



**RWS INFORMATIE**

**Routeradar 2019 Innovatiemonitor**

Mobiele werktuigen

Datum: 8 oktober 2020  
Status: DEFINITIEF

## Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat
Auteur	Uitvoeringsteam Routeradar 2019: <ul style="list-style-type: none"><li>- Stephan van Zyl (TNO)</li><li>- Frank Kupper (TNO)</li><li>- Ruud Verbeek (TNO)</li></ul>
	Redactie: <ul style="list-style-type: none"><li>- Floris Mulder (RWS)</li><li>- Katinka Regtien (IenW)</li><li>- ERAC</li></ul>
Informatie	Projectleider Floris Mulder
Telefoon	088-797 1111
E-mail	floris.mulder@rws.nl
Datum	8 oktober 2020
Status	Definitief

## Inhoudsopgave

<b>Begrippenlijst .....</b>	<b>4</b>
<b>Afkortingenlijst .....</b>	<b>6</b>
<b>Managementsamenvatting .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Algemene inleiding .....</b>	<b>10</b>
1.1 Introductie .....	10
1.2 Doelstelling en doelgroepen .....	12
<b>2 Methodiek .....</b>	<b>14</b>
2.1 Inleiding .....	14
2.2 Beschikbaarheid .....	14
2.3 Betaalbaarheid .....	14
2.3.1 Overzicht brandstofprijzen en gebruikte bronnen .....	15
<b>3 Marktontwikkelingen: mobiele werktuigen .....</b>	<b>18</b>
3.1 Inleiding .....	18
3.2 Beschikbaarheid van mobiele werktuigen .....	20
3.2.1 Gras- en zitmaaiers (consumenten) .....	20
3.2.2 Generatoren Handel Dienst Overheid (HDO) .....	21
3.2.3 Vorkheftrucks (industrie) .....	23
3.2.4 Landbouwtrekkers (landbouw) .....	24
3.2.5 Graafmachines en laadschoppen (bouw) .....	26
3.3 Betaalbaarheid .....	29
3.3.1 Gras- en zitmaaiers (consumenten) .....	30
3.3.2 Generatoren (HDO, ook: industrie en bouw) .....	30
3.3.3 Vorkheftrucks (industrie) .....	32
3.3.4 Landbouwtrekkers (landbouw) .....	33
3.3.5 Graafmachines en laadschoppen (bouw) .....	35
3.4 Infrastructuur .....	36
3.4.1 Conventioneel (benzine, diesel, LPG) .....	36
3.4.2 Gasvormig (CNG, LNG) .....	36
3.4.3 Elektrisch .....	36
3.4.4 Waterstof .....	36
3.4.5 Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen) .....	36
3.5 Conclusie .....	36
3.6 Beleidsadvisering .....	37
<b>4 Referenties .....</b>	<b>39</b>

## Begrippenlijst

Begrip	Toelichting
Brandstofplatform	De maatschappelijke organisatie rond een brandstofspoor veelal bestaande uit bedrijven en industriële organisaties, branche- en maatschappelijke organisaties en regionale overheden. Er zijn vier brandstofplatforms: Formule E-team, Bio-LNG, Duurzame biobrandstoffen en H <sub>2</sub> Platform.
Brandstofspoor	Het spoor rond de implementatie van een bepaalde energiedrager. Dit spoor bestaat uit de drie velden zoals hieronder genoemd en de maatschappelijke beweging hier omheen.
Duurzame energiedrager in mobiliteit (DEM)	Hiermee refereren we aan de benaming van thema 2 in het Klimaatakkoord. Het betreft hier brandstoffen/energiedragers in transport. In de huidige beleidspraktijk heeft dit betrekking op de transitie van elektriciteit, waterstof en CNG/LNG (verplicht in AFID richtlijn) richting hernieuwbaar en biobrandstoffen. Verwante termen (met andere definities) die in dit verband vaak gebruikt worden zijn: 'alternatieve', 'duurzame' of 'innovatieve' brandstoffen.
Geavanceerde biobrandstoffen	Deze biobrandstoffen zijn gemaakt van grondstoffen zoals genoemd in de Annex 9, lijst A van de REDII.
Indicator	Een meetbaar verschijnsel dat verwijst naar de toestand van (een) sleutelfactor(en), dan wel naar een streefwaarde.
Marktfase	Binnen het innovatieproces worden zes marktfasen onderscheiden: R&D/onderzoekfase, prototype/pilot fase, markt voorbereiding fase, marktintrductie fase, opschalingsfase en beheerfase. In grove lijnen zijn de eerste drie fasen gericht op technologieontwikkeling en de laatste drie fasen op marktontwikkeling (zie hoofdstuk 3 voor een verdere toelichting).
Marktsegment	Waar aan de orde is per veld een nadere onderverdeling gemaakt in marktsegmenten. Vooral het veld vervoermiddelen is opgesplitst in diverse marktsegmenten (personenwagen, bestelwagen, vrachtauto, bussen etc.) aangezien tussen deze marktsegmenten per brandstofspoor grote verschillen kunnen bestaan.
Meetwaarde	De vastgestelde realisatie van de indicator op dit moment (zie datum document Routeradar 2019). Geeft aan hoe het 'nu' gesteld is met de realisatie van een streefwaarde.
Zero-emissie voertuigen	Definitie van zero-emissie voertuigen in kader Nederlands beleidsvoornemen nieuwverkopen personenwagens zero-emissie in 2030: deze beperkt zich tot personenwagens met tailpipe zero-emissies. Dit komt overeen met emissie

Begrip	Toelichting
	<p>vrije voertuigen volgens de Europese typekeuring (ETAP). Dit zijn voertuigen die géén emissietesten hoeven te ondergaan om op de weg te worden toegelaten. In de praktijk komt dit neer op batterij-elektrische voertuigen en voertuigen op waterstof.</p> <p>De term zero-emissie wordt door een aantal partijen ook gebruikt voor biobrandstoffen. Aandachtspunt daarbij is dat dit niet betrekking heeft op tailpipe milieu emissies, maar wel dat de inzet van BB over de hele keten genomen een stevige bijdrage kan leveren aan CO<sub>2</sub>-reductie.</p>
PMC	Een Product Markt Combinatie is een unieke combinatie van een duurzame energiedrager en een marktsegment, zoals: een waterstof-bus, een batterij-elektrische personenwagen etc.
Sleutelfactor	Omstandigheid die van essentieel belang is voor een product om tot een volgende marktphase te komen.
Streefwaarde	Ambitie die in afstemming met de stakeholders, dan wel beleid is opgesteld voor een afgesproken ijkjaar, ook wel 'zichtjaar' genoemd. Deze wordt uitgedrukt in een bepaalde indicator (bijvoorbeeld: aantal H <sub>2</sub> -tankstations in 2030).
Velden	<p>Elke modaliteit kent drie velden, namelijk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Energiedragers: de ontwikkeling of productie van de brandstof;</li> <li>- Infrastructuur: de ontwikkeling van tank- en laadinfrastructuur;</li> <li>- Vervoermiddelen: waarin de energiedrager voor de aandrijving gebruikt wordt.</li> </ul>

## Afkortingenlijst

Afkorting	Uitleg
AC	Adviescommissie
AFID	Alternative Fuels Infrastructure Directive
B7	Diesel
BB	Biobrandstoffen
BEV	Batterij-elektrische voertuigen. Dit type voertuig heeft enkel een elektromotor.
CNG/LNG	Compressed Natural Gas (aardgas)/ Liquid Natural Gas (vloeibaar aardgas)
CO <sub>2</sub>	Koolstofdioxide
DEM	Duurzame Energiedragers Mobiliteit
DK-TI	Demonstratieregeling Klimaattechnologieën en -innovaties in transport
DuMo	Programma directie Duurzame Mobiliteit van I&W
E10	Euro 95 (Benzine met 10% ethanol)
E20	benzine met 20% ethanol
E5	Euro 98 (Benzine met 5% ethanol)
EC	Europese Commissie
ERAC	European and Regional Affairs Consultants
EV	Elektrisch Voertuig
FCEV	Waterstofvoertuigen
FCH-JU	Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking
FEV	Volledig elektrische voertuigen (fully-electric vehicles), zelfde als BEVs. Dit type voertuig heeft enkel een elektromotor.
H <sub>2</sub>	Waterstof
HBE	Hernieuwbare brandstofeenheden
HRS	Hydrogen Refuelling Station
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil (dieselvervanger)
IEA	Internationaal Energieagentschap
IenW	Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat
INNOM	Routeradar innovatiemonitor
KA	Klimaatakkoord
KC	Kennis Consortium (TNO, CE Delft en ECN)
LEF	LEF staat voor LEF Future Centre: een centrum voor complexe maatschappelijke vraagstukken en uitdagingen. Dit centrum wordt gefaciliteerd door RWS
M&E	Monitoring & Evaluatie programma van DuMo
MIA	Milieu-investeringsaftrek
NEA	Nederlandse Emissieautoriteit

Afkorting	Uitleg
NO <sub>x</sub>	Verzamelnaam voor verschillende stikstofoxiden
OEM	Original Equipment manufacturers (autoproducenten)
OKA	Ontwerp Klimaatakkoord
PHEV	Plug-in hybride voertuigen. Dit type voertuig heeft naast een elektromotor ook nog een brandstofmotor
PM	Roetdeeltjes (kunnen verschillende grootte hebben)
PMV	Provinciale Milieu Vordering
R&D	Research & Development
REDII	Renewable Energy Directive II
RWS	Rijkswaterstaat
SDE/ SDE+	Stimulering Duurzame Energieproductie
SBM	Routeradar Straatbeeldmonitor
SMR	Steam Methane Reforming: een chemisch proces waarbij een koolwaterstof in aanwezigheid van stoom en/of zuurstofgas en eventueel een katalysator wordt omgezet in een waterstofrijk gasmengsel (lees: reformaat). De meest toegepaste reformeringstechniek voor het produceren van waterstof is stoomreforming van aardgas.
Stekkerauto	Dit zijn personenauto's met een elektromotor, waarvan de accu kan worden opgeladen met behulp van een stekker. Hieronder vallen zowel volledig elektrische personenauto's (FEV's), die enkel een elektromotor hebben (en emissievrij zijn), als plug-in hybrides (PHEV's).
Tailpipe	Uitlaatpijp (verwijst naar emissies op uitsluitend dit niveau)
TTW	Tank-to-wheel (verwijst naar emissies in dit deel van de keten, dus exclusief productie)
Vamil	Willekeurige afschrijving milieu-investeringen
WTT	Well-to-tank (verwijst naar emissies in dit deel van de keten > dus inclusief productie)
WTW	Well-to-wheel (verwijst naar emissies in gehele keten inclusief productie)
ZEV	Zero emissie voertuigen
ZE-vervoer	Zero emissie vervoer

## Managementsamenvatting

### Algemeen

De groep “mobiele werktuigen” bestaat uit een zeer uiteenlopende verzameling werktuigen. Daarom is deze groep ingedeeld naar sectoren. De volgende vijf sectoren worden onderscheiden: consumenten, HDO (Handel Dienst en Overheid), industrie, landbouw en bouw. Binnen de verschillende sectoren zijn vervolgens werktuigen gekozen en beschreven, die binnen die sector het meest bijdragen aan de uitstoot. De aandacht gaat vooral uit naar de beschikbaarheid en naar betaalbaarheid. Waar mogelijk worden ook de vul- of laadtijd, draaiuren of laadvermogen besproken.

### Beschikbaarheid

Alle in dit rapport beschreven werktuigen zijn verkrijgbaar op conventionele energiedragers, met name diesel en benzine, maar ook LPG (vorkheftrucks). Machines met gasmotoren komen zelden voor. Kleine consumenten-werktuigen, die niet vaak en niet lang aaneengesloten ingezet worden, zijn vaak al als elektrische variant verkrijgbaar. Werktuigen die “binnen” gebruikt worden, zoals vorkheftrucks, zijn vaak al langer op LPG en batterij-elektrisch verkrijgbaar. Vorkheftrucks op waterstof komen ook steeds vaker op de markt.

Van de generatoren en bouw- en landbouwmachines gebruikt een heel groot deel nog conventionele energiedragers. Echter, door de sterk toegenomen aandacht voor de uitstoot (stikstof, fijnstof en CO<sub>2</sub>) van mobiele werktuigen, lijkt momenteel een verandering plaats te vinden. Zo ontstaat er ook voor de lichtere en middelzware machines een steeds ruimer marktaanbod van (waterstof-)elektrische machines. Dit aanbod beperkt zich nog tot machines onder de 20 ton. Een drempel voor de inzet vormen vaak:

- De hogere aanschafprijs;
- De beperkte tank- en laadinfrastructuur;
- Lange laad-/vultijden;
- De onwetendheid en onzekerheid van bouworganisaties.

