

# Routeradar

Monitor van wet- en regelgeving, markt en technologie voor transitie naar zero-emissie van heavy-duty, Non-Road Mobile Machinery en scheepvaart

TNO 2024 R10269 – 5 juli 2024

## Routeradar

Monitor van wet- en regelgeving, markt en technologie  
voor transitie naar zero-emissie van heavy-duty,  
Non-Road Mobile Machinery en scheepvaart

|                  |                                                                                                |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Auteurs          | J. (Hans) Mulder, P. (Pim) van Mensch, , M.J. (Michiel) Zult,<br>J.J.M. (Joris) van den Heuvel |
| Exemplaar nummer | 2024-STL-RAP-100352320                                                                         |
| Aantal pagina's  | 73 (excl. voor- en achterblad)                                                                 |
| Aantal bijlagen  | 0                                                                                              |
| Opdrachtgever    | Rijkwaterstaat                                                                                 |
| Projectnaam      | RWS INNOM                                                                                      |
| Projectnummer    | 060.52284                                                                                      |

**Alle rechten voorbehouden**

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2024 TNO

# Samenvatting

De sector mobiliteit dient bij te dragen aan de klimaatopgave om de opwarming van de aarde tegen te gaan. In lijn met het Klimaatakkoord dient de CO<sub>2</sub>-uitstoot van o.a. voer- en vaartuigen gereduceerd te worden. Voor vrachtverkeer en met name voor scheepvaart en NRM loopt de transitie naar klimaatneutraal nog achter op het lichte wegverkeer. Ook is voor deze modaliteiten nog minder duidelijk hoe de transitie naar zero-emissie mobiliteit precies vorm krijgt.

In dit document worden daarom voor deze sectoren 1) de huidige stand van zaken van de Europese en nationale beleidsdoelstellingen, 2) huidige wet- en regelgeving, 3) de beschikbare technologische oplossingen en bijbehorende emissies, 4) mogelijke hindernissen die de introductie en/of opschaling van klimaatneutrale technologieën kunnen vertragen, op hoofdlijnen beschreven. Het doel is dat deze inzichten bijdragen aan het vormgeven van effectief toekomstig beleid.

Per sector zijn daartoe de volgende onderzoeksvragen centraal gesteld:

1. Regelgeving en Beleidscontext:
  - Welke relevante regelgeving voor reductie van energiegebruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot geldt in Europa?
  - Welke beleidsdoelen voor reductie van energiegebruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot kent Nederland?
  - Welke grote beleidsmaatregelen treft Nederland om de gewenste reductie van energiegebruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot te realiseren?
2. Marktsituatie en technologie
  - Welke relevante technologieën worden ontwikkeld voor de transitie naar klimaatneutraal?
3. Hoe worden (toekomstige) effecten van beleidsmaatregelen op reductie van energiegebruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot bepaald?
  - Welke modellen worden ingezet?
  - Welke aanvullende data is gewenst voor meer betrouwbare berekening van beleidseffecten?
4. Zijn er belemmeringen die de opschaling van klimaat neutrale voer-, vaartuigen en machines vertragen of verhinderen?

Voor de beantwoording van de vragen is een deskstudie uitgevoerd waarbij gebruik is gemaakt van de binnen TNO aanwezige expertise op het vlak van onder andere wet- en regelgeving en marktontwikkelingen. Binnen de deskstudie is specifiek gekeken naar ontwikkelingen op het vlak van voertuigtechnologie, infrastructuur en hernieuwbare energiedragers. Ook de belemmeringen die de transitie naar klimaatneutraal kunnen vertragen zijn in kaart gebracht.

Tot slot wordt een inventarisatie van beschikbare rekenmodellen gegeven die gebruikt worden bij het bepalen van de huidige en toekomstige emissies per sector. Het is belangrijk dat de hiaten in kennis en/of beschikbare data bij deze modellen, die we hebben geïdentificeerd in dit document, in de toekomst worden opgevuld.

Hierdoor kunnen prognoses van vlootontwikkelingen en emissies betrouwbaarder en nauwkeuriger worden gedaan. Op deze manier kunnen de modellen beter ingezet worden als beleidsinstrument. Onderstaand worden bondig de belangrijkste technologische ontwikkelingen en de mogelijke barrières voor de opschaling van zero-emissie technologieën samengevat.

### Heavy-duty vehicles

De Europese CO<sub>2</sub>-normering voor vrachtwagens is momenteel de grootste drijvende kracht achter de verduurzaming van het wegtransport in Europa. Voor fabrikanten zijn er verschillende manieren om invulling te geven aan deze verduurzamingsopgave. Grofweg zijn deze in te delen in het reduceren van de CO<sub>2</sub>-emissies van nieuwe conventionele vrachtwagens en het verkopen van nieuwe voertuigen met duurzame aandrijftechnologieën. Als het gaat om het introduceren van duurzame aandrijftechnologieën zijn er daarbinnen opties voor energiedragers en toepassingen, zoals batterij-elektrisch of rijden op waterstof.

#### 1. Duurzame aandrijftechnologieën

- **Batterij-elektrische aandrijving:** Batterij-elektrische voertuigen (BEVs) worden steeds belangrijker. Innovaties in batterijtechnologie en laadinfrastructuur zijn cruciaal voor grootschalige adoptie. Technologieën als 'Electric Road Systems' en 'battery swap' kunnen hierin een belangrijke rol spelen.
- **Waterstof:** brandstofcellen en verbrandingsmotoren op waterstof bieden potentie voor zero-emissie-aandrijving, vooral voor toepassingen waar batterijen-elektrische (nog) niet mogelijk of beschikbaar is.
- **Hybride aandrijflijnen:** Combinatie van conventionele en elektrische aandrijving kan helpen bij de overgang naar volledig zero-emissie.
- **Biobrandstoffen en e-fuels:** kunnen ingezet worden als (overgangs)oplossing in zware voertuigen, maar deze oplossing helpt voertuigfabrikanten niet bij het voldoen aan CO<sub>2</sub>-normen.

#### 2. Efficiëntieverbeteringen

- **Aerodynamische verbeteringen:** Technologische aanpassingen om luchtweerstand te verminderen.
- **Gewichtsreductie:** Gebruik van lichtere materialen om het totale gewicht van voertuigen te verlagen.
- **Brandstofefficiëntie:** Optimalisatie van motoren en aandrijfsystemen om het brandstofverbruik te verlagen.

#### 3. Reduceren van het volume van wegtransport

- **Modal shift:** Verplaatsen van goederenvervoer van de weg naar water en spoor.
- **Optimalisatie logistiek:** Door verbeteren van het logistieke proces kan een hogere beladingsgraad van vrachtverkeer gerealiseerd worden waardoor het aantal ritten afneemt. Ook andere logistieke aanpassingen zoals 'near sourcing' kan het aantal kilometers goederenvervoer laten afnemen.

### *Mogelijke barrières voor transitie naar duurzame heavy-duty wegtransport*

- **Hoge kosten:** De initiële kosten van zero-emissie voertuigen en infrastructuur kunnen ontmoedigend zijn voor bedrijven.
- **Infrastructuurbependingen:** Onvoldoende tank- en laadinfrastructuur kan de adoptie van alternatieve aandrijvingen vertragen.
- **Technologische onzekerheid:** Onzekerheid over welke technologieën dominant zullen worden, kan investeringen in innovatie en infrastructuur remmen.

- **Beperkte beschikbaarheid van materialen:** Schaarste aan grondstoffen voor batterijen (zoals lithium en kobalt) kan de productiecapaciteit beïnvloeden.
- **Complexiteit van regelgeving:** Verschillende en veranderende regelgeving op nationaal en Europees niveau kan bedrijven onzekerheid geven.
- **Gebrek aan standaardisatie:** Verschillen in technologieën en standaarden kunnen de interoperabiliteit van laadinfrastructuren belemmeren.
- **Langdurige ontwikkelcycli:** De ontwikkeling en certificering van nieuwe technologieën en voertuigen kan jaren duren.
- **Gebrek aan gekwalificeerd personeel:** Tekort aan technisch geschoold personeel voor onderhoud en ondersteuning van nieuwe technologieën.

### **Binnenvaart**

De binnenvaartsector in Nederland is nu nog sterk afhankelijk van fossiele brandstoffen, maar er zijn diverse technologieën en beleidsmaatregelen in ontwikkeling om de sector te verduurzamen. De transitie naar zero-emissie in de binnenvaart bevindt zich nog in de beginfase.

Enkele belangrijke ontwikkelingen zijn:

1. Stage V Emissienormen:
  - Vanaf 2020/21 moeten nieuwe dieselmotoren voldoen aan strenge emissienormen, wat leidt tot lagere uitstoot van NOx en fijnstof. Dit wordt bereikt door nabehandeling van uitlaatgassen (SCR en DPF systemen).
2. Elektrificatie:
  - Elektrisch varen met verwisselbare batterij-containers is in opkomst. Sinds 2021 vaart een schip op een vaste route met verwisselbare batterij-containers. Het nationaal groeifonds heeft geïnvesteerd in de ontwikkeling van 45 geëlektrificeerde binnenvaartschepen en de bijbehorende infrastructuur.
3. Brandstofcellen:
  - De ontwikkeling van brandstofcellen voor waterstof, methanol en ammoniak is gaande, maar blijft achter op andere technologieën. Pilots met waterstofscheepen zijn in ontwikkeling, terwijl methanol- en ammoniakbrandstofcellen zich vooral richten op de zeevaart.
4. Biobrandstoffen en e-brandstoffen:
  - Er wordt onderzoek gedaan naar de toepassing van biobrandstoffen (biodiesel, biogas) en e-brandstoffen (e-diesel, e-methanol) voor de binnenvaart. Biodiesel kan bijvoorbeeld met beperkte aanpassingen in bestaande motoren worden gebruikt. Ook wordt de toepassing van waterstof in de verbrandingsmotor onderzocht (H<sub>2</sub>-ICE).

### *Mogelijke barrières voor transitie naar duurzame binnenvaart*

- **Beperkte beschikbaarheid van duurzame biomassa:** De verwachte vraag naar duurzame biomassa is zeer groot vanuit verschillende sectoren zoals de plasticindustrie, wat een uitdaging vormt voor de productie van biobrandstoffen voor de binnenvaart.
- **Hoge kosten van e-brandstoffen door laag ketenrendement:** De productie van e-brandstoffen koste veel elektriciteit en is kostentechnisch gezien alleen haalbaar wanneer er een groot aanbod aan goedkope duurzame elektriciteit is. Dit is momenteel nog geen realistisch scenario, wat de kosten van e-brandstoffen hoog houdt.
- **Technische en commerciële beschikbaarheid van nieuwe aandrijftechnologieën:** Hoewel sommige technologieën zoals elektrische aandrijving met verwisselbare batterijen technisch gereed zijn, is commerciële opschaling nog een uitdaging. Investerings in infrastructuur en vertrouwen van marktpartijen zijn cruciaal.

- **Veiligheidsrisico's bij nieuwe brandstoffen:** Bij de toepassing van nieuwe brandstoffen zoals ammoniak zijn er zorgen omtrent veiligheid. Dit belemmert de fijnmazige distributie en het kleinschalige gebruik in de binnenvaart.

### Zeevaart

De maritieme sector is in de beginfase van een transformatie om klimaatneutrale schepen te ontwikkelen en in de vaart te nemen. Zo wordt bijvoorbeeld in het Maritiem Masterplan, gestreefd naar de bouw van 40 klimaatneutrale demonstratieschepen met een investering van 1,2 miljard euro. Een deel hiervan wordt gefinancierd vanuit het Groeifonds en het Klimaatfonds.

Belangrijke ontwikkelingen in de zeevaart zijn:

#### 1. **Innovatieve Duurzame Aandrijftechnieken**

Er zijn diverse aandrijftechnologieën en energiedragers in ontwikkeling voor de verduurzaming van de zeevaart, waaronder:

- Biobrandstoffen (biodiesel, biogas, biomethanol)
- E-brandstoffen (e-diesel, e-methanol, e-ammoniak, duurzame waterstof)
- Accu-elektrische systemen en kernenergie.

De ontwikkeling van brandstofcellen, met name voor waterstof, ammoniak, en methanol, bevindt zich nog in de onderzoeks- en ontwikkelingsfase (R&D). Er zijn pilots en designs in voorbereiding, maar grootschalige investeringen ontbreken nog.

#### 2. **Efficiëntieverbeteringen**

Projecties van de International Maritime Organization (IMO) en andere gerenommeerde studies wijzen op een potentieel van 33% tot 43% verbetering in energie-efficiëntie tegen 2050. Dit kan worden bereikt door een combinatie van ontwerp, technische en operationele maatregelen.

### *Barrières voor transitie naar duurzame zeevaart*

- **Beperkte beschikbaarheid van duurzame biomassa:** De verwachte vraag naar duurzame biomassa is zeer groot vanuit verschillende sectoren zoals de plasticindustrie, wat een uitdaging vormt voor de productie van biobrandstoffen voor de binnenvaart.
- **Hoge kosten van e-brandstoffen door laag ketenrendement:** De productie van e-brandstoffen koste veel elektriciteit en is kostentechnisch gezien alleen haalbaar wanneer er een groot aanbod aan goedkope duurzame elektriciteit is. Dit is momenteel nog geen realistisch scenario, wat de kosten van e-brandstoffen hoog houdt.
- **Internationale samenwerking en regelgeving:** De verduurzaming van de zeevaart vereist internationale samenwerking vanwege de mondiale aard van de sector. De International Maritime Organization (IMO) en de Europese Unie spelen hierin cruciale rollen. Er zijn al maatregelen zoals het Europese Emissiehandelssysteem (EU-ETS) en FuelEU Maritime aangenomen om de uitstoot te verminderen en het gebruik van walstroom te verplichten vanaf 2030.
- **Technologische maturiteit:** De maturiteit van aandrijftechnologieën varieert sterk. Terwijl sommige technologieën zoals batterij-elektrisch varen al relatief ver ontwikkeld zijn, bevinden andere technologieën zoals brandstofcellen voor ammoniak en methanol zich nog in een vroeg stadium van ontwikkeling.

Deze combinatie van technologische, economische en regelgevende uitdagingen maakt de transitie naar een duurzame zeevaart complex, maar wel noodzakelijk om de klimaatdoelen te bereiken.

### **Non-Road Mobile Machinery**

Non-Road Mobile Machinery (NRMM) omvat een breed scala aan mobiele werktuigen. De inzet ervan leidt tot de uitstoot van zowel CO<sub>2</sub> als van luchtverontreinigende stoffen.

In de Europese regelgeving worden emissienormen voor NRMM verdeeld in verschillende fasen, van Stage I tot en met Stage V, waarbij elke fase strengere eisen stelt aan emissiereducties van luchtverontreinigende stoffen zoals NO<sub>x</sub> en fijnstof.

Technologische ontwikkelingen binnen de NRMM-sector richten zich op:

- schonere verbrandingsmotoren;
- de inzet van biobrandstoffen en hernieuwbare brandstoffen zoals groene waterstof en elektriciteit.

Er zijn schonere dieselmotoren beschikbaar en retrofit nabehandelingssystemen zijn technisch toepasbaar voor diverse machinetypen. De configuratie van deze systemen vereist echter maatwerk.

### *Barrières voor transitie naar duurzame non-road mobile machinery*

Er zijn diverse barrières die de grootschalige implementatie en opschaling van schone technologieën in de NRMM-sector belemmeren. De belangrijkste obstakels omvatten:

- **Economische barrières:** De kosten voor de implementatie van nieuwe technologieën zijn hoog, vooral voor kleine en middelgrote bedrijven. Dit omvat zowel de aanschafkosten van nieuwe machines als de kosten voor aanpassingen aan bestaande apparatuur.
- **Technologische barrières:** Niet voor alle machinetypen en vermogensklassen zijn schonere verbrandingsmotoren beschikbaar en ook zijn ze niet allemaal geschikt voor retrofit nabehandelingssystemen. Bovendien blijven de technologische verbeteringen in de emissiereductie van mobiele werktuigen achter bij die van wegverkeer. Dit komt onder andere door later tot stand gekomen Europese regelgeving en de grote diversiteit van machines binnen de NRMM-sector.
- **Regulatoire barrières:** Hoewel er Europese en nationale wetgeving is om de emissies te beperken, zijn de implementatiedatums en de complexiteit van regelgeving een uitdaging. De fasenormen vereisen specifieke aanpassingen afhankelijk van motorvermogen en bouwjaar, wat leidt tot administratieve en logistieke complicaties.
- **Infrastructurele barrières:** De infrastructuur voor hernieuwbare brandstoffen zoals waterstof is nog onvoldoende ontwikkeld, voor elektriciteit vormt de capaciteit van de huidige infrastructuur een beperkende factor voor opschaling.
- **Onvoldoende kennis en data:** Er is een gebrek aan gedetailleerde kennis over de samenstelling en omvang van het machinepark en de daadwerkelijke emissies van de machines. Verbetering van de inzichten in de inzet en bijbehorende emissies is cruciaal voor het effectief formuleren en implementeren van beleid.

Door deze barrières aan te pakken en de technologische vooruitgang te versnellen, kan de NRMM-sector bijdragen aan aanzienlijke emissiereducties en duurzamere operationele processen in verschillende industrieën, waaronder de bouw en landbouw.



# Inhoudsopgave

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Samenvatting .....                                                                   | 3         |
| Inhoudsopgave .....                                                                  | 8         |
| <b>1 Inleiding .....</b>                                                             | <b>10</b> |
| <b>2 Heavy-duty vehicles .....</b>                                                   | <b>12</b> |
| 2.1 Beleidsdoelen voor vrachtverkeer .....                                           | 12        |
| 2.1.1 Europees beleid voor verduurzaming wegverkeer aangescherpt in Green Deal ..... | 12        |
| 2.1.2 Nederlands beleid .....                                                        | 16        |
| 2.1.3 Met huidig beleid is 55% reductie in 2030 binnen bereik .....                  | 17        |
| 2.2 Markontwikkeling .....                                                           | 18        |
| 2.3 Barrières voor introductie en/of opschaling .....                                | 25        |
| 2.4 Bepaling van milieu-impact van beleidsmaatregelen vrachtverkeer .....            | 30        |
| <b>3 Binnenvaart .....</b>                                                           | <b>33</b> |
| 3.1 Beleidsdoelen voor de binnenvaart .....                                          | 33        |
| 3.1.1 Beleid Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) .....                        | 33        |
| 3.1.2 Beleid Europese Unie .....                                                     | 34        |
| 3.1.3 Beleid Nederlandse overheid .....                                              | 35        |
| 3.2 Markontwikkeling .....                                                           | 36        |
| 3.2.1 Overzicht energiedragers .....                                                 | 36        |
| 3.2.2 Maturiteit aandrijftechnologieën .....                                         | 37        |
| 3.2.3 Efficiëntieverbeteringen .....                                                 | 39        |
| 3.2.4 Luchtverontreinigende stoffen .....                                            | 40        |
| 3.3 Barrières voor introductie en/of opschaling .....                                | 40        |
| 3.4 Bepaling van milieu impact en beleidseffecten binnenvaart .....                  | 41        |
| <b>4 Zeevaart .....</b>                                                              | <b>44</b> |
| 4.1 Beleidsdoelen voor de zeevaart .....                                             | 44        |
| 4.1.1 Beleid Europese Unie (EU) .....                                                | 45        |
| 4.1.2 Beleid International Maritime Organization (IMO) .....                         | 46        |
| 4.1.3 Beleid Nederlandse overheid .....                                              | 46        |
| 4.2 Markontwikkeling .....                                                           | 47        |
| 4.2.1 Overzicht energiedragers .....                                                 | 47        |
| 4.2.2 Maturiteit aandrijftechnologieën .....                                         | 48        |
| 4.2.3 Efficiëntieverbeteringen .....                                                 | 51        |
| 4.2.4 Luchtverontreinigende stoffen .....                                            | 51        |
| 4.3 Barrières voor introductie en/of opschaling .....                                | 52        |
| 4.4 Bepaling van milieu-impact en beleidseffecten zeevaart .....                     | 53        |
| <b>5 Non-Road Mobile Machinery .....</b>                                             | <b>55</b> |
| 5.1 Relevantie mobiele werktuigen .....                                              | 56        |
| 5.2 Beleidsdoelen voor NRMM .....                                                    | 58        |
| 5.2.1 Europese beleidsdoelen .....                                                   | 58        |
| 5.2.2 Nationale beleidsdoelen .....                                                  | 60        |
| 5.2.3 Lokale beleidsdoelen .....                                                     | 63        |
| 5.3 Markontwikkeling .....                                                           | 63        |
| 5.3.1 Elektrificatie en waterstof .....                                              | 64        |

|       |                                                                |    |
|-------|----------------------------------------------------------------|----|
| 5.3.2 | Biobrandstoffen .....                                          | 66 |
| 5.3.3 | Hybride .....                                                  | 66 |
| 5.3.4 | Schone dieselmotor .....                                       | 66 |
| 5.3.5 | Efficiënte inzet van mobiele werktuigen .....                  | 67 |
| 5.4   | Barrières voor introductie en/of opschaling .....              | 68 |
| 5.4.1 | Elektrisch.....                                                | 68 |
| 5.4.2 | Biobrandstoffen .....                                          | 70 |
| 5.4.3 | Schone dieselmotor .....                                       | 71 |
| 5.5   | Bepaling van milieu-impact en effecten van beleid op NRMM..... | 71 |
|       | Ondertekening.....                                             | 73 |

# 1 Inleiding

Om de opwarming van de aarde en de stijging van de zeespiegel te beperken, is op de klimaatconferentie in 2015 in Parijs (COP21) een bindend akkoord gesloten. In dit akkoord is overeengekomen dat de opwarming van de aarde dient te worden beperkt tot 2°C en streven naar een opwarming van maximaal 1,5°C. Dit akkoord vraagt om een nagenoeg klimaatneutrale economie in 2050 met een sneller dan lineaire reductie op het pad daar naartoe. In 2019 heeft de Europese Commissie de Green Deal gepresenteerd waarin het doel van een klimaatneutraal Europa in 2050 en een reductie van 55% van de CO<sub>2</sub>-emissies in 2030 is vastgelegd. In 2021 het 'fit-for-55' pakket ingediend waarin verschillende voorstellen worden gedaan om invulling geven aan de doelstellingen uit de Green Deal<sup>1</sup>.

Ook de Rijksoverheid heeft in de klimaatwet de Europese doelen voor 2030 en 2050 vastgelegd. Volgens de meest recente klimaat en energieverkenning (KEV23)<sup>2</sup> is de doelstelling om in 2030 55% minder CO<sub>2</sub> te emitteren in vergelijking met 1990 binnen bereik in het geval dat alles meezit.

Middels een groot aantal wetten en richtlijnen wordt zowel op Europees als nationaal niveau beleid ingericht om aan deze doelstelling te voldoen. Zo is in het kader van het 'fit-for-55' pakket wetgeving aangenomen waarin een uitfasering van brandstofmotoren in lichte voertuigen is vastgelegd per 2035. Daarmee is de meest vergaande wetgeving op het vlak van mobiliteit. Voor andere modaliteiten in het mobiliteitsdomein zoals vrachtverkeer, binnenvaart, zeevaart en Non-Road Mobile Machinery (NRMM) is de wetgeving niet in een dergelijk stadium. De ontwikkelingen in deze modaliteiten is nog in een eerder stadium van de transitie naar een zero-emissie toekomst. Dit maakt dat juist voor deze modaliteiten belangrijke keuzes nog moeten worden gemaakt.

In overleg met Rijkswaterstaat zijn daarom de volgende onderzoeksvragen voor vrachtverkeer, binnen- en zeevaart en NRMM vastgelegd:

1. Regelgeving en Beleidscontext:
  - Welke relevante regelgeving voor reductie van energiegebruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot geldt in Europa
  - Welke beleidsdoelen voor reductie van energiegebruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot kent Nederland
  - Welke grote beleidsmaatregelen treft Nederland om de gewenste reductie van energiegebruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot te realiseren?
2. Marktsituatie en technologie
  - Welke relevante technologieën worden ontwikkeld voor de transitie naar klimaatneutraal?;
  - Welke factoren kunnen de opschaling van technologieën vertragen of verhinderen?

<sup>1</sup> [De Europese Green Deal \(europa.eu\)](https://european-council.europa.eu/media/en/press-operations/infographic-126266.jpg)

<sup>2</sup> Klimaat en Energieverkenning 2023, PBL rapport

3. Hoe worden (toekomstige) effecten van beleidsmaatregelen op reductie van energiegebruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot bepaald?
  - Welke modellen worden ingezet?
  - Welke aanvullende data is gewenst voor meer betrouwbare berekening van beleidseffecten?
4. Zijn er belemmeringen die de opschaling van zero-emissie voer- , vaartuigen en machines vertragen of verhinderen?

Leeswijzer:

In dit document worden bovenstaande onderzoeksvragen voor vrachtverkeer, binnen- en zeevaart en NRMM in de volgende hoofdstukken behandeld.

- Hoofdstuk 2: Vrachtverkeer;
- Hoofdstuk 3: Binnenvaart;
- Hoofdstuk 4: Zeevaart;
- Hoofdstuk 5: Non-Road Mobile Machinery (NRMM).

## 2 Heavy-duty vehicles

In dit hoofdstuk van de routeradar wordt in vier verschillende subhoofdstukken de ontwikkelingen van de transitie naar klimaatneutraal vrachtverkeer beschreven. Eerst worden de belangrijkste beleidsdoelen voor het vrachtverkeer op Europees en Nederlands niveau beschreven. Vervolgens worden de ontwikkelingen in verschillende duurzame aandrijftechnologieën beschreven. Hierbij wordt ook ingegaan op de barrières die de introductie en opschaling van deze technologieën kunnen belemmeren. Ten slotte wordt een overzicht gegeven van de huidige modellen die gebruikt worden om effecten van beleid op klimaat en milieu te prognosticeren.

### 2.1 Beleidsdoelen voor vrachtverkeer

Internationaal en nationaal beleid zijn momenteel de drijvende kracht achter de verduurzaming van het zware wegvervoer. Om de klimaatdoelen te realiseren en daarmee de CO<sub>2</sub>-uitstoot terug te dringen zijn er de afgelopen jaren doelstellingen geformuleerd en beleidsmaatregelen in gang gezet, zowel op Europees als nationaal niveau. Voorbeelden van belangrijke doelstellingen zijn het Parijs akkoord op de COP21, de Europese Green Deal en het Nederlandse Klimaatakkoord. In deze paragraaf wordt ingegaan op maatregelen of aankondigingen daarvan die als doel hebben bij te dragen aan de reductie van CO<sub>2</sub>-emissies door vrachtwagens. Daarbij wordt eerst ingegaan op beleidsmaatregelen vanuit Europa en vervolgens op nationaal beleid. Hierbij ligt de focus op de belangrijkste beleidsinitiatieven sinds het verschijnen van het Nederlandse Klimaatakkoord en de Europese Green Deal in 2019<sup>3</sup>.

#### 2.1.1 Europees beleid voor verduurzaming wegverkeer aangescherpt in Green Deal

Om de algemene CO<sub>2</sub>-uitstoot terug te dringen, heeft de Europese Commissie in 2019 de Green Deal gepresenteerd en hebben de EU-lidstaten afgesproken dat de EU in 2050 klimaatneutraal zal zijn. In het verlengde daarvan werd in 2021 de Europese Klimaatwet van kracht met het tussendoel de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2030 met 55 procent te verlagen ten opzichte van het niveau in 1990. Om deze doelen te realiseren presenteerde de Europese Commissie medio 2021 een pakket met concrete voorstellen, onder de noemer van 'Fit for 55'<sup>4</sup>. Het pakket bestaat uit een reeks voorstellen, die bestaande wetgeving aanscherpt en nieuwe voorstellen introduceert.

<sup>3</sup> We beschrijven het beleid t/m medio 2023, waaronder de beleidsplannen die het kabinet Rutte-IV in de voorjaarsnota van 2023 heeft gepresenteerd. Met de val het kabinet is het doorgaan van deze plannen onzeker geworden.

<sup>4</sup> [Fit for 55 - The EU's plan for a green transition - Consilium \(europa.eu\)](https://consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2021/06/21/)

## CO<sub>2</sub>-normen

De aanscherping en uitbreiding van de CO<sub>2</sub>-normering van nieuw verkochte vrachtvoertuigen is geen onderdeel van het 'fit-for-55' pakket maar is wel de belangrijkste drijvende kracht achter de introductie van zero-emissie vrachtwagens.

