

**Traffic & Transport**

Anna van Buerenplein 1  
2595 DA Den Haag  
Postbus 96800  
2509 JE Den Haag

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 00 00

**TNO-rapport**

**TNO 2021 R10784V2 - 19**

**Factsheet: vergelijking personenwagens op  
verschillende energiedragers**

Datum	10 november 2021
Auteur(s)	Maarten Verbeek (TNO) Arjan Eijk (TNO) Anouk van Grinsven (CE Delft)
Exemplaarnummer	2021-STL-RAP-100332807s_V2
Aantal pagina's	21 (incl. bijlagen)
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat Postbus 20901 2500 EX DEN HAAG
Projectnaam	IenW Update brandstoffen factsheets
Projectnummer	060.39258

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>3</b>
1.1	Doelstelling .....	3
1.2	Wijzigingen ten opzichte van de Factsheets 2020 .....	4
1.3	Voertuig-energiedrager combinaties .....	5
1.4	Toelichting op de gerapporteerde emissies .....	5
1.5	Voertuigcategorieën per emissietype .....	7
1.6	Informatiebronnen.....	8
1.7	Leeswijzer.....	8
<b>2</b>	<b>Energiedrager gerelateerde emissies .....</b>	<b>10</b>
2.1	Broeikasgas CO <sub>2</sub> .....	10
2.2	Luchtkwaliteit .....	12
<b>3</b>	<b>Infrastructuur .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Vervoermiddel.....</b>	<b>15</b>
4.1	Aantallen voertuigen en beschikbaarheid modellen in Nederland .....	15
4.2	Betaalbaarheid.....	16
4.3	Voertuigkenmerken.....	18
<b>5</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>19</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Historisch verloop van NO <sub>x</sub> en PM <sub>10</sub> emissies van personenvoertuigen	
	B WTW CO <sub>2</sub> -emissies per energiedrager	

# 1 Inleiding

## 1.1 Doelstelling

Dit document betreft een zogenaamde vergelijking-factsheet (zie ook scope) voor personenwagens. Doel van deze vergelijking-factsheets is om de relevante delen uit de onderliggende diverse factsheets voor personenwagens, aangevuld met informatie uit de Routeradar Innovatie marktontwikkeling 2020 rapportage snel toegankelijk te maken voor private en publieke inkopers van transport.

### *Scope*

De basis voor een vergelijking-factsheet wordt gevormd door de onderliggende factsheets voor specifieke voertuig-energiedrager combinaties (in totaal 18). In iedere vergelijking-factsheet worden voor één type voertuig zoals bijvoorbeeld personenvoertuigen specifieke kenmerken per energiedrager vergeleken. De specifieke factsheets geven de onderbouwing voor de vergelijking-factsheets en zijn te vinden op: <https://www.pianoo.nl/nl/document/18246/factsheets-energiedragers-wegvervoer>

De vergelijking-factsheets geven een snel overzicht voor vier geselecteerde voertuigtypen: -personenwagens; -bestelwagens; -vrachtwagens; -bussen. Hiermee kan de lezer de kenmerken van voertuigen op verschillende energiedragers met elkaar vergelijken.

### *Aanpak*

Voor personenwagens worden verschillende product markt combinaties (PMC's) onderscheiden. Per PMC wordt aandacht gegeven aan de drie basisvelden:

- 1) De energiedrager.
  - a. focus ligt op de zogenaamde praktijkemissies
- 2) De laad/tank infrastructuur.
  - a. betreft aantallen tank/laad voorzieningen in Nederland
- 3) De voertuigen.
  - a. aantallen voertuigen in het Nederlandse wagenpark
  - b. beschikbaarheid qua variatie in typen en modellen
  - c. betaalbaarheid in de vorm van "Total Cost of Ownership" (TCO)
  - d. voertuigkenmerken
    - i. Actieradius
    - ii. Laadvultijd

### *Versie uit 2020*

Ook in 2020 zijn er al factsheets en vergelijking-factsheets gepubliceerd. Dit document is een update van "Factsheet vergelijking personenwagens", TNO 2020 R10784 uit 2020. Ook in deze vergelijking factsheet "Personenwagens" vormen de zogenaamde praktijkemissies een belangrijk onderdeel.

#### *Voertuig praktijkemissies*

De in deze Factsheets gepresenteerde gegevens voor voertuigemissies van verschillende voertuigklassen op diverse energiedragers betreffen gemiddelde praktijkemissies. De gepresenteerde gegevens zijn zoveel mogelijk gebaseerd op de officiële Nederlandse emissiefactoren voor wegverkeer, die in de Taakgroep Verkeer en Vervoer door TNO in samenwerking met o.a. RIVM, PBL en CBS worden vastgesteld voor gebruik in landelijke rekenmodellen en rapportages van PBL en RIVM en in lokale modellen voor berekening van luchtkwaliteit.

#### *Praktijkemissiefactoren*

Praktijkemissiefactoren geven weer hoeveel voertuigen binnen een bepaalde categorie onder bepaalde omstandigheden gemiddeld uitstoten van verschillende emissiecomponenten, zoals NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> of CO<sub>2</sub>. Deze emissiefactoren zijn zoveel mogelijk gebaseerd op door TNO uitgevoerde emissiemetingen aan voertuigen op de weg onder realistische praktijkomstandigheden. Voor voertuigcategorieën waarvoor geen officiële emissiefactoren beschikbaar zijn, zijn inschattingen van de praktijkemissies op een zo goed mogelijke manier afgeleid uit beschikbare data voor metingen op de weg en/of metingen uitgevoerd in een laboratorium, bij voorkeur gebruik makend van uit de praktijk afgeleide rijpatronen. Daar waar nodig en mogelijk, is deze informatie verder aangevuld met resultaten uit internationale studies op het gebied van voertuigemissies.

#### *Fabrieksopgaven*

Door een groot aantal oorzaken kunnen emissies in de praktijk aanzienlijk afwijken van waarden zoals gemeten op de typekeuringstest (ook wel fabrieksopgaven genoemd) en de daarvoor geldende emissielimieten. De afwijking tussen typekeur- en praktijkwaarden kan sterk verschillen per type voertuig, per brandstoftype, per wetgevingsklasse (Euro-norm) en voor verschillende gebruiks- en verkeersomstandigheden, zoals rijden in de stad of op snelweg met of zonder congestie.

Informatie over de resultaten van door TNO uitgevoerde emissiemeetprogramma's, en de onderliggende methodieken, is te vinden op [www.tno.nl](http://www.tno.nl) (zie ook het document "TNO 2020 R10784 - Bronnen en Achtergrondinformatie").