Bij grotere/zwaardere werktuigen wordt steeds meer onderzoek gedaan naar batterij-elektrische of waterstof-elektrische aandrijving. Er lopen diverse pilotprojecten, bijvoorbeeld met trekkers en graafmachines. Ook zijn er fabrikanten die al kleine series produceren of aankondigen dit te gaan doen.

De inzet van hoge-mix biobrandstoffen (vloeibaar en gasvormig) kan op korte termijn CO<sub>2</sub>-reductie leveren, waar elektrische machines (nog) niet verkrijgbaar zijn. Dit geldt vooral voor werktuigen zwaarder dan 20 ton.

Het aandeel hernieuwbare energie (biobrandstoffen, groene elektriciteit, etc.) in mobiele werktuigen is niet bekend, omdat er geen aparte monitoringsverplichting voor bestaat. De Nederlandse emissieautoriteit kan hierdoor geen exacte uitsplitsing maken van de toepassing van hernieuwbare energie in verschillende modaliteiten, noch binnen de modaliteiten.

### Betaalbaarheid

Waterstof en elektrische (zware) werktuigen zijn momenteel vaak nog (flink) duurder dan conventionele varianten.



## Beleidsadvisering<sup>1</sup>

Mobiele werktuigen zijn verantwoordelijk voor circa 10% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de transportsector in Nederland. Daarnaast stoten ze stikstof en fijnstof uit. Verduurzaming van deze machines kan daarom een grote bijdrage leveren aan de doelen van het Klimaatakkoord, het Schone Luchtakkoord en de ambities van het kabinet om te komen tot een klimaatneutrale en circulaire infrastructuur.

Geadviseerd wordt om het beleid te focussen op een bepaald segment vanuit een programmatische aanpak. Daarbij zou niet alleen moeten worden gekeken naar de mate van impact op het milieu, maar ook naar beschikbaarheid en betaalbaarheid. Juist marktontwikkelingen in segmenten die niet direct veel impact op het milieu hebben, zorgen voor opbouw van kennis, die gebruikt kan worden bij segmenten die het milieu zwaarder belasten.

Mede door de stikstofproblematiek neemt de vraag naar elektrisch aangedreven machines toe. Verdere groei van de markt kan gerealiseerd worden door het aanbieden van meerdere alternatieven en modellen, zodat de consument meer keuzemogelijkheden krijgt. De overheid kan als "launching customer" optreden, door de markt de zekerheid te bieden dat zij investeringen in een duurzame vloot kunnen terugverdienen.

Ook de beschikbaarheid van (groene) elektriciteit is van belang. Geadviseerd wordt om te onderzoeken hoe verbinding kan worden gelegd met het programma "Hernieuwbare energieprojecten op rijksgrond" waarin de Rijksoverheid rijksgrond ter beschikking stelt aan derden voor het opwekken van hernieuwbare energie.

Op dit moment is het niet mogelijk om te zien of het aandeel hernieuwbare energie in mobiele werktuigen groeit of daalt. Geadviseerd wordt om onderzoek te doen naar een aparte monitoringsverplichting voor de hoeveelheid ingezette hernieuwbare energie binnen en tussen de modaliteiten.

Verder wordt geadviseerd om de vlooteigenaren van mobiele werktuigen meer bekend te maken met de mogelijkheden die de Milieuinvesteringsaftrek (MIA) en de Kleinschaligheidsinvesteringsaftrek (KIA) bieden voor de verduurzaming van hun vloot. Zo kan de TCO omlaag worden gebracht.

Tot slot nog twee suggesties voor onderzoek:

- Onderzoek hoe meer greep kan worden gekregen op de NO<sub>x</sub>-uitstoot door mobiele werktuigen en wat de beste mix is van regulering, beprijzing van de NO<sub>x</sub>-uitstoot in het fiscale stelsel en stimulerende maatregelen;
- Bekijk hoe de CO<sub>2</sub>-besparing van industriële vloten kan worden verrekend met de overige CO<sub>2</sub>-uitstoot van deze bedrijven. In die gevallen waar sprake is van emissieloze mobiele werktuigen komt dit zowel ten goede aan het stikstofdossier als aan het klimaatdossier.

---

<sup>1</sup> Deze beleidsadvisering is onder verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat opgesteld.

## 1. Algemene inleiding

### 1.1 Introductie

#### *Achtergrond*

De Routeradar heeft als basisopgave de monitoring van de Visie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit. Deze visie kwam voor het eerst tot stand in 2014, toen nog onder de naam 'Brandstofvisie'. De Brandstofvisie werd in een samenspel van 350 stakeholders uitgewerkt en bevat een beschrijving welke duurzame brandstoffen wanneer kunnen worden ingezet om een bijdrage te leveren aan de klimaatdoelen op het gebied van CO<sub>2</sub>-reductie in transport. Deze visie heeft in 2020 een actualisatie gekregen onder de naam 'Visie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit'. Oogmerk daarbij is nog altijd het terugdringen van de broeikasgassenuitstoot in transport.

#### *Klimaatakkoord*

Over het reduceren van de uitstoot heeft Nederland zowel internationaal als nationaal afspraken gemaakt. Zo vormen duurzame energiedragers een belangrijk onderdeel in het mobiliteitsdeel van het Klimaatakkoord uit 2019. De uitvoering hiervan vindt deels plaats bij de programmadirectie Duurzame Mobiliteit. Tevens is er het programma Meerjarig Missie-gedreven Innovatieprogramma Duurzame Mobiliteit (MMIP-DM). Dit programma kijkt verder dan alleen de realisatie van klimaatdoelen. Duurzame mobiliteit is namelijk ook van vitaal belang voor de opbouw van een concurrerende positie van Nederland in de mondiale post-fossiele economie.<sup>2</sup>

#### *Scope*

De primaire focus van de Routeradar ligt op de ontwikkeling van duurzame energiedragers/brandstoffen voor mobiliteit. Dit is gevolg van het feit dat de Routeradar is opgezet als monitor van de Visie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit. Daarnaast is er ook ander beleid dat bijdraagt aan duurzame mobiliteit. Denk aan minder transport, meer gebruik van fietsen en openbaar vervoer, verandering van vervoerswijze ('modal shift'), efficiëntere logistiek, et cetera. Deze elementen komen grotendeels terug in de andere onderdelen van het Klimaatakkoord: 'Verduurzaming logistiek' en 'Verduurzaming personenmobiliteit'. Deze vallen niet binnen de scope van de Routeradar, maar de Routeradar draagt wel bij aan de monitoring hiervan op alle deelonderdelen die duurzame energiedragers betreffen.

Daarbij heeft de Routeradar 2019 een dubbele scope die in twee verschillende delen wordt behandeld: de Routeradar Straatbeeldmonitor en de Routeradar Innovatiemonitor. Beide worden hieronder verder toegelicht.

#### *De Routeradar Straatbeeldmonitor*

De Routeradar Straatbeeldmonitor (RR-SBM) presenteert voor de zes vervoersmodaliteiten (wegvervoer, binnenvaart, mobiele werktuigen, zeevaart, luchtvaart en spoor) de getalsmatige voortgang en ontwikkelingen van de duurzame energiedragers in mobiliteit als volgt:

<sup>2</sup> Een meer uitgebreide analyse van het Nederlandse beleid en bijbehorende doelstellingen kan gevonden worden in ieder van de Routeradar 2019 Straatbeeldmonitor rapporten onder de paragrafen 2.2 en 2.3.

1. Door het afzetten van de streefwaarden (targets van beleid en platforms) per zichtjaar tegen de realisaties (meetwaarden) in 2019;
2. Door in te zoomen op drie onderdelen: (1) energiedragers, (2) infrastructuur, en (3) vervoermiddelen;
3. Door de emissiereducties per product-marktcombinatie te berekenen op basis van de realisaties in aantallen en afgelegde kilometers.<sup>3</sup>

#### *De Routeradar Innovatiemonitor*

In de Routeradar Innovatiemonitor wordt binnen het gebied van duurzame energiedragers voor mobiliteit gekeken naar de techniek- en marktontwikkelingen in Nederland en internationaal. Daarbij ligt de focus vooral op het vaststellen van de potentie tot opschaling.

Het begrip "innovatie" heeft in de Routeradar Innovatiemonitor twee verschillende betekenissen. Binnen het Techniekontwikkeling rapport heeft het begrip innovatie betrekking op de eerste drie product ontwikkeling fasen<sup>4</sup>: -R&D fase; -prototype fase; -marktvoorbereiding fase. Binnen de drie Marktontwikkeling rapporten praten we over de innovatie binnen de product ontwikkeling fasen 3 en 4: -marktintroductie fase; -marktopschaling fase. Dit onderscheid is belangrijk omdat voor elke fase specifieke beleidsinstrumenten nodig zijn.

#### *Technische ontwikkelingen*

De Innovatiemonitor (RR-INNOM) schetst daarbij de stand van de technische ontwikkelingen van alle brandstofsporen, door in te zoomen op de drie velden:

1. Energiedragers;
2. Infrastructuur;
3. Vervoermiddelen.

#### *Marktontwikkelingen*

De marktontwikkelingen worden specifiek in beeld gebracht voor de modaliteiten:

- Wegvervoer;
- Binnenvaart;
- Mobiele werktuigen.

Per modaliteit wordt uitsluitend gefocust op het veld 'Vervoermiddelen'. Daarbij worden per marktsegment (personenwagen, bestelwagen, vrachtwagen etc.) de volgende sleutelfactoren onderzocht:

1. Beschikbaarheid (van merken en modellen in Nederland);
2. Betaalbaarheid. Dit betreft de betaalbaarheid van het gebruik zoals dat door middel van een Total Cost of Ownership (TCO) berekening kan worden vastgesteld ten opzichte van een conventioneel referentievoertuig;
3. Kritische specificaties. Dit betreft de functionele gebruikersspecificaties (zoals actieradius, tank-/laadtijd, bagageruimte etc.) die bepalend zijn voor een succesvolle opschaling van een voertuig binnen een bepaald marktsegment.

<sup>3</sup> De methodiek en een aantal termen worden in meer detail beschreven in hoofdstuk drie van ieder van de RR-2019 Straatbeeldmonitor rapporten.

<sup>4</sup> Zie voor bespreking van markt cq productfasen de RR-2019 Straatbeeldmonitor: paragraaf 3.2.2

## 1.2 Doelstelling en doelgroepen

### *Doelstelling*

Het hoofddoel van de Routeradar 2019 is om feitelijke informatie met betrekking tot de ontwikkeling van duurzame energiedragers in transport te verzamelen en overzichtelijk te presenteren.

De rapportage in zijn geheel evalueert de voortgang met betrekking tot de introductie en marktopschaling van verschillende duurzame energiedragers en vervoermiddelen, inclusief de benodigde tank-/laadinfrastructuur in het mobiliteitssysteem.

De resultaten van de Routeradar 2019 zijn input voor een proces van evaluatie van beleid en beleidsadvies. Daarbij beperken deze rapporten zich qua conclusies en aanbevelingen strikt tot zaken die op grond van de gepresenteerde informatie geconcludeerd kunnen worden.

### **Definitie duurzame energiedragers in transport**

In de huidige beleidspraktijk heeft dit begrip betrekking op de transitie van conventionele fossiele energiedragers (diesel, benzine, LPG) naar hernieuwbare nieuwe energiedragers als elektriciteit, waterstof, hernieuwbaar gas (bio-LPG, bio-CNG, bio-LNG) en biobrandstoffen. In principe vallen hier nog veel meer duurzame energiedrager opties onder, maar die worden in de Routeradar 2019 niet gemonitord. Reden is dat deze producten nog in de vroege productfase-ontwikkeling zitten, waardoor zij nog niet voor grootschalige marktinzet in aanmerking komen.

Verwante termen (met andere definities) die in dit verband vaak gebruikt worden zijn: 'alternatieve', 'duurzame' of 'innovatieve' brandstoffen. Voor alle duurzame energiedragers geldt overigens dat ook deze vaak niet hernieuwbaar geproduceerd worden. Het streven is daarom om dit vanaf volgende jaar te gaan monitoren. Dit zal gebeuren door zowel de realisaties als de streefwaarden (ambities/doelstellingen) van de hernieuwbaarheid van de verschillende energiedragers in beeld te brengen en te laten zien welke voortgang hier jaarlijks gemaakt wordt.