In 2018 zijn de eerste reductiedoelen voor de emissies van nieuw vrachtwagens vastgesteld. In deze wetgeving is vastgelegd dat de gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissies van nieuw verkochte vrachtwagens 15% lager moet zijn dan in het basisjaar (juli 2019 t/m juni 2020). In 2030 is het reductiedoel 30%<sup>5</sup>. Deze doelen golden voor bepaalde typen vrachtvoertuigen die gezamenlijk ca. 80% van de vrachtwagenverkoop in Europa betroffen. In 2021 is in het kader van de Europese Green Deal het reductiedoel voor het jaar 2030 aangescherpt naar een reductie van 43%. Ook zijn nieuwe doelen voor 2035 (64%) en 2040 voorgesteld (90%)<sup>6</sup>. Ook is het aantal voertuigtypen dat onder deze wetgeving valt uitgebreid. Daarnaast zijn er wijzigingen voorgesteld voor flexibiliteiten<sup>7</sup> en zijn er doelen voor aanhangwagens en opleggers voorgesteld. In de dialogen tussen het parlement, de commissie en de raad wordt momenteel onderhandeld over het definitieve pakket aan maatregelen. Door de aanscherping zal de ingroei van zero-emissie voertuigen fors toenemen.

## AFIR

In 2023 is de Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR) aangenomen als opvolger van de AFID<sup>8</sup>. In de (AFIR) wordt geëist dat lidstaten een minimum aan tank en laadinfrastructuur realiseren voor alternatieve energiedragers, zoals laadinfrastructuur voor batterij-elektrische vrachtwagens en waterstof-tanklocaties voor vrachtwagens met een brandstofcel of een waterstofverbrandingsmotor. Doelstelling hiervan is dat tank- en laadinfrastructuur geen belemmering zal zijn bij de ingroei van zero-emissie aandrijftechnologieën. In de AFIR wordt onderscheid gemaakt naar personen en bestelauto's en vrachtwagens en bussen. In deze paragraaf wordt alleen ingegaan op de eisen uit de AFIR voor vrachtwagens en bussen.

In de AFIR zijn doelen opgenomen voor het kern TEN-T netwerk, het uitgebreide TEN-T netwerk en stedelijke knooppunten. Ook zijn eisen gesteld aan laadinfrastructuur op bewaakte parkeerplaatsen. In 2025 moeten op elke bewaakte parkeerplaats twee laadpalen met een vermogen van minimaal 100 kW zijn geïnstalleerd. Voor 2030 zijn dit vier laadpalen. De doelen voor tank- en laadinfrastructuur langs het TEN-T netwerk en bij stedelijke knooppunten zijn samengevat in Tabel 2.1.

<sup>5</sup> [EUR-Lex - 32019R1242 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

<sup>6</sup> [Reducing CO<sub>2</sub> emissions from heavy-duty vehicles - European Commission \(europa.eu\)](#)

<sup>7</sup> Flexibiliteiten betreffen onder meer het ZLEV mechanisme, het banking en borrowing system, de ZLEV benchmark en het includeren van ZE voertuigen die buiten de normering vallen.

<sup>8</sup> [European Union Alternative Fuel Infrastructure Regulation \(AFIR\) \(theicct.org\)](#)

**Tabel 2.1:** Afstand gebaseerde doelen voor tank- en laadinfrastructuur voor vrachtwagens en bussen

|            | Geografische scope                | Minimaal geïnstalleerd vermogen / waterstof tankstations | Minimale afstand eis       | Aantal laadpunten met minimaal vermogen                            |
|------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 31-12-2025 | 15% van kern en uitgebreide TEN-T | 1.400 kW                                                 | 120 km in elke rijrichting | 1 laadpunt 350 kW                                                  |
|            | Stedelijke knooppunten            | 900 kW                                                   | -                          | 1 laadpunt 150 kW                                                  |
| 31-12-2027 | 50% van kern en uitgebreide TEN-T | 2.800 kW voor kern TEN-T en 1.400 voor uitgebreide TEN-T | 120 km in elke rijrichting | Kern TEN-T 2 laadpunten 350 kW uitgebreide TEN-T 1 laadpunt 350 kW |
| 31-12-2030 | kern TEN-T                        | 3.600 kW                                                 | 60 km in elke rijrichting  | 2 laadpunten 350 kW                                                |
|            |                                   | 1 waterstof tankstation                                  | 200 km                     | 1.0 kg / dag dispenser 700 bar                                     |
|            | uitgebreid TEN-T                  | 1.500 kW                                                 | 100 km in elke rijrichting | 1 laadpunt 350 kW                                                  |
|            | Stedelijke knooppunten            | 1.800 kW                                                 | -                          | 1 laadpunt 150 kW                                                  |
|            |                                   | 1 waterstof tankstation                                  | -                          | -                                                                  |

**Renewable Energy Directive (RED III)**

In de Renewable Energy Directive (RED) wordt een kader gegeven om het gebruik van hernieuwbare brandstoffen in de transportsector te reguleren voor de periode tot 2023. Lidstaten moeten vervolgens deze kaders en normen in nationale wetgeving vastleggen. Deze vastgestelde normen gelden voor de leveranciers van deze brandstoffen.

In de RED II wordt een aandeel van 17,9% hernieuwbare brandstoffen in 2022 geëist en 28% in 2030. Daarnaast worden ook subdoelen gesteld voor geavanceerde biobrandstoffen die nader gespecificeerd zijn in de REDII. Om aan de gestelde normen te voldoen moeten er biobrandstoffen of hernieuwbare energie bijgemengd of gebruikt worden. Geavanceerde biobrandstoffen, en hernieuwbare brandstoffen krijgen een multiplicatiefactor waardoor het behalen van de norm minder fysieke energie vereist als energie met een minder impact op het klimaat wordt gebruikt.

In 2021 is een voorstel voor de RED III ingediend als onderdeel van het “Fit-for-55” pakket. In maart 2023 is overeenstemming bereikt over de herziening van de REDII.

In de RED III implementatie kunnen lidstaten kiezen uit type doelen:

- de doelstelling om een aandeel van 28% hernieuwbare brandstoffen aan te scherpen naar 29% inclusief dubbeltellingen.
- de bijmengverplichting vervangen door een reductiedoel van 14,5% voor de energie-intensiteit op basis van een 'well-to-wheel'-aanpak.

De Rijksoverheid lijkt een voorkeur te hebben voor deze laatste variant<sup>9</sup>.

Naast deze doelen gelden ook subdoelen voor geavanceerde biobrandstoffen (bijlage IX-A van de RED)<sup>10</sup> en hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong (RFNBO) en limieten voor biobrandstoffen uit voedselgewassen en biobrandstoffen op basis van afgewerkte olie (UCO) en dierlijke vetten (bijlage IX-B van de RED).

Onderdeel van de REDIII is de uitbreiding naar de sectoren maritiem en luchtvaart. Hierdoor neemt de omvang van de gereguleerde brandstoffen toe<sup>11</sup>. Door de RED III zullen de emissies van brandstoffen die worden ingezet in de transportsector afnemen.

### ETS-BRT

Onderdeel van het 'fit-for-55' pakket is het inrichten van een tweede *Europees emissiehandelssysteem* (ETS-BRT) voor wegtransport en gebouwde omgeving. In dit systeem worden een beperkt aantal emissierechten uitgegeven die energieleveranciers moeten hebben om CO<sub>2</sub> te mogen emitteren. Jaarlijks zal het aantal emissierechten afnemen waardoor de prijs om CO<sub>2</sub> te mogen emitteren toeneemt en koolstofarme energiedragers een kostenvoordeel krijgen. Overeenkomstig het voorlopig akkoord tussen de Raad en het Europese Parlement start dit systeem in 2027.

### Overig maatregelen

Onderdeel van het 'fit-for-55' pakket zijn ook aanscherpingen van de 'effort sharing regulation' (ESR), de 'energy efficiency directive' (EED) en de 'energy taxation directive' (ETD)<sup>12</sup>. De ESR dekt de sectoren die buiten het ETS-systeem vallen. Dit betreffen onder meer de sectoren wegtransport, gebouwde omgeving, landbouw afval en kleine industrie. Ondanks de introductie van de ETS-BRT voor wegtransport en de gebouwde omgeving blijven de ESR doelen ook voor deze sectoren gelden. Voor Nederland wordt de doelstelling aangescherpt van 36% naar 48% CO<sub>2</sub>-reductie in 2040 in vergelijking met 2005. Om deze doelstelling te halen is naast Europees beleid ook aanvullend nationaal beleid nodig. Nationaal beleid gericht op het reduceren van CO<sub>2</sub> in het wegtransport draagt hier aan bij.

De EED is gericht op het reduceren van het finale energiegebruik (energiegebruik van eindgebruikers) van Europese Unie (EU27). In de herziene EED is een reductietarget opgenomen van 11,7% in 2030 in vergelijking met 2020. De opgave voor lidstaten is indicatief en onder andere afhankelijk van het BBP, de energie-intensiteit en het besparingspotentieel<sup>13</sup>. De verduurzaming van de transport sector speelt een belangrijke rol bij de realisatie van dit target.

<sup>9</sup> Kamerbrief over start implementatie RED III voor vervoer | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

<sup>10</sup> DIRECTIVE (EU) 2018/ 2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL - of 11 December 2018 - on the promotion of the use of energy from renewable sources (europa.eu)

<sup>11</sup> Provisions for transport fuels in the European Union's finalized "Fit for 55" package (theicct.org)

<sup>12</sup> Fit for 55 - The EU's plan for a green transition - Consilium (europa.eu)

<sup>13</sup> Recast of the energy efficiency directive (europa.eu)



De herziening van de ETD heeft als doel om de energiebelasting meer in lijn te brengen met het principe dat de brandstof met het grootste klimaateffect het zwaarst wordt belast. Inzet is om schonere energie aantrekkelijker te maken <sup>14</sup>.

Naast de voorstellen in het kader van het 'fit-for-55' pakket zijn er ook andere Europese maatregelen waar CO<sub>2</sub>-reductie onderdeel van is. Zo is in de herziening van de infrastructuurheffing voor vrachtvoertuigen ook een CO<sub>2</sub>-differentiatie opgenomen waarmee vrachtvoertuigen met een lage CO<sub>2</sub>-emissie of zero-emissie vrachtwagens een lager tarief krijgen <sup>15</sup>.

## 2.1.2 Nederlands beleid

Het Europees beleid vormt een drijvende kracht voor de verduurzaming van het wegverkeer binnen Nederland. Daarnaast zet de Nederlandse overheid (aanvullende) instrumenten in om invulling te geven aan Europese doelstellingen (zoals de AFIR, de ESR en de EED) en de nationale doelstellingen zoals vastgelegd in de klimaatwet. Ook moet het Rijk middels wet- en regelgeving Europese wetgeving implementeren zoals bijvoorbeeld in het geval van de RED III.

De Rijksoverheid heeft in 2019 nationale doelstellingen vastgelegd in het Klimaatakkoord. Daarin zijn afspraken gemaakt met een groot aantal (maatschappelijke) partijen gericht op het realiseren van het in de Klimaatwet vastgelegde streefdoel om de uitstoot van broeikasgassen in Nederland in 2030 met 49% te reduceren ten opzichte van 1990. In 2023 is de Nederlandse klimaatwet, in navolging van de Europese Green Deal, aangescherpt naar een reductiedoel van 55% in 2030 en klimaatneutraliteit in 2050. Ook is het streefdoel opgenomen om in 2050 negatieve CO<sub>2</sub>-emissies te realiseren <sup>16</sup>. In het Coalitieakkoord van het kabinet Rutte-IV is daarnaast een indicatief streefdoel aangekondigd per sector. Deze is voor de sector mobiliteit (waarin in het wegverkeer dominant is) vastgesteld op 21 Mton in 2030 <sup>17</sup>. In de voorjaarsnota van 2023 zijn beleidswijzigingen aangekondigd die invulling moeten geven aan de extra klimaatopgave <sup>18</sup> die nodig is om het gat met de prognoses uit de KEV 2022 te dichten.

De Rijksoverheid heeft verschillende maatregelen genomen of is voornemens maatregelen te nemen die onder andere gericht zijn op het reduceren van CO<sub>2</sub>-emissies. In deze paragraaf wordt op de belangrijkste maatregelen ingegaan.

Dit zijn:

- Zero-emissiezones
- Vrachtwagenheffing
- Subsidieregeling AanZET en de Terugsluis

### Zero-emissiezones

Het Nederlandse beleid gericht op de verduurzaming van de vrachtwagenvloot is voor een belangrijk deel gebaseerd op de invoering van 'zero-emissie' zones in steden. Per 2025 kunnen deze zones ingaan waarna nieuw verkochte vrachtwagens alleen toegang hebben als deze 'zero-emissie' aan de uitlaat zijn.

<sup>14</sup> [Fit for 55: de EU herzielt de energiebelasting - Consilium \(europa.eu\)](#)

<sup>15</sup> [EUR-Lex - 32022L0362 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

<sup>16</sup> Klimaatwet, hoofdstuk 1 artikel 2. [wetten.nl - Regeling - Klimaatwet - BWBR0042394 \(overheid.nl\)](#)

<sup>17</sup> [Klimaatnota 2023 \(overheid.nl\)](#)

<sup>18</sup> [Tabel Klimaatpakket voorjaarsbesluitvorming | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

Voor het bestaande vrachtwagenpark is een overgangsregeling getroffen waardoor een groot deel van de conventionele vrachtwagens tot 2030 de zone mogen inrijden. Daarnaast gaan er ook vrijstellingen en dagontheffingen gelden al is op dit moment de precieze vormgeving hiervan nog niet duidelijk. Op dit moment zijn er 29 steden die de ambitie hebben om een zero-emissiezone in te stellen, voor 20 steden gaat in 2025 daadwerkelijk een ZE-zone in. Het is de verwachting dat tot 2030 de effecten van zero-emissiezones beperkt zullen zijn.

### Vrachtwagenheffing

In het regeerakkoord van Kabinet-Rutte III is opgenomen dat er een vorm van rekeningrijden voor vrachtverkeer wordt geïntroduceerd en dat de opbrengsten van deze heffing in overleg met de sector worden teruggesluisd naar de vervoerssector<sup>19</sup>. Sindsdien heeft de Europese Commissie de Eurovignetrichtlijn<sup>20</sup> herzien waarin nu ook een CO<sub>2</sub> differentiatie is geïntroduceerd. Daarmee wordt dit instrument ook gebruikt om de sturen op de inzet van duurzamere voertuigen. In 2023 is een studie naar verschillende tariefstructuren gepubliceerd<sup>21</sup>. Doelstelling is dat de vrachtwagenheffing in 2026 wordt gestart.

### Subsidieregeling AanZET en de terugsluis

Vanaf 2022 is een subsidie regeling ingericht onder de naam AanZET<sup>22</sup>. Hiermee kan subsidie worden aangevraagd voor de aanschaf van zero-emissie vrachtwagens. De hoogte van de subsidie is afhankelijk van het voertuigtype en de omvang van de onderneming van de aanvrager. In zowel 2022 als 2023 was het animo voor de regeling groot en was het budget binnen enkele dagen overtekend. Voor toekomstige jaren is het de bedoeling dat de subsidie wordt gefinancierd uit de terugsluis. Doordat de vrachtwagenheffing ingaat in 2026 wordt het subsidiebudget voor de jaren 2024 en 2025 voorgefinancierd<sup>23</sup>. Andere maatregelen gericht op het verduurzamen van de transportsector betreffen een subsidieregeling voor semi-publieke en private laadinfrastructuur, de uitrol van een Electric Road System (ERS)-traject en een stimuleringsregeling voor waterstof-tankinfrastructuur en -voertuigen<sup>24</sup>. In de terugsluis worden subsidies voorzien tot de periode 2030. In de Voorjaarsnota 2023 zijn ook middelen voorzien voor publieke en private laadinfrastructuur. Voor private laadinfrastructuur wordt dit per 2026 gefinancierd vanuit de terugsluis<sup>25</sup>.

## 2.1.3 Met huidig beleid is 55% reductie in 2030 binnen bereik

In de Klimaat en Energieverkenning 2023 (KEV23) is bovengenoemd beleid grotendeels meegenomen in de raming van de CO<sub>2</sub>-uitstoot en het energiegebruik van het wegverkeer, voor zover dat bij het opstellen van de analyses concreet was uitgewerkt. Op basis van de KEV23 komt naar voren dat een CO<sub>2</sub>-reductie van 46-57% wordt verwacht<sup>26</sup>. Daarmee is het doel van 55% uit de klimaatwet binnen bereik.

<sup>19</sup> [Effectbepaling van een vrachtwagenheffing en verschillende terugsluismaatregelen op de wagenparksamenstelling en emissies van het vrachtverkeer in Nederland TNO 2 019 R11725v2](#)

<sup>20</sup> [EUR-Lex - 32022L0362 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

<sup>21</sup> [Effectstudie 'Varianten voor tariefstructuur vrachtwagenheffing bij implementatie herziene Eurovignet-richtlijn' | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

<sup>22</sup> [Aanschafsubsidie Zero-Emissie Trucks \(AanZET\) \(rvo.nl\)](#)

<sup>23</sup> [Vaststelling van de begrotingsstaten van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat \(XII\) voor het jaar 2024 | Tweede Kamer der Staten-Generaal P.236](#)

<sup>24</sup> [Beslisnota concept meerjarenprogramma terugsluis](#)

<sup>25</sup> [TNO-2023-R11744.pdf](#)

<sup>26</sup> [Klimaat- en Energieverkenning 2023 | PBL Planbureau voor de Leefomgeving](#)

Wel wordt opgemerkt dat hiervoor alles mee moet zitten ook de niet stuurbare factoren. Ook komt naar voren dat de uitstoot van de sector mobiliteit in 2030 naar verwachting tussen de 18.5 en 24,7 Mton zal zijn. Dit is binnen het bereik van de indicatieve sectorale restemissie van 21 Mton.

## 2.2 Markontwikkeling

In hoofdstuk 2.1.1 is beschreven dat de Europese normering van de CO<sub>2</sub>-emissies van nieuw verkochte vrachtwagens momenteel de grootste drijvende kracht is achter de verduurzaming van het wegtransport in Europa. Voor fabrikanten zijn er verschillende manieren om invulling te geven aan deze verduurzamingsopgave. Grofweg zijn deze in te delen in het reduceren van de CO<sub>2</sub>-emissies van nieuwe conventionele vrachtwagens en het verkopen van nieuwe voertuigen met zero-emissie technologieën. Als het gaat om het introduceren van zero-emissie technologieën zijn er daarbinnen opties voor energiedragers en toepassingen, zoals batterij-elektrisch of rijden op waterstof. In deze paragraaf komen al deze elementen aan bod.

### **Reduceren van CO<sub>2</sub>-emissies in conventionele vrachtvoertuigen.**

In 2018 heeft TNO een onderzoek uitgevoerd in opdracht van het ministerie van I&W waarin onder meer de reductiepotentie van CO<sub>2</sub>-emissies voor vrachtvoertuigen is bepaald<sup>27</sup>. Hieruit blijkt dat een reductie tot ca. 30% kosteneffectief is voor nieuwe conventionele vrachtwagens. Deze reductie is afgezet tegen basisjaar 2015. In meer recent onderzoek waarin alleen energie reducerende technologieën zijn meegenomen die voor alle aandrijftechnologieën toepasbaar zijn is een reductiepotentie tot 22% gevonden ten opzichte van basisjaar 2020<sup>28</sup>. Met behulp van dergelijke technologieën is het doel van 15% reductie in 2025 haalbaar theoretisch haalbaar. De reductiedoelstellingen voor 2030 en 2040 van respectievelijk 43% en 90% zijn hiermee niet haalbaar. Dit betekent dat een deel van de verkopen van fabrikanten zal moeten bestaan uit zero-emissie voertuigen norm aan deze doelstellingen te voldoen.

### **zero-emissietechnologie**

Gegeven dat het gebruik van duurzame koolstofhoudende brandstoffen (biobrandstoffen en e-fuels) niet bijdraagt aan het halen van de CO<sub>2</sub>-normen voor voertuigfabrikanten, zijn er twee energiedragers waar de aandrijftechnologieën van zero-emissie voertuigen gebruik kunnen maken. Dit zijn waterstof of direct gebruik van elektriciteit. Binnen deze opties zijn verschillende toepassingen mogelijk. Voor elektrisch is dat bijvoorbeeld in batterij-elektrische voertuigen, 'electric road systems' (ERS) of 'battery swaps'. Waterstof als energiedrager kan worden toegepast in een waterstof-brandstofcel en in een waterstofverbrandingsmotor.

### **Batterij-elektrisch**

Op basis van verschillende onderzoeken komt naar voren dat voor het grootste deel van de inzet batterij-elektrische vrachtwagens de meest kosteneffectieve optie zijn en dat deze voertuigen op termijn ook voldoende actieradius zullen hebben om een groot deel van ritten die nu worden uitgevoerd met dieselveertuigen, te vervangen<sup>29</sup>. De verwachting is dat al voor 2030 in een groot aantal toepassingen de totale kosten per kilometer (inclusief afschrijving van het voertuig) van batterij-elektrische vrachtwagens lager zullen zijn dan de kosten van conventionele vrachtwagens.

<sup>27</sup> TNO 2018, Assessments with respect to the EU HDV CO<sub>2</sub> legislation

<sup>28</sup> TNO 2022. Techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in Europe. R11862

<sup>29</sup> [TNO 2022. R11862 Techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in Europe](#) & [TNO 2023. The potential of e-fuels for heavy-duty road transport in the Netherlands R10213](#)

De technologie is bewezen maar momenteel nog relatief duur. Naar verwachting zullen de kosten van batterijen nog aanzienlijk dalen. Daarnaast zal ook de opschaling van productie naar verwachting tot kostenvoordelen leiden en tot lagere prijzen. Daarom is deze technologie momenteel ingeschaald als ‘medium’ voor wat betreft de ‘commercial readiness level’ (CRL).

Een belangrijk aandachtspunt is de realisatie van voldoende laadinfrastructuur voor zowel publieke en private locaties met de juiste vermogens. Er worden momenteel al testen gedaan met laadvermogens tot ruim 3 MW maar het aantal laadpalen specifiek voor het laden van vrachtoertuigen is nog beperkt<sup>30</sup>. Dit is onder meer het gevolg van beperkte netcapaciteit op veel locaties in Nederland.

De standaard toepassing van batterijen in voertuigen is dat de batterij op een specifieke locatie wordt geladen waarna deze gedurende een rit ontlad. Naast deze toepassing wordt ook gewerkt aan andere toepassingen. De belangrijkste zijn ERS en battery swaps.

### Electric Road Systems (ERS)

Electric Road Systems (ERS) bieden een emissievrije benadering van duurzaam vrachtvervoer, als aanvulling op batterij-elektrische vrachtwagens en andere hybride systemen. Zolang het voertuig op het ERS systeem rijdt, biedt het een onbeperkte rijafstand.

Op dit moment krijgen twee prominente technologieën, de E-Highway (eHighway) en de Electreon (Electreon) Wireless Electric Charging Road aandacht, terwijl een grondrailtechnologie, die wordt gepromoot door Elonroad (Elonroad), vooral wordt getest in busrijbanen met een relatief lage verkeersintensiteit.



**Figuur 2.1:** Opties voor ERS (conductive), van rechts naar rechts: Bovenleidingsysteem, Onderbouwsysteem met rails in het wegdek, boven op de weg en gelijk met de weg

De E-Highway maakt gebruik van een bovenleidingsysteem met bovenleidingen die boven de weg hangen. Elektrische vrachtwagens worden fysiek verbonden via een pantograaf, waarvan ze tijdens het rijden stroom afnemen. Dit systeem is alleen geschikt voor hoge voertuigen zoals vrachtwagens. De Electron Wireless Road maakt gebruik van spoelen in het wegdek voor draadloos opladen en biedt flexibiliteit door fysieke verbindingen te elimineren. Het is geschikt voor een breder scala aan voertuigen, waaronder ook bestelwagens en personenwagens.

<sup>30</sup> [Scania tests ABB's megawatt charging system for next-gen electric trucks | electrive.com](https://www.electrive.com/2023/05/10/scania-tests-abb-megawatt-charging-system-for-next-gen-electric-trucks/)

Tabel 2.2: Vóór- en nadelen van ERS

| Voordelen ERS                                     | Nadelen ERS                           |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------|
| CO <sub>2</sub> reductie                          | Hoge initiële kosten*                 |
| Kleinere batterijen nodig                         | Extra belasting elektriciteitsnetwerk |
| Verbeteren van de EV-efficiëntie                  | Nog geen standaardisatie              |
| Beter verdelen van elektriciteit-netwerkbelasting | Nog geen regelgeving                  |
| Compatibel met autonoom rijden                    | Impact op wegen(bouw)                 |

Noot: een ERS systeem kent hoge initiële kosten omdat het systeem pas werkt indien een behoorlijke infrastructuur beschikbaar is.

ERS heeft een aantal voordelen ten opzichte van batterij-elektrische vrachtwagens die worden geladen bij stationaire laadpunten, zoals:

1. Minder grote batterijen nodig: Werken met kleinere en lichtere batterijen verlaagt het totale voertuiggewicht en de investeringskosten voor het voertuig. Bovendien is er minder materiaal nodig;
2. Groter rijbereik: Zo lang er wordt gereden over een weg met een ERS, wordt het voertuig continu opgeladen, waardoor trucks langere afstanden afleggen zonder te hoeven stoppen. Hierdoor neemt de operationele efficiëntie en flexibiliteit toe.
3. Minder belasting van het elektriciteitsnet: Continue energievoorziening tijdens het rijden vermindert de noodzaak voor relatief korte, maar hoog vermogen laadsessies. Gezien de beschikbaarheid van netcapaciteit kan dit de komende decennia een belangrijk voordeel zijn.

De technologie voor ERS wordt wereldwijd op een behoorlijk aantal locaties getest. Ook in Europa worden de systemen met bovenleiding en inductie systemen getest. Onderstaande tabel geeft een overzicht van aantal testlocaties.

**Tabel 2.3:** ERS Pilot programs and their expected TRL (Source: M. G. H. Gustavson and M. Lindgren, "Maturity of power transfer technologies for electric road systems," *Transp. Res. Arena*, 2020.)

| Land     | ERS type   | Locatie                                  | Lengte (km) | Pilot/wegnaam/systeem                              | Start        | End            | TRL level         |
|----------|------------|------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------|--------------|----------------|-------------------|
| Wireless | Zweden     | airport to Visby                         | 2           | Smartroad Gotland <sup>31</sup>                    | 2020         | -              | 4-5               |
| Ground   | Zweden     | E4 Highway Arlanda Airport to Rosersberg | 2           | eRoad Arlanda <sup>32</sup>                        | 2018         | 2020 closed    | 6                 |
| Ground   | Zweden     | Getingevägen city Lund                   | 1           | Elonroad <sup>33</sup>                             | 2019         | 2022           | 4-5               |
| Wireless | België     | N769                                     | 0,5         | Cont. E-Drive <sup>34</sup>                        | 2010         | 2013           | 3                 |
| Wireless | Frankrijk  | N118 highway near Paris                  | 0,4         | FABRIC <sup>35</sup>                               | 2018         | 2018           | 3                 |
| Wireless | Duitsland  | Port of Karlsruhe                        | 0,1         | Port of Karlsruhe (Bus) <sup>36</sup> Electreon    | 2021         | active         | 4                 |
| Wireless | Duitsland  | city of Balingen                         | 1           | ELINA <sup>37</sup> Electreon                      | 2023         | -              | 4                 |
| Wireless | Italië     | A35 the Chiari Ovest exit                | 1           | Arena del Futuro <sup>38</sup> Electreon           | 2023         | Active         | 4                 |
| Overhead | Duitsland  | B 462 (Kuppenheim)                       | 3,4         | E-Highway (eWayBW) <sup>39</sup>                   | 2020         | 2024           | 7                 |
| Overhead | Duitsland  | A5                                       | 5(+7km )    | E-Highway (ELISA and ELISA3)                       | 2019         | 2022           | 7-8               |
| Overhead | Duitsland  | A1 (Reinfeld and Lübeck)                 | 6           | E-Highway (FESH, Schleswig-Holstein) <sup>40</sup> | 2019         | 2022           | 7                 |
| Overhead | Zweden     | E16 highway                              | 2           | eHighway <sup>41</sup>                             | 2016         | 2020           | 7-8               |
| Wireless | Zuid-Korea | Daejeon                                  | 0,5         | OLEV <sup>42</sup>                                 | 2010<br>2019 | 2017<br>active | 4/9 <sup>43</sup> |

De belangrijkste uitdaging zijn de hoge initiële implementatiekosten, variërend van 1 tot 3 miljoen euro per km, met name voor de aanleg van de noodzakelijke snelweginfrastructuur. Het gebrek aan internationale normen vormt een andere uitdaging, hier wordt inmiddels wel aan gewerkt, bijvoorbeeld in het E-Core project.

De winstgevendheid hangt af van de benuttingsgraad en transporteurs wachten op de voltooiing van de weg voordat ze in ERS-trucks investeren. Het systeem vereist de aanleg van meerdere kilometers weg, een proces dat langdurige overheidssteun vereist.

In Duitsland en Zweden lopen verschillende projecten voor korte afstanden van 1 tot 7 km. Grootschaligere ERS-implementatie is in voorbereiding, waarbij Zweden en het Verenigd Koninkrijk werken aan uitgebreide elektrische snelwegen.

