



Alternatieve brandstoffen en aandrijfliijnen voor mobiliteit

Een kennisoverzicht voor de provincie
Utrecht



CE Delft

Committed to the Environment

Alternatieve brandstoffen en aandrijfliijnen voor mobiliteit

Een kennisoverzicht voor de provincie Utrecht

Dit rapport is geschreven door:
Louis Leestemaker, Anco Hoen

Delft, CE Delft, december 2021

Publicatienummer: 21.210316.165

Provincies / Beleid / Mobiliteit / Vervoermiddelen / Motoren / Brandstoffen / Technologie / Prognoses /
Inventarisatie
VT: Kennis

Opdrachtgever: Provincie Utrecht

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Anco Hoen (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Begrippenlijst	3
1	Inleiding	4
	1.1 Aanleiding	4
	1.2 Achtergrond	4
	1.3 Doel van het onderzoek	5
	1.4 Methode en scope	6
2	Aandrijfliijnen en brandstoffen	7
	2.1 Inleiding	7
	2.2 Beschrijving van de aandrijfliijnen en brandstofsoorten	7
3	Vergelijking van de alternatieven	13
	3.1 Vergelijking van de milieuprestatie	13
4	Prognoses	31
	4.1 Prognoses volgens huidig beleid	31
	4.2 Progressieve prognoses	34
	4.3 Beschouwing internationale beleidsontwikkelingen	36
5	Doorkijkje/beschouwing	39
	5.1 Licht wegverkeer	39
	5.2 Zwaar wegverkeer	41
	5.3 Niet wegverkeer	42
	5.4 Infographic	42
	Referenties	45
A	Prognoses per modaliteit	46
	A.1 Personenauto's	46
	A.2 Goederenvervoer	47
	A.3 Autobussen	50
	A.4 Tweewielers	51
	A.5 Niet-wegverkeer	53
B	Uitleg diesel-equivalenten	55



Begrippenlijst

AFID	Alternative Fuel Infrastructure Directive
AFIR	Alternative Fuel Infrastructure Regulation
BEV	Battery Electric vehicle, batterij elektrisch voertuig
CCS	Carbon Capture and Storage
CNG	Compressed Natural Gas
E85	Ethanol welke 85 vol% ethanol en 15 vol% fossiele benzine bevat
FAME	Fatty Acid Methyl Ester
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle, brandstofcelvoertuig
FQD	Fuel Quality Directive
GTL	Gas to Liquid
GvO	Garantie van Oorsprong
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil, een dieselvervanger
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle, conventioneel voertuig met verbrandingsmotor
KEV	Klimaat en energieverkenning, een jaarlijkse publicatie van het Planbureau voor de Leefomgeving over de ontwikkeling van het energiegebruik en de CO ₂ -uitstoot
LNG	Liquid Natural Gas
LPG	Liquid Petroleum Gas
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PM	Particulate Matter, fijnstof
RED II/III	Renewable Energy Directive
RMP	Regionaal Mobiliteitsprogramma
SMR	Steam Methane Reforming, een techniek om waterstof te maken uit fossiel aardgas
TTW	Tank-to-wheel
WLO	Welvaart en Leefomgeving
WTT	Well-to-tank
WTW	Well-to-wheel

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het Klimaatakkoord (Rijksoverheid, 2019) staat dat regionale overheden Regionale Mobiliteitsprogramma's (RMP's) moeten opstellen om een bijdrage te leveren aan het verminderen van de CO₂-uitstoot. Eén van de thema's waarvoor in het RMP van de provincie Utrecht maatregelen zouden moeten worden uitwerkt is de doorontwikkeling van duurzame energiedragers in mobiliteit. Het gaat daarbij enerzijds om energiedragers zoals biobrandstoffen, waterstof en elektriciteit, en anderzijds om de voertuig- of aandrijftechnologieën die deze energiedragers kunnen gebruiken.

De provincie Utrecht werkt momenteel hun RMP uit. Hiervoor zou de provincie graag beschikken over een kennisdocument waarin een actueel overzicht wordt gegeven van de voor- en nadelen van de verschillende alternatieve brandstoffen en aandrijftechnologieën. Dit kennisdocument kijkt 'van buiten naar binnen' en brengt in beeld welke ontwikkelingen er vanuit Europa en de nationale overheid op de provincie afkomen die relevant zijn om mee te wegen in het provinciale beleid. Op deze manier hoopt de provincie de reeds lopende initiatieven voor duurzame energiedragers in mobiliteit (zoals het plaatsen van laadinfrastructuur via MRA-E, het waterstofconvenant en de Clean Energy Hubs) beter aan te laten sluiten op toekomstige ontwikkelingen. Bovendien kan deze brede, algemene kennis richting geven aan nieuwe beleidsinitiatieven die in het RMP zullen worden opgenomen.

1.2 Achtergrond

In de aanloop naar steeds ambitieuzere klimaatdoelen zijn de afgelopen decennia een hele reeks aan technieken en brandstoffen ontwikkeld die de plaats van de traditionele verbrandingsmotor op benzine of diesel zouden kunnen innemen. Elk van deze technieken en brandstoffen hebben hun specifieke kenmerken en daarmee voor- en nadelen. Die voor- en nadelen hebben betrekking op de milieuprestatie, maar ook op toepasbaarheid, gebruiksgemak en kosten.

Hoewel er vanuit onderzoek vaak wordt gepleit voor technologieneutraal beleid, omdat de markt de beste informatie heeft over welke technologie levensvatbaar is, zijn er ook marktimperfecties die (techniekspecifiek) overheidsingrijpen wenselijk maken. Denk bijvoorbeeld aan de uitrol van laad- en/of tankinfrastructuur die nieuwe voertuigtechnologieën nodig hebben. Pas bij voldoende massa zal de markt in deze infrastructuur willen investeren, maar in de innovatie- of vroege marktfase is het vaak de overheid die groei moet faciliteren. Het is lang niet altijd mogelijk om in de schaarse (stedelijke) ruimte verschillende technologiesporen tegelijkertijd te (laten) ontwikkelen. In dat geval moeten er keuzes worden gemaakt waarbij er een rol weggelegd is voor de overheid om bij deze keuzes te prioriteren. Om als overheid weloverwogen beleidsafwegingen te kunnen maken is het van belang de voor- en nadelen van potentiële technologie- en energiesporen te kennen.

Huidige beleidsinitiatieven provincie Utrecht

Binnen de provincie Utrecht lopen reeds meerdere initiatieven en beleidsprogramma's om de inzet van duurzame brandstoffen en aandrijflijnen voor mobiliteit mogelijk te maken. Zo heeft de provincie in april 2021 het waterstofconvenant voor mobiliteit opgesteld dat inmiddels door ruim honderd organisaties is ondertekend. Ook werkt de provincie Utrecht samen met andere provincies en het rijk aan een provinciaal netwerk van clean energy hubs gericht om de inzet van duurzame energiedragers (duurzame brandstoffen, waterstof en elektriciteit) in het zwaar goederentransport over weg en water te faciliteren.

Voor elektrisch vervoer werkt de provincie Utrecht in het kader van het project MRA-Elektrisch samen met overheden in Flevoland en Noord-Holland om een netwerk van publieke laadpunten te realiseren. Dit netwerk is bedoeld voor zowel personenauto's als bestel- en vrachtauto's. Ook wordt er gewerkt aan een strategie voor snellaadinfrastructuur en draagt de provincie zorg voor laadpunten op de carpoolplaatsen die in beheer zijn van de provincie.

Voor de verdere ontwikkeling van deze beleidsinitiatieven is het van belang inzicht te hebben over de verwachte ontwikkelingen van duurzame energiedragers in mobiliteit en transport. Dit rapport is bedoeld om hieraan bij te dragen.

1.3 Doel van het onderzoek

Dit onderzoek geeft een overzicht van de verschillen in milieu-impact tussen de beschikbare aandrijftechnologieën en brandstofsoorten. Daarbij wordt gekeken naar zowel de milieu-score tijdens gebruik (tank-to-wheel, TTW-emissies) als de productie van de gebruikte brandstoffen/energiedragers (well-to-tank, WTT-emissies). Er komen ook een aantal andere kenmerken aanbod, zoals de eindgebruikerskosten van de verschillende technieken, de actieradius, inpasbaarheid en de invloed op luchtkwaliteit.

In deze rapportage zijn ook prognoses en verkenningen gegeven van de verwachte inzet van verschillende vervoermiddelen (met alternatieve aandrijftechnieken of gebruik makend van alternatieve brandstoffen). Daarbij is in beeld gebracht wat studies zoals de Welvaart en Leefomgeving (WLO) (CPB & PBL, 2015) en de Klimaat- en Energieverkenning (KEV)(PBL, 2021) van het Planbureau voor de Leefomgeving en de Routeradar van Rijkswaterstaat (RWS, (2021 te verschijnen))verwachten over de snelheid waarmee nieuwe voertuigen op de Nederlandse wegen zullen verschijnen.

De gebundelde informatie in dit kennisdocument geeft een beeld van de kansen en barrières van verschillende brandstof- en aandrijftechnologie-sporen. Hiermee verkrijgt de provincie Utrecht, maar ook diens regionale partners, relevante input voor beleidsafwegingen.

Van buiten naar binnen

Dit kennisdocument kijkt niet gericht naar beleidsinitiatieven die momenteel in de provincie Utrecht lopen of worden overwogen. De blik richt zich op ontwikkelingen op het gebied van techniek en beleid *buiten* de provincie (op Europees en nationaal niveau) die relevant zijn of worden voor beleidsbeslissingen *binnen* de provincie. Het doel van dit rapport is het bieden van een kennisoverzicht dat kan worden gebruikt bij de verdere ontwikkeling van het beleid voor duurzame energiedragers in de provincie Utrecht.

1.4 Methode en scope

Methode

De kennis in dit document is hoofdzakelijk gebaseerd op bestaand onderzoek. Er zijn dus geen (nieuwe) kwantitatieve analyses gedaan. Het betekent ook dat sommige modaliteiten (zoals mobiele werktuigen en recreatievaart) vanwege het ontbreken van betrouwbare informatie over de impact van het gebruiken van alternatieve aandrijfliijnen en brandstoffen, niet in het rapport voorkomen.

Scope

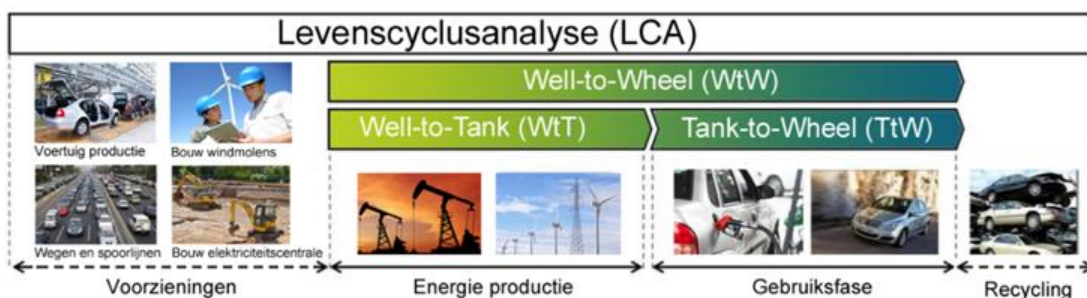
Het onderzoek beperkt zich tot het wegverkeer (met daarbinnen de voertuigtypen met het grootste aandeel in de uitstoot), binnenvaart en spoor. Mobiele werktuigen zijn alleen meegenomen in de prognoses van totale emissies (Bijlage A). Een gedetailleerde vergelijking op milieuprestaties (Hoofdstuk 3) is voor deze groep niet gemaakt, omdat deze groep zeer divers is (bladblazers, bulldozers, landbouwtrekkers e.d.) en algemene kentallen daarover weinig zeggen.

De vergelijking op milieuprestaties (Hoofdstuk 3) richt zich op het meest recente statistiekjaar 2018. De milieuprestaties beperken zich tot de volgende componenten:

- CO₂;
- NO_x (stikstofoxiden);
- PM₁₀-verbranding (fijnstof, deeltjes < 10 nm);
- PM_{2,5}-verbranding (fijnstof, deeltjes < 2,5 nm);
- PM₁₀-slijtage (banden, remmen en wegdek).

Voor CO₂ brengen we zowel de well-to-tank (WTT) emissies als de tank-to-wheel (TTW) emissies in beeld. Figuur 1 illustreert dat de som van WTT en TTW, de well-to-wheel (WTW) emissies, bestaan uit de emissies die vrijkomen bij de energieproductie en de gebruiksfase. Voertuigproductie, de bouw van energievoorzieningen en recycling vallen dus buiten de scope.

Figuur 1 - Illustratie van well-to-tank en tank-to-wheel-emissies binnen een Levenscyclus analyse (LCA)



Bron: [CO₂-emissiefactoren.nl](https://co2-emissiefactoren.nl)

2 Aandrijfliijnen en brandstoffen

2.1 Inleiding

Alhoewel de benzine- en dieselauto al meer dan 100 jaar dominant zijn in het straatbeeld, werd bijna gelijktijdig met de uitvinding van de verbrandingsmotor ook de elektrische auto ontwikkeld. De verwachtingen over de toepassing van de elektromotor in de auto zijn aan het einde van de negentiende eeuw zelfs hooggespannen. Zo schrijft De Kampioen in de zomer van 1898: 'het is te voorzien, dat het vervoermiddel der toekomst voornamelijk door elektrische drijfkracht zal worden bewogen' (ANWB, lopend).

In de loop van de twintigste eeuw tot vandaag de dag zijn er diverse nieuwe aandrijftechnologieën bedacht en alternatieve brandstofsoorten en/of energiedragers ontwikkeld. In theorie zijn er op dit moment daarom vele mogelijke aandrijftechniek/brandstofcombinaties mogelijk voor alle verschillende vervoermiddelen. Niet alle combinaties zijn met het oog op bijvoorbeeld inzetbaarheid of kosten echter levensvatbaar. In deze studie beperken we ons tot combinaties van aandrijftechnieken en brandstofsoorten die volgens de meeste onderzoeken een gerede kans hebben om een substantieel marktaandeel te krijgen in de periode tot en met 2040. Óf ze ook een substantieel aandeel krijgen staat daarmee overigens niet vast.

In de volgend paragraaf geven we een korte beschrijving van alle brandstoffen en aandrijfliijnen die in deze studie mee worden genomen in de vergelijking.

2.2 Beschrijving van de aandrijfliijnen en brandstofsoorten

In Tabel 1 is weergegeven welke voertuig/aandrijfliijn/brandstofcombinaties aan bod komen in deze studie. Wanneer we goed kijken zien we dat de combinaties verschillen voor de voertuigsoorten. Zo laten we bij vrachtwagens de brandstoffen LPG en benzine buiten beschouwing omdat deze historisch gezien altijd een zeer klein aandeel hebben gehad in het voertuigpark.

Tabel 1 - Combinaties van voertuigtype, aandrijfliijn en brandstofsoort die in deze studie aan bod komen

Voertuigtype	Aandrijfliijn	Brandstofsoort
Personenauto	ICEV	Benzine (gemiddelde bijmenging 2018 ¹)
		Benzinevervangers (E100)
		Diesel (gemiddelde bijmenging 2018 ²)
		Dieselvevangers (HVO100)
		LPG
		Bio-LPG
		CNG
	BEV	Elektriciteit (gemiddelde mix 2018)
		Elektriciteit (wind en zon NL mix 2018)

¹ Volgens de KEV2021 (PBL, 2021) was de bijmenging van ethanol in benzine in het wegverkeer op energiebasis 4,0%.

² Volgens de KEV2021 (PBL, 2021) was de bijmenging van ethanol in diesel in het wegverkeer op energiebasis 5,4%.

Voertuigtype	Aandrijflijn	Brandstofsoort
Bestelauto	FCEV	Waterstof (steam reforming)
	ICEV	Waterstof (elektrolyse wind en zon NL mix 2018)
		Diesel (gemiddelde bijmenging 2018)
		Dieselvevangers (HVO100)
		LPG
		Bio-LPG
		CNG
	BEV	Elektriciteit (gemiddelde mix 2018)
		Elektriciteit (wind en zon NL mix 2018)
	FCEV	Waterstof (steam reforming)
		Waterstof (elektrolyse wind en zon NL mix 2018)
Vrachtauto	ICEV	Diesel (gemiddelde bijmenging 2018)
		Dieselvevangers (HVO100)
		LNG
		Bio-LNG
	BEV	Elektriciteit (gemiddelde mix 2018)
		Elektriciteit (wind en zon NL mix 2018)
	FCEV	Waterstof (steam reforming)
		Waterstof (elektrolyse wind en zon NL mix 2018)
Bussen	ICEV	Diesel (gemiddelde bijmenging 2018)
		Dieselvevangers (HVO100)
		CNG
		Bio-CNG
	BEV	Elektriciteit (gemiddelde mix 2018)
		Elektriciteit (wind en zon NL mix 2018)
	FCEV	Waterstof (steam reforming)
		Waterstof (elektrolyse wind en zon NL mix 2018)
Bromfiets	ICEV	Benzine
	BEV	Elektriciteit (gemiddelde mix 2018)
		Elektriciteit (wind en zon NL mix 2018)
Motorfiets	ICEV	Benzine
	BEV	Elektriciteit (gemiddelde mix 2018)
		Elektriciteit (wind en zon NL mix 2018)
Binnenvaart	ICEV	Diesel
		Dieselvevangers (HVO100)
		LNG
	BEV	Elektriciteit (gemiddelde mix 2018)
		Elektriciteit (wind en zon NL mix 2018)
	FCEV	Waterstof (steam reforming)
		Waterstof (elektrolyse wind en zon NL mix 2018)
Spoor	ICEV	Diesel
		Dieselvevangers (HVO100)
	BEV	Elektriciteit (gemiddelde mix 2018)
		Elektriciteit (wind en zon NL mix 2018)

- a ICEV: Internal Combustion Engine Vehicle, conventioneel voertuig met verbrandingsmotor.
b BEV: Battery Electric vehicle, batterij elektrisch voertuig.
c FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle, brandstofcelvoertuig.
d Inclusief trekker opleggers.

We geven nu eerst een korte beschrijving van de verschillende aandrijflijnen en gaan daarna verder met een beschrijving van de verschillende brandstofsoorten.

2.2.1 Aandrijflijnen

Verbrandingsmotor (ICEV)

De verbrandingsmotor is tot op heden de meest voorkomende aandrijflijn bij wegvoertuigen. Er zijn grofweg twee soorten verbrandingsmotoren:

- de benzine- of Ottomotor;
- de dieselmotor.

Benzine is de brandstof die algemeen gebruikt wordt voor motoren welke werken volgens het Otto-principe. Dat zijn motoren waarbij eerst een min of meer homogeen mengsel gemaakt wordt van brandstof en lucht. Vervolgens wordt dat met een vonk ontstoken. Een Ottomotor wordt dus ook een motor met vonkontsteking genoemd. Benzinemotoren kunnen echter ook gebruik maken van LPG, aardgas en benzinevervangers zoals bio-ethanol (zie voor beschrijving brandstofsoorten Paragraaf 2.2.2). Hoger ‘blends’ zijn over het algemeen meer ‘corrosief’ en vereisen mogelijk aanpassingen aan het brandstofsysteem.

Dieselbrandstof heeft een lage zelfontbrandingstemperatuur, waardoor het geschikt is voor een ‘dieselmotor’. De brandstof ontbrandt vanwege de hoge temperatuur na de compressie in de motor vanzelf, vrij snel nadat het ingespoten wordt. Diesel is desalniettemin relatief veilig, omdat het niet gemakkelijk verdampt. Dieselmotoren kunnen ook gebruik maken van dieselvervangers zoals biodiesel. Hiervoor zijn doorgaans geen aanpassingen aan het voertuig nodig. Bij hogere ‘blends’ is het wel mogelijk dat voertuigfabrikanten beperkingen opleggen met het oog op de garantievoorwaarden.

Voor zowel Otto- als dieselmotoren geldt dat ze in de afgelopen decennia onder invloed van Europese regelgeving zijn uitgerust met nabehandelingstechnieken gericht op het verminderen van onder andere de NO_x en PM-uitstoot. De driewegkatalysator en roetfilter zijn voorbeelden van deze nabehandelingstechnieken. Aan de opeenvolgende aanscherpingen van de emissie-eisen worden bij wegvoertuigen gerefereerd als Euroklassen. De modernste benzine- en dieselauto's voldoen aan de Euro 6-normen.

Batterij elektrische voertuigen (BEV)

Een batterij-elektrisch voertuig (ook wel aangeduid als FEV: full electric vehicle) bestaat uitsluitend uit een elektromotor, een regelunit en elektrische energieopslag in de vorm van accu's. Remenergie wordt opgeslagen en hergebruikt. De accu's worden daarnaast opgeladen bij speciale laadvoorzieningen of bij een standaard stopcontact. Er zijn particuliere laders aan huis en publieke laders op parkeerplaatsen. Snelladers vind je hoofdzakelijk langs snelwegen bij reguliere tankstations.

Brandstofcel elektrische voertuigen (FCEV)

Brandstofcel elektrische voertuigen (ook wel aangeduid als waterstofvoertuigen of Fuel Cell Electric Vehicles) zijn uitgerust met een brandstofcel zijn elektrische voertuigen³. Aan boord van het voertuig vindt in de brandstofcel een elektrochemische omzetting van waterstof plaats waarbij elektriciteit wordt geproduceerd. De elektriciteit wordt gevoed

³ Dit is althans de meest gebruikte interpretatie. Echter, waterstof kan ook in een verbrandingsmotor worden toegepast. Vanwege de gunstigere ratio tussen CO₂-reductie en daarvoor benodigde energieproductie ligt de focus in dit rapport op waterstof dat wordt gebruikt in brandstofcel voertuigen.

aan een elektromotor die, net als bij een batterij-elektrische voertuig, het voertuig aandrijft. Remenergie wordt opgeslagen en hergebruikt.

2.2.2 Brandstofsoorten en energiedragers

De beschrijvingen van de energiedragers in deze paragraaf zijn een verkorte versie van de informatie die is te vinden in de Factsheets Energiedragers (TNO & CE Delft, 2020). In de factsheets van TNO en CE Delft zijn nog aanvullende brandstofkarakteristieken te vinden.

Benzine en benzinevervangers

De specificaties voor benzine zijn in de Europese Unie vastgelegd in de brandstofkwaliteitsrichtlijn ofwel de FQD (2009/30/EG) (EU, 2009) en in de Europese EN228-norm. In de meeste tankstations in Nederland wordt het sinds oktober 2019 verkocht als E10-brandstof, wat betekent dat er op volumebasis tot maximaal 10% ethanol aan fossiele benzine is toegevoegd. Op een beperkt aantal plaatsen kan ook E85 getankt worden. Deze E85 bevat 85 vol% ethanol en 15 vol% fossiele benzine en kan worden toegepast in speciale flexfuel-motoren. Ook ethanolmengsels in andere verhoudingen zijn mogelijk, zoals E20, maar vinden vooral afzet in het buitenland. Hiervoor geldt wel dat het voertuig moet zijn vrijgegeven door de fabrikant. Voor veel moderne motoren zou dit technisch mogelijk moeten zijn. E100 wordt op dit moment niet aangeboden maar representeert het theoretisch maximum met de potentieel hoogste milieuvoordelen.