### *Doelgroepen*

De Routeradar 2019 wordt uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW). De rapportage is bedoeld voor de volgende doelgroepen en rapportages:

1. Beleidsmedewerkers die duurzaam mobiliteitsbeleid formuleren, herijken of inzicht willen in het huidige beleid met betrekking tot de zes belangrijkste transportmodaliteiten<sup>5</sup>;
2. Leden van de brandstofplatforms<sup>6</sup>;
3. Deelnemers aan Green Deals en convenanten en andere stakeholders op het gebied van duurzame mobiliteit;
4. Monitoring van het mobiliteitsdeel van het Klimaatakkoord, dit betreft:
  - a. Duurzame energiedragers;

<sup>5</sup> Wegvervoer, Mobiele werktuigen, Binnenvaart, Zeevaart, Spoor en Luchtvaart

<sup>6</sup> Formule E-Team, LNG Platform (inclusief CNG), Biobrandstoffen Platform en H<sub>2</sub> Platform

- b. Stimulering elektrisch (personen)vervoer;
  - c. Verduurzaming logistiek;
  - d. Verduurzaming personenmobiliteit;
  - e. Innovatie binnen mobiliteit (MMIP, niveau 4);
5. Monitoring van de EU-richtlijn AFID (Alternative Fuels Infrastructure Directive) in het kader van de rapportages aan de Europese Commissie door Nederland;
  6. Jaarlijks updaten van de Visie voor duurzame energiedragers in transport.

## 2 Methodiek

### 2.1 Inleiding

“Non-Road Mobile Machinery” (NRMM) is de verzamelnaam voor een zeer breed spectrum aan machines, die in beginsel geen gebruikmaken van de openbare weg [EU, 2020]. In het Nederlands worden deze machines “mobiele werktuigen” genoemd. Het gaat hierbij onder andere om landbouwtrekkers, vorkheftrucks, graafmachines, generatoren en andere bouwmachines. De verbrandingsmotoren die zijn geïnstalleerd in NRMM dragen aanzienlijk bij aan (lokale) luchtvervuiling door uitstoot van onder andere koolstofmonoxide (CO), koolwaterstoffen (HC), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en fijnstof (PM), maar ook aan de uitstoot van CO<sub>2</sub> [TNO, 2018] [EC, 2019]. Door zowel autonome ontwikkelingen als door wetgeving en convenanten zullen de emissies en het brandstofverbruik van NRMM de komende jaren veranderen. Belangrijke trends hierbij zijn: instroom van schonere motoren als gevolg van wetgeving, efficiëntieverbetering van zowel motor als aandrijflijn, en verschillende vormen van hybridisering, inzet van biobrandstoffen en elektrificatie van de machines.

Doordat de groep “mobiele werktuigen” bestaat uit een zeer uiteenlopende verzameling werktuigen – van bladblazers tot grote tractoren – kunnen niet alle werktuigen besproken worden en is de groep werktuigen ingedeeld naar sectoren. Deze sectorindeling wordt ook gehanteerd door CBS/ PBL voor de rapportage van onder andere de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) en de emissieregistratie in Nederland. Binnen de verschillende sectoren zijn vervolgens werktuigen gekozen die binnen die sector relatief het meest bijdragen aan de uitstoot. Mobiele werktuigen worden tot dusver niet op kenteken gezet en niet centraal geregistreerd. Hierdoor is momenteel niet precies bekend hoeveel mobiele werktuigen er precies in Nederland zijn.

De marktontwikkeling voor NRMM wordt middels de volgende drie indicatoren gemonitord:

- **Beschikbaarheid** – welke energiedragers zijn beschikbaar in NRMM?
- **Betaalbaarheid** – wat zijn de gebruikskosten van de betreffende energiedrager?
- **Functionele specificaties** – welke ontwikkelingen zijn kritisch voor het succes van bepaalde energiedragers?

Op basis van deze indicatoren wordt inzicht verkregen in de huidige stand van zaken in de voor de uitstoot meest relevante mobiele werktuigen.

### 2.2 Beschikbaarheid

De beschikbaarheid van duurzame energiedragers in NRMM wordt gemeten in termen van fabrikanten die een bepaalde technologie en energiedrager aanbieden.

### 2.3 Betaalbaarheid

De betaalbaarheid van mobiele werktuigen is vastgesteld door de (vaste) investeringskosten en de (variabele) brandstofkosten in kaart te brengen. Dit geeft een ordegrrootte inschatting van de gemiddelde kosten van het gebruik van een werktuig in Euros per kWh (€/kWh). Er is geen TCO bepaald in dit rapport. De beschikbare informatie kan in een aanvullend onderzoek in het najaar van 2020 gebruikt worden om een TCO op hoofdlijnen door te voeren.

Energiedrager-specifieke aannames rond de aanschafkosten, maar ook eventuele verschillen in levensduur en onderhoud, worden in de hoofdtekst behandeld. Aannames over de brandstofprijs worden centraal in het volgende hoofdstuk behandeld.

### 2.3.1 *Overzicht brandstofprijzen en gebruikte bronnen*

De brandstofprijs heeft een grote impact op de hoogte van de TCO. Bovendien zijn brandstofprijzen zeer volatiel en afhankelijk van de staat van de (wereld-)economie. Ook zijn er verschillende definities van de brandstofprijs, die gelden voor verschillende toepassingen (enkel kostprijzen of eindgebruikersprijzen; inclusief en exclusief accijns en BTW). Wisselende eenheden, valuta en ijkjaren maken een vergelijking van brandstoffen bovendien extra complex. Voor mobiele werktuigen is uitgegaan van de hieronder genoemde aannames. Het referentiejaar 2019 is aangehouden:

- Conventionele brandstofprijzen worden door CBS gemonitord. De gemiddelde prijs in 2019 voor benzine, diesel en LPG bedroeg respectievelijk 1,65 €/l, 1,26 €/l en 0,63 €/kg (incl. BTW). Excl. BTW bedraagt de prijs van diesel 1,12 €/l;
- Voor mobiele werktuigen ligt de elektriciteitsprijs redelijk laag. Grote ondernemers hebben over het algemeen hun eigen laadvoorziening op eigen terrein of bij het distributiecenter. Als grootgebruiker van elektriciteit hebben bedrijven vaak een laag energietarief, in de orde van 0,05 á 0,06 €/kWh. Hierbij komen energiebelastingen en kosten voor de netaansluiting. Voor mobiele werktuigen zal hiervoor een totaal tarief van 0,11 €/kWh gehanteerd worden;
- De prijs van waterstof bedraagt bij de meeste tankstations circa 10 €/kg (incl. BTW). Voor mobiele werktuigen is de prijs 8,26 €/kg (excl. BTW);
- De gemiddelde prijs voor CNG in 2019 was 1,17 €/kg<sup>7</sup> (incl. BTW). Bussen en vrachtwagens betalen circa 0,97 €/kg (excl. BTW). Volgens een prijsoverzicht van PitPoint [PitPoint, 2020] was de gemiddelde prijs voor LNG in 2019 1,21 €/kg (incl. BTW) en 1 €/kg (excl. BTW). Voor bio-varianten van LNG wordt een meerprijs van € 0,10 aangehouden;
- In 2019 kostte een liter HVO circa € 1,28 (excl. BTW) blijkt uit marktconsultatie. Dit is circa € 0,15 duurder dan diesel;
- FAME kost ongeveer evenveel als diesel, volgt uit marktconsultatie.

De meerkosten die de eindgebruiker moet betalen voor HVO en FAME zal over het algemeen lager zijn dan hier vermeld. Dit komt door de jaarverplichting voor brandstofleveranciers. Bedrijven die in Nederland brandstoffen leveren aan de vervoerssector zijn verplicht een jaarlijks toenemend aandeel hernieuwbare energie te leveren, oplopend naar 16,4% in 2020. De verplichting vertaalt zich in een zogenaamde HBE-waarde (Hernieuwbare Brandstofeenheden). De HBE-waarde is niet meegenomen in dit onderzoek.

<sup>7</sup> De geleverde data voor CNG zijn afkomstig van vrijwel alle CNG-tankstations in Nederland. De brondata worden aan het CBS geleverd door Travelcard Nederland BV, een leverancier van tankpassen voor de zakelijke rijder.





Tabel 1: Aannames rondom brandstofprijzen (referentiejaar 2019)

		C*				E*	W*	G*		VB*	
		Benzine	Diesel	Ad-blue	LPG	Elektriciteit	H <sub>2</sub>	CNG	LNG	HVO (100%)	FAME (100%)
Vervoers- specifiek	incl./ excl. BTW	€/l	€/l	€/l	€/l	€/kWh	€/kg	€/kg	€/kg	€/l	€/l
Mobiele werktuigen	excl. BTW	1,36	1,12	0,40	0,52	0,15	8,26	0,97	1,00	1,28	1,12

\*C=Conventioneel, E=Elektrisch, W=Waterstof, G=Gasvormig, VB=Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

## 3 Marktonwikkelingen: mobiele werktuigen

### 3.1 Inleiding

Mobiele werktuigen zijn verantwoordelijk voor circa 10% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de transportsector in Nederland. Doordat deze machines vaak over een langere periode op dezelfde plek worden gebruikt, leidt dit naast CO<sub>2</sub>-uitstoot veelal ook tot een significante verslechtering van de lokale luchtkwaliteit door de uitstoot van fijnstof en bijvoorbeeld NO<sub>x</sub>. Zo is 8% van de NO<sub>x</sub> en 12% van de fijnstofuitstoot (PM<sub>10</sub>) in Nederland afkomstig van mobiele werktuigen. Daarbij heeft een onderzoek van TNO en de Topsector Logistiek aangetoond dat de NO<sub>x</sub>-uitstoot van mobiele werktuigen in de praktijk significant hoger ligt dan de limietwaarde zoals naar voren gekomen bij de laboratoriumtest van deze machines [TNO, 2020].

Mobiele werktuigen omvatten een grote verscheidenheid aan machinetypes die gebruikt worden in verschillende sectoren. Een overzicht van de sectoren en machinetypes is weergegeven in onderstaande tabel. De samenstelling van het machinepark wordt gemodelleerd met het Nederlandse Mephisto model. De basis van dit model is de opgedane kennis en data uit de EMMA-studie [TNO, 2009] in combinatie met verkoopaantallen van machinetypes in Nederland (via BMWT)<sup>8</sup>. De samenstelling van het machinepark is behoorlijk onzeker omdat er geen registratieplicht bestaat. Het aantal machines dat gebruik maakt van duurzame energiedragers (elektrisch, waterstof, gasvormig) is hierdoor niet bekend. Bovendien bestaat er geen aparte monitoringsverplichting voor de hoeveelheid hernieuwbare energie in mobiele werktuigen. Het aandeel hernieuwbare energie (biobrandstoffen, groene elektriciteit, etc.) is hierdoor niet bekend. Onderstaande tabel bevat hierdoor alleen conventionele brandstoffen (benzine, diesel en LPG).

De volgende vijf sectoren worden onderscheiden: consumenten, HDO (Handel Dienst en Overheid), industrie, landbouw en bouw. De sectoren landbouw en bouw dragen samen met circa 85% verreweg het meest bij aan het totale energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-uitstoot van mobiele werktuigen. Het merendeel van het energieverbruik is toe te schrijven aan drie type machines: landbouwtrekkers, graafmachines en laadschoppen.

---

<sup>8</sup> Tot 2014 kreeg TNO verkoopaantallen van machinetyperen in Nederland (via BMWT), sindsdien is de monitoring gestopt en wordt de verkoop geëxtrapoleerd. Een nieuwe datastroom is in toekomst mogelijk via het Off-highway Research. Off-highway Research heeft betaalde informatie over de mobiele werktuigen in Nederland. Met behulp van een uitvalfunctie wordt de grootte van het park geschat. De grootte van het park is hierdoor nog steeds behoorlijk onzeker.