<sup>31</sup> <https://www.smartroadgotland.com/>

<sup>32</sup> <https://elways.se/elways/projects/>

<sup>33</sup> <https://www.elonroad.com/our-projects/>

<sup>34</sup> <https://www.polisnetwork.eu>

<sup>35</sup> <https://www.drive.com.au/news/wireless-charging-road-demonstrated-in-france-planned-for-israel/>

<sup>36</sup> <https://electreon.com/projects/karlsruhe>

<sup>37</sup> <https://electreon.com/projects/elina-balingen>

<sup>38</sup> <https://www.media.stellantis.com>

<sup>39</sup> <https://ewaybw.de/>

<sup>40</sup> <https://www.ehighway-sh.de/de/ehighway.html>

<sup>41</sup> <https://www.iea.org/policies/7162-electric-highway-demonstration-project-e16>

<sup>42</sup> [http://www.wipowerone.com/en/sub/sub01\\_01.php](http://www.wipowerone.com/en/sub/sub01_01.php)

<sup>43</sup> The technology has TRL9 for ad-hock charging for busses but is rated TRL 4 for long-range and high-speed applications.

ERS-technologieën, met name de E-Highway en Electron Wireless Road, bieden een interessante oplossingen voor duurzaam vrachtvervoer. Hoewel er nog steeds uitdagingen zijn, worden hier momenteel hard aan gewerkt. Landen zullen nauw moeten samenwerken om regelgeving, technologische standaarden en investeringsstrategieën voor een succesvolle implementatie van ERS.

### Battery swaps / batterijwisselstations

In het geval van 'battery swaps' hoeft een vrachtwagen niet te wachten op het laden van de batterij maar wordt de lege batterij omgewisseld voor een volle batterij. Het Chinese automerk NIO past dit toe voor personenauto's<sup>44</sup> en heeft ook wissellocaties in Nederland. Ook het automerk Stellantis onderzoekt de mogelijkheden van 'battery swap technology'<sup>45</sup>. Ook voor vrachtwagens wordt hieraan gewerkt door onder meer de batterij fabrikant CATL<sup>46</sup>. Behalve de tijdswinst van de chauffeur is er ook een bijkomend voordeel namelijk dat de batterijen op een lager vermogen kunnen worden geladen waardoor dit een positief effect heeft op de netcongestie. Zo kunnen de batterijen bijvoorbeeld geladen worden met behulp van zonnepanelen op momenten dat de zon schijnt, juist de momenten dat veel vrachtwagens onderweg zijn. Ook kan er worden geladen op locaties waar nog netcapaciteit beschikbaar is. Net als ERS vereist dit systeem wel standaardisatie en samenwerking tussen autoproducenten. Wat het effect van battery swap op het totaal aantal accu's heeft is nog niet goed bekend. Er zullen meer accu's nodig zijn, maar mogelijk gaan accu's door betere laad strategieën weer wel langer mee.

### Waterstof(H<sub>2</sub>)

Waterstof kan worden toegepast in een brandstofcel (*Fuel Cell Electric Vehicle*, FCEV) of in een verbrandingsmotor (H<sub>2</sub>-ICE; *Internal Combustion Engine*). In het geval van de FCEV wordt waterstof omgezet in elektriciteit in de brandstofcel. Die elektriciteit gaat naar de elektromotor (gedeeltelijk via een batterij) die het voertuig aandrijft. Ook kan remenergie teruggewonnen worden door het gebruik van de batterij. Bij deze processen komen geen CO<sub>2</sub> of schadelijke uitlaatemissies vrij. De FCEV technologie wordt als bewezen technologie gezien maar is nog duur.

Voor de waterstofverbrandingsmotor zijn er twee concepten. Het 'spark ignition' concept gaat uit van 100% waterstof. De waterstof ontbrand door een externe ontsteking. Dit concept leidt tot lage NO<sub>x</sub>-emissies. Bij het 'combustion-ignition' concept wordt gebruik gemaakt van een 'pilot fuel'. Het brandstofmengsel ontsteekt door de hoge druk. Deze toepassing leidt tot hogere NO<sub>x</sub> emissies en vereist daardoor meer emissiebehandeling. Tegelijk heeft deze toepassing ook een hogere energie-efficiëntie in vergelijking met het eerste concept. Ook is de CO<sub>2</sub> emissie niet nul, maar de verwachting is dat deze in de meeste toepassingen (in de dagelijkse praktijk) voldoet aan de zero-emissie definitie van de Europese Commissie van 3 g/ton.km.

Ten opzichte van de FCEV toepassing is in de H<sub>2</sub>-ICE toepassing minder zuivere waterstof nodig. Als echter zowel FCEV als H<sub>2</sub>-ICE voertuigen zullen worden geproduceerd ligt het voor de hand dat er slechts één type waterstof wordt aangeboden op tanklocaties waardoor dit voordeel wegvalt.

<sup>44</sup> [NIO | NIO Power](#)

<sup>45</sup> [Stellantis and Ample Establish Partnership to Leverage Ample's Modular Battery Swapping Technology for Use in Stellantis Electric Vehicles | Corporate Communications | Stellantis](#)

<sup>46</sup> [CATL presents battery swapping system for trucks | electrive.com](#)



H<sub>2</sub>-ICE wordt getest in demo trucks maar wordt nog niet geproduceerd wel ligt het concept dicht tegen de bestaande dieseltechnologie waardoor productie snel kan starten<sup>47</sup>. Momenteel is er amper duurzame waterstof beschikbaar, ook het aantal waterstoftanklocaties is beperkt.

### **Duurzame energiedragers**

Als gevolg van de Europese CO<sub>2</sub>-wetgeving ligt de focus van de ontwikkelingen in de voertuigtechnologie op batterij-elektrisch en waterstof. Naast deze energiedragers zijn kunnen ook biobrandstoffen en e-fuels een rol spelen in de verduurzaming van de transportsector.

### **Elektriciteit**

Elektriciteit kan worden gebruikt in een batterij-elektrisch voertuig en kan ook worden gebruikt voor de productie van waterstof. In 2022 werd 40% van de elektriciteit geproduceerd op basis van hernieuwbare bronnen<sup>48</sup>. Bij de productie van groene elektriciteit (bijvoorbeeld via zonnepanelen of windmolens) komen geen emissies vrij maar bij de productie van grijze elektriciteit (uit fossiele brandstoffen) leidt dit wel tot CO<sub>2</sub>-emissies. Deze emissies kunnen worden gecompenseerd worden door certificaten te kopen of door deze emissies op te slaan onder de grond. Elektriciteit kan worden gedistribueerd via het bestaande elektriciteitsnet. Wanneer elektrische voertuigen een aanzienlijk deel van de voertuigvloot gaan vormen, zal dit netwerk wel moeten worden verzwakt.

### **Waterstof**

Waterstof kan op verschillende manieren worden geproduceerd. Aan de verschillende productieroutes worden veelal een kleur gekoppeld om de duurzaamheid van het productieproces aan te geven. In deze sectie wordt op een aantal van dergelijke kleuren nader ingegaan.

- Grijze waterstof is waterstof die is geproduceerd op basis van grijze elektriciteit of waterstofproductie middels ‘*steam reforming*’ van aardgas waarbij CO<sub>2</sub> vrijkomt. Indien deze wordt opgeslagen onder de grond leidt dit niet tot een toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer (blauwe waterstof). In Nederland wordt deze techniek niet toegepast.
- Waterstof als bijproduct van chemische processen wordt als lichtgrijs beschouwt doordat bij de productie CO<sub>2</sub> vrijkomt maar deze er ook is als de waterstof niet gebruikt wordt<sup>49</sup>.
- Blauwe waterstof wordt geproduceerd als grijze waterstof, maar de CO<sub>2</sub> wordt ondergrond opgeslagen (ook wel CCS) waardoor de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer niet toeneemt.
- Groene waterstof is waterstof die is geproduceerd op basis van hernieuwbare elektriciteit waarbij geen CO<sub>2</sub> vrijkomt.

Waterstof kan worden getankt bij een waterstoftankstation. Er zijn momenteel 23 waterstoftankstation operationeel<sup>50</sup>. De distributie van waterstof naar de tankstations gebeurt momenteel veelal met speciale waterstoftankwagens ofwel *tube-trailers*. Door de lage energiedichtheid vereist dit een grote hoeveelheid *tube-trailers* en distributieritten en is deze transportwijze duur.

<sup>47</sup> TNO 2023. [The potential of e-fuels for heavy-duty road transport in the Netherlands R10213](#)

<sup>48</sup> [Aandeel hernieuwbare elektriciteit met 20 procent gestegen in 2022 \(cbs.nl\)](#)

<sup>49</sup> [Duurzame en fossiele waterstof in alle kleuren van de regenboog - Duurzaam energienieuws, WattisDuurzaam.nl](#)

<sup>50</sup> [Overzicht Waterstoftankstations H2BeNeLux \(waterstofnet.eu\)](#)



Het is ook mogelijk om het te distribueren via een (nog te ontwikkelen) pijpleidingensysteem of om de benodigde waterstof lokaal te produceren. Ook deze hebben hun eigen . In het geval van pijpleidingen zal de waterstof niet zuiver genoeg zijn voor gebruik in een brandstofcel en daarom extra zuivering behoeven. Lokale productie vereist een voldoende grote elektriciteitsaansluiting en aanzienlijk grotere en kostbare waterstofopslag. Welke distributiemethode het meest geschikt is, hangt af van omgevingsfactoren (zoals nabijheid van een H<sub>2</sub>-pijpleidingnetwerk, beschikbare ruimte, netcapaciteit) en de benodigde capaciteit van het waterstofstation.

### **E-fuels**

E-fuels (e-brandstoffen ofwel synthetische brandstoffen) kunnen worden toegepast in voertuigen met een verbrandingsmotor. E-fuels kunnen worden geproduceerd met behulp van waterstof en koolstof (bijvoorbeeld e-diesel, e-methanol of e-DME) of waterstof en stikstof (e-ammonia). Alleen als er gebruik wordt gemaakt van groene of blauwe waterstof én er geen CO<sub>2</sub> wordt uitgestoten bij het winnen van koolstof of stikstof, leidt de productie van e-fuels niet tot een toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer. Door verduurzaming van alle sectoren wordt het winnen van koolstof in de toekomst complexer. Dit zou bijvoorbeeld uit de buitenlucht kunnen worden gehaald, maar dit is een dure technologie.

De verbranding van e-fuels leidt wel tot uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Deze uitstoot is met moderne behandelingssystemen flink in te perken. Voor het gebruik van e-fuels in conventionele voertuigen hoeven deze niet of maar zeer beperkt te worden aangepast. Voor distributie en tanken kan veelal gebruik worden gemaakt van bestaande tankwagens en tankstations.

Momenteel worden e-fuels nog niet op grote schaal geproduceerd en wanneer dit wel gaat gebeuren is nog onbekend. Bovendien heeft het een relatief laag ketenrendement waardoor het de voorkeur heeft om e-fuels vooral toe te passen in sectoren waar energiedragers met een hoger rendement niet mogelijk zijn. Bijvoorbeeld de luchtvaart of zeevaart.

### **Biobrandstoffen**

Biobrandstoffen kunnen worden toegepast in voertuigen met een verbrandingsmotor. De regels die worden gesteld aan de biomassa die hiervoor mag worden gebruikt worden steeds strenger om onwenselijke effecten zoals ontbossing te voorkomen. Bij het gebruik van de juiste biomassa-bronnen leidt in inzet van biobrandstoffen niet tot een toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer. Wel leidt de verbranding van biobrandstoffen tot de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Door strenge Europese emissie-eisen aan nieuwe voertuigen zijn deze emissies in de laatste decennia sterk afgenomen. Net als bij e-fuels kunnen ook biobrandstoffen worden gebruikt in conventionele voertuigen die in hele beperkte mate zijn aangepast. Voor distributie en tanken kan veelal gebruik worden gemaakt van bestaande tankwagens en tankstations. Het gebruik van biobrandstoffen geproduceerd op basis van voedsel gewassen is door de Europese Commissie ingeperkt door de risico's op het verdringen van voedselproductie.

Ook de productie van biobrandstoffen uit afgewerkte olie en dierlijke vetten zijn gelimiteerd in de RED. De beschikbaarheid van biobrandstoffen zal daardoor naar verwachting beperkt zijn waardoor deze bij voorkeur worden ingezet in sectoren die lastig te verduurzamen zijn. E-fuels en biobrandstoffen kunnen ook worden bijgemengd met fossiele brandstoffen. In dat geval is nog wel sprake van netto toename van CO<sub>2</sub>-emissies (namelijk uit verbranding van de fossiele brandstof), maar minder dan bij het gebruik van volledig fossiele brandstoffen.

### ***Reduceren van volume van wegverkeer***

Ook bij goederenvervoer zijn er mogelijkheden om van vervoerswijze te veranderen. Transportbeleid voor goederenvervoer is veelal gericht op het bereiken van een *modal shift* van weg naar spoor en binnenvaart, om onder meer de druk op de weginfrastructuur te verminderen en het goederenvervoer te verduurzamen. De Nederlandse overheid stimuleert middels diverse projecten actief de modal shift van goederenvervoer van weg naar water, en spoor. Zo is er de Modal Shift-regeling<sup>51</sup> met als doel het containervervoer op de corridors Oost en Zuid-Oost van weg naar binnenvaart om te buigen. Echter, voor veel bulk- en breakbulktransport zijn trein en binnenvaart al de primaire vervoersmodaliteiten. Wegtransport wordt hier met name voor de *last mile* of specifieke kleine niches gebruikt. De potentie voor additionele modal shift is hiermee beperkt voor deze productgroepen (TNO,2020). In de terugsluisregeling zoals beschreven in 2.1.2 is ook opgenomen dat onderzoek wordt gedaan naar het optimaliseren van de logistieke keten.

Containertransport leent zich goed voor modal shift. Vervoer per trein en binnenvaart is per container (TEU) goedkoper en duurzamer. Wegvervoer is echter nog steeds goed voor een marktaandeel van 50% (ladinggewicht). Dit komt onder meer door congestie in havens, doorlooptijd, flexibiliteit, organisatorische belemmeringen en fluctuatie in omvang van goederenstromen gedurende het jaar (TNO, 2020). Om de flexibiliteit van gebruik van verschillende modaliteiten te bevorderen wordt daarom een geavanceerdere manier van modal shift ontwikkeld: synchromodaliteit. Dat is het synchroniseren van de logistieke transportvraag met de beschikbare capaciteit van de verschillende modaliteiten. Door efficiënte inrichting van overslaglocaties en real-time planning kan steeds de best passende modaliteit worden gekozen voor de goederen. Dit principe kan bijvoorbeeld toegepast worden bij de keuze tussen weg- en spoorvervoer of scheepvaart. Echter, omdat het marktaandeel van containers relatief beperkt is (7,6% van de TTW CO<sub>2</sub>-uitstoot van het goederenvervoer), is de potentie van deze maatregel beperkt, zeker als alleen naar vervoer over langere afstanden wordt gekeken.

Door het verhogen van de logistieke efficiëntie neemt de CO<sub>2</sub>-uitstoot per vervoerd product af. Voorbeelden van mogelijke manieren om deze efficiëntie te verhogen zijn betere logistieke planning, productontwerp of verpakkingsontwerp (verpakking van product of containers waarin producten worden vervoerd) waardoor een hogere bezettingsgraad mogelijk is. Andere opties zijn bijvoorbeeld *platooning* (*trucks dicht achter elkaar laten rijden waardoor de luchtweerstand afneemt*), *near sourcing* (het verplaatsen van productieproces naar een locatie dicht bij de consument/afnemer) en 3D-printen. Met dergelijke maatregelen is in potentie wel 10% tot 50% efficiëntieverbetering te behalen afhankelijk van het goederensegment [1].

## **2.3 Barrières voor introductie en/of opschaling**

### ***Overstap naar duurzame energiedragers***

Alle hierboven beschreven technologieën en energiedragers zijn voldoende ver ontwikkeld om aan te nemen dat zij op termijn op grote schaal beschikbaar zouden kunnen worden gemaakt voor wegmobiliteit. Dit wil echter niet zeggen dat alle technologieën ook (grootschalig) toegepast zullen gaan worden. Enerzijds is schaalgrootte nodig om kosten te reduceren en om significante investeringen in technologieontwikkeling te kunnen verantwoorden.

<sup>51</sup> <https://containersvanwegnaarbinnenvaart.nl/>

Anderzijds is op basis van de meest recente studies de verwachting dat batterij elektrische voertuigen vanuit kosten en inzetbaarheid voor het grootste deel van de inzet het meest kansrijk zijn, waardoor andere energiedragers mogelijk niet de benodigde schaalgroottes kunnen behalen binnen het wegtransport en daardoor afhankelijk zijn van ontwikkelingen in andere sectoren zoals de binnenvaart en mobiele werktuigen. Daarnaast is het ook mogelijk dat in de lastig te elektrificeren toepassingen van ‘battery swaps’ of ERS gebruik gemaakt wordt.

### *Ingroei batterij elektrische voertuigen*

Groene elektriciteit wordt momenteel al op grote schaal geproduceerd. Ook de productie en verkoop van elektrische personenauto's is de laatste jaren sterk toegenomen. De introductie van bestelwagens komt in Nederland langzaam maar zeker goed op gang. De productie en verkoop van elektrische vrachtwagens is echter nog beperkt, zoals te zien in tabel 2.4.

**Tabel 2.4:** Aantal vrachtwagens en trekker-opleggers per energiedrager in Nederland (Bron: RDW data)

| Jaar | Benzine | CNG | Diesel | LNG  | LPG | Elektriciteit | Waterstof | Totaal |
|------|---------|-----|--------|------|-----|---------------|-----------|--------|
| 2019 | 2184    | 173 | 151435 | 334  | 746 | 93            | 0         | 154965 |
| 2020 | 2129    | 195 | 152774 | 467  | 803 | 177           | 1         | 156546 |
| 2021 | 2107    | 186 | 151089 | 676  | 843 | 199           | 3         | 155103 |
| 2022 | 2133    | 181 | 154022 | 993  | 885 | 246           | 4         | 158464 |
| 2023 | 2142    | 173 | 156871 | 1099 | 929 | 323           | 12        | 161549 |

Op basis van onderzoek uit 2022 is de verwachting dat kosten en inzetbaarheid van batterij elektrische vrachtwagens op korte termijn voor het grootste deel van het park geen belemmering meer zullen zijn voor een verdere ingroei van batterij elektrische vrachtwagens. Wel is van belang om te onderzoeken voor welk deel van de inzet batterij elektrische vrachtwagens moeilijk haalbaar zal zijn. bijvoorbeeld doordat grote afstanden worden verreden, door de zware inzet of doordat men voor het laden afhankelijk blijft van relatief dure publieke laadinfrastructuur.

De verwachting is dat er andere barrières zijn die de verdere ingroei van zero-emissie technologie kunnen belemmeren. In eerdere studies<sup>52</sup> is een lijst gegeven van dergelijke barrières.

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de belangrijkste barrières vanuit batterij elektrische voertuigen en voertuigen met een waterstoftoepassing.

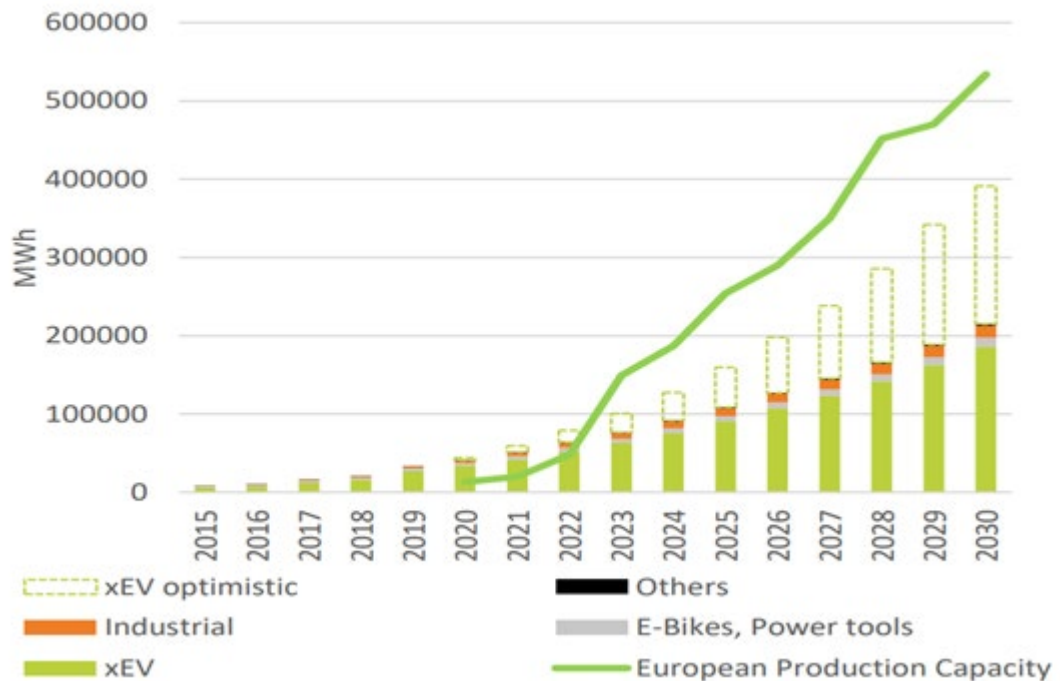
- Beschikbaarheid van kritieke materialen
- Beschikbaarheid van voertuigen (productie)
- Beschikbaarheid van tank- en laadinfrastructuur en voldoende netcapaciteit

### **Beschikbaarheid van kritieke materialen**

Kritieke grondstoffen spelen een cruciale rol in de energietransitie en de transportsector. Deze materialen maken integraal deel uit van verschillende voertuigonderdelen, van de carrosserie tot essentiële onderdelen zoals batterijen, elektromotoren en chips (vermogenselektronica). De uitdagingen in verband met kritieke materialen omvatten extractie, raffinage en de productie van componenten.

<sup>52</sup> [TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning \(KEV\) 2022](#)

Dit onderwerp heeft veel aandacht gekregen op de agenda's van zowel de Europese Unie (EU) als de Original Equipment Manufacturer (OEM).



**Figuur 2.2:** Beschikbaarheid en vraag naar batterijen bron [www.eurobat.org](http://www.eurobat.org))

De EU heeft een plan opgesteld om te zorgen voor voldoende batterijproductie binnen haar grenzen. Op dit moment komt een aanzienlijk deel van de materialen die nodig zijn voor de batterijproductie echter uit China of wordt daar geraffineerd. De productie van elektromotoren kent geen noemenswaardige problemen en de investeringen in lokale productie van vermogenslektronica nemen geleidelijk toe.

Bij het aanpakken van de raffinage van materialen streeft Europa's benadering van kritieke grondstoffen (CRM) naar een adequate winning en raffinage van materialen binnen Europa. De CRM Act stelt een doelstelling voor van 10% voor het betrekken van materialen uit de EU, maar dit is niet genoeg om de vereiste hoeveelheid te dekken. Zelfs met dit bescheiden streefcijfer geeft het rapport van Allianz<sup>53</sup> reden tot bezorgdheid over de haalbaarheid voor sommige CRM's.

Een wereldwijde kijk op de beschikbaarheid van CRM brengt uitdagingen aan het licht, vooral voor lithium en nikkel. Het is onzeker of tot 2050 aan de vraag kan worden voldaan. Deze beoordeling houdt echter geen rekening met het delen van hulpbronnen met andere industrieën die zich in een overgangsfase bevinden, en recycling biedt de EU een belangrijke kans om meer materialen terug te winnen.

<sup>53</sup> Critical raw materials, Allianz paper, Munich 2023

**Tabel 2.5:** Beschikbaarheid en vraag naar kritieke materialen<sup>54</sup>

|             | Wereldwijde vraag | Wereldwijde reserves (schatting 2022) Mt | Land van herkomst                            |
|-------------|-------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Lithium     | 16                | 13,5                                     | Chile 37% , Australia 32%, China 13%         |
| IJzer/staal | 126               | 87000                                    | China 30%, Australia 13%, Brazil 14%         |
| Fosfor      | 16                | 71                                       | Morocco 70%, China 3%                        |
| Nickel      | 80                | 81                                       | Indonesië 32%, Philippines 12%, Australia 9% |
| Mangaan     | 12                | 570000                                   | Afrika 24%, China 26%, Australia 18%         |
| Kobalt      | 17                | 7200                                     | Congo 52%, China 7%, Canada 6%               |
| Aluminium   | 26                | 28000                                    | China 46%, Russia 6%, Canada 6%              |
| Grafiet     | 145               | 320000                                   | China 62%; India 12%                         |

Binnen de EU worden nieuwe CRM-bronnen ontdekt, maar huidige schattingen wijzen mogelijk op tekorten om aan de verwachte behoeften te voldoen. De lithiumreserves bedragen bijvoorbeeld 5 miljoen ton, terwijl de vraag van de EU naar auto's alleen al wordt geschat op 1,3 miljoen ton tegen 2050. Veel fabrikanten (OEM's) kopen materialen proactief rechtstreeks in bij het bronland om onzekerheden te verminderen. [Referentie: Volkswagen, Mercedes-Benz werken samen met Canada om batterijmaterialen te promoten | Reuters] Omdat fabrikanten het belang van duurzaamheid erkennen, wordt materiaalrecycling een kritieke factor. Omdat de CRM-uitdagingen blijven bestaan, wenden OEM's zich steeds vaker tot recycling<sup>55</sup> om onafhankelijk te worden van de toeleveringsketen.

Ondanks de uitdagingen op het gebied van CRM wijzen historische trends erop dat een grotere vraag vaak leidt tot de ontdekking van nieuwe hulpbronnen. Experts wijzen erop dat Europa zijn eigen hulpbronnen moet verkennen en niet langer (of minimaal minder) afhankelijk moet zijn van externe bronnen.

### Beschikbaarheid van voertuigen (productie)

Gegeven de Europese normen en de reductiepotentie van conventionele voertuigen zullen fabrikanten moeten inzetten op de productie van zero-emissie technologie. Een groot deel van de fabrikanten heeft al aankondigingen gedaan van hoge aandelen elektrische vrachtwagen verkopen in 2030 waaronder Volvo, Scania en Renault<sup>56</sup>. Hoewel niet expliciet genoemd is de verwachting dat het grootste deel van deze voertuigen batterij-elektrisch zal zijn. Op korte termijn zal de productie nog beperkt zijn waardoor beschikbaarheid op deze termijn nog wel een barrière zal zijn.

Fabrikanten verwachten dat waterstof vooral interessant zal zijn voor vrachtwagens die 24 uur per dag worden ingezet, voertuigen met een zware inzet en in landen waar de netcapaciteit te beperkt is om op hoog vermogen te snelladen<sup>57</sup>.

<sup>54</sup> Strategic-Raw-Materials-for-Defence-HCSS-2023-2.pdf en Mineral Commodity Summaries 2022 - Fosfaat (usgs.gov)

<sup>55</sup> Recycling van batterijen neemt het voortouw, McKinsey

<sup>56</sup> [Volvo Trucks](#) | [Scania Group](#) | [Renault Trucks Corporate](#)

<sup>57</sup> [Wanneer en waarom vrachtwagens op waterstof? | Volvo Trucks](#)

Momenteel is het aanbod van brandstofcelvrachtwagens beperkt. Vrachtwagens met een verbrandingsmotor voor waterstof worden nog niet commercieel aangeboden. Zowel de aankondiging van fabrikanten als de Europese wetgeving geeft aanleiding te verwachten dat het aanbod van zero-emissie vrachtwagens richting 2030 fors zal toenemen. Waardoor dit op de middellange termijn geen belemmering zal zijn.

### **Beschikbaarheid van tank- en laadinfrastructuur**

Op basis van verschillende nieuwsberichten en onderzoeken komt naar voren dat de beschikbaarheid van netcapaciteit de ingroei van batterij elektrische vrachtwagens kan belemmeren. Op basis van analyses blijkt dat ca. 80% van de huidige vrachtvoertuigen zijn geregistreerd op een locatie waar momenteel geen of voorlopig geen capaciteit beschikbaar is<sup>58</sup>. Ook lijkt het te ontbreken aan een overzicht van de ontwikkeling van energievraag naar locaties waardoor zowel toekomstige vraag als aanbod onbekend is. Daarmee is ook de omvang van de opgave die voor ligt onduidelijk. Wel wordt er gewerkt aan mitigerende oplossingen, echter is nader onderzoek nodig om in te schatten in welke mate mitigerende oplossingen ook daadwerkelijk kunnen bijdragen aan het realiseren van additionele zero-emissie voertuigen en wat eventuele kosten hiervan zijn. Als de opgave te groot zal blijken, nemen de kansen voor vrachtwagens met waterstof als energiedrager toenemen. Tegelijkertijd wordt in de AFIR geëist dat Nederland publieke laadinfrastructuur realiseert waardoor het voor de hand ligt dat de overheid hierop zal acteren en een minimaal netwerk zal realiseren.

