Verkrijgen emissie gegevens en kwalitatieve inzichten	6
2.1 Definitie mobiele werktuigen	6
2.2 Industriesector en subsectoren	6
2.3 Dataverzameling	7
2.3.1 Emissies mobiele werktuigen	7
2.3.2 Uitgevraagde data	7
2.4 Berekenen emissies	8
2.5 Emissies mobiele werktuigen versus totale uitstoot	8
2.6 Verduurzamingsopties	8
2.6.1 Verduurzaming door verschoning van de vloot	9
2.6.2 Verduurzaming door elektrificatie	12
2.7 Limitaties	12
3. Resultaten: Verduurzaming mobiele werktuigen is volop in uitvoering	14
3.1 Elektrificatie van mobiele werktuigen is afhankelijk van het type en gebruik	14
3.2 Elektrificatie is onafhankelijk van de grootte van een bedrijf	16
3.3 Motivatie voor elektrificatie is verschillend per type industrie en/of bedrijf	17
3.4 Verduurzaming mobiele werktuigen ondanks beperkte emissies	18
3.5 Elektrificatie is niet beperkt tot één type industrie	21
4. Aanbevelingen voor vervolgstappen	22
Referenties	23
Bijlagen	25
Bijlage 1 - Typen industrie volgens de Standaard Bedrijfsindeling (SBI) definitie van het CBS	25
Bijlage 2 – Begeleidende brief deelname onderzoek RWS	26
Bijlage 3 - Vragenlijst opvragen data mobiele werktuiggegevens	27
Bijlage 4 – Rekenmethodes emissies mobiele werktuigen	29
Bijlage 5 – Samenvatting resultaten bedrijven	31

Management samenvatting

Naar aanleiding van de maatschappelijke en politieke aandacht die veelal wordt gegeven aan de uitstoot in de industriesector wordt er beleid gemaakt teneinde te komen tot een emissiereductie. Hierbij wordt de meeste aandacht geschonken aan emissies uit puntbronnen en diffuse emissies maar worden de schadelijke stoffen van mobiele werktuigen (veelal op leefniveau) niet meegenomen. De vraag is of de emissies uit mobiele werktuigen in de industrie qua omvang of doorlooptijd van het verduurzamingspad aanleiding geven om additioneel beleid te formuleren. Wegens het gebrek aan juiste gegevens om deze conclusie te trekken is dit onderzoek uitgevoerd met het doel om op beperkte schaal een eerste beeld van de huidige stand van zaken omtrent de emissies van mobiele werktuigen in de industriesector in beeld te krijgen.

Uit de verzamelde gegevens blijkt dat veel bedrijven hun mobiele werktuigen elektrificeren waar mogelijk. Lichtere tot middelzware werktuigen zijn hierbij vaak al elektrisch, terwijl zware werktuigen nog op diesel werken wegens onvoldoende beschikbaarheid van zware elektrische mobiele werktuigen. Daar waar elektrificatie van mobiele werktuigen wel plaats vindt worden daarvoor verschillende redenen aangevoerd: sommige bedrijven willen een schoon productieproces, anderen reageren op klantvraag. Hierbij is de grootte van het bedrijf en het type industrie niet bepalend voor de aanzet tot verduurzaming. Naast elektrificatie zien bedrijven ook kansen in het verduurzamen van productieprocessen, vervoer en bouwlocaties, omdat deze vaak meer uitstoot genereren dan mobiele werktuigen.

Op basis van een steekproef heeft Royal HaskoningDHV gegevens verzameld bij verschillende bedrijven, qua type industrie en qua grootte. Deelnemende bedrijven konden geen kwantitatieve data beschikbaar stellen. Hierdoor heeft het onderzoek zich moeten beperken tot gegevens die uit interviews naar voren zijn gekomen. Van de aangeleverde gegevens hebben we gepoogd een beeld te schetsen van de werktuigen die worden gebruikt om vanuit hier een gevoel te krijgen van de emissies van de mobiele werktuigen. Deze kwalitatieve inzichten zijn ook verwerkt in de resultaten en aanbevelingen.

Op basis van de inzichten van dit onderzoek kan worden geconstateerd dat de uitstoot van mobiele werktuigen bij de deelnemende bedrijven al geminimaliseerd wordt. Sterker nog, we zien dat verschoning (bijvoorbeeld de inzet van werktuigen met een hogere stageklasse) en elektrificatie van mobiele werktuigen al autonoom plaatsvindt. Daarnaast is de uitstoot van mobiele werktuigen relatief vaak een stuk lager dan andere processen binnen een bedrijf.

Het kan echter wel zo zijn dat bij individuele bedrijven, de uitstoot van mobiele werktuigen op leefniveau een negatief effect hebben op de luchtkwaliteit, met name als de locatie in de buurt ligt van bijvoorbeeld een woonwijk. In voorliggend onderzoek is een vergelijkbare situatie niet voorgekomen.

De minimalisatie van mobiele werktuig emissies komt terug bij elke branche deelnemend aan dit onderzoek. Emissiereductie beperkt zich daarom niet tot één branche op basis van de deelnemende branches. Een uitzondering hierbij zijn branches waar voornamelijk zwaar materieel wordt ingezet. Bij de inzet van zwaar materieel zien we conform het marktaanbod momenteel dat er nog nauwelijks zero emissie werktuigen worden ingezet. Vanwege deze autonome verduurzaming, de geringe omvang van de emissie-uitstoot van mobiele werktuigen en de verwachting dat additioneel beleid de verduurzaming beperkt zal versnellen, adviseren we dan ook dat er op dit moment geen urgentie is voor aanvullende regelgeving om emissiereductie voor mobiele werktuigen in de industrie te versnellen.

1. Aanleiding en doel onderzoek

In reactie op de aanzienlijke maatschappelijke en politieke aandacht die wordt besteed aan de uitstoot in de industriesector, wordt er beleid gemaakt teneinde te komen tot een emissiereductie. Deze maatregelen richten zich voornamelijk op emissies afkomstig van puntbronnen, die op locatie worden gemeten zoals bij een fabriek of ander individueel bedrijf, en diffuse emissies. Echter, de luchtverontreinigende stoffen die worden uitgestoten door mobiele werktuigen zoals NO_x, SO₂ en fijnstof worden hierin niet meegenomen. Om beter inzicht te krijgen in de bronnen van uitstoot binnen de industriesector zouden mobiele werktuigen daarom wel moeten worden meegenomen.

Dit roept de vraag op of het gerechtvaardigd is om deze mobiele werktuigen buiten beschouwing te laten, of dat er juist een dringende noodzaak is om ook hiervoor regelgeving te ontwikkelen die leiden tot een reductie van de daartoe behorende emissies. Het ontbreken van gegevens maakt het moeilijk om een definitieve conclusie te trekken over de noodzaak van dergelijke maatregelen. Daarom is het van belang om de huidige situatie met betrekking tot de emissies van mobiele werktuigen in de industriesector verder te onderzoeken.

In dit kader is Royal HaskoningDHV door Rijkswaterstaat gevraagd om ondersteuning te bieden bij het verzamelen en analyseren van de benodigde gegevens. Dit onderzoek poogt inzicht geven in de omvang van de emissies van mobiele werktuigen en zal dienen als basis voor eventuele vervolg onderzoeken om emissies van mobiele werktuigen in kaart te brengen. Hiertoe kan men besluiten additioneel beleid te ontwerpen gericht op het verminderen van emissies van mobiele werktuigen in de industrie.

Om vast te stellen wat de omvang van de emissies van mobiele werktuigen binnen de industriesector is zal dit project ten doel stellen inzicht hierin te krijgen aan de hand van de volgende vragen/subdoelen:

1. Welke mobiele werktuigen worden bij de industrie ingezet? (O.b.v. type, brandstof, gehuurd of in bezit, etc.)
2. Wat zijn de emissies van mobiele werktuigen bij de industrie en hoe verhouden die emissies zich tot de totale uitstoot van emissies?
3. Met welke technische mogelijkheden kunnen deze emissies gereduceerd worden?

2. Methode: Verkrijgen emissie gegevens en kwalitatieve inzichten

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat mobiele werktuigen zijn, welke en hoe gegevens verzameld werden, en hoe de uitstoot en het aandeel van emissies van mobiele werktuigen kan worden berekend. Deze onderwerpen zijn gebaseerd op een voorafgaande bureaustudie waarbij gebruik is gemaakt van literatuur, bijvoorbeeld TNO onderzoeken en PBL-rapportages. Daarnaast zijn openbare gegevensbronnen geraadpleegd zoals het CBS. Om het onderzoek verder af te kaderen zal tevens een nadere toelichting worden gegeven over de scope van het onderzoek.

2.1 Definitie mobiele werktuigen

Het is van belang dat mobiele werktuigen worden gedefinieerd als een gereguleerde term die uiteindelijk leidend is in de inventarisatie van de mobiele werktuigen in de industrie. Daarom zijn de volgende kenmerken gehanteerd om mobiele werktuigen te definiëren op basis van de definitie van TNO (Dellaert et al., 2021, p. 10):

- Gemotoriseerde machines met eigen aandrijving door middel van een:
 - Verbrandingsmotor
 - Elektrische motor in combinatie met waterstof en brandstofcel
 - Elektrische motor in combinatie met accu of voedingskabel, maar alleen wanneer vergelijkbare machinetypes ook regelmatig met een verbrandingsmotor zijn uitgerust (bijv. geen elektrische boormachines, maar wel elektrische graafmachines)
- Machines te gebruiken op het land
- Machines die mobiel inzetbaar zijn, dat wil zeggen: draagbaar, verrijdbaar of anderszids regelmatig op verschillende plaatsen ingezet
- Machines die niet (hoofdzakelijk) bedoeld zijn voor transport van mensen of goederen over de openbare weg
- Machines zonder kenteken óf machines/voertuigen op kenteken die het grootste deel van hun werk uitvoeren buiten de openbare weg.

Tijdens de inventarisatie van mobiele werktuigen vanuit verschillende bedrijven/sectoren zijn deze definities en kenmerken gecommuniceerd als de inclusiecriteria.

2.2 Industriesector en subsectoren

De maatschappelijke en politieke aandacht voor uitstoot in de industriesector en het beleid dat zich daarbij richt op puntbronnen en diffuse emissies laten emissies van mobiele werktuigen momenteel achterwegen. Dit onderzoek richt zich dan ook op bedrijven in de industriële sector waarbij steekproefsgewijs wordt gekeken naar het aandeel van emissies door mobiele werktuigen in vergelijking met andere emissies, zoals die de schoorsteen, om zo een eerste beeld te vormen. Op basis van subsectoren binnen de industriële sector is er industrie breed gekeken naar de emissies van mobiele werktuigen.

De selectie van subsectoren is gemaakt op basis van een variatie in SBI-codes (Bijlage 1) evenals het grootschalige netwerk dat RHDHV en DISTRICON heeft binnen de subsectoren. Op basis van deze criteria is de volgende selectie aan subsectoren meegenomen in het onderzoek:

- Vervaardiging van voedsel en grondstoffen (3 bedrijven)
- Vervaardiging van op- en overslag (1 bedrijf)
- Vervaardiging van zware industrie (1 bedrijf)
- Vervaardiging van technische industrie (2 bedrijven)
- Vervaardiging van keramische industrie (1 bedrijf)
- Vervaardiging van terminals (1 bedrijf)
- Vervaardiging van afvalbewerking (1 bedrijf)

2.3 Dataverzameling

2.3.1 Emissies mobiele werktuigen

Om te bepalen wat het aandeel emissies van mobiele werktuigen is binnen de industriese sector zijn de volgende emissies opgenomen in het onderzoek:

- NO_x (Stikstofoxiden)
- SO₂ (Zwavel dioxide)
- PM (Fijnstof)
- CO₂ (Koolstofdioxide)

De bovenstaande emissies zijn het meest belangrijk in dit onderzoek gezien de compositie aan schadelijke stoffen vanuit mobiele werktuigen en de impact die het heeft op onder andere het leefniveau. Echter konden er geen emissies worden gemeten of berekend wegens het gebrek aan kwantitatieve data vanuit de geselecteerde bedrijven. Bovenstaande emissies zijn daarom ook vanuit de literatuur meegenomen op basis van CBS-cijfers.