Aan benzine in kunnen verschillende hernieuwbare alternatieven worden bijgemengd (benzinevervangers). Bio-ethanol, bionafta, bio-ETBE en bio-methanol worden het meeste gebruikt in Nederland.

Diesel en dieselvevangers

De specificaties waaraan een brandstof moet voldoen om diesel genoemd te mogen worden, zijn in de Europese Unie geregeld in de brandstofkwaliteitsrichtlijn ofwel de Fuel Quality Directive (FQD) (2009/30/EG) (EU, 2009) en in de EN-normen (EN590). De energiedichtheid en specifieke energie (hoeveel energie vrijkomt bij verbranding) van diesel is hoog ten opzichte van andere brandstoffen die worden gebruikt voor wegtransport. Dit betekent dat er relatief veel kilometers kunnen worden gereden op een liter brandstof.

Daarnaast zijn er andere brandstoffen (dieselvevangers) die kunnen worden toegepast in dieselmotoren, al dan niet vermengd met fossiele diesel. Voorbeelden van dergelijke brandstoffen zijn Gas-to-Liquid (GTL), Fatty Acid Methyl Ester (FAME) en Hydrotreated Vegetable Oil (HVO). GTL wordt geproduceerd uit aardgas, terwijl FAME en HVO biomassa als grondstof hebben. Wanneer er over biodiesel wordt gesproken gaat het vaak over FAME en/of HVO. Dikwijls wordt deze dieselvevangers ook aangeduid als 'drop-in' brandstoffen.

FAME en HVO zijn brandstoffen vervaardigd uit biomassa zoals plantaardige oliën en vetten en dierlijke vetten. GTL is een fossiele vloeibare brandstof geproduceerd uit aardgas en is derhalve geen biobrandstof (maar wel een dieselvevanger).

Van deze drie dieselvevangers mogen maximale percentages worden bijgemengd volgens de Europese EN590-norm (7% voor FAME en circa 30% voor GTL en/of HVO). Het gebruik van diesel met hogere aandelen FAME, HVO of GTL buiten bovengenoemde normen, kan leiden tot versnelde slijtage en extra benodigd motoronderhoud, zoals smeerolieveroudering en vervuiling van brandstof/smeeroliefilters.

LPG en bio-LPG

LPG is in de Europese Unie gereguleerd als brandstof die bestaat uit een mengsel van koolwaterstofgassen, voornamelijk propaan (C₃H₈) en butaan (C₄H₁₀). LPG wordt geproduceerd als bijproduct van olieraffinage en aardgasverwerking en kan volledig of gedeeltelijk vervangen worden door bio-LPG (ook wel aangeduid als biopropaan). Bio-LPG is ook een restproduct van de productie van vloeibare biobrandstoffen. LPG (en bio-LPG) zijn alleen toepasbaar in benzinemotoren.

Aardgas en groengas

Aardgas wordt gebruikt als fossiele brandstof in zowel gasvormige toestand (CNG, ofwel 'compressed natural gas') als vloeibare toestand (LNG, ofwel 'liquid/liquefied natural gas').

De hernieuwbare tegenhanger van aardgas is groengas dat wordt geproduceerd uit biogas of syngas. Biogas wordt geproduceerd uit vergisting van biomassa zoals mest en mais, of komt als stortgas vrij bij het verwerken van organisch afval. Naast biogas kan groengas ook uit syngas gemaakt worden. Syngas ontstaat bijvoorbeeld na vergassing van biomassa, zoals hout en is in dat geval ook biogeen. In gecomprimeerde vorm wordt groengas aangeduid als bio-CNG of CBG (Compressed Biogas) en in vloeibare vorm als bio-LNG of LBG (Liquefied Biogas). Groengas kun je bijmengen met aardgas. Hierdoor is het technisch gezien niet nodig is om aparte groengasleidingen aan te leggen of om in één keer over te schakelen. Zolang de producent het biogas aan het aardgasnet levert maakt het voor de gebruiker van het voertuig niet uit wat er wordt geleverd (voor het voertuig is er geen verschil). Met groen gas certificaten wordt gegarandeerd dat de geproduceerde en aan het net geleverde biogas inderdaad duurzaam is geproduceerd.

LNG en bio-LNG worden niet toegepast in personen- en bestelauto's maar vooral in vrachtwagens en bussen. De LNG die in Nederland kan worden getankt, wordt uit het buitenland geïmporteerd. CNG wordt met name toegepast in personen- en bestelauto's en stadsbussen.

De CNG die in Nederland kan worden getankt, wordt getransporteerd door het bestaande aardgasnetwerk en wordt gecomprimeerd aan de pomp voordat het getankt wordt. Gegeven dat het Nederlandse aardgasnetwerk laagcalorisch aardgas bevat, is ook CNG in Nederland laagcalorisch (ook wel G25). In andere Europese landen is CNG ook beschikbaar als hoogcalorisch gas (ook wel G20). Dit hoogcalorisch gas bevat meer methaan en minder stikstof dan laagcalorisch gas.

Elektriciteit

Elektriciteit is de energiedrager die nodig is voor voertuigen met een accupakket die middels een stekker moeten worden opgeladen. De opwekking van elektriciteit die elektrische voertuigen gebruiken vindt hoofdzakelijk plaats in energiecentrales en voor een deel met windmolens en zonnepanelen. Energiecentrales vallen onder het Europese Emissiehandelssysteem (ETS) dat de CO₂-uitstoot van de productie van elektriciteit onder een bepaald plafond houdt.

De energiedichtheid van accu's is in vergelijking met benzine veel lager. Dat betekent dat er veel meer ruimte in de auto gereserveerd moet worden om dezelfde hoeveelheid energiedragers mee te nemen. Hierdoor is ook het gewicht van elektrische auto's relatief hoog. Li-ion batterijen hebben een energiedichtheid van tussen de 100 en 265 Wh/kg. Voor benzine ligt die waarde op circa 12.000 Wh/g, een factor 45 tot 120 hoger. Elektrische auto's zijn hierdoor relatief zwaar wat de energie-efficiëntie verslechterd.



Lithium-ion-accu's worden steeds lichter en compacter. Dat is vooral te danken aan grote inspanningen op het gebied van onderzoek en ontwikkeling van accu's. Door nieuwe, verbeterde en dunnere elektrodematerialen zullen hogere celspanningen mogelijk worden, waardoor het volume en gewicht van de accu's afnemen. Verschillende autofabrikanten en leveranciers verwachten dat de energie-inhoud van accu's in de komende 10-15 jaar met een factor twee zal toenemen.

Voor de uitstoot van (volledig) elektrische voertuigen maakt het veel uit of de elektriciteit duurzaam (via wind en zonne-energie) is opgewekt of met de huidige elektriciteitsmix waarbij ook gebruik wordt gemaakt van gas- en kolencentrales.

Waterstof

Waterstof (H_2) als voertuigbrandstof is nog niet gereguleerd in de Europese Unie. De meeste waterstof wordt momenteel geproduceerd door chemische omzetting vanuit methaan (steam methane reforming – SMR) met fossiel aardgas en stoom. Bij deze productie-methode komt een aanzienlijke hoeveelheid CO_2 vrij. Wanneer deze CO_2 wordt afgevangen en opgeslagen (CCS, Carbon Capture & Storage) wordt de energiedrager aangeduid als blauwe waterstof. Indien de CO_2 niet wordt afgevangen en opgeslagen wordt gesproken over grijze waterstof. Een andere productiemethode is elektrolyse van water. De CO_2 -uitstoot van het elektrolyseproces is in dat geval afhankelijk van de bron van de elektrische energie die wordt gebruikt. Door duurzame energie te gebruiken voor de elektrolyse kan zogenaamde groene waterstof worden geproduceerd. De productie van waterstof leidt op die manier niet tot CO_2 -emissies.

Het grootste deel van de industriële geproduceerde waterstof in Nederland wordt momenteel geproduceerd op basis van fossiel aardgas en niet-hernieuwbare elektriciteit uit het net. Wel geldt dat de huidige openbare tankstations overwegend groene waterstof middels groencertificaten ⁴leveren.

⁴ Bij de fysieke levering van elektriciteit kan geen onderscheid gemaakt worden tussen elektriciteit uit verschillende bronnen. Om de herkomst van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen te garanderen wordt er bij de productie van hernieuwbare elektriciteit voor elk megawattuur (MWh) een Garantie van Oorsprong (GvO) of groencertificaat aangemaakt. Conform verschillende monitoringsmethoden (Greenhousegas-protocol of CO_2 -prestatieladder) geldt dat, op het moment dat je groene stroom koopt (uit Nederland) en dit middels groencertificaten (of GvO's) kan aantonen, de CO_2 -uitstoot per verbruikte kWh 0 gram/kWh of zeer laag is.



3 Vergelijking van de alternatieven

3.1 Vergelijking van de milieuprestatie

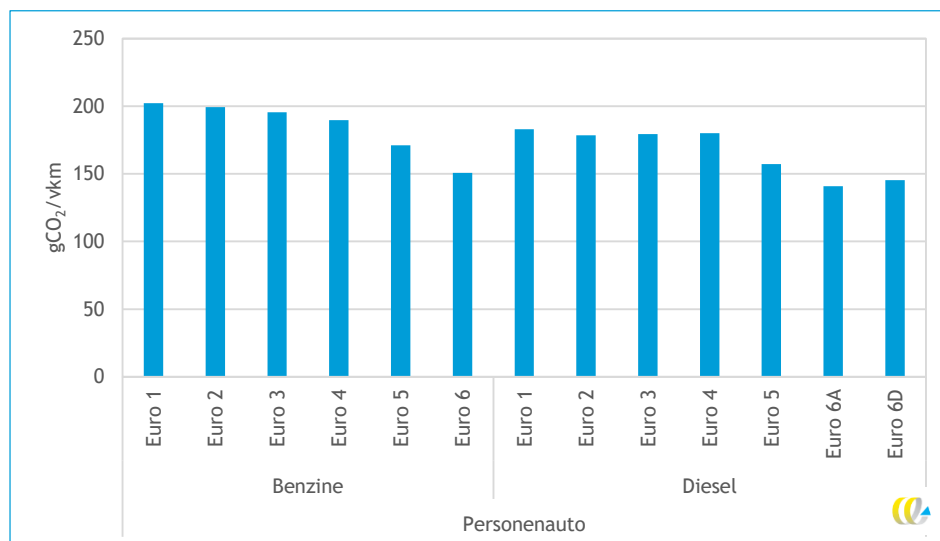
In deze paragraaf geven we overzichten van het verschil in milieuprestatie van de verschillende voertuigsoorten en brandstofsoort-/aandrijflijncombinaties. We geven in afzonderlijke figuren de uitstoot van achtereenvolgens CO₂, NO_x en fijnstof met een onderscheid naar well-to-tank-emissies (WTT) en tank-to-wheel (TTW) emissies voor CO₂. De som van de WTT en TTW-emissies betreft de well-to-wheel (WTW) CO₂-emissies.

De cijfers die ten grondslag liggen aan de figuren komen uit meerdere bronnen maar zijn in hoofdzaak gebaseerd op de emissiekentallen van de taakgroep verkeer⁵ (Geilenkirchen et al., 2020) en vervoer en de studie STREAM (CE Delft, 2020).

Bij de vergelijkingen beschouwen we de parkgemiddelde uitstoot voor het jaar 2019. Het park is samengesteld uit oude en nieuwe voertuigen die verschillen in uitstoot per kilometer. Door afschrijving en de verkoop van nieuwe voertuigen wordt de parkemissiefactor naar de toekomst toe lager. Dit komt niet tot uitdrukking in de figuren.

Als voorbeeld is in Figuur 2 t/m 4 de uitstoot van CO₂, NO_x en PM₁₀ van diesel- en benzine-auto's uitgesplitst naar de verschillende euroklassen⁶. Uit deze figuren kan worden opgemaakt dat de CO₂-uitstoot per gereden kilometer iets lager is voor de nieuwere euroklassen. De NO_x- en PM₁₀-uitstoot is, vooral bij diesel-voertuigen, echter veel lager voor de nieuwere euroklassen. Dit betekent dat vernieuwing van het wagenpark substantiële positieve effecten heeft op de uitstoot van luchtvervuilende stoffen.

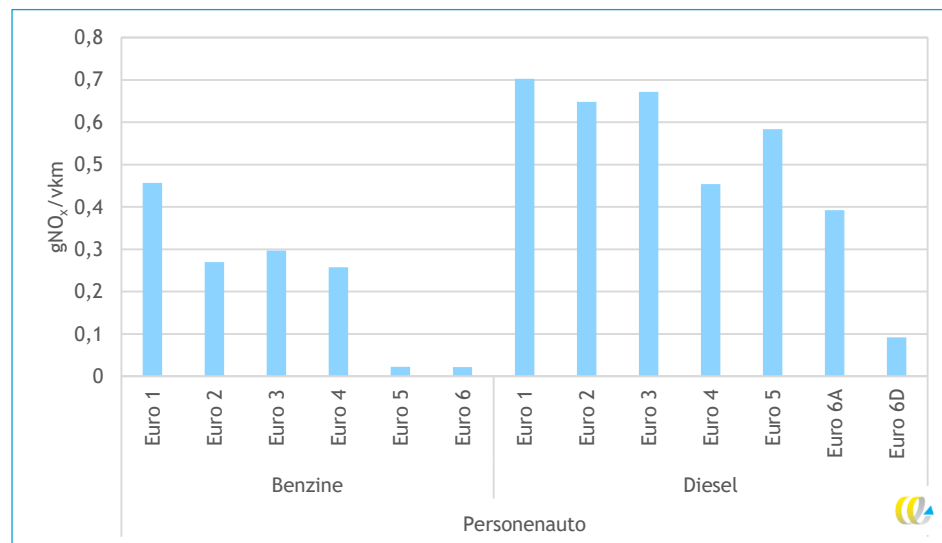
Figuur 2 - CO₂-uitstoot van diesel- en benzine personenauto's per euroklasse



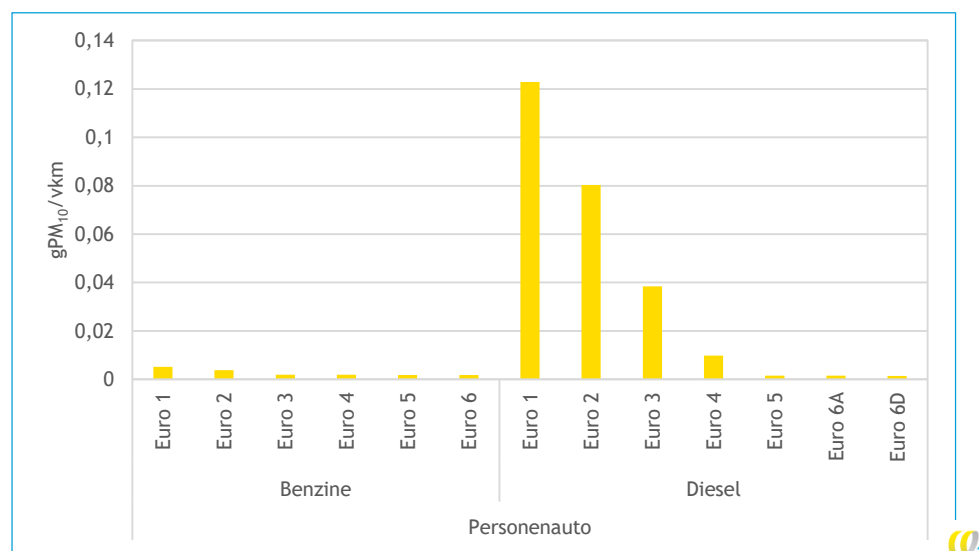
⁵ De taakgroep verkeer en vervoer is een onderdeel van de Emissieregistratie. In de taakgroep verkeer en vervoer worden de emissies naar bodem, water en naar lucht vastgesteld uit verkeer en vervoer (luchtvaart, scheepvaart en wegverkeer). Vertegenwoordigd zijn: RIVM, PBL, CBS, RWS-WVL, Deltares en TNO.

⁶ Deze uitsplitsing is gemaakt op basis van (PBL, 2020).

Figuur 3 - NO_x-uitstoot van diesel- en benzineauto's per euroklasse



Figuur 4 - PM₁₀-uitstoot (verbranding) van diesel- en benzineauto's per euroklasse



3.1.1 Vergelijking well-to-wheel CO₂-uitstoot

In Figuur 5 is de WTW CO₂-uitstoot in gram per voertuigkilometer voor de verschillende voertuigsoorten en brandstofsoort/aandrijftechnologiecombinaties weergegeven. We zien duidelijk grote verschillen tussen de WTW-uitstoot maar ook tussen de WTT en TTW-uitstoot van de verschillende combinaties. We pikken er een paar opvallende zaken uit:

- de WTW-uitstoot van benzine, diesel- en LPG-voertuigen is voor zowel personen-, bestel- als vrachtwagens en bussen hoger dan voor de andere brandstofsoorten.
- de WTW CO₂-uitstoot van personen- en bestelauto's is per voertuigkilometer in dezelfde orde grootte. Vrachtwagens en bussen stoten grofweg vier tot vijf keer zoveel CO₂ uit per voertuigkilometer.
- Mits de elektriciteit duurzaam wordt opgewekt (met zon en wind), hebben voertuigen op elektriciteit en waterstof de laagste WTW CO₂-uitstoot per voertuigkilometer. Bij de

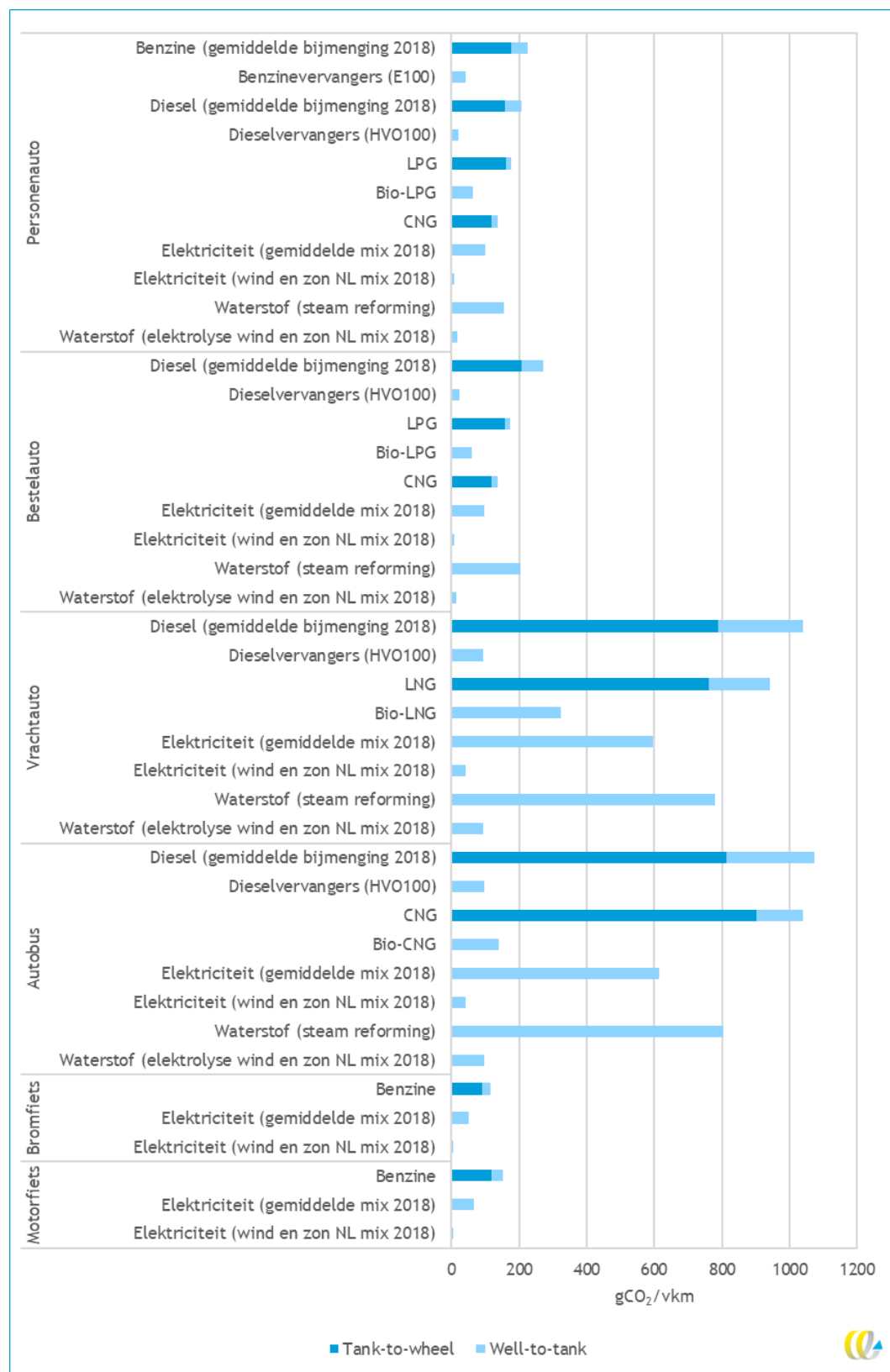
huidige elektriciteitsmix (2018) is de WTW CO₂-uitstoot lager dan van de conventionele voertuigen op benzine en diesel, maar het verschil is dan veel kleiner.

- Benzine- en dieselvangers zoals ethanol en HVO kunnen bij hoge bijmengpercentages tot substantiële reducties van de WTW CO₂-emissie leiden afhankelijk van de grondstoffen die voor de productie van de biobrandstoffen gebruikt worden.
- Voor alle niet fossiele brandstoffen zijn de TTW-emissies nul. Dit geldt dus ook voor benzine- en dieselvangers die wel bestaan uit koolwaterstofverbindingen, maar waarvoor de CO₂ die vrijkomt bij verbranding op nul wordt gesteld omdat deze eerder is vastgelegd in biomassa.
- Indien waterstof wordt gemaakt uit zogenaamde ‘steam reforming’ (met de huidige elektriciteitsmix en zonder CO₂-opslag) is de CO₂-uitstoot per voertuigkilometer veel hoger dan wanneer de waterstof wordt geproduceerd op basis van zonne- en wind-energie.