Meer informatie over de berekeningen, de gehanteerde methoden en aanvullende toelichting op de diverse emissies, TCO's en cijfers over infrastructuur en aantallen voertuigen is beschreven in de Routeradar Innovatie monitoring 2020, in de Routeradar DEM 2020 en in de afzonderlijke Factsheets voor Personen, Bestelwagens en vrachtwagens uit 2020.

## **1.2 Wijzigingen ten opzichte van de Factsheets 2020**

In 2021 is onderzoek gedaan naar de Total Cost of Ownership (TCO) van diverse voertuig-energiedragercombinaties. De methodiek hiervan staat beknopt beschreven in hoofdstuk 4 van dit rapport (zie "Routeradar Innovatie 2020).

Marktontwikkeling” voor meer detail). In deze 2021 vergelijking-factsheet wordt een overzicht van TCO's van diverse PMC's (personenvoertuig-energiedrager combinaties) gegeven.

Tevens zijn nu ook meer gegevens over de laadinfrastructuur (hoofdstuk 3) geactualiseerd en wordt in hoofdstuk 4 de beschikbaarheid van voertuigen weergegeven. Het hoofdstuk over emissies is niet geupdate, aangezien de wijzigingen ten opzichte van 2020 zeer beperkt zijn.

### 1.3 Voertuig-energiedrager combinaties

De voertuigcategorieën en energiedragers die aan bod komen in de diverse Factsheets zijn weergegeven in Tabel 1. Bij elke energiedrager wordt zowel de fossiele als ook de hernieuwbare variant behandeld.

Tabel 1: Combinaties van voertuigcategorieën en energiedragers die worden behandeld in dit rapport. De nummers in de tabel representeren de nummers van de factsheets.

	Diesel	Dieselvevangers uit biomassa	Benzine	Benzinevangers uit biomassa	(Bio)LPG	(Bio)CNG	(Bio)LNG	Elektrisch	Waterstof
Personen- en bestelauto's	1	2	3	4	5	6		7	8
Vrachtauto's en trekker opleggers	9	10					11	12	13
Bussen	14	15				16		17	18

Dit rapport beperkt zich tot combinaties van categorieën wegvoertuigen en brandstoffen die op dit moment in Nederland op de weg rijden of op commerciële basis beschikbaar zijn. Voor de bepaling van emissies is eveneens uitgegaan van de Nederlands situatie, bijvoorbeeld met betrekking tot het gebruik van de voertuigen en de herkomst van de brandstoffen.

### 1.4 Toelichting op de gerapporteerde emissies

In de Factsheets wordt onderscheid gemaakt tussen emissies die effect hebben op het klimaat (broeikasgas) en op luchtkwaliteit (fijnstof en stikstofoxiden).

#### 1.4.1 Broeikasgas (CO<sub>2</sub>)

In de uitstoot van voertuigen heeft CO<sub>2</sub> het grootste effect heeft op het klimaat. Daarom ligt de focus in deze Factsheets op deze stof. De bijdrage van andere stoffen aan klimaatverandering worden alleen opgemerkt wanneer dit relevant wordt geacht. Dit geldt onder andere voor de uitstoot van methaan.

De uitstoot van CO<sub>2</sub> kan worden onderverdeeld in uitlaatemissies, ook wel 'tank-to-wheel' (TTW) en emissies ten gevolge van productie en distributie van energiedragers, ook wel 'well-to-tank' (WTT) genoemd. De totale ketenemissies worden aangeduid als 'well-to-wheel' (WTW).

Ook bij de productie van voertuigen en de verwerking aan het einde van de levensduur komen emissies vrij. Deze emissies worden ook wel is 'life cycle' emissies genoemd. Cijfers over indirecte emissies die het gevolg zijn van de productie en verwerking van voertuigen zijn beperkt beschikbaar en omgeven met veel onzekerheid. Dergelijke emissies vallen buiten de scope van deze studie en worden in dit rapport niet behandeld.

#### **Uitlaatemissies (TTW)**

CO<sub>2</sub>-uitlaatemissies zijn het gevolg van het verbranden van koolstofhoudende brandstof, zoals benzine, diesel, LPG, CNG of LNG. Bij de verbranding van pure biobrandstof geldt dat er wel CO<sub>2</sub> uit de uitlaat komt. Echter, volgens de rekenregels van het IPCC worden de CO<sub>2</sub>-emissies uit de uitlaat niet toegerekend aan het voertuig, maar aan de productie van de energiedrager. Elektrische voertuigen en voertuigen op waterstof (met een brandstofcel) stoten zelf geen CO<sub>2</sub> uit.

#### **Ketenemissies (WTW)**

Naast CO<sub>2</sub>-emissies uit de uitlaat, wordt er ook CO<sub>2</sub> geëmitteerd bij de productie en distributie van energiedragers. Voor fossiele brandstoffen zijn deze onder andere het gevolg van de energie die wordt opgewekt om olie te raffineren. Deze emissies in combinatie met de uitlaatemissies, zijn ook wel bekend als 'well-to-wheel' of ketenemissies.

De emissies voor de productie van de biobrandstof hangen sterk af van de gebruikte grondstof en conversietechniek. Voor fossiele brandstoffen is de diversiteit aan grondstoffen en productiemethoden beperkt. Om die reden wordt er voor deze energiedragers een gemiddelde emissiewaarde per energiedrager gepresenteerd. Door de veelheid aan mogelijke grondstoffen en productiemethoden worden voor biobrandstoffen de meest voorkomende varianten weergegeven en een gemiddelde emissiewaarde indien mogelijk. Deze informatie is gegenereerd op basis van de rapportage van de Nederlandse Emissieautoriteit.

Bij de productie van elektriciteit en waterstof wordt wel CO<sub>2</sub> uitgestoten wanneer deze worden opgewekt met behulp van fossiele brandstoffen. Wanneer ze volledig duurzaam worden opgewekt, bijvoorbeeld door middel van wind- of zonne-energie zijn de CO<sub>2</sub>-ketenemissies van de voertuigen nul.

#### **1.4.2 Luchtkwaliteit**

Naast klimaatschade, leidt het gebruik van voertuigen ook tot luchtverontreiniging. In tegenstelling tot CO<sub>2</sub>, leiden deze luchtverontreinigende stoffen tot schade aan de menselijke gezondheid en, in het geval van NO<sub>x</sub>, ook de natuur.