2.3.2 Uitgevraagde data

Gegevens van mobiele werktuigen voor de emissiebepaling zijn volgens 3 stappen opgehaald bij de geselecteerde bedrijven:

1. *Contact leggen met het geselecteerde bedrijf op basis van de deelnamebrief van RWS (zie Bijlage 2)*
2. *Inplannen online en/of fysiek kennismakingsgesprek en het delen van de vragenlijst ter voorbereiding voor bedrijven op het interview (zie Bijlage 3)*
3. *Kwalitatief data verzamelen aan de hand van een online of fysiek interview*

Wegens het gebrek aan kwantitatieve data is gekozen voor een kwalitatieve data verzamel methode. Om inzichtelijk te kunnen maken welke emissies vanuit mobiele werktuigen er zijn, hoe dit zich verhoudt tot de totale uitstoot en hoe een bedrijf zich verduurzaamd zijn in ieder geval de volgende gegevens nagevraagd:

- Welke bedrijfsmatige processen zijn er?
- Welke soort mobiele werktuigen zijn er op het bedrijventerrein en, indien bekend, hoeveel zijn dat er?
- Op welk type brandstof werken de verschillende mobiele werktuigen en, indien bekend, hoeveel draaiuren worden er gemaakt?
- Hoe verhouden de emissies van de mobiele werktuigen, naar eigen inschatting, zich tot de emissies van andere bedrijfsmatige processen?
- Hoe wordt verduurzaming toegepast bij jullie in het bedrijf?

Antwoorden op de bovenstaande vragen zijn opgenomen in Sectie 3 evenals Bijlage 5. Op verzoek van de deelnemende bedrijven behandelen we de deelname van de bedrijven als vertrouwelijk en zullen de verzamelde gegevens in dit rapport niet herleidbaar zijn.

2.4 Berekenen emissies

Om de emissies te kunnen berekenen zoals benoemd in Sectie 2.3.1, zal er rekening moeten worden gehouden met de beschikbaarheid van data van bedrijven. Aangezien de gesproken bedrijven niet in staat waren kwantitatieve data aan te leveren kon er geen berekening van de emissies van mobiele werktuigen worden gemaakt. Rekenmethodes op basis van onderzoeken van TNO die kunnen worden gebruikt om de emissies voor mobiele werktuigen te bepalen zijn wel opgenomen in Bijlage 4.

2.5 Emissies mobiele werktuigen versus totale uitstoot

Bedrijven die vallen onder de reikwijdte van de E-PRTR zijn verplicht om hun emissies te rapporteren die worden opgenomen in de emissieregistratie database (Rijksoverheid, 2024). Omdat niet elk bedrijf verplicht is om hun emissies te rapporteren zien we dat niet alle deelnemende partijen van dit onderzoek deze inzichten hebben, zoals ook benoemd verder in de limitaties van dit onderzoek in Limitaties. Wegens het gebrek aan deze kwantitatieve data is verhouding van emissies van mobiele werktuigen in vergelijking met de totale uitstoot op kwalitatieve basis uitgevraagd bij de deelnemende bedrijven. Met de toegepaste methode voor het ophalen van data (zie Sectie 2.3.2) zijn bedrijven, naast de vragen zoals omschreven in Bijlage 3, gevraagd een inschatting te maken van de verwachte emissies en de verhouding van de emissies van hun mobiele werktuigen ten opzichte van hun totale uitstoot.

Naast de kwalitatieve data die is opgehaald bij de geselecteerde bedrijven is er ook nog gekeken naar algemene cijfers van emissies vanuit de industrie met betrekking tot mobiele werktuigen. Hierbij is gekeken naar de meest recente luchtverontreinigende emissiecijfers volgens het CBS (CBS, 2023a; CBS, 2023b; CBS, 2024). Wegens het ontbreken van emissie rapportages in de emissieregistratie database van de geselecteerde bedrijven wordt deze alternatieve methode van kwantitatieve data gehanteerd in dit rapport.

2.6 Verduurzamingsopties

Op basis van de inzet van mobiele werktuigen kan worden gedacht aan verscheidene verduurzamingsopties binnen de industrie (subdoel 3, Sectie 1). Omdat ervaring leert dat veel bedrijven zowel eigen als geleasede/gehuurde mobiele werktuigen inzetten is de optie om te verduurzamen tevens sterk afhankelijk van de eigenaar van de mobiele werktuigen. Met andere woorden, indien een bedrijf zijn mobiele wagenpark wil verduurzamen moet er ook worden gekeken naar de verduurzaming van geleasede/gehuurde mobiele werktuigen. Hierbij zijn de volgende opties mogelijk:

- Het verhuurbedrijf waar het bedrijf een contract mee heeft gaat zijn eigen mobiele werktuigen verduurzamen;
- Het bedrijf gaat mobiele werktuigen leasen/huren van een verhuurbedrijf dat duurzamere opties biedt dan zijn huidige verhuurdersbedrijf;
- Het bedrijf neemt (grotendeels) eigen mobiele werktuigen aan die duurzamer zijn;
- Of het bedrijf verduurzaamt zowel zijn eigen als de geleasede/gehuurde mobiele werktuigen.

Naast het aandeel van mobiele werktuigen dat kan worden verduurzaamd zijn er ook meerdere mogelijkheden om de werktuigen zelf te verduurzamen. Hierin voorzien wij de volgende relevante scopes (Sectie 1):

- Verduurzaming door verschoning van de vloot (stageklasse, AdBlue en SCR-katalysator, roetfilters, brandstof)
- Verduurzaming door elektrificatie

Gezien het feit dat deze verduurzamingsmethodes ook kunnen worden gecombineerd voor het gehele wagenpark (bv. deels elektrificeren-deels schonere brandstofopties) zou de ene mogelijkheid de andere mogelijkheid niet moeten uitsluiten. Situaties waarin een dergelijke combinatie van mogelijkheden voor zou kunnen komen is wanneer zware mobiele werktuigen (nog) niet te elektrificeren zijn maar de middelzwaar tot lichte mobiele werktuigen wel. In dat geval zou een combinatie van elektrificatie en verschoning van de vloot een gepaste verduurzamingsmethode kunnen zijn voor het gehele mobiele wagenpark.

2.6.1 Verduurzaming door verschoning van de vloot

Verduurzaming van mobiele werktuigen door het verschonen van de vloot houdt in dat, ondanks het gebruik van fossiele brandstoffen, er wel reducties in fijnstof, NO_x en CO₂ plaats kunnen vinden.

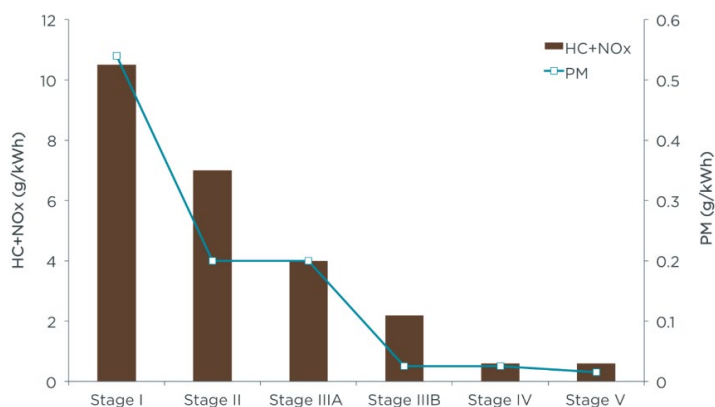
Voor het verschonen van de vloot als verduurzamingsmethode hebben wij de volgende richtingen geïdentificeerd:

- Stageklasse
- Filters
 - Roefilter (DPF filter)
 - SCR filter & AdBlue
- Katalysatoren
 - Diesel oxidation catalyst (DOC)
 - Ammoniak slip catalyst (ASC)
- Schonere brandstof opties

Tevens bestaan er ook filters voor benzine mobiele werktuigen zoals de GPF (Gasoline Partikel Filter). Echter zijn er weinig benzine aangedreven mobiele werktuigen die in worden gezet binnen de industrie. Details over filters voor benzine aangedreven motoren zullen daarom niet verder worden benoemd in deze rapportage.

Stageklasse

Aan de hand van gestelde EU-normen worden er verschillende limieten van emissies gesteld aan de verschillende stageklassen (zie Figuur 1). Dit houdt in dat een mobiel werktuig van een bepaalde vermogensklasse lagere emissie limieten zal hebben wanneer het van een hogere stageklasse (emissieklasse) is. Zo zal een heftruck van 56 kW en Stage V minder emissies moeten uitstoten eenzelfde heftruck van Stage IIIA. Verduurzaming door middel van verhoging van stageklasse zou dus interessant kunnen zijn wanneer een bedrijf mobiele werktuigen heeft lager dan de hoogst haalbare stageklasse (V).



Figuur 1. Emissielimieten voor NO_x en PM op basis van verschillende stageklassen (The International Council of Clean Transportation, 2016).

Roetfilter (DPF)

Om de concentraties fijnstof in de lucht te verlagen ten behoeve van het verbrandingsproces van dieselmotoren kan een roetfilter (Diesel Partikel Filter) worden geplaatst. Doordat roetfilters de fijnstofdeeltjes opvangen en vasthouden waarna ze geoxideerd of verbrand kunnen worden kan de DPF filter een deeltjesfiltratie-efficiëntie van 99% of meer bereiken (Mogaka, Wong & Shahed, 1982). Een dergelijke DPF-filter wordt momenteel vrijwel standaard toegepast in Stage V mobiele werktuigen. Wanneer er dus mobiele werktuigen in worden gezet afwijkend van de Stage V klasse zou een DPF-filter kunnen worden overwogen als verduurzamingstechniek.

SCR filter & AdBlue

De combinatie SCR filter en AdBlue kan worden toegepast om NO_x emissies te reduceren. Aan de andere kant kan een SCR filter ook zorgen voor een toename in NH₃ emissies. Een dergelijk effect is te zien in Tabel 2 waarbij de toepassing van SCR filters voor mobiele werktuigen in categorie C of D (afhankelijk van stageklasse en vermogensklasse, zie Tabel 1) zorgt voor een toename in NH₃ van 0,0203 g/(hr*KW).

Classificatie	[...-2001]	[2002-2005]	[2006-2010]	[2011-2013]	[2014-2018]	[2019-...]
Vermogen [kW]	Stage-I	Stage-II	Stage-III A	Stage-III B	Stage-IV	Stage-V
(...-56)	X	X	X	A	A	A
[56-75]	X	X	A	A	D	D
[75-560]	X	A	B	B/C	D	D
[560-...]	X	X	X	X	X	B/C

Tabel 1. Categorieën mobiele werktuigen met classificatieleeftijd op basis van vermogen en stageklasse (Ligterink & Mensch, 2023, p. 7).

Dieselmotoren			zonder SCR	met SCR	SCR
Categorie	X	A	B	C	D
Limiet op de test	>6 g/kWh	4-6 g/kWh	2-4 g/kWh	2-4 g/kWh	<2 g/kWh
NO _x [g/(hr*kW)]	2,7	1,8	1,3	1	0,34
NH ₃ [g/(hr*kW)]	0,0007	0,0007	0,0007	0,021	0,021

Tabel 2. De U-methode kenwaarden, voor de verschillende categorieën, om NO_x en NH₃ emissies te berekenen (Ligterink & Mensch, 2023, p. 7).