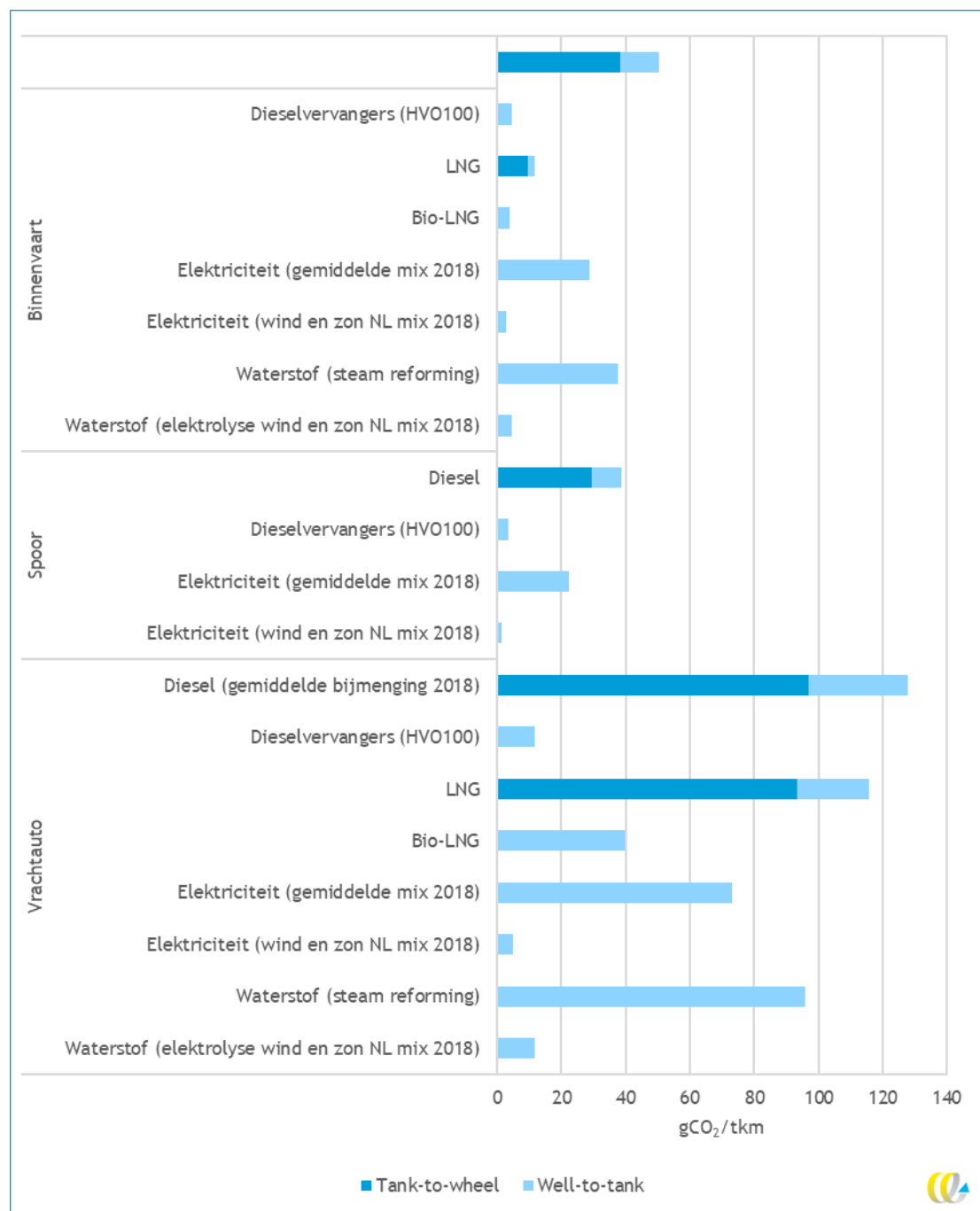
In Figuur 6 is voor het goederenvervoer een overzicht van de emissies per tonkilometer weergegeven. Het gaat hier om vergelijkingen waarbij het voor- en natransport met andere modaliteiten buiten beschouwing zijn gelaten. Enkele opvallende zaken in deze figuur zijn:

- Binnenvaart en rail stoten per tonkilometer ongeveer twee keer minder CO₂ uit dan vrachtvervoer over de weg. De milieuprestatie wordt wel in beïnvloedt door type goederen en de afstand die wordt afgelegd.
- Voor de binnenvaart zorgt LNG per tonkilometer ook voor een substantiële CO₂-reductie.

Figuur 5 - Vergelijking van de WTW CO₂-uitstoot per voertuigkilometer van wegvoertuigen in 2018 naar brandstofsoort en aandrijftechnologie



Figuur 6 - Vergelijking van de WTW CO₂-uitstoot in 2018 per tonkilometer van binnenvaart, vrachtauto's en spoorvervoer naar brandstofsoort en aandrijftechnologie



3.1.2 Vergelijking tank-to-wheel-emissie NO_x

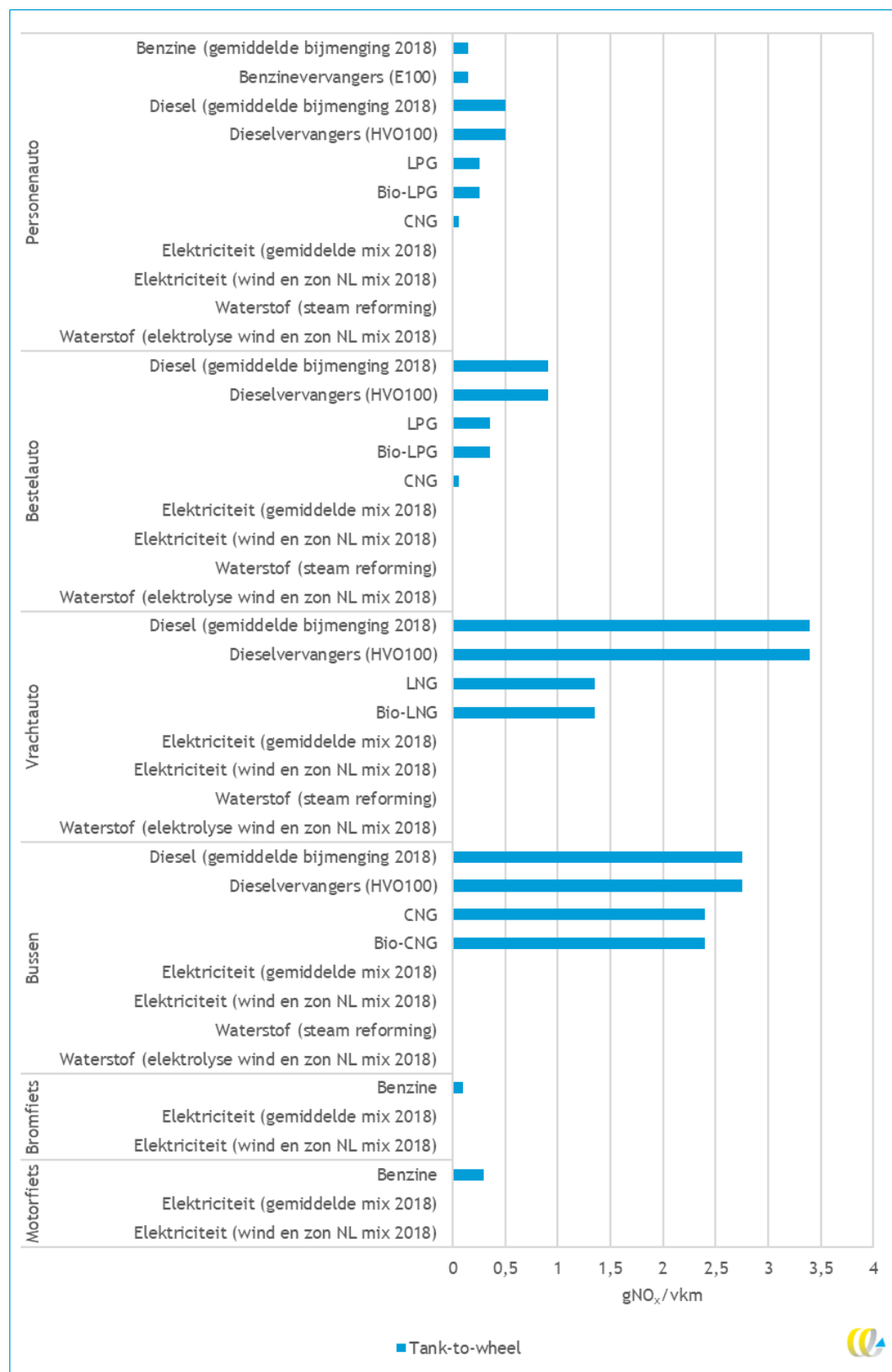
In Figuur 7 is de uitstoot van stikstofoxiden van de verschillende voertuigen, aandrijflijnen en brandstofsoorten te vinden. Het betreft hier de tank-to-wheel-emissies. Bij luchtverontreinigende emissies is het niet gebruikelijk ook de well-to-tank emissies te rapporteren omdat vooral de lokale blootstelling aan de uitstoot van NO_x en andere vervuilende stoffen relevant is. Een aantal opvallende zaken aan Figuur 7 zijn:

- Het zijn met name dieselveertuigen die voor een relatief hoge NO_x-uitstoot zorgen. Zware voertuigen (vrachtwagens en bussen) stoten daarbij per kilometer vijf tot zeven keer zoveel NO_x uit als dieselpersonenauto's.
- De NO_x-uitstoot van de benzine, diesel- en LPG-vervangers zijn per kilometer even hoog als van de reguliere benzine, diesel en LPG. Dit komt omdat de uitstoot van NO_x bepaald wordt door de nabehandelingstechniek (driewegkatalysator) en er zowel bij conventionele brandstof als bij vervangende brandstoffen koolwaterstofverbindingen worden verbrand.
- Net als voor CO₂ geldt dat de TTW emissie voor NO_x van voertuigen op elektriciteit en waterstof nul bedraagt.

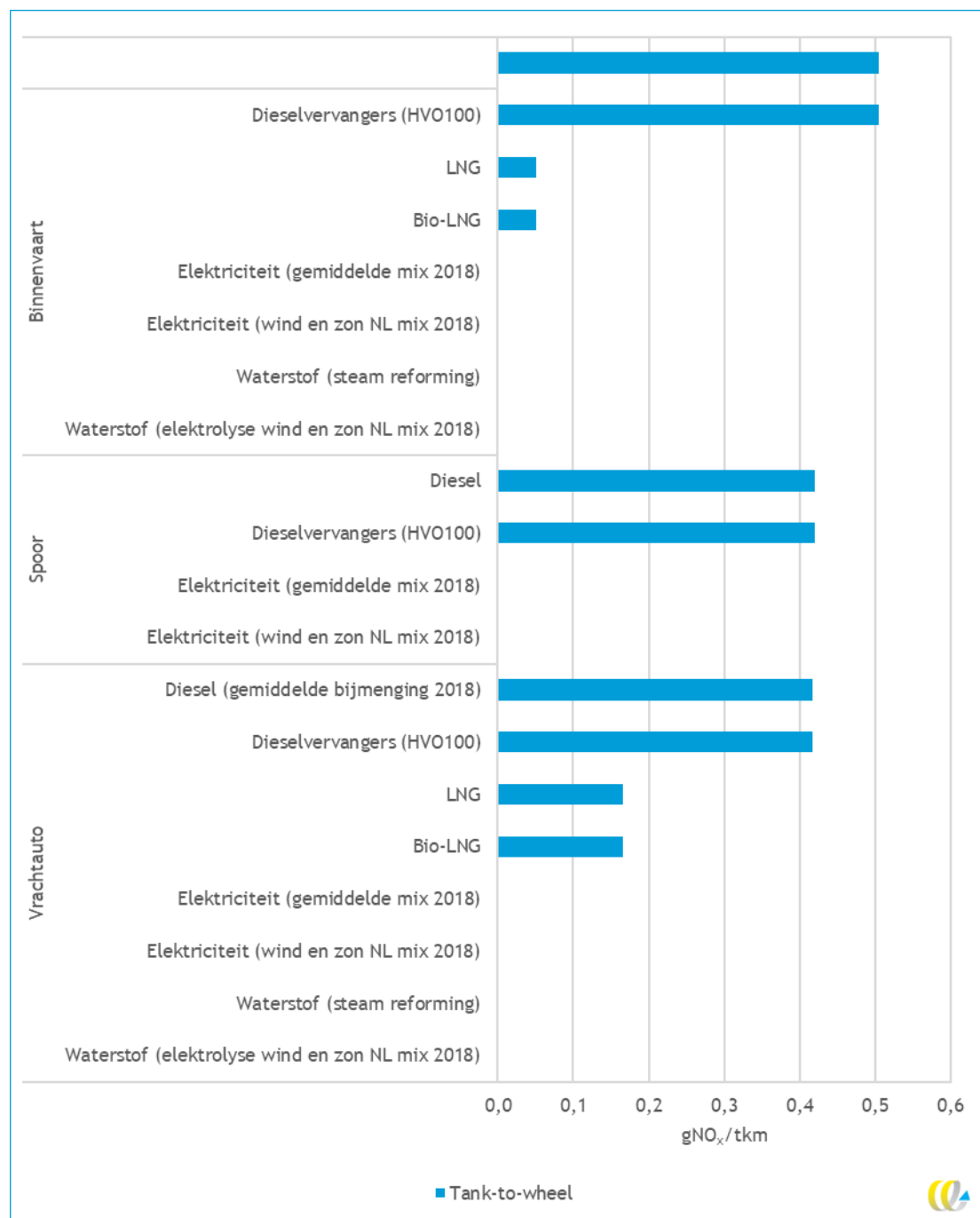
In Figuur 8 is de NO_x-uitstoot per tonkilometer weergegeven voor het niet-wegverkeer. Enkele zaken die opvallen zijn:

- er zijn geen grote verschillen tussen de vervoersvormen;
- binnenvaart scoort het minst goed wat betreft NO_x-uitstoot;
- net als bij het wegverkeer hebben aandrijflijnen zonder verbrandingsmotor geen NO_x-uitstoot.

Figuur 7 - Vergelijking van de TTW NO_x-uitstoot van voertuigsoorten in 2018 naar brandstofsoort en aandrijftechnologie



Figuur 8 - Vergelijking van de TTW NO_x-uitstoot per tonkilometer van binnenvaart, vrachtauto's en spoorvervoer in 2018 naar brandstofsoort en aandrijftechnologie



3.1.3 Vergelijking tank-to-wheel-emissie PM

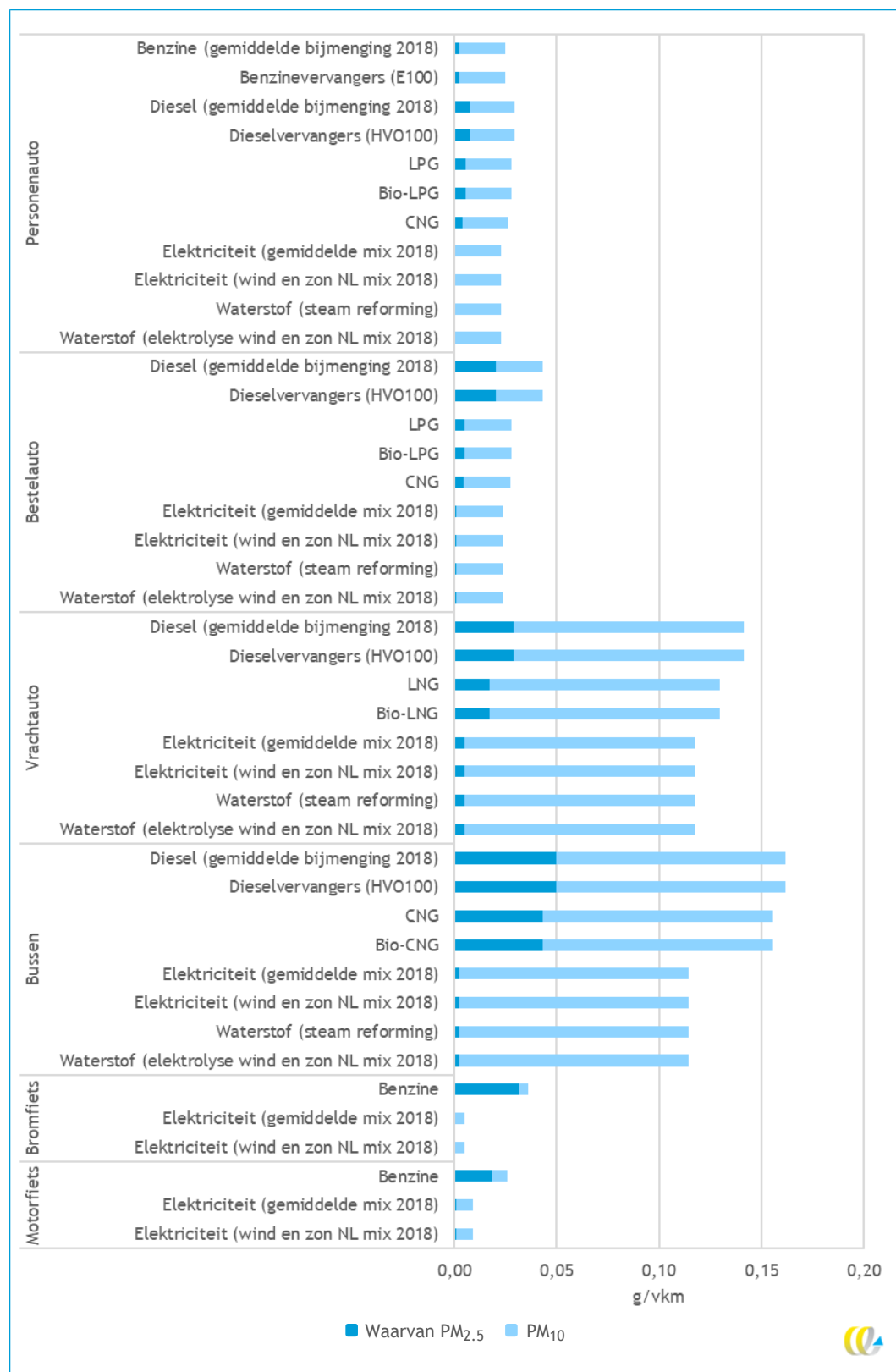
In Figuur 9 is de uitstoot van fijnstof (PM_{10} en $PM_{2,5}$) van de verschillende voertuigen, aandrijflijnen en brandstofsoorten weergegeven. Het gaat net als bij NO_x om de TTW-emissies. Daarbij zijn zowel de verbrandingsemissies als de slijtage-emissies opgenomen. Bij verbrandingsemissies gaat het om de kleine deeltjes die uit de uitlaat komen en die allemaal kleiner zijn dan 2,5 micrometer. Bij slijtage-emissies gaat het om de slijtage van banden, wegdek en remvoeringen waarbij deeltjes tot 10 micrometer vrijkomen. In Figuur 9 is de som van verbrandings- en slijtage-emissies van $PM_{2,5}$ en PM_{10} weergegeven. Aan de figuur vallen een aantal zaken op:

- Slijtage-emissies zijn dominant over de verbrandingsemissies. Dit komt omdat sinds circa 2010 dieselvoertuigen zijn uitgerust met een roetfilter.
- De slijtage-emissies van voertuigen op elektriciteit en waterstof zijn vergelijkbaar met die van voertuigen op conventionele brandstoffen. Omdat de slijtage-emissies vaak meer dan driekwart van de totale fijnstofemissies bedragen, is er bij PM relatief weinig milieuwinst te halen bij een overstap naar alternatieve brandstoffen of aandrijflijnen.

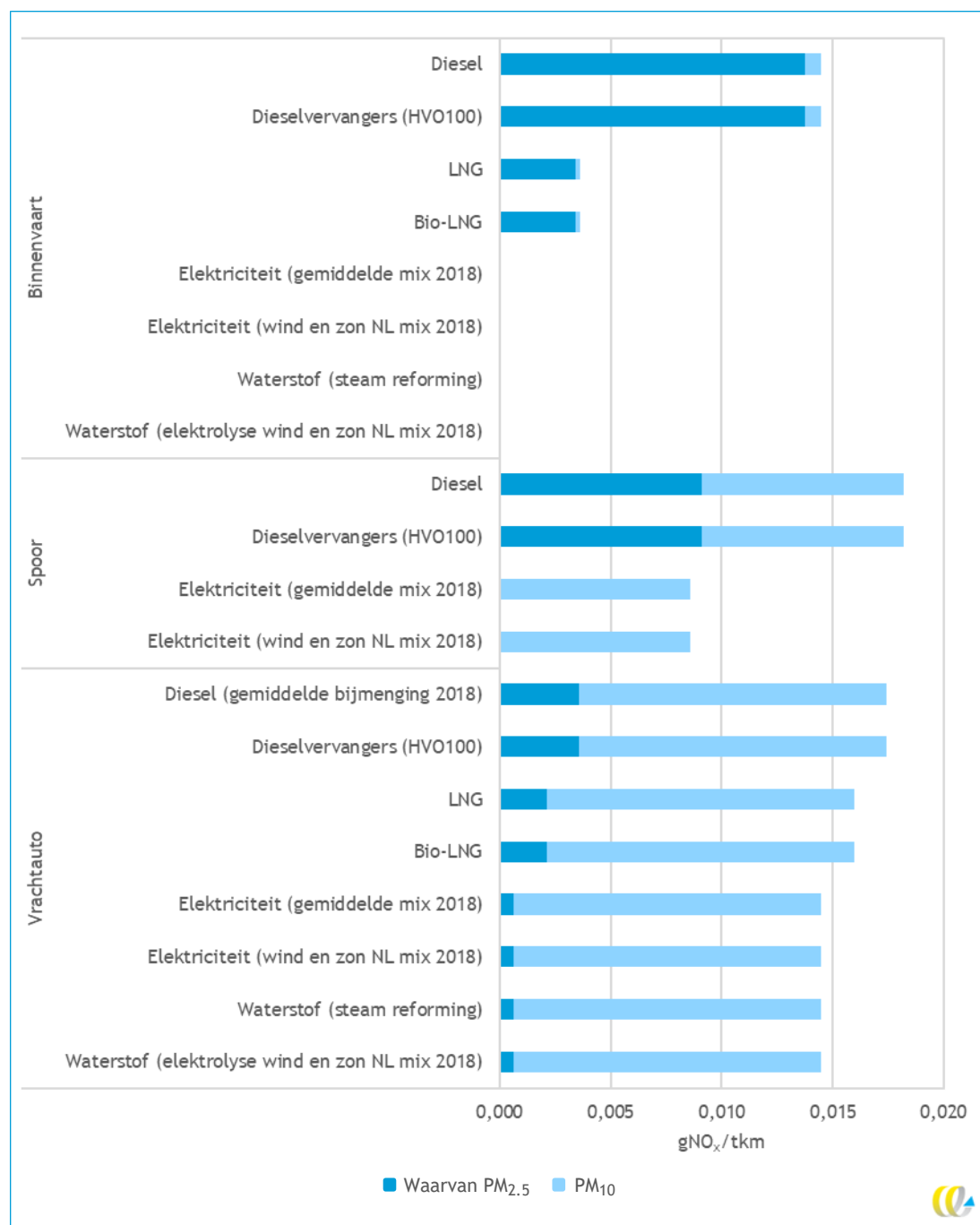
In Figuur 10 is een overzicht opgenomen van de fijnstofemissies per tonkilometer voor het niet-wegverkeer. Een aantal opvallende zaken zijn:

- Binnenvaart op elektriciteit of waterstof krijgt helemaal geen (tank-to-wheel) fijnstof-emissies toegekend. Dit komt omdat zowel de aandrijflijn (geen verbranding) als de manier van voortbewegen (door het water, dus geen wegdekslijtage) niet voor noemenswaardige fijnstofuitstoot zorgen.
- Elektrisch spoorvervoer scoort ook goed in vergelijking met de overige modaliteiten.
- De PM_{10} -uitstoot is redelijk vergelijkbaar tussen de overige modaliteiten. Er is echter wel een groot verschil in $PM_{2,5}$ -uitstoot: deze is vanwege het ontbreken van goede uitlaatgasbehandelingstechniek (denk aan een roetfilter) het hoogst in de binnenvaart.