Voertuigemissies bestaan uit verschillende componenten. De meest relevante luchtverontreinigende componenten zijn stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en fijnstof (PM<sub>10</sub>). Deze worden beiden behandeld in deze Factsheets. Voor fijnstof geldt dat het niet alleen uit de uitlaat komt, maar ook wordt veroorzaakt door slijtage van banden en remmen. Andere luchtverontreinigende stoffen worden enkel vermeld als zij in significante mate worden uitgestoten.

## 1.5 Voertuigcategorieën per emissietype

### 1.5.1 *Klimaat (CO<sub>2</sub>)*

In tegenstelling tot de luchtverontreinigende emissies geldt voor de CO<sub>2</sub>-emissies dat deze sterk worden beïnvloed door de massa van het voertuig. Om die reden wordt er voor de CO<sub>2</sub>-emissies onderscheid gemaakt naar verschillende grootteklassen.

Voor personenauto's is dit onderscheid gemaakt op basis van marktsegmenten<sup>1,2</sup>. Voor bestelauto's is er onderscheid gemaakt in drie klassen op basis van het gewicht overeenkomstig met de gewichtsgrenzen die worden gehanteerd in de Europese emissiestandaarden voor bestelauto's (lichter dan 1305 kg, zwaarder dan 1305 kg en lichter dan 1760 kg en zwaarder dan 1760 kg).

Typische oorzaken van een afwijking tussen de gerapporteerde CO<sub>2</sub>-emissiefactoren en die van een individueel voertuig binnen dezelfde categorie zijn:

- het voertuiggewicht: ook binnen een voertuigcategorie is de spreiding aanzienlijk;
- variaties in het rijgedrag, zoals hierboven beschreven voor de luchtverontreinigende emissies;
- Externe omstandigheden, zoals het weer.

### 1.5.2 *Luchtkwaliteit*

Ten aanzien van de luchtverontreinigende emissies (NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub>) wordt voor de verschillende combinaties van voertuigen en brandstoffen onderscheid gemaakt tussen verschillende Euroklassen. Voertuigen behoren tot een bepaalde Euroklasse afhankelijk van de Europese emissiestandaard waaraan het voertuig bij introductie aan moest voldoen. De emissiestandaard zijn verschillend voor personenauto's, bestelauto's, vrachtwagens en bussen en worden elke één tot vijf jaar aangescherpt.

De emissies die worden gerapporteerd in deze factsheets zijn representatief voor het gemiddelde van de voertuigcategorie. De werkelijke uitstoot van individuele voertuigen kan hier aanzienlijk van afwijken. Redenen voor afwijkingen ten aanzien van luchtvervuilende stoffen zoals NO<sub>x</sub> en fijnstof (PM<sub>10</sub>) zijn:

- verschillende motortechnologieën en nabehandelingstechnologieën en de instellingen van beiden;
- verschillen tussen de externe omstandigheden tijdens de test en in werkelijkheid, zoals de buitentemperatuur;
- variaties in het rijgedrag, zoals gereden snelheid (onder andere beïnvloed door het aandeel dat wordt gereden in de stad, buitenwegen of snelwegen) en afstand waardoor bijvoorbeeld de nabehandelingstechnologieën een andere temperatuur hebben;
- gebreken die optreden tijdens de levensduur, zoals kapotte katalysatoren of roetfilters;

---

<sup>1</sup> <https://raivereniging.nl/artikel/marktinformatie/branche-analyses/marktinformatie-personenautos.html>

<sup>2</sup> <https://www.rdc.nl/wp-content/uploads/2019/01/Verklaring-RDC-segmenten-2-personenautos-201803.pdf>

- het verwijderen van nabehandelingstechnologieën, zoals katalysatoren of roetfilters.

## 1.6 Informatiebronnen

De emissies die direct afkomstig zijn van het voertuig zijn zoveel mogelijk afgeleid uit metingen van TNO. Vanwege de grote hoeveelheid verschillende voertuigen (voertuigcategorieën, leeftijden, brandstoftypen, gewicht etc.) en afnemende beschikbare middelen, is er de laatste decennia binnen het testprogramma steeds meer voor gekozen om de inspanningen te richten op de voertuigen die het sterkst bijdragen aan de emissies. Vanwege de historisch hoge uitstoot van luchtverontreinigende stoffen en hun grote aandeel in de gereden kilometers zijn er door de jaren heen vooral veel metingen verricht aan dieselveertuigen. Doordat voor dieselveertuigen de meeste data beschikbaar is, zijn de gerapporteerde emissies van deze voertuigen het meest robuust.

Voor voertuigen op andere brandstoffen zoals benzine of CNG geldt dat TNO ook voldoende metingen heeft uitgevoerd om emissiefactoren te bepalen, eventueel in combinatie met literatuur zoals vermeld in “TNO 2020 R10784 – 22 Bronnen en Achtergrond informatie”. Voor voertuigen op waterstof is nog zeer beperkt meetdata beschikbaar en moeten de cijfers nog als indicatief gezien worden.

De waarden voor de emissies gerelateerd aan de productie van fossiele brandstoffen (WTT) bestaan in deze studie uit gemiddelden of referentiewaarden. Door voortschrijdend inzicht is bijvoorbeeld de referentiewaarde voor fossiele brandstoffen ook verhoogd in de laatste versie van de Richtlijn Hernieuwbare Energie (2018/2001 oftewel REDII).

De impact van biobrandstoffen op luchtverontreinigende emissies is alleen kwalitatief beschreven op basis van een studie van de Advanced Motor Fuels Technology Collaboration Programme (Nylund et al., 2018). Hoewel er wel een uitgebreide literatuurstudie heeft plaatsgevonden, blijkt dat veel studies over dit onderwerp verouderd zijn, omdat het Nederlandse wagenpark sinds het verschijnen van deze studie vernieuwd is en de strengere emissie-eisen van voertuigen een grote rol spelen bij de uiteindelijke impact. Ook waren veel studies internationaal. Recente Nederlandse meetprogramma's ontbreken.

Meer informatie over de gebruikte informatiebronnen is te vinden in een apart document “TNO 2020 R10784 - Bronnen en Achtergrondinformatie”.