De toepassing van SCR komt beperkt voor op Stage IIIA en Stage IIIB werktuigen. Stage IV en Stage V motoren, daarentegen, hebben wel vaak SCR filters (Ligterink et al., 2020). Echter zou een SCR-installatie voor Stage IIIA en Stage IIIB werktuigen wel tot een NO_x reductie 60-80% kunnen leiden (Tol & Verbeek, 2021). De toepassing van SCR filters op Stage IIIA en Stage IIIB zou daarom een interessante overweging kunnen zijn in het verduurzamingsproces. De praktijk leert echter dat dit vaak niet wordt gedaan en een hogere stageklasse een beter alternatief biedt.

Belangrijk om in acht te nemen bij de toepassing van SCR filters is de motorbelasting. Omdat SCR filters en de AdBlue minder goed functioneren bij een lage motorlast kunnen de NO_x emissies sterk toenemen (Ligterink et al., 2020; Meijer, Mensch, & Ligterink, 2023). Dit gebeurt bijvoorbeeld wanneer een mobiel werktuig stationair of stand-by staat te draaien. Als een gevolg hiervan vindt, met de komst van SCR-technologie bij mobiele werktuigen, bijna de helft van de NO_x emissies van mobiele werktuigen plaatst bij een lage motorlast (Ligterink, Dellaert & Mensch, 2021). Inzicht in de motorbelasting is daarom erg belangrijk voor de overweging om SCR filters toe te passen als verduurzamingstechniek.

Diesel Oxydation Catalyst (DOC)

DOC's zijn katalysatoren gemaakt voor dieselmotoren om CO, NO_x en fijnstof emissies te verminderen. De werking van een DOC filter zorgt ervoor dat onder andere de CO en fijnstof die uit de dieselmotor vrijkomen worden omgezet in water en CO₂ door het oxidatieproces van de katalysator. Naar verwachting zorgt de katalysator tevens voor een 10-20% reductie van NO_x (Nett Technologies, 2020).

Ammonia Slip Catalyst (ASC)

Een ACS zorgt voor een versterkte werking van SCR filters waarbij een grotere NO_x reductie kan worden verwacht dan wanneer enkel een SCR filter wordt toegepast. Tevens zorgt een ASC voor lagere CO₂ en minimale NH₃ en NO_x emissies (Torp et al., 2021).

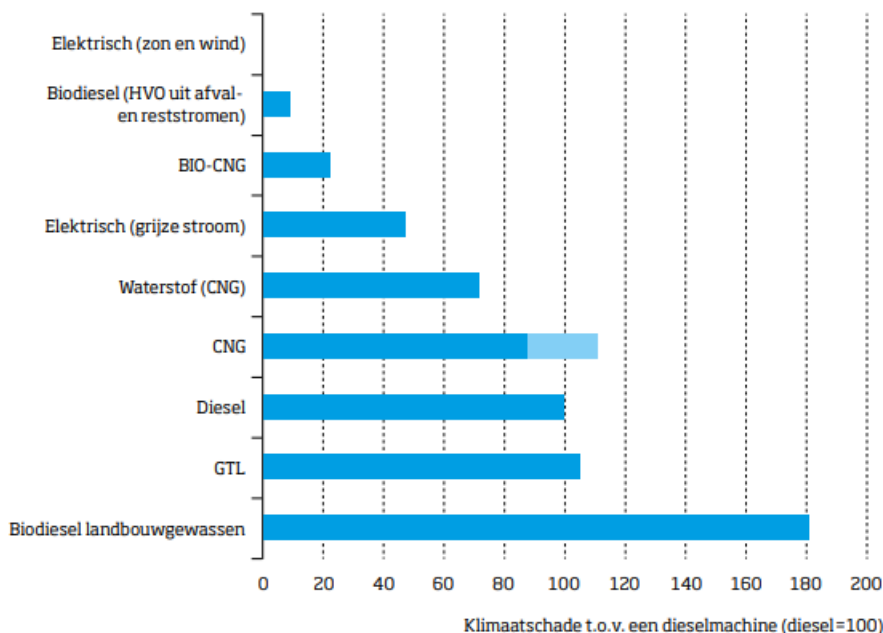
Schonere brandstof opties

Alhoewel de keuze voor brandstof nog steeds betekend dat er emissies vrij zullen komen is het nog wel mogelijk om de emissies te verlagen door schonere fossiele brandstoffen te gebruiken. Dit is wel afhankelijk van de beschikbaarheid van mobiele werktuigen met verschillende type brandstof. Verduurzaming op basis van "schonere" brandstofopties ten opzichte van diesel kan door toepassing van (SEB, 2018):

- Waterstof
 - Verduurzamingseffect t.o.v. diesel:
 - 30% CO₂ reductie
 - Geen lokale uitstoot van PM, NO_x en SO₂ wegens ontbreken verbrandingsmotor
- (Bio)CNG (Compressed Natural Gas → Aardgas)
 - Verduurzamingseffect t.o.v. diesel:
 - 80% CO₂ reductie voor bio CNG
 - Beperkt positief effect op luchtkwaliteit (0-30% NO_x/PM)
- GTL (Gas To Liquid → Synthetische diesel van aardgas)
 - Verduurzamingseffect t.o.v. diesel:
 - 50% PM reductie voor Stage IIIA en ouder
- HVO (Hydrotreated Vegetable Oil → Synthetische diesel van biomassa)
 - Verduurzamingseffect t.o.v. diesel:
 - 90% CO₂ reductie

De effecten met betrekking tot klimaatschade is sterk verschillend onder de genoemde brandstofopties (zie Figuur 2). Tevens zullen niet alle mobiele werktuigen aangedreven worden door de genoemde brandstofopties. Verduurzaming op basis van "schonere" brandstofopties is daarom een beperkt toepasbare verduurzamingmethode vanwege de beperkte opties voor verschillende brandstoffen voor mobiele werktuigen.

Brandstofranking



Figuur 2. Brandstof ranking mobiele werktuigen op basis van score op klimaat én luchtverontreiniging (SEB, 2018, p. 4).

2.6.2 Verduurzaming door elektrificatie

Elektrificatie van mobiele werktuigen kan aan de hand van accu's (verwisselbaar/vast) evenals via vaste bekabelde aansluiting op het elektriciteitsnetwerk. De mogelijkheid van elektrificatie is hierbij sterk afhankelijk van de grootte van het werktuig (klein, middel, zwaar). Zo is het aanbod voor geëlektrificeerde zware werktuigen momenteel zeer beperkt. Voor klein en middelgrote mobiele werktuigen is het aanbod daarentegen relatief groot (Meijer, Mensch, & Ligterink, 2023). Ook is de inzet van elektrische mobiele werktuigen nog altijd niet een gegeven op grootschalig niveau. Zo zijn er nog sterke ontwikkelingen nodig op het gebied van groei van elektrische mobiele werktuigen (afhankelijk van leveranciers) en de voorziening van tank- en laadinfrastructuur. Daarentegen is de elektrificatie van zware werktuigen niet altijd duurzamer dan de elektrificatie van kleine werktuigen, zoals bijvoorbeeld bij een Stage-V minigraver. Deze heeft namelijk een even grote NO_x uitstoot als een zware Stage IV of Stage V mobiel werktuig (Vermeulen, Ligterink & Van Der Mark, 2021). De grootte van de emissiebron is daarom bepalender wanneer het gaat om het belang van verduurzaming.

2.7 Limitaties

De resultaten van dit onderzoek, hoewel wel geacht als indicatief voor de huidige status van emissies van mobiele werktuigen, is wel verbonden aan een aantal limitaties. Deze beperkingen betreffen de representativiteit, steekproefomvang en databeschikbaarheid.

Zo is deelname aan dit onderzoek vrijwillig. Nadeel hiervan is dat bedrijven die nog geen verduurzamingsmaatregelen hebben genomen en bekend zijn met hun vele uitstoot mogelijk niet mee willen doen wegens de kans op een slechte naam. Bedrijven, daarentegen, die al wel bezig zijn met verduurzaming hebben wellicht meer baat bij het bekendmaken hiervan omwille een goede naam en of imago. Het resultaat hiervan is dat de selectie van bedrijven uit dit onderzoek een trend van duurzaamheid laat zien die allicht in de werkelijkheid beperkt is. Daarentegen blijkt uit de verkennende fase van dit onderzoek al wel dat verduurzaming binnen de industrie al wel in gang is gezet.

Met betrekking tot de steekproef in dit onderzoek kan ook worden gesteld dat één bedrijf van een specifieke sector binnen de industrie niet representatief kan zijn voor een gehele industriële deelsector. Daarbij is de industrie een grote en diverse sector en dus zullen conclusies niet worden gegeneraliseerd over de gehele industriële sector. Dit neemt niet weg dat de inzichten uit dit onderzoek wel een eerste beeld kunnen geven van de huidige stand van zaken bij bedrijven van verschillende industriële sectoren met betrekking tot de emissies en verduurzaming van mobiele werktuigen.

Ten slotte is er van de bedrijven die deel hebben genomen aan dit onderzoek vaak beperkte data beschikbaar van emissies, zowel op het vlak van mobiele werktuigen als de totale uitstoot. Een kwantitatief onderzoek is daarom niet mogelijk geweest. De keuze voor een kwalitatief onderzoek is daarom een geschiktere methode. Een voordeel hiervan is dat de achterliggende gedachte van verduurzaming vaak meer naar voren komt in vergelijking met een onderzoek van alleen maar cijfers. Een nadeel is dat de conclusies die een bedrijf trekt over het gebruik van mobiele werktuigen vaak op basis is van een inschatting.

3. Resultaten: Verduurzaming mobiele werktuigen is volop in uitvoering

Naar aanleiding van de gesprekken die zijn gevoerd met verschillende bedrijven uit verschillende type industrie zien wij dat elektrificatie en van mobiele werktuigen al plaatsvindt daar waar de huidige technieken het toelaten. Dit betekent dat verduurzaming onder mobiele werktuigen binnen de industrie een proces is dat al plaatsvindt en tevens wordt gereguleerd binnen op basis van huidige regelgeving². In dit onderzoek komen tot vijf belangrijke bevindingen.

3.1 Elektrificatie van mobiele werktuigen is afhankelijk van het type en gebruik

Wanneer wordt gekeken naar het type werktuigen die worden ingezet binnen de industrie zien wij dat dit sterk variërend is met betrekking tot licht, middel, of zwaar materieel. Veel gebruikte mobiele werktuigen industrie-breed op basis van de geïnterviewde data zijn hierbij (ref. subdoel 1, Sectie 1):

- (Vork)heftrucks
- (Mobiele/overslag) kranen
- Reachstackers
- Shovels

Momenteel zijn zware mobiele werktuigen (zoals terminal trekkers en reachstackers) vaak diesel aangedreven. Elektrische varianten voor deze werktuigen zijn beperkt of niet beschikbaar wegens de achterliggende ontwikkelingen in de elektrificatie hiervan. Toepassing van elektrische varianten is vaak beperkt tot kleinschalige pilots. Verduurzaming van de vloot van deze zware mobiele werktuigen kan op korte termijn alleen door middel van verschoning van de vloot en op langere termijn door vernieuwing van de vloot.

Gezien de meeste zware mobiele werktuigen diesel aangedreven zijn, kan er in het geval van verschoning van de vloot worden gedacht aan het retrofitten van filtertechnieken, zoals veelvuldig af-fabriek worden toegepast op motoren van nieuwere generaties en hogere stageklassen, zoals bijvoorbeeld SCR-filters met Adblue toevoeging. Omdat stageklasse IV (2014-2018) en V (≥ 2019) veelal standaard uitgerust zijn met een SCR-filter met AdBlue zal een hogere stageklasse logischerwijs een verduurzaming zijn in het geval van diesel-aangedreven mobiele werktuigen (Ligtering et al., 2020). De toepassing van SCR komt echter beperkt voor op Stage IIIA (2006-2010) en Stage IIIB (2011-2013) werktuigen. Een SCR-installatie voor Stage IIIA en Stage IIIB werktuigen kan wel leiden tot een NO_x reductie 60-80% (Tol & Verbeek, 2021). De toepassing van SCR filters op Stage IIIA en Stage IIIB zou daarom een relevant verduurzamend effect kunnen hebben wanneer materieel van een hogere stageklasse of alternatieve brandstofopties geen alternatief bieden voor een bedrijf. Echter zien we in de praktijk dat het retrofitten gepaard gaat met uitdagingen zoals inbouwruimte, verantwoordelijkheid voor de gewijzigde machines en garanties. Veel voorbeelden van dergelijke retrofitting in de praktijk zijn er dan ook niet.