Figuur 9 - Vergelijking van de TTW PM-uitstoot van voertuigsoorten in 2018 naar brandstofsoort en aandrijftechnologie



Figuur 10- Vergelijking van de TTW PM-uitstoot per tonkilometer van binnenvaart, vrachtauto's en spoorvervoer in 2018 naar brandstofsoort en aandrijftechnologie



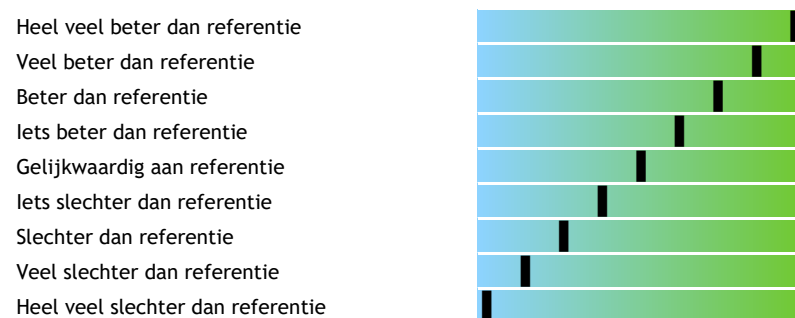
Vergelijking op overige aspecten

De milieuprestatie van een voertuigtype kan een belangrijke reden zijn om het gebruik ervan te stimuleren. Er zijn echter ook andere aspecten die een rol spelen. In deze paragraaf beschouwen we zes van deze overige aspecten en kennen we daar een kwalitatieve score per brandstofsoort-/aandrijflijncombinatie aan toe voor de huidige situatie. De overige aspecten die aan bod komen zijn:

1. **Eindgebruikerskosten**, hierbij gaat het om de totale kosten waar de gebruiker of eigenaar van een voertuigtype over de levens- of gebruiksduur mee wordt geconfronteerd. Dit wordt ook wel de Total Cost of Ownership (TCO) genoemd. Aanschafkosten (en afschrijving), brandstof- en/of energiekosten, verzekeringen, reparatie en onderhoud, belastingen en eventuele subsidies of fiscale voordelen maken onderdeel uit van een TCO.
2. **Actieradius**, betreft de hoeveelheid kilometer die op één tank of één volledige acculading kan worden afgelegd. Een relatief kleine actieradius verkleint de praktische inzetbaarheid van een voertuig.
3. **Inpasbaarheid**, hieronder verstaan we de mate waarin voertuigen en de bijbehorende infrastructuur makkelijk is in te passen in de bestaande (stedelijke) ruimte.
4. **Infrastructuurvereisten**, voor sommige brandstofsoort-/aandrijflijncombinaties zijn er meer investeringen nodig om elk voertuig van de benodigde energie te voorzien dan voor andere combinaties. Minder tank- en/of laadinfrastructuur leidt ook tot langer omrijden/langere zoektijden.
5. **Luchtverontreiniging (NO_x en PM)**, betreft de mate waarin de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen wordt verminderd door de betreffende aandrijflijn-brandstofsoortcombinatie.
6. **Klimaat (CO₂)**, de mate waarin de uitstoot van het belangrijkste klimaatbroeikasgas CO₂ wordt teruggedrongen.

We onderscheiden negen verschillende niveaus inclusief die van het referentievoertuig (zie legenda in Figuur 11). Het referentievoertuig is telkens de dieselvariant van het betreffende voertuigtype met diesel inclusief de gemiddelde bijmenging van dieselvangers voor het jaar 2018.

Figuur 11 - Legenda bij vergelijking neveneffecten



3.1.4 Personenauto's

In algemene zin geldt dat van de alternatieve aandrijflijnen, volledig elektrische personenauto's in het meest vergevorderde stadium van ontwikkeling zitten. Alhoewel het aandeel in de nieuwverkopen nog laag is (circa 10%) (RVO, 2020a) is het rijden in een elektrische auto steeds meer gemeengoed, zijn de prestaties (bijvoorbeeld met betrekking tot actieradius) steeds meer vergelijkbaar met benzine- en dieselauto's en zijn er op veel plekken laadvoorzieningen

In Figuur 12 is de vergelijking op de zes aspecten weergegeven voor personenauto's. We geven een korte toelichting voor elk van de zes aspecten.

Eindgebruikerskosten

Particulieren of bedrijven die investeren in de alternatieve aandrijflijn Waterstof en Elektriciteit zijn vooralsnog duurder uit dan zij die kiezen voor voertuigen met een verbrandingsmotor. Met name waterstofvoertuigen zijn nog erg duur in aanschaf. Wanneer ook de energiedrager (waterstof) duurzaam wordt opgewekt is deze aandrijflijn-brandstofcombinatie het minst gunstig van alle beschouwde alternatieven, want deze energieproductie is relatief duur. Elektrische auto's zijn de afgelopen jaren minder wat duur in aanschaf geworden. Bovendien is hun energiegebruik relatief gunstig waardoor de kosten voor de eindgebruiker al dicht in de buurt van een dieselauto liggen. Bij duurzaam opgewekte stroom worden de energiekosten wat hoger. De brandstoffen CNG en LPG zijn duidelijk goedkoper dan benzine en diesel terwijl de meerkosten van het voertuig relatief beperkt zijn. Bio-LPG is duurder waardoor de eindgebruikerskosten in de buurt van het referentievoertuig zullen liggen. Hetzelfde geldt voor dieselvervangers en benzinevervangers die per liter meer kosten dan reguliere benzine en diesel.

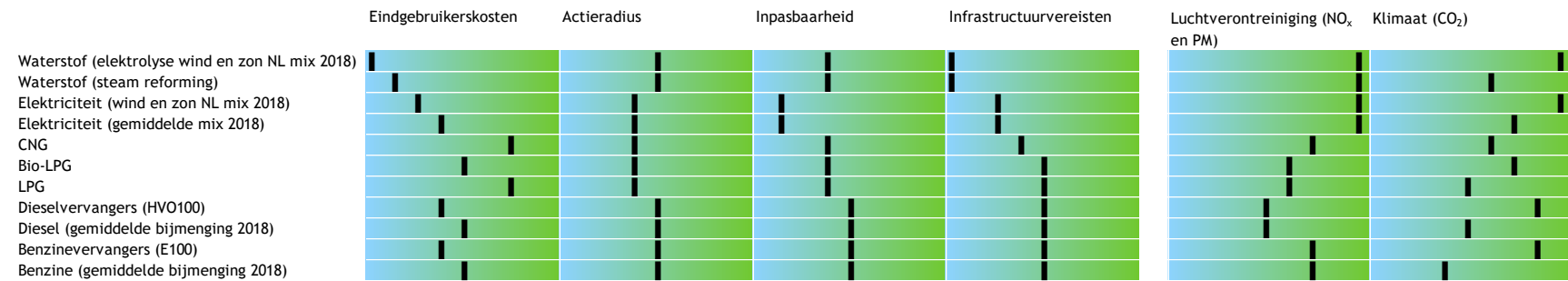
Actieradius

Voor wat betreft de actieradius zien we dat de verschillen tussen de aandrijflijn en brandstofsoorten beperkt is. Moderne elektrisch personenauto's hebben een actieradius van tussen de 250 en 450 kilometer (RWS, (2021 te verschijnen)). Voor het kleinste segment auto's (A) ligt dit gemiddeld lager, rond de 150 km. Deze actieradii zijn nog steeds lager dan van een benzine- of dieselauto, maar in de meeste gevallen niet zodanig beperkend dat het een groot nadeel vormt voor de gemiddelde gebruiker. Waterstofauto's hebben in beginsel een actieradius die vergelijkbaar is met benzine- en dieselauto's. CNG en LPG auto's hebben doorgaans een iets beperktere actieradius, maar vergelijkbaar met die van elektrische auto's.

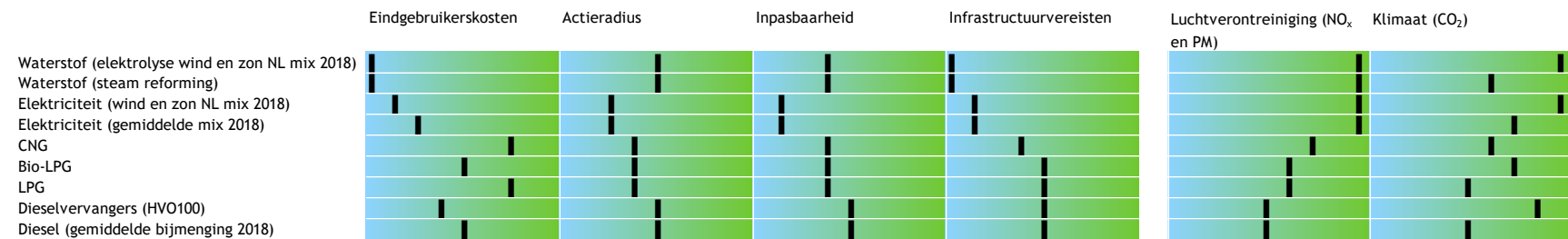
Inpasbaarheid

Qua ruimtelijke inpasbaarheid is het name iets uitdagender om de infrastructuur voor elektrische personenauto's te realiseren. Zeker bij woningen zonder eigen parkeerplaats of appartementencomplexen moeten er relatief grote inspanningen worden verricht voor voldoende laadinfrastructuur omdat er ruimte moeten worden gereserveerd in de openbare ruimte. Voor waterstof vulstations, maar ook voor LPG en CNG tankstations gelden er iets strengere eisen ten aanzien van de externe veiligheid dan voor de overige energiedragers omdat de brandstoffen onder druk worden opgeslagen (en vervoerd).

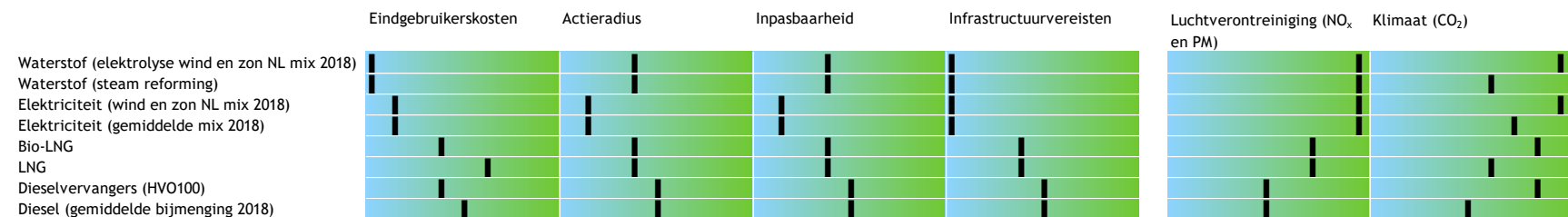
Figuur 12 - Kwalitatieve vergelijking op enkele aspecten voor personenauto's



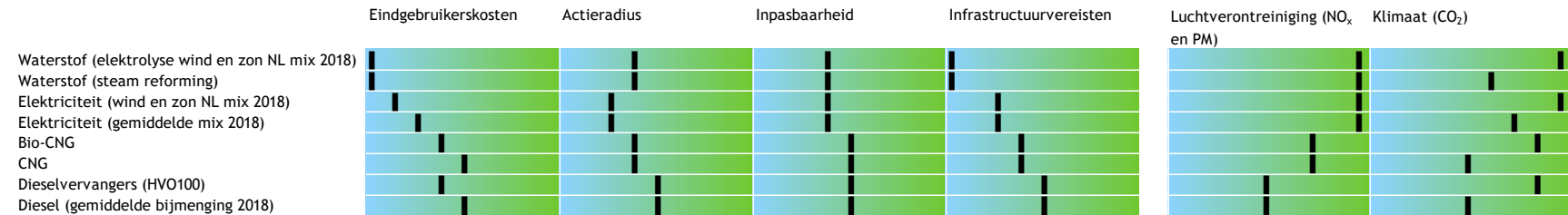
Figuur 13 - Kwalitatieve vergelijking op enkele aspecten voor bestelauto's



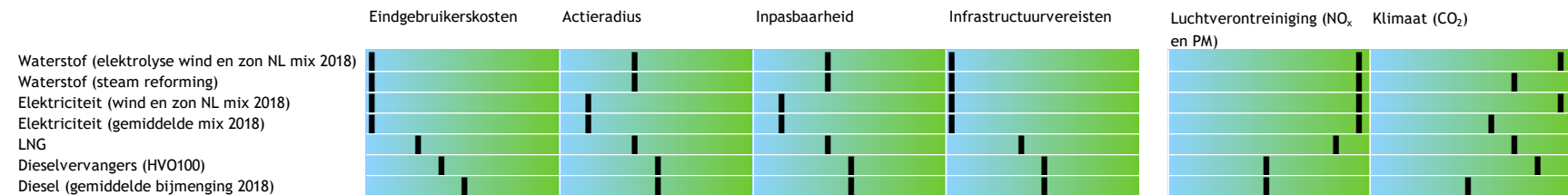
Figuur 14 - Kwalitatieve vergelijking op enkele aspecten voor vrachtwagens



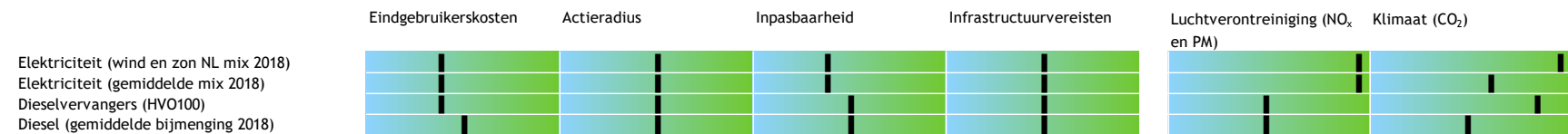
Figuur 15 - Kwalitatieve vergelijking op enkele aspecten voor autobussen



Figuur 16 - Kwalitatieve vergelijking op enkele aspecten voor binnenvaart⁷



Figuur 17 - Kwalitatieve vergelijking op enkele aspecten voor spoor⁸



⁷ Bij binnenvaart zijn de vergelijkingen voor luchtverontreinigingen en klimaat gebaseerd op de uitstoot per tonkilometer. Voor de overige vervoerwijzen op uitstoot per voertuigkilometer.

⁸ Bij spoor zijn de vergelijkingen voor luchtverontreinigingen en klimaat gebaseerd op de uitstoot per tonkilometer. Voor de overige vervoerwijzen op uitstoot per voertuigkilometer.

Infrastructuurvereisten

Omdat er nog zeer weinig vulstations zijn voor waterstofvoertuigen scoren deze voertuigen momenteel het minst goed ten opzichte van het referentievoertuig.

Voor volledig elektrische auto's geldt dat de laadinfrastructuur voor het actieve park goed op orde is, maar dat er nog veel laadvoorzieningen bij moeten komen wanneer het aantal verder gaat groeien. De extra elektriciteitsvraag kan mogelijk ook voor knelpunten in het elektriciteitsnet gaan zorgen, temeer wanneer ook huishoudens van het gas af moeten. CNG en LPG auto's scoren iets slechter omdat deze brandstoffen niet bij elk tankstation beschikbaar zijn. Dit geldt in nog iets hogere mate voor bio-LPG.

Luchtverontreiniging (NO_x en PM)

Analoog aan de vergelijkingen in Paragraaf 3.1 zien we dat waterstofauto's en volledig elektrische auto's de luchtkwaliteit het sterkst positief beïnvloeden. Daarbij moet wel worden bedacht dat deze voertuigtechnologieën niet volledig 'nulemissies' zijn omdat er ook sprake is van slijtage-emissies die schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid.

Dieselauto's scoren relatief het slechts op luchtkwaliteit vanwege de relatief hoge uitstoot van NO_x-emissies. LPG-voertuigen scoren iets beter, waarbij het niet veel uitmaakt of de brandstof bio-LPG is of fossiele LPG omdat de nabehandelingstechniek de hoogte van de uitstoot met name bepaalt. CNG auto's scoren ongeveer even goed als benzineauto's.

Klimaat (CO₂)

Analoog aan de vergelijking in Paragraaf 3.1 zien we dat waterstofauto's en volledig elektrische auto's met duurzaam opgewekte energiedragers (zon en wind) de CO₂-uitstoot het sterkst verminderen. Ook bio-ethanol, bio-LPG en HVO100 scoren relatief goed. Benzineauto's stoten per kilometer juist iets meer CO₂ uit dan dieselauto's.

3.1.5 Bestelauto's

In Figuur 13 is de vergelijking op de zes aspecten weergegeven voor bestelauto's. Veel van de opmerkingen bij personenauto's gelden ook voor bestelauto's. We beperken ons hier daarom tot het benomen van de belangrijkste verschillen met personenauto's:

- De **eindgebruikerskosten** voor bestelauto's is bij waterstof en elektriciteit iets slechter gescoord dan bij personenauto's. Dit is vooral ingegeven door het feit dat de ontwikkeling van waterstofvoertuigen bij bestelauto's nog iets minder ver gevorderd is dan bij personenauto's, en dat er (met name bij elektrische bestelauto's) vanwege het grotere gewicht van het voertuig meer relatief dure batterijpakketten nodig zijn voor een vergelijkbare actieradius.
- Op het aspect **actieradius** scoren elektrische bestelauto's iets minder goed dan elektrische personenauto's vanwege het grotere gewicht van het voertuig meer relatief dure batterijpakketten nodig zijn.
- Ten aanzien van de **infrastructuurvereisten** zijn is er bij bestelauto's nog grotere stappen te zetten dan bij personenauto's. Zo is voor bestelauto's vaker 'depotladen' en snelladen⁹ wenselijk waarvoor de uitrol van de laadinfrastructuur minder ver gevorderd is.

⁹ Laden op het depot (depotladen) en snelladen zijn bijvoorbeeld voor taxibussen (feitelijk bestelauto's voor personenvervoer) maar ook voor servicemonteurs belangrijker om de inzetbaarheid te vergroten (ofwel tijdverlies/wachttijden te beperken).

3.1.6 Vrachtwagens

In Figuur 14 is de vergelijking op de zes aspecten weergegeven voor vrachtwagens.

We bespreken opnieuw alleen de belangrijkste verschillen met personen- en bestelauto's:

- Net als bij bestelauto's scoren elektrische- en waterstofvrachtauto's ten aanzien van de **eindgebruikerskosten** momenteel slechter dan personenauto's, voornamelijk vanwege het minder ver gevorderde stadium waar de technologie zich in bevindt.
- Met betrekking tot de **actieradius** scoren vrachtauto's bij zowel waterstof als elektrisch nog weer iets slechter dan bestelauto's omdat er voor deze grote zware voertuigen relatief veel dure technologie nodig is (batterijpakketten en waterstofopslag in het voertuig).
- Ten aanzien van de **infrastructuurvereisten** zijn er bij vrachtauto's nog meer investeringen nodig bij met name waterstofvoertuigen en elektrische vrachtwagens in vergelijking met personen- en bestelauto's. Voor een goede inzetbaarheid zijn voor elektrische vrachtwagens hoogvermogen laders nodig (om de grote accupakketten relatief snel te kunnen opladen) die vaak ook nog een dure zware extra netaansluiting vereisen.

3.1.7 Autobussen

In Figuur 15 is de vergelijking op de zes aspecten weergegeven voor autobussen. We bespreken nu alleen de verschillen ten opzichte van vrachtwagens, omdat gewicht omvang en aandrijftechnieken voor autobussen daarmee het best zijn te vergelijken:

- In vergelijking met vrachtwagens scoren elektrische autobussen ten aanzien van de **actieradius** iets beter. Een relatief groter deel van de bussen rijdt kortere afstanden en loopt daarmee minder snel aan tegen actieradiusbeperkingen.
- Qua **inpasbaarheid** scoren elektrische autobussen beter dan vrachtwagens. Op dit moment rijden er relatief veel elektrische bussen rond in het openbaar vervoer en dit aantal gaat tot 2030 nog verder groeien. Elektrisch openbaar busvervoer heeft zich reeds grotendeels bewezen als nieuwe aandrijftechnologie.
- De verschillende voor- en nadelen van waterstofbussen zijn vergelijkbaar met waterstofvrachtauto's.

3.1.8 Binnenvaart

In Figuur 16 is de vergelijking op de zes aspecten weergegeven voor de binnenvaart. We bespreken alleen de verschillen ten opzichte van vrachtwagens omdat deze vervoerwijzen beide worden ingezet voor goederenvervoer:

- **Eindgebruikerskosten.** Voor binnenvaartschepen geldt in algemene zin dat het elektrificeren nog iets moeilijker is dan voor vrachtwagens. Dit ligt aan de grote benodigde investeringen (batterijpakketten) maar ook aan het feit dat het vrachtvervoer over de weg sterk concurreert met binnenvaart (en de marges bij laatstgenoemde klein zijn).
- Analooq aan de vergelijking in Paragraaf 3.1 scoort binnenvaart met betrekking tot **luchtverontreiniging** op LNG iets beter dan vrachtwagens.
- Ook op **klimaat** scoren binnenvaartschepen per saldo iets beter dan vrachtwagens in het geval ze op grijze waterstof of LNG varen. De CO₂-uitstoot scoort voor elektrische binnenvaartschepen bij de huidige elektriciteitsmix net iets ongunstiger.

3.1.9 Spoor

In Figuur 17 is de vergelijking op de zes aspecten weergegeven voor spoorvervoer. Te zien is dat ten aanzien van kosten elektrisch spoorvervoer relatief goed scoort ten opzichte van de andere modaliteiten. Dit ligt uiteraard aan het feit dat het overgrote deel van spoorvervoer

al elektrisch is en de infrastructuur (bovenleidingen) reeds op orde is. Alleen op enkele plekken waar nog geen bovenleidingen bestaan zou is de **inpasbaarheid** beperkt. Qua **eindgebruikerskosten** scoren elektrische treinen iets ongunstiger, maar dit is volledig toe te schrijven aan de investeringskosten die zijn gemoeid met het vervangen van een dieseltrein door een elektrische.