## 1.7 Leeswijzer

In deze Factsheet worden personenauto's op verschillende energiedragers (product markt combinaties/PMC's) met elkaar vergeleken. Daarbij wordt aandacht gegeven aan drie relevante hoofdonderwerpen:



- **Hoofdstuk 2 - Emissies per energiedrager**  
Hier worden de klimaatbelastende (CO<sub>2</sub>) en de luchtverontreinigende emissies (zoals NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub>) voor verschillende energiedragers beschreven.
- **Hoofdstuk 3 - Kenmerken van de infrastructuur** voor de verschillende energiedragers.
- **Hoofdstuk 4 – Voertuigen**
  - a) Aantallen voertuigen in het Nederlandse wagenpark
  - b) Beschikbaarheid qua modellen
  - c) Betaalbaarheid in de vorm van Total Cost of Ownership (TCO)
  - d) Voertuigkenmerken
    - a. Actieradius
    - b. Laad- en vultijd
    - c. laadvermogen

De kenmerken van de infrastructuur, de betaalbaarheid en voertuigkenmerken zijn meer uitvoerig beschreven in RouteRadar Innovatie monitoring 2020.

## 2 Energiedrager gerelateerde emissies

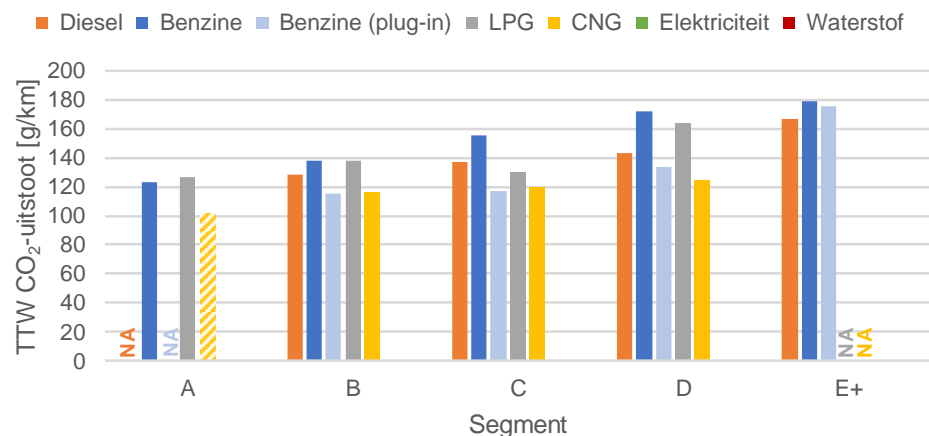
### 2.1 Broeikasgas CO<sub>2</sub>

Het belangrijkste broeikasgas dat wordt uitgestoten door motorvoertuigen is CO<sub>2</sub>. De hoogte van de CO<sub>2</sub>-emissies uit de uitlaat is afhankelijk van het energiegebruik en het type energiedrager. Doordat het energiegebruik in sterke mate wordt bepaald door het voertuiggewicht, stoot een grotere, zwaardere auto ook meer CO<sub>2</sub> uit. Om die reden is ervoor gekozen om de CO<sub>2</sub>-emissies van personenauto's te onderscheiden naar zogenaamde marktsegmenten. Segment A zijn kleinere voertuigen en segment E+ zijn grote auto's.

Ook bij het winnen, produceren en distribueren van energiedragers komt CO<sub>2</sub> vrij. Zo hebben elektrische en waterstofauto's geen uitlaatemissies, maar indien er gebruik wordt gemaakt van fossiele brandstoffen wordt er bij de productie van elektriciteit en waterstof wel CO<sub>2</sub> uitgestoten. Voor de volledigheid worden zowel de uitlaatemissies als de totale ketenemissies gepresenteerd.

#### Uitlaatemissies (TTW)

Bij de verbranding van koolstof houdende brandstoffen produceert het voertuig CO<sub>2</sub> emissies. Deze emissies worden Tank to Wheel CO<sub>2</sub> emissies genoemd. De Tank To Wheel CO<sub>2</sub>-emissies weergegeven in Figuur 1 tonen de gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissies van de best verkochte voertuigen in de periode 2016 – 2019<sup>3</sup>. In bepaalde marktsegmenten zijn geen voertuigen beschikbaar van een bepaalde energiedrager, deze zijn aangeduid als 'NA'.



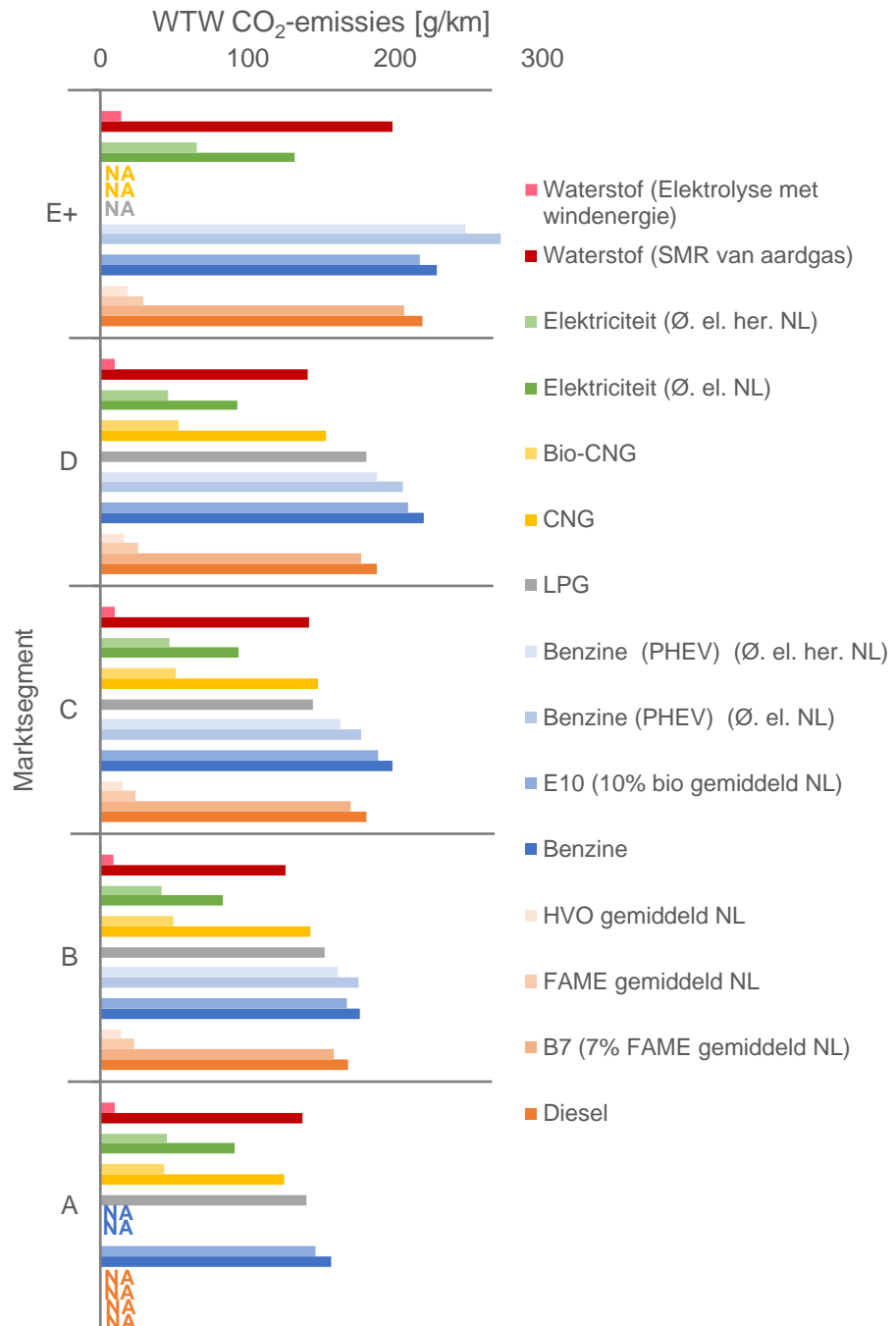
Figuur 1: Gemiddelde Tank to Wheel CO<sub>2</sub>-uitlaatemissies van moderne personenauto's (2016-2019) op verschillende energiedragers. De gearceerde kolommen geven waarden aan die zijn afgeleid van benzinevoertuigen vanwege gebrek aan voldoende data. In bepaalde marktsegmenten zijn geen voertuigen beschikbaar van een bepaalde energiedrager, deze zijn aangeduid als 'NA'.