Echter is de typische levensduur voor mobiele werktuigen in de orde van 10 jaar. Dit houdt in dat het aandeel mobiele werktuigen pré Stage V de komende jaren flink zou moeten afnemen. Het aandeel Stage IIA en Stage IIB mobiele werktuigen zou hierbij al flink afgenomen moeten zijn (ref. subdoel 3, Sectie 1).

De behoefte aan manoeuvreerbaarheid en intensiteit van inzet zijn ook bepalend voor elektrificatie. Een mobiele havenkraan valt in de categorie zwaar materieel. Het heeft een grote vermogensvraag en energiegebruik. Deze werktuigen zijn toch goed te elektrificeren. Het aantal verplaatsingen tijdens de operatie is dan ook beperkt tot het verplaatsen van scheepsruim naar scheepsruim en van kade naar kade.

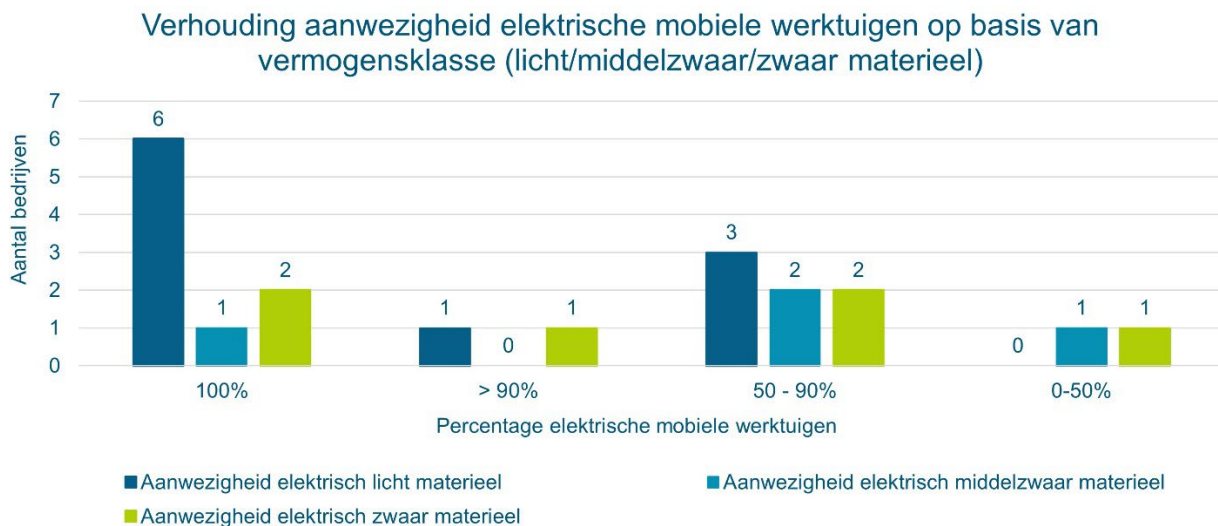
² Verduurzaming op basis van verschoning van de vloot is al gereguleerd via de [EU regulation 2016/1628](#). Dit uitgangspunt zal dan ook als standaard worden meegenomen in dit onderzoek.

Een geëlektrificeerde mobiele havenkraan is normaal gesproken via een flexibele stroomkabel met kabelhaspel aangesloten op het vaste energienetwerk. De verplaatsingen tussen scheepsruimen worden gefaciliteerd door de kabelhaspel. Grotere bewegingen zoals het verplaatsen naar een andere kade worden over het algemeen door middel van een dieselmotor gedaan.

Een geëlektrificeerd werktuig zoals een terminal trekker bestrijkt tijdens de operatie een groot terrein en een kabelhaspel zou niet werken. Deze categorie is afhankelijk van batterijen of een brandstofcel. Belangrijke criteria voor adoptie zijn batterijcapaciteit (duur van de inzet tussen opladen en de niet productieve oplaadtijd). Hier is duidelijk te zien dat de markt wacht op ontwikkelingen in batterijcapaciteiten en snellaad functies.

Daarentegen is de elektrificatie voor met name licht materieel maar ook middelzwaar materieel veelal wel mogelijk. Naar aanleiding van de opgehaalde informatie zien wij dat deze mobiele werktuigen inderdaad al vaak elektrisch worden ingezet. Dit geldt dan met name voor (vork)heftrucks < 6 ton. Omdat bedrijven aangeven ook mobiele werktuigen te leasen/huren wordt ook hier gekeken naar duurzame alternatieven. Dit houdt in dat een bedrijf, wanneer het gaat om licht en middelzwaar materieel, naar elektrische opties zoekt voor het geleasede of gehuurde materieel.

Om een overzicht te bieden van de inzet van elektrisch materieel met betrekking tot de vermogensklasse op basis van de kwalitatieve data van de geselecteerde bedrijven kan worden gekeken naar onderstaand figuur (Figuur 3). Hierbij is de volgende classificatie van elektrificatie voor mobiele werktuigen aangehouden: 1) Volledige elektrificatie (100%); 2) Grotendeels geëlektrificeerd (> 90%); 3) Deels geëlektrificeerd (50-90%); 4) Elektrificatie is net begonnen (0-50%); 5) Elektrificatie nog niet gestart.



Figuur 3. Verhouding van de aanwezigheid van verschillende type mobiele werktuigen op basis van vermogensklasse uitgezet tegen de mate van elektrificatie van mobiele werktuigen binnen een bedrijf (n=11).

Uit de kwalitatieve data komt inderdaad, zoals ook hierboven omschreven, naar voren dat elektrificatie van mobiele werktuigen met name voorkomt bij licht materieel. De uitzondering voor de inzet van zwaar elektrisch materieel is terug te vinden bij (mobiele) havenkranen (zie Bijlage 5). Naar mate er meer middelzwaar en zwaar materieel wordt ingezet is te zien dat de totale elektrificatie terugloopt naar <90%. Hiermee wordt wederom aangeduid dat de mate van elektrificatie wordt beïnvloed door de inzet van middelzwaar tot zwaar materieel.

3.2 Elektrificatie is onafhankelijk van de grootte van een bedrijf

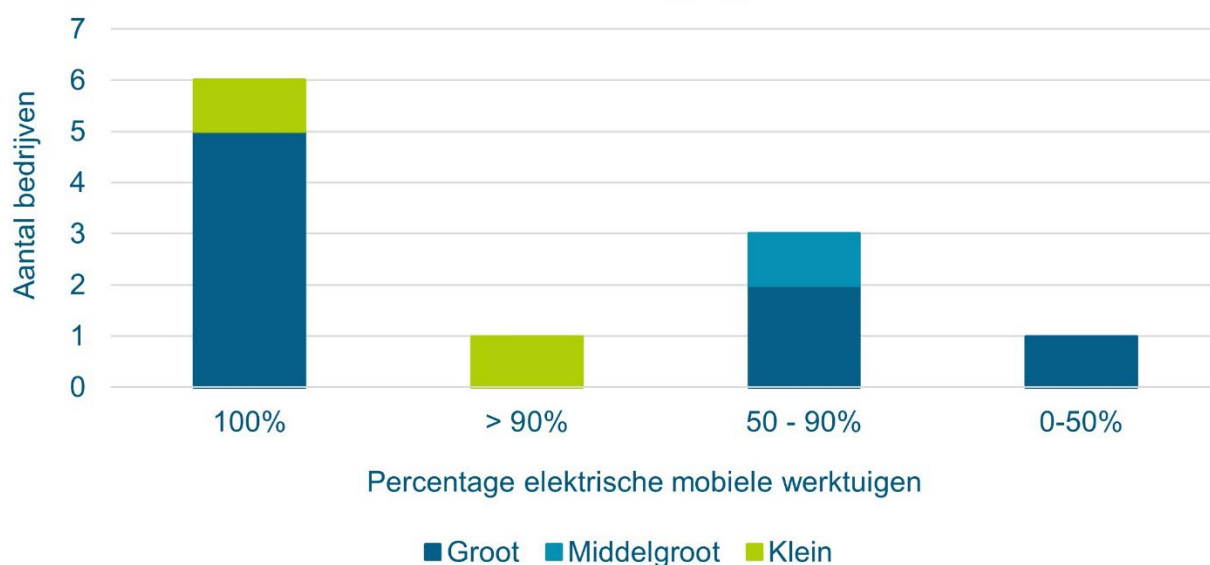
Op basis van de omzet en aantal werknemers van een bedrijf hanteren wij de volgende classificatie van orde van grootte op basis van de Europese Commissie (DG FISMA): micro, klein, middelgroot, en groot (zie Tabel 3).

Grootte	Netto omzet	Aantal werknemers
Micro	≤ € 900.000	< 10
Klein	≤ € 15.000.000	< 50
Middelgroot	≤ € 50.000.000	< 250
Groot	> € 50.000.000	> 250

Tabel 3. Groottecriteria van een organisatie (Europese Unie, 2013; Europese Unie 2023).

Naar aanleiding van de gesprekken met de geselecteerde bedrijven zien wij de volgende verhouding in onze data: groot (7), middelgroot (1), klein (2). Op basis van de gegevens die wij hebben verzameld voor grote, middelgrote, en kleine bedrijven zien wij geen onderscheid in de toepassing van elektrificatie voor mobiele werktuigen. Dat wil zeggen, de elektrificatie van mobiele werktuigen zien wij zowel gebeuren bij klein, middelgroot, als grote bedrijven. Om aan te duiden hoe de mate van elektrificatie zich verhoudt ten opzichte van de verschillende geselecteerde bedrijven is dit verder in Figuur 4 weergegeven. Hierbij is dezelfde classificatie van elektrificatie aangehouden zoals omschreven in Sectie 3.1.

Mate van elektrificering van mobiele werktuigen op basis van bedrijfsgrootte



Figuur 4. Verhouding elektrische mobiele werktuigen binnen één bedrijf op basis van kwalitatieve data vanuit de geselecteerde bedrijven uitgesplitst op bedrijfsgrootte (n=11).

Zoals te zien in Figuur 4 wordt er bij tien van de 11 bedrijven (zowel groot, middelgroot, als klein) gedaan aan elektrificatie van mobiele werktuigen waarbij de mate van elektrificatie bij de één hoger ligt dan bij de ander. Bij zes van de 11 bedrijven ligt dit percentage zelfs op 100%.

Elektrificatie van mobiele werktuigen kan een hoge initiële investering met zich meebrengen. Met name voor kleinere bedrijven kan dit een barrière zijn om over te gaan tot aanschaf van elektrische mobiele werktuigen. Echter zien wij dat niet in onze data terug wegens de hoge inzet van elektrische mobiele werktuigen onder ook de kleinere bedrijven.

Grote internationaal opererende bedrijven kunnen echter wel een verschil maken in de transitie naar schonere werktuigen. Door middel van hun invloedssfeer en inkoopsschaal zijn ze een gesprekspartner voor de producenten van mobiele werktuigen en kunnen ze de ontwikkeling stimuleren door voldoende vraag te creëren. Een voorbeeld hiervan is de Zero Emission Port Alliance (ZEPA) opgericht door de globaal opererende terminal operators APM Terminals en DP World. ZEPA stelt zichzelf tot doel om de-carbonisatie in de containerindustrie te versnellen en het dit decennium haalbaar en toegankelijk te maken (APM Terminals & DP World, 2023). Zij stellen ook dat de investeringskosten op dit moment nog hoger zijn, dat er bij de producenten gebrek aan productiecapaciteit en standaardisatie is en dat toegang tot voldoende laadcapaciteit een uitdaging kan zijn.