4 Prognoses

In dit hoofdstuk beschouwen we hoe de aandelen van de verschillende brandstofsoorten en aandrijflijnen zich de komende tijd gaan ontwikkelen. Daarbij kijken we in eerste instantie naar de prognoses uit de Klimaat en Energieverkenning (KEV) van het Planbureau voor de Leefomgeving. De KEV wordt jaarlijks geüpdatet op basis van het vastgestelde beleid en nieuwe inzichten ten aanzien van energiekosten, bevolkingsgroei en economische groei. De KEV is een relatief ‘conservatief’ scenario voor wat betreft de verwachte groei van alternatieve brandstoffen en aandrijflijnen. Het wordt gebruikt om het Klimaatakkoord te evalueren en om effecten van nieuw beleid tegen af te zetten. Beleidsmatig is de KEV de meest relevante bron om te beschouwen. In dit hoofdstuk zullen we echter ook enkele bronnen bekijken die wat progressievere veronderstellingen doen over de groei. Bovendien kijken we naar de periode t/m 2040 terwijl de tijdshorizon van de KEV tot het jaar 2030 loopt.

4.1 Prognoses volgens huidig beleid

In deze paragraaf zijn prognoses opgenomen voor de inzet van verschillende brandstoffen op basis van het huidige beleid. Tot 2030 zijn deze prognoses geheel gebaseerd op de Klimaat- en Energieverkenning 2021 (PBL, 2021). In deze prognoses zijn alle vastgestelde en voorgenoemde beleidsmaatregelen opgenomen.

De KEV geeft slechts prognoses tot 2030. Voor de periode 2030-2040 hebben wij de ontwikkelingen dus geëxtrapoleerd op basis van andere bronnen. Dit is voor personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's gedaan op basis van de update van de WLO-invoer uit 2020 (PBL, 2020).

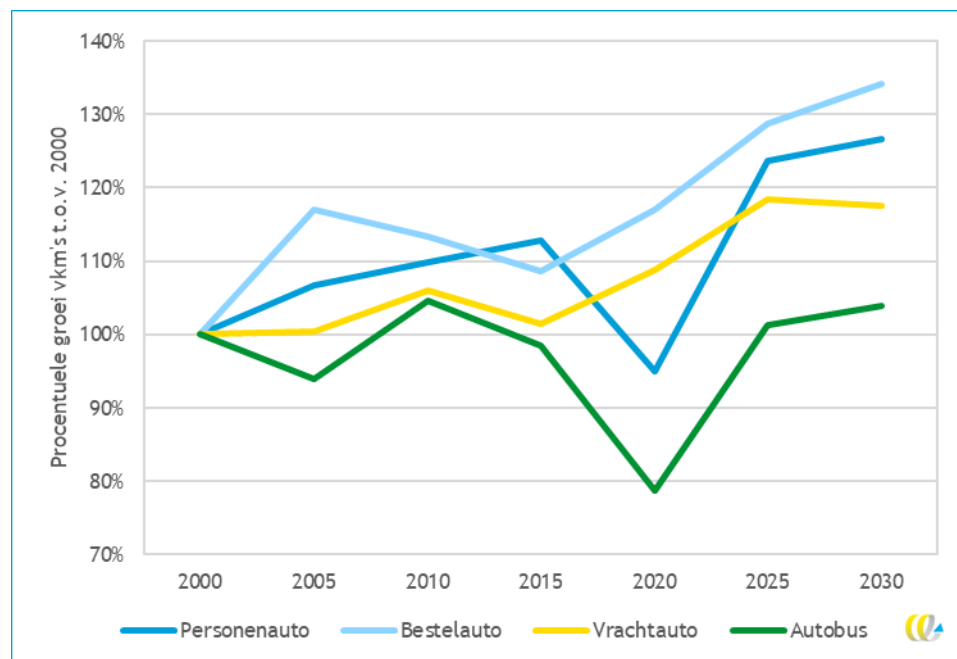
In dit hoofdstuk kijken we naar de inzet van energiedragers in het wegverkeer als totaal. In Bijlage A zijn prognoses voor een aantal afzonderlijke modaliteiten te vinden.

De figuren in deze paragraaf geven aandelen van energiedragers in zogenaamde ‘diesel-equivalenten’. Hier is een technische reden voor die beschreven is in Bijlage B.

Voordat we ingaan op de prognoses van de inzet van de verschillende energiedragers is het goed de ontwikkelingen in het totale brandstofverbruik te laten zien. In Figuur 18 is de ontwikkeling van het aantal gereden kilometers in het wegvervoer volgens de KEV2021 weergegeven. Deze figuur laat zien dat, vooral voor personen- en bestelauto's, de vraag naar verwachting zal blijven toenemen tot 2030¹⁰. Dat betekent dus dat het totale brandstofverbruik (of eigenlijk gebruik van energiedragers) tot en met 2030 zal toenemen. Op basis van prognoses uit de WLO voor na 2030 blijkt dat de groei ook daarna zal doorzetten.

¹⁰ De ‘dip’ in de grafiek voor het jaar 2020 correspondeert met de coronapandemie.

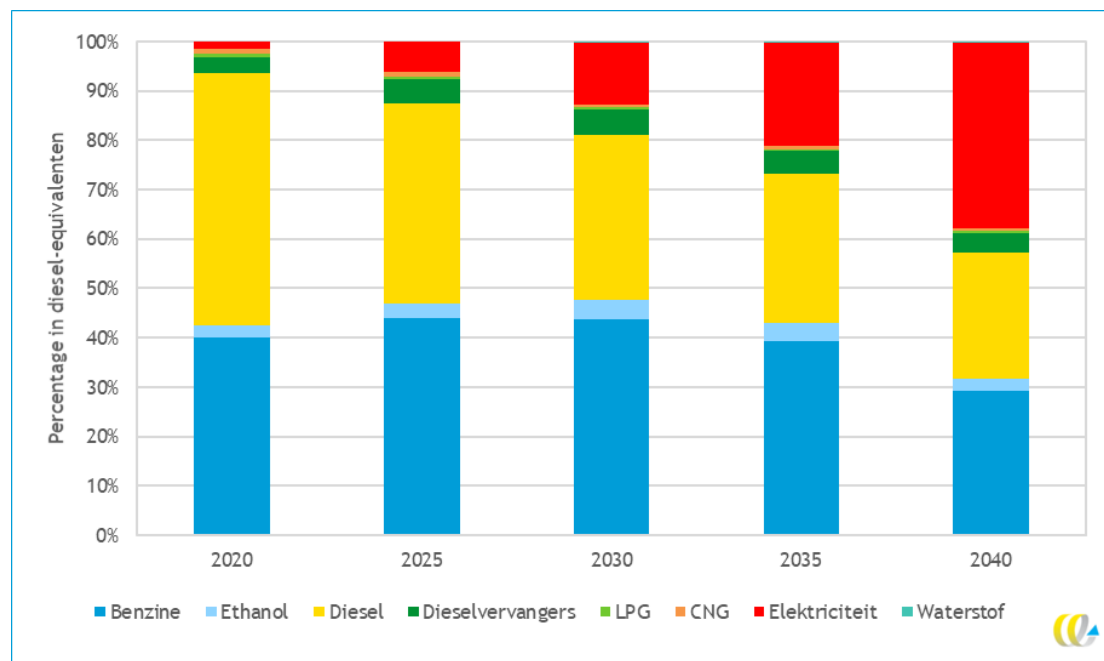
Figuur 18 - Ontwikkelingen vervoersprestatie van het wegvervoer volgens de KEV2020



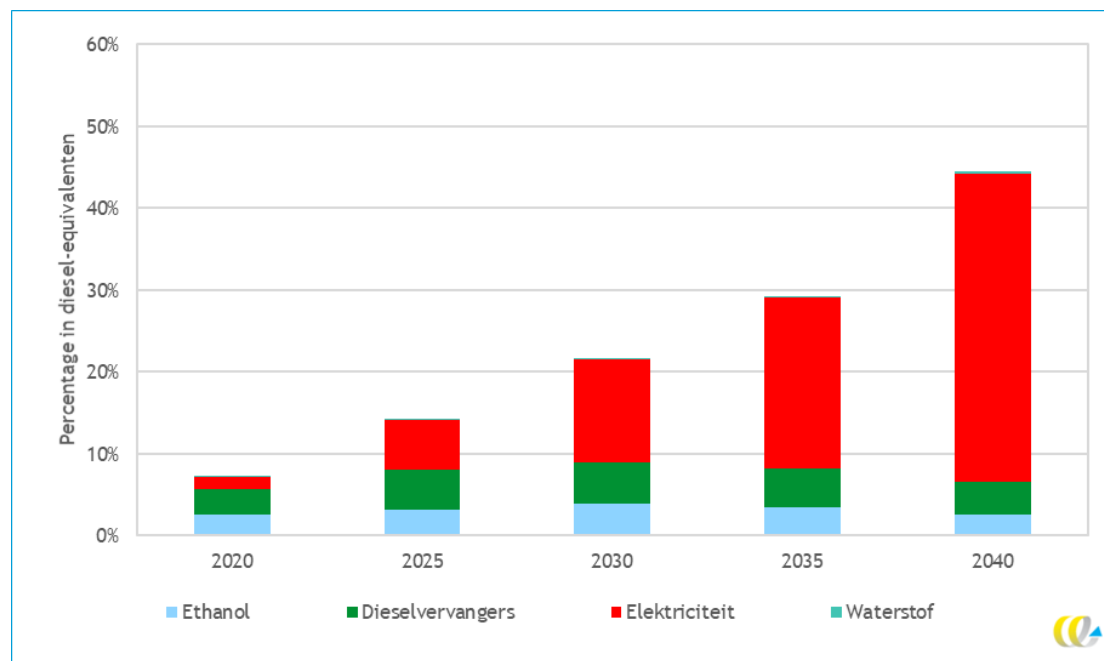
4.1.1 Wegverkeer

In Figuur 19 is de ontwikkeling van de aandelen van de verschillende energiedragers in het wegverkeer weergegeven. Duidelijk is te zien dat fossiele benzine en diesel nog tot 2040 meer dan de helft van het energiegebruik voor hun rekening zullen nemen zonder aanvullende maatregelen. Met name het aandeel elektriciteit neemt toe in het energiegebruik. Het aandeel van de overige alternatieve energiedragers in het wegverkeer blijft gering. Wanneer we alleen de alternatieve brandstoffen er uit lichten (Figuur 20) dan is duidelijk dat er wel sprake is van een forse groei van het aandeel alternatieve energiedragers in het wegverkeer, van circa 8% in 2020 tot circa 45% in 2040.

Figuur 19 - Aandelen energiedragers in het wegverkeer van 2020 t/m 2040



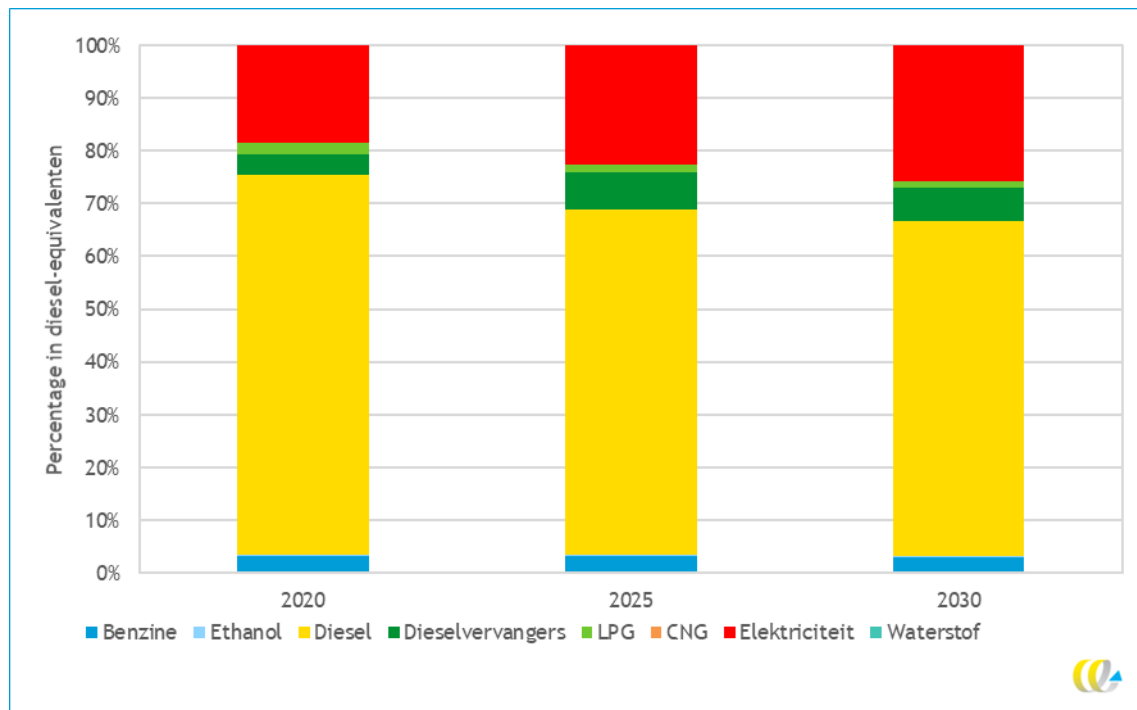
Figuur 20 - Aandeel alternatieve energiedragers in het wegverkeer van 2020 t/m 2040



4.1.2 Niet wegverkeer

In Figuur 21 is de ontwikkeling van de aandelen van de verschillende energiedragers in het niet-wegverkeer weergegeven. Duidelijk is te zien dat fossiele brandstoffen nog tot 2030¹¹ dominant blijven in het niet-wegverkeer. Met name fossiele diesel zal zonder aanvullend beleid in 2030 nog circa twee derde van het totale energiegebruik uitmaken. Zowel het aandeel als de groei in elektriciteitsgebruik in de figuur is hoofdzakelijk toe te schrijven aan het spoorvervoer.

Figuur 21 - Aandelen energiedragers in het niet-wegverkeer van 2020 t/m 2030



4.2 Progressieve prognoses

De voorgaande prognoses, die voor een groot deel gebaseerd zijn op de KEV, kunnen als conservatief worden gezien: slechts het beleid dat is vastgesteld of voorgenomen is hierin meegenomen. Het is echter goed mogelijk (en zelfs waarschijnlijk) dat er extra beleid komt, waardoor de werkelijke inzet van brandstoffen anders uitpakt. Om deze reden hebben wij nog twee andere prognoses bekeken:

- Prognoses van ElaadNL voor de inzet van elektrische voertuigen. Deze prognoses kunnen als optimistisch worden beschouwd voor de inzet van elektrisch vervoer. Studies van ElaadNL worden door netbeheerders en binnen het kader van de Nationale Agenda Laadinfrastructuur (NAL)(RVO, 2020b) veelvuldig gebruikt om te anticiperen op de toenemende elektriciteitsvraag en de vereisten aan de energienetten.
- Prognoses voor 2050 die in de ‘Systeemstudie Utrecht’ worden gehanteerd. In deze studie die CE Delft in voorbereiding heeft zijn vier verschillende scenario’s gedefinieerd waarin de verdelingen tussen brandstoffen verschillen.

¹¹ Voor niet-wegverkeer zijn er geen betrouwbare prognoses voor de periode na 2030.

ElaadNL

Tabel 2 geeft een overzicht van het huidige aandeel elektrische voertuigen (links), de prognoses voor het aandeel elektrische voertuigen door ElaadNL¹² in 2035 (midden) en de prognoses op basis van onder andere de KEV2020 (rechts).

- Volgens ElaadNL is het aandeel elektrische bestel- en vrachtauto's in 2035 hoger dan het aantal personenauto's (en veel hoger dan volgens de KEV/WLO).
- Het aandeel elektrische personenauto's komt volgens de nieuwste prognose van ElaadNL in 2035 uit op 44,5%¹³. Dit is ongeveer gelijk aan de prognose voor 2040 in de prognose op basis van de KEV en WLO (zie Paragraaf 4.1).
- Volgens ElaadNL is ook een groot deel (bijna de helft) van de containervaart en mobiele werktuigen in de bouw elektrisch in 2035. Volgens de KEV zijn deze vervoerwijzen in 2030 nog helemaal niet elektrisch. Hier zien we dus een groot verschil.

Tabel 2 - Huidige en toekomstige aandelen e-voertuigen volgens ElaadNL en vergelijking met prognoses volgens vastgesteld beleid

Voertuigcategorie	Huidig aandeel e-voertuigen - ElaadNL	Aandeel e-voertuigen 2035 - ElaadNL	Vergelijking prognoses 4.1 - 2035
Personenauto	3,2%	44,5%	18%
Bestelauto	0,7%	61%	11%
Vrachtauto	Stadslogistiek: 0,6% Internationaal: 0%	Stadslogistiek: 83% Internationaal: 42%	1%
Ov-bussen	25%	95%	58%
Binnenvaart	Containervaart: 0%	Containervaart: 51%	2030: 0%
Mobiele werktuigen	Bouwmaterieel: 0%	Bouwmaterieel: 42%	2030: 0%

Bron: (ElaadNL, 2020).

Systeemstudie Utrecht

Gedurende het opstellen van dit kennisdocument loopt er nog een traject voor een 'systeemstudie' voor de provincie Utrecht¹⁴. Omdat deze systeemstudie raakt aan dezelfde onderwerpen als in deze studie, is hier kort toegelicht hoe de resultaten van die studie van nut kunnen zijn voor het opstellen van een brandstofvisie.

In de systeemstudie Utrecht worden in een aantal scenario's de effecten van de vraag- en aanbod van energie op de energie-infrastructuur in 2030 en 2050 in kaart gebracht. Het verwachte energieverbruik door de mobiliteit vormt een onderdeel van de scenario's in deze studie. De resultaten tot 2030 zijn gebaseerd op de Klimaat- en Energieverkenning 2020. Voor de periode 2030-2050 zijn vier verschillende 'scenario's' gedefinieerd die mogelijke ontwikkelingen schetsen. Tabel 3 geeft een overzicht van de verschillende scenario-aannames in 2050.

¹² Elaad.nl is een kennis en innovatiecentrum op het gebied van laadinfrastructuur. Het is een initiatief van de Nederlandse netbeheerders.

¹³ De ElaadNL prognose voor elektrische personenauto's uit 2019 ging nog uit van 35% elektrische personenauto's in 2030 (ElaadNL, 2021). Het grote verschil tussen deze twee ramingen illustreert hoe onzeker de toekomst-schattingen zijn: kleine verschillen in de huidige ontwikkelingen worden erg uitvergroot wanneer die naar de toekomst worden doorvertaald.

¹⁴ De resultaten van project, dat wordt uitgevoerd door CE Delft en Quintel, zijn nog niet gepubliceerd.

Voor deze vier scenario's wordt in de systeemstudie het effect op de energie-infrastructuur doorgerekend op buurtniveau. Er wordt dus bijvoorbeeld ingeschat hoeveel elektrische auto's per wijk thuis laden of publiek laden, maar bijvoorbeeld ook wat de vraag naar waterstof is en waar die mogelijk zal plaatsvinden. Omdat deze studie nog niet is afgerond was het niet mogelijk om resultaten van de analyse op te nemen in dit kennisoverzicht. Wij raden echter aan om, zodra de resultaten bekend zijn, deze studie te gebruiken bij het verder uitwerken van de brandstofvisie.

Tabel 3 - Samenvatting scenario-aannames in systeemstudie Utrecht voor 2050

Scenario	2050 - Regionaal	2050 - Nationaal	2050 - Europees	2050 - Internationaal
Focus	Door milieuzones, beleid en goede laadinfrastructuur wordt alle personenvervoer elektrisch	Nationale stimulering van elektrische voertuigen, voor lange afstand waterstof	Elektrische voertuigen dominant, maar concurreert met waterstof want CO ₂ -sturing is generiek	Merendeel elektrisch, maar ook ruimte voor waterstof en biobrandstoffen uit import
Energiedragers auto's	100% elektrisch	95% elektrisch 5% waterstof	70% elektrisch 30% waterstof	50% elektrisch 40% waterstof 10% biobrandstof
Energiedragers Ov	Bus: 100% elektrisch Trein/tram: 100% elektrisch	Bus: 75% elektrisch 25% waterstof Trein/tram: 100% elektrisch	Bus: 75% elektrisch 25% waterstof Trein/tram: 100% elektrisch	Bus: 75% elektrisch 15% waterstof 10% biobrandstoffen Trein/tram: 100% elektrisch
Energiedragers vrachtvervoer	Bestelauto's incl. mobiele werktuigen en vrachtauto's: 75% elektrisch 15% waterstof 10% groen gas	Bestelauto's incl. mobiele werktuigen en vrachtauto's: 25% elektrisch 50% waterstof 25% biobrandstof	Bestelauto's incl. mobiele werktuigen en vrachtauto's: 25% elektrisch 25% waterstof 25% groen gas 25% biobrandstof	Bestelauto's incl. mobiele werktuigen en vrachtauto's: 25% elektrisch 25% waterstof 50% biobrandstof
Binnenvaart	Buiten beschouwing. Er wordt niet gebunkerd in Utrecht. Transitie binnenvaart is nog erg ongewis en heel moeilijk te voorspellen op regionaal niveau. We verwachten daarom geen significatie vraag naar energie-afname vanuit deze sector.			
Railverkeer (trein)	100% elektrisch			

4.3 Beschouwing internationale beleidsontwikkelingen

Onder aanvoering van Frans Timmermans heeft de Europese Commissie de afgelopen anderhalf jaar een flinke versnelling in het klimaatbeleid ingezet. Deze versnelling werd ingeluid door de publicatie van de Green Deal eind 2019 waarin onder andere ambitieuzere klimaatdoelen voor 2030 werden aangekondigd. In de afgelopen anderhalf jaar is de Green Deal uitgewerkt in diverse voorstellen die mede betrekking hebben op de sector verkeer en vervoer. Het meest recente wapenfeit is de 'Fit for 55'-pakket waarin de diverse voorstellen uit deze periode in lijn worden gebracht met EU-wetgeving. In deze paragraaf geven we een beknopt overzicht van de belangrijkste implicaties die deze plannen hebben

op de (verwachte) inzet van alternatieve brandstoffen en aandrijflijnen. Deze beleidsontwikkelingen komen van bovenaf, maar zullen de komende jaren ook de benodigde beleidsinzet in de provincie Utrecht beïnvloeden en sturen.

Enkele belangrijke voorstellen die de mobiliteitssector raken zijn:

- het uitbreiden van het Europese Emissiehandelssysteem (EU ETS) naar zeescheepvaart, wegverkeer en de gebouwde omgeving;
- een update van de Renewable Energy Directive (RED II en RED III);
- strengere CO₂-normen voor nieuwe personen- en bestelauto's;
- regelgeving voor infrastructuur voor alternatieve brandstoffen (AFIR).

We lopen deze vier voorstellen in de volgende subparagrafen langs.