Tabel 2: Overzicht van verschillende energiedragers en de energiebehoefte van mobiele werktuigen per sector in 2019 [KEV, 2019] [Hulskotte, 2014]

Sector	Machine naam	Brandstof	Actieve vloot	Energiegebruik	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> *
		[B/D/LPG]	[aantal]	[PJ]	[ton]	[ton]
Consumenten	bladblazers	B	150.000	0,04	3.027	2,1
	bosmaaiers	B	172.043	0,05	3.976	3,1
	grasmaaiers	B	679.319	0,54	39.906	118,1
	heggenscharen	B	114.695	0,01	795	0,6
	kettingzagen	B	138.064	0,01	812	0,5
	trimmers	B	57.346	0,01	497	0,4
	zitmaaiers prive	B	116.735	0,36	26.753	38,9
HDO	compacttrekkers	D	12.813	0,46	33.275	301,9
	generatoren, HDO	D	1.031	0,81	58.587	457,6
	hoogwerkers	D	1.718	0,14	10.198	38,1
	kantenstekers professioneel	B	22.800	0,08	5.992	18,1
	verticuteermachines professioneel	B	15.653	0,19	13.742	41,9
	zitmaaiers professioneel	B	2.275	0,12	8.649	12,3
Industrie	generatoren, industrie	D	400	0,89	64.918	723,5
	vorkheftrucks	D	3.109	0,99	71.524	272,2
	vorkheftrucks	LPG	4.034	1,40	93.166	1.775,8
Landbouw	bietenrooiers	D	475	0,33	24.174	75,0
	kettingzagen professioneel	B	2.811	0,04	3.020	2,0
	landbouwtrekkers	D	67.715	13,11	952.064	5.901,9
	maaidorsers	D	3.274	0,21	14.954	147,9
	maishakselaars	D	1.187	0,78	56.629	175,7
	mestinjecteur	D	506	0,48	34.989	118,4
	sputmachines	D	760	0,24	17.695	75,2
Bouw	asfalt afwerkinstallaties	D	268	0,14	10.411	63,1
	asfaltfreesmachines	D	19	0,03	1.846	3,0
	bronbemalingspompen	D	702	0,16	11.729	111,2
	bulldozers	D	285	0,32	23.507	53,9
	dumpers	D	729	0,42	30.458	75,7
	generatoren, bouw	D	1.616	0,68	49.135	531,9
	graaf-laadcombinaties	D	73	0,02	1.532	5,0
	graafmachines	D	25.789	10,18	738.853	2.023,7
	graders	D	68	0,01	1.034	4,6
	laadschoppen	D	15.897	8,68	629.822	1.926,3
	overslagmachines	D	437	0,38	27.605	62,2
	ruw terrein heftrucks	D	545	0,19	13.521	57,1
	trilplaten/stampers	B	4	0,06	4.294	12,9
	trilplaten/stampers	D	7.331	0,10	7.400	88,3
walsen	D	915	0,13	9.701	71,5	

\* NO<sub>x</sub> in NO<sub>2</sub>-equivalenten

De volgende paragrafen geven een overzicht van de huidige beschikbaarheid en betaalbaarheid van machines in combinatie met verschillende energiedragers. De focus ligt daarbij op de e-machinetypes die het hoogste energieverbruik hebben binnen de betreffende sector. Deze zijn:

- Voor de sector consumenten: **gras- en zitmaaiers** (circa 88%);
- Voor de sector HDO (Handel, Dienst, Overheid): **generatoren** (circa 45%);
- Voor de sector industrie: **vorkheftrucks** (circa 73%);
- Voor de sector landbouw: **landbouwtrekkers** (circa 86%);
- Voor de sector bouw: **graafmachines en laadschoppen** (circa 88%).

## 3.2 Beschikbaarheid van mobiele werktuigen

### 3.2.1 *Gras- en zitmaaiers (consumenten)*

#### 3.2.1.1. Conventioneel (benzine, diesel, LPG)

Het aanbod van gras- en zitmaaiers op benzine is groot. Consumenten kunnen kiezen uit verschillende merken – zoals bijvoorbeeld Einhell, Jonsered, Makita, McCulloch en MTD – en verschillende vermogens.

#### 3.2.1.2. Gasvormig (CNG, LNG)

Voor zover bekend zijn er geen grasmaaiers op gasvormige energiedragers beschikbaar.

#### 3.2.1.3. Elektrisch

Het aanbod van elektrische grasmaaiers is groot. Consumenten kunnen kiezen uit verschillende merken, soorten (elektrisch met snoer, accu, robotmaaiers) en vermogens. Veel voorkomende merken zijn bijvoorbeeld AL-KO, Bosch, Gardena, Mikita, Pattfield en McCulloch. Elektrische grasmaaiers zijn normaal gesproken geschikt voor velden tot maximaal 1.000 m<sup>2</sup>, waar benzinemaaiers geschikt zijn voor velden tot 2.500 m<sup>2</sup>.

Het aanbod elektrische zitmaaiers is minder groot, maar er zijn meerdere merken en types beschikbaar. Gemiddeld kan er op een lading één à twee uur gemaaid worden, goed voor één tot twee hectare (één hectare = 10.000 m<sup>2</sup>) maaien.

#### 3.2.1.4. Waterstof

Voor zover bekend zijn er geen waterstof grasmaaiers beschikbaar.

#### 3.2.1.5. Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

Biobrandstoffen kunnen in de huidige benzine-grasmaaiers gebruikt worden, mits deze binnen de norm van benzine (EN228) blijft. Een kanttekening hierbij is dat E10 (benzine met maximaal 10% bijmenging van bio-ethanol), dat voldoet aan de EN228 norm, wordt afgeraden voor tweetakt benzinemaaiers en benzinemaaiers van vóór 2012.

Een goed alternatief voor benzine voor grasmaaiers is alkylaatzbenzine, dat ook op basis van hernieuwbare grondstoffen kan worden geproduceerd [Groenemarkt, 2016]. Alkylaatzbenzine is schoner dan normale benzine, het bevat minder benzeen en aromaten. Hierdoor is met name de uitstoot van eenvoudige benzine motoren en/of benzine motoren zonder goede uitlaatgasbehandeling minder schadelijk voor de gezondheid.

### 3.2.2 *Generatoren Handel Dienst Overheid (HDO)*

Generatoren worden heel breed ingezet voor stroomvoorziening op plaatsen waar geen netspanning beschikbaar is, bijvoorbeeld bij evenementen, in de industrie en in de bouw. Dieselaggregaten worden voor grotere vermogens (> 3 kVA) het meest gebruikt. Daarnaast zijn er ook modellen die draaien op benzine, elektriciteit, waterstof en mogelijk ook high-blend biobrandstof. Ook worden er hybride oplossingen aangeboden, bijvoorbeeld een combinatie van batterij-elektrisch en diesel.

#### 3.2.2.1. Conventioneel (benzine, diesel, LPG)

Mobiele aggregaten voor commerciële doeleinden zijn voor het overgrote deel dieselaggregaten. Dieselaggregaten zijn beschikbaar in verschillende merken en vermogens. De vermogens lopen uiteen van 4,5 tot 2.000 kVA (~3,5 tot 1.600 kWe effectief geleverd elektrisch vermogen).

#### 3.2.2.2. Gasvormig (CNG, LNG)

Aggregaten op aardgas zijn minder gebruikelijk dan dieselaggregaten, maar ze zijn wel beschikbaar, bijvoorbeeld modellen van CAT of WFM. Net als bij diesel is er een groot bereik aan vermogens beschikbaar, tot ruim 1.800 kVA. Aggregaten op aardgas hebben als voordeel dat de brandstofkosten lager zijn dan die van dieselaggregaten. Ze worden echter als minder veilig en minder betrouwbaar beschouwd dan een dieselaggregaat. [WarrenCAT, 2019]

#### 3.2.2.3. Elektrisch

##### *Batterij-elektrisch*

Verschillende bedrijven, bijvoorbeeld GreenBattery en Bredenoord [Bredenoord, 2020] [Green Battery, 2020], bieden accu-elektrische generatoren aan. Hun vermogen is vaak kleiner dan die van dieselaggregaten. Ook zijn ze door het zware gewicht van de batterijen minder goed toe te passen. Er bestaan echter ook voorbeelden met een hoog vermogen, zoals de Big Battery Box van Bredenoord (600 kWh) of de grote uitvoeringen van GreenBattery:

- Er is een model beschikbaar met een vermogen van 50 kVA (80 kVA piekvermogen) en een capaciteit van 300 kWh;
- Daarnaast zijn er modellen met een piekvermogen van 250 kVA en een batterijcapaciteit van 420 kWh. Deze oplossing wordt net als de Big Battery Box van Bredenoord vooral gebruikt in combinatie met zonne- of windenergie om pieken en dalen op te vangen. Deze accupakketten zijn in staat een hoog vermogen te leveren, bijvoorbeeld om (voor een beperkte tijdsduur) grote pieken te kunnen opvangen, maar ontladen daardoor wel in één à twee uur tijd. De batterijen kunnen echter door snelladen weer in enkele uren worden opgeladen.

##### *Hybride-elektrisch*

Behalve volledig elektrische aggregaten, bestaan er ook hybride aggregaten. Dit is een combinatie van een dieselaggregaat met een accupakket, eventueel aangevuld met zonnepanelen. Deze hybride oplossingen worden onder andere aangeboden door Bredenoord en De Groene Aggregaat, met systeemvermogens tussen de 5 en 100 kVA [Bredenoord-01, 2020] [De Groene Aggregaat, 2020].

Ook zonder zonnepanelen kunnen hybride aggregaten een brandstofbesparing realiseren, door bij lagere energievraag de dieselgenerator af te schakelen (een dieselmotor heeft een lager rendement bij lage lasten). Door toevoeging van zonnepanelen (tot 150 m<sup>2</sup> op basis van een 20-voets container systeem; zie het onderstaande figuur) kan een besparing tot 95% worden gerealiseerd volgens fabrieksopgave. Hybride aggregaten worden vaak aangeboden in combinatie met gebruik van high-blend biobrandstoffen, bijvoorbeeld 100% HVO.

*Figuur 1: Mobile Solar Plant van Bredenoord [Bredenoord-01, 2020]*



#### 3.2.2.4. Waterstof

Een stroomaggregaat op waterstof gebruikt in plaats van diesel waterstof om stroom op te wekken. De grootte van het systeem (inclusief de brandstoftanks) is vergelijkbaar met die van een dieselaggregaat. Ook de inzetbaarheid is vergelijkbaar: op een volle tank (twaalf gasflessen waterstof) kan het aggregaat circa 30 uur onafgebroken draaien. De huidige stroomaggregaten op waterstof zijn beschikbaar als prototypes met een vermogen van 5 of 17,5 kVA [Stimular.nl, 2020].

In december 2019 heeft start-up Dens (Dutch Energy Solutions) de eerste generator op de markt gebracht die elektriciteit opwekt op basis van hydrozine (mierenzuur), met een vermogen van 25 kW [DENS, 2019]. In de generator wordt het mierenzuur omgezet in waterstof, dat vervolgens weer wordt omgezet in stroom. Dens deed in 2018 al ervaring op met de generator tijdens een pilot in samenwerking met bouwbedrijf BAM Infra. Met een generator die werd gevoed door een flinke hydrozinetank leverde Dens twee weken lang stroom bij de verbouwing van de N211 bij Den Haag.

#### 3.2.2.5. Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

De waterstof aggregaten die nu ontwikkeld zijn (door Bredenoord, Nedstack en Wolter & Dros) kunnen in principe bio-ethanol als brandstof gebruiken. Het apparaat zet de ethanol om in waterstof, dat vervolgens naar de brandstofcellen gaat. Een voordeel van het gebruik van bio-ethanol is dat de energiedichtheid hoog is, waardoor het aggregaat langer op een volle tank kan draaien dan wanneer er

waterstof wordt gebruikt. Het systeem zet 40% van de energie in de brandstof om in elektriciteit [Stimular.nl, 2020].

Ook zijn er dieselaggregaten beschikbaar die op 100% HVO draaien [Bredenoord-02 2020] [Leeborent, 2020]. Echter, 100% HVO (HVO100) heeft een andere specificatie dan reguliere diesel: HVO moet voldoen aan de EN15940 specificatie voor paraffinische dieselolie; diesel moet voldoen aan EN590. Niet alle dieselmotoren zijn door de fabrikant vrijgegeven voor EN15940, maar fabrikanten zijn hier wel mee bezig, en steeds meer motoren worden voor EN15940 vrijgegeven. Een 20- tot 50-procent blend van HVO in diesel voldoet wel aan de EN590 norm en is dus officieel toegelaten voor alle dieselmotoren [Grondig, 2018].

### 3.2.3 *Vorkheftrucks (industrie)*

#### 3.2.3.1. Conventioneel (benzine, diesel, LPG)

Vorkheftrucks rijden veel op LPG (circa 55% van alle niet ZE-vorkheftrucks), vooral voor toepassingen binnen. Daarnaast rijden vorkheftrucks veel op diesel (overige 45% van de niet ZE-vorkheftrucks). Vorkheftrucks zijn beschikbaar in een groot bereik van hefcapaciteit, van 1.000 tot boven 30.000 kg.

#### 3.2.3.2. Gasvormig (CNG, LNG)

Vorkheftrucks op CNG of LNG zijn voor zover bekend niet beschikbaar.

#### 3.2.3.3. Elektrisch

Er zijn verschillende elektrische vorkheftruck modellen beschikbaar, met een hefcapaciteit tot ongeveer 20.000 kg. De systeemvoltages blijven onder de 100 volt, waardoor snelladen niet mogelijk is. Een groot voordeel is natuurlijk dat lokaal geen emissies uitgestoten worden uit de uitlaat. Een nadeel kan de laadfrequentie en laadduur zijn waardoor een heftruck mogelijk minder lang inzetbaar is. Het is momenteel niet bekend hoeveel elektrische vorkheftrucks in Nederland zijn.