Enkele van de voorgestelde initiatieven/instrumenten door de ZEPA organisatie die ertoe bijdragen om het omslagpunt dichterbij te brengen zijn duurzaamheidsprestaties een evaluatiecriterium te maken in (publieke) aanbestedingen van bijvoorbeeld een terminalconcessie en om ondersteuning te bieden bij het oplossen van netwerkcapaciteitsproblemen (APM Terminals & DP World, 2023).

3.3 Motivatie voor elektrificatie is verschillend per type industrie en/of bedrijf

De informatie uit ons onderzoek geeft een duidelijk beeld over hoezeer er wordt ingezet op de elektrificatie van mobiele werktuigen in de industrie. Wel zien we dat de achterliggende motivatie van de elektrificatie niet eenduidig. Respondenten benoemen onder andere hygiëne en veiligheid, klantvraag, imago of doelstellingen.

Wanneer een bedrijf aangeeft te elektrificeren vanuit hygiënische overwegingen heeft dit met verscheidene aspecten te maken. Bedrijven waar het productieproces zo schoon mogelijk moet blijven wegens bijvoorbeeld de kwetsbaarheid van het product stellen hierbij de eis dat een ruimte niet mag worden gecontamineerd met rondzwevende deeltjes (bv. fijnstof). In dit geval kunnen er geen fossiele mobiele werktuigen in worden gezet wegens de bijkomende uitstoot van deeltjes en is de inzet van elektrische mobiele werktuigen noodzakelijk. Een type industrie waarbij een dergelijke noodzaak aan de orde is, is in de hightech industrie. Daarnaast wordt er ook vanuit het oogpunt van de arbeidsomstandigheden gekeken naar een zo hygiënisch mogelijk productieproces. Met name wanneer de productieprocessen ook binnen in een pand plaatsvinden. Om de veiligheid en arbeidsomstandigheden van werknemers voorop te stellen is de elektrificatie van emitterende werktuigen onvermijdelijk.

Elektrificeren op basis van klantvraag heeft te maken met het feit dat klanten kunnen eisen een *net-zero* proces te willen hanteren. Hierbij is het aannemelijk dat de klant diens imago als duurzaam bedrijf graag wil vermarkten aan de buitenwereld. Om voor een opdrachtnemer een zo'n breed mogelijke klantenbasis te bereiken kan het commercieel aantrekkelijk zijn om de productieprocessen te verduurzamen. Hiertoe behoort ook het elektrificeren van mobiele werktuigen. Een dergelijke motivatie tot verduurzaming kan gelden voor elk type industrie dat afhankelijk is van commerciële klanten evenals overheidsinstanties. Naast de klantvraag kan het imago van een bedrijf tegenover de omgeving ook van belang zijn. Wanneer een

bedrijf gelokaliseerd is in een bewoond gebied of juist een beschermd gebied (bijvoorbeeld Natura2000), zal het belangrijk zijn de relatie met belanghebbenden op goede basis te onderhouden. Je inzetten voor duurzaamheid voor een schonere lucht in de omgeving zal, in de lijn van maatschappelijk verantwoord ondernemen, hierbij interessant kunnen zijn voor een bedrijf. Het elektrificeren van mobiele werktuigen kan hier een onderdeel van zijn.

Ten slotte kan een bedrijf ook acteren vanuit eigen doelstellingen en eerder getekende overeenkomsten. Een voorbeeld hiervan is de “road to net zero” van de International Energy Agency (IEA) dat als benchmark wordt gebruikt voor de verduurzaming van onder andere de industriesector. Wanneer een bedrijf dit heeft opgenomen in het beleid zal men genooddakt zijn naar oplossingen te zoeken voor net-zero waarbij mobiele werktuigen een belangrijk onderdeel zijn.

De elektrificatie van mobiele werktuigen is niet gelimiteerd tot de bovengenoemde aspecten op basis van de interviews met bedrijven. Additionele overwegingen die kunnen bijdragen aan de motivatie voor verduurzaming zijn bijvoorbeeld de technische levensduur (circa 10 jaar) (zie ook Sectie 3.1) of de toegankelijkheid van laadopties voor elektrisch materieel. Dit laatste punt ten aanzien van het feit dat mobiele werktuigen niet op de openbare weg komen en daarmee beperkt bewegen over het industrieterrein, iets wat opladen vrij makkelijk maakt.

3.4 Verduurzaming mobiele werktuigen ondanks beperkte emissies

De verhouding van emissies van mobiele werktuigen ten opzichte van de totale uitstoot is volgens de gesproken bedrijven vaak zeer onevenredig. Dat wil zeggen, de bedrijven zien vaak dat de uitstoot van andere bedrijfsprocessen zoals bijvoorbeeld het productieproces of het externe transport een significant grotere bijdrage levert aan de totale uitstoot van het bedrijf ten opzichte van de uitstoot van mobiele werktuigen (ref. subdoel 2, Sectie 1). Naar aanleiding van cijfers van het CBS zien wij ook vergelijkbare verhoudingen terugkomen (CBS, 2023a; CBS, 2023b). Deze cijfers zijn verder weergegeven in Tabel 4 en Figuur 5.

De kerncijfers voor de totale industrie zoals omschreven in Tabel 4 en Figuur 5 zijn gebaseerd op de jaarlijkse milieurekeningen van het CBS. Deze cijfers beschrijven de emissies van schadelijke stoffen door Nederlandse economische activiteiten. De luchtmissierekeningen zijn consistent met de nationale rekeningen. Emissies van mobiele bronnen worden herverdeeld over verschillende bedrijfstakken op basis van vervoersprestaties en brandstofverbruik (CBS, 2023b). De kerncijfers voor de mobiele werktuigen binnen de industrie zoals omschreven in Tabel 4 zijn gebaseerd op de jaarlijkse vaststelling door het CBS van de landelijke emissies naar lucht in samenwerking met de [emissieregistratie](#). Deelnemende instituten hierbij zijn onder andere het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Wageningen University & Research (WUR), Rijkswaterstaat, TNO en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) (CBS, 2024).

Wanneer er wordt gekeken naar de emissies van mobiele werktuigen specifiek uit de industrie (m.u.v. CO₂), voorzien wij hier een significant lager aandeel van emissies van mobiele werktuigen ten opzichte van de totale emissies uit de industriesector (Tabel 4). Zo is er voor SO₂ bij mobiele werktuigen momenteel nauwelijks tot geen SO₂ uitstoot (0,0%) en ook de uitstoot van fijnstof (1% in 2021) is nihil. De verhouding NO_x van mobiele werktuigen in de industrie ten opzichte van de totale uitstoot heeft in de emissievergelijking nog het grootste aandeel. Opmerkelijk is dat we door de jaren heen een daling voor NO_x emissies van 10 naar 7% zien voor mobiele werktuigen. Eveneens is er een daling te zien voor fijnstof van 3 naar 1%. De verlaging van deze emissies zouden kunnen worden verklaard aan de hand van de volgende trends:

- 1) Toepassing van elektrificatie van mobiele werktuigen
- 2) Strengere regelgeving rondom emissies voor hogere stageklassen (bv. roetfilters en Adblue of lagere NO_x limieten)
- 3) Vervanging van oude mobiele werktuigen voor nieuwe mobiele werktuigen wegens de technische levensduur van equipment van 10 jaar

Emissies [mln kg]									
Periode	NO _x			SO ₂			Fijnstof		
	Totaal ³	Werktuigen ⁴	%	Totaal	Werktuigen	%	Totaal	Werktuigen	%
2010	44,70	4,50	10%	25,10	0,00	0%	7,80	0,20	3%
2011	44,20	4,20	10%	25,40	0,00	0%	7,70	0,20	3%
2012	41,20	3,90	9%	24,40	0,00	0%	7,10	0,20	3%
2013	38,40	3,70	10%	18,80	0,00	0%	7,00	0,10	1%
2014	36,80	3,40	9%	19,30	0,00	0%	7,00	0,10	1%
2015	35,70	3,20	9%	20,40	0,00	0%	7,00	0,10	1%
2016	35,30	2,90	8%	20,20	0,00	0%	7,20	0,10	1%
2017	33,60	2,70	8%	20,50	0,00	0%	7,40	0,10	1%
2018	34,60	2,50	7%	19,40	0,00	0%	7,30	0,10	1%
2019	34,20	2,40	7%	18,40	0,00	0%	7,10	0,10	1%
2020	31,60	2,30	7%	16,50	0,00	0%	6,70	0,10	1%
2021	31,20	2,10	7%	16,90	0,00	0%	6,90	0,10	1%

³ Totaal van het type emissie in mln kg voor de gehele industriese sector

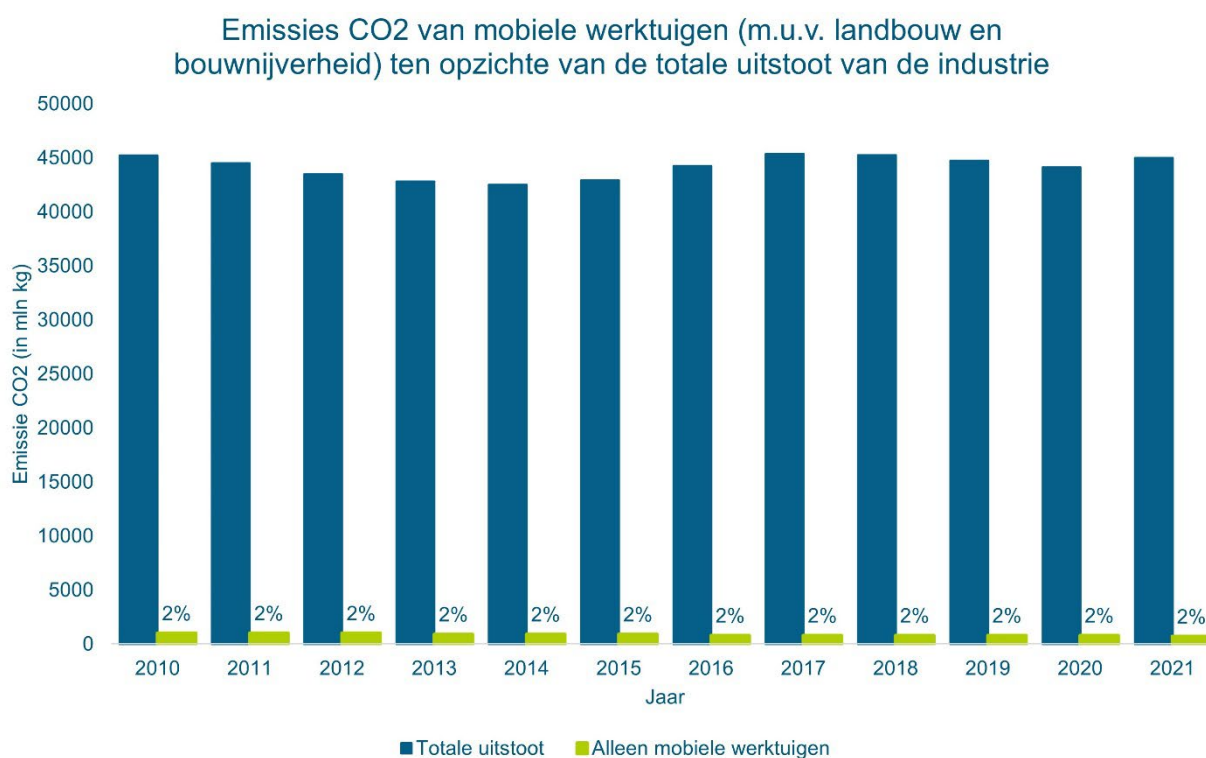
⁴ Totaal van het type emissie in mln kg voor mobiele werktuigen binnen de industriese sector

Tabel 4. Verhouding van emissies mobiele werktuigen in de industrie ten opzichte van de totale uitstoot van emissies in de industriese sector in mln kg door de jaren heen (CBS, 2023b & CBS, 2024).