<sup>3</sup> Hiervoor is gekozen omdat de kans groot is dat de lezers van dit rapport die betrokken zijn bij het aanschaffen van voertuigen, zullen kiezen uit deze meest verkochte modellen.

Bij het gebruik van pure biobrandstoffen zijn de CO<sub>2</sub>-uitlaatemissies nul volgens internationale rekenregels (IPCC).

**Ketenemissies (WTW)**

Wanneer ook de broeikasgasemissies als gevolg van productie en distributie van energiedragers in ogenschouw wordt genomen, ontstaat een ander beeld. Voor fossiele diesel geldt dat de CO<sub>2</sub>-ketenemissies 31% hoger zijn dan de uitlaatemissies. Voor fossiele benzine, CNG en LPG is dat respectievelijk 28%, 23% en 10% (zie Figuur 2).



Figuur 2: Gemiddelde CO<sub>2</sub>-ketenemissies van moderne personenauto's (2016-2019) op verschillende energiedragers. In bepaalde marktsegmenten zijn geen voertuigen beschikbaar van een bepaalde energiedrager, deze zijn aangeduid als 'NA'. De WTW CO<sub>2</sub>-emissies zijn weergegeven in bijlage B.

Het gebruik van biobrandstoffen leidt tot lagere CO<sub>2</sub>-ketenemissies, wanneer deze voldoen aan de Europese duurzaamheidscriteria, zoals die ook voor Nederlandse jaarverplichting gehanteerd gelden. Doordat de biomassa die is gebruikt voor de productie van biobrandstof evenveel CO<sub>2</sub> heeft opgenomen als door het voertuig wordt uitgestoten, zijn er netto geen CO<sub>2</sub>-uitlaatemissies. Echter, de productie en distributie van biobrandstoffen veroorzaken wel CO<sub>2</sub>-emissies. De totale CO<sub>2</sub>-ketenemissies zijn daarom wel hoger dan nul. Het gebruik van pure HVO of FAME leidt tot aanzienlijk minder CO<sub>2</sub>-ketenemissies dan fossiele diesel. De laatste jaren is er overigens discussie ontstaan over de herkomst van grondstoffen voor HVO en daarmee over de te behalen CO<sub>2</sub> reductie in de keten. In deze studie zijn echter de algemeen gangbare waarden voor HVO, die ook in andere studies aangegeven en gehanteerd worden, aangehouden. De monitoring van herkomst van grondstoffen wordt door de Nederlandse Emissieautoriteit (NEA) uitgevoerd.

Het gebruik van B7, waarbij dergelijke biobrandstoffen beperkt worden bijgemengd bij fossiele diesel, leidt tot beperkte CO<sub>2</sub>-emissiereductie. Voor het gebruik van benzine met een beperkte hoeveelheid bio-ethanol (E10) geldt hetzelfde.

De ketenemissies van elektrische voertuigen is afhankelijk van de wijze waarop de elektriciteit wordt opgewekt. Het gebruik van elektriciteit op basis van de gemiddelde Nederlandse elektriciteitsmix leidt al tot ongeveer 50% lagere CO<sub>2</sub>-ketenemissies dan het gebruik van fossiele diesel of benzine. Het gebruik van de huidige hernieuwbare elektriciteitsmix leidt tot een reductie van 75%. Bij enkel gebruik van zonne- en windenergie zou dat zelfs 100% bedragen.

Bij de productie en distributie van waterstof komt meer CO<sub>2</sub> vrij dan bij elektriciteit. Momenteel wordt het leeuwendeel van de waterstof geproduceerd uit aardgas. Deze wijze van productie leidt tot een aanzienlijke hoeveelheid CO<sub>2</sub>-emissies waardoor de CO<sub>2</sub>-ketenemissies van dezelfde orde zijn als die van fossiele brandstoffen. Wanneer de waterstof echter wordt geproduceerd door middel van windenergie, zijn de CO<sub>2</sub>-ketenemissies ongeveer 95% lager dan van fossiele benzine of diesel.

## 2.2 Luchtkwaliteit

De landelijk gehanteerde emissiefactoren die door TNO worden opgesteld op basis van de uitgevoerde meetprogramma's laten zien dat de NO<sub>x</sub>-emissies in de loop der jaren zijn gedaald (zie bijlage). Tot zeer recent waren de NO<sub>x</sub>-emissies van dieselpersonenauto's gemiddeld aanzienlijk hoger dan die van andere brandstoffen. Door strengere wetgeving (Euro6d) die momenteel stapsgewijs wordt ingevoerd in de verwachting dat de NO<sub>x</sub>-emissies van nieuwe dieselauto's vanaf 2021 meer in lijn zullen zijn met die van benzine-, LPG- en CNG-auto's. De NO<sub>x</sub>-emissies van benzineauto's zullen nog wat lager blijven dan die van de andere energiedragers. Elektrische en waterstofpersonenauto's stoten helemaal geen NO<sub>x</sub>-emissies uit, omdat er geen brandstof wordt verbrand.