#### 3.2.3.4. Waterstof

Er zijn enkele fabrikanten die in kleine aantallen brandstofcel-vorkheftrucks produceren, zoals Toyota en Linde [Toyota, 2020] [Linde, 2020]. Vooral in de Verenigde Staten worden brandstofcel-vorkheftrucks al op grote schaal ingezet: in 2018 waren er daar meer dan 20.000 vorkheftrucks met brandstofcel in bedrijf [EERE, 2018]. In Europa lopen er een aantal onderzoeksprojecten waarbij brandstofcel-vorkheftrucks worden ingezet, waarvan Hylift-Europe met 200 voertuigen de grootste is [Hylift, 2018]. De Rijksoverheid heeft een subsidie toegekend aan de ontwikkeling van een bouwmaschine op waterstof en een elektrische Sherpa 300 Eco kniklader [RVO, 2019].

#### 3.2.3.5. Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

##### *Bio-LPG*

Een alternatieve brandstof voor LPG heftrucks is bio-LPG, mits het voldoet aan de gestelde norm voor LPG, EN 589. Bio-LPG wordt gemaakt van een combinatie van afval, residuen en plantaardige olie, en kan tot 100% bio-aandeel bevatten.

### HVO

Een alternatieve brandstof voor diesel heftrucks kan mogelijk 100% HVO zijn, mits de motor door de fabrikant is vrijgegeven voor de EN15940 norm. Een 20- tot 50-procent blend van HVO in diesel voldoet wel aan de EN590 norm en is dus officieel toegelaten voor alle dieselmotoren [Grondig, 2018].

### FAME

Naast HVO is ook FAME (Fatty Acid Methyl Esters) beschikbaar als bio-alternatief voor diesel. Voor hogere percentages FAME in diesel gelden andere normen: EN16734 voor B10, EN16709 voor B20 en B30 en EN14214 voor B100. Deze zijn niet altijd geschikt voor alle dieselveertuigen en moet door de fabrikant vrijgegeven worden.

## 3.2.4 Landbouwtrekkers (landbouw)

### 3.2.4.1. Conventioneel (benzine, diesel, LPG)

Bij moderne landbouwtrekkers is diesel veruit de meest gebruikte brandstof. Landbouwtrekkers zijn beschikbaar in vele soorten en maten, met motorvermogens tussen de 15 en 300 kW, met uitschieters tot 475 kW.

### 3.2.4.2. Gasvormig (CNG, LNG)

#### *Mono-Fuel CNG*

New Holland biedt met de T6.180 Methane Power een oplossing met een motorvermogen van 132 kW. Dit voertuig heeft een methaantank van 300 liter (ofwel 50 kg) en kan in principe ook met 100% bio-methaan rijden. De tankinhoud is genoeg voor een halve dag inzet [NewHolland, 2018].

#### *Dual-fuel (methaan/diesel)*

De dual-fuel motor is in feite een dieselmotor die is aangepast om - in dit geval - methaan te kunnen verbranden. Hierbij wordt een kleine dieselinjectie gebruikt om de ontsteking te verzorgen, in plaats van een vonk zoals het geval is bij de 100% methaan motor. Valtra heeft een kleine serie N101 dual-fuel trekkers gemaakt met 75 kW motorvermogen en een 200 bar methaantank van 170 liter. De verhouding methaan/diesel verbruik is ongeveer 87%/13%. Met deze hoeveelheid methaan kan de trekker drie tot vier uur werken. Als de methaantank leeg is, dan kan de trekker verder op 100% diesel [Boerderij.nl, 2010].

### 3.2.4.3. Elektrisch

#### *Kabel-elektrisch*

John Deere toonde in 2018 een autonome, elektrische trekker van 400 pk (300 kW), waarbij de elektriciteit afkomstig is van het elektriciteitsnet, niet van een accupakket. Dat kan dankzij een slimme constructie van een op- en afrollende verlengkabel [Boerderij.nl, 2010] Dit model is nog niet commercieel beschikbaar.



### *Batterij-elektrisch*

Het aantal batterij-elektrische trekkers dat op dit moment wordt aangeboden is beperkt, en betreft kleinere modellen, zoals de Rigitrac SKE50 (50 kW e-motor, 80 kWh batterij). Deze trekker kan volgens de fabrikant ongeveer drie tot vijf uur werken op één batterijlading [Hissink, 2020].

Er zijn in de afgelopen jaren enkele batterij-elektrische prototypes gepresenteerd, zoals de John Deere SESAM in 2015 (2x 150 kW e-motor, 130 kWh batterij) en de Fendt E100 Vario in 2017 (150 kW, 100 kWh) [LandbouwMechanisatie, 2016] [Boerderij.nl-1, 2019]. Deze prototypes kunnen volgens opgave van de fabrikant tot maximaal vijf uur werken op één batterijlading. Echter, op continu vol motorvermogen zijn de batterijen van deze voertuigen theoretisch binnen respectievelijk 26 en 40 minuten leeg.

Daarnaast is er een studie uitgevoerd naar de haalbaarheid van een elektrische trekker op basis van de Valtra N154 tractor met Agco Power 49 AWF dieselmotor (114 kW). In deze studie werd geconcludeerd, dat zowel qua gewicht als volume een batterijpakket met een bruikbare capaciteit van 360 kWh (het vastgestelde maximale energieverbruik in een dag) niet in te passen is. Een pakket met een bruikbare capaciteit van circa 180 kWh (het gemiddelde energieverbruik per dag) zou qua volume goed moeten passen, maar voegt wel ruim 500 kg aan gewicht toe. [TNO, 2020].

*Figuur 2: Valtra N154 tractor [TNO, 2020]*



#### 3.2.4.4. Waterstof

Hoewel Allis-Chalmers in 1959 al een prototype trekker presenteerde met waterstof-brandstofcel zijn landbouwtrekkers op waterstof nagenoeg niet beschikbaar. New Holland heeft met de NH<sub>2</sub> een prototype brandstofcel trekker ontwikkeld met een vermogen van 100 kW, en een brandstoftank met een capaciteit van 8,2 kg waterstof [NewHolland-2, 2011]. Dit is goed voor ongeveer 130 kWh elektrische energie. Vergeleken met de elektrische Fendt E100 Vario – die 1,5 keer het motorvermogen heeft – is dit een factor 1,3 meer bruikbare elektrische energie. Naar verwachting zal dit voertuig dan ook 1,3 tot twee keer langer kunnen werken, dus maximaal 6,5 tot tien uur.

Daarnaast is het Nederlandse bedrijf H2Trac van plan om (autonome) waterstof tractoren te produceren. Het eerste voertuig op waterstof verwachten ze medio 2021 klaar te hebben [H2Trac, 2020].

#### 3.2.4.5. Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

Voor landbouwtrekkers wordt een aantal verschillende biobrandstoffen verkend. De meest recente oplossingen op het gebied van high blend biobrandstoffen zijn bio-methaan, dual fuel (bio-methaan – diesel) en HVO.

##### *100% HVO*

100% HVO is een goed alternatief voor diesel, mits de motor door de fabrikant is vrijgegeven voor brandstoffen die aan de EN15940-norm voldoen. CNH industrial (onder andere New Holland, Case IH, Steyr) geeft bijvoorbeeld aan dat EN15940-brandstoffen voor de nieuwste motoren voor “on road” toepassingen zijn toegelaten, maar nog niet voor “off road”. Deutz geeft aan dat bij alle Deutz-motoren zonder uitlaatgasbehandelingsunit en alle Stage IV-motoren EN15940-brandstoffen zijn toegelaten (vanaf 2020 is de nieuwe Stage-V wetgeving van kracht). John Deere geeft een volledige toelating voor de nieuwste motoren, maar niet voor oudere generaties [Grondig, 2018].

#### 3.2.5 *Graafmachines en laadschoppen (bouw)*

##### 3.2.5.1. Conventioneel (benzine, diesel, LPG)

Bijna alle conventionele graafmachines en laadschoppen gebruiken diesel als brandstof. Graafmachines en laadschoppen worden vaak intensief gebruikt en zijn vaak vele uren per dag operationeel. Dit vertaalt zich in een grote energievraag, die niet eenvoudig door andere energiedragers gerealiseerd kan worden. Graafmachines variëren van minigravers van 1 ton tot rupsgraafmachines van 90 ton.

##### 3.2.5.2. Gasvormig (CNG, LNG)

Een aantal partijen in de markt werkt aan een onderzoek naar de potentie van vloeibaar aardgas (LNG) in bouwmaterieel. Vergeleken met diesel zou LNG minder uitstoot veroorzaken, minder geluid reduceren en goedkoper zijn. Een praktijktest moet gaan uitwijzen of dit ook werkelijk zo is. Het initiatief wordt ondersteund door onder andere BMWT, Etec Grondverzetmachines en SVMP, de opleidingstak van Het Zwarte Corps [BouwMachines, 2018].

### 3.2.5.3. Elektrisch

Natuur & Milieu heeft onlangs samen met BMWT (de branchevereniging van leveranciers van bouwmachines, magazijninrichtingen, wegenbouwmachines en transportmaterieel) een overzicht gemaakt van de beschikbare en aangekondigde modellen elektrische machines in het zware segment. Beschikbare elektrische modellen zijn [N&M, 2019]:

- Laadschoppen op banden (<8 ton en <10,5 ton);
- (Mini-)graafmachines (<10 ton);
- Graafmachines op banden (<11,5 ton);
- Graafmachines op rupsen (elektrisch <23 ton, hybride <33 ton of met voedingskabel zelfs < 120 ton);
- Overslagmachines (breed beschikbaar, vooral met voedingskabel);
- Hijskranen die volledig elektrisch kunnen rijden en opereren (max. last 7 ton). In sommige sectoren zoals havens zijn deze altijd elektrisch. Op bouwplaatsen is de uitdaging om daar een zware 100-200 kW kabel naar toe te leggen. In de praktijk gebeurt dit nog weinig. Vaak vinden de werkzaamheden op afgelegen locaties plaats. Bovendien moeten de benodigde kabels zwaar uitgevoerd zijn vanwege de gewenste hoge vermogens en zijn ze kostbaar. Ook is het niet eenvoudig om dergelijke hoog belaste aansluitingen zomaar te realiseren;
- Ook in het kleine compacte segment (minigravers, trilstampers en trilplaten) is er ruim aanbod aan elektrisch werkmaterieel;
- Daarnaast zijn generatoren en bronbemaalingspompen elektrisch beschikbaar.

Wat opvalt is dat er langzamerhand een aanbod aan kleine elektrische bouwmachines (onder de 20 ton) ontstaat en groeit. Deze worden alleen nog niet veelvuldig gebruikt [TNO, 2020]. Dit komt onder andere door de hogere aanschafprijzen en beperkte laadinfrastructuur, maar ook door de onwetendheid en onzekerheid van bouworganisaties. Daarnaast zorgen recente ontwikkelingen, zoals de landelijke stikstofcrisis, ervoor dat de vraag naar grote elektrische bouwmachines aanzienlijk toeneemt.

Grote elektrische bouwmachines zijn daarentegen nog zeer beperkt beschikbaar op de markt. In [TNO, 2020] is gekeken naar de haalbaarheid van een grote elektrische graafmachine, op basis van een 26 tons Caterpillar 326 F/L rupsgraafmachine met C7.1 ACERT dieselmotor (zie onderstaande figuur). In de studie wordt geconcludeerd dat een batterijpakket en aandrijfsysteem, waarmee aan de gemiddelde dagelijkse energievraag kan worden voldaan<sup>9</sup>, technisch mogelijk is en economisch een aantrekkelijk alternatief kan bieden. Zowel het batterijpakket als de aandrijflijn is inpasbaar in het beschikbare volume en zal niet of nauwelijks leiden tot een toename van het gewicht. Vervolgens heeft Caterpillar recent in samenwerking met dealer Pon een prototype 25 tons graafmachine (type: Caterpillar 323 F Z-line) ontwikkeld met een 300 kWh batterij, waarmee vijf tot zeven uur achtereen gewerkt kan worden. Het opladen van de batterijen duurt

<sup>9</sup>430 kWh batterijcapaciteit en een elektromotor met 150 kW continue vermogen en 300 kW piekvermogen.

normaliter een hele nacht, maar kan met de snellader fors worden ingekort tot een half uur, bijvoorbeeld tijdens lunchtijd [GWWTotaal, 2019].

*Figuur 3: Caterpillar 326 F/L rupsgraafmachine [TNO, 2020]*



Er zijn ook enkele pilots en concepten, zoals bijvoorbeeld de wals van BAM (zie onderstaande figuur). BAM heeft in 2020 's werelds eerste elektrische 10-12 ton wals gebouwd en in gebruik genomen. Waar het lastig is om zwaar materieel te elektrificeren, leent een wals zich daar beter voor. Die hoeft niet keer op keer een zware last te hijsen of continu te graven in een bouwput. De wals heeft alleen energie nodig om te rijden en te sturen, net als een personenauto. De wals is natuurlijk wel zwaarder dan een gemiddelde auto, maar hij hoeft geen rijbereik van honderden kilometers te hebben om zorgeloos op de eindbestemming te komen. Met een volgeladen accu is de wals acht uur inzetbaar; opladen duurt drie tot vijf uur.