De percentages zoals omschreven in Tabel 4 zijn gebaseerd op gemiddelde emissiecijfers. Een onderscheid tussen verschillende branches is hierbij dus niet meegenomen. Wel kan vanuit de praktijk worden geconcludeerd dat er verschillen zijn tussen branches wanneer het aankomt op de totale uitstoot. Neem bijvoorbeeld een olieraffinaderij, waar schoorsteenemissies een aanzienlijk deel van de totale uitstoot in de industriese sector vormen, in tegenstelling tot een overslag terminal die ook tot de industriese sector behoort

maar geen productieproces heeft. Eveneens geldt voor mobiele werktuigen dat de grootse uitstoot vaak komt van het zware materieel wegens de beperkte mogelijkheden voor een duurzaam alternatief (bv. elektrisch). Een branche die met name zwaar materieel inzet zal dus meer uitstoot van mobiele werktuigen hebben ten opzichte van een branche dat vooral licht materieel inzet.

Eveneens zien wij op basis van de totale emissies uit de industrie en de emissies van mobiele werktuigen uit onder andere de industrie een significant lagere CO₂ uitstoot voor mobiele werktuigen, zie Figuur 5. Sterker nog, het aandeel van mobiele werktuigen vanuit de industrie met betrekking tot CO₂ uitstoot zal nog lager liggen dan de grafiek weergeeft gezien hier ook nog mobiele werktuigen in mee zijn genomen van buiten de industrie (m.u.v. landbouw en bouwnijverheid). Op cijfermatige basis zien we aan de hand van deze openbare data dat het aandeel CO₂ emissies van mobiele werktuigen (waaronder in de industrie) circa 2% beslaat ten opzichte van de totale CO₂ emissies vanuit de industrie. Net zoals bij de bovenstaande percentages van Tabel 4 is in Figuur 5 ook uitgegaan van gemiddelde emissiecijfers.



Figuur 5. CO₂ uitstoot mobiele werktuigen in mln kg uit sectoren buiten de landbouw en bouwnijverheid (waaronder industrie) ten opzichte van de totale CO₂ uitstoot van de industrie (CBS, 2023a; CBS, 2023b).

De bedrijven waarmee in het kader van dit onderzoek is gesproken geven aan dat verduurzaming van andere bedrijfsmatige processen zoals de logistieke tak en het productieproces vaak meer op zullen leveren met betrekking tot het verminderen van de uitstoot van emissies ten opzichte van verduurzaming van mobiele werktuigen. Dit, wegens het zeer kleine aandeel emissies van mobiele werktuigen ten opzichte van het totaal. Met betrekking tot de logistiek wordt er bijvoorbeeld gekeken naar de inzet van treinvervoer, waterstof en/of elektrisch aangedreven vrachtovervoer en vaartuigen. Voor het productieproces geven de bedrijven aan met name gekeken naar CO₂-reductie mogelijkheden zoals gasvermindering, warmte(terug)winning of het recyclen van restproducten.

Alhoewel verduurzaming van bedrijfsmatige processen zoals productie en logistiek vaak meer oplevert ten aanzien van een reductie in totale uitstoot zien we dat veel bedrijven zich ook inzetten voor het

verduurzamen van mobiele werktuigen door middel van, bijvoorbeeld, elektrificatie. Verduurzaming van dergelijke mobiele werktuigen gaan gepaard met lage risico's evenals lage investeringen. De opbrengst met betrekking tot emissiereductie is dan ook niet zo hoog. Een aanpassing van een productieproces gaat gepaard met veel hogere investeringen, grotere risico's en heeft daarbij langere implementatietijden. Een bedrijf zal hiervoor haar strategieën aan moeten passen en gefaseerd een transitie van verduurzaming ingaan. Inzetten op verduurzaming op korte termijn (zoals bij mobiele werktuigen) is dan ook veel aantrekkelijker.

3.5 Elektrificatie is niet beperkt tot één type industrie

Op basis van de geselecteerde bedrijven van dit onderzoek zijn de volgende type industrieën meegenomen:

- Vervaardiging van voedsel en grondstoffen (3 bedrijven)
- Vervaardiging van op- en overslag (1 bedrijf)
- Vervaardiging van zware industrie (1 bedrijf)
- Vervaardiging van technische industrie (2 bedrijven)
- Vervaardiging van keramische industrie (1 bedrijf)
- Vervaardiging van terminals (1 bedrijf)
- Vervaardiging van afvalbewerking (1 bedrijf)

Op basis van deze variëteit in type industrie zien wij bij elk bedrijf elektrificatie van mobiele werktuigen terug. Dat houdt in, wij zien elektrificatie van mobiele werktuigen terug daar waar mogelijk waarbij zwaar materieel een uitzondering is. In de wereld van container op- en overslag zien we bijvoorbeeld al dat de grote diepzee terminals in Nederland een hoge mate van elektrificatie kennen. De meest recent gebouwde terminals zijn geheel of nagenoeg vrij van directe emissies. Bij oudere terminals zien we de verduurzaming ook plaatsvinden bij vervangingsinvesteringen. Diesel equipment wordt vervangen door hybride equipment met lager brandstofverbruik of elektrisch equipment. Ook bij 'short sea' en binnenvaart terminals zien we toepassing van hybride oplossingen en elektrificatie van bijvoorbeeld mobiele havenkranen of plannen daarvoor.

Een type industrie waarbij enkel zwaar materieel wordt ingezet zal hoogstwaarschijnlijk nog weinig doen op het gebied van verduurzaming van mobiele werktuigen. De reden hiervoor is niet het gebrek aan motivatie tot verduurzaming maar is vaak wegens de beperkende factor van beschikbaar zwaar elektrisch materieel op de huidige markt.

4. Aanbevelingen voor vervolgstappen

Op basis van de resultaten en methodiek zoals omschreven in de vorige secties voorzien wij dat het aandeel van emissies van mobiele werktuigen beperkt is ten opzichte van de totale uitstoot binnen de industrie. Zo is verduurzaming in bedrijfsmatige processen zoals de logistiek evenals het productieproces een aspect waar veelal meer winst te behalen valt en zal, zeker binnen de industriesector, leiden tot grotere CO₂, NO_x, SO₂ en fijnstof reducties.

Wanneer men kijkt naar de minimale emissies van mobiele werktuigen zal verduurzaming door middel van elektrificatie de grootste besparing geven voor de totale uitstoot. Echter toont dit onderzoek aan dat mobiele werktuigen al veelal geëlektrificeerd worden en genoodzaakt zijn elektrificatie uit te stellen wegens onvoldoende beschikbaarheid op de markt. Dit geldt met name voor het feit dat de markt nog geen substantieel elektrisch alternatief kan bieden voor zwaar materieel, materieel dat binnen de industrie ook veelal wordt gebruikt (bv. shovels, reachstackers). Met dit uitgangspunt wordt er bij de onderzochte bedrijven al maximaal verduurzaamd daar waar mogelijk op het gebied van elektrificatie van mobiele werktuigen. We verwachten hiermee dan ook dat additioneel beleid weinig impact zal maken gezien verduurzaming van mobiele werktuigen al plaatsvindt conform de snelheid van verduurzaming op de markt.

Het materieel dat nog niet geëlektrificeerd is wegens niet geschikte alternatieven zullen enkel verduurzaamd kunnen worden door verschoning van de vloot door, bijvoorbeeld, hogere stageklasse wegens standaard toepassing SCR-filter met AdBlue voor diesel of de toepassing van biodiesel (HVO, zie Figuur 2). Maar ook bij deze verduurzamingstechnieken zullen er nog steeds emissies vrijkomen. Elektrificatie zal hierbij nog de grootste impact kunnen hebben maar wordt reeds al, marktconform, veelal toegepast.

Verschillen in grootte van een bedrijf en de sector waarin het opereert hebben volgens dit onderzoek ook geen invloed op de verduurzaming en elektrificatie van mobiele werktuigen. Men zou enkel kunnen zeggen dat binnen een industriesector waar veel zwaar materieel wordt ingezet er nog veel winst te behalen valt met betrekking tot de verduurzaming van mobiele werktuigen. Echter zal beleid op verduurzaming naar verwachting weinig effectief zijn omdat de stand van de techniek het niet toelaat dat elektrisch zwaar materieel gemakkelijk toegepast kan worden.

Wegens de gehanteerde steekproefsgewijze methode is dit onderzoek niet representatief voor de hele Nederlandse industriesector. Desondanks zien we aan de hand van de kwalitatieve data evenals de daartoe complimenterende openbare data (zoals CBS-cijfers) geen aanleiding om aan te nemen dat een uitgebreid en representatief onderzoek naar emissies van mobiele werktuigen in de industrie hele andere resultaten zal geven. Hierbij zien we dat zowel de kwalitatieve als openbare data aantonen dat verduurzaming door middel van elektrificatie al veelal wordt toegepast en bedrijfsprocessen zoals productie een significant groter aandeel hebben in de totale uitstoot. Bovendien herkennen de experts van Royal HaskoningDHV de inzichten die in dit onderzoek naar voren komen en gerapporteerd zijn in een bredere context in de industriesector.

Een verdiepend onderzoek ten aanzien van het verder inzichtelijk maken van de omvang van emissies van mobiele werktuigen binnen de industrie wordt dan ook afgeraden.

Referenties

APM Terminals & DP World. (2023). Reaching a tipping point in Battery-Electric container handling equipment. In Zepalliance. <https://www.apmterminals.com/-/media/mainsite/global/corporate/whitepaper/apm-terminals-dp-world-white-paper-battery-electric-container-handling-equipment.pdf?rev=b4a4fdb114b149138f28cccd85dbc3a7>

CBS. (2023a, februari 16). Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied; mobiele bronnen, 1990-2021. CBS StatLine. <https://opendata.cbs.nl/statline/?dl=61DF5#/CBS/nl/dataset/84735NED/table?ts=1729001957998>

CBS. (2023b, november 22). Emissies naar lucht door de Nederlandse economie; nationale rekeningen. CBS StatLine. <https://opendata.cbs.nl/statline/?dl=61DF5#/CBS/nl/dataset/83300NED/table?ts=1729534216548>

CBS. (2024, 5 september). Emissies van luchtverontreinigende stoffen volgens NEC-richtlijnen. CBS StatLine. <https://opendata.cbs.nl/statline/?dl=61DF5#/CBS/nl/dataset/85670NED/table?ts=1729534558170>

Dellaert, S. N. C., Mensch, P. V., Bhoraskar, A., & Mark, P. V. D. (2021). Eindrapport data onderzoek mobiele machines in Nederland (TNO 2021 R11086; pp. 2–84). TNO. <https://cdn.opwegnaarseb.nl/media/eindrapportdataonderzoekmobielemachinesinnederland.pdf>

Europese Unie. (2013, 29 juni). PublicatieBlad van de Europese Unie, I 182. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=OJ%3AL%3A2013%3A182%3ATOC>

Europese Unie. (2023, 17 oktober). *GEDELEGEERDE RICHTLIJN (EU) 2023/2775 VAN DE COMMISSIE*. EUR-Lex. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202302775

Ligterink, N. E., Dellaert, S. & Mensch, P. V. (2021). AUB (AdBlue verbruik, Uren, en Brandstofverbruik): een robuuste schatting van NO_x en NH₃ uitstoot van mobiele werktuigen. In TNO-rapport (2021 R12305; pp. 2–30). TNO. <https://publications.tno.nl/publication/34638924/7T4USy/TNO-2021-R12305.pdf>

Ligterink, N. E., De Ruiter, J. M., M., Dellaert, S. N. C., C., Hulskotte, J. H. C., C., Verbeek, R. P., P., & Vonk, W. A., A. (2020). Onderbouwing AERIUS emissiefactoren voor wegverkeer, mobiele werktuigen, binnenvaart en zeevaart (TNO 2020 R11528; pp. 2–56). TNO. <https://publications.tno.nl/publication/34637323/OfCtXZ/TNO-2020-R11528.pdf>

Ligterink, N. E., & Mensch, P. V. (2023). U-methode, NO_x en NH₃ emissies van mobiele werktuigen op basis van draaiuren alleen. In TNO, TNO Public (2023 R11233). TNO. <https://publications.tno.nl/publication/34641004/4dwN7s/TNO-2023-R11233.pdf>

Meijer, L., Mensch, P. V., & Ligterink, N. E. (2023). Verkenning van opties voor reductie van NO_x-emissies door het wegverkeer en mobiele machines. In TNO-rapport (TNO 2023 R10480; pp. 2–30). TNO. <https://publications.tno.nl/publication/34640874/UEEnXQ4/TNO-2023-R10480.pdf>

Mogaka, Z., Wong, V., en Shahed, S., “Performance and Regeneration Characteristics of a Cellular Ceramic Diesel Particulate Trap”, SAE Technical Paper 820272, 1982, doi: 10.4271 / 820272.