4.3.1 EU ETS voor wegverkeer

De Europese Commissie heeft voorgesteld om een apart EU-breed ETS in te voeren voor gebouwde omgeving en transport. Hiermee wordt op EU-niveau een plafond gesteld voor CO₂-reductie van deze sectoren. Het effect van het instellen van een CO₂-plafond en een systeem van handelbare rechten is dat er een prijs voor CO₂ komt die het aantrekkelijk maakt om energie- en of CO₂ besparende maatregelen te nemen. In een recente studie is gekeken naar het effect van verschillende scenario's van CO₂ reductie in het wegverkeer (CE Delft, 2021). In Tabel 4 zien we de invloed van verschillende reductieambities op de brandstofprijzen. Zo zien we dat bij een doelstelling van 55% reductie in 2030 de brandstofprijzen met 92% (benzine) en 112% (diesel) kunnen toenemen. Deze percentages zijn met veel onzekerheid omgeven maar het illustreert dat de brandstofprijzen door een EU ETS voor wegverkeer flink zullen stijgen.

Tabel 4 - Relatieve indicatieve stijging van brandstofprijzen in 2030 bij de invoering van een EU ETS in Nederland (in vgl. met 2019 prijsniveau)

		Scenario 1: 11% CO ₂ -reductie	Scenario 2: 30% CO ₂ -reductie	Scenario 3: 55% CO ₂ -reductie
Brandstofprijs (incl. belastingen)	Benzine	12%	32%	92%
	Diesel	15%	40%	112%
Transportkosten	Particulier transport	3%	9%	27%
	Vrachtverkeer	1-4%	3-10%	8-28%

De hogere prijzen voor het wegverkeer zullen enerzijds leiden tot een versnelde aanschaf van zuiniger (waaronder elektrische) voertuigen en anderzijds voor een vermindering van de mobiliteit (mensen zullen kortere en/of minder ritten maken).

4.3.2 Update van de Renewable Energy Directive (RED II)

De Renewable Energy Directive II (RED II) is in 2018 aangenomen en de opvolger van de RED. In de richtlijn worden doelen gesteld aan de consumptie van hernieuwbare energiebronnen in 2030. Deze zijn gekoppeld aan de overkoepelende EU-doelstelling om in 2030 32% van de finale energieconsumptie uit hernieuwbare energie te laten bestaan. Voor de transport sector is het doel minimaal 14% in 2030 met een subdoelstelling van 3,5 voor 'geavanceerde' biobrandstoffen.

In het 'Fit for 55'-pakket wordt ook de RED III aangekondigd waarin de hogere ambities uit de Green Deal worden vertaald naar doelstellingen voor de inzet van hernieuwbare energiedragers. Het doel van 32% wordt daarin opgehoogd naar 40%. In de voorgestelde herziening van de richtlijn ligt het accent duidelijker op de inzet van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen. Daarmee geeft de RED III een extra prikkel voor de inzet en uitrol van elektrische voertuigen. Voor zware wegvoertuigen geeft de RED III duidelijk meer ruimte aan waterstof.

4.3.3 CO₂-normen voor personen- en bestelauto's

In het 'Fit for 55'-pakket is ook een aanscherping voor de CO₂-normen voor personen- en bestelauto's opgenomen. De Commissie stelt met dit voorstel een CO₂-reductie van 100% in 2035 voor, oftewel 0 gram CO₂-uitstoot per kilometer. Dit is de facto een uitfasering van de nieuwverkoop van voertuigen met een fossiele verbrandingsmotor, zowel voor personen- als voor bestelauto's.

De Commissie stelt tevens voor om de bestaande CO₂-normen voor 2035 aan te scherpen naar 55% CO₂-reductie voor personenauto's ten opzichte van 2021 en 50% reductie voor bestelauto's (ten opzichte van respectievelijk 37,5 en 31% reductie in de huidige wetgeving). Het CO₂-reductiedoel in 2025 blijft voor zowel personen- als bestelauto's ongewijzigd (15% reductie).

Ten slotte stelt de Commissie voor om de voor 2025 en 2030 geldende stimuleringsmaatregel voor auto's met zeer lage uitstoot, de zogenaamde 'zero and low emission vehicle (ZLEV) credits', vanaf 2030 niet meer toe te passen. Tevens wordt de mogelijkheid voor kleine autofabrikanten om een aangepaste doelstelling aan te vragen (een zogeheten 'derogatie') beëindigd per 2030.

Deze plannen zullen naar verwachting leiden tot een sterke groei van het aantal volledig elektrische personen- en bestelauto's. De regeling is weliswaar techniekneutraal, maar waterstofauto's en bestelauto's zullen gegeven de productiecapaciteit en de vooralsnog hoge aanschafkosten nog een relatief geringe rol spelen t/m 2035.

4.3.4 Regelgeving voor infrastructuur voor alternatieve brandstoffen (AFIR)

Sinds 2014 is de Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID)(EU, 2014) het belangrijkste beleidsinstrument voor EU brede uitrol van infrastructuur voor alternatieve aandrijflijnen. Deze 'directive' of richtlijn vormt een raamwerk van verschillende maatregelen om een minimale hoeveelheid infrastructuur voor alternatieve aandrijflijnen te realiseren en heeft als neven doel de olieafhankelijkheid te verminderen. Het gaat onder meer om minimale aantallen laadstations voor elektrische voertuigen en vulpunten voor LNG, CNG en waterstofvoertuigen.

Onderdeel van het 'Fit for 55'-pakket is het voorstel om van de AFID een zogenaamde regulation (verordening) te maken (waardoor het instrument wordt omgedoopt in de AFIR). Hiermee komt in beginsel een einde aan de vrijblijvendheid voor lidstaten om zelf invulling te geven aan de wijze waarop de doelen worden nagestreefd en met welk tijdpad. In de AFIR wordt met nadruk ingezet op laadvoorzieningen en waterstofvulpunten, waarbij er een maximale afstand tussen afzonderlijke laad- en vullocaties zal gaan gelden. Uit de AFIR komt ook naar voren dat er minder accent komt te liggen op de inzet van LNG bij zwaar wegverkeer.

5 Doorkijkje/beschouwing

In de voorgaande hoofdstukken is veel informatie langsgekomen. Het is niet eenvoudig om een rode draad te ontdekken in deze informatie, laat staan om als beleidsmaker conclusies te trekken over de acties die nodig zijn in de komende jaren/decennia. In dit hoofdstuk geven de auteurs vanuit hun expertise een beschouwing op de beleidsinspanning die nodig is om de transitie naar alternatieve brandstoffen en voertuigen te faciliteren.

‘Beleidsinspanning’ hanteren we hierbij als containerbegrip. Het kan gaan om overheidsmiddelen die worden gereserveerd, fte’s die worden vrijgemaakt, (proef)projecten die worden geïnitieerd, stimuleringsmaatregelen die worden ingezet, etc. Bij het uitwerken van een brandstofvisie waar de provincie Utrecht momenteel over nadenkt, zouden die inspanningen nader moeten worden uitgewerkt. Voor nu is een kwalitatieve en indicatieve inschatting het hoogst haalbare waarbij we nog wel een fasering in de tijd kunnen meenemen. Om de beschouwing visueel kracht bij te zetten presenteren we aan het eind van dit hoofdstuk een bijbehorende infographic inclusief een korte toelichting (zie Figuur 22 en Figuur 23).

We geven nog één algemene notie vooraf. Vaak wordt gesteld dat overheden technologie-neutraal moeten stimuleren omdat de markt de beste informatie heeft over welke techniek(en) levensvatbaar zijn. Dit principe heeft echter ook het risico in zich dat het leidt tot het ‘Duizend bloemen bloeien’ dilemma. Wanneer marktpartijen van de overheid geen duidelijke strategie horen en ze risico’s zien dat beleid periodiek wordt bijgesteld, dan zullen zij minder snel kiezen voor grote investeringen die nodig zijn voor het bereiken van een substantieel marktaandeel.

Zoals eerder beschreven, gaat dit rapport niet over het al in gang gezette beleid van de provincie Utrecht voor het stimuleren en faciliteren van duurzame energiedragers in mobiliteit. Wij richten ons in deze beschouwing op ontwikkelingen in techniek en beleid die van buitenaf invloed hebben en wat op grond van deze ontwikkelingen verwacht kan worden voor de verschillende modaliteiten.

5.1 Licht wegverkeer

Fossiele brandstof blijft nog lang dominant

Zonder aanvullend beleid zal de inzet van fossiele brandstofvoertuigen met een verbrandingsmotor tot 2040 dominant blijven in het straatbeeld. Dat betekent dat (lokale) overheden de voorzieningen voor fossiele personen- en bestelauto’s nog lange tijd moeten onderhouden.

Dat de verbrandingsmotor nog lang dominant blijft is niet persé slecht. Ultraschone verbrandingsmotoren in combinatie met klimaatneutrale brandstoffen (waaronder ook duurzaam opgewekte waterstof) kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan de klimaatdoelstellingen (RWS, (2021 te verschijnen)). Duidelijk is wel dat het gebruik van fossiele brandstoffen zoals benzine, diesel en LPG snel zal moeten afnemen om de klimaatdoelen te kunnen halen.

Accommoderen van batterij elektrisch vervoer

De komende jaren zal (mede onder invloed van de aangescherpte emissienormen uit Europa) het aandeel volledige elektrische auto's en bestelauto's flink groeien ten koste van 'reguliere' brandstoffen als benzine, diesel en LPG. Het Europese voornemen is om alle nieuwverkopen in 2035 nul-emissie auto's te laten zijn en gegeven de stand van de techniek zal het daarbij vooral gaan om batterij-elektrische personen- en bestelauto's en maar in beperkte mate om brandstofcel-elektrische voertuigen. De Nederlandse regering wil zelfs dat al in 2030 alleen nog nul-emissie personenauto's worden verkocht.

Faciliteren laadinfrastructuur uitdaging voor decentrale overheden

Het aanleggen van voldoende laadvoorzieningen, en de inbedding in de bestaande elektriciteitsinfrastructuur (laag- en middenspanningsnetten) zal de komende 10 tot 15 jaar voor decentrale overheden een belangrijke uitdaging blijven. Intensief overleg met netbeheerders is hierbij van groot belang. Om forse investeringen voor verzwaring van de elektriciteitsnetten te beperken is het verstandig ook rekening te houden met de inpassing van slimme oplossingen zoals lokale energieopwekking en/of opslag en 'smart charging' (RWS, (2021 te verschijnen)).

Zero-emissie-zones stadslogistiek aanjager voor elektrische bestelauto

Het aantal elektrische bestelauto's loopt duidelijk achter op personenauto's. Het aanbod van deze voertuigen zal de komende jaren echter toenemen. Door het invoeren van een zero-emissie-zone¹⁵ voor stadslogistiek zullen veel ondernemers een overstap moeten maken naar elektrisch. Dit legt extra druk op de benodigde laadinfrastructuur. Het is ook aannemelijk dat distributiepatronen in en rond de stad zullen veranderen waarbij er via logistieke hubs aan de rand van de stad de 'last-mile' elektrisch wordt afgehandeld. Provincies en gemeenten zullen rekening moeten houden met de ruimtelijke inpassing van deze veranderende stadslogistiek.

Waterstof nog sterk in ontwikkeling

De productie en distributie van waterstof moeten nog een sterke transitie doormaken voordat de voertuigen een substantieel marktaandeel kunnen opeisen. Technologische ontwikkelingen die nodig zijn op het gebied van waterstof richten zich op bevoorrading via pijpleiding of lokale productie om de hoeveelheid voertuigbewegingen, en daarmee de kostprijs, voor bevoorrading van tankstations te reduceren. Gegeven de energie-intensiteit van (duurzame) waterstofproductie verdient het aanbeveling om voor licht wegverkeer beleidsinspanningen te richten op batterij-elektrisch vervoer en voor het zware wegverkeer op waterstof. De activiteiten van de provincie Utrecht binnen MRA-Elektrisch, het waterstofconvenant en de clean energy hubs dragen hier reeds aan bij.

¹⁵ Eén van de maatregelen uit het Klimaatakkoord is het invoeren van een zero-emissie (ZE) zone voor stedelijke distributie in de 30 tot 40 grootste gemeenten van Nederland in 2025. Een ZE-zone houdt in dat in een bepaald gebied van een stad alleen nog bestel- en vrachtauto's mogen komen die geen uitstoot veroorzaken. Dat kan met plug-in hybride voertuigen en volledige elektrische of waterstofvoertuigen. Net als bij milieuzones voor luchtkwaliteit wordt dit gehandhaafd met camerasystemen aan de rand van de zone.

5.2 Zwaar wegverkeer

Voor het zware wegverkeer zijn de ontwikkelingen minder ver dan voor het lichte wegverkeer. Dat betekent dat er momenteel meerdere brandstofsporen en aandrijflijnen in ontwikkeling zijn en er nog geen duidelijke winnaar(s) kunnen worden aangewezen. Dat maakt het voor overheden lastig om te kiezen hoe ze hun inspanningen moeten verdelen. Voor decentrale overheden geldt wel dat stadsdistributie meer binnen de invloedssfeer ligt dan het langeafstandsvervoer. De laatste inzichten zijn dat zowel volledig elektrisch als brandstofcel elektrisch (waterstof) ongeveer evenveel potentieel hebben om de CO₂-uitstoot van het zware wegverkeer tot nul terug te brengen. Momenteel hebben alle grote vrachtwagenfabrikanten volledig elektrische modellen klaar staan om op de markt te brengen. Ook waterstofvrachtvoertuigen zullen rond 2025 commercieel beschikbaar komen is de verwachting (CE Delft, 2021). De komende jaren, tot zeker 2030 is voor beide aandrijflijnen (elektrisch en waterstof) de grootste beleidsinspanning voorzien, waarbij het accent voor waterstof iets meer in de tweede helft van het decennium zal liggen. Daarbij zal het bijvoorbeeld gaan om het aanleggen van voldoende laadinfrastructuur en op- en overslagterminals.

In overgangsfase inzetten op dieselvangers

Om snelle stappen te zetten ten aanzien van CO₂-reductie zijn duurzame dieselvangers een goede optie in de komende circa tien jaar. Deze brandstoffen kunnen gebruikt worden in conventionele (verbrandings)motoren en vereisen dus veel minder investeringen in dure nieuwe voertuigen. LNG is een andere optie voor vrachtvoertuigen in de overgangsfase. Voor fossiele LNG geldt wel dat het minder voor de hand ligt om er nieuwe doelstellingen voor af te spreken omdat het om een tijdelijke inzet gaat, en dat dit op termijn moet worden vervangen door klimaatneutrale bio-LNG.

Logistieke hubs aan de stadsranden

De ontwikkelingen rond de invoering van zero-emissie-zones voor stadlogistiek zullen de inzet van plug-in elektrische, volledig elektrische en waterstofvrachtwagens aanjagen. Met het oog op efficiënte beleving zullen voor stadsdistributie aan de stadsrand mogelijk hubs ontstaan vanwaar (plug-in) elektrisch vrachtauto's de stad in gaan voor de 'last-mile' bevoorrading. Provincies en gemeenten zullen rekening moeten houden met de ruimtelijke inpassing van deze veranderende stadslogistiek en de bijbehorende energievoorziening voor deze voertuigen. Bedenk daarbij dat deze energievoorzieningen (zowel laadinfrastructuur als waterstofstations) soms in de publieke ruimte, maar ook dikwijls op privaat terrein moeten worden gerealiseerd wat een andere rol van de overheid vraagt.

Busvervoer

Busvervoer valt ook onder het zware wegverkeer. Voor stads- en streekvervoer is de ontwikkeling van elektrisch busvervoer in een vergevorderd stadium. De verwachting is dat vrijwel al het openbaar busvervoer in 2030 volledig elektrisch of waterstof zal zijn (PBL, 2021). Voor touringcars, normaal gesproken groter en zwaarder dan ov-bussen en langere afstanden rijdend, geldt dat de barrières naar nul-emissie groter zijn. Zij zouden in beginsel kunnen meeliften op de inspanningen voor zware langeafstandvoertuigen. Waterstof en elektrisch lijken in de periode na 2030 voor deze voertuigsoorten veel inspanning te gaan vragen. In de tussentijd kunnen dieselvangers zoals HVO de CO₂-uitstoot terugbrengen.

5.3 Niet wegverkeer

Modaliteiten als binnenvaart en spoorvervoer (op diesel) zijn ten opzichte van het wegverkeer veel minder vergesond wat betreft de inzet van alternatieve aandrijflijnen en brandstoffen.

Binnenvaart uitdagende sector

Voor goederenvervoer met binnenvaartschepen geldt dat de omzet-/winstmarges klein zijn en er sterke concurrentie is met het wegverkeer. Daarbij zijn de benodigde investeringen voor deze relatief grote energie-intensieve vervoermiddelen hoog. Dit is een drempel voor de inzet van elektrische, waterstof en ook LNG binnenvaartschepen. Verder geldt dat de ruimte die batterijpakketten innemen bij binnenvaartschepen erg groot wat ten koste gaat van de beladingsgraad. Naar mate schepen voor langere afstanden worden ingezet is ook dit een technische beperking. De verwachting is daarom dat binnenvaartschepen nog lang na 2030 voornamelijk met verbrandingsmotoren zullen varen en voor CO₂-reductie afhankelijk zijn van hernieuwbare brandstoffen zoals HVO. Overheden die toch willen inzetten op alternatieve aandrijflijnen en energiedragers kunnen het beste starten met kleinschalige experimenten (pilots) om ervaring op te doen.

Met betrekking tot luchtkwaliteit (NO_x en fijnstof) is er de mogelijkheid om bestaande schepen te 'retrofitten' met een zogenaamde SCR-katalysator (CE Delft, 2018). Dit heeft echter geen invloed op de uitstoot van CO₂ en levert dus geen bijdrage aan de klimaatdoelstellingen.

Spoorvervoer

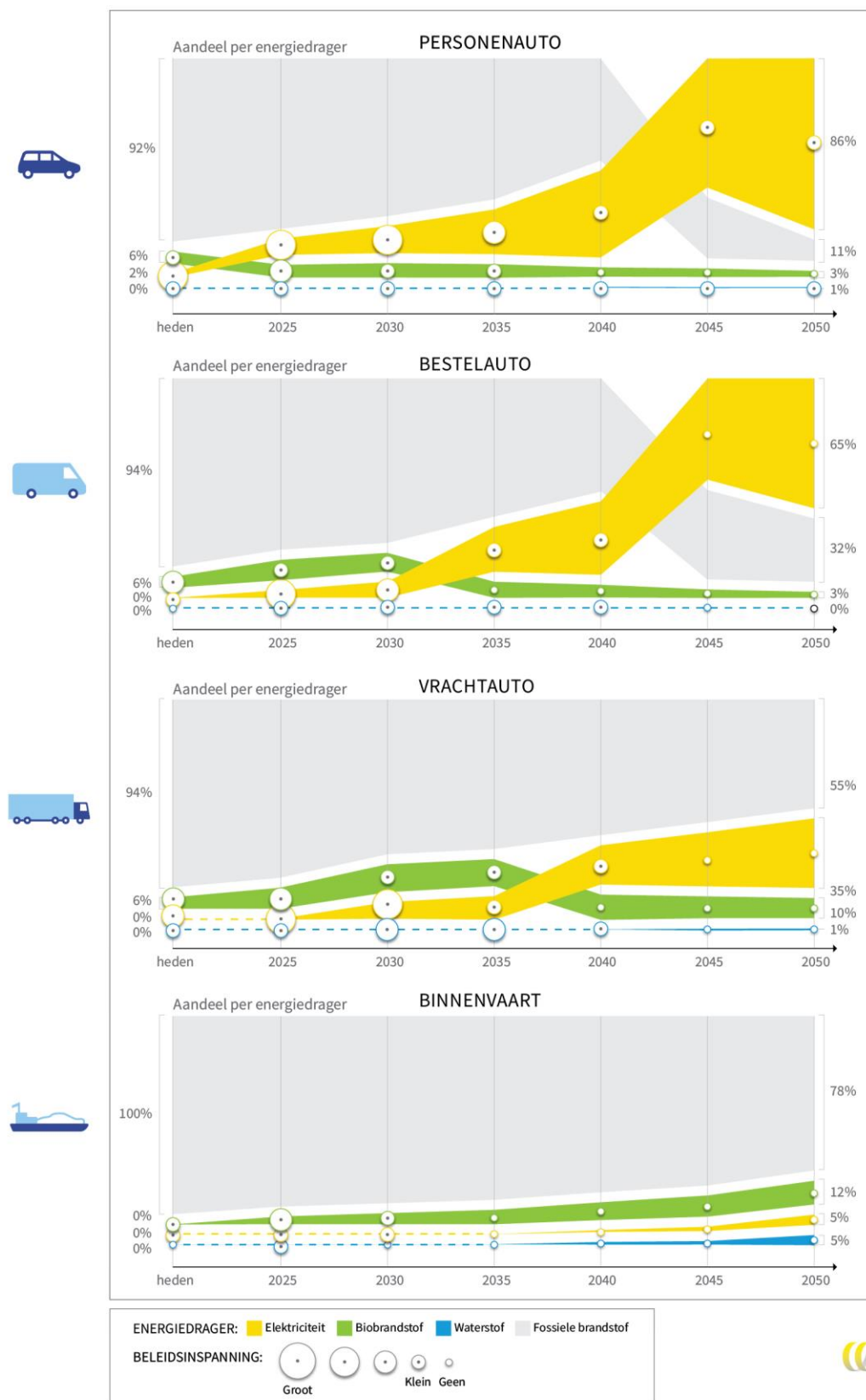
Het overgrote deel van het spoorvervoer vindt plaats met elektrische treinen. Er zijn nog enkele spoorlijnen waar het personenvervoer met dieseltreinen geschiedt. Dit zijn lijnen die gemiddeld minder rendabel zijn dan het drukbereden spoor in de Randstad. Het investeren in elektrificeren of andere aandrijflijnen (waterstof) alhoewel technisch zeer goed mogelijk, zal vanuit economische overwegingen niet snel plaatsvinden. Een klein deel van het goederenvervoer per spoor vindt nog plaats met diesellocomotieven. Dit zou in beginsel vervangen kunnen worden door elektrische locs of op waterstof.