Figuur 4: Volledig elektrische wals van BAM



#### 3.2.5.4. Waterstof

De Rijksoverheid heeft in het kader van de DKTI-regeling een subsidie toegekend aan de ontwikkeling van een bouwmachine op waterstof [RVO, 2019]. Met deze subsidieregeling wordt ook een waterstof-powerpack voor mobiele werktuigen ontwikkeld, die worden ingezet in een vijftal veegmachines. Daarnaast is Hyundai bezig met het ontwikkelen van een waterstof graafmachine, die in 2023 in productie moet gaan [Hyundai, 2020].

#### 3.2.5.5. Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

100% HVO is een goed alternatief voor diesel, mits de motor door de fabrikant is vrijgegeven voor EN15940-brandstoffen. JCB geeft bijvoorbeeld aan dat GTL en HVO zijn toegelaten, maar noemt geen series. Voor Caterpillar geldt dat zij inmiddels de motoren van de laatste generatie (Stage V) hebben vrijgegeven. Bij oudere motoren wordt nog onderzocht of het gebruik van HVO/GTL mogelijk is. Caterpillar geeft in eigen documenten aan dat een minimum dichtheid van 800 gram per liter hiervoor noodzakelijk is. HVO heeft een dichtheid van 780,5 gram per liter. Dit maakt het onwaarschijnlijk dat oudere motoren hiervoor geschikt zijn. Liebherr geeft helder aan dat zolang er af-fabriek geen officiële vrijgave is, de brandstof niet is toegestaan [Grondig, 2018].

### 3.3 Betaalbaarheid

In deze paragraaf wordt de betaalbaarheid van de belangrijkste mobiele werktuigen per sector besproken. Het gaat specifiek over werktuigen, die een alternatief vormen voor de werktuigen op de conventionele brandstoffen.

### 3.3.1 *Gras- en zitmaaiers (consumenten)*

#### 3.3.1.1. Conventioneel (benzine, diesel, LPG)

Benzine grasmaaiers variëren in prijs tussen € 200 en € 800 en zijn vaak geschikt voor velden tot 2.500 m<sup>2</sup>. Benzine zitmaaiers zijn beschikbaar vanaf circa € 1.500, en zijn geschikt voor grasvelden tot meerdere hectares. De prijs van benzine voor consumenten is circa € 1,65 per liter (prijspeil 2019, incl. BTW).

#### 3.3.1.2. Gasvormig (CNG, LNG)

Voor zover bekend zijn er geen grasmaaiers op gasvormige energiedragers beschikbaar.

#### 3.3.1.3. Elektrisch

Elektrische grasmaaiers zijn vaak goedkoper dan benzine grasmaaiers en variëren in prijs tussen € 50 en € 300 voor modellen met snoer, en tussen € 200 en € 400 met accu. Elektrische grasmaaiers zijn echter alleen geschikt voor grasvelden tot 1.000 m<sup>2</sup>. Elektrische zitmaaiers zijn beschikbaar vanaf ongeveer € 4.500. De elektriciteitsprijs voor consumenten is circa 0,20 €/kWh (incl. BTW). Dit maakt de elektrische maaier ongeveer vijf keer goedkoper qua brandstofkosten.

#### 3.3.1.4. Waterstof

Voor zover bekend zijn er geen grasmaaiers op waterstof beschikbaar.

#### 3.3.1.5. Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

Zoals in hoofdstuk 3.2.1.5. is toegelicht, kan alkylaatzbenzine ook gebruikt worden in plaats van benzine. Reguliere alkylaatzbenzine heeft een aanzienlijke meerprijs ten opzichte van EN228 benzine: Met circa € 700 voor vat van 200 liter [OlieDienst, 2020] komt dit neer op circa 3,50 €/l.

### 3.3.2 *Generatoren (HDO, ook: industrie en bouw)*

#### 3.3.2.1. Conventioneel (benzine, diesel, LPG)

Conventionele dieselaggregaten zijn in vergelijking met de alternatieven (elektrisch, waterstof, hybride) relatief goedkoop in aanschaf, maar hebben vaak wel hogere brandstofkosten. Een 50 kVA aggregaat kost bijvoorbeeld rond de € 10.000 in aanschaf, en verbruikt op vol vermogen rond de 12,5 liter per uur. De dieselprijs voor NRMM machines is circa 1,12 €/l (excl. BTW).

#### 3.3.2.2. Gasvormig (CNG, LNG)

CNG en LNG zijn minder gangbaar dan dieselgeneratoren, maar zijn wel beschikbaar. CNG en LNG generatoren zijn duurder in aanschaf dan dieselgeneratoren, maar de brandstofkosten zijn lager [WarrenCAT, 2019]. Exacte aanschafprijzen zijn niet beschikbaar, maar het verschil met conventioneel zal naar verwachting ongeveer hetzelfde zijn als bij voertuigen in het wegtransport.

De meerkosten van CNG/LNG voertuigen in wegvervoer liggen rond € 40.000. De brandstofkosten van CNG zijn ongeveer 12% lager dan voor diesel<sup>10</sup>. De brandstofkosten van LNG zijn ongeveer 10% lager dan voor diesel<sup>11</sup>.

### 3.3.2.3. Elektrisch

#### *Batterij-elektrisch*

Het eerder genoemde GreenBattery aggregaat met 50 kVA vermogen en 300 kWh batterijcapaciteit kost volgens de fabrikant circa € 300.000 om te produceren, en kan volgens de fabrikant qua kosten concurreren met een dieselaggregaat [GreenBattery-1, 2019]. Een vergelijkbaar dieselaggregaat (50 kVA) kost echter in aanschaf rond de € 10.000 en heeft op vol vermogen een verbruik van ongeveer 12,5 liter per uur. Het batterij-elektrische aggregaat zal dus voor langere tijd tegen significant lagere bedrijfskosten moeten kunnen draaien om zichzelf terug te verdienen. Vaak worden generatoren geleased tegen een vast bedrag per dag/week.

#### *Hybride-elektrisch*

De fabrikant van De Groene Aggregaat heeft een kostenvergelijking gemaakt tussen een conventioneel 45 kVA dieselaggregaat en een 45 kVA hybride aggregaat [De Groene Aggregaat-1, 2019]. Het hybride systeem is voorzien van een 60 kVA dieselaggregaat (Caterpillar), zes REC zonnepanelen van 280 Wattpiek per stuk, een 45 kVA omvormer 3 fase (Victron) en een 640 Ah Lithium-Ion accupakket (Super-B). Op basis van 168 gebruiksuren per week zijn de kosten voor het conventionele dieselaggregaat € 2.032 (€ 350 huur plus € 1.682 brandstof). De kosten voor het hybride aggregaat zijn voor dezelfde inzet € 1.307 per week (€ 861 huur plus € 446 brandstof).

In de berekening wordt rekening gehouden met een verbruiksreductie van circa 75% (hybride versus conventioneel). Dit is niet representatief voor alle inzetmogelijkheden en de brandstofwinst hangt sterk af van de inzet. De brandstofreductie zal voornamelijk hoog zijn als de energievraag gemiddeld laag is, met af en toe hoge pieken. Bij een constant hoge energievraag, die goed past bij het vermogen van het conventionele aggregaat, zal de brandstofwinst echter minimaal zijn. Het hybride systeem heeft dan relatief weinig voordeel ten opzichte van het conventionele aggregaat. De zonnepanelen dragen hooguit een paar procent bij aan de energieopbrengst.

### 3.3.2.4. Waterstof

De kosten van een stroomaggregaat op waterstof zijn € 40 per draaiuur (5 kVA generator). Dit is vergelijkbaar met het dagtarief van de huur van een vergelijkbaar dieselaggregaat. Exacte aanschafkosten zijn niet bekend, maar zullen naar verwachting vele malen hoger liggen dan een vergelijkbaar dieselaggregaat, aangezien de technologie relatief nieuw is. De kosten zullen naar verwachting afnemen als de aggregaten op grotere schaal worden toegepast. De investeringskosten zijn terug te verdienen door de lagere brandstofkosten van waterstof ten opzichte van diesel.

<sup>10</sup> De prijs van CNG lag 2019 rond 0,97 €/kg (excl. BTW) en circa 1.12 €/l (excl. BTW) voor diesel. De verbrandingswaarde van CNG is 49,2 MJ/kg; diesel is 43,1 MJ/l. Aangenomen is een brandstofefficiëntie van diesel van 44% en CNG van 38%.

<sup>11</sup> De prijs van LNG lag 2019 rond 1 €/kg (excl. BTW) en circa 1.12 €/l (excl. BTW) voor diesel. De verbrandingswaarde van LNG is 49,2 MJ/kg; diesel is 43,1 MJ/l. Aangenomen is een brandstofefficiëntie van diesel van 44% en LNG van 38%.

Deze technologie staat op de Energielijst (2020, brandstofcelsysteem code 231101) en komt daarom, onder voorwaarden, in aanmerking voor de regeling Energie Investeringsaftrek (EIA). Dit betekent dat een bedrijf een extra bedrag ter grootte van 45% (2020) van het investeringsbedrag ten laste mag brengen van de bedrijfswinst [Stimular.nl, 2020].

### 3.3.2.5. Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

HVO is iets duurder per liter dan reguliere diesel, ongeveer € 0,15 per liter. De energiewaarde per kilogram van HVO is marginaal hoger dan diesel, maar de dichtheid van HVO is lager dan reguliere diesel. Dit resulteert in een lagere energiewaarde per liter brandstof, namelijk 33,31 MJ/liter voor HVO tegen 36,08 MJ/liter voor diesel (7,7% lagere energiewaarde per liter). Dat betekent dat, bij een gelijke efficiëntie, het literverbruik van HVO circa 8% hoger zou liggen. HVO zorgt echter voor een hogere efficiëntie, waardoor het literverbruik in de praktijk 2% tot 5% hoger uitkomt [Grondig, 2018]. De verbruikskosten van HVO zullen hierdoor circa 18% tot 21% hoger zijn ten opzichte van diesel.

### 3.3.3 Vorkheftrucks (industrie)

#### 3.3.3.1. Conventioneel (benzine, diesel, LPG)

Volgens [LandbouwMechanisatie-1, 2014] zijn LPG en diesel vorkheftrucks vergelijkbaar in kosten. Hierin wordt een 3,5 tons LPG vorkheftruck vergeleken met een 3,5 tons diesel en een elektrische vorkheftruck van dezelfde fabrikant. De aanschafprijs van de LPG-uitvoering is € 42.000. Met een inzet van 800 uur per jaar en een afschrijfperiode van tien jaar zijn de kosten per draaiuur € 11,76. Dit is inclusief onderhoud, reparaties, afschrijving, renteverlies, energiekosten, stalling en verzekering. Voor een diesel vorkheftruck wordt een aanschafprijs van € 44.750 opgegeven. De kosten per draaiuur komen uit op € 11,92 (iets hoger dan LPG).

#### 3.3.3.2. Gasvormig (CNG, LNG)

Vorkheftrucks op CNG of LNG zijn voor zover bekend niet beschikbaar.

#### 3.3.3.3. Elektrisch

Voor de elektrische vorkheftruck geeft [LandbouwMechanisatie-1, 2014] een aanschafprijs op van € 43.750 (€ 1.000 goedkoper dan diesel). De kosten per draaiuur zijn met € 10 bijna € 2 (ofwel circa 20%) lager dan die van LPG en dieselvorkheftrucks.

#### 3.3.3.4. Waterstof

Omdat waterstof-heftrucks nog niet op grote schaal worden ingezet in Europa, is er onvoldoende informatie beschikbaar om een kostenvergelijking te maken voor dit type heftruck.

#### 3.3.3.5. Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

HVO is ongeveer € 0,15 duurder dan reguliere diesel, daarnaast ligt het verbruik in liters in de praktijk enkele procenten hoger dan diesel.



### 3.3.4 Landbouwtrekkers (landbouw)

#### 3.3.4.1. Conventioneel (benzine, diesel, LPG)

In een haalbaarheidsonderzoek naar de elektrificatie van zware mobiele voertuigen [TNO, 2020], wordt een 114 kW Valtra N154 dieseltrekker vergeleken met een elektrische equivalent. In deze studie wordt uitgegaan van circa € 162.000 aanschafkosten (CAPEX) en circa € 12.000 energiekosten voor een dieseltrekker.