Duurzame waterstof is nodig voor de verduurzaming van verschillende sectoren, waaronder de industrie en de lucht- en scheepvaart (productie van e-fuels). Het is daarom aannemelijk dat grootschalige productie op gang zal komen in de komende decennia. De toekomstige rol van waterstof in wegtransport is echter minder zeker dan de rol van elektriciteit. In welke mate er grootschalige productie zal komen van waterstofvoertuigen is onzeker. Door de uitrol van waterstoftankstations goed te combineren met locaties voor binnenvaart schepen en mobiele werktuigen worden enerzijds schaalvoordelen behaald en neemt de onzekerheid rondom bezettingsgraad en businesscase af. Dit zal echter maar kunnen voor een beperkt aantal tanklocaties. Voor overige tankstations, bovenop wat er nodig is om te voldoen aan de AFIR, geldt dat investeringen risicovoller zijn dan in laadinfrastructuur voor elektrische vrachtwagens.

Het bevoorraden van waterstoftankstations met tube trailers duur doordat maar beperkt waterstof kan worden meegenomen. Alternatieve bevoorradingsopties zijn het aansluiten op een pijpleiding of lokale opwek. Op basis van de bestaande pijpleiding voor waterstof kan geen landelijk dekkend netwerk worden gerealiseerd, bovendien dient de waterstof uit de pijpleiding nog te worden gezuiverd voor het toegepast kan worden en een brandstofcel. Indien er voldoende vraag ontstaat, zou lokale productie op verschillende plaatsen wenselijk kunnen zijn. Hiervoor zal vermoedelijk echter ook netverzwaring nodig zijn. Nader onderzoek is nodig om deze belemmering op de tank- en laadinfrastructuur te kwantificeren.

### **Reduceren van volume van wegverkeer**

De voornaamste reden om volume van wegverkeer te reduceren is dat het CO<sub>2</sub> bespaart en een kostenreductie het oplevert. Een lagere energiebehoefte betekent immers ook lagere transportkosten per vervoerd product. Echter, implementatie van dergelijke reducerende maatregelen vergt veelal investeringen en (verregaande) organisatieveranderingen (bijvoorbeeld in het geval van ketensamenwerking). Ook kunnen maatregelen invloed hebben op andere logistieke parameters, zoals doorlooptijd en flexibiliteit.

<sup>58</sup> <https://publications.tno.nl/publication/34641306/jFVfEA/TNO-2023-R11744.pdf>

Het is hiermee geen gegeven dat wanneer een maatregel kostenverlagend is, dit afdoende reden is voor de markt om de maatregel daadwerkelijk door te voeren. Door een afname van de logistieke kosten, bijvoorbeeld door de transitie naar zero-emissie voertuigen, kan de vraag naar wegtransport weer stijgen (*rebound-effect*), waardoor de CO<sub>2</sub>-reductie wordt beperkt. Een dergelijk rebound-effect kan worden beperkt door normering, of door de vrachtwagenheffing al dan niet aangevuld met bepaalde flankerende eisen. Door een dergelijke beleidsmaatregel leidt het maken van meer kilometers tot hogere kosten, waardoor verladers en vervoerders extra worden gestimuleerd om hun activiteiten uit te voeren binnen beperkte kilometers. Echter, vanwege het beperkte aandeel dat transportkosten uitmaken van de kostprijs van de vervoerde producten, zijn de effecten die hiermee teweeg kunnen worden gebracht beperkt.

## 2.4 Bepaling van milieu-impact van beleidsmaatregelen vrachtverkeer

Het bepalen van effecten van beleid is van belang omdat op basis daarvan kan worden bepaald hoe groot de kans is dat bepaalde beleidsdoelen worden gehaald. Een belangrijk doel is bijvoorbeeld het doel om in 2030 55% minder CO<sub>2</sub> te emitteren in vergelijking met 1990. In de KEV wordt jaarlijks het nationale klimaat en energiebeleid geëvalueerd. Om te bezien of het Nederlandse beleid in lijn is met de klimaatwet.

In deze analyse wordt door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) gebruik gemaakt van verschillende modellen. Met behulp van het goederenvervoersmodel BasGoed worden de effecten van economische en demografische ontwikkelingen op het vervoer van goederen op de weg, het spoor, de binnenvaar en de zeevaart gemodelleerd. Voor wat betreft wegvervoer worden de goederenstromen vertaald naar ritten waarmee herkomst-bestemming matrices opgesteld worden. Deze matrices zijn invoer voor het Landelijk Model Systeem (LMS). De totale voertuigkilometers in een toekomstige jaar worden bepaald inde wisselwerking tussen LMS en BasGoed.

Het wagenpark wordt gemodelleerd met behulp van het trendmodel TREVA. In dit model wordt onderscheid gemaakt naar vier voertuigtypen, te weten:

- Vrachtauto licht
- Vrachtauto middel
- Vrachtauto zwaar
- Zware trekker

De jaar op jaar export, sloop en import zijn gebaseerd op geobserveerde trends op het niveau van de vier voertuigtypen en per leeftijdsjaar. De instroom van nieuwe voertuigen voor de vrachtauto's is gebaseerd op langjarige gemiddelden. Voor trekker-opleggers is een relatie met de BBP groei gemodelleerd.

De jaarkilometrages in TREVA zijn gedifferentieerd per voertuigtype en leeftijdsjaar. Doordat het definitieve totaal kilometrage door BasGoed/LMS wordt bepaald, worden de kilometers die volgen uit TREVA geschaald om aan te sluiten op BasGoed/LMS.



### Uptake modellen

Sinds de introductie van zero-emissie vrachtwagens en het beleid om deze voertuigen te stimuleren komt naar voren dat trendmodellen niet goed in staat zijn om de ingroei van nieuwe aandrijftechnologieën te voorspellen. In die context heeft TNO in 2021 en 2022 gewerkt aan het opstellen van een constraint-response model<sup>59</sup>. Met dit model wordt de betaalbaarheid en inzetbaarheid van zero-emissie technologieën vergeleken met conventionele voertuigen. Naast betaalbaarheid en inzetbaarheid spelen ook andere factoren een rol, bijvoorbeeld de beschikbaarheid van voertuigen, laadinfrastructuur, netcapaciteit en ruimte maar ook de attitude van eigenaren ten opzichte van nieuwe technologieën. Op dit moment zijn deze factoren nog niet gekwantificeerd. De doelstelling is om zoveel mogelijk factoren ('constraints') te kwantificeren en zo goede voorspellingen te maken van de verwachte ingroei van zero-emissie voertuigen. In 2023 zijn op dit vlak stappen gezet met het kwantificeren van de beschikbaarheid van netcapaciteit<sup>60</sup>. In de KEV23 is gebruik gemaakt van een wagenparkmodel van Revnext.

In 2023 heeft TNO een voorstudie gedaan voor een nieuw te ontwikkelen wagenparkmodel voor bestel en vrachtauto's. belangrijke uitgangspunten voor een dergelijk model is dat ingroei van nieuwe aandrijftechnologieën samenhangt met de voertuigtype. Ook wordt aanbevolen om het model bottom-up op te bouwen. Dit betekent dat niet vier voertuigtypen worden gemodelleerd zoals nu het geval is in TREVA maar dat unieke voertuigen worden gemodelleerd zodat op elk gewenst niveau geaggregeerd kan worden en er recht kan worden gedaan aan specifieke voertuigontwikkelingen. Zo kan een bottom-model beter rekening houden met lastig te elektrificeren niches als gevolg van een specifieke inzet.

### Verder vervolgonderzoek

Zaken als netwerkcongestie, strategieën voor opschaling van laadinfrastructuur inclusief ERS en mogelijkheden van batterijwisselstations, onderzoek naar energie efficiëntie van BEV's ook de komende jaren aandacht nodig. Daarnaast zijn ook nog volgende aandachtspunten relevant:

#### *Buitenlandse vrachtwagens*

Uit een studie uit 2015 van TNO blijkt dat het aandeel buitenlandse vrachtwagens in camera detecties van vrachtwagens ca. 20% is. Tussen verschillende camera locaties bestaat een sterke spreiding, deels afhankelijk van de afstand tot de grens maar er is ook een relatief hoger aandeel op typische transport corridors<sup>61</sup>. Om tot een betere inschatting te komen van de inzet van buitenlandse vrachtwagens in Nederland is meer onderzoek noodzakelijk. Tegelijkertijd is de verwachting dat de introductie van de vrachtwagenheffing in 2026 ertoe zal leiden dat meer data beschikbaar komt.

#### *Inzet van vrachtwagens*

Er is ook een gebrek aan bruikbare data over hoe vrachtwagens binnen Nederland worden ingezet. Gebruik makend van de data over de inzet van vrachtwagens kan de laadinfrastructuur worden uitgebreid op de plekken waar dit het meest nodig is. Dit kan zowel door middel van publieke laadpleinen als door het verzwaren van aansluitingen van grootverbruikers. Ook is er een gebrek aan onderzoek naar de ontwikkelingen in vraag en aanbod van elektriciteit.

<sup>59</sup> TNO 2021. Aanzet tot een analysekader betreffende de ingroei en opschaling van elektrische bestel- en vrachtoertuigen in de Nederlandse vloot tot 2040 R11987 & TNO 2022. Techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in Europe. R11862

<sup>60</sup> <https://publications.tno.nl/publication/34641306/jFVfEA/TNO-2023-R11744.pdf>

<sup>61</sup> TNO, 2016. Composition and payload distribution of the on-road heavy-duty fleet in the Netherlands. TNO R10040.



De resultaten van dit onderzoek kunnen bijdragen aan een gerichtere aanpak voor het uitbreiden van de laadinfrastructuur en tot betere inschattingen van de ingroei van batterij elektrische vrachtwagens.

Wegtypeverdeling zegt iets over op welk wegen een voertuig rijdt. Door onderzoek te starten naar de correlatie tussen jaarkilometrages en wegtypeverdeling kan het wagenpark model nog verder uitgebreid worden. De uitgebreide mogelijkheden kunnen leiden tot gericht beleid. Zo kunnen er uitspraken worden gedaan over de verdeling in het gebruik van wegtypes per voertuigtype, per energiedrager of leeftijd van voertuig, omdat van al deze categorieën de jaarkilometrages bekend zijn.

*Impact sociale factoren op vervangingsgedrag*

Er is nog veel onduidelijk in welke mate sociale factoren meespelen in de besluitvorming met betrekking tot inzet en aanschaf van voertuigen. Onderzoek naar deze sociale factoren kan waarde toevoegen aan het wagenparkmodel. Vaak wordt ervan uitgegaan dat de markt voor bedrijfsvoertuigen meer gedreven wordt door de totale eigendomskosten dan de particuliere voertuigenmarkt. Dit betekent echter niet dat sociale factoren ook tot op zekere hoogte besluitvorming rondom inzet en aanschaf van bedrijfsvoertuigen beïnvloeden.

# 3 Binnenvaart

## 3.1 Beleidsdoelen voor de binnenvaart

De binnenvaart heeft een relatief groot aandeel in het goederenvervoer in Nederland en gebruikt momenteel vrijwel uitsluitend fossiele brandstof. De binnenvaart op de Nederlandse wateren kan verdeeld worden in de:

- “nationale binnenvaart”, oftewel schepen die ladingen binnen Nederland vervoeren,
- “internationale binnenvaart” dat bestaat uit binnenvaartschepen die ladingen van Nederland naar het buitenland vervoeren.

De internationale binnenvaart in Nederland telt weliswaar niet mee voor de nationale klimaatdoelen, maar beslaat wel ongeveer 85% van het energieverbruik van de binnenvaart in Nederland, zoals weergegeven in tabel 3.1. Om uiteindelijk tot een duurzame binnenvaart in Nederland te komen, is een internationale aanpak dan ook zeer belangrijk. De meest relevante bestuursstructuren zijn daarbij de Europese Unie en de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR).

Tabel 3.1: Energieleveringen aan de binnenvaart en uitstoot van broeikasgassen in 2019

|                             |                 | Energielevering<br>[petajoule] | Uitstoot broeikasgassen<br>[megaton] |
|-----------------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Binnenlandse binnenvaart*   | Goederenvervoer | 5,0                            | 0,4                                  |
|                             | Passagiersvaart | 1,6                            | 0,1                                  |
| Internationale binnenvaart* |                 | 36,1                           | 2,6                                  |
| Totaal                      |                 | 42,6                           | 3,1                                  |

Noot: binnenlandse binnenvaart betreft binnenvaartschepen die lading binnen Nederland vervoeren. Internationale binnenvaart betreft binnenvaart die een lading over de grens vervoert.

### 3.1.1 Beleid Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR)

De CCR bestaat uit 5 lidstaten (België, Duitsland, Frankrijk, Nederland en Zwitserland) en is actief op technisch, juridisch, economisch, sociaal en milieugebied. Een overeenkomst tussen lidstaten uit 1952 (aanvulling op Akte van Mannheim) bepaalt dat CCR-lidstaten geen douanerechten of accijnzen zullen heffen op gasolie die in de Rijnvaart gebunkerd wordt.

In de Verklaring van Mannheim uit 2018 hebben de bevoegde ministers van de lidstaten van de CCR bevestigd dat zij ernaar streven de uitstoot van broeikasgassen en luchtverontreinigende stoffen nagenoeg uit te bannen tegen 2050. Daarnaast is het doel om de uitstoot van broeikasgassen en luchtverontreinigende stoffen tegen 2035 met tenminste 35% ten opzichte van 2015 terug te dringen. In deze verklaring werd de CCR ook opgedragen om het voortouw te nemen voor het opzetten van een nieuw financieel instrument om de genoemde doelstellingen te bereiken. Daar zijn enkele onderzoeksprojecten uit voortgekomen, maar nog geen concrete maatregelen.

De Klimaat- en Energieverkenning 2022 (KEV2022) verwacht bij het huidige vastgestelde en voorgenomen beleid (situatie per 1 mei 2022) een lichte groei van de uitstoot van broeikasgassen door de binnenvaart. Deze toename wordt veroorzaakt door een verdergaande groei van de hoeveelheid vervoerde tonnen tussen 2019 en 2040 van gemiddeld 0.8% per jaar, waarbij het gemiddelde energieverbruik wel omlaag gaat door schaalvergroting en de introductie van zuinigere Stage V binnenvaartmotoren. Het CCR doel van 35% reductie in 2035 ten opzichte van 2015 is op deze manier wel ver uit zicht. De nieuwe Europese plannen voor hernieuwbare energie in vervoer zijn in de KEV2022 nog niet verwerkt, deze plannen worden hierna toegelicht.

### 3.1.2 Beleid Europese Unie

De Europese Commissie heeft in haar Sustainable and Smart Mobility Strategy als doel gesteld om in 2050 de CO<sub>2</sub>-emissies in de transportsector met 90% te reduceren ten opzichte van het niveau in 1990. Daarnaast heeft de Europese commissie het Fit-for-55 pakket gelanceerd om het algehele emissiereductiedoel van 55% in 2030 te behalen. Dit pakket bevat enkele voorstellen die de binnenvaart raken.

#### ***Herziening richtlijn hernieuwbare energie (RED III)***

De richtlijn hernieuwbare energie (Renewable Energie Directive II [REDII] ) bevat enkel een verplichting voor inzet van hernieuwbare energie in weg- en railtransport. Deze verplichting wordt uitgebreid naar alle brandstofleveringen aan vervoer, inclusief de brandstoffen voor de binnenvaart (RED III). Voor Nederland is dit relevant, aangezien 60% van de energieleveringen aan de transportsector voor de binnenvaart is.

De herziene richtlijn geeft lidstaten twee mogelijkheden om de inzet van hernieuwbare energie te reguleren:

- via een verplichte reductie van de broeikasgasintensiteit van de brandstoffen ten opzichte van de fossiele referentiebrandstof die oploopt tot 14,5% in 2030 of
- via een verplicht aandeel hernieuwbare energie dat oploopt tot 29% in 2030.

#### ***Binnenvaart geen onderdeel van herziening Europese emissiehandelssysteem (ETS-BRT)***

Het Europese emissiehandelssysteem (ETS) is een instrument gericht op kosteneffectieve broeikasgasreductie en bestaat sinds 2005. Er is een vaste hoeveelheid uitstootrechten dat in de loop der tijd verlaagd wordt. Bedrijven in het ETS zijn verplicht voldoende rechten te bemachtigen voor hun CO<sub>2</sub>-uitstoot. De rechten zijn handelbaar. Door de hoeveelheid rechten jaarlijks te laten afnemen, stijgt de marktprijs voor uitstootrechten en is er dus een prikkel voor bedrijven om minder uit te stoten. De binnenvaart valt nog niet onder het ETS, maar er is wel een opt-in mogelijkheid. Nederland is voornemens om de binnenvaart onder het ETS te brengen, hoe en wanneer wordt nog onderzocht. (Kabinetsaanpak Klimaatbeleid | Tweede Kamer der Staten-Generaal)

#### ***Verordening infrastructuur voor alternatieve brandstoffen (AFIR)***

De richtlijn voor infrastructuur voor alternatieve brandstoffen (AFID) bevat minimumeisen voor de uitrol van infrastructuur voor alternatieve energiedragers. In het Fit-for-55 pakket stelt de Commissie voor om deze regels aan te scherpen in een verordening: de Alternative Fuel Infrastructure Regulation (AFIR).

Inmiddels is binnen de EU overeenstemming bereikt over het voorstel. In de AFIR (EC2021d) wordt voor de binnenvaart als doel gesteld dat elke binnenvaarthaven van het TEN-T kernnetwerk 1 walstroominstallatie zal hebben per 2025 en elke binnenvaarthaven van het uitgebreide TEN-T netwerk 1 walstroominstallatie per 2030. Het gebruik hiervan vermindert de uitstoot van CO<sub>2</sub> en luchtverontreinigende stoffen.

### ***NAIADES III: Boosting future-proof European Inland waterway transport***

NAIADES III is een actieplan voor de binnenvaart uit 2021. Het heeft als doel een modal shift voor vervoer van goederen van de weg naar het spoor en de binnenvaart, want dat is efficiënter. Daarnaast wil de Europese Commissie de binnenvaart vergroenen. In 2025 wordt de noodzaak geëvalueerd voor wetgevende maatregelen die de introductie van ZE schepen stimuleren.

### ***Stage V emissienormen voor terugdringen luchtverontreinigende stoffen***

De hoogte van de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen van verbrandingsmotoren wordt bepaald door Europese regelgeving. Als gevolg van de Stage V emissienormen moeten nieuwe dieselmotoren in de EU sinds 2020/21 voldoen aan relatief strenge emissienormen wat leidt tot waardoor schoon zijn, met lage uitstoot van stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en fijnstof. Hiervoor wordt nabehandeling toegepast van de uitlaatgassen. Bij gebruik van biobrandstoffen, methanol of waterstof gelden dezelfde emissienormen en resulteren min of meer dezelfde emissieniveaus als bij het gebruik van fossiele diesel.

Ervaringen uit het wegverkeer leren wel dat het belangrijk is om te monitoren of de uitstoot van nieuwe type motoren en uitlaatgasnabehandeling ook onder praktijkomstandigheden daadwerkelijk laag is. Er zijn veel oorzaken denkbaar waarom emissies in de praktijk toch hoger kunnen uitvallen. Bijvoorbeeld omdat de typekeuring niet representatief is voor de praktijkinzet van motoren.

## **3.1.3 Beleid Nederlandse overheid**

De overheid streeft naar een klimaatneutrale binnenvaart in 2050. De Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens uit 2019 bevat een doelstelling van 150 zero-emissie schepen in 2030 en een reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de Nederlandse binnenvaartvloot van 40 à 50% in 2030 ten opzichte van 2015.

### ***Subsidies vanuit het Nationaal Groeifonds***

Vanuit het Nationaal Groeifonds is er 50 miljoen euro geïnvesteerd in de ontwikkeling van 45 geëlektrificeerde binnenvaartschepen, die varen op verwisselbare batterij-containers. Daarnaast heeft het Ministerie van IenW 210 miljoen euro toegekend gekregen voor uitvoering van een deel van het Maritiem Masterplan<sup>62</sup>.

Met deze gelden kan de Nederlandse maritieme sector de ontwikkeling, bouw en ingebruikname van klimaatneutrale demonstratieschepen versnellen om daarmee marktleider te worden voor diverse scheepstypen in de bouw van emissievrije schepen. Specifiek gaat het om ca. 40 klimaatneutrale demonstratieschepen die gaan varen op de alternatieve brandstoffen waterstof en methanol of op LNG met carbon capture. De schepen zullen in gebruik worden genomen in de kust- en binnenvaart, natte waterbouw, offshore wind en worden ingezet ten behoeve van de maritieme veiligheid.

<sup>62</sup> Het Maritiem Masterplan, Nederland Maritiem Land, [Het Maritiem Masterplan](#).

### ***Subsidieregeling Stage V binnenvaartmotoren***

Sinds 2021 geldt in de EU de regel dat nieuwe motoren in de binnenvaart moeten voldoen aan Stage V emissienormen. Om de uitstoot van fijnstof en stikstof te verminderen zijn er vanuit Nederland subsidieregelingen voor het investeren in een nieuwe Stage V motor of voor een retrofit van SCR en roetfilter. Het totale budget is 76 miljoen euro en de regeling loopt van 2021 tot en met 2025.

## **3.2 Markttontwikkeling**

De binnenvaart gebruikt nog bijna uitsluitend fossiele brandstoffen en de verwachting is dat de uitstoot op het huidige pad zal toenemen. De transitie naar duurzame aandrijftechnologieën staat dus ook echt nog in de beginfase. Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende combinaties van aandrijftechnologieën en energiedragers die in beeld zijn om de binnenvaart te verduurzamen.

### **3.2.1 Overzicht energiedragers**

In onderstaande tabel staat een overzicht van brandstoffen en andere energiedragers die voor de verduurzaming van de binnenvaart in beeld zijn. Voor elke energiedrager is aangegeven of de brandstof geproduceerd kan worden uit biobrandstoffen (biodiesel, biogas en biomethanol) of uit elektriciteit (e-diesel, e-methaan, e-methanol, e-ammoniak en duurzame waterstof).

**Tabel 3.2:** Mogelijke brandstofproductieroutes en aandrijftechnologieën voor verschillende energiedragers

| Energiedrager       | Brandstofproductie |             | Energieomzetter aan boord         |
|---------------------|--------------------|-------------|-----------------------------------|
|                     | Biobrandstof       | e-brandstof |                                   |
| <b>Brandstof</b>    |                    |             |                                   |
| Diesel              | X                  | X           | Verbrandingsmotor                 |
| LNG/LBM – methaan   | X                  | X           | Verbrandingsmotor of brandstofcel |
| Methanol            | X                  | X           | Verbrandingsmotor of brandstofcel |
| Ammoniak            |                    | X           | Verbrandingsmotor of brandstofcel |
| Waterstof           |                    | X           | Verbrandingsmotor of brandstofcel |
| Batterij-elektrisch |                    | X           | Elektromotor                      |

Opties voor de aandrijflijn zijn verbrandingsmotoren en elektromotoren (batterij-elektrisch of elektromotoren met brandstofcellen). Om elektriciteit in te zetten voor het hoofdvermogen, kan er gebruik gemaakt worden van verwisselbare batterijen. Een variant met een vaste batterij kan gebruikt worden voor beperkt elektrisch varen (lage vermogens) of enkel voor de hulpmotor.

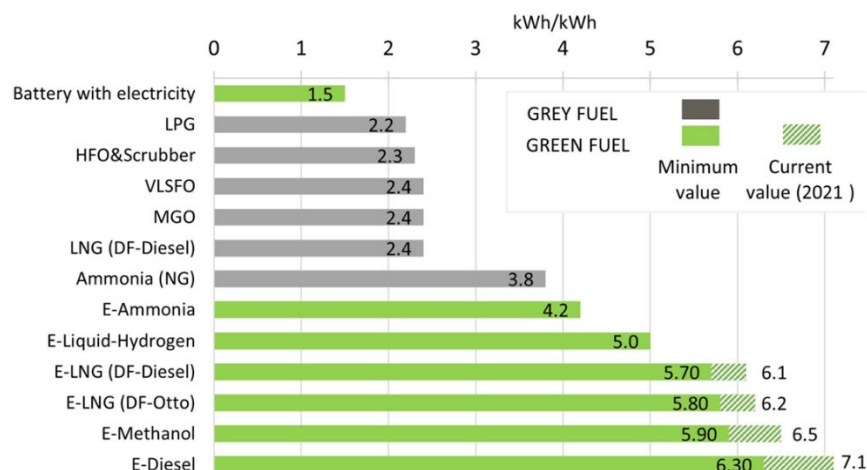
### ***Beperkte beschikbaarheid duurzame biomassa voor productie biobrandstoffen***

De belangrijkste uitdaging bij het opschalen van biobrandstoffen is de beschikbaarheid van duurzame biomassa. De verwachte vraag naar duurzame biomassa is zeer groot vanuit verschillende sectoren, zoals de plastic industrie<sup>63</sup>.

<sup>63</sup> Maritime decarbonization strategy 2022, Maersk Mc-Kinney Moller Center

### ***Zeer hoge energiekosten e-brandstoffen door laag ketenrendement***

Door alle conversieverliezen bij het produceren van e-fuels is het alleen haalbaar wanneer er een groot aanbod aan goedkope, duurzame elektriciteit is. Binnen afzienbare tijd is dat geen realistisch scenario.



**Figuur 3.1:** Well-to-wake efficiëntie van verschillende energiedragers (hoeveelheid kWh in per 1 kWh uit)

## **3.2.2 Maturiteit aandrijftechnologieën**

De maturiteit van de technologieën wordt aangegeven op basis van de technologische en commerciële beschikbaarheid: TRL (Technology Readiness Level) en CRL (Commercial Readiness Level). TRL heeft een schaal van 1 tot 9. Bij TRL 8 zijn technologieën en systemen compleet en gekwalificeerd en bij TRL 9 zijn ze bewezen in een operationele omgeving. Verschillende aandrijftechnologieën vallen nu al onder niveau 8 en 9.

CRL heeft een schaal van 1 tot 6 en beschrijft vooral de marktopschaling zoals het aantal toepassingen, leveranciers en de mogelijkheid om externe financiering aan te trekken voor opschaling. Een technologie kan technisch gezien al volledig geschikt zijn, maar commercieel nog niet interessant genoeg. De technologieën zijn in deze sectie ingedeeld op basis van de aandrijflijn: verbrandingsmotor, batterij-elektrisch of brandstofcel-elektrisch.

De snelheid van het bereiken van hogere TRL-niveaus, hangt voornamelijk af van de investeringen in de technologieontwikkeling. Deze investeringen gebeuren alleen als belangrijke leveranciers en eindgebruikers het vertrouwen hebben dat zowel het brandstoftype als de aandrijftechnologie een sterke marktpositie kunnen opbouwen en de concurrent aankunnen met conventionele opties.

### ***Verbrandingsmotoren op bio- of e-brandstoffen***

**Tabel 3.3:** TRL- en CRL-niveaus van verbrandingsmotoren op verschillende duurzame energiedragers

| Energiedrager | TRL aandrijflijn | CRL aandrijflijn |
|---------------|------------------|------------------|
| Diesel        | 9                | 6                |
| LNG/LBM       | 9                | 5                |
| Methanol      | 6-7              | 1-2              |
| Ammoniak      | 3-4              | 1                |
| Waterstof     | 6-7              | 1                |

***Alleen biodiesel op normaal commercieel niveau***

De TRL-niveaus voor de aandrijflijnen en de energie-infrastructuur voor biodiesel zijn op het hoogste niveau. Biodiesel kan in lage blend bij gewone diesel worden gemengd, dan is het CRL-niveau maximaal. Er is een redelijke belangstelling voor de toepassing van biodiesel in de binnenvaartsector.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van bestaande motoren, al dan niet met enige technische aanpassingen om een verhoging van het aantal storingsen te voorkomen.

***LNG beschikbaar, maar de belangstelling is klein***

Het TRL-niveau van LNG/LBM ligt op het hoogste niveau, echter zijn het motoraanbod en aantal bunkeropties beperkt. LNG is beschikbaar in zeehavens, en hiermee afdoende beschikbaar voor binnenvaart die gerelateerd is aan deze stromen. De belangstelling voor toepassing van LNG of LBM in de binnenvaart is klein. De redenen hiervoor zijn de hoge installatiekosten, het tijdrovende bunkerproces en de onzekerheden over de prijs van de brandstof in relatie tot de dieselprijs. Daarmee heeft LNG weinig kans verder te ontwikkelen.

***Belangstelling voor methanol, maar nog geen standaardproducten beschikbaar***

Voor methanol is belangstelling omdat de techniek relatief goed beschikbaar en betaalbaar is en het veel praktischer is dan waterstof of batterij-elektrisch, zeker voor grote vermogens. Met ombouwkits is het mogelijk om bestaande dieselmotoren om te bouwen naar methanol-diesel dual-fuel motoren. Er zijn voor methanol echter nog geen of heel beperkt standaardproducten beschikbaar voor de binnenvaart. Beproeving vindt plaats in een testomgeving, beproeving op schepen is wel gepland. Bunkerinfrastructuur is momenteel nog niet beschikbaar, wel gepland in zeehavens.

***Ammoniak lastig vanwege veiligheidsrisico's***

Toepassing van ammoniak wordt momenteel overwogen. Vanwege zorgen omtrent veiligheid is er in de binnenvaartsector weinig belangstelling, aan de fijnmazige distributie en het kleinschalige gebruik van ammoniak als brandstof in de binnenvaart hangen risico's voor de externe veiligheid. Ammoniak is technisch makkelijker en veiliger te gebruiken in de veel grotere motoren van zeeschepen.