Nett Technologies. (2020). *What Is a Diesel Oxidation Catalyst?* Nettinc.
<https://www.nettinc.com/information/emissions-faq/what-is-a-diesel-oxidation-catalyst>

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (1996, 31 maart). *Mobiele werktuigen in Nederland ; prognoses tot 2020 ; Beschrijving en toepassing van het model PROMIN* | RIVM.
<https://www.rivm.nl/publicaties/mobiele-werktuigen-in-nederland-prognoses-tot-2020-beschrijving-en-toepassing-van-model>

Rijksoverheid. (2024). *Bedrijfsrapporten. Emissieregistratie.*
<https://www.emissieregistratie.nl/data/bedrijfsrapporten>

SEB. (2018). *Milieu impact mobiele werktuigen.* In <https://www.opwegnaarseb.nl/>
<https://cdn.opwegnaarseb.nl/media/Factsheet-Impact-mobiele-werktuigen-2018%20%281%29.pdf>

The International Council of Clean Transportation. (2016). *Policy Update: European Stage V Non-Road emission standards.* In *ICCT*. https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-Stage-V_policy%20update_ICCT_nov2016.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Ftheicct.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fpublications%2FEU

Tol, D., Ligterink, N., Van Eijk & E., Frateur, T. (2022). *Rekenregels en emissiefactoren voor het bepalen van de emissiereductie bij inzet van uitstootvrij bouw materieel.* In TNO-rapport (report TNO 2022 R10527v2; pp. 2–19). TNO.
<https://cdn.opwegnaarseb.nl/media/TNO-2022-R10527.pdf>

Tol, D., & Verbeek, R. (2021). *Scenarioberekening van het bereik en emissie-effect van de Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouw materieel.* In TNO-rapport (TNO 2021 R12244; pp. 2–32).
<https://cdn.opwegnaarseb.nl/media/TNO%202021%20R12244%20Scenarioberekening%20van%20het%20bereik%20en%20emissie-effect%20van%20de%20Subsidieregeling.pdf>

Torp, T. K., Hansen, B. B., Vennestrøm, P. N. R., Janssens, T. V. W., & Jensen, A. D. (2021). *Modeling and Optimization of Multi-functional Ammonia Slip Catalysts for Diesel Exhaust Aftertreatment.* *Emission Control Science And Technology*, 7(1), 7–25. <https://doi.org/10.1007/s40825-020-00183-x>

Vermeulen, R. J., Ligterink, N. E., & Van Der Mark, P. J. (2021). *Real-world emissions of non-road mobile machinery.* In TNO Report (report TNO 2021 R10221; pp. 2–37).

Bijlagen

Bijlage 1 - Typen industrie volgens de Standaard Bedrijfsindeling (SBI) definitie van het CBS

- Vervaardiging van voedingsmiddelen
- Vervaardiging van dranken
- Vervaardiging van tabaksproducten
- Vervaardiging van textiel
- Vervaardiging van kleding
- Vervaardiging van leer, lederwaren en schoenen
- Primaire houtbewerking en vervaardiging van artikelen van hout, kurk, riet en vlechtwerk (geen meubels)
- Vervaardiging van papier, karton en papier- en kartonwaren
- Drukkerijen, reproductie van opgenomen media
- Vervaardiging van cokesovenproducten en aardolieverwerking
- Vervaardiging van chemische producten
- Vervaardiging van farmaceutische grondstoffen en producten
- Vervaardiging van producten van rubber en kunststof
- Vervaardiging van overige niet-metaalhoudende minerale producten
- Vervaardiging van metalen in primaire vorm
- Vervaardiging van producten van metaal (geen machines en apparaten)
- Vervaardiging van computers en van elektronische en optische apparatuur
- Vervaardiging van elektrische apparatuur
- Vervaardiging van overige machines en apparaten
- Vervaardiging van auto's, aanhangwagens en opleggers
- Vervaardiging van overige transportmiddelen
- Vervaardiging van meubels
- Vervaardiging van overige goederen
- Reparatie en installatie van machines en apparaten

Bijlage 2 – Begeleidende brief deelname onderzoek RWS



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

> Retouradres Postbus 20901 2500 EX Den Haag

**DG Milieu en
Internationaal**
Dir Duurzame Leefomg & Circ
Economie
Leefomgeving
Rijnstraat 8
2515 XP Den Haag
Postbus 20901
2500 EX Den Haag
Onze referentie
IENW/BSK-2024/224756

Datum
Betreft Onderzoek Mobiele Werktuigen

Geachte heer, mevrouw,

Er is toenemende maatschappelijke en politieke aandacht voor de luchtverontreinigende stoffen die de industrie uitstoot. Om deze emissies te beperken, zijn regels vastgelegd in nationale besluiten of in vergunningen. Deze regels richten zich op emissies uit puntbronnen en diffuse emissies. Echter, mobiele werktuigen bij de industrie stoten ook schadelijke stoffen voor de gezondheid uit. Daar wil het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat beter zicht op krijgen. RHDHV voert daarom in opdracht van het ministerie een verkennende studie uit. We willen erachter komen of het zinvol zou zijn om te sturen op mobiele werktuigen bij de industrie in het kader van schone lucht. En wat de mogelijkheden zijn voor verduurzaming, en of dat dit al plaatsvindt.

RHDHV voert dit onderzoek uit door bij bedrijven uit verschillende branches (o.a. food, tech, pharma) uit te vragen wat hun park is aan mobiele werktuigen, welke brandstof wordt gestookt en in welke mate ze worden gebruikt. Wij hopen dat uw bedrijf aan deze inventarisatie kan meewerken. De resultaten worden geaggregeerd en geanonimiseerd opgenomen in de rapportage. De rapportage wordt uiterlijk in 2025 opgeleverd.

In het geval van vragen kunt u terecht bij:

- Ragna Klabbers, RHDHV – ragna.klabbers@rhdhv.com
- Margret Groot, Rijkswaterstaat – margret.groot@rws.nl

Alvast veel dank voor uw bijdrage!

Met vriendelijke groet,



Marieke Spijkerboer
Directeur Duurzame Leefomgeving en Circulaire Economie

Bijlage 3 - Vragenlijst opvragen data mobiele werktuiggegevens

Algemeen:

Wanneer we het hebben over mobiele werktuigen gaat het om het volgende: In dit onderzoek gaat het dan over machines met de volgende kenmerken:

- Gemotoriseerde machines met eigen aandrijving door middel van een:
 - Verbrandingsmotor
 - Elektrische motor in combinatie met waterstof en brandstofcel
 - Elektrische motor in combinatie met accu of voedingskabel, maar alleen wanneer vergelijkbare machinetypes ook regelmatig met een verbrandingsmotor zijn uitgerust (bijv. geen elektrische boormachines, maar wel elektrische graafmachines)
- Machines te gebruiken op het land
- Machines die mobiel inzetbaar zijn, dat wil zeggen: draagbaar, verrijdbaar of anderszids regelmatig op verschillende plaatsen ingezet
- Machines die niet (hoofdzakelijk) bedoeld zijn voor transport van mensen of goederen over de openbare weg
- Machines zonder kenteken óf machines/voertuigen op kenteken die het grootste deel van hun werk uitvoeren buiten de openbare weg

In principe zijn dit de machines die onder Verordening 2016/1628/EU3 (Stage V) vallen in de Europese regelgeving. Dit heeft betrekking op: "niet voor de weg bestemde mobiele machines gemonteerde interne verbrandingsmotoren ". Voorheen waren dat 2004/26/EG4: "inwendige verbrandingsmotoren die worden gemonteerd in niet voor de weg bestemde mobiele machines" en 2005/13/EG5 "motoren bestemd voor het aandrijven van landbouw- of bosbouwtrekkers". Drijvend materieel (bijv. maaiboten en baggerschepen) is niet meegenomen in deze definitie. Deze vaartuigen vallen onder de binnenvaartwetgeving en worden derhalve al in andere onderzoeken en beleidsinitiatieven meegenomen.

Welke machines gebruikt u die onder bovenstaande definitie van mobiele werktuigen vallen:

- Kunt u hiervan een materieellijst delen?
- Soort (bijvoorbeeld: heftrucks, bemalingspompen, verreikers, wielladers, rupskranen, hoogwerkers, aggregaten, mobiele heaters etc.)
- Aantal per soort machine
- Huurt ook mobiele werktuigen (en zo ja, welke machines)

Type machines:

- Kunt u van iedere machine het volgende aangeven:
 - Merk
 - Model
 - Motortype (leverancier motor hoeft niet gelijk te zijn aan het merk van het werktuig)
 - Brandstofsoort (diesel, benzine, accu/batterij) per werktuig of totaal
 - Draaiuren
 - Vermogensklasse
 - Emissieklasse
 - Bouwjaar
 - Emissiereductietechnologie (AdBlue, SCR/DPF roetfilters)
 - AdBlue verbruik
 - Gebruikskarakteristieken; verhouding vollast, halflast stationair
- Wanneer het niet mogelijk is om per machine bovenstaande gegevens op te leveren kunnen we ook werken met aannames op de onderdelen waarop geen gegevens beschikbaar zijn.
 - Minimaal hebben we nodig:
 - Hoeveel van welke soort mobiele werktuigen worden er ingezet en wat is de brandstof of hoeveel O-emissie machines worden gebruikt.

Verduurzaming:

- Hoe ziet u de verduurzaming van uw machines
- Wat is de voornaamste reden om uw machines wel/ niet te verduurzamen

Bijlage 4 – Rekenmethodes emissies mobiele werktuigen

Afhankelijk van de beschikbare gegevens kunnen de emissies worden berekend zoals aangegeven in Tabel 5. Hierbij geldt dat de hoeveelheid gegevens bepalend is voor de accuraatheid van de emissies. Met andere woorden, wanneer de emissies voor NO_x en NH₃ worden berekend zal de AUB-methode accuratere emissies geven dan het EMMA model. Als gevolg van de toepassing van verschillende rekenmethodes zou het voor kunnen komen dat voor eenzelfde werktuig de berekende emissies kunnen verschillen.

Stoffen	Filters	Gegevens							Methode	Reken-gegevens
		Type	Vermogen	Emissieklasse	Draaiuren	Verbruik	Filters	AdBlue		
NO _x NH ₃ CO ₂ PM	-	X	(X)						EMMA model	Tabel C
		X	X		X				EMMA model	Tabel B
		X	X	Stage V					EMMA model	Tabel D
			X						EMMA model	Tabel 4
			X	Stage V					EMMA model	Tabel 5
NO _x NH ₃	SCR-filter		X	X	X		X		U-methode	Tabel 2.1 & 2.2
NO _x NH ₃	SCR-filter AdBlue		X	X	X	X	X	X	AUB-methode	Tabel 2 & 3

Tabel 5. Rekenmethodes op basis van werktuiggegevens volgens verscheidene TNO onderzoeken (Tol et al., 2022; Ligterink & Mensch, 2023).