#### 3.3.4.2. Gasvormig (CNG, LNG)

De in sectie 2.2.4.2 genoemde New Holland T6.180 Methane Power is een CNG-trekker die eventueel ook op 100% bio-methaan kan rijden. De aanschafprijs van dit voertuig is niet bekend, maar het verschil met conventioneel zal naar verwachting ongeveer hetzelfde zijn als bij wegvervoer. De meerkosten van CNG/LNG voertuigen in wegvervoer liggen rond € 40.000. De brandstofkosten van CNG zijn ongeveer 12% lager dan voor diesel<sup>12</sup>. De brandstofkosten van bio-CNG (bio-methaan) zijn ongeveer 5% lager dan van diesel<sup>13</sup>.

#### 3.3.4.3. Elektrisch

In bovengenoemd haalbaarheidsonderzoek van TNO [TNO, 2020] wordt op basis van de 114 kW Valtra N154 dieseltrekker een elektrische variant geconfigureerd op basis van het waargenomen vermogen en energieverbruik van een gemiddelde daginzet. Hieruit volgt een elektrische trekker met 64 kW nominaal vermogen, 145 kW piekvermogen en een bruikbare batterijcapaciteit van 180kWh, met een prijs van circa € 232.000, inclusief € 210.000 MIA-aftrek<sup>14</sup> (CAPEX). De jaarlijkse energiekosten zijn circa € 5.000 (OPEX). Uitgaande van een afschrijvingstermijn van tien jaar heeft de elektrische trekker een gunstige terugverdientijd van circa zeven jaar.

Twee variabelen die veel impact hebben op de economische berekening zijn de elektriciteitsprijs en de accuprijs [TNO, 2020]:

- De elektriciteitsprijs voor grootverbruikers is vanaf circa 0,05 €/kWh; dat is exclusief de vergoeding voor de aansluitkosten. Temeer omdat het in het geval van werkzaamheden vaak een tijdelijke aansluiting betreft, kan dit leiden tot een grote toeslag van bijvoorbeeld 0,10 tot 0,20 €/kWh. Dit heeft vanzelfsprekend een significante invloed op de terugverdientijd die daardoor ook sterk afhangt van de specifieke toepassing van de machine. De terugverdientijd kan in zeer gunstige omstandigheden (accuprijs 250 €/kWh en elektriciteitsprijs van 0,10 €/kWh) teruggedrongen worden tot 2,8 jaar, terwijl deze in zeer ongunstige omstandigheden (accuprijs 500 €/kWh en elektriciteitsprijs van 0,25 €/kWh) kan oplopen tot 23 jaar;
- In combinatie met de verwachte prijsdaling van batterijpakketten zal de terugverdientijd verder afnemen.

<sup>12</sup> De prijs van CNG lag 2019 rond 0,97 €/kg (excl. BTW) en circa 1,12 €/l (excl. BTW) voor diesel. De verbrandingswaarde van CNG is 49,2 MJ/kg; diesel is 43,1 MJ/l. Aangenomen is een brandstofefficiëntie van diesel van 44% en CNG van 38%.

<sup>13</sup> De prijs van CNG lag 2019 rond 1,07 €/kg (excl. BTW) en circa 1.12 €/l (excl. BTW) voor diesel. De verbrandingswaarde van CNG is 49,2 MJ/kg; diesel is 43,1 MJ/l. Aangenomen is een brandstofefficiëntie van diesel van 44% en CNG van 38%.

<sup>14</sup> De Milieu-investeringsaftrek (MIA) is een subsidie op milieuvriendelijke bedrijfsmiddelen voor ondernemers. De MIA biedt de mogelijkheid tot 36% van het investeringsbedrag in mindering brengen op de fiscale winst. Het percentage van de aftrek is afhankelijk van de milieueffecten en de gangbaarheid van het bedrijfsmiddel [Belastingdienst, 2020]



## 3.3.4.4. Waterstof

Op dit moment zijn er nog geen betrouwbare gegevens beschikbaar over de kosten van waterstofftrekkers.

## 3.3.4.5. Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

HVO is ongeveer € 0,15 duurder dan reguliere diesel. Daarnaast ligt het verbruik in liters in de praktijk enkele procenten hoger dan diesel, zie sectie 2.3.2.5.

3.3.5 *Graafmachines en laadschoppen (bouw)*

## 3.3.5.1. Conventioneel (benzine, diesel, LPG)

Behalve landbouwtrekkers, is er in het haalbaarheidsonderzoek naar de elektrificatie van zware mobiele voertuigen [TNO, 2020] ook onderzoek gedaan naar elektrische graafmachines. Als uitgangspunt is gekozen voor de Caterpillar 326 F/L rupsgraafmachine. Dit is een 26 tons graafmachine met een 152 kW dieselmotor, die circa € 330.000 kost (CAPEX). De jaarlijkse energiekosten van deze machine bedragen circa € 28.000 (OPEX). Er wordt in de studie uitgegaan van een afschrijvingsperiode van tien jaar.

## 3.3.5.2. Gasvormig (CNG, LNG)

Exacte aanschafprijzen van LNG-graafmachines zijn niet beschikbaar, maar het verschil met conventioneel zal naar verwachting ongeveer hetzelfde zijn als bij voertuigen in het wegvervoer. De meerkosten van CNG/LNG-voertuigen in het wegvervoer liggen rond € 40.000. De brandstofkosten van LNG zijn ongeveer 10% lager dan van diesel<sup>15</sup>.

## 3.3.5.3. Elektrisch

Een elektrische variant van de bovengenoemde diesel rupsgraafmachine kost in de haalbaarheidsstudie van [TNO, 2020] in aanschaf circa € 500.000, € 450.000 inclusief MIA-aftrek (CAPEX). De jaarlijkse energiekosten voor deze machine zijn circa € 12.000 (OPEX). Net als bij de dieselvariant wordt uitgegaan van een afschrijfperiode van tien jaar. Dit resulteert in een terugverdientijd van circa zeven jaar.

Twee variabelen die veel impact hebben op de economische berekening zijn de elektriciteitsprijs en de accuprijs, zie ook hierboven hoofdstuk 2.3.4.3.

## 3.3.5.4. Waterstof

Op dit moment zijn er nog geen betrouwbare gegevens beschikbaar over de kosten van waterstofftrekkers.

## 3.3.5.5. Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

HVO is ongeveer € 0,15 duurder dan reguliere diesel. Daarnaast ligt het verbruik in liters in de praktijk enkele procenten hoger dan diesel, zie sectie 2.3.2.5.

<sup>15</sup> De prijs van LNG lag 2019 rond 1 €/kg (excl. BTW) en circa 1,12 €/l (excl. BTW) voor diesel. De verbrandingswaarde van LNG is 49,2 MJ/kg; diesel is 43,1 MJ/l. Aangenomen is een brandstofefficiëntie van diesel van 44% en LNG van 38%.

### 3.4 Infrastructuur

In dit hoofdstuk worden de locatie en beschikbaarheid van infrastructuur van de verschillende energiedragers besproken.

#### 3.4.1 *Conventioneel (benzine, diesel, LPG)*

Mobiele werktuigen gebruiken geen speciale infrastructuur. De brandstofvoorziening verloopt via normale tankstations. Bij bouwprojecten worden kleine tankwagens gebruikt om machines bij te tanken.

#### 3.4.2 *Gasvormig (CNG, LNG)*

Mobiele werktuigen gebruiken geen speciale infrastructuur. De brandstofvoorziening verloopt via normale tankstations. Bij bouwprojecten worden kleine tankwagens gebruikt om machines bij te tanken.

#### 3.4.3 *Elektrisch*

De grootste technische en economische uitdaging bij het elektrificeren van bouw materieel zit in de beschikbaarheid van voldoende laadinfrastructuur op de bouwplaatsen om de elektrische bouw machines tussendoor of in de nacht weer op te laden. Zeker gezien de grootte van de batterijpakketten is er voldoende krachtstroom noodzakelijk, die echter niet op alle bouwplaatsen voorhanden is. Dit volgde ook uit de recente studie van Natuur & Milieu naar de belemmeringen bij de inzet van elektrische mobiele werktuigen [N&M-2, 2019].

#### 3.4.4 *Waterstof*

Mobiele werktuigen gebruiken geen speciale infrastructuur. De brandstofvoorziening verloopt via normale tankstations. Bij bouwprojecten worden kleine tankwagens gebruikt om machines bij te tanken.

#### 3.4.5 *Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)*

Mobiele werktuigen gebruiken geen speciale infrastructuur. De brandstofvoorziening verloopt via normale tankstations. Bij bouwprojecten worden kleine tankwagens gebruikt om machines bij te tanken.

### 3.5 Conclusie

Doordat de groep "mobiele werktuigen" uit een zeer uiteenlopende verzameling werktuigen bestaat, is deze groep ingedeeld naar sectoren. Binnen de verschillende sectoren zijn vervolgens die werktuigen gekozen en beschreven, die binnen die sector het meest bijdragen aan de uitstoot. De aandacht gaat vooral uit naar de beschikbaarheid en naar betaalbaarheid. Waar mogelijk worden ook de vul- of laadtijd, draaiuren of laadvermogen besproken.

#### *Beschikbaarheid*

Alle in dit rapport beschreven werktuigen zijn verkrijgbaar op conventionele energiedragers, met name diesel en benzine, maar ook LPG (vorkheftrucks). Machines met gasmotoren (CNG/LNG) zijn vrij zeldzaam in de vloot. Bepaalde groepen werktuigen, zoals de kleine consumentenwerktuigen, die niet vaak en niet lang aaneengesloten ingezet worden, zijn vaak al als elektrische variant verkrijgbaar. Werktuigen die "binnen" gebruikt worden, zoals vorkheftrucks, zijn vaak ook al langer als LPG- en als batterij-elektrisch voertuig verkrijgbaar.

Vorkheftrucks op waterstof komen ook steeds vaker op de markt (al geruime tijd in de Verenigde Staten, maar nu ook in Europa).

Van de overige mobiele werktuigen in het Nederlandse park (generatoren, bouw- en landbouwmachines) gebruikt een heel groot deel nog conventionele energiedragers. Echter, door de sterk toegenomen aandacht voor de uitstoot (stikstof, fijnstof maar ook CO<sub>2</sub>) van mobiele werktuigen, lijkt momenteel een verandering plaats te vinden. Zo ontstaat er ook voor de lichtere en middelzware machines een steeds ruimer marktaanbod van (waterstof-)elektrische varianten. Dit aanbod beperkt zich nog tot machines onder de 20 ton. In de praktijk worden de machines nog niet veelvuldig gebruikt, maar recente ontwikkelingen, zoals de landelijke stikstofcrisis, zorgen er wel voor dat de vraag naar elektrische bouwmachines toeneemt. Een drempel voor de inzet vormen onder andere nog steeds:

- De hogere aanschafprijs;
- De beperkte laadinfrastructuur;
- De onwetendheid en onzekerheid van bouworganisaties.

Inzet van hoge-mix biobrandstoffen (vloeibaar en gasvormig) kan op korte termijn CO<sub>2</sub>-reductie leveren waar elektrische machines niet verkrijgbaar zijn. Dit geldt vooral voor middelgrote en grote werktuigen (zwaarder dan 20 ton). Bij grotere/zwaardere werktuigen wordt wel steeds meer onderzoek gedaan naar elektrificering in de vorm van batterij-elektrische of waterstof-aandrijving (brandstofcel). Er lopen diverse pilotprojecten, bijvoorbeeld met trekkers en graafmachines. Ook zijn er fabrikanten die eerste kleine series produceren of aankondigen dit te gaan doen.

Het aandeel hernieuwbare energie (biobrandstoffen, groene elektriciteit, etc.) in mobiele werktuigen is niet bekend, omdat er geen aparte monitoringsverplichting voor bestaat. De Nederlandse emissieautoriteit kan hierdoor geen exacte uitsplitsing maken van de toepassing van hernieuwbare energie in verschillende modaliteiten, noch binnen de modaliteiten.

#### *Betaalbaarheid*

Waterstof en elektrische (zware) werktuigen zijn momenteel vaak nog (flink) duurder dan conventionele varianten. Een kleinere operationele actieradius, lange laad/vultijden en de beperkte laad/tankinfrastructuur werken soms nog belemmerend.

### **3.6 Beleidsadvisering<sup>16</sup>**

Mobiele werktuigen zijn verantwoordelijk voor circa 10% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de transportsector in Nederland. Daarnaast stoten ze stikstof en fijnstof uit. Verduurzaming van deze machines kan daarom een grote bijdrage leveren aan de doelen van het Klimaatakkoord, het Schone Luchtakkoord en de ambities van het kabinet om te komen tot een klimaatneutrale en circulaire infrastructuur.