***Batterij-elektrische aandrijving***

**Tabel 3.4:** TRL- en CRL-niveaus van elektrische aandrijfopties

| Energiedrager                           | TRL aandrijflijn | CRL aandrijflijn | Opmerking                                |
|-----------------------------------------|------------------|------------------|------------------------------------------|
| Batterij: vast – hulpvermogen           | 9                | 3                | Elektriciteit aan boord                  |
| Batterij: verwisselbaar – hoofdvermogen | 9                | 2-3              | Volledig elektrische aandrijving         |
| Walstroom                               | 9                | 6                | Enkel in de haven voor hulpvoorzieningen |

***Elektrisch varen met verwisselbare batterij-containers kan relatief snel groeien***

Elektrisch varen heeft qua TRL het hoogste niveau bereikt. Er is een eerste toepassing met verwisselbare batterij-containers en er zijn meerdere toepassingen met een vaste batterij voor beperkt elektrisch / enkel hulpvermogen. Sinds september 2021 vaart een schip met twee verwisselbare batterij-containers aan boord een vaste route tussen Alphen aan den Rijn en Moerdijk.

Mits het lukt om de infrastructuur op te schalen en voldoende fijnmazig te maken op veel gebruikte routes, kan elektrisch varen met batterij-containers relatief snel groeien. De prijs van batterijen neemt waarschijnlijk af en de energiedichtheid neemt toe.



Deze ontwikkeling vindt plaats onafhankelijk van de binnenvaart. Het nationaal groeifonds stimuleert het varen met batterij-containers met een investering van 50 miljoen euro. Deze investering is voor 45 geëlektrificeerde binnenvaartschepen, 75 batterij-containers en 14 laadpunten. De verwachting is dat deze 45 schepen in 2026 zullen varen. Het doel is om deze groei door te zetten naar 150 zero-emissie schepen in 2030. Om dat te kunnen bereiken, zal er aanvullend beleid nodig zijn. De uitdaging nu is om meerdere opdrachtgevers en scheepseigenaren te overtuigen en een infrastructuur voor wissellocaties op te bouwen.

### ***Brandstofcel-elektrische aandrijving***

**Tabel 3.5:** TRL en CRL niveaus van brandstofcel-elektrische aandrijving

| Energiedrager | TRL aandrijflijn | CRL aandrijflijn | Opmerking            |
|---------------|------------------|------------------|----------------------|
| Methanol      | 4-5              | 1                |                      |
| Ammoniak      | 2-4              | 1                |                      |
| Waterstof     | 7                | 1                | Alleen laag vermogen |

### ***Brandstofcelssystemen blijven qua ontwikkeling achter op de andere aandrijflijnen***

Brandstofcelssystemen blijven qua technologieontwikkeling achter op de andere aandrijflijnen. Voor waterstof is een aantal eerste pilotschepen ontwikkeld en wordt gewerkt aan verdere doorontwikkeling. Andere brandstofcelssystemen (methanol of ammoniak) worden met name ontwikkeld voor de zeevaart.

## **3.2.3 Efficiëntieverbeteringen**

Er zijn voor de binnenvaart nog verschillende opties om de efficiëntie te verbeteren en dus de uitstoot te verminderen. Op drie type maatregelen is efficiëntieverbetering mogelijk. De gezamenlijke reductie van deze maatregelen wordt geschat op ongeveer 15 – 20% in 2050. Het reductiepotentieel is groter, maar om deze optimaal te benutten zullen er gerichte maatregelen ingevoerd moeten worden.

### ***Right-sizing en motorefficiëntie***

Een binnenvaartschip heeft vaak meerdere motoren aan boord. Historisch gezien zijn de motoren (vooral hoofdmotoren) vaak overgedimensioneerd, omdat het schip dan bijvoorbeeld ook een ander schip op sleeptouw kan nemen. Een recente trend is de toepassing van right-sizing, waarbij kleinere motoren worden toegepast die minder energie gebruiken. Daarnaast neemt de motorefficiëntie toe, zo is het brandstofverbruik van Stage V motoren gemiddeld 5 – 10% lager. Bij de combinatie van right-sizing en zuinigere motoren kan in totaal 10 à 20% brandstof bespaard worden.

### ***Hydrodynamische maatregelen***

Volgens DST (2021) kunnen schepen, gebouwd in de jaren '80, nog 10% efficiënter worden door hydrodynamische verbeteringen aan te brengen aan het bestaande schip. Zo kan bijvoorbeeld het schroef/roersysteem worden aangepast of kan zelfs het complete achterschip worden vervangen.

### ***Energie-efficiënt varen in combinatie met logistieke efficiëntie***

Er kan relatief veel brandstof bespaard worden door langzamer te varen. Een snelheidsreductie van 10% kan in theorie maximaal 20% verbruiksreductie opleveren. Het potentieel voor optimaliseren van de snelheid hangt sterk samen met logistiek efficiëntie, waarbij met digitale tools de trips van schepen veel beter geregeld kunnen worden, bijvoorbeeld door de wachttijden te verminderen.



### 3.2.4 Luchtverontreinigende stoffen

Sinds 2021 geldt in de EU de regel dat nieuwe motoren in de binnenvaart moeten voldoen aan Stage V emissienormen, daarnaast subsidieert Nederland zowel de aankoop van een nieuwe stage V binnenvaartmotor als het retrofitten van een bestaande binnenvaartmotor naar stage V niveau (alsmede de aanschaf van een elektrische aandrijflijn) [Subsidieregeling Verduurzaming Binnenvaartschepen \(rvo.nl\)](#). Voor de subsidieregeling lijkt inmiddels voldoende belangstelling, het budget voor 2023 is opgemaakt. In de emissieraming van PBL wordt het aandeel van stage V motoren voor 2030 ingeschat op 30%, dit is een onzekere inschatting omdat er nog weinig data is over de vervangingssnelheden van binnenvaartmotoren.

Bij gebruik van biobrandstoffen, methanol of waterstof in stage V verbrandingsmotoren zal naar verwachting de NO<sub>x</sub>- en fijnstofuitstoot niet wezenlijk veranderen ten opzichte van diesel, zoals weergegeven in tabel 3.6. Alleen bij gebruik van waterstof in brandstofcellen of elektrische aandrijving is er sprake van zero-emissie aan de uitlaat.

**Tabel 3.6:** Uitstoot luchtverontreinigende stoffen vergeleken voor verschillende aandrijflijnen en energiedragers. Verbrandingsmotor betreft een stage V variant.

| Aandrijflijn       | Energiedrager       | NO <sub>x</sub> | Fijnstof      |
|--------------------|---------------------|-----------------|---------------|
| Verbrandings-Motor | Bio- en e-diesel    | Vergelijkbaar   | Vergelijkbaar |
|                    | LBM                 | Vergelijkbaar   | Vergelijkbaar |
|                    | Methanol            | Vergelijkbaar   | Vergelijkbaar |
|                    | Ammoniak            | Vergelijkbaar   | Vergelijkbaar |
|                    | Waterstof           | Vergelijkbaar   | Vergelijkbaar |
| Brandstofcel       | Methanol            | Lager           | Lager         |
|                    | Waterstof           | Geen emissie    | Geen emissie  |
| Elektrisch         | Batterij-elektrisch | Geen emissie    | Geen emissie  |

#### **Walstroom**

Walstroom is een effectieve maatregel om de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen lokaal te verminderen. Vanwege de AFIR is de verwachting dat het aantal walstroominstallaties zal toenemen.

## 3.3 Barrières voor introductie en/of opschaling

#### **Operationele uitdagingen door lagere energiedichtheid duurzame energiedragers**

De lagere energiedichtheid van duurzame energiedragers is een uitdaging. Methanol en vloeibaar (bio) gas nemen aan boord 2 tot 3 keer meer volume in beslag als diesel. Bij ammoniak en waterstof loopt dit op tot 6 à 18 keer en bij batterij-elektrisch geldt hier een factor van 50 à 100. De autonome vaarduur voor batterij-elektrisch en waterstof zal moeten worden ingekort tot 1 à 2 dagen, wat een fijnmazige energie-infrastructuur vereist (bij diesel is de autonome vaarduur 1 à 2 weken).

Batterij-elektrisch lijkt economisch haalbaar, wanneer duurzame stroom relatief goedkoop is en de hoge investeringskosten worden vermeden door een pay-per-use systeem van batterijen. De laadinfrastructuur is in dat geval de uitdaging. Ook voor waterstof gelden hoge investeringskosten en bestaan er operationele uitdagingen zoals het regelmatig moeten tanken.

### ***Hoge kosten duurzame energiedragers***

Zonder aanzienlijk beleidswijzigingen, zullen de prijzen van duurzame brandstoffen ook op de langere termijn hoger liggen dan de prijzen voor fossiele diesel. Het aandeel van de energiekosten in de totale transportkosten in de binnenvaart zal dan sterk stijgen. Oplossingen met de relatief lagere energiekosten, zoals batterij-elektrisch en mogelijk op termijn ook waterstof, hebben juist de hoogste investeringskosten en operationeel ongemak.

### ***Beschikbaarheid van duurzame energiedragers***

Voldoende beschikbaarheid van duurzame grondstoffen en restromen is een belangrijke uitdaging, aangezien ook de vraag naar deze energiedragers vanuit de zeevaart en luchtvaart zal toenemen. Er zijn op dit moment wel al grote markten voor fossiele methanol, ammoniak en waterstof, maar de eerste aanbieders van duurzame brandstoffen hebben zich pas recent aangekondigd. De investeringsbereidheid in de productie van de meest geavanceerde biobrandstoffen en e-brandstoffen is momenteel klein. De markt richt zich vooral op de goedkoopste duurzame brandstoffen, zoals gebruikt frituurvet wat maar beperkt beschikbaar is. De implementatie van de Renewable Energy Directive (RED III) geeft nieuwe randvoorwaarden waardoor meer eisen gesteld worden aan het type grondstoffen dat voor biobrandstoffen gebruikt mag worden.

### ***Lange levensduur binnenvaartmotoren***

Voor de transitie naar alternatieve, duurzame brandstoffen moeten motoren veelal aangepast of vervangen worden. Uitgelezen momenten daarvoor zijn wanneer een schip toe is aan een motorrevisie of een compleet nieuwe motor. Wanneer een schip in revisie gaat, is het ook mogelijk om voor een compleet nieuwe aandrijflijn te kiezen (elektrisch of brandstofcelaandrijving). Gegeven de lange levensduur van motoren in binnenvaartschepen is het niet mogelijk om de doelstelling van nul CO<sub>2</sub>-emissie te halen met alleen autonome vlootvervanging. Hiervoor zijn aanvullende maatregelen nodig.

### ***De beleidsinstrumenten voor verduurzaming van de binnenvaart blijven achter***

Inmiddels valt de binnenvaart onder REDIII, dat vereist een reductie van de broeikasgasintensiteit voor de transportsector van 14,5% ten opzichte van de fossiele referentiebrandstof. De doelstelling geldt voor de transportsector als geheel, dus lidstaten kunnen het ook anders verdelen. Voor het pad na 2030 is er geen duidelijkheid, terwijl de koolstofintensiteit van brandstoffen ingezet in de zeevaart en luchtvaart wel gereguleerd is tot en met 2050. Verder is de brandstof net als bij de lucht- en zeevaart tot op heden nog niet belast en het voorgestelde minimumbelastingtarief op diesel voor intra-EU scheepvaart voor de periode 2023 – 2033 is zo laag dat het effect op de uitrol van alternatieve brandstoffen verwaarloosbaar zal zijn. Als laatste valt de binnenvaart nog niet onder het emissiehandelssysteem van de EU.

## **3.4 Bepaling van milieu impact en beleidseffecten binnenvaart**

### ***Bepalen milieu impact en beleidseffecten***

Modellen en data kunnen gebruikt worden om de milieu-impact en de beleidseffecten van de binnenvaart te bepalen. Hierbij gaat het met name om twee vormen van emissies: broeikasgassen en luchtverontreinigende stoffen. Beiden verhouden zich sterk tot het energiegebruik van de verschillende scheepstypen in de binnenvaart.

Om een goede modellering van de emissies te kunnen maken, is er zicht nodig op de volgende onderdelen:

- De samenstelling van de binnenvaartvloot: welke scheepstypen er varen en met welke emissieklasse en leeftijd van motoren.
- De karakteristieken van de scheepstypen en motoren. Wat is de relatie tussen de inzet en de emissie?
- De inzet van de schepen: met welk vermogen wordt er gevaren en op welke locaties.
- Ontwikkeling van de binnenvaartvloot en welke energievraag daarbij komt kijken

### ***Welke modellen worden er gebruikt?***

Voor het modelleren van emissies van broeikasgassen en luchtverontreinigende stoffen wordt het POTAMIS (Prognosis Of Transport Air emissions Model of Inland Shipping) model gebruikt. POTAMIS is ontwikkeld door TNO en wordt door PBL gebruikt om de emissies van broeikasgassen en luchtverontreinigende stoffen door de binnenvaart op de Nederlandse binnenwateren te ramen voor de jaarlijkse Klimaat- en Energieverkenning (KEV) van PBL. Met POTAMIS kan de invloed van diverse factoren op de emissies worden geraamd.

Zo zijn er scenario's voor:

- De ontwikkeling en intensiteit (afstand en tijd) van het scheepvaartverkeer per scheepstype
- De schaalvergroting van schepen
- De snelheid en vernieuwing van scheepsmotoren
- De introductie van schonere motoren als gevolg van Europese emissienormering
- De introductie van LNG als scheepsbrandstof

Zowel het BIVAS-model (Binnenvaart Analyse Systeem) en het BasGoed-model (Basismodel goederenvervoer) van Rijkswaterstaat worden gebruikt als onderbouwing voor POTAMIS.

### ***Beperkingen en aanbevelingen in bepalen milieu impact en beleidseffecten***

#### ***Beperkt zicht emissieklasse en leeftijd motoren***

De leeftijd en emissieklasse van motoren per scheepstype en grootteklasse zijn niet bekend, die worden momenteel ingeschat.

Dat geeft meerdere problemen:

- De emissies van schepen kunnen minder goed berekend worden.
- Het is onzeker wanneer motoren toe zijn aan vervanging of revisie, wat momenten zijn om schepen geschikt te maken voor alternatieve, duurzamere brandstoffen. Zo kunnen beleidseffecten van bijvoorbeeld subsidies op motorvervanging minder goed worden ingeschat.

De sterke aanbeveling is om binnenvaartschepen te verplichten de leeftijd en emissieklasse van hun motoren te laten registreren, middels een kentekenregistratie. Ook havens zouden dit kunnen verplichten en hebben er belang bij voor hun eigen verduurzamingsdoelen. Het is lastig te sturen op een duurzame toekomst als er een slecht beeld is van de huidige situatie.

#### ***Beperkt zicht op werkschepen***

Werkschepen zitten niet goed in de huidige emissieregistratie systematiek en dus ook niet goed in de ramingen van POTAMIS. Werkmotoren van werkschepen stoten meer luchtverontreinigende stoffen en broeikasgasemissies uit dan de voortstuwingmotoren. Vooral omdat de werkmotoren meer uren maken en gemiddelde zwaarder/krachtiger zijn. Werkschepen worden vaak toegepast op projecten die onder een vergunningsplicht vallen waarbij stikstofdepositie wordt beoordeeld. Daarmee is een extra noodzaak voor verschooning.

Het is raadzaam om werkschepen een apart onderdeel te maken in de modellering van de emissieregistratie met bijbehorende aannames over de inzet van de hoofd- en hulpmotoren.

***Beperkt zicht op vaarprestatie***

Een belangrijke parameter voor het energiegebruik en emissies van schepen is de vaarprestatie (afstand en uren) op Nederlands en buitenlands grondgebied. De verhouding vaaruren in Nederland en in het buitenland is niet goed bekend per scheepsklasse. Daarnaast wordt er in het POTAMIS model uitgegaan van gemeten snelheden uit AIS-data over juli 2015. AIS is een veiligheidssysteem, waarbij elke 10 seconden seconde een signaal van een schip binnenkomt. Hieruit kunnen de vaarsnelheden worden gehaald. Door beter gebruik te maken van dit systeem, kunnen snelheden van individuele schepen berekend worden en kunnen de vaarprestaties dus nauwkeuriger in beeld gebracht worden.

***Emissiekaracteristieken stage V motoren***

Bij lage en middelmatige motorbelasting kan de NO<sub>x</sub>-uitstoot relatief hoog uitvallen, doordat de uitlaatgassen dan relatief koud zijn en het nabehandelingssysteem minder goed werkt. De laboratoriumtesten met stage V binnenvaartmotoren geven geen representatief beeld van de praktijk. Aanbevolen wordt om in de toekomst aan boord van schepen zowel NO<sub>x</sub> als NH<sub>3</sub> emissies van stage V motoren in de praktijk nauwkeurig te monitoren.

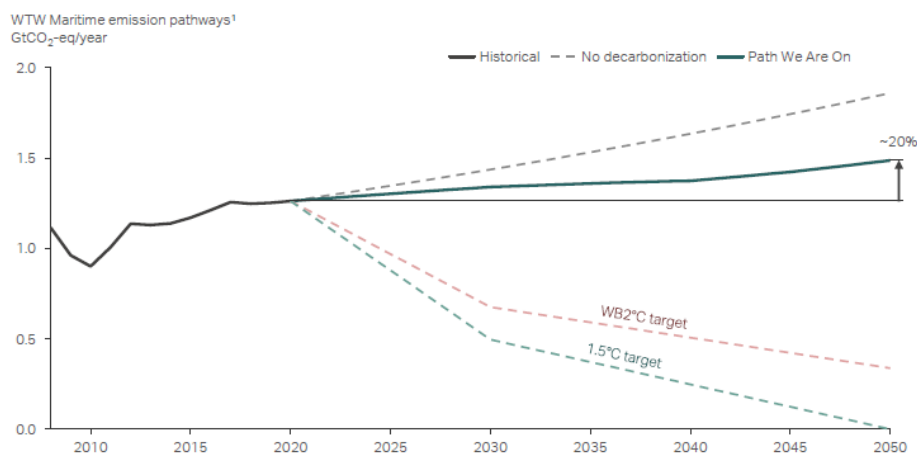
## 4 Zeevaart

### 4.1 Beleidsdoelen voor de zeevaart

De zeevaart is verantwoordelijk voor ongeveer drie procent van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen. Ongeveer 70 procent van de uitstoot valt toe te schrijven aan de internationale zeevaart en valt niet onder de verantwoordelijkheid van landen. Het overgrote deel valt daarmee buiten de scope van nationale emissiedoelstellingen. Mede daarom is de opgave om de zeevaart te verduurzamen ingewikkeld. Doordat zeeschepen lange afstanden afleggen, zijn er veel uitwijkmogelijkheden voor het bunkeren van brandstof. Daarom is een internationale aanpak vereist, wereldwijd is de IMO (Internationale Maritime Organization) actief om de sector te reguleren. Verder is de Europese Unie de belangrijkste speler om de zeevaart te verduurzamen.

#### *Verwachte toename uitstoot zeevaart*

De afgelopen decennia is het vervoer van goederen wereldwijd fors toegenomen en daarmee ook de uitstoot van de sector. De IMO verwacht dat de vervoersvolumes in de mondiale zeevaart van 2020 tot 2050 met 40 tot 100 procent verder zullen toenemen. De onderstaande figuur laat de verwachte ontwikkeling van de uitstoot van de mondiale zeevaart zien (inclusief efficiëntieverbeteringen, zonder beleidsintensivering). Ook staan de benodigde paden aangegeven om in lijn te zijn met Parijsakkoord voor het 1.5- of 2-gradendoel.



**Figuur 4.1:** Prognose uitstoot broeikasgassen zeevaart

#### *Aandeel bunkerleveringen Nederland aan mondiale uitstoot*

Nederland heeft met de Rotterdamse haven een van de grootste bunkerhavens ter wereld, daarmee heeft Nederland een aandeel van bijna 30 procent in de Europese bunkermarkt. De totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van Nederlandse bunkerleveringen aan de zeevaart bedraagt zo'n 33 megaton (ter vergelijking, in 2022 bedroeg de totale uitstoot van Nederland 158 megaton). De uitstoot op alleen de Nederlandse wateren, waaronder het Nederlandse deel van de Noordzee, is ongeveer 5 megaton, waarvan bijna 1 megaton in Nederlandse havengebieden.

De verwachting is dat de totale afzet van bunkerbrandstoffen in Nederland in 2030 op hetzelfde niveau is als in 2019. De totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van de mondiale afzet aan bunkerbrandstoffen is zo’n 1056 megaton.

### 4.1.1 Beleid Europese Unie (EU)

Als onderdeel van de EU Green Deal, zijn in 2023 vier maatregelen aangenomen om de zeevaart te verduurzamen.

***Herziening Europese Emissiehandelssysteem (EU-ETS)***

De uitstoot van de zeescheepvaart van, naar en binnen de EU gaat deels onder het emissiehandelssysteem vallen (EU-ETS, onderdeel van EU fit for 55). Tussen 2024 en 2026 is er een transitiefase. Vanaf 2026 valt naast de uitstoot van CO<sub>2</sub>, ook die van CH<sub>4</sub> (methaan) en N<sub>2</sub>O (lachgas) onder deze regelgeving. Voordat de wet intreedt wordt eenmalig het aantal emissierechten verhoogd met 79 miljoen ton CO<sub>2</sub>e, daarna zorgt een reductie van 4.2% per jaar voor een geleidelijke afname van het aantal beschikbare rechten.

***FuelEU Maritime***

De broeikasgasintensiteit op vaarten van en naar Europese havens wordt stapsgewijs verminderd. Deze emissiereductieverplichting gaat gelden vanaf 2025 en loopt tot 2050 (zie onderstaande tabel). Het bevat ook een verplichting voor container- en passagiersschepen om vanaf 2030 gebruik te maken van walstroom, als de aandrijflijn niet zero-emissie is. Havens worden verplicht om hiervoor de faciliteiten aan te bieden.

**Tabel 4.1:** Verplichte ontwikkeling broeikasgasintensiteit vanuit FuelEU Maritime

|                               | 2025 | 2030 | 2035  | 2040 | 2045 | 2050 |
|-------------------------------|------|------|-------|------|------|------|
| <b>Reductie</b>               | 2%   | 6%   | 14,5% | 31%  | 62%  | 80%  |
| <b>g CO<sub>2</sub>-eq/MJ</b> | 89,3 | 85,7 | 77,9  | 62,9 | 34,6 | 18,2 |

***Renewable Energy Directive (RED II)***

Vanwege de implementatie van de RED II moet de broeikasgasintensiteit van brandstoffen die in Europa geleverd worden aan de transportsector, inclusief de zeevaart, in 2030 met 14.5% zijn afgenomen (of 29% van het energiegebruik in de transportsector moet hernieuwbaar zijn, lidstaten kunnen daar zelf in besluiten). RED III is een uitbreiding van RED II, waarmee de regelgeving geldt voor de volledige transportsector, dus ook de levering van bunkerbrandstoffen aan de zeevaart.

***Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR)***

De AFIR verplicht havens om walstroom aan te bieden. Voor passagiers- en containerschepen moet er vanaf 2030 walstroom beschikbaar zijn om aan 90% van de energievraag te voldoen in alle TEN-T havens waar jaarlijks meer dan 25 passagiersschepen of 50 containerschepen van minimaal 5000 GT aanmeren. Ook stelt de AFIR dat er in 2025 een LNG netwerk beschikbaar moet zijn in zeehavens.

**Verwachte effecten van het nieuwe Europese beleid**

Het bovenstaande Europese beleid heeft als doel om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen. De exacte impact van dit beleid voor Nederland is nog onzeker:

- De verwachting is een (lichte) afname van emissies op vaarten van en naar Nederlandse havens, voornamelijk door een stijging van inzet van LNG, door FuelEU Maritime en herziening EU-ETS. LNG is een relatief goedkope alternatieve brandstof en biedt voldoende emissiereductie voor initiële doelen.

- Er is een kans dat Rotterdam als tweede bunkerhaven ter wereld een afname van de hoeveelheid gebunkerde brandstoffen zal krijgen, door de hogere prijzen als gevolg van REDIII. Mondiaal leidt dit dan niet tot minder brandstofverbruik. Dat is echter wel afhankelijk van hoe Nederland de doelstelling voor de transportsector verdeelt over modaliteiten.
- AFIR heeft een ondersteunende functie en schept met name voorwaarden voor walstroom en LNG. In de huidige vorm heeft het nauwelijks concreet effect op het ondersteunen van infrastructuur voor emissiearme brandstoffen in de zeevaart (CE Delft, 2022).

### 4.1.2 Beleid International Maritime Organization (IMO)

Medio 2023 heeft de IMO zijn klimaatdoelen aangescherpt: rond 2050 moet de netto-broeikasgasuitstoot van de zeescheepvaart mondiaal tot nul gereduceerd zijn. Er zijn ook indicatieve tussendoelen vastgesteld voor 2030 en 2040: resp. 20% en 70% reductie van het niveau in 2008. Momenteel wordt er onderhandeld over de in te zetten instrumenten om de doelen te realiseren. De IMO heeft regelgeving ingesteld met name gericht op de technische efficiëntie van schepen. Alle schepen boven de 5000 GT moeten aan de regelgeving voldoen. De verplichting tot handhaving ligt bij vlaggenstaten (land waarin een schip geregistreerd staat), maar havenstaten mogen inspecteren en indien nodig handhaven.

Een voorbeeld van zo'n regelgeving:

De Energy Efficiency Design Index (EEDI) reguleert de energie-efficiëntie van nieuwe schepen. Het doel is om efficiënte aandrijflijnen en scheepsontwerpen te stimuleren. Schepen moeten aan een minimale standaard voldoen, die met de tijd wordt aangescherpt. Momenteel geldt fase 2 van de EEDI, wat betekent dat schepen 20% minder mogen uitstoten vergeleken met het gemiddelde van schepen uit de periode 2000 – 2010.

Om de nieuwe doelen van de 2023 broeikasstrategie te bereiken, werkt de IMO aan een combinatie van maatregelen die in 2025 aangenomen moeten worden (IMO, 2023). De combinatie bestaat uit een norm die de broeikasgasintensiteit van scheepsbrandstoffen geleidelijk vermindert en een beprijzingmechanisme voor broeikasemissies.

### 4.1.3 Beleid Nederlandse overheid

De Nederlandse overheid heeft als doel om in 2050 een klimaatneutrale zeevaart te realiseren. Welke uitstoot binnen de scope van het doel valt, moet nog worden besloten. De overheid richt zich met name op het maken van internationale afspraken en beprijzing van zeevaart. Daarnaast richt men zich op het versneld ontwikkelen van duurzame technologieën met behulp van pilotprojecten en door op te treden als launching customer. Hiervoor is budget gereserveerd vanuit het Klimaatfonds.

#### *40 klimaatneutrale demonstratieschepen*

De maritieme sector heeft in het kader van de Green Deal een masterplan gelanceerd gericht op de ontwikkeling, bouw en het gebruik van klimaatneutrale schepen. Het plan is om 40 betrouwbare en concurrerend klimaatneutrale demonstratieschepen te ontwikkelen, bouwen en gebruiken. Hiervoor moet 1.2 miljard euro worden geïnvesteerd, waarvan 255 miljoen euro uit het groeifonds zou moeten komen. Het merendeel van deze claim uit het Groeifonds is medio 2023 gehonoreerd.



In het ontwerp meerjarenprogramma klimaatfonds 2024 heeft het kabinet 11 miljoen euro gereserveerd voor verduurzaming van zeeschepen. Het budget is bestemd voor het opschalen van innovatieve duurzame aandrijftechnieken in de zeevaart.

*Subsidieregeling voor aanleg walstroom*

Het kabinet stelt 180 miljoen beschikbaar voor de bouw van walstroominstallaties in vijf havens: Rotterdam, Amsterdam, Moerdijk, Groningen en Vlissingen/Terneuzen.

4.2 Marktontwikkeling

De zeevaart gebruikt nog bijna uitsluitend fossiele brandstoffen en de verwachting is dat de uitstoot op het huidige pad zal toenemen. De transitie naar duurzame aandrijftechnologieën staat dus ook nog echt in de beginfase. Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende aandrijftechnologieën en energiedragers die in beeld zijn om de zeevaart te verduurzamen. Ook wordt er gekeken naar mogelijke efficiëntieverbeteringen en ontwikkelingen omtrent uitstoot van luchtverontreinigende stoffen.

4.2.1 Overzicht energiedragers

In onderstaande tabel staat een overzicht van brandstoffen en andere energiedragers die voor de verduurzaming van de zeevaart in beeld zijn. Voor elke energiedrager is aangegeven of de brandstof geproduceerd kan worden uit biomassa (biodiesel, biogas en biomethanol) of uit elektriciteit (e-diesel, e-methanol, e-ammoniak en duurzame waterstof).