Voor oudere voertuigen kan het gebruik van biobrandstoffen in plaats van fossiele brandstoffen nog wel leiden tot andere NO<sub>x</sub>-emissies. Voor moderne (Euro 6) auto's geldt dat de nabehandelingstechnologieën al zo effectief zijn dat het gebruik van biobrandstoffen niet leidt tot andere NO<sub>x</sub>-emissies voor de verschillende typen energiedragers.



Figuur 3: NO<sub>x</sub>-emissies (links) en fijnstofemissies (rechts) van moderne personenauto's (euro 6) op verschillende energiedragers.

De fijnstofemissies waren voor diesel aanzienlijk hoger dan voor andere brandstoffen. Vanaf 2007 heeft het gebruik van gesloten roetfilters geleid tot een aanzienlijk daling, waardoor de fijnstofemissies uit de uitlaat van moderne dieselpersonenauto's vergelijkbare is met die van voertuigen op benzine, LPG en CNG. Doordat er bij elektrische en waterstofauto's geen verbranding plaatsvindt, hebben deze voertuigen geen uitlaatemissies. Voor alle energiedragers geldt wel dat er fijnstof vrij komt van banden en remmen. Doordat de fijnstofemissies uit de uitlaat bij moderne voertuigen erg laag zijn, zijn deze emissies (gemeten in gewicht) zelfs aanzienlijk hoger dan uit de uitlaat.

Ook voor fijnstof geldt dat het gebruik van biobrandstoffen in plaats van fossiele brandstoffen voor moderne auto's geen effect heeft.

### 3 Infrastructuur

Nederland kent een dicht netwerk van tankstations. Bijna alle tankstations bieden zowel benzine al diesel aan. Een aantal van deze tankstations biedt daarnaast ook LPG aan en een kleiner aantal ook CNG. Het aantal laadpalen voor elektrische auto's groeit snel en bedraagt al ruim vijftienduizend. Per elektrisch voertuig zijn ook meer laadpalen nodig dan dat er stations nodig zijn per voertuig op een andere energiedrager omdat de laadtijd per elektrisch gereden kilometer langer is dan de tanktijd per kilometer op een andere energiedrager.

Het aantal waterstof-tankstations groeit ook, maar is nog beperkt. Dit komt doordat het aantal voertuigen op waterstof nog beperkt is.

Tabel 2: Aantallen vul en laadpunten per energiedrager (Bron: Routeradar 2020)

	Aantal infrastructuur
Benzine-/Dieseltankstations	4.143
LPG-tankstations	1.179
(Snel)-laadpalen	65.604
Waterstof-tankstations	7
CNG-tankstations	178
LNG (totaal)	30

In de Routeradar DEM rapportage 2020 wordt meer informatie over laadinfrastructuur beschreven, zoals ook kaartjes met de locaties van laadinfrastructuur. Verder zijn op de website van RWS "<https://rwsduurzamemobiliteit.nl/beleid/duurzame-energiedragers-mobiliteit/>" alle Routeradar rapportages én Factsheets te vinden.

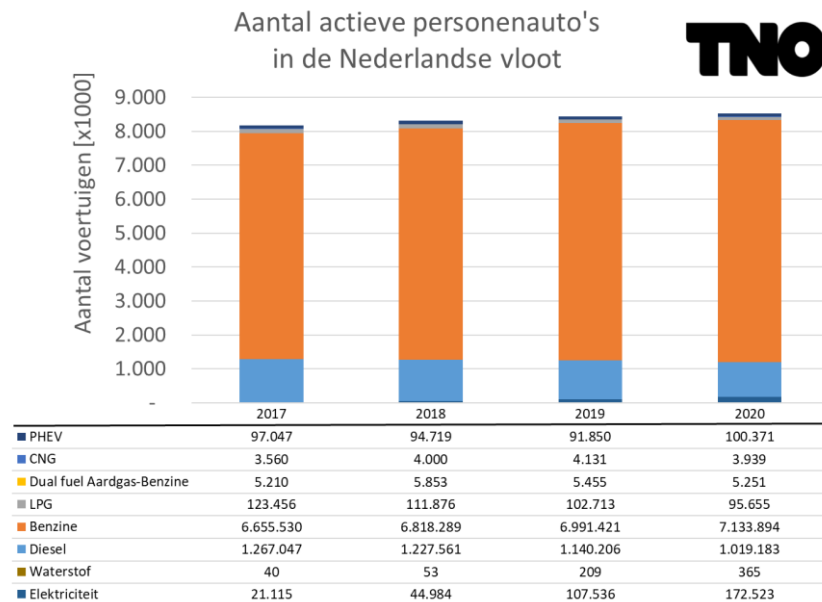
## 4 Vervoermiddel

### 4.1 Aantallen voertuigen en beschikbaarheid modellen in Nederland

#### 4.1.1 Aantallen voertuigen per energiedrager

De historische samenstelling van het personenautowagenpark laat zien dat benzine de dominante brandstof is voor personenauto's. Ook dieselauto's vormen een significant deel van de Nederlandse personenautovloot. Bijna alle personenautofabrikanten maken zowel benzine- als dieselauto's. Een zeer beperkt aantal fabrikanten maakt ook LPG- en CNG-personenauto's. Voor de LPG vloot geldt bovendien dat een aanzienlijk deel van de auto's als benzineauto de fabriek heeft verlaten en daarna is omgebouwd om ook op LPG te kunnen rijden. Steeds meer fabrikanten maken ook elektrische auto's, het aandeel is dan ook groeiende.

Figuur 4: Historische samenstelling van het Nederlandse personenautovloot naar energiedragers.



#### 4.1.2 Beschikbaarheid voertuigmodellen

De beschikbare modellen per energiedrager staan in onderstaande tabel weergegeven. Voor de conventionele energiedragers zijn een zeer groot aantal modellen beschikbaar, voor batterij elektrische voertuigen is het aantal modellen nog beperkt maar sterk in opkomst.

Tabel 3: Aantal beschikbare modellen personenvoertuigen op de Nederlandse markt

Energiedrager	Aantal modellen
Conventioneel (benzine/diesel)	Ca. 850 modellen
LPG/benzine	Ca. 67 modellen
EV	Ca. 42 modellen
Waterstof	2 modellen
CNG	Ca. 23 modellen

## 4.2 Betaalbaarheid

### 4.2.1 *Betaalbaarheid personenvoertuigen: rekenmethodiek en aannames*

De betaalbaarheid van voertuigen is vastgesteld door de Total-Cost-of-Ownership (TCO) te berekenen. De TCO wordt bepaald door de investeringskosten (CAPEX) met de operationele/variabele kosten (OPEX) te verrekenen. Dit geeft een ordegrrootte inschatting van de gemiddelde kosten van het gebruik van een voertuig in Euro's per kilometer (€/km).