5.4 Infographic

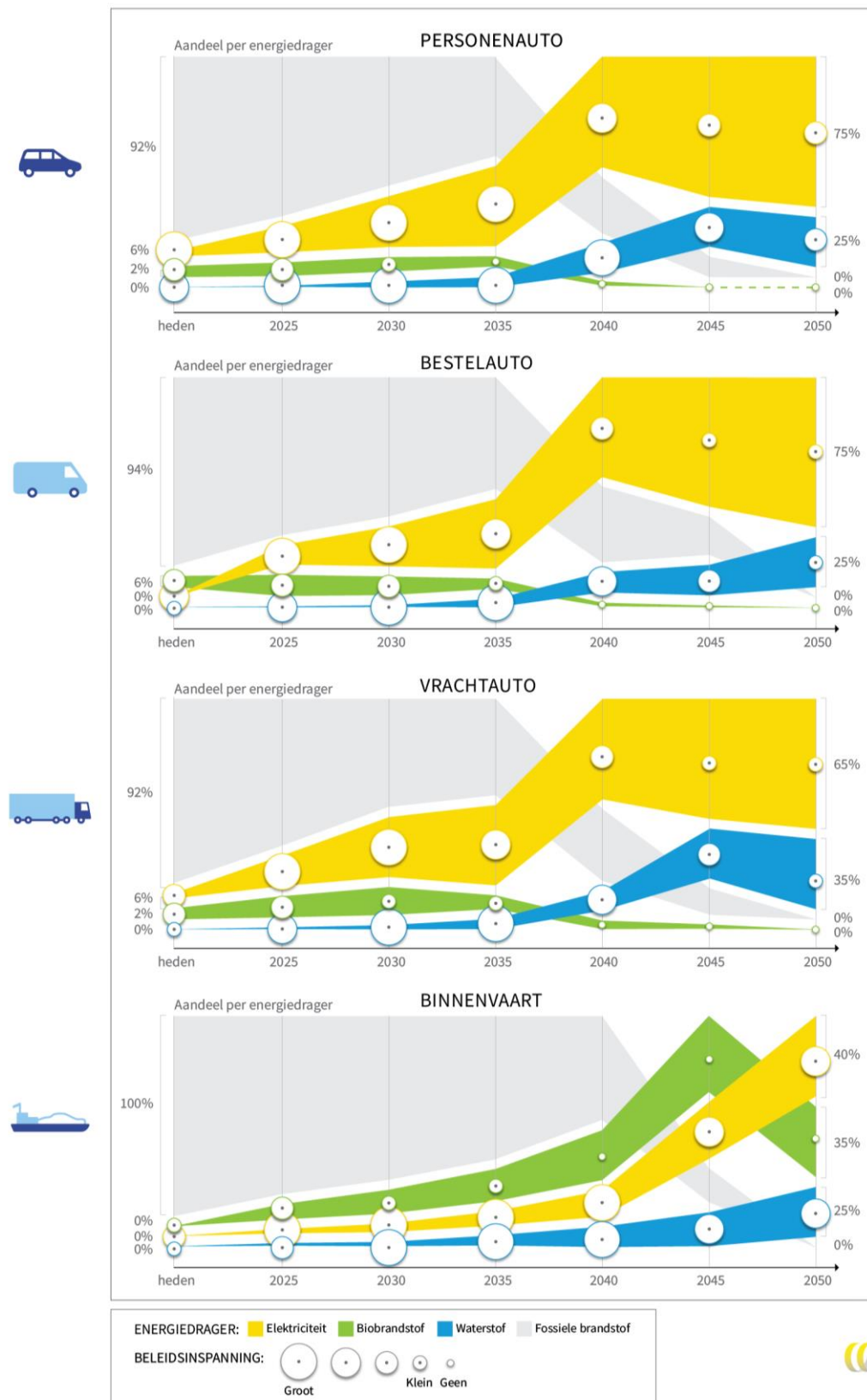
Figuur 22 en Figuur 23 is in een zogenaamde 'infographic weergegeven hoe de inzet van vier belangrijke energiedragers (Elektriciteit, Biobrandstof, Waterstof en Fossiele brandstof) zich tussen nu en 2050 zouden kunnen ontwikkelen voor vier modaliteiten. Dit is weergegeven voor de situatie met het huidige beleid (Business as usual) en een mogelijke situatie met extra beleid waarin wordt gestreefd naar klimaatneutrale mobiliteit in 2050, waarbij er geen fossiele brandstoffen meer worden gebruikt. Naast de inzet (het aandeel in het totale gebruik) van energiedragers is ook de benodigde beleidsinspanning weergegeven. Het geeft een globale indruk van de extra beleidsinspanning die nodig is in verschillende perioden om het weergegeven energiegebruik te faciliteren.

Infographics zijn primair illustratief en bedoeld om een discussie over de gewenste beleidsinzet op gang te brengen. Er zijn, zeker ten aanzien van 'Klimaatneutraal in 2050' andere routes denkbaar waarbij via beleidsprikkels het accent op andere energiedragers wordt gelegd.

Figuur 22 - Infographic - Inzet Energiedragers in de mobiliteit, Business as Usual



Figuur 23 - Infographic - Inzet Energiedragers in de mobiliteit, Klimaatneutraal 2050



Referenties

ANWB. lopend. *Historie elektrische auto : verwachtingen eeuw geleden al hoog gespannen* [Online]. Available: <https://www.anwb.nl/auto/elektrisch-rijden/elektrische-autos/historie-elektrische-auto> [Accessed november 2021].

CE Delft, 2018. Nationale maatregelen luchtkwaliteit en verkeer: Kosten en effecten op PM, NOx en EC. Delft, CE Delft.

CE Delft, 2020. STREAM goederenvervoer 2020. Delft, CE Delft.

CE Delft, 2021. Alternative fuels infrastructure for heavy-duty vehicles, briefing document. Delft, CE Delft.

CPB & PBL, 2015. Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving (WLO) : Cahier Klimaat en energie. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving en Centraal Planbureau (PBL;CPB).

ElaadNL. 2020. *Elektrisch rijden in stroomversnelling. Elektrificatie van personenauto's tot en met 2050* [Online]. Arnhem: ElaadNL. Available: https://www.elaad.nl/uploads/files/2021Q3_Elaad_Outlook_Personenautos_2050.pdf [Accessed november 2021].

EU, 2009. Richtlijn 2009/30/EG van het EP en de Raad van 23 april 2009 tot wijziging van Richtlijn 98/70/EG mbt. de specificatie van benzine, dieselbrandstof en gasolie en tot invoering van een mechanisme om de emissies van broeikasgassen te monitoren , et. Brussel, Europese Commissie (EC).

EU, 2014. Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure Text with EEA relevance. *Official Journal of the European Union*, L307, 1-20.

Geilenkirchen, Roth, Sijstermans, Hulskotte, Ligterink, Dellaert & Maarten 't Hoen, 2020. Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands : Background Report. The Hague, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

Infras, 2019. HBEFA 4.1. Bern, Infras.

PBL, 2020. Actualisatie invoer mobiliteitsmodellen 2020. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

PBL, 2021. Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2021. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Rijksoverheid, 2019. Klimaatakkoord. Den Haag, Rijksoverheid.

RVO. 2020a. *Cijfers elektrisch vervoer* [Online]. Available: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu-innovaties/elektrisch-rijden/stand-van-zaken/cijfers> [Accessed november 2021].

RVO. 2020b. *Nationale Agenda Laadinfrastructuur (NAL)* [Online]. Den Haag: Rijksoverheid. Available: <https://www.agendalaadinfrastructuur.nl/ondersteuning+gemeenten/documenten+en+links/documenten+in+bibliotheek/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=1773453> [Accessed november 2021].

RWS, (2021 te verschijnen). Routeradar 2020 Duurzame Energiedragers in de Mobiliteit. Den Haag, Rijkswaterstaat (RWS).

TNO & CE Delft. 2020. *Factsheets energiedragers wegvervoer* [Online]. Pianoo. Available: <https://www.pianoo.nl/nl/document/18246/factsheets-energiedragers-wegvervoer> [Accessed 2021].



A Prognoses per modaliteit

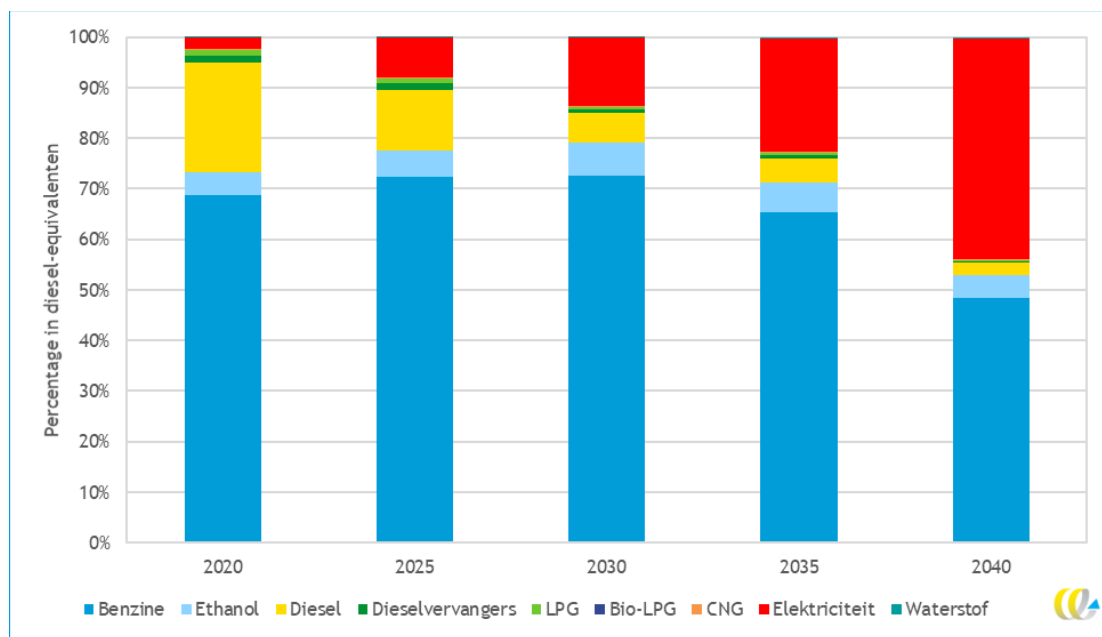
A.1 Personenauto's

Op basis van de KEV2020 en inzichten uit de Welvaart en Leefomgeving (WLO) die inschattingen geeft voor de periode na 2030, is Figuur 24 gemaakt voor personenauto's. We zien de aandelen van de energiedragers voor de periode 2020 t/m 2040. Omdat sommige alternatieve brandstoffen slechts een klein aandeel uitmaken, geeft Figuur 25 een soortgelijk overzicht van alléén de alternatieve brandstoffen. Dit is dus een subset van de data in Figuur 24.

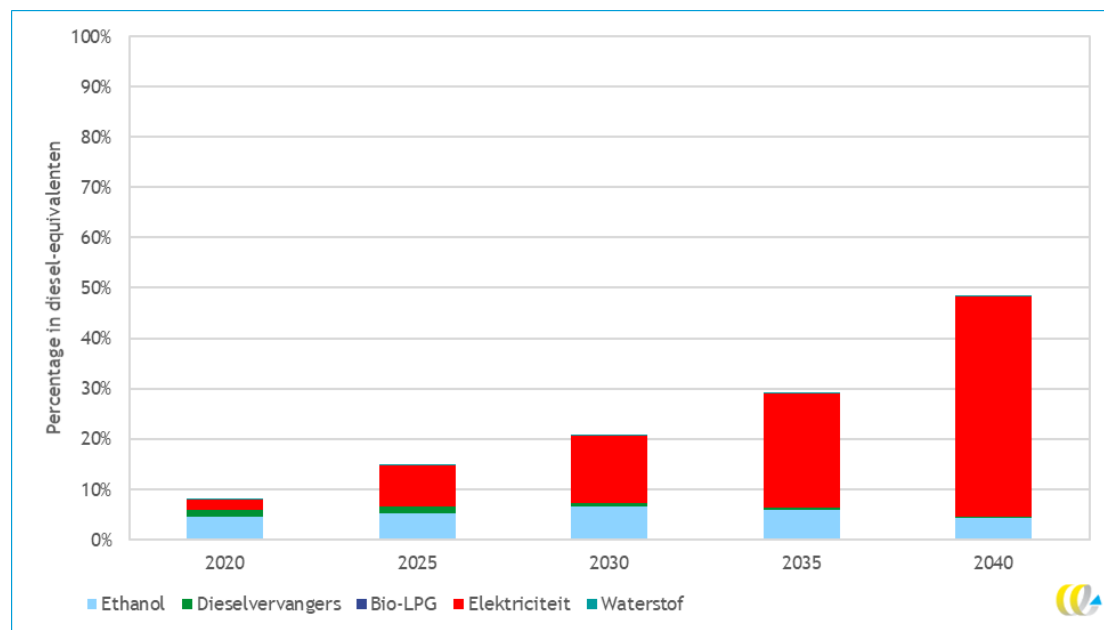
Uit deze figuren kunnen de volgende zaken worden opgemaakt:

- Benzine blijft nog lang dominant.
- Het gebruik van diesel neemt sterk af.
- Met name elektriciteit groeit sterk, zeker na 2030.
- De rol van waterstof blijft bescheiden.
- Ethanol en dieselvangers blijven beperkt tot een bescheiden percentage bijmenging (6,5% op energiebasis voor benzine, 8,5% op energiebasis voor diesel). De absolute inzet van deze brandstoffen daalt dan ook naarmate diesel en benzine verder worden uitgefaseerd.

Figuur 24 - Aandelen van verschillende brandstoffen in diesel-equivalenten - personenauto's



Figuur 25 - Aandelen van alternatieve brandstoffen in diesel-equivalenten - personenauto's



A.2 Goederenvervoer

Op basis van de KEV2020 en inzichten uit de Welvaart en Leefomgeving (WLO) die inschattingen geeft voor de periode na 2030, zijn Figuur 26 en 27 gemaakt voor bestel- en vrachtauto's. We zien de aandelen van de energiedragers voor de periode 2020 t/m 2040. Omdat sommige alternatieve brandstoffen slechts een klein aandeel uitmaken, geven Figuur 28 en Figuur 29 een soortgelijk overzicht van alléén de alternatieve brandstoffen. Dit is dus een subset van de data in Figuur 26 en 27.

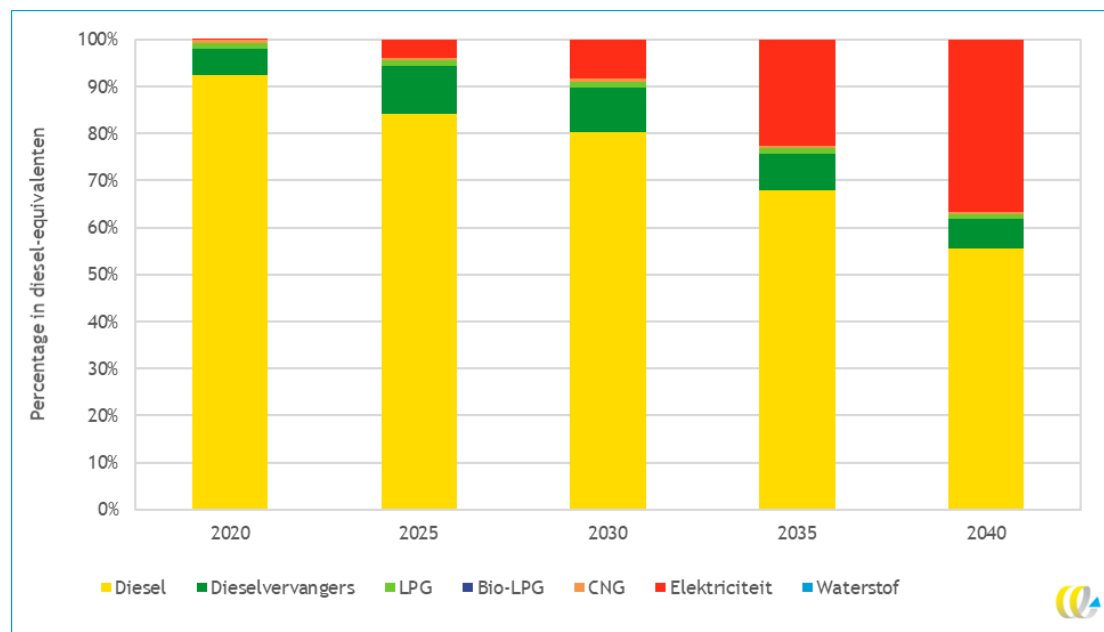
Uit deze figuren kunnen de volgende zaken worden opgemaakt:

- Diesel blijft zowel voor bestel- als vrachtauto's nog lang dominant.
- Tot 2030 heeft biodiesel verreweg het grootste aandeel in de duurzame energie.
- Met name elektriciteit groeit sterk, zeker na 2030.
- Rol waterstof blijft bescheiden, ook in het vrachtverkeer¹⁶.
- Dieselvangers blijven beperkt tot een bescheiden percentage bijmenging (8,5% op energiebasis). De absolute inzet van deze brandstoffen daalt dan ook naarmate diesel verder wordt uitgefaseerd.

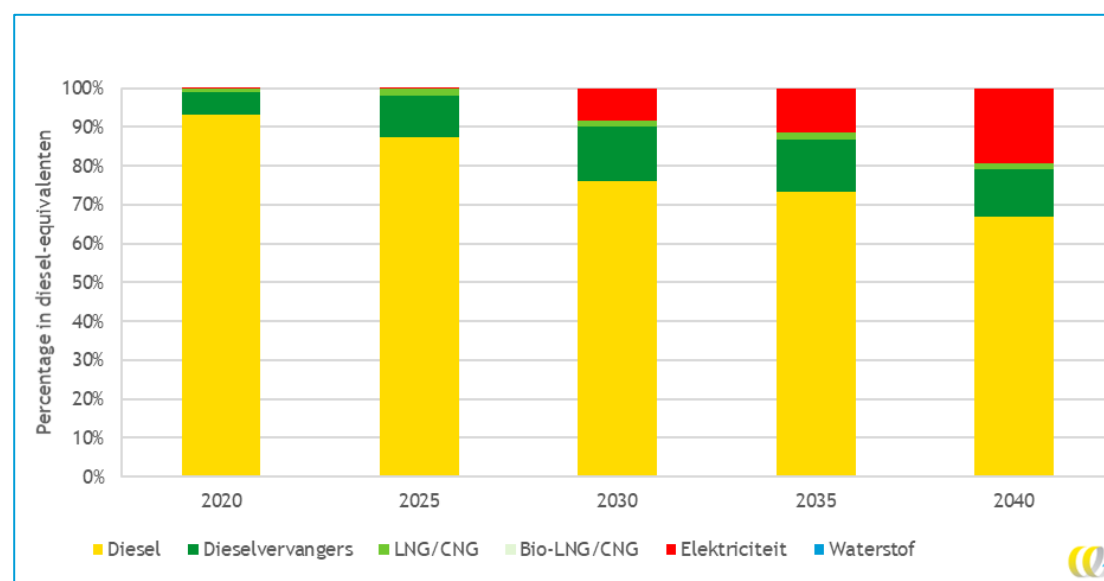
Het bijmengpercentage van 8,5% zal in de komende KEV naar boven worden bijgesteld op basis van de herziene Renewable Energy Directive, vaak aangeduid als de RED II. Verder is er in het Europese 'Fit for 55'-pakket (zie ook Paragraaf 4.3) een update van de RED II aangekondigd (de RED III) waarin nog ambitieuzere doelstellingen voor hernieuwbare brandstoffen zijn geformuleerd.

¹⁶ Hier is relatief veel onzekerheid over, met name wat betreft het langeafstandsverkeer.

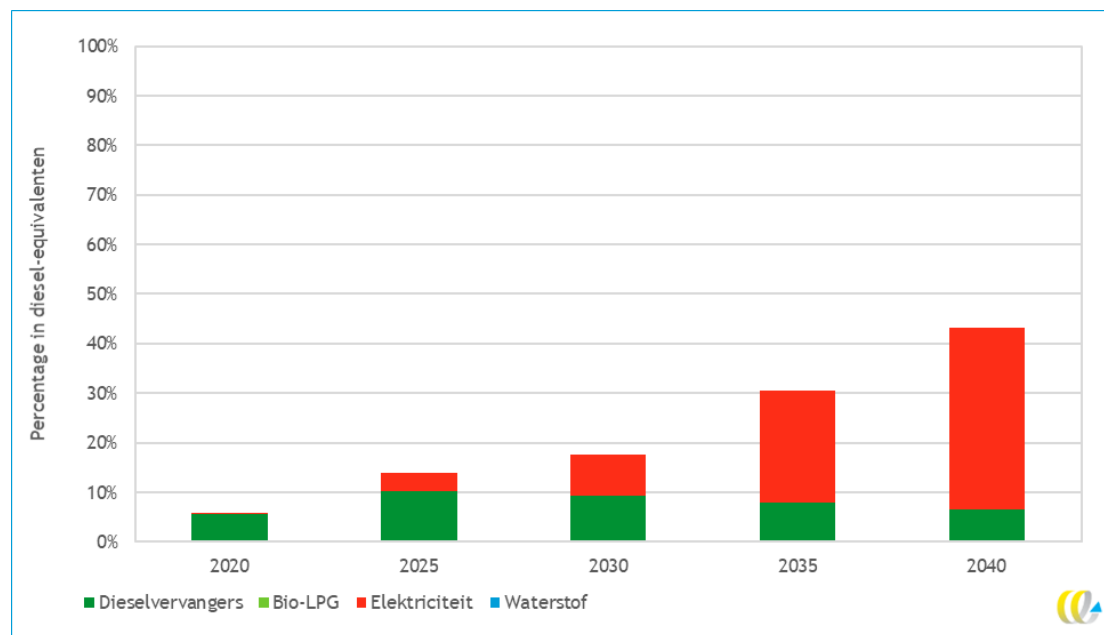
Figuur 26 - Aandelen van verschillende brandstoffen in diesel-equivalenten - bestelauto's



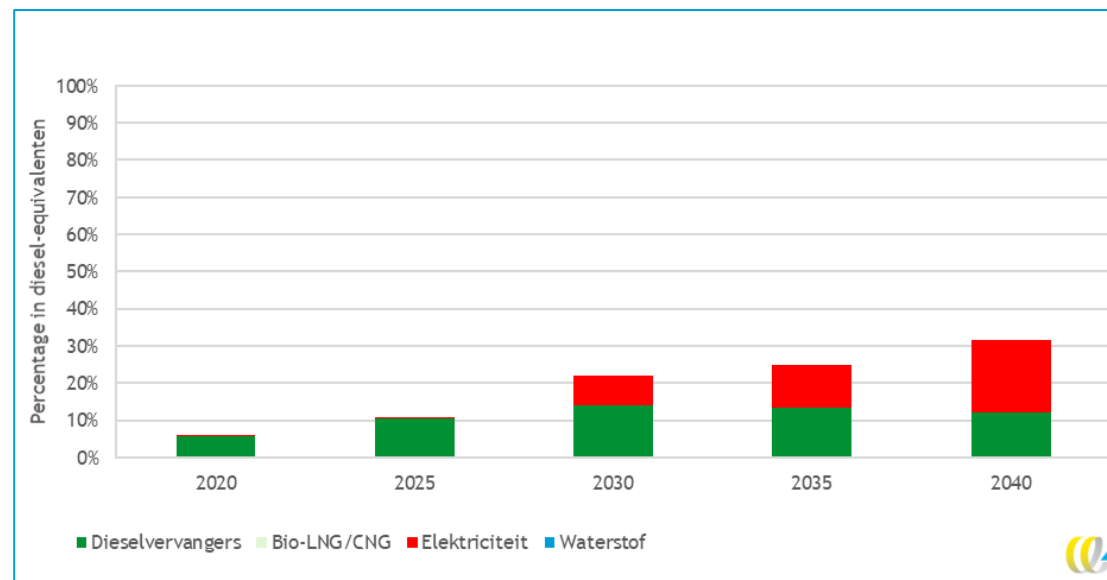
Figuur 27 - Aandelen van verschillende brandstoffen in diesel-equivalenten - vrachtauto's



Figuur 28 - Aandelen van alternatieve brandstoffen in diesel-equivalenten - bestelauto's



Figuur 29 - Aandelen van alternatieve brandstoffen in diesel-equivalenten - vrachtauto's



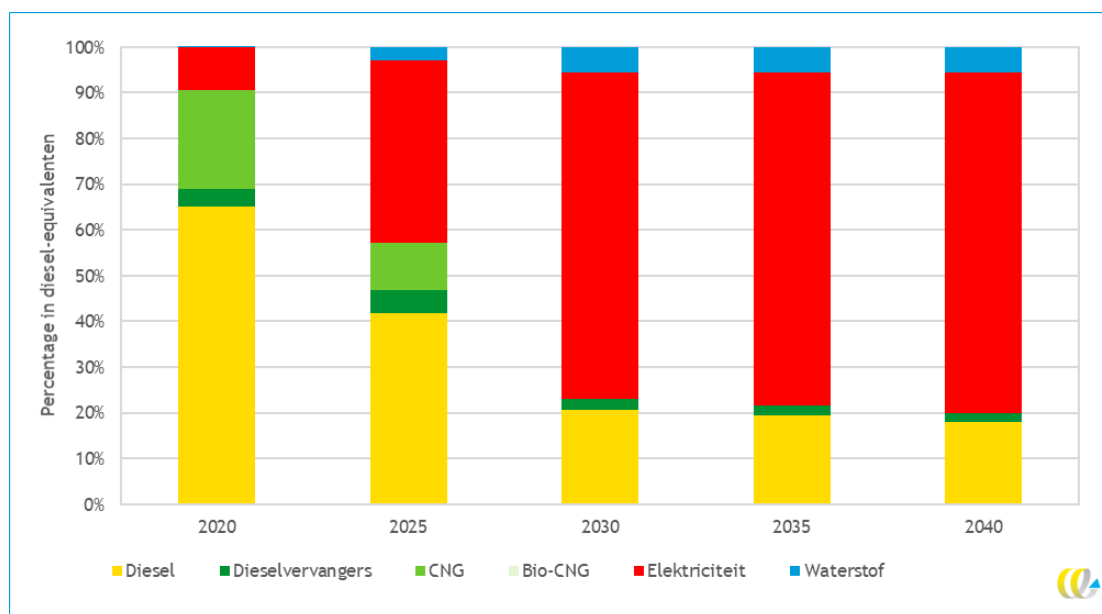
A.3 Autobussen

Op basis van de KEV2020 en eigen inschattingen voor de periode na 2030¹⁷, is Figuur 30 gemaakt voor autobussen. We zien de aandelen van de energiedragers voor de periode 2020 t/m 2040. Omdat sommige alternatieve brandstoffen slechts een klein aandeel uitmaken, geeft Figuur 31 een soortgelijk overzicht van alléén de alternatieve brandstoffen. Dit is dus een subset van de data in Figuur 28.