**Tabel 4.2:** : Mogelijke brandstofproductieroutes en aandrijftechnologieën voor verschillende energiedragers, SBCC = Ship Based Carbon Capture

| Energiedrager   | Brandstofproductie |             | Energieomzetter | SBCC mogelijk? |
|-----------------|--------------------|-------------|-----------------|----------------|
|                 | Biobrandstof       | E-brandstof |                 |                |
| Diesel          | X                  | X           | ICE             | Ja             |
| LNG             | X                  | X           | ICE             | Ja             |
| Methanol        | x                  | X           | ICE of FC       | Ja             |
| Ammoniak        |                    | X           | ICE of FC       | n.v.t.         |
| Waterstof       |                    | X           | ICE of FC       | n.v.t.         |
| Accu-elektrisch |                    | X           | EM              | n.v.t.         |
| Kernenergie     |                    |             | n.v.t.          | n.v.t.         |

Opties voor de aandrijflijn zijn verbrandingsmotoren, elektromotoren of brandstofcellen (in combinatie met een elektromotor). Om elektriciteit in te zetten voor het hoofdvermogen, kan er gebruik gemaakt worden van verwisselbare batterijen.

SBCC staat voor Ship Based Carbon Capture. Aan boord van zeeschepen kan CO<sub>2</sub> opgevangen worden en vervolgens weer aan wal gebruikt worden om e-brandstoffen te produceren. De opvang van CO<sub>2</sub> kan gecombineerd worden met andere nabehandelingssystemen (zoals afvang Methaan of NO<sub>x</sub>).

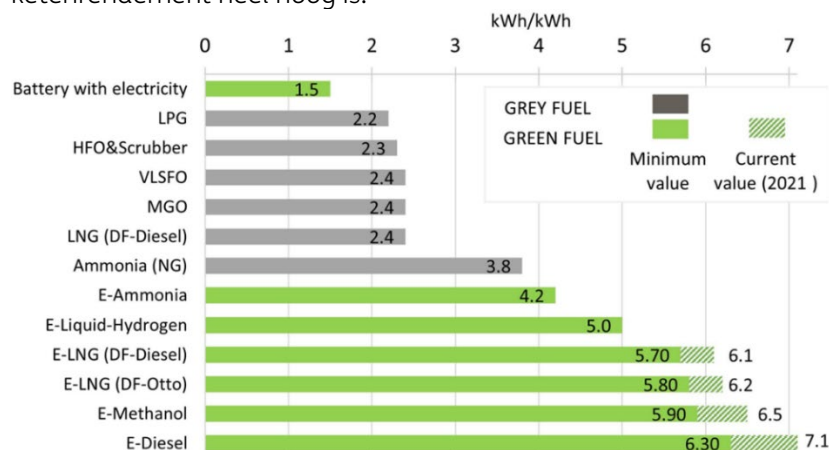
**Beperkte beschikbaarheid duurzame biomassa voor productie biobrandstoffen**

Biobrandstoffen kunnen worden geproduceerd uit verschillende grondstoffen (zoals oliegewassen, bosbouw residuen en vast of vloeibaar afval) en verschillende productieroutes (zoals gassificatie, hydrolyse en pyrolyse). De belangrijkste uitdaging bij het opschalen van biobrandstoffen is de beschikbaarheid van duurzame biomassa. De verwachte vraag naar duurzame biomassa is zeer groot vanuit verschillende sectoren, zoals de plastic industrie.



### Zeer hoge energiekosten e-brandstoffen door laag ketenrendement

Door alle conversieverliezen bij het produceren van e-fuels is het alleen haalbaar wanneer er een groot aanbod aan goedkope, duurzame elektriciteit is. Binnen afzienbare tijd is dat geen realistisch scenario. Batterij-elektrisch varen heeft dan weer het voordeel dat het ketenrendement heel hoog is.



Figuur 4.2: Well-to-wake efficiëntie van verschillende energiedragers (hoeveelheid kWh in per 1 kWh uit)

## 4.2.2 Maturiteit aandrijftechnologieën

De maturiteit van de technologieën wordt aangegeven op basis van de technologische en commerciële beschikbaarheid: TRL (Technology Readiness Level) en CRL (Commercial Readiness Level). TRL heeft een schaal van 1 tot 9 en het merendeel valt onder niveau 8 en 9. Bij TRL 8 zijn technologieën en systemen compleet en gekwalificeerd en bij TRL 9 zijn ze bewezen in een operationele omgeving. CRL heeft een schaal van 1 tot 6 en beschrijft vooral de marktopschaling zoals het aantal toepassingen, leveranciers en de mogelijkheid om externe financiering aan te trekken voor opschaling. Een technologie kan technisch gezien al volledig geschikt zijn, maar commercieel nog niet interessant genoeg. De technologieën zijn in deze sectie ingedeeld op basis van de aandrijflijn: verbrandingsmotor, batterij-elektrisch of brandstofcel-elektrisch.

De snelheid van het bereiken van hogere TRL niveaus, hang voornamelijk af van de investeringen in de technologieontwikkeling. Deze investeringen gebeuren alleen als belangrijke leveranciers en eindgebruikers het vertrouwen hebben dat zowel het brandstoftype als de aandrijftechnologie een sterke marktpositie kunnen opbouwen en de concurrent aankunnen met conventionele opties.

### Verbrandingsmotoren op bio- of e-brandstoffen

Tabel 4.3: TRL en CRL niveaus van verbrandingsmotoren op verschillende duurzame energiedragers

| Energiedrager         | TRL | CRL | Opmerking                                               |
|-----------------------|-----|-----|---------------------------------------------------------|
| Biodiesel of e-diesel | 9   | 6   | Bestaande dieselmotoren, soms kleine aanpassingen nodig |
| LNG / LBM             | 9   | 6   | Relatief breed productaanbod                            |
| Methanol              | 7-9 | 4-6 | Beperkt productaanbod                                   |
| Ammoniak              | 4   | 1   | Investeringen gepland                                   |
| Waterstof             | 4-7 | 1   | Zeer beperkt productaanbod                              |

***Alleen biodiesel en LNG op normaal commercieel niveau***

Enkel de infrastructuur biodiesel en LNGH is volwassen. Beiden worden reeds op grote schaal gebunkerd in Nederlandse havens. Bunkerinfrastructuur voor methanol, waterstof en ammoniak is nog niet beschikbaar in Nederland.

***Dual-fuel motoren***

De meeste oplossingen die nu worden ontwikkeld betreffen dual fuel motoren. Die zijn doorgaans geschikt voor een conventionele brandstof en een alternatieve brandstof. Dat biedt flexibiliteit bij de inpassing van duurzame brandstoffen, aangezien bunkerfaciliteiten nog zeer beperkt zijn.

***Toepassing brandstoffen in bestaande motoren***

Vanwege de lange levensduur van scheepsmotoren is het van belang dat alternatieve brandstoffen ook in bestaande motoren kunnen worden toegepast. Biodiesel kan veelal zonder noemenswaardige aanpassingen in bestaande schepen gebruikt worden. Voor andere duurzame brandstoffen zoals methanol en ammoniak moeten wel aanpassingen worden gedaan in de aandrijflijn. Voor methanol is op pilot basis een aanpassing gedaan van de bestaande motor, maar er zijn nog geen commerciële retrofits beschikbaar op de markt.

***Toepassing methanol is aan het opschalen***

Methanol wordt al langere tijd gezien als goede brandstof voor de scheepvaart. Medio 2024 zijn er wereldwijd 204 methanol-schepen in bestelling, waarvan 75% in het containersegment. Het aantal bunkermogelijkheden is nog wel zeer beperkt.

***Toepassing ammoniak in R&D fase, maar kansrijk voor de lange termijn***

Sinds enkele jaren is er ook aandacht voor ammoniak in verbrandingsmotoren. Voor langzaam lopende (grote) motoren is experimenteel aangetoond dat ammoniak dual-fuel goed kan functioneren. Van de e-brandstoffen heeft ammoniak het hoogste ketenrendement de productiekosten liggen waarschijnlijk lager. Daarnaast is er geen koolstof nodig is voor de productie, waarvan het aanbod op termijn schaars kan worden.

***Waterstof enkel kansrijk voor kortere afstanden bij goederenvervoer***

Door de lage energiedichtheid en de zeer hoge investeringskosten en hoge energiekosten van waterstof is waterstof geen kansrijke optie voor toepassing in grote schepen op korte termijn. Mogelijk enkel voor retourafstanden tot 2000 km, als de kosten voor waterstof significant afnemen.

***Ship Based Carbon Capture (SBCC) nog in ontwikkeling***

**Tabel 4.4:** TRL en CRL niveau van Ship Based Carbon Capture

|                                        | TRL | CRL | Opmerking |
|----------------------------------------|-----|-----|-----------|
| CCU – CO <sub>2</sub> opslag aan boord | 6   | 1   |           |

In verschillende scenariostudies speelt ook het gebruik van fossiele brandstoffen met Ship Based Carbon Capture (SBCC) een belangrijke rol in de verduurzaming van de zeevaart. De kosten hiervan worden geschat op 180 – 290 USD per ton CO<sub>2</sub>-eq, wat lager is dan kosten van e-brandstoffen<sup>64</sup>.

<sup>64</sup> T. McKenney et al, The role of onboard carbon capture in maritime decarbonization, september 2022, Maersk McKinney Moller Center for Zero Carbon Shipping

SBCC kan de broeikasgasemissies met ongeveer 75% verlagen ten opzichte van normale toepassing fossiele brandstoffen. Dat maakt SBCC een financieel aantrekkelijke optie in de jaren tot 2040.

### **Batterij-elektrische aandrijving**

**Tabel 4.5:** TRL en CRL niveaus van elektrische aandrijvingsopties

|                     | TRL | CRL | Opmerking                                    |
|---------------------|-----|-----|----------------------------------------------|
| Batterij-elektrisch | 9   | 6   | Alleen voor specifieke toepassingen geschikt |
| Nucleair-elektrisch | 3-6 | 1   |                                              |
| Walstroom           | 7-9 | 4-6 | Afhankelijk van haven en benodigd vermogen   |

#### **Batterij-elektrisch geschikt voor een aantal korte afstand segmenten**

Batterijen kunnen met name een rol spelen voor een aantal segmenten die op vaste routes en op korte afstanden varen (zoals ferries, havenschepen en offshore supply schepen). Daarnaast kunnen batterijen mogelijk ingezet worden voor een deel van de energievraag aan boord (bijvoorbeeld hulpsystemen).

#### **Mits batterijprijzen afnemen kan elektrisch een optie zijn voor het goederenvervoer**

Een recente publicatie in Nature beschrijft dat batterij-elektrisch varen met verwisselbare batterij-containers mogelijk een rol kan spelen bij een deel van het goederenvervoer. Mits de afname van batterijprijzen zich voortzet (momenteel 150 \$/kWh) naar 100 \$/kWh, wordt het economisch haalbaar om routes van minder dan 1500 km volledig te elektrificeren (bij een minimale impact op ship carrying capacity). Wanneer de kostenreductie zich voortzet naar 50\$/kWh en de milieukosten van alternatieven worden meegerekend, is een bereik van 5000 km economisch haalbaar. Daarmee zou 40% van het wereldwijde containervervoer kunnen worden ondervangen.

### **Brandstofcel-elektrische aandrijving**

**Tabel 4.6:** TRL en CRL niveaus van brandstofcel-elektrische aandrijving

| Duurzame brandstof | TRL | CRL | Opmerking             |
|--------------------|-----|-----|-----------------------|
| Methanol           | 4-5 | 1   | R&D-fase              |
| Ammoniak           | 2-4 | 1   | R&D-fase              |
| Waterstof          | 7   | 1   | Alleen lage vermogens |

#### **Brandstofcel-elektrisch in R&D-fase**

Het gebruik van waterstof, ammoniak of methanol in brandstofcelssystemen zit nog in de R&D fase. Waterstof in brandstofcellen wordt in verschillende onderzoekstrajecten verkend. Er zijn designs gemaakt van short sea schepen en er zijn enkele pilots in voorbereiding. Naar verwachting worden ook in het Maritiem Masterplan de komende jaren enkele schepen ontwikkeld voor waterstof in combinatie met brandstofcellen. Brandstofcellen voor ammoniak of methanol, die wat betreft efficiëntie en levensduur zouden kunnen concurreren met verbrandingsmotoren, zijn nog in ontwikkelfase. Er wordt nog niet grootschalig geïnvesteerd in de ontwikkeling van deze technologie.

## 4.2.3 Efficiëntieverbeteringen

IMO<sup>65</sup> gaat er in een projectie tot 2050 van uit dat de som van ontwerp, technische en operationele maatregelen leiden tot een reductie van 35% tot 40%.

De International Renewable Energy Agency<sup>66</sup> (IRENA) verwacht een totale verbetering in energy efficiëntie van 2020 tot 2050 van ca 33%. De paper van Bouman<sup>67</sup> analyseert een groot aantal publicaties over reductiemaatregelen en komt op een potentiële reductie van ca. 43%.

Geconcludeerd kan worden dat verschillende gerenommeerde studies komen tot een relatief groot reductiepotentieel door efficiëntieverbeteringen. Op basis hiervan lijkt een reductiepotentieel van 33 à 40% in 2050 een haalbaar scenario.

## 4.2.4 Luchtverontreinigende stoffen

De zeevaart heeft voor een drietal luchtverontreinigende stoffen een groot aandeel in de totale emissies van mobiliteit op Nederlands grondgebied. Het betreft hier de uitstoot van stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), fijnstof (PM<sub>10</sub>) en zwaveloxiden (SO<sub>x</sub>)<sup>68</sup>

### *Verschillen in uitstoot alternatieve brandstoffen*

De motoremissies in de zeevaart zijn momenteel beperkt gereguleerd. Er worden eisen gesteld aan de NO<sub>x</sub> – en SO<sub>x</sub> – emissies, beperking van fijnstof emissies is bijvangst. Er is echter geen regelgeving voor broeikasgassen als methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O).

In onderstaande tabel worden de emissies van verschillende brandstoffen vergeleken met de emissie-eisen van een nieuwe conventionele motor (tier III). De stikstofemissies van de verschillende brandstoffen zijn vergelijkbaar. De zwaveloxide-emissies zijn lager, omdat er vrijwel geen zwavel in de alternatieve brandstoffen zitten. Ook is er een verdere verlaging van de PM emissies.

**Tabel 4.7:** Uitstoot luchtverontreinigende stoffen vergeleken voor verschillende aandrijflijnen en energiedragers. Verbrandingsmotor betreft een tier III variant.

|                             | NO <sub>x</sub>                     | SO <sub>2</sub> | PM    | CH <sub>4</sub> |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------|-------|-----------------|
| <i>Verbrandingsmotor</i>    |                                     |                 |       |                 |
| Fossiele diesel             | Referentieniveau met TIER-III motor |                 |       |                 |
| Vloeibaar methaan           | Gelijk                              | Lager           | Lager | Hoger           |
| Methanol                    | Gelijk                              | Lager           | Lager |                 |
| Ammoniak                    | Gelijk                              | Lager           | Lager |                 |
| Waterstof                   | Gelijk                              | Lager           | Lager |                 |
| Fossiele diesel             | Referentieniveau met TIER-III motor |                 |       |                 |
| <i>Brandstofcelsystemen</i> |                                     |                 |       |                 |
| Methanol                    | Lager                               | Lager           | Lager |                 |
| Ammoniak                    | Lager                               | Lager           | Lager |                 |
| Waterstof                   | Nul                                 | Nul             | Nul   | Nul             |

### *Weinig bekend over specifieke ongewenste emissies*

Een aandachtspunt is dat er heel weinig bekend is over specifieke ongewenste emissies die bijvoorbeeld kunnen optreden bij gebruik van methanol en ammoniak.

<sup>65</sup> R. Hoenders, IMO's efforts in phasing out GHG emissions from international shipping, February 2023

<sup>66</sup> International Renewable Energy Agency, World Energy Transitions Outlook 2022

<sup>67</sup> E.A. Bouman et al, State of art technologies, measures and potential for reducing GHG emissions from shipping, a review, Elsevier paper 2017

<sup>68</sup> Klimaat en energieverkenning 2022, Planbureau voor de leefomgeving, 2022, PBL- publicatienummer 4838

Hierbij kan gedacht worden aan aldehyde (bij methanol) en specifieke stikstofverbindingen (bij ammoniak). Het verdient aanbeveling de risico's op hoge emissies van deze componenten nader te onderzoeken. Bij brandstofcellen met waterstof komen geen emissies vrij. Over emissies bij brandstofcellen voor methanol en ammoniak is nauwelijks iets bekend. Naar verwachting zijn de nu geadresseerde emissies lager, maar dit zal middels onderzoek bevestigd moeten worden en tevens moeten de risico's op andere chemische componenten onderzocht worden.

#### ***Belangrijke rol walstroom***

Walstroom zal een belangrijke rol spelen bij het energieverbruik in de haven. Naast een effect op de broeikasgasuitstoot levert dat ook een positieve bijdrage aan de luchtkwaliteit.

## 4.3 Barrières voor introductie en/of opschaling

#### ***Lange levensduur zeeschepen kan transitie vertragen***

Grote schepen zijn relatief jong. In 2020 was zelfs bijna een kwart van de zeer grote schepen jonger dan 4 jaar. Aangezien zeeschepen lang in de vaart blijven, zullen deze schepen tot ver in de jaren '40 in de vaart blijven. Dat zorgt ervoor dat vernieuwing van deze vloot een langdurig proces is. Er zijn wel mogelijkheden om bestaande motoren aan te passen of te vervangen, zodat deze ook op hernieuwbare brandstoffen kunnen varen. Daarnaast worden steeds meer nieuwe schepen voorzien van aandrijflijnen waarmee op verschillende energiedragers (dual-fuel aandrijving) gevaren kan worden.

#### ***Operationele uitdagingen door lagere energiedichtheid duurzame energiedragers***

De lagere energiedichtheid van duurzame energiedragers is een uitdaging. Methanol en vloeibaar (bio) gas nemen aan boord 2 tot 3 keer meer volume in beslag als diesel. Bij ammoniak en waterstof loopt dit op tot 6 à 18 keer en bij batterij-elektrisch geldt hier een factor van 50 à 100.

#### ***Hoge kosten duurzame energiedragers***

Ook op de langere termijn zullen de prijzen van duurzame brandstoffen hoger liggen dan de prijzen voor fossiele diesel. Het aandeel van de energiekosten in de totale transportkosten in de binnenvaart zal dan stijgen. Oplossingen met de relatief lagere energiekosten, zoals batterij-elektrisch en mogelijk op termijn ook waterstof, hebben juist de hoogste investeringskosten en operationeel ongemak.

#### ***Beschikbaarheid van duurzame energiedragers***

Voldoende beschikbaarheid van duurzame grondstoffen en reststromen is een belangrijke uitdaging, aangezien ook de vraag naar deze energiedragers vanuit de zeevaart en luchtvaart zal toenemen. Er zijn op dit moment wel al grote markten voor fossiele methanol, ammoniak en waterstof, maar de eerste aanbieders van duurzame brandstoffen hebben zich pas recent aangekondigd. De investeringsbereidheid in de productie van de meest geavanceerde biobrandstoffen en e-brandstoffen is momenteel klein. De markt focust tot dusver vooral op de goedkoopste duurzame brandstoffen, zoals gebruikt frituurvet wat maar beperkt beschikbaar is. De huidige implementatie van de RED III geeft overigens veel meer randvoorwaarden aan het gebruik van grondstoffen voor biobrandstoffen.

## 4.4 Bepaling van milieu-impact en beleidseffecten zeevaart

### ***Bepalen milieu impact en beleidseffecten***

Modellen en data kunnen gebruikt worden om de milieu-impact en de beleidseffecten van de binnenvaart te bepalen. Hierbij gaat het met name om twee vormen van emissies: broeikasgassen en luchtverontreinigende stoffen.

Om een goede modellering van de emissies te kunnen maken, is er zicht nodig op de volgende onderdelen:

- De samenstelling van de binnenvaartvloot: welke scheepstypen er varen en met welke emissieklasse en leeftijd van motoren.
- De karakteristieken van de scheepstypen en motoren. Wat is de relatie tussen de inzet en de emissie?
- De inzet van de schepen: met welk vermogen wordt er gevaren en op welke locaties.
- Ontwikkeling van de binnenvaartvloot en welke energievraag daarbij komt kijken

### ***Welke modellen worden er gebruikt?***

Met het POSEIDON model worden het energiegebruik en de emissies van luchtverontreinigende stoffen van de zeevaart geraamd voor de volgende situaties: varend en voor anker liggend op het Nederlands continentaal plat (NCP); varend in Nederlandse havengebieden; stilliggend in Nederlandse havens. Er wordt onderscheid gemaakt naar 11 scheepstypen. De invloed van diverse factoren op het energiegebruik en de emissies kunnen worden geraamd.

De volgende factoren worden door het model expliciet meegenomen:

- Scenario's voor de ontwikkeling van de intensiteit van het scheepvaartverkeer
- Scenario's voor de schaalvergroting van schepen
- Scenario's voor de snelheid van vernieuwing van scheepsmotoren
- Invloed van internationale wetgeving op de brandstofkwaliteit en emissiefactoren van de motoren
- Introductie van EEDI (Energy Efficiency Design Index)
- Scenario's voor langzamer of sneller varen
- Scenario's voor de introductie van LNG als scheepsbrandstof en voor de introductie van walstroom in havens

TNO heeft Poseidon ontwikkeld en actualiseert het model met enige regelmaat in opdracht van het PBL.

### ***Beperkingen en aanbevelingen in bepalen milieu impact en beleidseffecten*** ***Geen beeld van emissieklasse en leeftijd motoren***

De leeftijd en emissieklasse van motoren per scheepstype en grootteklasse zijn niet bekend, die worden momenteel ingeschat.

Dat geeft meerdere problemen:

- De emissies van schepen kunnen minder goed berekend worden.
- Het is onzeker wanneer motoren toe zijn aan vervanging of revisie, wat momenten zijn om schepen geschikt te maken voor alternatieve, duurzamere brandstoffen.

Zo kunnen beleidseffecten van bijvoorbeeld subsidies op motorvervanging minder goed worden ingeschat.

***Geen beeld van werkelijke beladingsgraden***

In de huidige waarnemingen (AIS) wordt de beladingsgraad van schepen niet expliciet meegenomen. Het is daardoor onmogelijk om de effecten van het varen in ballast in de berekeningen te onderscheiden van het varen met belading. Het meenemen van de werkelijke belading zou een verbetering van de nauwkeurigheid van de berekende emissies opleveren. Er is nog geen goede gegevensbron gevonden voor deze data.

***Geen beeld van het type brandstof en brandstofkwaliteit***

In de huidige waarnemingen (AIS) is het type brandstof en de kwaliteit niet aanwezig. In de emissieberekeningen wordt daarom van aannames (per schip) uitgegaan op grond van scheepskenmerken. Het meenemen van de in de praktijk gebruikte brandstof en de kwaliteit zou een verbetering van de nauwkeurigheid van de berekende emissies kunnen opleveren.

## 5 Non-Road Mobile Machinery

Non-Road Mobile Machinery (NRMM) is de verzamelnaam voor een zeer breed spectrum aan machines. In de Europese regelgeving vallen onder NRMM meerdere motorcategorieën, zoals motoren voor mobiele werktuigen, binnenvaart en rail. Dit hoofdstuk heeft de focus op mobiele werktuigen. NRMM is een relevante bron van zowel CO<sub>2</sub> als luchtverontreinigende stoffen. De daling van de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door mobiele werktuigen is minder snel gegaan dan bijvoorbeeld bij het wegverkeer.

De Emissieregistratie maakt, naast de bouwsector, onderscheid tussen de volgende sectoren:

- **Industrie** – mobiele werktuigen die gebruikt worden door industriële bedrijven, bijvoorbeeld in de petrochemische of metaalindustrie. Het gaat om machinetypen, zoals verreikers, generatoren en vorkheftrucks.
- **Consumenten** – gebruik van mobiele werktuigen door consumenten, bijvoorbeeld voor tuinonderhoud en klussen in huis. Het gaat om kleinere machinetypen, zoals grasmaaiers, bosmaaiers, bladblazers, kettingzagen en zitmaaiers.
- **Handel, Diensten en Overheid (HDO)** – inzet van mobiele werktuigen door bedrijven in de handel-, diensten- en overheidssector, bijvoorbeeld bij evenementen, professioneel groenaanleg en -onderhoud en afvalbeheer. Het gaat om machinetypen, zoals compacttrekkers, generatoren, kantenstekers, verticuteermachines en zitmaaiers.
- **Containeroverslag** – inzet van gespecialiseerde mobiele werktuigen in havens, zoals zeer zware heftrucks en reach-stackers.
- **Landbouw** – mobiele werktuigen te gebruiken op het land, bijvoorbeeld in de veehouderij, akkerbouw en tuinbouw, zoals landbouwtrekkers, spuitmachines en mestinjecteurs.

Mobiele werktuigen in de bouwsector zorgen voor de hoogste bijdrage aan de emissies van de bovenstaande sectoren, daarna volgt de landbouw, zoals te zien in onderstaande tabel.



**Tabel 5.1:** Emissies van mobiele werktuigen<sup>69</sup> van verschillende sectoren in 2021.

| Bron                                   | NO <sub>x</sub> [kton] | CO <sub>2</sub> [Mton] | Fijnstof (PM <sub>2,5</sub> ) [ton] | NH <sub>3</sub> [ton] |
|----------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Mobiele werktuigen – industrie         | 2,1                    | 0,2                    | 65                                  | 4                     |
| Mobiele werktuigen – consumenten       | 0,2                    | 0,1                    | 32                                  | 0,1                   |
| Mobiele werktuigen – HDO               | 2,8                    | 0,3                    | 95                                  | 4                     |
| Mobiele werktuigen – containeroverslag | 0,9                    | 0,1                    | 29                                  | 6                     |
| Mobiele werktuigen – landbouw          | 9,3                    | 1,4                    | 335                                 | 50                    |
| Mobiele werktuigen – bouwsector        | 10,7                   | 1,5                    | 484                                 | 53                    |

Het doel van dit hoofdstuk is het duiden van de belangrijkste beleidsdoelen en marktontwikkelingen in de sector NRMM. Hierbij worden ook de belangrijkste barrières voor introductie en/of opschaling van deze marktontwikkelingen beschreven. Tot slot wordt beschreven op welke manier de milieu-impact van beleidsdoelen in de NRMM sector bepaald kunnen worden.

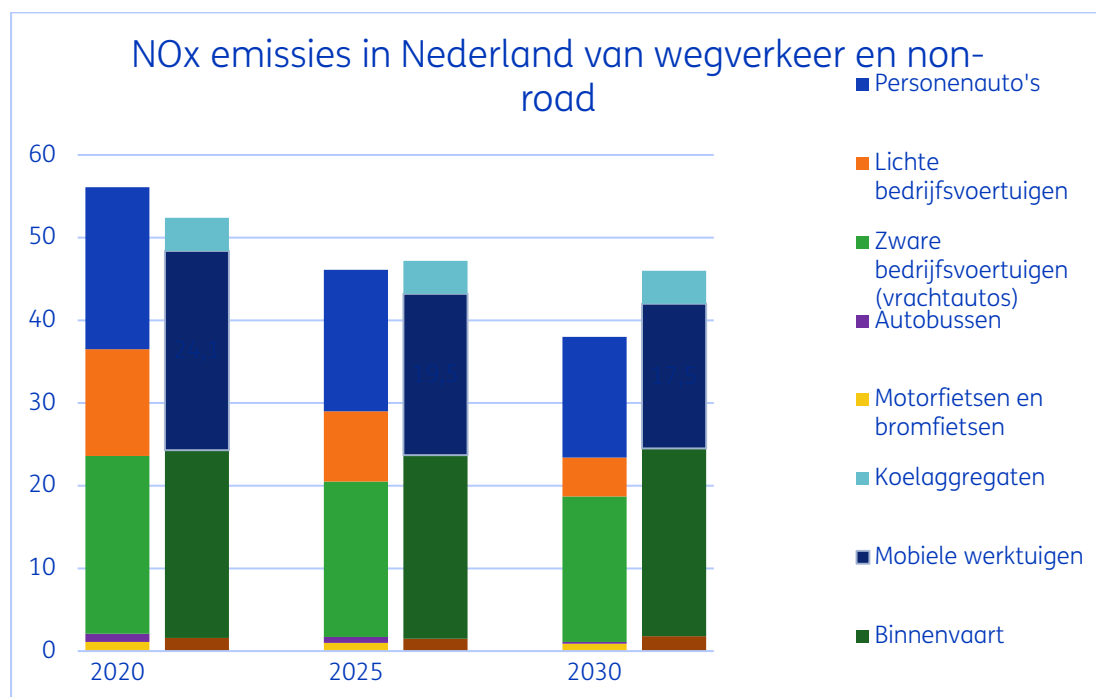
## 5.1 Relevantie mobiele werktuigen

De figuren hieronder laten de NO<sub>x</sub> en PM emissies zien in 2020, 2025 en 2030. De getallen zijn gebaseerd op de KEV 2022, oftewel het PBL rapport “Geraamde ontwikkelingen in nationale emissies van luchtverontreinigende stoffen 2022”, specifiek tabel 2.2 en 4.2.<sup>70</sup> In deze getallen is meegenomen wat de effecten zijn van vastgesteld en voorgenomen beleid. Voor PM alleen de uitlaatgasemissies zijn meegenomen, dus niet de fijnstof van remmen en banden.