Voor de berekening wordt gebruik gemaakt van zogenaamde representatieve-voertuigen per energiedrager. De voor de TCO relevante eigenschappen van de representatieve -voertuigen, de energiedrager-specifieke aannames, aannames over de brandstofprijzen en algemene aannames worden in detail beschreven in de rapportage "Routeradar 2020 Innovatiemonitor, marktontwikkeling wegvervoer".

De TCO voor personenvoertuigen wordt berekend vanuit het perspectief van een consument, uitgaande van de aanschaf van een nieuw voertuig. Per energiedrager is een selectie (mandje) van representatieve modellen binnen de meest relevante RDC-segmenten (B, C en D) gekozen als referentie-personenvoertuigen. De RDC segmenten zijn zogenaamde Rai Documentatie Centrum segmenten voor voertuigen, waarbij voertuigen onderscheiden worden op bijvoorbeeld koetswerkvariant, grootte, prijs maar ook marketing informatie van importeurs. Globaal worden voertuigen in de segmenten A t/m F groter en luxer. Bij de selectie van de representatieve-voertuigen is de methodologie, zoals beschreven in de RVO TCO handreiking (RVO, 2021), gehanteerd.

### 4.2.2 *Representatieve voertuigen voor TCO berekeningen*

Tabel 4: Representatieve -personenvoertuigen (RDC segment B, C, D)

	<b>Benzine</b>	<b>Diesel</b>	<b>LPG<sup>4</sup></b>	<b>Elektrisch</b>	<b>Waterstof</b>	<b>CNG</b>
<b>Segment B</b>	Volkswagen Polo	Volkswagen Polo	Renault Clio	Hyundai Kona		Volkswagen en Polo
	Peugeot 2008	Peugeot 2008	Renault Captur	Renault Zoe		Seat Ibiza
	Renault Clio			BMW I3		Seat Arona
	Renault Captur			Peugeot e-208		
	Peugeot 208					
<b>Segment C</b>	Ford Focus	Ford Focus	Dacia Lodgy <sup>5</sup>	Nissan Leaf		Volkswagen en Golf

<sup>4</sup> Het aantal beschikbare modellen per segment voor LPG is vrij beperkt, hierdoor is het lastig een geschikt representatief voertuig te vinden in vergelijking met de andere energiedragers. De voorgestelde LPG voertuigen vallen in een lagere prijsklasse, dit is ook terug te lezen in de uiteindelijke TCO.

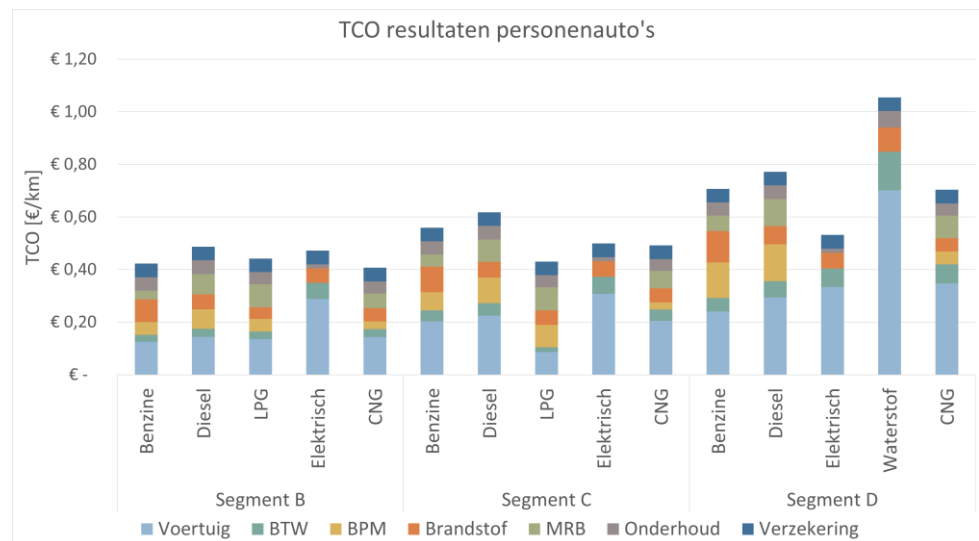
<sup>5</sup> De Dacia Lodgy is de meest representatieve voertuig voor LPG binnen dit segment. Wel is belangrijk op te merken dat de Lodgy zich in een andere prijs categorie bevindt dan de andere voertuigen in het C-segment. De TCO resultaten voor LPG segment C zijn hierdoor ook aanzienlijk lager.



	Volvo XC40	Nissan Qashqai		Kia Niro		Seat Leon
	Volkswagen Golf	Volkswagen Golf		Hyundai Ioniq		
	BMW 1-serie	Mercedes A-klasse		Volvo XC40		
	Volkswagen Tiguan			Volkswagen ID.3		
Segment D	BMW X3	Volvo XC60		Tesla model 3	Hyundai Nexo	Audi Avant G-tron
	Skoda Kodiaq	Skoda Superb		Volkswagen ID.4	Toyota Mirai Fuel-Cell	
	Volkswagen Passat	Volkswagen Passat		Polestar 2		
	Mercedes CLA					

#### 4.2.3 TCO personenauto's

De TCO is berekend per voertuigsegment B, C en D voor de energiedragers benzine, diesel, LPG, elektrisch, waterstof (alleen segment D) en CNG. De resultaten worden in onderstaande figuur weergegeven. De belangrijke kostencomponenten waaruit de TCO is opgebouwd, te weten voertuig(afschrijving), BTW, BPM, brandstof, MRB, onderhoud en verzekeringen zijn met aparte kleuren weergegeven.



Figuur 5: TCO per personenautoig-RDC segment

Noot: Opgemerkt moet worden dat nog zeer weinig meetdata van waterstofvoertuigen beschikbaar is. Bovendien is deze technologie nog sterk in ontwikkeling waardoor kosten nog duidelijk kunnen afnemen.