Uit deze figuren kunnen de volgende zaken worden opgemaakt:

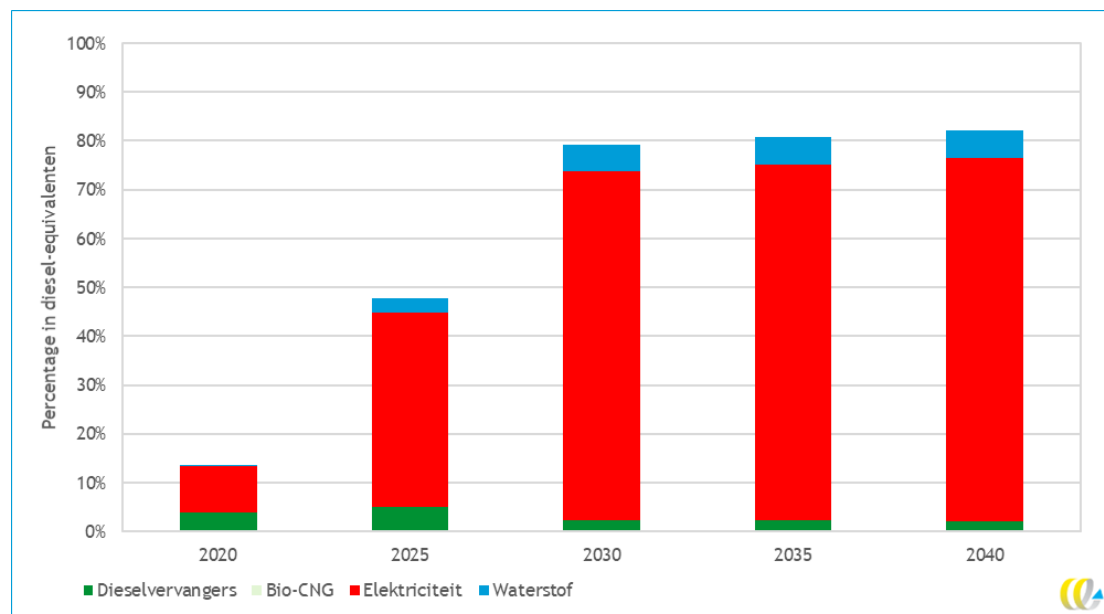
- diesel is nu nog de dominante brandstof, maar deze rol wordt snel overgenomen door elektriciteit;
- CNG speelt momenteel ook een significante rol, maar dit wordt ook uitgefaseerd;
- de rol van waterstof blijft bescheiden.

Figuur 30 - Aandelen van verschillende brandstoffen in diesel-equivalenten - autobussen



¹⁷ Hierbij is het uitgangspunt dat alle ov-bussen in 2040 zero-emissie zijn. Het resterende dieselgebruik kan aan touringcars worden toegeschreven.

Figuur 31 - Aandelen van alternatieve brandstoffen in diesel-equivalenten - autobussen



A.4 Tweewielers

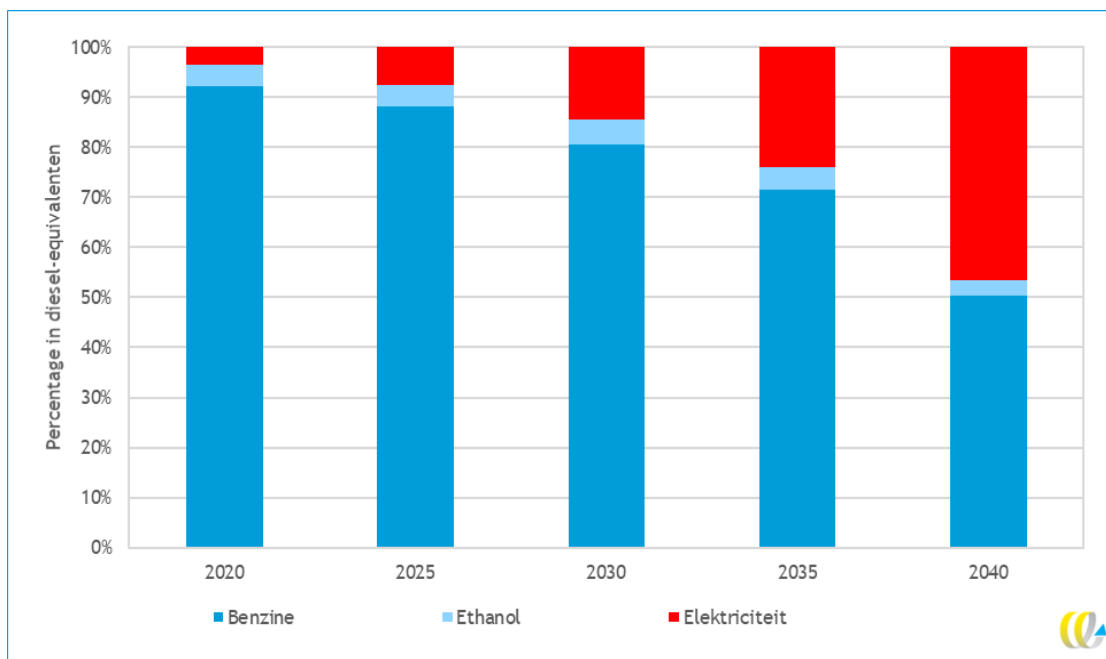
Op basis van de KEV2021 en eigen inschattingen voor de periode na 2030¹⁸, zijn Figuur 32 en Figuur 33 gemaakt voor tweewielers. We zien de aandelen van de energiedragers voor de periode 2020 t/m 2040. Omdat het aantal brandstoffen beperkt is, hebben wij voor tweewielers geen aparte figuur gemaakt voor de alternatieve brandstoffen.

Uit deze figuren kunnen de volgende zaken worden opgemaakt:

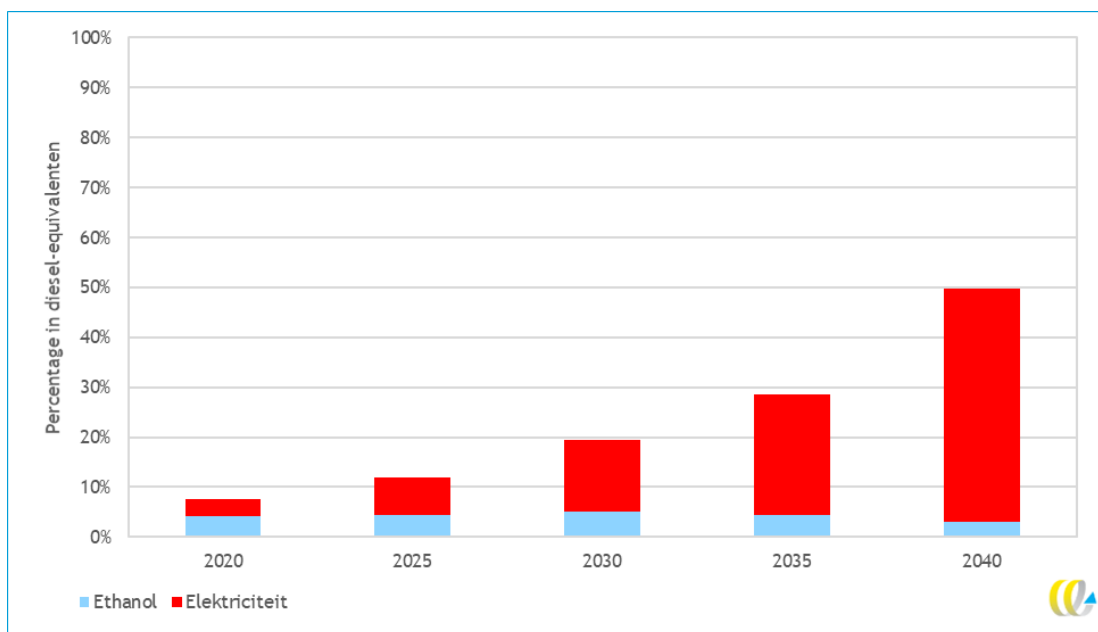
- benzine blijft tot 2040 de dominante brandstof;
- elektriciteit wint aan terrein.

¹⁸ Voor tweewielers is in de periode 2030-2040 dezelfde trend aangehouden als voor personenauto's.

Figuur 32 - Aandelen van verschillende brandstoffen in diesel-equivalenten - tweewielers



Figuur 33 - Aandelen van alternatieve brandstoffen in diesel-equivalenten - tweewielers



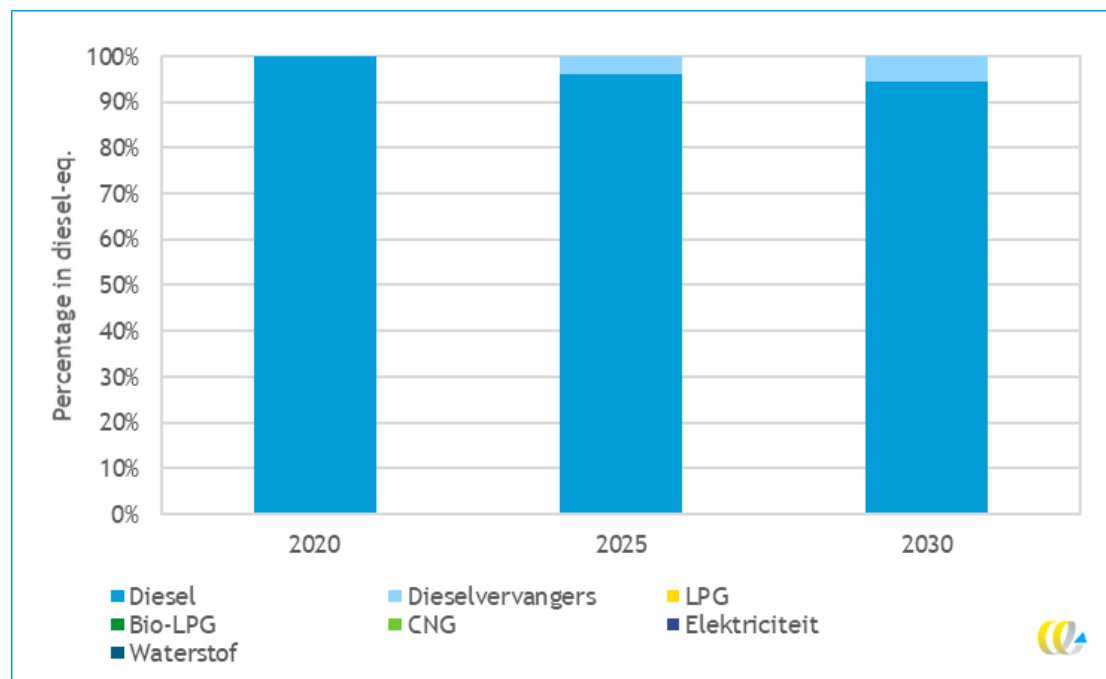
A.5 Niet-wegverkeer

Op basis van de KEV2021 zijn de aandelen van verschillende brandstoffen in het energiegebruik van de binnenvaart (Figuur 34), mobiele werktuigen (Figuur 35) en het spoorvervoer (Figuur 36) tot 2030 ingeschat. Omdat er geen geschikte prognoses bekend zijn na 2030, hebben wij de keuze gemaakt om de periode 2030-2040 uit deze grafieken weg te laten.

Uit deze grafieken kunnen de volgende zaken worden opgemaakt:

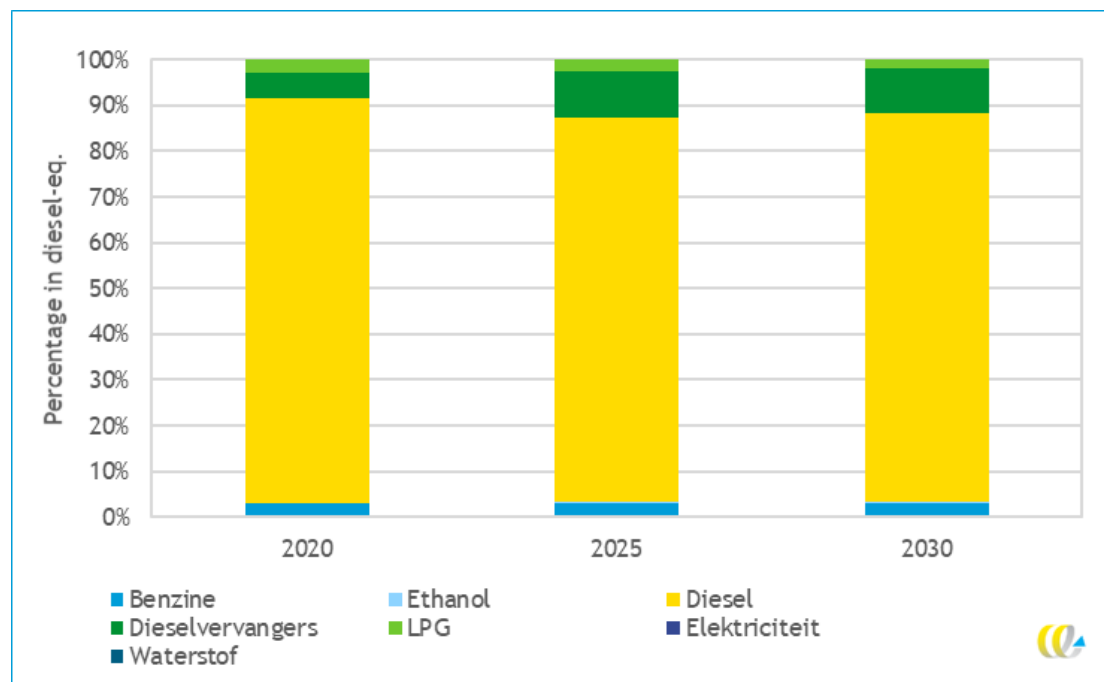
- De binnenvaart blijft geheel op diesel varen tot 2030¹⁹.
- In de categorie mobiele werktuigen wordt voornamelijk veel diesel gebruikt (door de zware mobiele werktuigen in de landbouw en bouw), maar ook benzinegebruik is significant (bijvoorbeeld bladblazers en andere lichtere consumenten-werktuigen). Ook zijn er mobiele werktuigen die LPG verbruiken.
- Elektrificatie of gebruik van waterstof door mobiele werktuigen is nog niet in de prognoses van de KEV opgenomen.
- Voor het spoorvervoer wordt voornamelijk elektriciteit gebruikt. Er zijn echter ook nog dieseltreinen. Het aandeel dieseltreinen blijft ongeveer gelijk tot 2030.

Figuur 34 - Aandelen van verschillende brandstoffen in diesel-equivalenten - binnenvaart

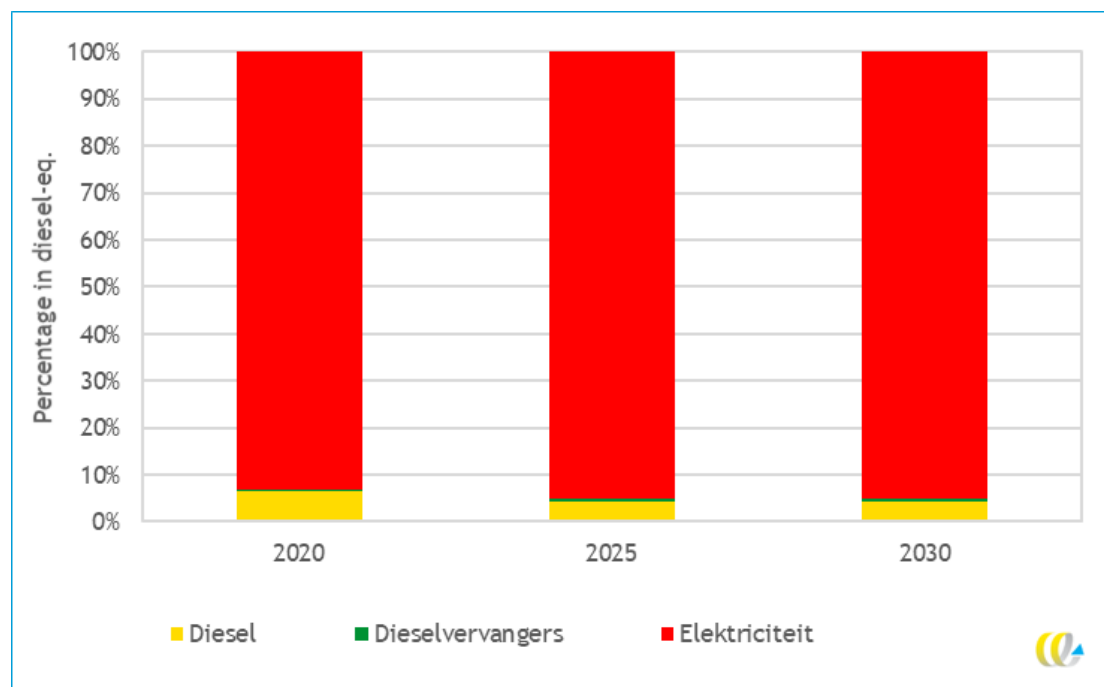


¹⁹ Er wordt biodiesel gebruikt in de binnenvaart, maar dit wordt opgeteld bij het wegverkeer, hierdoor is het niet terug te zien in de cijfers, en is dus ook het aandeel niet bekend (RWS, (2021 te verschijnen))

Figuur 35 - Aandelen van verschillende brandstoffen in diesel-equivalenten - mobiele werktuigen



Figuur 36 - Aandelen van verschillende brandstoffen in diesel-equivalenten - spoor



B Uitleg diesel-equivalenten

In Hoofdstuk 4 zijn figuren gegeven met een vergelijking tussen de verschillende brandstoffen. Wanneer de brandstoffen worden vergeleken op basis van de energie-inhoud, gaat de vergelijking echter mank. Dit komt omdat sommige brandstoffen efficiënter (met minder energieverlies) kunnen worden gebruikt dan andere²⁰. Een betere vergelijking kan worden gemaakt op basis van 'diesel-equivalenten'. Dit zijn de energieverbruiken, vermenigvuldigd met een factor zodat deze vergeleken kunnen worden met megajoules diesel. Deze omrekenfactoren zijn weergegeven in Tabel 5 en 6. De factoren zijn opgesteld met behulp van STREAM goederenvervoer (CE Delft, 2020) en HBEFA4.1 (Infras, 2019).

Tabel 5 - Omrekenfactoren verschillende brandstoffen naar diesel-equivalenten - wegverkeer

Energiedrager-techniek	Auto	Bestelauto	Vrachtauto	Autobus	Tweewieler
(bio)Diesel	100%	100%	100%	100%	100%
(bio)Benzine	101%	101%	101%	-	99%
LPG	92%	92%	92%	-	-
Elektrisch	278%	213%	213%	213%	278%
Waterstof	168%	141%	141%	132%	168%
CNG/LNG	118%	103%	89%	84%	118%

Tabel 6 - Omrekenfactoren verschillende brandstoffen naar diesel-equivalenten - niet wegverkeer

Energiedrager-techniek	Mobiele werktuigen	Binnenvaart	Spoor	Recreatievaart
(bio)Diesel	100%	100%	100%	100%
(bio)Benzine	101%	101%	101%	101%
LPG	92%	92%	92%	92%
Elektrisch	213%	213%	213%	213%
Waterstof	168%	168%	168%	168%
CNG/LNG	118%	118%	118%	118%

²⁰ Voor de aandrijving van een elektrisch voertuig is bijvoorbeeld een stuk minder elektrische energie nodig dan de benzine-energie die nodig is voor de aandrijving van een vergelijkbare benzineauto. Dit komt deels omdat elektriciteit relatief hoogwaardige energie is: er is al een aanzienlijk energieverlies geweest bij het produceren van de elektriciteit.