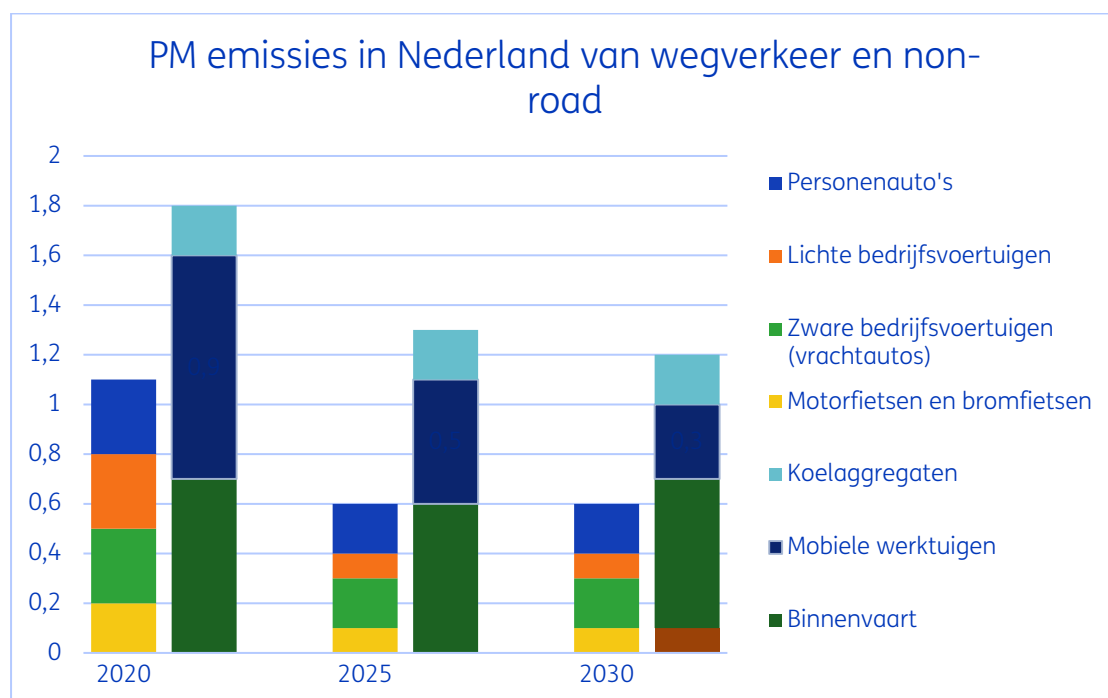
De balken zijn apart gestapeld voor wegverkeer en non-road emissies (inclusief mobiele werktuigen en binnenvaart), zodat het totaal van deze categorieën goed vergelijkbaar is. De figuren tonen duidelijk dat het totaal van non-road emissies vrij hoog is. Voor NO<sub>x</sub> zijn deze op vergelijkbaar niveau in 2020 en gaande richting 2030 overstijgen ze die van het wegverkeer. Voor PM zijn ze nu al 63% hoger en neemt dit verhoudingsgewijs verder toe richting 2030 naar bijna 2 maal de uitstoot van het wegverkeer.

<sup>69</sup> Emissieregistratie 2022, [www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl)

<sup>70</sup> [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2023-geraamde-ontwikkelingen-in-nationale-emissies-van-luchtverontreinigende-stoffen-2023\\_4930.pdf#page=121&zoom=100,110,104](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2023-geraamde-ontwikkelingen-in-nationale-emissies-van-luchtverontreinigende-stoffen-2023_4930.pdf#page=121&zoom=100,110,104)



**Figuur 5.1:** NO<sub>x</sub> emissies in Nederland afkomstig uit wegverkeer en NRMM



**Figuur 5.2:** Fijnstof (PM) emissies in Nederland afkomstig van wegverkeer en NRMM. Het betreft fijnstofemissies uit de uitlaat.

## 5.2 Beleidsdoelen voor NRMM

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste beleidsdoelen beschreven. De beleidsdoelen voor mobiele werktuigen worden onderverdeeld in Europese beleidsdoelen, nationale beleidsdoelen en lokale beleidsdoelen.

### 5.2.1 Europese beleidsdoelen

#### 5.2.1.1 Europese emissiewetgeving – luchtverontreinigende stoffen

Om luchtvervuiling tegen te gaan is er Europese wetgeving opgesteld om luchtverontreinigende stoffen door NRMM te reduceren. De Europese emissienormen voor NRMM zijn opgedeeld in 6 fasenormen of stages; Stage I, II, IIIA, IIIB, IV and V. De wetgeving voor Stage I t/m Stage IV vallen onder de richtlijn 97/68/EG (en alle opvolgende aanvullende documenten) die in 1997 is geïntroduceerd en van kracht was tot eind 2016. Stage V wetgeving is beschreven in verordening (EU) 2016/1628 (en alle opvolgende aanvullende documenten) en is momenteel van kracht. De Stage norm die van toepassing is, is met name afhankelijk van het bouwjaar van de motor en het motorvermogen. Een update na Stage V is momenteel nog niet voorzien<sup>71</sup>.

Onderstaande tabel laat per vermogenscategorie zien wat per ingangsjaar de geldende Stage-norm is. De Europese wetgeving specificeert twee implementatiedatums:

- 'Typegoedkeur': verplichte toepassingsdatum van de fasenorm voor nieuwe EU-typegoedkeuring van motoren;
- 'In de handel': verplichte toepassingsdatum van de fasenorm voor het in de handel brengen van motoren.

**Tabel 5.2:** : Ingangsdata van Stage-normen per vermogenscategorie volgens de Europese wetgeving. De 'T' staat voor de datum van 'typegoedkeur', en de 'H' staat voor de datum van 'in de handel'. Daarnaast zijn er in sommige gevallen ook nog overgangsbepalingen van kracht, waardoor de introductie later kan zijn dan 'in de handel'.

|               | Stage I                | Stage II               | Stage IIIa             | Stage IIIb             | Stage IV               | Stage V                |
|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <19kW         | -                      | -                      | -                      | -                      | -                      | T: 1-2018<br>H: 1-2019 |
| 18/19 - 37 kW | -                      | T: 1-2000<br>H: 1-2001 | T: 1-2006<br>H: 1-2007 | -                      | -                      | T: 1-2018<br>H: 1-2019 |
| 37 - 56 kW    | T: 7-1998<br>H: 4-1999 | T: 1-2003<br>H: 1-2004 | T: 1-2007<br>H: 1-2008 | T: 1-2012<br>H: 1-2013 | -                      | T: 1-2018<br>H: 1-2019 |
| 56 - 75 kW    |                        |                        |                        | T: 1-2011<br>H: 1-2012 | T: 1-2014<br>H: 1-2015 | T: 1-2019<br>H: 1-2020 |
| 75 - 130 kW   | T: 7-1998<br>H: 1-1999 | T: 1-2002<br>H: 1-2003 | T: 1-2006<br>H: 1-2007 | T: 1-2011<br>H: 1-2012 |                        |                        |
| 130 - 560 kW  | T: 7-1998<br>H: 1-1999 | T: 1-2001<br>H: 1-2002 | T: 7-2005<br>H: 1-2006 | T: 1-2010<br>H: 1-2011 | T: 1-2013<br>H: 1-2014 | T: 1-2018<br>H: 1-2019 |
| >560 kW       | -                      | -                      | -                      | -                      | -                      | T: 1-2018<br>H: 1-2019 |

<sup>71</sup> [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2020-000679-ASW\\_EN.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2020-000679-ASW_EN.html)

### Emissielimieten verschillen per vermogensklasse

Met betrekking tot luchtkwaliteit zijn NO<sub>x</sub> en fijnstof van primair belang. Machines met een conventionele (diesel)verbrandingsmotor kunnen lage emissieniveaus halen indien er een goedwerkende SCR katalysator is toegepast om de NO<sub>x</sub>-emissies te reduceren en een roetfilter voor fijnstof reductie. Binnen een bepaalde fasenorm kunnen de emissielimieten variëren afhankelijk van de vermogensklasse. Bijvoorbeeld, een machine die voldoet aan de Stage V norm, met een vermogen van tussen de 56 en 560 kW heeft doorgaans lage NO<sub>x</sub> emissies, dankzij het gebruik van een SCR systeem dat NO<sub>x</sub>-emissies reduceert. Echter, voor machines met een motorvermogen onder de 56 kW geldt dit niet, simpelweg omdat de emissielimieten voor deze vermogensklasse minder streng zijn.

Een bijkomende complexiteit in de fasenormen is dat er soms wel aanscherpingen zijn voor NO<sub>x</sub>, maar niet voor fijnstof, en vice versa. Bijvoorbeeld, Stage IV heeft aanzienlijk strengere NO<sub>x</sub> emissielimieten in vergelijking met Stage IIIB voor machines met een motorvermogen tussen de 56 en 560 kW. Voor fijnstof zijn er echter geen strengere normen ingevoerd bij Stage IV. In de praktijk komt het zelfs voor dat sommige Stage IIIB machines wel een roetfilter hebben terwijl sommige Stage IV machines dat niet hebben. Aan de andere kant hebben Stage V machines met een motorvermogen van minder dan 56 kW milde NO<sub>x</sub> eisen, waardoor een SCR katalysator niet nodig is. Echter, machines met een motorvermogen tussen de 19 en 560 kW vereisen wel een roetfilter.

De onderstaande tabel geeft het overzicht van de vermogenscategorieën en geeft weer in welke mate deze relevant zijn voor de emissies van verbrandingsmotoren in mobiele werktuigen. De tabel laat met name zien welke machines wel/geen SCR en/of roetfilter hebben.

**Tabel 5.3:** Overzicht categorieën mobiele werktuigen en emissies voor verbrandingsmotoren

| Categorie                             | NOx                                                                           | Fijnstof                                                                              |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Mini materieel (<19 kW)               | Geen schone verbrandingsmotoren beschikbaar                                   |                                                                                       |
| Klein materieel (19 tot 37 kW)        | Fabriek-af geen schone verbrandingsmotoren beschikbaar (geen SCR katalysator) | Stage V (2019) heeft roetfilter                                                       |
| Klein materieel (37 tot 56 kW)        |                                                                               | Stage V heeft roetfilter, Stage IIIB (2011) flinke stap schoner dan Stage IIIA (2006) |
| Middelgroot materieel (56 tot 130 kW) | Stage IV en V hebben lage NOx (wel SCR katalysator)                           |                                                                                       |
| Groot materieel (130 kW tot 560 kW)   |                                                                               |                                                                                       |
| Zeergroot materieel (>560 kW)         | Geen schone verbrandingsmotoren beschikbaar                                   | Alleen Stage V generatorsets zijn mogelijk schoon (met SCR)                           |

In de onderstaande tabel staan de emissielimieten voor NO<sub>x</sub> en fijnstof van de verschillende fasenormen en vermogensklassen samengevat. De doorgetrokken lijnen geven de grote stappen in de eisen voor NO<sub>x</sub> en fijnstof aan. Een SCR katalysator is nodig bij 0.4 g/kWh NO<sub>x</sub> uitstoot en een roetfilter is noodzakelijk als er 0.015/PN (eis voor fijnstof in emissiewetgeving) staat.

**Tabel 5.4:** Wettelijke limieten voor de verschillende Stages en vermogensklassen

| Vermogen [kW] | <19 | 19-37    | 37-56    | 56-75    | 75-130   | 130-560  | >560  |
|---------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| PM [g/kWh]    |     |          |          |          |          |          |       |
| V (2019)      | 0.4 | 0.015/PN | 0.015/PN | 0.015/PN | 0.015/PN | 0.015/PN | 0.045 |
| IV (2014)     | -   | -        | -        | 0.025    | 0.025    | 0.025    | -     |
| IIIB (2011)   | -   | -        | 0.025    | 0.025    | 0.025    | 0.025    | -     |
| IIIA (2006)   | -   | 0.6      | 0.4      | 0.4      | 0.3      | 0.2      | -     |
| II (2002)     | -   | 0.8      | 0.4      | 0.4      | 0.3      | 0.2      | -     |
| I (1999)      | -   | -        | 0.85     | 0.85     | 0.7      | 0.54     | -     |
| NOx [g/kWh]   |     |          |          |          |          |          |       |
| V (2019)      | 7.5 | 4.7      | 4.7      | 0.4      | 0.4      | 0.4      | 3.5   |
| IV (2014)     | -   | -        | -        | 0.4      | 0.4      | 0.4      | -     |
| IIIB (2011)   | -   | -        | 4.7      | 3.3      | 3.3      | 2.0      | -     |
| IIIA (2006)   | -   | 7.5      | 4.7      | 4.7      | 4.0      | 4.0      | -     |
| II (2002)     | -   | 8.0      | 7.0      | 7.0      | 6.0      | 6.0      | -     |
| I (1999)      | -   | -        | 9.2      | 9.2      | 9.2      | 9.2      | -     |

### 5.2.1.2 Europese emissiewetgeving – klimaat

Broeikasgassen door NRMM vallen onder de wettelijke reductieverplichtingen van de EU. Dit is beschreven in verordening (EU) 2018/842 en (EU) 525/2013. Zogenaamde “niet-ETS-sectoren” dienen in 2030 een reductie van broeikasgasemissies te bewerkstelligen van 30% ten opzichte van 2005, NRMM is hier ook onderdeel van.

### 5.2.1.3 Europese Vogel- en Habitatrichtlijn

Met als doel de natuur te beschermen, is er in Europa een netwerk van beschermde natuurgebieden aangewezen, bekend als de Natura-2000 gebieden. De toewijzing van Natura-2000 gebieden is beschreven in de Europese Vogelrichtlijn (79/409/EEG) en de Europese Habitatrichtlijn (RICHTLIJN 92/43/EEG). Met behulp van deze richtlijnen dient de biodiversiteit in Europa te worden bewaakt en hersteld door gebieds- en soortenbescherming. Mobiele werktuigen zijn geen direct onderdeel van deze richtlijnen. De Europese richtlijnen zijn in Nederland geïmplementeerd in de Wet natuurbescherming, waar onder andere de reductie van stikstofdepositie is opgenomen. Bouwprojecten hebben vanwege de uitstoot van stikstof (onder andere door mobiele werktuigen) te maken met vergunningverlening voor het aspect stikstof wanneer er sprake is van stikstofdepositie in een Natura-2000 gebied (volgens de Wet natuurbescherming (artikel 2.7)). Met name mobiele werktuigen in de bouwsector hebben daarom een indirecte koppeling met de Europese Vogel- en Habitatrichtlijn.

## 5.2.2 Nationale beleidsdoelen

Momenteel zijn er vanwege aanzienlijk bouwopgaven grote uitdagingen in de bouwsector. Met als doel het groeiende woningtekort aan te pakken, heeft de overheid zich ten doel gesteld om jaarlijks 100.000 woningen te realiseren tot en met 2030. Naast de woningbouwsector, staat ook de Grond-, Weg- en Waterbouw (GWW)-sector voor een omvangrijke taak.

Dit gaat niet alleen om aanleg van nieuwe weg- en OV-infrastructuur, maar ook de noodzaak tot vervanging en renovatie van een groot deel van de bestaande Nederlandse infrastructuur, zoals bruggen, tunnels en viaducten.

Tegelijkertijd is er de noodzaak van emissiereductie vanwege de stikstofproblematiek en het klimaatverdrag. Tijdens bouwactiviteiten worden namelijk emissies uitgestoten door mobiele werktuigen zoals graafmachines, bulldozers en generatoren, met als door vrachtwagens en bestelwagens voor vervoer van materialen en personen.

Om de bouwsector te verduurzamen zijn er diverse doelstellingen en ambities. Rondom NO<sub>x</sub>-reductie in de bouwsector wordt in de nota van toelichting bij het *“Besluit van 14 juni 2021 tot wijziging van enkele algemene maatregelen van bestuur (stikstofreductie en natuurverbetering)”* het volgende aangegeven *“Het kabinet wil daarmee een beweging naar emissiearme en circulaire bouw in gang zetten, met als ambitie 60 procent NO<sub>x</sub>-reductie in 2030”*<sup>72</sup>. De ambitie van 60% NO<sub>x</sub>-reductie is ten opzichte van het referentiejaar 2018. Deze ambitie is verder vormgegeven in het Programma Stikstofreductie en Natuurverbetering<sup>73</sup>.

Daarnaast is het streven volgens het Schone Lucht Akkoord om *“in 2030 een reductie van de negatieve gezondheidseffecten van mobiele werktuigen van 75% ten opzichte van 2016 te realiseren”*<sup>74</sup>.

Volgens het Klimaatakkoord wordt er in 2030 een besparing 0,4 Mton CO<sub>2</sub> verwacht ten opzichte van 2019 door mobiele werktuigen, dit ten gevolge van de Green Deal Het Nieuwe Draaien en de Green Deal Bouwlogistiek<sup>75</sup>.

Naast het Klimaatakkoord is vanuit het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat ook de ambitie om uiterlijk in 2030 volledig klimaatneutraal te zijn en circulair te werken, dit is vastgelegd in de strategie *“Klimaatneutrale en Circulaire Infraprojecten”*<sup>76</sup>. Hierbij wordt gericht op de eigen CO<sub>2</sub>-uitstoot, als ook de invloed als opdrachtgever van infraprojecten. Het grootste aandeel komt vanuit Rijkswaterstaat-infrastructuur.

### 5.2.2.1 Schoon en Emissieloos Bouwen

Het programma “Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) is opgezet om als gezamenlijk aanpak voor de bouwsector waarin de bovenstaande doelen en ambities zijn opgenomen<sup>77</sup>.

De onderstaande maatregelen zijn bedoeld om de aanpak te ondersteunen:

- Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB)
  - In het programma SEB is samen met overheden, kennisinstellingen en marktpartijen uit bouwsector een routekaart en convenant opgesteld om het traject naar een schone en emissieloze bouwsector in 2030 vorm te geven. Emissie-eisen zijn opgesteld voor diverse materieeltypen in de bouwuitvoeringsfase, namelijk mobiele werktuigen, specialistisch spoorbouwmaterieel, wegvoertuigen voor bouwtransport en schepen in de

<sup>72</sup> <https://zoek.officiëlebevestigingen.nl/stb-2021-287.html#extrainformatie>

<sup>73</sup> <https://www.aanpakstikstof.nl/>

<sup>74</sup> <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-ff5c8087-200a-4aa4-b76e-dac3b5c408fd/pdf>

<sup>75</sup> <https://www.klimaatakkoord.nl/mobiliteit/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord-hoofdstuk-mobiliteit>

<sup>76</sup> [https://www.duurzame-infra.nl/Portals/0/adam/Content/y0tGQnybGUu1n59WEK4XHQ/Text/Strategie%20klimaatneutrale\\_circulaire%20in%20infraproject\\_DEF.pdf](https://www.duurzame-infra.nl/Portals/0/adam/Content/y0tGQnybGUu1n59WEK4XHQ/Text/Strategie%20klimaatneutrale_circulaire%20in%20infraproject_DEF.pdf)

<sup>77</sup> <https://www.opwegnaarseb.nl/>

- waterbouw. Per tijdsperiode zijn eisen voorgeschreven om de inzet van bouwmaterieel te verduurzamen.
- Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel (SSEB).
    - Een onderdeel van SEB is sinds mei 2022 de Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel (SSEB). SSEB is bedoeld om de aanschaf van en ombouw naar emissieloos en emissiearm bouwmaterieel (bouwwerktuigen, hulpfuncties en bouwvoertuigen) te stimuleren.
      - Het doel van deze regeling is om de stikstofuitstoot van bouwmachines te reduceren en tegelijkertijd ook bij te dragen aan de doelstellingen van het Klimaatakkoord en Schone Lucht Akkoord.
      - De subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel (SSEB) is beschikbaar tot en met 2026, dit is vastgesteld beleid. De regeling kan vervolgens na een evaluatie verlengd worden. De Rijksoverheid heeft de intentie uitgesproken de regeling tot 2030 te laten lopen.
      - SSEB bestaat uit drie sporen van instroom van schone bouwmachines: SSEB Aanschaf, SSEB Retrofit en SSEB Innovatie. SSEB Aanschaf is bedoeld voor de aanschaf van nieuwe emissieloze bouwmachines die worden ingezet in de bouwsector. Bedrijven kunnen in aanmerking komen voor SSEB Retrofit indien zij bouwwerktuigen of bouwvaartuigen, die al in gebruik zijn, laten ombouwen naar emissiearm of emissieloos. Dit kan door de aanschaf en installatie van respectievelijk een SCR-katalysator of een emissieloze aandrijflijn. De Innovatieregeling is een kennisprogramma is voor haalbaarheidsstudies en experimentele projecten op het gebied van praktijkervaring of technische ontwikkelingen van emissieloze bouwmachines en de benodigde infrastructuur.
  - Kennis- en innovatieprogramma Emissieloos Bouwen
    - Vanuit de ministeries IenW, BZK en EZK is het kennis- en innovatieprogramma opgezet. Het programma focust op diverse aspecten, waaronder het gebruik van lichtere en duurzame bouwmaterialen, prefab-woningen, efficiëntere bouwlogistiek, digitalisering en de inzet van emissieloze werktuigen op de bouwlocatie. Living labs zijn opgericht om kennis en innovaties in de praktijk te demonstreren.
  - Schone en emissieloze aanbestedingen door rijksdiensten
    - Een impuls voor emissiearme bouwprojecten vanuit aanbestedingen door Rijkswaterstaat, ProRail en het Rijksvastgoedbedrijf.
  - Pilots verduurzaming mobiele werktuigen
    - Pilots zijn opgestart om kennis- en ervaring op te doen met emissieloze mobiele werktuigen.

### 5.2.2.2 Overige regelingen

#### MIA/VAMIL

Om investeringen in milieuvriendelijke bedrijfsmiddelen te stimuleren zijn er vanuit het ministerie van Infrastructuur en het ministerie van Financiën twee investeringsregelingen ontwikkeld. Dit zijn de regeling “willekeurige afschrijving milieu-investeringen (Vamil)” en de regeling “Milieu-investeringsaftrek (MIA)”. Een “milieulijst” is beschikbaar waar de bedrijfsmiddelen zijn opgenomen die in aanmerking komen voor de MIA en/of Vamil regeling<sup>78</sup>. Diverse investeringen voor mobiele werktuigen zijn onderdeel van de milieulijst. Hier vallen bijvoorbeeld diverse met elektriciteit of waterstof aangedreven mobiele werktuigen onder.

<sup>78</sup> <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2023-04/RVO-Brochure-Milieulijst-2023-2.pdf>

Ook investeringen voor diverse oplaadpunten voor mobiele werktuigen op een bouwplaats komen in aanmerking voor de regeling. Daarnaast zijn er mogelijkheden voor het verschonen van bestaande machines, zoals de toepassing van een gesloten roetfilter (fijnstof reductie) en/of een NO<sub>x</sub>-reductiesysteem.

#### SpUk regeling

Voor gemeenten en provincies die het Schone Lucht Akkoord hebben ondertekend, is er een Specifieke Uitkering Schone Lucht Akkoord (SpUk SLA) beschikbaar, mobiele werktuigen is hierbij een van de mogelijke onderwerpen. De financiële steun is bedoeld voor projecten die zorgen voor schonere lucht en gezondheidswinst<sup>79</sup>. De SpUk-regeling komt mogelijk ook beschikbaar voor medeoverheden die het SEB convenant hebben getekend en emissieloos materieel uitvragen in aanbestedingen.<sup>80</sup>

### 5.2.3 Lokale beleidsdoelen

Diverse grote steden zijn beleid aan het ontwikkelen rondom de verduurzaming van mobiele werktuigen. Veel van deze steden hebben ook het convenant SEB ondertekend. De verduurzaming van mobiele werktuigen is bijvoorbeeld opgenomen in de uitvoeringsagenda 2023 – 2026 - Uitstootvrije Mobiliteit Amsterdam.<sup>81</sup> En bijvoorbeeld de gemeente Utrecht onderzoekt de mogelijkheden voor een milieuzone voor mobiele werktuigen en het tegengaan van onnodig stationair draaien.<sup>82</sup> De gemeente Rotterdam zet bij inkoop en aanbestedingen in op elektrische mobiele werktuigen.<sup>83</sup>

## 5.3 Marktontwikkeling

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de marktontwikkelingen rondom de verschoningsopties voor mobiele werktuigen. De verschoningsopties hebben soms betrekking op luchtverontreinigende stoffen (met name NO<sub>x</sub> en fijnstof) en soms op broeikasgassen (met name CO<sub>2</sub>), en soms op beide. Onderstaande Tabel 23 geeft een overzicht van verschoningsopties en of deze impact hebben op luchtverontreinigende stoffen en/of CO<sub>2</sub>-uitstoot. Na de tabel worden de verschoningsopties kort beschreven, in TNO rapport “TNO 2022 R11048” worden de opties in meer detail beschreven.<sup>84</sup>

<sup>79</sup> <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/spuk-sla>

<sup>80</sup> <https://www.opwegnaarseb.nl/overheden>

<sup>81</sup> <https://www.amsterdam.nl/verkeer-vervoer/milieuzone-uitstootvrijzone/uitvoeringsagenda-uitstootvrije/>

<sup>82</sup> <https://www.schoneluchtakkoord.nl/actueel/nieuws-schone-lucht-akkoord/mobiele-werktuigen/milieuzone-mobiele-werktuigen-utrecht/>

<sup>83</sup> <https://www.schoneluchtakkoord.nl/actueel/nieuws-schone-lucht-akkoord/mobiele-werktuigen/rotterdam-kiest-elektrische-mobiele-werktuigen/>

<sup>84</sup> TNO 2022 R11048 - Inventarisatie en categorisatie huidige en toekomstige aanbod duurzame mobiele werktuigen, bouwlogistieke voertuigen, spoorwerktuigen en vaartuigen die worden ingezet voor de waterbouw



**Tabel 5.5:** Verschoningsopties voor voertuigen en mobiele werktuigen op basis van desk-studie  
(bron: TNO 2022 R11048)

| Mogelijke verschoningsopties<br>op voertuig-/machineniveau | Met name impact op                   |                       |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
|                                                            | <i>Luchtverontreinigende stoffen</i> | <i>CO<sub>2</sub></i> |
| Elektrisch (batterij of bekabeld)                          | x                                    | x*                    |
| Waterstof (H <sub>2</sub> )                                | x (i.c.m. brandstofcel)              | x*                    |
| Biobrandstoffen                                            |                                      | x                     |
| Hybride                                                    | x (i.c.m. schone dieselmotor)        | X                     |
| Schone dieselmotor                                         | x                                    |                       |
| E-fuels**                                                  |                                      | x*                    |
| Vloeibare waterstofdragers**                               | x (i.c.m. brandstofcel)              | x                     |
| Gedrag                                                     | x                                    | x                     |

\* De mate van verschoning is sterk afhankelijk van de productiemethode van de waterstof en elektriciteit.

\*\* Toepassing op grotere schaal waarschijnlijk pas na 2030, niet verder toegelicht in deze rapportage.

## 5.3.1 Elektrificatie en waterstof

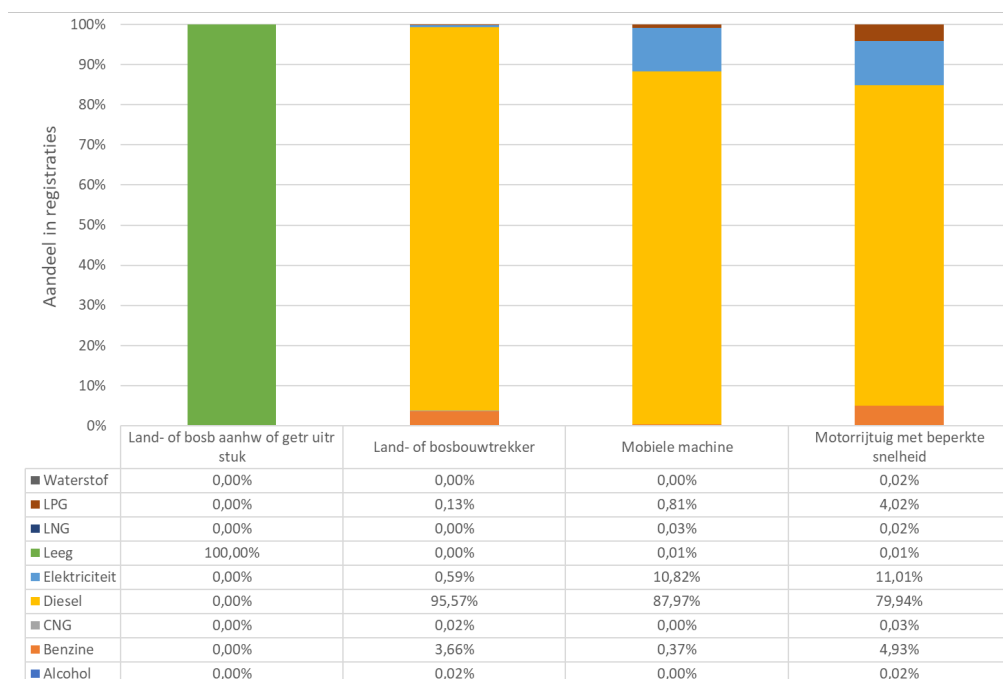
Elektrisch aangedreven mobiele werktuigen kunnen accu's of een vaste bekabelde aansluiting op het elektriciteitsnetwerk gebruiken. Waterstof in combinatie met brandstofcel of waterstof in een verbrandingsmotor is ook een mogelijkheid (al is deze laatste niet lokaal uitstootvrij). Accu's kunnen verwisselbaar of vast zijn, waarbij het verwisselen handig is bij beperkte elektriciteit op de bouwplaats, dit vergt wel extra transport met bijbehorende energievraag. Wanneer een mobiel werktuig permanent aan het elektriciteitsnetwerk kan worden aangesloten is dat de meest efficiënte oplossing voor de benodigde energiebehoefte (laagste energieverliezen). Stationaire toepassingen zoals pompen, generatoren en hijskranen kunnen zo worden geëlektrificeerd zonder een groot accupakket.