### 4.3 Voertuigkenmerken

#### 4.3.1 Actieradius

Voertuigen op diesel, benzine, LPG en CNG hebben een vergelijkbaar grote brandstoftank. Vanwege de hoge energiedichtheid van diesel, hebben voertuigen op deze brandstof gemiddeld de hoogste actieradius. Die van benzine, LPG en CNG zijn respectievelijk ongeveer 15%, 40% en 50% lager. De meeste LPG-voertuigen beschikken over een tweede brandstank voor benzine. Hierdoor wordt hun actieradius vergroot naar die van een 'regulier' benzinevoertuig of meer. Het merendeel van de CNG-voertuigen heeft een beperkte benzinereserve tank die de actieradius uitbreidt.

De actieradius van elektrische voertuigen loopt sterk uiteen als gevolg van het toegepaste batterijgrootte. Zo zijn er voertuigen beschikbaar met een actieradius van 90 km tot ruim 500 km. Waterstofvoertuigen zijn nog maar zeer beperkt beschikbaar. De actieradius van het beperkte aantal waterstofvoertuigmodellen dat momenteel beschikbaar is, is vergelijkbaar met die van benzinevoertuigen. Onderstaande tabel geeft een relatieve vergelijking van de actieradius van verschillende energiedragers.

#### 4.3.2 Laad- en vultijd

De laad- en vultijd voor de meeste energiedragers is globaal enkele minuten. Voor batterij elektrisch is de laadtijd aanzienlijk langer. Afhankelijk van het type lader kan het volledig laden tussen de ca. 20 a 30 minuten en 12 á 15 uur liggen. Echter, in de praktijk kan onderweg vaak volstaan worden met het deels laden van een accu én kan ook gebruik gemaakt worden van snellaadstations waardoor de laadtijd beperkt blijft tot bijvoorbeeld 20 minuten (voor ca. 60% lading). De ontwikkelingen van laadstations gaan naar steeds hogere laadvermogens waardoor de laadtijd in de toekomst waarschijnlijk nog zal afnemen.

Tabel 5: Functionele specificaties voor elektrische voertuigen met een vergelijking t.o.v. andere alternatieve energiedragers. De weging is op basis van een benzine referentie, met 0 gelijk presterend, -;-- slechter en +;++ beter.

Functionele specificatie	Conventioneel benzine	Elektrisch	Waterstof	CNG*	LPG*
Actieradius	Ca. 800 km	Ca. 70 - 400 km	Ca. 600 - 700 km	Ca. 300 - 400 km	Ca. 500 km
Laad- /vulsnelheid	Ca. 1 min	Ca. 12 - 600 min	Ca. 3 - 5 min	Ca. 1 min	Ca. 1 min
Bagageruimte		- / 0	-	-	- / 0

Noot: Veel CNG en LPG personenauto's worden ondersteund door een extra benzine tank. Hiermee is in veel gevallen de actieradius door deze extra benzine tank vergelijkbaar of groter dan die van conventionele personenvoertuigen.

## 5 Ondertekening

Den Haag, 3 juli 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Arjan Eijk', written in a cursive style.

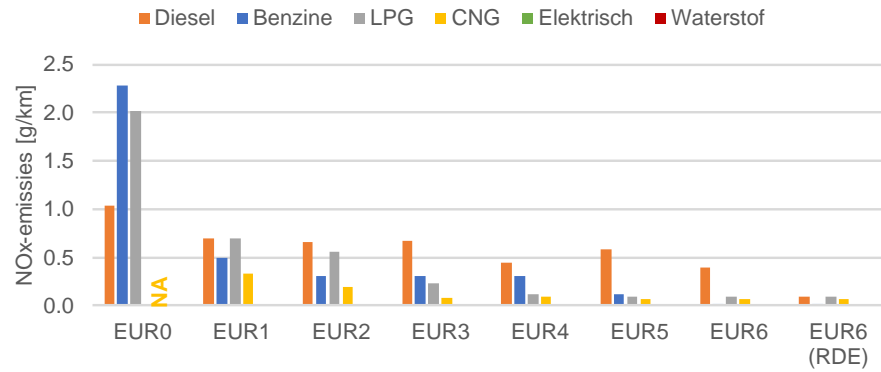
Arjan Eijk  
Projectleider

TNO

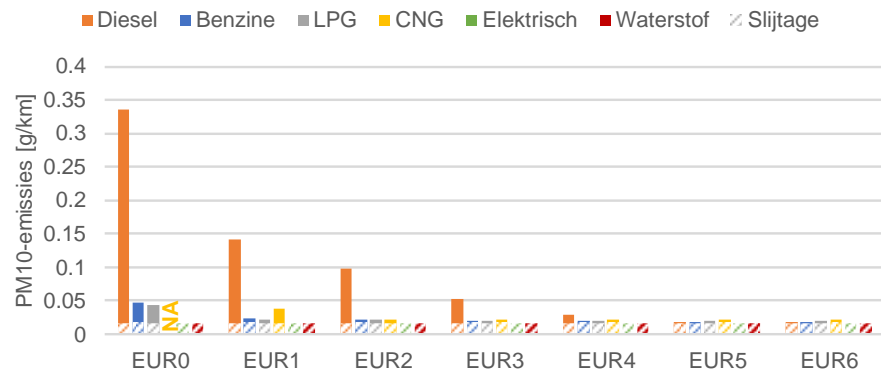
A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Maarten Verbeek', written in a cursive style.

Maarten Verbeek  
Auteur

## A Historisch verloop van NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub> emissies van personenvoertuigen



Figuur 6: Historisch verloop van NO<sub>x</sub>-emissies van personenauto's op verschillende energiedragers.



Figuur 7: Historisch verloop van PM<sub>10</sub>-emissies van personenauto's op verschillende energiedragers. Emissies als gevolg van slijtage van banden en remmen is gearceerd.

## B WTW CO<sub>2</sub>-emissies per energiedrager

In deze bijlage is een overzicht te vinden van de gehanteerde WTW CO<sub>2</sub>-emissies per energiedrager. Deze waarden zijn gebruikt voor Figuur 2.

Energiedrager	Diesel (100%)	FAME gemiddeld NL	HVO gemiddeld NL	Dieselveρνnagers gemiddeld NL	Benzine (100%)	bio-ethanol	Bio gemiddeld NL	LPG	CNG	Bio-CNG (GFT-afval)	Elektriciteit NEa (gemiddelde van hernieuwbaar)	Elektriciteit (wind)	Waterstof (aardgas)	Waterstof (wind)
WTW CO <sub>2</sub> -emissies per MJ eindproduct [gCO/MJ]	95.1	12.7	8.0	11.7	93.3	26.9	23.8	73.6	69.3	24.0	66.0	0.0	115.2	8.0