EMMA model

Het EMMA model bevat een inschatting over de aantallen machines, machinetypen, eigenschappen (motortypen, vermogen, bouwjaar/emissienorm), de inzet (draaiuren, brandstofgebruik, motorbelasting etc.) en emissiefactoren (Hulskotte & Verbeek, 2009). Het energiegebruik en bijbehorende emissies van o.a. CO₂ en NO_x worden berekend aan de hand van de verwachte draaiuren en de emissiefactoren van de machines zoals volgen uit de normen en (beperkt) uitgevoerde metingen (Tol et al., 2022, p. 2).

Indien weinig gegevens beschikbaar zijn zal het EMMA model het meest volstaan om de juiste emissies te berekenen voor de mobiele werktuigen. Indien enkel het type en de vermogens- en/of emissieklasse beschikbaar zijn zullen emissies worden gebruikt die op voorhand berekend zijn door TNO op basis van een gemiddelde (Tol et al., 2022). Enkel wanneer er ook draaiuren beschikbaar zijn zal een eigen berekening kunnen worden gemaakt voor de emissies. Hierbij, in combinatie met gegevens uit Tabel 5 zal de volgende formule worden gehanteerd:

$$Uitstoot \left[\frac{kg}{jaar} \right] = Draaiuren \left[\frac{uur}{jaar} \right] * EF^5 \left[\frac{kg}{kW} \right] * Motorvermogen [kW] \quad (1)$$

In het bijzondere geval dat enkel het type mobiele werktuig beschikbaar is zal er een inschatting worden gedaan naar het vermogen van het mobiele werktuig op basis van het type werkzaamheden die dat bedrijf heeft. Zo kan in een bedrijf met zware bulk worden gedacht aan heftrucks van een hoge vermogensklasse.

AUB-model

Het AUB-model wordt gebruikt om enkel NO_x en NH₃ emissies te bepalen en doet dit, naast werktuiggegevens, op basis van drie soorten registratiegegevens: AdBlue-verbruik, Uren, en Brandstofverbruik (Ligterink, Dellaert & Mensch, 2021, p. 2). Dit model wordt momenteel gezien als het meest accurate model om NO_x en NH₃ emissies te bepalen, met name door het includeren van SCR-filters, brandstof- en AdBlue-verbruik. De verwachting hierbij is wel dat bedrijven vaak niet in staat zijn dergelijke informatie te delen.

Indien een bedrijf toch in de gelegenheid is de juiste informatie te delen dan zal er gebruik worden gemaakt van de volgende formules:

$$NO_x [kg] = Qb * liter brandstof + Qu * draaiuren + Qa * liter AdBlue \quad (2)$$

$$NH_3 [kg] = Pb * liter brandstof + Pu * draaiuren \quad (3)$$

Coëfficiënten in formules (2), en (3) aangeduid met Qx of Px zijn kernwaarden vastgesteld door TNO (Ligterink & Mensch, 2023).

U-model

Het U-model is als variant op het AUB-model opgesteld door TNO als versimpelde rekenmethode wegens het veelal ontbreken van gegevens binnen bedrijven met betrekking tot hun mobiele werktuigen. Daarom is deze methode, naast werktuiggegevens, enkel gebaseerd op draaiuren (eventueel met of zonder SCR-filter). Tevens kan dit model enkel worden gebruikt om NO_x en NH₃ emissies te bepalen.

Indien de bovengenoemde informatie aanwezig is, kan gebruik worden gemaakt van de volgende:

$$NO_x = Motorvermogen [kW] * Draaiuren [uren] * kenwaarde [g/(hr * kW)] \quad (4)$$

$$NH_3 = Motorvermogen [kW] * Draaiuren [uren] * kenwaarde [g/(hr * kW)] \quad (5)$$

De kenwaarde, op basis van de verschillende categorieën werktuigen is hierbij een vaste waarde proportioneel met het maximaal motorvermogen van het werktuig (Ligterink & Mensch, 2023, p.7).

⁵ EF staat voor emissiefactor en omschrijft de emissies van schadelijke stoffen en broeikasgassen in g/km per werktuig. Deze zijn terug te vinden in Tabel 3B.

Bijlage 5 – Samenvatting resultaten bedrijven

Bedrijf ID	Sector	Type werkzaamheden	Operatie	Omzet organisatie	Aantal werknemers site(s) NL	Grootte bedrijf	Draaiuren
1	Food en grondstoffen	Opslag & distributie	Binnen	> 40 miljoen	> 250	Groot	Niet bekend
2	Food en grondstoffen	Productie	Binnen				Niet bekend
3	Food	Opslag & productie	Binnen	> 40 miljoen	> 250	Groot	Niet bekend
4	Overslag	Opslag	Binnen & Buiten	< 12 miljoen	25	Klein	N.t.b.
5	Zware industrie	Opslag & productie	Binnen & Buiten	Onbekend	55	Middelgroot	Grote heftrucks: 1600 uur/jaar Kleine heftrucks: periodiek Mobiele kraan: wanneer nodig?
6	Technische industrie	Opslag & productie	Binnen	> 40 miljoen	> 250	Groot	Niet bekend
7	Keramische industrie	Opslag en productie	Binnen & Buiten	> 40 miljoen	> 250	Groot	Niet bekend
8	Food	Opslag & productie	Binnen	< 12 miljoen	45	Klein	Niet bekend
9	Technische industrie	Productie	Binnen	> 40 miljoen	> 250	Groot	Niet bekend
10	Terminal	Opslag	Binnen & Buiten	> 40 miljoen	> 250	Groot	Reachdekker --> Hangt af van terminal, daar waar het drukt is continu Vorkheftrucks draaien beperkt
11	Afvalverwerking	Opslag & productie	Binnen & Buiten	> 40 miljoen	> 250	Groot	Niet bekend

Vervolgkolommen, zie volgende pagina.

Bedrijf ID	Sector	Type werkzaamheden	Type mobiele werktuigen	Emissies mobiele werktuigen
1	Food en grondstoffen	Opslag & distributie	Combitrucks (6) Heftrucks (8) Kraan (1)	Geen, elektriciteit wordt groen ingekocht
2	Food en grondstoffen	Productie	Heftrucks (4) Kraan (1)	Geen elektriciteit wordt groen ingekocht
3	Food	Opslag & productie	Forklifts (2-3)	Geen, alle mobiele werktuigen zijn elektrisch
4	Overslag	Opslag	1 EPT (elektrische pallet truck) 3 reachtrucks (elektrisch) 2 4 tons heftrucks (elektrisch) 2 smalle gangen kranen (elektrisch) 1 reachstacker (diesel, merk onbekend)	Binnen materieel (pompwagens & heftrucks) zijn elektrisch Reachstacker heeft naar schatting 600 bewegingen/jaar
5	Zware industrie	Opslag & productie	Vorkheftrucks Mobiele kraan	Vorkheftrucks met name elektrisch (behalve zwaar) Zwaar materieel is op diesel PE: 0,31 CO2 kg equivalent/m2 (17,31 totaal) Cement: 0,29 CO2 kg equivalent/m2 (2,17 totaal)
6	Technische industrie	Opslag & productie	Naar schatting: heftrucks	Geen, alle mobiele werktuigen zijn elektrisch
7	Keramische industrie	Opslag en productie	Heftrucks Shovels Wielladers	Heftrucks < 6 ton --> elektrisch Shovels --> Euro 5/6 Veel mobiele werktuigen al elektrisch Groot materieel is fossiele brandstof
8	Food	Opslag & productie	Pompwagens Heftrucks	Geen, alle mobiele werktuigen zijn elektrisch
9	Technische industrie	Productie	Heftrucks Bovenloop kranen Hovercrafts Pallet trucks	Geen, alle mobiele werktuigen zijn elektrisch
10	Terminal	Opslag	Barch kranen 25 mobiele havenkraan Vorkheftrucks (1/2 per terminal) 48 reachdekkers/empty handlers	Havenkraan --> 22 elektrisch, 3 fossiel Vorkheftrucks --> elektrisch, gas, diesel Reachdekkers --> diesel Barch kraan --> elektrisch
11	Afvalverwerking	Opslag & productie	Shovels (5 eigen, 3 gehuurd) Overslagkraan (2 gehuurd) Mobiele kraan (1 gehuurd) Rupskraan (1 gehuurd) Shredder (1 gehuurd) Dumper (1 gehuurd)	Shovels --> Diesel/Biodiesel

Vervolgkolommen, zie volgende pagina.

Bedrijf ID	Sector	Type werkzaamheden	Verduurzamingstechnieken	Overige opmerkingen
1	Food en grondstoffen	Opslag & distributie	Elektrificatie van mobiele werktuigen was gedaan vanuit praktisch oogpunt vanaf de jaren 90. Momenteel wordt vooral gekeken naar logistieke verduurzaming die ze uitbesteden.	
2	Food en grondstoffen	Productie		
3	Food	Opslag & productie	Wegtransport tussen fabriek (koog) en warehouse (beverwijk) is geëlektrificeert. Koog heeft 100% renewable energy. Hydropower wordt ingekocht om emissies te dekken. Drive om te verduurzamen is er ook vanwege de vraag vanuit de klant voor net zero. In de productieproces wordt ook gekeken naar verduurzaming door te kijken naar warmtewinning en vermindering van gas gebruik.	
4	Overslag	Opslag	Machines worden vervangen aan het einde van hun technische levensduur (duurzamer om elektrisch materieel te updaten met een nieuwe accu). Terminal en warehouse zijn al verduurzaamd en voorbereid op elektrische vrachtwagens (m.b.t. laadinfra & capaciteit). Zonnepanelen, windmolen, en speciale kabels zijn aanwezig.	
5	Zware industrie	Opslag & productie	Verwarming buizen wordt al gedaan met inductie. Verduurzaming van transport via spoor wordt naar gekeken. Verder wordt overwogen aan te sluiten bij zonnepanelen evenals slim om te gaan met energie & kosten (piek uren, overmatig stroom delen met burens, etc.)	Data wordt nog gedeeld.
6	Technische industrie	Opslag & productie	Eisen van elektrificatie van contractors binnen, hoogfrequent materiaalvervoer vanuit magazijnen worden gedaan met elektrische trucks	
7	Keramische industrie	Opslag en productie	Trend naar elektrificatie daar waar mogelijk. Voor leasen betekent dit het schoonst mogelijke materieel. Voor groot materieel is nog weinig elektrisch beschikbaar. Voor verdere verduurzaming zijn vooral arbeidsomstandigheden en veiligheid belangrijk. Extra betalen voor elektrificatie is geen probleem.	- Veel materiaal wordt geleased en na 5 jaar vervangen (o.b.v. draaiuren) - Data wordt nog gedeeld
8	Food	Opslag & productie	Verduurzaming van het pand zelf is grote kanshebber d.v.n. isolatie. Verder de boiler omzetten naar elektrisch i.p.v. gas evenals laadpalen neerzetten voor voertuigen/ mobiele werktuigen.	
9	Technische industrie	Productie	Alles wat ze inzetten is elektrisch wegens deeltjes die niet mogen rondvliegen in clean rooms evenals hygiënische overwegingen.	
10	Terminal	Opslag	Verduurzaming van reachdekkers wordt al naar gekeken (korte termijn HVO enkel mogelijk). Verder is de elektrificatie/verduurzaming van mobiele werktuigen wel minder groot dan andere processen binnen het bedrijf wegens de beperkte uitstoot van de mobiele werktuigen. Wel willen ze in 2040 net zero bereiken, een streven voor elektrificatie en verduurzaming door hierin te investeren. Verder wordt er wel geïnvesteerd in groene stroom en hebben een aantal pannen zonnepanelen.	- Materieel wordt ook geleased - Data wordt nog gedeeld
11	Afvalverwerking	Opslag & productie	Doet veel aan recyclen van materialen als restproduct van de afvalverwerking (bv. warmte, elektriciteit, grondstoffen). Verder beschikt het bedrijf over 3 zonnevelden (2023).	Data is aangeleverd.