Momenteel zijn er meer dan 50 fabrikanten die uitstootvrije machines op de markt aanbieden. Ook in de verhuur zijn al diverse elektrische machine verkrijgbaar. Voor het kleine segment (met name tot 19kW maar ook tot 56 kW) is het aanbod van beschikbare batterij-elektrische, maar ook bekabelde werktuigen al relatief groot. Dit gaat met name om materieel wat veel voorkomt, zoals wielladers, vorkheftrucks en graafmachines. Bekabelde werktuigen zijn bijvoorbeeld overslagmachines, of stationair materieel zoals bronbemaalingspompen. Ook het aanbod van elektrisch 'handheld' materieel is vrij groot, dit gaat bijvoorbeeld om triplaten. Het aanbod van uitstootvrije mobiele werktuigen is voor het grotere en zwaardere segment nog beperkt. Daarnaast worden diverse batterijcontainers aangeboden, zowel in de verhuur als aanschaf.

Vanaf 1 januari 2021 geldt er een registratie- en kentekenplicht voor bestaande en nieuwe (land)bouwvoertuigen die op de openbare weg rijden. De registratiegegevens worden verzameld bij de RDW. Diverse voertuiggegevens (o.a. kenteken, brandstof, DET (datum eerste toelating)) zijn via de publiek toegankelijke RDW database beschikbaar. Mobiele werktuigen vallen bij de RDW onder 'mobiele machine', en zijn ook onderdeel van "motorrijtuig met beperkte snelheid" (MMBS). MMBS voertuigen zijn allerlei machines die op de openbare weg kunnen rijden, met een snelheid boven de 6 km/h en een maximum snelheid van 25 km/h of 45 km/h. Dit zijn onder andere mobiele machines zoals graafmachines en laadschoppen op banden, maar het kan bijvoorbeeld ook een rijdende winkel of een wegtrein zijn.

Op basis van de beschikbare data kan (o.a.) gemonitord worden hoeveel machines zijn geregistreerd met een bepaalde brandstof, zoals elektriciteit. Het onderstaande figuur geeft hier een overzicht van (november 2023). In het aandeel elektrisch zijn de vorkheftrucks dominant. Waterstof komt in deze registratie nauwelijks voor.

Deze registratie- en kentekenplicht betekent echter niet dat er een complete registratie van alle mobiele machines is. Machines die niet op de openbare weg rijden (bijvoorbeeld een pomp of een aggregaat, of een landbouwtrekker die niet op de openbare weg komt), of een maximum snelheid hebben die lager is dan 6 km/u (bijvoorbeeld een graafmachine op rupsen), zijn niet registratie-plichtig.



**Figuur 5.3:** verdeling van NRMM naar diverse energiedragers

In Nederland is er momenteel veel aandacht voor elektrische mobiele werktuigen. Maar ook in de Scandinavische landen en landen met veel tunnelbouw komen uitstootvrije mobiele werktuigen vaker voor.<sup>85 86 87</sup>

Opties voor werktuigen op waterstof zijn momenteel nog nauwelijks beschikbaar en zijn in het algemeen duurder dan batterij/kabel-elektrische varianten. Hierdoor is inzet op batterij-elektrisch momenteel gangbaarder dan voor waterstof. Wel zijn er al diverse stroomaggregaten die werken met behulp van waterstof. Over de gehele keten gezien is het totale energierendement van accu/kabel-elektrisch aangedreven mobiele werktuigen hoger dan waterstof aangedreven werktuigen.

<sup>85</sup> [Volvo CE partners on Swedens largest fossil free worksite](#)

<sup>86</sup> Sweden's long-term strategy for reducing greenhouse gas: emissions <https://faolex.fao.org/docs/pdf/swe204610.pdf>

<sup>87</sup> Tunnelbouw: [220985-NFF-Publikasjon-nr-30-WEB.pdf](#)

Zowel aan de ‘Well-to-Tank’ kant, als aan de ‘Tank-to-Wheel’ kant is accu-elektrisch of kabel-elektrisch (kabel-elektrisch is meest efficiënt) de efficiëntere oplossing in termen van energiegebruik.

### 5.3.2 Biobrandstoffen

Naast reguliere diesel kunnen ook biobrandstoffen uit hernieuwbare bronnen, zoals bio-CNG, bio-LNG, FAME en HVO, worden gebruikt, al vereisen ze mogelijk motoraanpassingen. HVO wordt regelmatig toegepast in de bouwsector. De Tank-To-Wheel-emissies van biobrandstoffen zijn CO<sub>2</sub>-neutraal volgens IPCC-richtlijnen. De daadwerkelijke TTW-emissies zijn vergelijkbaar met de uitstoot van de reguliere brandstof, maar de uitgestoten CO<sub>2</sub> is in een eerder stadium opgenomen door biomassa. Eerder in de keten, bijvoorbeeld bij de productie en transport van biobrandstoffen wordt wel CO<sub>2</sub> geëmitteerd, waardoor er wel CO<sub>2</sub>-ketenemissies (WTW) zijn. Biobrandstoffen hebben beperkte invloed op luchtverontreinigende emissies, vooral bij nieuwere motoren.

Europa heeft doelstellingen voor het gebruik van hernieuwbare brandstoffen. Deze doelstellingen worden gemonitord volgens Europese richtlijnen, op basis van nationale rapportages. In Nederland ligt deze taak bij de Nationale Emissieautoriteit (NEa). In de Renewable Energy Directive (RED III, Europese richtlijn hernieuwbare energie) en de Fuel Quality Directive (FQD, Europese richtlijn brandstofkwaliteit) wordt de inzet van biobrandstoffen gereguleerd.

De RED-III, de Renewable Energy Directive, maakt onderscheid tussen vier soorten duurzame brandstoffen:

1. Conventionele biobrandstoffen
2. Biobrandstoffen van afvalstromen (incl. UCO (used/waste cooking oil) en dierlijk vet). Dit is momenteel de meest gebruikte categorie (>90%).
3. Geavanceerde biobrandstoffen
4. ‘Overig’ RFNBO zoals Elektriciteit, waterstof en E-fuels

Het gebruik van biobrandstoffen uit categorie 1 en 2 wordt gelimiteerd in de Europese richtlijnen. De hoeveelheid biobrandstof die binnen Europa en mondiaal beschikbaar is, is in principe voldoende om te voldoen aan de behoefte vanuit Nederland.

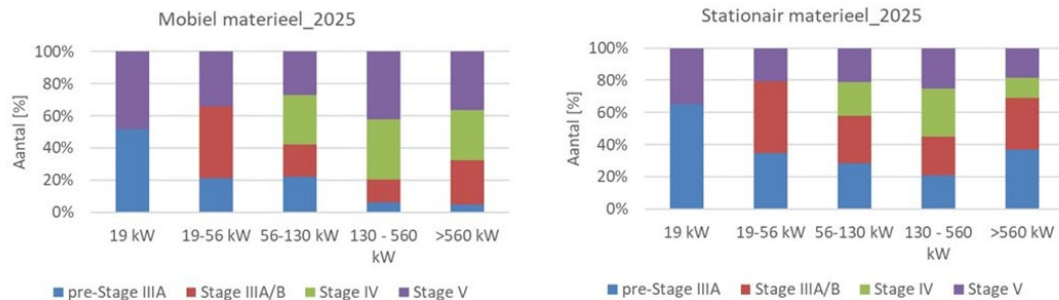
### 5.3.3 Hybride

Hybride oplossingen voor mobiele werktuigen kunnen worden ingezet om met name het brandstofverbruik van dieselmotoren te verminderen, bijvoorbeeld door het terugwinnen van rem- of zwenkenergie. Een alternatief is een plug-in hybride waarbij de machine elektrisch kan functioneren en oplaadbaar is via een stekkeraansluiting. Het is essentieel dat de hybride configuratie voldoet aan de nieuwste emissienormen, zoals stage V. Hierdoor wordt gegarandeerd dat de hybride machine aan de hoogste milieueisen voldoet als schone en efficiënte technologische oplossing. Ook in de verhuurmarkt zijn hybride opties beschikbaar.

### 5.3.4 Schone dieselmotor

De meest recente emissienorm is de Stage V-norm (EU 2016/1628), geïntroduceerd in 2019. Zoals eerder vermeld, variëren de emissielimieten per vermogensklasse. Het onderstaande figuur geeft de verwachte aandelen per emissieklasse en per vermogensklasse weer.

Het linker figuur betreft mobiele werktuigen die zichzelf kunnen voortbewegen (graafmachines, dumpers, wielladers, etc.), het rechter figuur betreft stationair materieel (zoals generatoren, pompen, lichtmasten etc.). De aandelen zijn gegeven voor zichtjaar 2025.



**Figuur 5.4:** Verdeling van NRMM naar vermogen

Vanwege de milde emissie-eisen blijven moderne machines met een Stage V-dieselmotor met een motorvermogen onder de 56 kW of boven de 560 kW nog steeds hoge NO<sub>x</sub>-emissies houden vanwege de milde emissielimieten. Machines met een Stage V motor tussen 19 kW en 560 kW zijn echter uitgerust met een roetfilter, waardoor ze over het algemeen aanzienlijk lagere fijnstofemissies hebben dan hun voorgangers. Het is echter mogelijk dat praktijkemissies hoger uitvallen dan de gestelde normen, vooral als gevolg van afwijkende belastingprofielen, zoals langdurig stationair draaien (met name relevant voor NO<sub>x</sub>-emissies). Daarnaast kunnen de emissiereducerende systemen ook defect, verwijderd of gemanipuleerd zijn, wat tot een forse verhoging van de emissies kan leiden. Vanwege de milde emissie-eisen voor diverse vermogenscategorieën, zal de autonome verjonging van de vloot naar de toekomst toe niet tot een grote emissiereductie leiden. Voor mobiele werktuigen in bouwsector wordt bijvoorbeeld in 2030 een autonome NO<sub>x</sub>-reductie van ca. 20% verwacht ten opzichte van 2018.

#### 5.3.4.1 Retrofit nabehandelingssystemen

Voor een kortetermijnoplossing om luchtverontreinigende stoffen te verminderen, kan men overwegen machines met een dieselmotor verder te verbeteren via retrofit (achteraf installeren van een SCR-katalysator en/of roetfilter). Retrofitoplossingen zijn met name relevant voor machines die nog langdurig worden ingezet, veel draaiuren maken en waarbij de kosten van een retrofitsysteem redelijk zijn in verhouding tot de totale machinekosten. Voor een effectieve werking van een SCR-katalysator zijn diverse voorwaarden van belang. De belangrijkste is het handhaven van voldoende uitlaatgastemperatuur. Stationair draaien en lage motorbelasting belemmeren de SCR-werking (dit geldt ook voor fabriek-af systemen). Het monitoren van emissieprestaties is essentieel bij retrofitoplossingen, omdat niet elke retrofit in de praktijk even effectief is in termen van emissiereductie (de effectiviteit kan variëren per fabrikant). Hierbij dient aandacht te zijn voor lage motorbelasting, stationair draaien en NH<sub>3</sub>-emissies.

#### 5.3.5 Efficiënte inzet van mobiele werktuigen

Het bevorderen van een efficiënter gebruik van mobiele werktuigen is belangrijk. Onnodig stationair draaien draagt bijvoorbeeld aan een verhoogd brandstofverbruik, maar het kan met name een aanzienlijke impact hebben op de NO<sub>x</sub>-emissie, in sommige gevallen zelfs tot ongeveer 50% van het totaal.

Het voorkomen van onnodig stationair draaien kan bijvoorbeeld worden bereikt door de implementatie van een start-stop systeem. De Green Deal het Nieuwe Draaien is (onder andere) bedoeld om dit efficiënter gebruik te bevorderen.

## 5.4 Barrières voor introductie en/of opschaling

### 5.4.1 Elektrisch

De ontwikkeling van het aanbod van zero-emissie mobiele werktuigen en voertuigen is nog in een beginfase. Om die reden is er een aantal voorwaarden/barrières voor de betaalbaarheid, beschikbaarheid en toepasbaarheid van zero-emissie opties.

#### 5.4.1.1 Laadinfrastructuur

De uitdaging bij het elektrificeren van de bouw ligt in het waarborgen van voldoende stroomvoorziening met accu's en de noodzaak van een goed ontwikkelde laadinfrastructuur.

De realisatie van een laadvoorzieningen is een essentieel onderdeel in de transitie naar de schone en emissieloze bouwplaats, tegelijkertijd is het operationeel een flinke uitdaging. Er zijn opties die resulteren in een toename van transportbewegingen. Dit komt door het vervoeren van batterijcontainers en/of verwisselbare accu's. Een goede energielogistiek is hiervoor nodig. Hierbij is de impact op emissies van het transportmiddel ook van belang.

Een ander belangrijk aspect van tank- en laadinfrastructuur zijn de locaties waar de energievraag ligt. De locatie van de bouwplaats, bijvoorbeeld in de stad of in de polder, speelt sterk mee in de mate waarin een energievoorziening al beschikbaar of eenvoudig te realiseren is op de bouwplaats.

De koppeling met het elektriciteitsnetwerk is een belangrijke factor in het realiseren van tank- en laadvoorzieningen. De toenemende energievraag leidt er toe dat het bestaande elektriciteitsnetwerk steeds meer onder druk komt te staan.

Stroomvoorzieningen worden nu bij de netbeheerder aangevraagd nadat het bouwproject is gegund, maar met de toenemende energievraag kan het tijdig realiseren van een netaansluiting op de bouwplaats onder druk komen te staan. Stroom op de bouwplaats moet snel en flexibel gerealiseerd kunnen worden (bouwplaatsen zijn immers vaak van korte duur). Dit vraagt om praktische oplossingen. Het is van belang om netbeheerders te betrekken, zodat onderzocht kan worden op welke manier zij geholpen kunnen worden om beter in te spelen op de toekomstige energiebehoefte.

Kennis blijven opdoen op het gebied van 'smart charging' is bovendien van belang om efficiënt gebruik van het elektriciteitsnet te realiseren. De beschikbaarheid van voldoende groene stroom is ook niet vanzelfsprekend. De vraag naar groene stroom neemt ook toe in andere sectoren (ook buiten de transportsector). De opties verschillen echter ook qua energie-efficiëntie.

De energie en vermogensvraag is aanzienlijk verschillend tussen bouwprojecten en ook over de looptijd van projecten. De mogelijke opties voor de laadinfrastructuur kan daardoor verschillen per project. Wanneer een aansluiting op het directe stroomnet kan worden gemaakt is dat de meest energie-efficiënte oplossing.

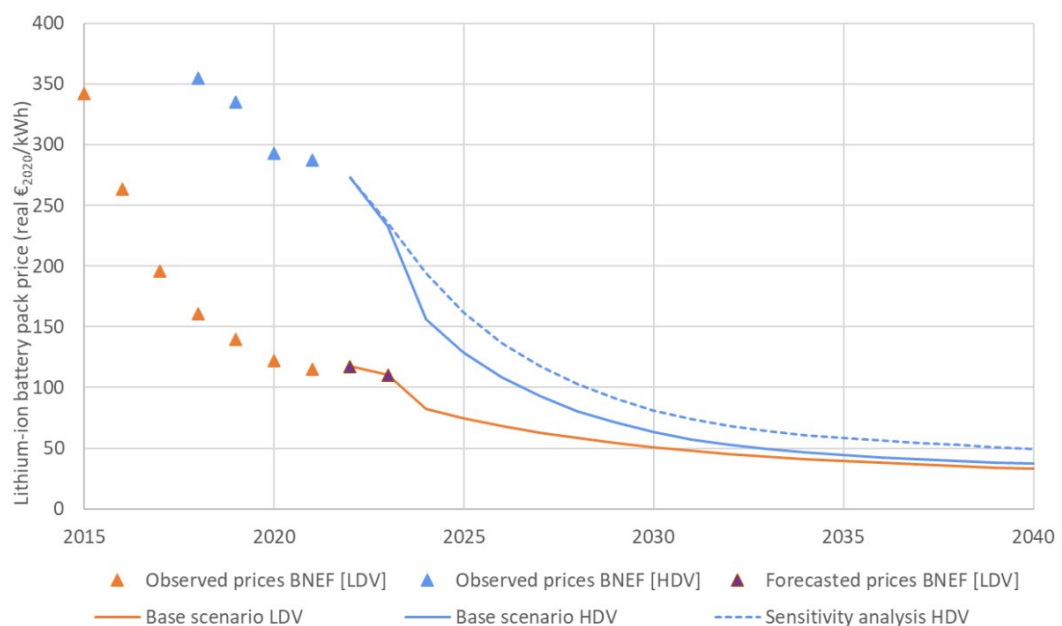
Kosten voor de stroom kunnen door bovengenoemde aspecten toenemen. Het is van belang dat de kosten voor energie zo laag als mogelijk blijven, bij voorkeur waarbij het tarief voor elektriciteit gunstiger is dan een equivalente dieselprijs. Hiermee kunnen investeringen in duurder materieel terugverdiend worden.

Andere algemeen geldende aspecten die aandacht nodig hebben zijn de inpassing van groene energie, het balanceren van vraag en aanbod van energie op het net en, daaraan gekoppeld de inzet van verschillende opslagmogelijkheden van overcapaciteit en de uitrol van laadinfrastructuur in stedelijke gebieden.

### 5.4.1.2 Betaalbaarheid

Momenteel kost een batterij-elektrisch werktuig twee tot drie keer meer dan een conventioneel equivalent, maar schaalvoordelen en technologische ontwikkelingen kunnen de meerprijs in de toekomst verminderen. Om financieel aantrekkelijker te worden is een sterke daling nodig van de kosten van de elektriciteitsvoorziening (inclusief laadinfrastructuur) en de prijzen van accu's. Ook is hiervoor voldoende marktvraag nodig. Het is wel de verwachting dat de batterijprijzen (dominante kostenfactor voor elektrische machines) afnemen richting 2030, zie onderstaand figuur<sup>88</sup>.

Al zijn de kosten de afgelopen jaren vanwege COVID-19 en het Oekraïne conflict niet gedaald zoals verwacht was, en heeft zelfs tot stijging van prijzen geleid.<sup>89</sup> Daarentegen zijn er ook recente studies waarin dalen prijzen worden verwacht.<sup>90</sup>



Figuur 5.5: Prijswontwikkeling van batterijen

<sup>88</sup> TNO report | TNO 2022 R11862 | 3 October 2022 Techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in Europe

<sup>89</sup> Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage: 2023 Update

<sup>90</sup> [Electric vehicle battery prices are falling faster than expected \(goldmansachs.com\)](https://www.goldmansachs.com/insights/articles/electric-vehicle-battery-prices-are-falling-faster-than-expected.html)

### 5.4.1.3 Beschikbaarheid

De beschikbaarheid van middelgrote (>56kW) zero-emissie werktuigen is nog zeer beperkt op dit moment. Prototypes en concept werktuigen worden wel al gepresenteerd voor het grotere segment. Het aanbod van elektrische werktuigen in het kleine segment is wel groot.

### 5.4.1.4 Toepasbaarheid

De inzet van elektrische machines:

- De inzet van batterij-elektrische machines is meestal beperkter dan vergelijkbare conventionele varianten qua tijdsduur. Wanneer elektrische werktuigen niet een volledige werkdag op één accu kunnen draaien, kan dat gevolgen hebben voor de werkzaamheden en de planning van een bouwproject.
- Operationeel kan elektrificatie soms een flinke uitdaging vormen<sup>91</sup>, vooral bij inzet zonder lokaal beschikbare stroomvoorziening. Dit geldt dan uiteraard voor elektrische machines die bekabeld zijn, maar soms ook voor batterij elektrische machines. Het wordt zonder lokale stroomvoorziening lastig(er) om accu's lokaal te laden, en als accu transport belastend is kan dat ook belemmerend werken.

## 5.4.2 Biobrandstoffen

### 5.4.2.1 Beschikbaarheid en toepasbaarheid

De hoeveelheid biobrandstof die binnen Europa en mondiaal beschikbaar is, is in principe voldoende om te voldoen aan de behoefte vanuit Nederland (SER 2020). In haar advies Biomassa in balans wijst de SER erop dat de behoefte van de rest van de wereld in deze vergelijking nog niet geheel tot uitdrukking komt, terwijl dit relevant wordt geacht in verband met noodzakelijke import, schaarste en de daaruit voortvloeiende verdelingsvraagstukken. Tevens constateert de SER dat er op ketenniveau mogelijk mismatches kunnen ontstaan tussen bepaalde biograndstofstromen en specifieke toepassingsgebieden (Bron: SER, 2020).

### 5.4.2.2 Extra inzet naast de jaarverplichting op de Nederlandse markt

Naast de beschikbaarheid is het bij het gebruik van hernieuwbare energiedragers (biobrandstoffen, elektriciteit, waterstof) voor de impact op CO<sub>2</sub> van belang om rekening te houden met het concept van 'additionaliteit'. Op het gebruik van duurzame hernieuwbare brandstoffen rust in Nederland een jaarverplichting voor wegvervoer van 16,4% in 2020, oplopend tot 27,1% in 2030 (inclusief dubbeltellingen). Biobrandstoffen zijn hiervan een onderdeel.

Voor mobiele werktuigen geldt geen specifieke jaarverplichting. Wel vallen mobiele werktuigen onder dezelfde categorie als wegvervoer en dragen biobrandstoffen voor mobiele werktuigen bij aan de jaarverplichting voor wegvervoer.

Leveranciers van brandstoffen zijn verplicht een bepaald aandeel duurzame energie te leveren aan de Nederlandse markt, per GJ geleverde duurzame energie ontvangen ze HBE's.

<sup>91</sup> C. Moster, Electrification of construction sites, september 2021, Bergen Energy Lab [PowerPoint-presentasjon \(uib.no\)](#)



Wanneer bijvoorbeeld een hoeveelheid van 100% biobrandstof wordt geleverd voor toepassingen op de bouwplaats, dan levert dit een leverancier HBE's op wanneer de brandstof wordt geregistreerd bij de Nederlandse Emissie Autoriteit. Dat wil zeggen dat wanneer er meer dan evenredig biobrandstoffen worden ingezet op bouwplaatsen, en deze bijdragen aan de jaarverplichting, er minder dan evenredig biobrandstoffen hoeven worden ingezet door bijvoorbeeld het wegvervoer. Administratief gezien is er in dat geval sprake van een verplaatsing van inzet en geen extra verduurzaming. Dit is een belangrijk punt dat in acht kan worden genomen bij de inzet van biobrandstoffen, maar ook voor de inzet van RFNBO's (hernieuwbare brandstoffen van niet biologische oorsprong) zoals groene waterstof en elektriciteit die wordt geleverd aan vervoer in Nederland.

### 5.4.3 Schone dieselmotor

Schone dieselmotoren zijn beschikbaar, zoals eerder genoemd geldt dit niet voor alle vermogensklassen. Retrofit nabehandelingssystemen zijn technische goed toepasbaar voor mobiele werktuigen, maar de configuratie blijft maatwerk.

## 5.5 Bepaling van milieu-impact en effecten van beleid op NRMM

Om de emissies van mobiele werktuigen te berekenen wordt het emissiemodel mobiele machines (EMMA-model) en het prognosemodel Mephisto gebruikt. Het EMMA-model wordt gebruikt voor de modellering van de landelijke emissiecijfers voor mobiele werktuigen <sup>92</sup>. 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. CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> worden berekend aan de hand van de verwachte draaiuren en de emissiefactoren van de machines zoals volgen uit de normen en uitgevoerde metingen. MEPHISTO raamt toekomstige emissies en sluit naadloos aan op EMMA. De kennis van de samenstelling en de omvang van het machinepark, de daadwerkelijke emissies van de machines, en de haalbare verbeteringen blijven echter beperkt.

Verbetering in de inzichten van inzet en bijbehorende emissies van mobiele werktuigen geeft ruimte voor effectiever beleid en is daarom van essentieel belang voor NO<sub>x</sub>-reductie in de bouwsector.

De beperkte inzichten komen onder andere door de onderstaande aspecten:

- Er is geen publiek beschikbare registratie van het beschikbare materieel in het park (vanaf 2021 is er wel een registratieplicht voor (land)bouwvoertuigen die met beperkte snelheid op de openbare weg rijden). Hierdoor is de samenstelling (type machine en leeftijd) en de omvang van het totale machinepark niet nauwkeurig beschikbaar;
- Recente informatie zoals de registratieplicht van mobiele werktuigen op de weg en lopende TNO-onderzoeksprojecten zorgen voor beter inzicht in het huidige machinepark. Betrouwbare registratiegegevens, onder andere de wettelijke emissie-eisen aan de verbrandingsmotor, blijven echter ontbreken. Er zijn hoogstwaarschijnlijk nog steeds blinde vlekken waardoor diverse bronnen buiten beeld blijven. De beste manier om de nationale cijfers te verbeteren is door middel van een vorm van registratie.

<sup>92</sup> [Alle emissiegegevens op één plek | Emissieregistratie](#)



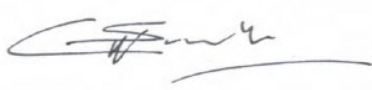
- Er is slechts beperkte informatie over de praktijkinzet van de verschillende machines, bijvoorbeeld de totale draaiuren, brandstofverbruik en details van inzet, zoals het aandeel stationair draaien en de gemiddelde motorbelasting. Lopende onderzoeken van TNO zorgen ook hier voor verbeterde inzichten.
- Praktijkemissies worden nauwelijks tot niet gecontroleerd. Vaak zijn emissies in praktijk hoger dan de geldende emissielimieten door andere inzet dan wordt meegenomen in wettelijke testprocedure.
- Er is geen periodieke keuring waarbij emissies en/of de aanwezigheid van emissiecontrolesystemen gecontroleerd worden, noch eisen dat deze systemen in normaal gebruik blijven functioneren.

Door onder andere deze kanttekeningen bij huidige bronnen, is het lastig om nauwkeurig in te schatten wat het emissie-aandeel van mobiele werktuigen is. Om deze beter in te schatten en daarmee de effectiviteit van maatregelen rond emissiereductie beter te kunnen onderbouwen, zijn verbeterde inzichten nodig in de daadwerkelijke emissies en de haalbare reducties in emissies. Om deze inzichten te kunnen verkrijgen, zijn registratie van voertuigen en machines, monitoren van inzet, en boekhouden van draaiuren, dieselverbruik en AdBlue-verbruik de eerste vereisten voor het bepalen van effectiviteit van maatregelen.

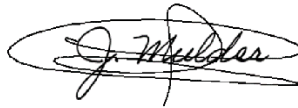
Detailonderzoek naar de sectorallocatie van mobiele werktuigen is ook nodig, bijvoorbeeld door verdere verwerking van data van mobiele werktuigen die met kenteken bij RDW geregistreerd staan met een koppeling met SBI-codes, om beter inzicht te krijgen in de toedeling van machines aan sectoren. Naast sectorallocatie is ook meer zicht nodig op de inzet van verschillende typen mobiele werktuigen per sector. Via uitgebreide enquêtes zou kwantitatief beter grip kunnen worden verkregen op de inzet en verdeling van activiteiten per sector. De voorgestelde acties kunnen bijdragen aan het verbeteren van de basisdata in EMMA en zodoende ook de emissiegetallen in de Emissieregistratie. Daardoor kan een beter beeld worden verkregen bij de verschoningsopgave in de verschillende sectoren, zowel qua omvang van de verschillende emissies (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM en NH<sub>3</sub>) als ook waar (welke machinetypen, welke sectoren) de emissies vandaan komen. Een nauwkeuriger beeld van de verschoningsopgave en het emissiereductiepotentieel kan leiden tot effectievere maatregelen en beleid om schadelijke emissies te reduceren.

# Ondertekening

TNO › Mobility & Built Environment › Den Haag, 5 juli 2024



Chantal Stroek  
Research Manager



Hans Mulder  
Auteur

Mobility & Built Environment

Anna van Buurenplein 1  
2595 DA Den Haag  
[www.tno.nl](http://www.tno.nl)