Geadviseerd wordt om het beleid te focussen op een bepaald segment vanuit een programmatische aanpak. Daarbij zou niet alleen moeten worden gekeken naar de mate van impact op het milieu, maar ook naar beschikbaarheid en betaalbaarheid. Juist marktontwikkelingen in segmenten die niet direct veel impact op het milieu hebben, zorgen voor opbouw van kennis, die gebruikt kan worden bij segmenten die het milieu zwaarder belasten.

<sup>16</sup> Deze beleidsadvisering is onder verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat opgesteld.

Het is opvallend dat elektrisch aangedreven machines die al op de markt zijn, vaak vergelijkbare of lagere kosten kennen dan fossiele varianten. Dit komt vooral door de lagere brandstofkosten. Mede door de stikstofproblematiek neemt de vraag naar elektrisch aangedreven machines toe. Verdere groei van de markt kan gerealiseerd worden door het aanbieden van meerdere alternatieven en modellen, zodat de consument meer keuzemogelijkheden krijgt. De overheid kan als "launching customer" optreden, door de markt de zekerheid te bieden dat zij investeringen in een duurzame vloot kunnen terugverdienen.

Ook de beschikbaarheid van (groene) elektriciteit is van belang. In het programma "Hernieuwbare energieprojecten op rijksgrond" stelt de Rijksoverheid rijksgrond ter beschikking aan derden voor het opwekken van hernieuwbare energie. Geadviseerd wordt te onderzoeken op welke manier hiermee een verbinding kan worden gemaakt. Wellicht kan een dergelijk energieproject een bouwplaats, bijvoorbeeld bij een wegverbreding, van hernieuwbare elektriciteit voorzien. Zodra de bouwwerkzaamheden zijn afgerond, kan de energie ten goede komen aan de omgeving. Een mooi voorbeeld van een dergelijk project is "Energie A16", waarbij langs de A16 tussen de Moerdijkbrug en de Belgische grens windmolens worden geplaatst om schone energie mee op te wekken. Een deel van de windmolens is in lokaal eigendom.

Op dit moment is het niet mogelijk om te zien of het aandeel hernieuwbare energie in mobiele werktuigen groeit of daalt. Geadviseerd wordt om onderzoek te doen naar een aparte monitoringsverplichting voor de hoeveelheid ingezette hernieuwbare energie binnen en tussen de modaliteiten.

Verder wordt geadviseerd om de vlooteigenaren van mobiele werktuigen meer bekend te maken met de mogelijkheden die de Milieuinvesteringsaftrek (MIA) en de Kleinschaligheidsinvesteringsaftrek (KIA) bieden voor de verduurzaming van hun vloot. Zo kan de TCO omlaag worden gebracht.

Tot slot nog twee suggesties voor onderzoek:

- Onderzoek hoe meer greep kan worden gekregen op de NO<sub>x</sub>-uitstoot door mobiele werktuigen en wat de beste mix is van regulering, beprijzing van de NO<sub>x</sub>-uitstoot in het fiscale stelsel en stimulerende maatregelen;
- Bekijk hoe de CO<sub>2</sub>-besparing van industriële vloten kan worden verrekend met de overige CO<sub>2</sub>-uitstoot van deze bedrijven. In die gevallen waar sprake is van emissieloze mobiele werktuigen komt dit zowel ten goede aan het stikstofdossier als aan het klimaatdossier.

## 4 Referenties

- [Belastingdienst, 2020] Milieu-investeringsaftrek (MIA)/Willekeurige afschrijving milieu-investeringen (VAMIL), 2020  
[\[https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakelijk/winst/inkomstenbelasting/inkomstenbelasting\\_voor\\_ondernemers/investeringsaftrek\\_en\\_desinvesteringsbijtelling/milieu\\_investeringsaftrek\\_mia\\_willekeurige\\_afschrijving\\_milieu\\_investeringen\\_vamil\]](https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakelijk/winst/inkomstenbelasting/inkomstenbelasting_voor_ondernemers/investeringsaftrek_en_desinvesteringsbijtelling/milieu_investeringsaftrek_mia_willekeurige_afschrijving_milieu_investeringen_vamil)
- [Boerderij, 2010] Valtra binnenkort ook op biogas, 2010  
[\[https://www.boerderij.nl/Home/Achtergrond/2010/6/Valtra-binnenkort-ook-op-biogas-BOE011756W/\]](https://www.boerderij.nl/Home/Achtergrond/2010/6/Valtra-binnenkort-ook-op-biogas-BOE011756W/)
- [Boerderij.nl-1, 2019] Elektro Fendt rijdt als een stille Vario 492035 E, 2019  
[\[https://www.boerderij.nl/Mechanisatie/Achtergrond/2019/11/Elektro-Fendt-rijdt-als-een-stille-Vario-492035E/\]](https://www.boerderij.nl/Mechanisatie/Achtergrond/2019/11/Elektro-Fendt-rijdt-als-een-stille-Vario-492035E/)
- [BouwMachines, 2018] Praktijktest met LNG in bouwmaterieel, 2018  
[\[https://www.bouwmachines.nl/materieel/artikel/2018/08/praktijktest-met-lng-in-bouwmaterieel-10141673\]](https://www.bouwmachines.nl/materieel/artikel/2018/08/praktijktest-met-lng-in-bouwmaterieel-10141673)
- [Bredenoord, 2020] Big battery box, 2020  
[\[https://www.bredenoord.com/nl/huren/hybride-combinaties/big-battery-box/\]](https://www.bredenoord.com/nl/huren/hybride-combinaties/big-battery-box/)
- [Bredenoord-01, 2020] Mobile Solar Plant, 2020  
[\[https://www.bredenoord.com/nl/huren/hybride-combinaties/mobile-solar-plant/\]](https://www.bredenoord.com/nl/huren/hybride-combinaties/mobile-solar-plant/)
- [Bredenoord-02, 2020] HVO Biodiesel, 2020  
[\[https://www.bredenoord.com/nl/huren/clear-concept/hvo-biodiesel/\]](https://www.bredenoord.com/nl/huren/clear-concept/hvo-biodiesel/)
- [De Groene Aggregaat, 2020] De Groene Aggregaat, 2020  
[\[https://degroeneaggregaat.nl/\]](https://degroeneaggregaat.nl/)
- [De Groene Aggregaat-1, 2019] Informatiememorandum groene aggregaat verhuur Nederland, 2019  
[\[https://www.duurzaaminvesteren.nl/Portals/0/Proposition/131/Public/Informatiememorandum-groene-aggregaat-verhuur-nederland.pdf\]](https://www.duurzaaminvesteren.nl/Portals/0/Proposition/131/Public/Informatiememorandum-groene-aggregaat-verhuur-nederland.pdf)
- [DENS, 2019] Startup DENS ontwikkelt duurzame veilige elektriciteitsgenerator, 2019  
[\[https://brainportsmartmobility.nl/startup-dens-ontwikkelt-duurzame-veilige-elektriciteitsgenerator\]](https://brainportsmartmobility.nl/startup-dens-ontwikkelt-duurzame-veilige-elektriciteitsgenerator)
- [EC, 2019] Guiding document for pollutant reducing operations and maintenance of NRMM, PTW and HD, ucare-project, Heinz Steven et al., 2020
- [EERE, 2018] Fact of the Month November 2018, 2018  
[\[https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fact-month-november-2018-there-are-now-more-20000-hydrogen-fuel-cell-forklifts-use\]](https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fact-month-november-2018-there-are-now-more-20000-hydrogen-fuel-cell-forklifts-use)
- [EU, 2020] Non-road mobile machinery emissions, 2020  
[\[https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/environment-protection/non-road-mobile-machinery\\_en\]](https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/environment-protection/non-road-mobile-machinery_en)
- [Green Battery, 2020] Green Battery, 2020  
[\[https://green-battery.nl/\]](https://green-battery.nl/)

[Green Battery-1, 2019] Dieselaggregaat vervangen door batterijen, 2019 [https://www.youtube.com/watch?v=j7xC6Y0IUJY]

[Groenemarkt, 2016] Binnenkort lopen grasmaaiers en kettingzagen op suikerbieten, 2016 [https://groenemarkt.nl/binnenkort-lopen-grasmaaiers-en-kettingzagen-op-suikerbieten]

[Grondig, 2018] Vakblad Grondig, nummer 4, 2018, pag. 28-33, [https://issuu.com/vakbladgrondig/docs/grondig\_2018-04]

[GWWTotaal, 2019] Sneak preview Cat 323F Z-line, 2019 [https://www.gwwtotaal.nl/2019/01/22/sneak-preview-cat-323f-z-line/]

[H2Trac, 2020] H2Trac, 2020 [http://h2trac.com/home/]

[Hissink, 2020] Rigitrac SKE50 Elektrische tractor, 2020 [https://www.hissink-oeken.nl/producten/group-tractoren/rigitrac-1/rigitrac-ske50-elektrische-tractor]

[Hulskotte, 2014] MEPHISTO gebruikershandleiding Machinery Emissions Prognosis Helped by Information on Sales of Technology and Oils, Hulskotte, J., 2014

[Hylift, 2018] HyLIFT-EUROPE, 2018 [http://www.hylift-europe.eu/]

[Hyundai, 2020] Hyundai Construction Equipment (HCE) to develop "Hydrogen Fuel Excavators" with Hyundai Motors, 2020 [https://www.hyundai-ce.eu/en/news/2020-03-pr-hyundai-hydrogen-fuel-excavators]

[KEV, 2019] Klimaat- en Energieverkenning 2019, PBL, 2019

[LandbouwMechanisatie, 2016] John Deere ontwikkelt elektrische trekker, 2016 [https://www.mechaman.nl/landbouwmechanisatie/2016/11/24/john-deere-ontwikkelt-elektrische-trekker/]

[LandbouwMechanisatie-1, 2014] Vakblad LandbouwMechanisatie, editie april 2014, pag. 44-51 [https://edepot.wur.nl/302880]

[Leeborent, 2020] Leeborent verzorgt ook groene stroom, 2020 [https://www.leeborent.nl/verhuur-aggregaten/leeborent-verzorgt-ook-groenestroom]

[Linde, 2020] Fuel Cells, 2020 [https://www.linde-mh.com/en/About-us/Innovations-from-Linde/Fuel-Cells.html]

[N&M, 2019] Elektrische mobiele werktuigen in beeld, Natuur&Milieu, 2019

[N&M-2, 2019] Belemmeringen bij de inzet van elektrische mobiele werktuigen, Natuur&Milieu, 2019

[NewHolland, 2018] T6 Methane Power, 2018 [https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2018/04/T6-METHANE-POWER.pdf]

[NewHolland-2, 2011] NewHolland, 2011 [https://agriculture.newholland.com/eu/nl-nl/wie-zijn-wij/actueel/nieuws-en-evenementen/2011/nh2]



[NREL, 2013] An Evaluation of the Total Cost of Ownership of Fuel Cell Powered Material Handling Equipment, Technical Report, NREL/TP-5600-56408, april 2013 [https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56408.pdf]

[OlieDienst, 2020] Kroon Agri Alkylaatbenzine, 2020 [https://www.oliedienst.nl/g9984/kroon-agri-alkylaatbenzine.html]

[Pitpoint, 2020] Prijshistorie-LNG, PitPoint, 2020 [https://www.pitpointcleanfuels.com/app/uploads/2020/02/Prijshistorie-LNG.pdf]

[RR-SBM, 2020] Routeradar Straatbeeldmonitor, Rijkswaterstaat, 2020

[RVO, 2019] DKTI2 Mobiele machine, 2019 [https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/12/DKTI2%20Mobiele%20machines\_web.pdf]

[RVO, 2019] Sherpa 300 eco, 2019 [https://www.rvo.nl/initiatieven/dkitenders/sherpa-300-eco]

[Stimular.nl, 2020] Stroomaggregaat op waterstof, 2020 [https://www.stimular.nl/maatregelen/stroomaggregaat-op-waterstof/]

[TNO, 2009] EMMA – Emissiemodel Mobiele Machines gebaseerd op machineverkopen in combinatie met brandstof Afzet, TNO, 2009

[TNO, 2018] De inzet van bouwmachines en de bijbehorende NO<sub>x</sub>- en CO<sub>2</sub>-emissies, TNO, 2018

[TNO, 2020] HAALBAARHEIDSONDERZOEK NAAR DE ELECTRIFICATIE VAN ZWARE MOBIELE WERKTUIGEN, TNO, 2020

[Toyota, 2020] HYDROGEN FUEL CELL FORKLIFTS: AN ALTERNATIVE ENERGY SOLUTION, 2020 [https://www.toyotaforklift.com/blog/hydrogen-fuel-cell-forklifts-an-alternative-energy-solution]

[WarrenCAT, 2019] Factors in choosing a power generation system, 2019 [https://www.warren-cat.com/news/choosing-a-power-generation-system/#factors-in-choosing-a-power-generation%20system]